

PARAGÉNESIS Y MICROTERMOMETRÍA DE LAS MANIFESTACIONES DE BARITINA DEL ANTICLINAL CHORRIACA, PROVINCIA DEL NEUQUÉN

Pablo Rodrigo LEAL¹ y Paula MATEO^{1,2}

¹ Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. IGeBA - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas E-mail: leal@gl.fcen.uba.ar

² Department of Geosciences, Princeton University, Princeton, Estados Unidos. E-mail: mmateo@princeton.edu

RESUMEN

En este trabajo se estudió la mineralización de sulfatos de Ba presente en el anticlinal de Chorriaca. El mapeo de las distintas labores evidenció un fuerte control estratigráfico puesto que todos los depósitos se hallan hospedados en el miembro Agua de la Mula (Formación Agrio). La mineralogía se compone principalmente de baritina, calcita y óxidos de hierro. Los análisis texturales permitieron reconocer tres pulsos de mineralización, de los cuales el último habría sido el más importante. En cristales de baritina de este último se realizaron los estudios de inclusiones fluidas. Las inclusiones primarias más representativas se componen de agua con sales disueltas entre las cuales destacan algunas con cantidades subordinadas de hidrocarburos. Los resultados microtermométricos permitieron definir temperaturas de homogeneización superiores a los 300 °C y soluciones con bajas salinidades. Sobre la base de los resultados obtenidos se postula un origen hidrotermal para las manifestaciones del área estudiada.

Palabras clave: *Baritina, inclusiones fluidas, Chorriaca, Neuquén*

ABSTRACT

Assemblages and microthermometry of barite ore deposits from Chorriaca anticline, Neuquén Province

In this contribution, the barium sulfate mineralization from Chorriaca anticline was studied. All mines are hosted in carbonate layers (Agua de la Mula stratigraphical unit, Agrio Formation) that evidence a strong lithological control. The assemblages is mainly composed of barite, calcite and iron oxides. Their textures imply three mineralization events, from which the last one was the most important. Fluid inclusion studies on barite crystallized during this last event were carried out. The most representative primary fluid inclusions are composed of water with dissolved salts. Few of them also present hydrocarbons on the liquid phases. Microthermometry evidenced homogeneization temperatures above 300°C and solutions with low salinities. Regarding the reasons stated above we propose that this barite mineralization was generated by hydrothermal processes related to the magmatic activity of Neuquén basin.

Keywords: *Barite, fluid inclusions, Chorriaca, Neuquén*

INTRODUCCIÓN

Dada la importancia económica de la Cuenca Neuquina como productora de hidrocarburos, esta región cuenta con un vasto número de publicaciones, hojas geológicas, tesis e informes inéditos que detallan su estratigrafía, estructura, historia geológica y el conjunto de sus recursos naturales. Entre sus depósitos no metalíferos destacan, por su abundancia, manifestaciones de sulfatos de bario y estroncio que se extienden en una franja de rumbo norte-sur próxima al meridiano de 70°O,

entre la localidad de Zapala y la Sierra de Reyes (Brodtkorb *et al.* 1975) (Fig. 1). Desde mediados del siglo XX se realizaron varios trabajos locales que si bien permitieron definir las zonas más importantes y los distritos que éstas integran, también dieron lugar a una despareja base de datos que impide obtener un modelo integral para esta mineralización. Mas aún, los procesos involucrados en la formación de algunos depósitos no gozan de consenso entre quienes postulan una génesis asociada al ambiente sedimentario de la roca de caja (procesos singenéticos,

Brodtkorb *et al.* 1975) y quienes postulan procesos epigenéticos de carácter hidrotermal (Hayase y Bengochea 1975, Llambías y Malvicini 1978). Dadas las condiciones de temperatura y salinidad particulares para cada una de las posibles génesis, los estudios microtermométricos son una herramienta capaz de identificar el proceso responsable de la formación de los sulfatos. Hayase y Bengochea (1975), Collao (1998), Collao *et al.* (1997) y de Barrio *et al.* (2013) han obtenido datos microtermométricos de distritos adyacentes al área de estudio que corroboran

la multiplicidad de procesos. No obstante, la gran disparidad de resultados, la diversidad de criterios sobre las especies en las cuales deben realizarse las mediciones microtermométricas, los escasos datos publicados sobre la petrografía de las inclusiones fluidas y la falta de datos en otros distritos no permiten aún discriminar, mediante esta técnica, los distintos tipos de génesis.

En este contexto el anticlinal de la sierra de Chorriaca (Fig. 2), en el extremo noroeste del distrito homónimo (Fig. 1), adquiere particular interés puesto que se trata de una zona con varias manifestaciones de sulfatos que no posee antecedentes más allá de escasas menciones en relevamientos regionales (Brodtkorb *et al.* 1975). Varios años más tarde Mateo Fernández Caso (2011) realizó un estudio detallado de las labores más importantes con especial atención en la mineralogía, sus texturas y la secuencia paragenética que constituye parte de este trabajo. Sobre esta base, el objetivo de esta contribución es caracterizar las numerosas labores presentes en el sector norte de la Sierra de Chorriaca, elaborar una secuencia paragenética integrada y realizar los estudios de inclusiones fluidas sobre las especies más representativas del proceso que afectó al área.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Durante la evolución tectónica de la Cuenca Neuquina se reconocen tres etapas principales: una de rift, otra de retroarco y una última de antepaís (Howell *et al.* 2005). La historia asociada a la mineralización que nos ocupa comienza en el Jurásico, es decir durante la etapa de retroarco cuando una ingresión marina proveniente del océano Pacífico depositó los sedimentos que integran a la Formación Los Muelles del Grupo Cuyo (Vergani *et al.* 1995, Spaletti *et al.* 2000). Luego se depositaron sedimentitas de aguas someras y estratos rojos de origen fluvial (Formación Lajas y equivalentes - Grupo Cuyo). A principios del Calloviano, la cuenca quedó restringida volviéndose hipersalina y precipitando bancos evaporíticos de la Formación Tá-

banos, que completan la estratigrafía de dicho grupo (Vergani *et al.* 1995). A fines del Jurásico medio, se produjo un brusco descenso del nivel de base, asociado a la primera inversión tectónica, con la acumulación de facies clásticas de ambiente fluvial (Formación Lotena - Grupo Lotena). Luego, durante el Calloviano tardío-Oxfordiano, se reestableció la conexión con el Pacífico representada por facies de plataforma, correspondientes a la Formación La Manga y equivalentes (Grupo Lotena, Legarreta 2002). Hacia el Oxfordiano-Kimmeridgiano inferior precipitaron las evaporitas de la Formación Auquileo (Grupo Lotena), marcando un nuevo evento de desecación (Legarreta 2002). Posteriormente, ya en el Kimmeridgiano, se depositó la Formación Tordillo (Grupo Mendoza) constituida por sedimentitas continentales de origen fluvial y lacustre en coincidencia con la inversión tectónica de mayor envergadura (evento Araucánico, Vergani *et al.* 1995). En el Tithoniano, coincidiendo con un relajamiento compresional, se registró la máxima transgresión marina representada por la Formación Vaca Muerta (Grupo Mendoza, Leanza *et al.* 1978, Leanza *et al.* 2006). Durante el Valanginiano inferior, se registró un cambio importante en el patrón de subsidencia debido a una nueva inversión tectónica que generó una importante restricción de la cuenca. Este fenómeno resultó en la interrupción de la sedimentación marina dando lugar al desarrollo de facies fluviales, mareales y deltaicas de la Formación Mulichinco (Grupo Mendoza). Entre el Valanginiano tardío y Barremiano temprano se registró una calma tectónica asociada a una nueva transgresión marina, representada por la Formación Agrío (Grupo Mendoza) con deposición de sedimentitas marinas de *offshore*, intercalaciones de depósitos de tormenta (Miembro Pilmatué y Miembro Agua de la Mula) y facies de rampa carbonática (Miembro Chorreado, Formación Huitrín), separadas por el desarrollo de una breve somerización caracterizada por sedimentitas continentales de ambiente fluvial (Miembro Avilé). Durante el Barremiano, Aptiano y Albiano tuvo lugar una

somerización generalizada representada por depósitos de la Formación Huitrín (Grupo Rayoso). El Miembro Troncoso se caracteriza por sedimentación fluvial y eólica seguida por depósitos evaporíticos asociados a cuerpos de agua hipersalina; el Miembro La Tosca presenta facies marinas con circulación restringida, mientras que el Miembro Salina contiene asociaciones pelita-yeso-caliza (Leanza *et al.* 2006). Esta progresiva somerización culminó con la Formación Rayoso de carácter netamente continental, con facies clásticas de color rojo y evaporitas. En resumen, a partir del Jurásico temprano y hasta el Cretácico tardío, la cuenca fue sometida a una etapa de subsidencia regional interrumpida por sucesivas inversiones tectónicas.

A partir del Cretácico Superior se produjo una renovación de la actividad tectónica debida a cambios en las tasas de expansión de fondo oceánico, implicando una velocidad de *roll-back* positiva que dio comienzo a la etapa de antepaís (Zapata y Folguera 2006). El resultado fue un periodo compresivo con inversión tectónica de las estructuras extensionales previas que dieron lugar a la depositación de estas facies continentales en los principales depocentros (Legarreta y Uliana 1991, 1999, Vergani *et al.* 1995). La región devino en una cuenca de antepaís (Legarreta y Uliana 1991) con migración de los depocentros hacia el este (Franzese *et al.* 2003). Esto provocó el truncamiento regional de las sedimentitas rayosianas y la depositación sinorogénica del Grupo Neuquén.

En esta etapa tuvo lugar la migración del arco volcánico hacia el este representada, en el área de estudio, por las facies extrusivas e intrusivas del Grupo Naunauco (Llambías y Aragón 2011, Mateo Fernández Caso *et al.* 2011, Zamora Valcarce 2007, entre otros). Estas rocas intruyeron o se depositaron sobre las sedimentitas mesozoicas previamente estructuradas. La sedimentación continuó hasta fines del Cretácico con el desarrollo de depósitos continentales y marinos del Grupo Malargüe, representante de la primera ingresión marina desde el Océano Atlántico (Digregorio y Uliana 1975). Dentro

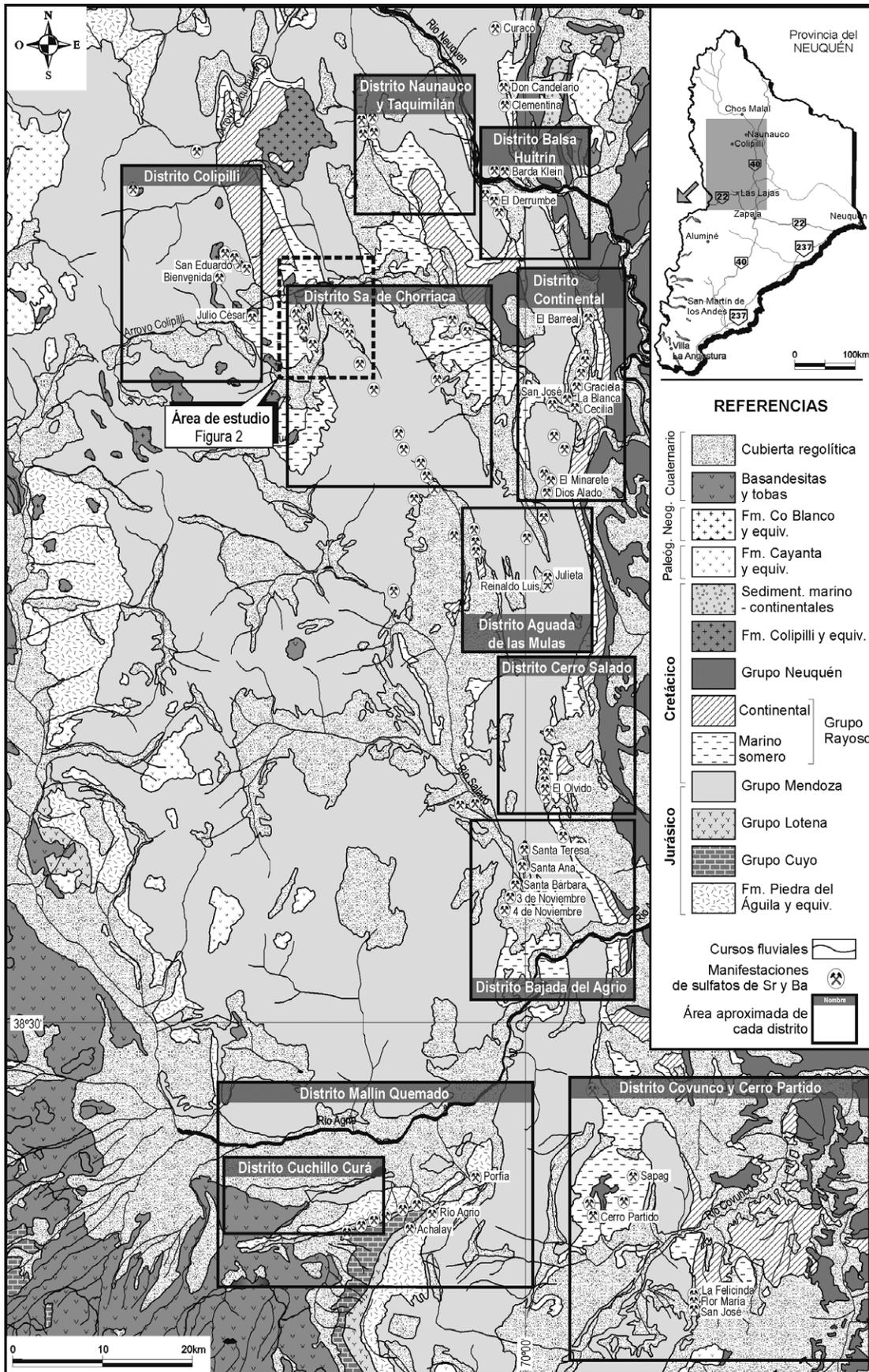


Figura 1: Sector de la Cuenca Neuquina donde afloran las principales mineralizaciones de sulfatos de Ba y Sr. En el mismo se sintetizó la geología de la región, sobre la cual se indican los once distritos, las minas más importantes y el área estudiada para esta contribución (modificado sobre la base de Hayase y Bengochea 1975, Brodtkorb *et al.* 1975, Llambias y Malvicini 1978, de Barrio 2009).

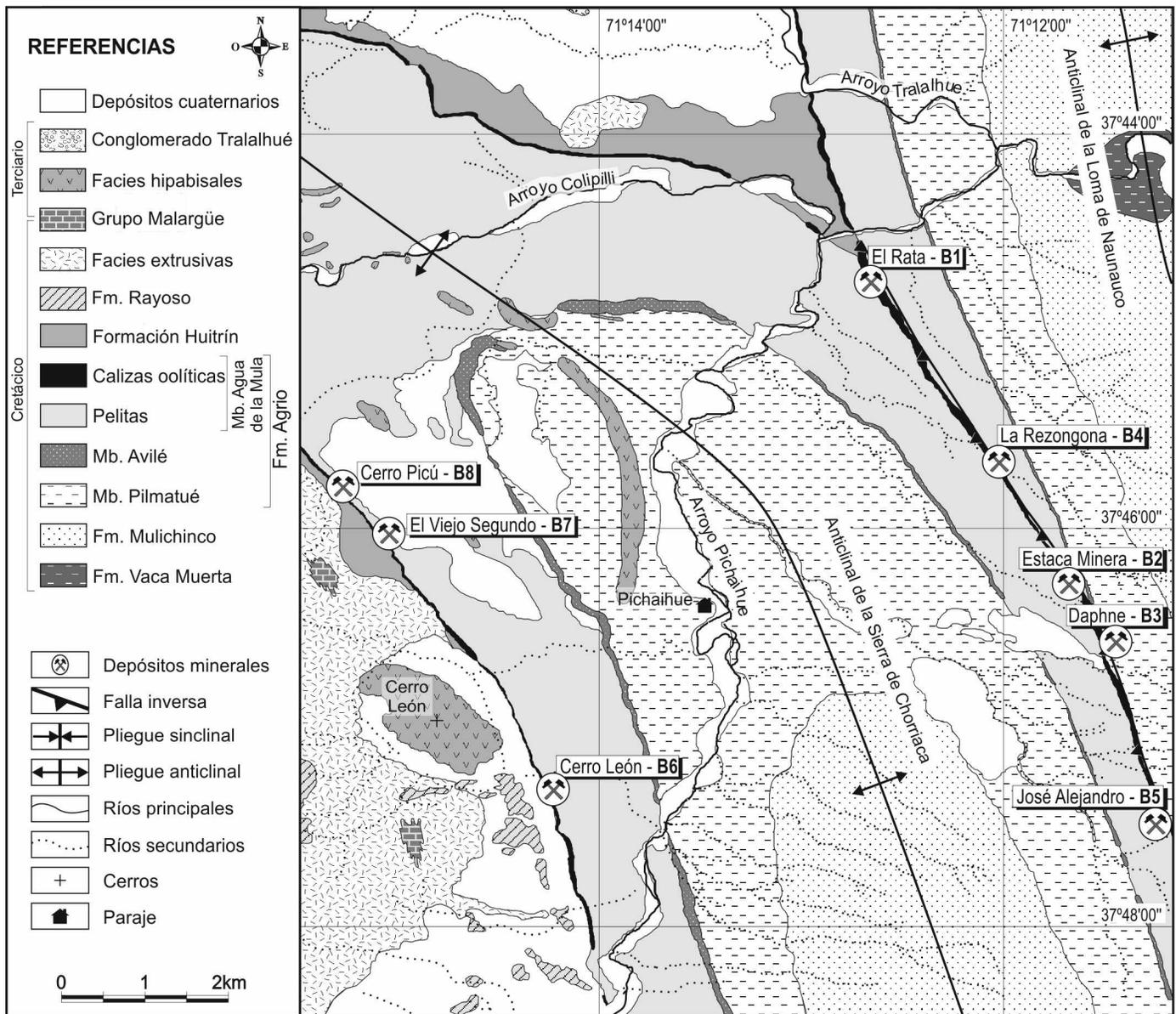


Figura 2: Mapa geológico del área de estudio y ubicación geográfica de las ocho labores principales (modificado de Mateo Fernández Caso 2011).

del área de estudio, la depositación de calizas estromatolíticas, tobas y areniscas en pequeñas cuencas intermontanas circunscriptas al sinclinal de Colipilli estarían representando los afloramientos más australes de este grupo (Zamora Valcarce 2007).

Entre el Paleoceno y el Mioceno medio la cuenca entró en una nueva fase de deformación que reactivó numerosas fajas plegadas y corridas (Zamora Valcarce *et al.* 2006). El registro de este evento se encuentra en los depósitos sinorogénicos de Tralalhué (Ramos 1998). Según Zamora

Valcarce *et al.* (2006) podría inferirse una última etapa de deformación hacia fines del Mioceno en la cual el Conglomerado Tralalhué habría sido levantado y basculado pasivamente debido al ascenso del anticlinal de la Loma de Naunauco. Por último, a partir del Cuaternario comenzaron a actuar procesos de remoción en masa y fluviales que configuraron el actual relieve del área.

METODOLOGÍA

Para los estudios de inclusiones fluidas se

seleccionaron las manifestaciones cuyas cantidades de sulfatos permitieron un muestreo representativo. Puesto que la mineralización consiste en especies de sulfatos y carbonatos se decidió trabajar utilizando esquirlas en lugar de secciones bipulidas para minimizar la posible deformación de las inclusiones o pérdida de fases por efectos mecánicos. Las determinaciones se realizaron con el instrumental del Departamento de Ciencias Geológicas de la Universidad de Buenos Aires empleando una platina de calentamiento/enfriamiento Linkam (cuyo interva-

lo de temperatura es de -180 a 600°C) adosada a un microscopio Leica DMLP con una cámara fotográfica Sony-Cyber-shot DSC-P2000. La misma fue calibrada al comienzo y al final de la toma de datos mediante muestras estándares (inclusiones de CO₂ + H₂O). Las temperaturas de fusión se realizaron enfriando hasta -180°C y calentando a velocidades de dos grados por minuto en los intervalos próximos a los cambios de estado.

Las observaciones con luz ultravioleta se realizaron empleando un microscopio (Arcano, serie: L2001) configurado para fluorescencia por reflexión. El mismo se encuentra provisto de una lámpara halógena de alta presión de mercurio con una potencia de 100W. Los filtros empleados para acotar el espectro de incidencia fueron el azul ($\lambda=420-470$ nm) y el verde ($\lambda=460$ a 550 nm).

CARACTERÍSTICAS DE LAS MANIFESTACIONES ESTUDIADAS

La roca de caja

En el área de estudio la mineralización de sulfatos posee un fuerte control estratigráfico puesto que se restringe siempre a la misma unidad. Se trata de bancos carbonáticos de espesores que oscilan entre 3 y 30 metros y colores castaños. Si bien la mayoría de las muestras clasifican como *mudstone* o *wackestone*, en las proximidades de la labor La Rezononga se hallaron *packstone* (Mateo Fernández Caso 2011). Dependiendo del caso, se encuentra compuesta por peloides, oolitas, bioclastos, partículas terrígenas y/o fango carbonático de micrita, recristalizado a esparita. Es importante notar la presencia de porosidad secundaria en fábrica no selectiva asociada a procesos de disolución. Los procesos de alteración se limitan al relleno de la porosidad primaria o de microfracturas y en ningún caso se extienden más allá de los dos primeros metros de las vetas. Procesos de reemplazo de oolitas solo fueron identificados en sectores localizados de la mina Daphne razón por la cual no se consideran relevantes en el área. La composición de los bancos supra e infra-

yacentes permiten identificar la posición estratigráfica de la roca de caja como el límite entre las formaciones Agrío y Huitrín. Como fuera postulado por Llambías y Malvicini (1978), en el área de estudio la unidad superior de la Formación Agrío (Miembro Agua de la Mula) se caracteriza por la abundancia de carbonatos intercalados con pelitas (Fig. 3a). Particularmente, hacia el tope destaca la presencia de un banco calcáreo oolítico de color amarillento que sobresale del terreno por haber sido menos erodado (Fig. 3b). Puesto que tanto su ubicación espacial como las características petrográficas de las muestras estudiadas coinciden con estas descripciones, la roca de caja se asignó estratigráficamente al Miembro Agua de la Mula (Fig. 2). El carácter estratoligado de la mineralización de sulfatos de Ba y Sr es una característica que se repite en varios distritos de la Cuenca Neuquina (Brodtkorb *et al.* 1975, Hayase y Bengochea 1975, de Barrio *et al.* 2009, de Barrio *et al.* 2013, Escobar *et al.* 2013, entre otros).

Geometría y paragénesis

Estas labores se distribuyen a ambos flancos del anticlinal de la Sierra de Chorriaca definiendo dos corridas de orientación NNO-SSE en las que se reconocieron ocho antiguas labores: cinco sobre el flanco oriental (El Rata, La Rezononga, Estaca Minera, Daphne y José Alejandro) y tres sobre el flanco occidental (Cerro Picú, El Viejo Segundo y Cerro León) (Fig. 2). A continuación se describe cada labor con sus coordenadas geográficas y el código de las muestras que se utiliza en el apartado de inclusiones fluidas.

El Rata (código "B1" - 37°44'44"S-70°12'37"O): Los remanentes de su extracción son grandes labores con formas de galerías y piques cuyo acceso es limitado debido al relleno antrópico o al deterioro natural de los mismos. En la actualidad no se encuentran remanentes de la mineralización *in situ* que permita un muestreo representativo. No obstante, las muestras de los alrededores sugieren un predominio de baritina en forma de agregados de cristales tabulares de cinco milímetros de largo. Solo un 5% del volumen de las muestras

encontradas se componen de agregados de calcita de color blanco que rellena diminutas cavidades con cristales inferiores al milímetro. Estas últimas suelen alternar con agregados microcristalinos de sulfatos y óxidos de hierro de igual tamaño.

Análisis de fluorescencia de rayos X sobre los cristales de mayor tamaño evidenciaron contenidos de estroncio que alcanzan a sustituir más del 30 % de bario (Mateo Fernández Caso 2011). Puesto que este distrito se caracteriza por la escasa presencia de estroncio, la composición encontrada sugiere que este elemento pudo alcanzar cantidades significativas en esta manifestación.

La Rezononga (código "B4" - 37°45'42"S-70°11'57"O): Se trata de una veta discordante respecto de la estratificación, que fue explotada en forma de trinchera. Su geometría evidencia una veta subvertical de dos metros de ancho que puede seguirse hasta una profundidad de casi tres metros. La mineralogía posee escasa variación puesto que se compone de cantidades similares de calcita y baritina. La calcita se presenta en cristales traslúcidos de color blanco, u ocasionalmente castaño, brillo nacarado, formas romboédrica y/o escalenoédrica y tamaños que alcanzan un centímetro y medio (Fig. 3c). La baritina se encuentra en cristales de color blanco, brillo vítreo y hábito tabular. Son frecuentes las texturas tipo libro con tamaños que varían desde dos milímetros a más de un centímetro de largo (Fig. 3c,d). Estos agregados son la paragénesis más representativa de la mineralización de sulfatos en el área de estudio. Solo mediante el microscopio de polarización alcanzan a reconocerse cristales de minerales opacos (óxidos de hierro).

Estaca Minera (código "B2" - 37°46'17"S-70°11'34"O): Se trata de una veta discordante cuya trinchera alcanza cuatro metros de alto, con un ancho de 1,5 m y una profundidad de 2,5 metros. Se compone de baritina en cristales cuyos tamaños varían de escasos milímetros hasta superar el centímetro de largo. En algunos cristales de mayor tamaño puede reconocerse macroscópicamente una zonación inter-

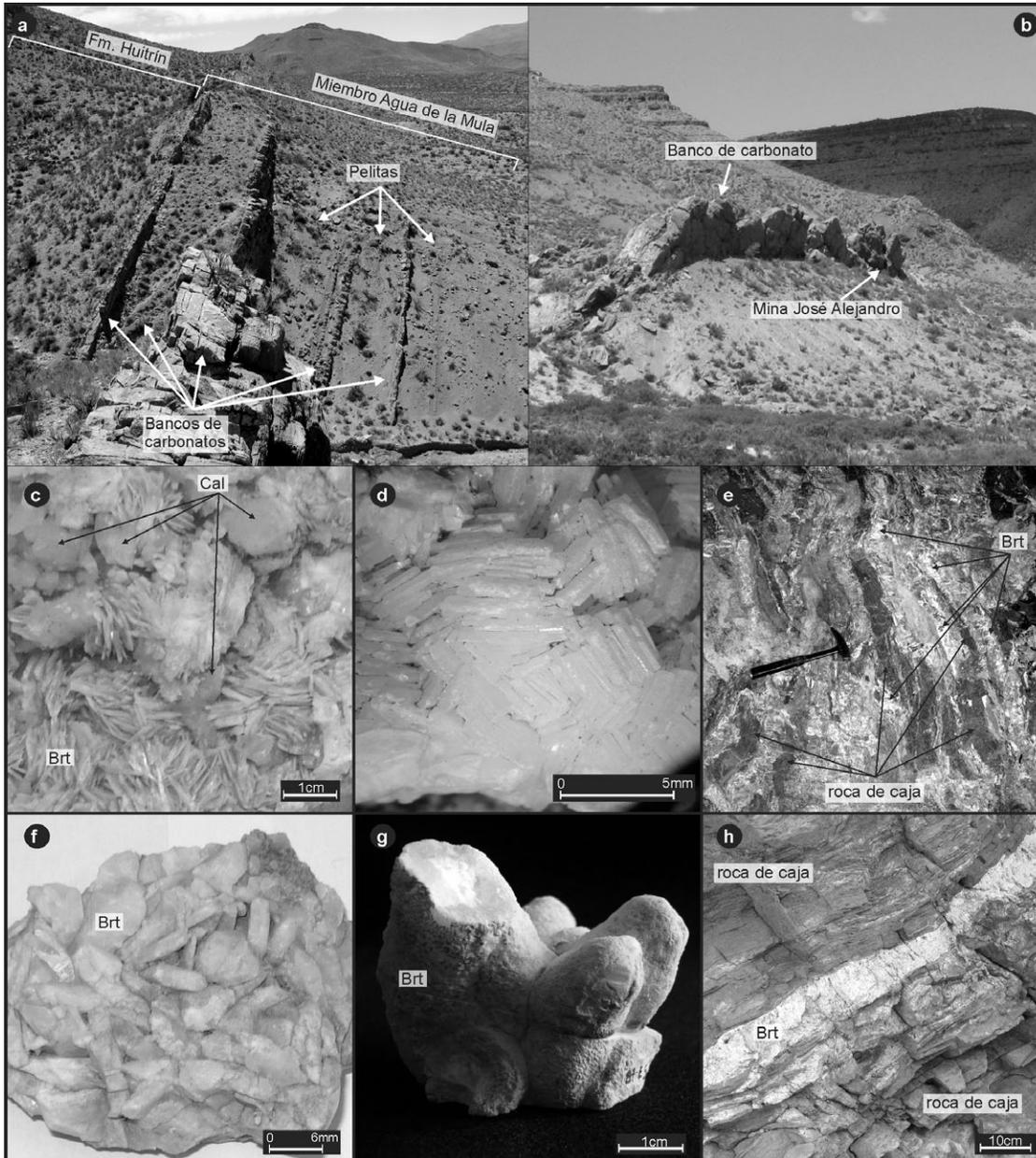


Figura 3: a) Foto en dirección al sureste de la Sierra de Chorriaca donde se observa el resalto topográfico característico del tope del Miembro Agua de la Mula; b) Foto tomada desde la manifestación del cerro León en dirección al norte donde se aprecia la alternancia de calizas y pelitas que componen al Miembro Agua de la Mula. c-d) Agregado tabular de baritina con textura en libro y romboedros de calcita (La Rezongona); e) Sulfatos interdigitados con la roca de caja (José Alejandro); f) Agregado característico de baritina y calcita; g) Agregado estalactítico de baritina (El Viejo Segundo); h) Venilla de baritina concordante con la estratificación de la roca de caja (Cerro León). Las abreviaciones de los distintos minerales siguen la norma internacional propuesta por Kretz (1983).

na puesta en evidencia por la alternancia de anillos opacos y anillos hialinos según la densidad de inclusiones fluidas (véase Fig. 5a,b). Le siguen en abundancia agregados de calcita que rellenan cavidades con cristales cuyos tamaños generalmente no superan el milímetro de largo. Como especies accesorias suelen observarse delgadas pátinas de óxidos de hierro que separan a los distintos pulsos de mineralización.

Daphne (código "B3" - 37°46'37"S-70°11'25"O): Su explotación se llevó a cabo por medio de un pique y galerías subterráneas

inaccesibles para el estudio de la mineralización *in situ*. No obstante, en sus escombreras se encontraron restos de agregados de baritina de largos inferiores a los tres milímetros. Dado el deteriorado estado de esta labor, no resultó posible obtener ejemplares representativos de su paragénesis original.

José Alejandro (código "B5" - 37°47'25"S-70°11'08"O): Junto con la labor El Rata, esta manifestación es la más importante del área de estudio. Son vetas de orientación N10°O explotadas mediante galerías de igual dirección. Dichas galerías forman

tres niveles topográficos que se extienden por decenas de metros de largo con anchos que, por sectores, alcanzan más de cuatro metros. Los sulfatos se concentran en el cemento de una brecha de 50 centímetros de ancho de contactos poco definidos con la caja que la contienen (Fig. 3e). En estos casos la mineralogía se compone principalmente de cristales de baritina de largos inferiores al milímetro seguidos de calcita de similar tamaño. No obstante, es importante remarcar que, el avanzado estado de explotación de esta estructura impide descartar hábitos y texturas prima-

rias de mayor granulometría en el espacio que actualmente se encuentran galerías, lo cual permitiría justificar la envergadura de las labores realizadas.

Cerro Picú (código "B8" - 37°45'46"S-70°15'18"O): Estos depósitos consisten en dos trincheras de labores poco profundas en las que no se encontró mineralización *in situ*. Los remanentes observados se componen principalmente de agregados de calcita cuyos cristales alcanzan tamaños superiores a un centímetro con formas romboédrica o/y escalenoédrica. Le siguen en abundancia agregados de cristales de baritina de largos inferiores a tres milímetros. Las muestras observadas también exhiben finas venillas y pátinas de limonitas entre los pulsos de mineralización.

El Viejo Segundo (código "B7" - 37°46'01"S-70°15'05"O): Si bien esta manifestación presenta grandes escombreras asociadas a su explotación, el acceso a las labores se halla obstruido. Los minerales extraídos de los alrededores evidencian cantidades importantes de baritina en agregados de cristales de hasta dos centímetros de largo. En similares proporciones se encuentran agregados de calcita pero en este caso los cristales no superan los cinco milímetros de largo. En algunas muestras los carbonatos desarrollan hábitos estalactíticos de diámetros próximos al centímetro (Fig. 3g).

Cerro León (código "B6" - 37°47'15"S-70°14'16"O): Estos depósitos fueron escasamente explotados en forma de trinchera de dos metros de profundidad y anchos de aproximadamente un metro. La mineralización consiste en un horizonte de 80 centímetros de ancho en el que se observan venillas de baritina de hasta 12 centímetros de espesor que se disponen en forma subparalela siguiendo la estratificación de la roca que las contiene (Fig. 3h). Su mineralogía se compone exclusivamente de agregados de baritina cuyos tamaños rara vez superan los cuatro milímetros. Los análisis mineralógicos realizados demostraron no sólo la ausencia de otras especies minerales sino también la composición pura de la baritina, puesto que el Sr no fue siquiera detectado mediante fluorescencia de rayos X (Mateo Fernández Caso 2011).

Si bien las ocho labores encontradas no poseen las mismas texturas y no todas preservan remanentes suficientes de su mineralización, resulta evidente que fueron consecuencia del mismo proceso puesto que todas ellas se hallan hospedadas en el mismo nivel estratigráfico y sus paragénesis solo difieren en las especies accesorias. En base a diferencias texturales, Mateo Fernández Caso (2011) identificó cuatro pulsos de mineralización. No obstante, puesto que los dos primeros pulsos representan procesos locales de escasa envergadura se decidió integrarlos y dividir la secuencia en tres pulsos según muestra la figura 4b. El primero fue el responsable del reemplazo pseudomórfico de las oolitas de la roca de caja por baritina y del relleno de pequeñas cavidades por agregados esferulíticos de baritina. Estos procesos de reemplazo y relleno solo se observaron en las labores de las minas Daphne y El Rata acotados a los primeros centímetros del contacto entre la mineralización y la roca que la hospeda. El fin de este primer pulso se reconoce fácilmente por la presencia de delgadas pátinas de óxidos de hierro. Le sigue un segundo pulso representado principalmente en las labores de las minas Cerro León y José Alejandro que se caracteriza por la precipitación de agregados microcristalinos de baritina que rellenan venillas distribuidas homogéneamente en toda la roca de caja, a veces con texturas de formas concéntricas. Durante este pulso no se encontraron otras especies minerales y la baritina nunca desarrolló tamaños mayores a los tres milímetros. Por último, el tercer pulso generó el volumen más importante de sulfatos y es, al mismo tiempo, el de mayor extensión puesto que se reconoce en la mayoría de las labores (Fig. 4a,b). Este tercer pulso consiste en la precipitación recurrente de agregados de calcita, agregados de baritina y óxidos de hierro, de los cuales la primera generación de calcita y los agregados de baritina (tanto tabular como microcristalina) representan más del 90% del volumen de la mineralización relevada en el área de estudio. Por lo tanto, consideramos que estos agregados son los que mejor reflejan las condiciones en

las cuales se formaron estos depósitos.

INCLUSIONES FLUIDAS

El estudio de inclusiones fluidas se realizó exclusivamente en la baritina que representa (según lo previamente explicado) el último y más importante pulso de precipitación (Fig. 4b). Si bien este evento afectó a toda el área de estudio, los agregados con cristales superiores al milímetro y con escasas impurezas se encontraron en las labores El Rata (B1), Estaca Minera (B2), La Rezongona (B4) y El Viejo Segundo (B7).

Pese a la cuidadosa selección de los individuos, la observación microscópica resultó harto difícil dada la escasa hialinidad provocada por imperfecciones estructurales y/o inclusiones mecánicas. La mayoría de los cristales de baritina presentan períodos con distinto grado de cristalización que se traducen en zonas de crecimiento hialinas y zonas de crecimiento oscuras de espesores inferiores al milímetro (Fig. 5a-d). Dada esta característica, las esquirlas aptas para la observación microscópica fueron aquellas de espesores inferiores a los 500 μm y superficies de 2 a 6 milímetros cuadrados. Para obtener un número representativo de inclusiones fue necesario observar más de 350 esquirlas de las cuales aproximadamente el 30% poseen algún tipo de inclusiones fluidas y sólo en 58 cristales se encontraron inclusiones propicias para los análisis microtermométricos.

Petrografía de las inclusiones fluidas

Si bien la escasa variación mineralógica y la proximidad de las manifestaciones analizadas permitiría suponer condiciones relativamente constantes, las observaciones realizadas mediante microscopios de polarización evidenciaron varias familias de inclusiones. Sobre la base de las premisas establecidas por Roedder (1984), Van den Kerkhof y Hein (2001) y Goldstein (2003), se reconocieron cinco familias de inclusiones: tres de ellas coplanares y dos de inclusiones aisladas. Cabe destacar que la siguiente descripción fue elaborada excluyendo a todas aquellas

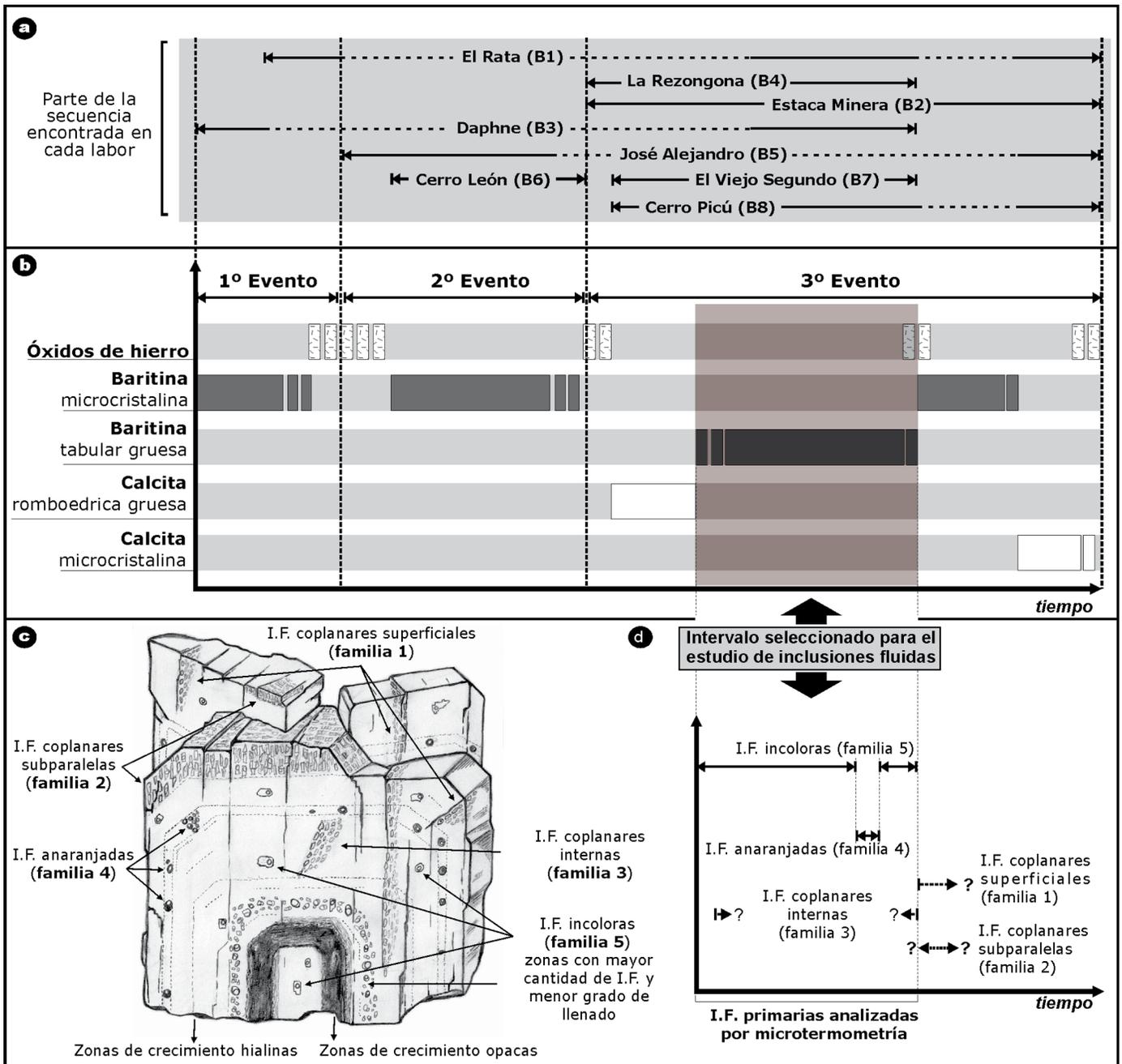


Figura 4: a) Fracción de la secuencia paragenética encontrada en cada labor; b) Secuencia paragenética integrada propuesta para las mineralizaciones de área de estudio (modificada de Mateo Fernández Caso 2011); c) Esquema de la distribución, abundancia y características de las familias de inclusiones fluidas en un esquirla de baritina; d) Cronología de las familias de inclusiones fluidas dentro de la secuencia paragenética integrada.

inclusiones cuyas formas y orientaciones no permitieron determinar su origen primario o secundario.

Familia 1- Inclusiones fluidas coplanares superficiales: Son el tipo más abundante de inclusiones y por lo tanto es frecuente encontrarlas junto a otras familias. Se disponen exclusivamente siguiendo planos de fractura que atraviesan a los cristales desde

la superficie hacia el centro (Fig. 4c; Fig. 5e,f). Poseen formas de cristal negativo o formas irregulares que en ocasiones evidencian procesos de estrangulamiento. Sus tamaños varían entre 3 y 5 micrones. Si bien son predominantemente monofásicas, cuando las cavidades alcanzan mayor tamaño, puede reconocerse una fase vapor cuyo volumen no supera el 10% de

dicha cavidad (Fig. 5e,f). Esta familia se reconoce por su disposición, sus formas, sus reducidos tamaños y su predominante carácter monofásico. Dada su disposición a lo largo de planos de fracturas que alcanzan los bordes de los cristales, se la interpreta como de origen secundario.

Familia 2- Inclusiones fluidas coplanares subparalelas: Representan una familia parti-

cular que sólo se encontró en escasas esquiras (Fig. 4c; Fig. 5g-h). Se caracterizan por su morfología elongada, sus tamaños de hasta 100 μm y su distribución en forma subparalela dentro de zonas de crecimiento periféricas de los cristales. Además de su particular geometría y disposición, se reconocen por presentar una importante variación en los grados de llenado ($V_{\text{liquido}}/V_{\text{total}}$) que varían entre 100 y 50 %. Dada su escasa ocurrencia, se las considera el resultado de procesos locales que no representan las condiciones generales imperantes durante la cristalización del pulso de baritina estudiado.

Familia 3- Inclusiones fluidas coplanares internas: En escasas esquiras pudieron reconocerse planos de inclusiones que se interrumpen antes de alcanzar los bordes de los cristales (Fig. 4c; Fig. 5i). Se trata de inclusiones con formas regulares y tamaños que promedian los 10 micrones. Presentan carácter bifásico donde la fase líquida representa aproximadamente el 80 % del volumen de la cavidad. Sus formas regulares, sus grados de llenado homogéneos y su disposición siguiendo planos de fractura internos sugieren un carácter pseudosecundario. Por esta razón, esta familia se considera representativa de las condiciones de cristalización que de sean determinarse. No obstante, su escasa cantidad y la dificultad que presenta su identificación no permitieron incluirlas en las mediciones microtermométricas.

Familia 4- Inclusiones fluidas bifásicas anaranjadas: Estas inclusiones se encuentran distribuidas a lo largo de zonas de crecimiento acotadas que, por lo general, están próximas a los bordes de las esquiras (Fig. 4c; Fig. 5j). Solo en una muestra se las observó alineadas siguiendo planos de fracturas internos. Se trata de inclusiones con formas redondeadas que se caracterizan por el color anaranjado de la fase líquida (Fig. 5k-n). Sus tamaños varían, sin definir una moda, entre 5 y 15 micrones. Presentan una fase líquida y una fase vapor que si bien en algunos casos ocupa aproximadamente un 40% del volumen de la inclusión, en otros su tamaño es casi imperceptible (grado de llenado promedio 77%).

Puesto que las tonalidades anaranjadas en las inclusiones fluidas en general se deben a la presencia de hidrocarburos, esta familia de inclusiones fue excitada con luz ultravioleta para observar su comportamiento. Como se observa en las figuras 5 o-q, todas las inclusiones de este tipo fluorecieron intensamente al incidir sobre ellas luz con longitudes de onda inferiores a los 470 nanómetros (Burrus 1981, 2003). La fluorescencia no solo evidenció la presencia de hidrocarburos dentro de las cavidades sino que además permitió confirmar que esta familia de inclusiones se limita a restringidas zonas de crecimiento (Fig. 5o). Todas las observaciones realizadas sobre diferentes esquiras mostraron el mismo patrón de distribución lo cual nos permite inferir que la presencia de hidrocarburos en las soluciones primarias debió ser un evento anómalo, errático y de corta duración en la historia de estas manifestaciones.

Familia 5- Inclusiones fluidas bifásicas incolores: Estas inclusiones se encuentran distribuidas en forma aleatoria dentro de los cristales y su abundancia varía entre sectores donde se encuentran aisladas (Fig. 4c; Fig. 5r) y otros donde su frecuencia es tal que restan hialinidad a los cristales (Fig. 4c; Fig. 5s-u). Son inclusiones que, a excepción de escasos ejemplares, presentan formas regulares con tamaños de 16 μm en promedio (Fig. 5r-y). Están compuestas por una fase líquida y una fase vapor. Resulta importante destacar que si bien el grado de llenado promedio es de 68 %, la proporción que ocupa la fase vapor ocasionalmente varía entre el 10 y el 80 % del volumen total de las cavidades. Cuando la fase vapor predomina sobre la fase líquida, las inclusiones tienden a morfologías regulares, sus tamaños rara vez superan los 10 micrones y aumenta el número de inclusiones por unidad de área (Fig. 5w-y). Por el contrario, las inclusiones en las cuales predomina la fase líquida se hallan aisladas en las zonas más hialinas de los cristales, su cantidad por unidad de área es menor y sus tamaños alcanzan los 15 micrones (Fig. 5r,v).

Dada la distribución aleatoria de esta familia de inclusiones dentro los cristales,

sus formas regulares y su presencia en casi todas las manifestaciones se la considera de origen primario.

A partir del estudio petrográfico se puede complementar la secuencia paragenética integrando a las familias de inclusiones (Fig. 4d). Puesto que la familia de inclusiones secundarias contiene fluidos cuyo origen es posterior a la cristalización de baritina, la misma no fue considerada para los análisis microtermométricos (Fig. 4d). Respecto de la familia de inclusiones subparalelas (familia 2), su disposición sobre los contornos de los cristales no permitió precisar si fueron generadas a partir de procesos de disolución y recristalización o a condiciones primarias de crecimiento. No obstante, dado su carácter local consideramos que no representan condiciones generales del área de estudio y por lo tanto se analizó microtermométricamente un reducido número de ellas solo a fines comparativos.

Las dos familias de inclusiones aisladas contienen pequeños volúmenes de los fluidos que intervinieron durante la cristalización de los sulfatos estudiados (Fig. 4d). Entre estas familias las inclusiones anaranjadas representan un pulso de duración restringida que fue precedido y seguido de períodos de crecimiento normales (Fig. 4c). Finalmente las inclusiones que integran la familia 5, dada su distribución en casi todas las etapas de crecimiento de los cristales, son consideradas como las más representativas de las condiciones mayormente imperantes durante el pulso de cristalización estudiado (Fig. 4c).

El precedente estudio petrográfico de inclusiones fluidas evidencia, por un lado, que las condiciones de cristalización del pulso de baritina variaron durante el tiempo que este transcurrió y, por el otro, que los cristales sufrieron procesos sobreimpuestos que generaron fracturas donde se formaron trenes de inclusiones fluidas secundarias.

Microtermometría

Sobre la base del estudio petrográfico de las inclusiones fluidas, la microtermometría se limitó al análisis de las dos familias de inclusiones primarias. Los valores ob-

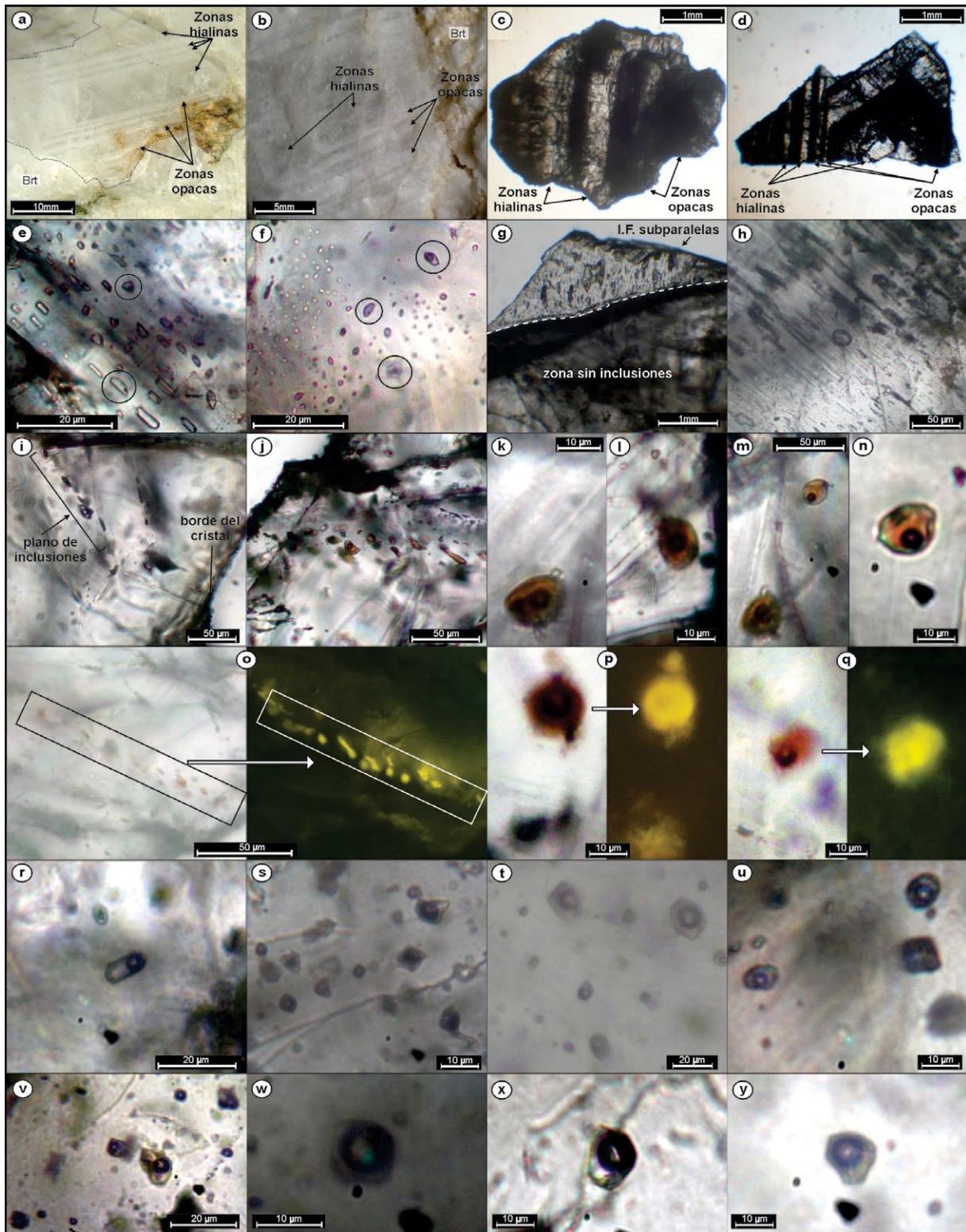


Figura 5: Petrografía de las inclusiones fluidas: a,b) Fotografía de cristales de baritina con zonación observada mediante lupa binocular; c,d) Zonación vista con microscopios de polarización; e,f) Alineaciones de inclusiones fluidas secundarias donde solo algunas poseen fase vapor (círculo) (familia 1); g,h) Inclusiones fluidas coplanares con disposición subparalela; i) Inclusiones fluidas pseudosecundarias; j) Alineaciones de inclusiones fluidas anaranjadas; k-n) Típicas inclusiones fluidas con hidrocarburos; o-q) inclusiones fluidas anaranjadas observadas bajo luz blanca y luz ultravioleta para provocar su fluorescencia; r) Típicas inclusiones fluidas incoloras aisladas; s) inclusiones fluidas incoloras en zonas con elevada densidad; t-y) Inclusiones fluidas incoloras de origen primario más representativas de las condiciones de cristalización.

tenidos y las características de las inclusiones medidas se compilaron en el cuadro 1.

Temperaturas de fusión: Es importante destacar que en la mayoría de las inclusiones (en particular las de tamaños menores a 15 μm) las fases no se solidificaron aún descendiendo la temperatura hasta -180°C y permaneciendo en esas condiciones por algunos minutos debido a la metaestabilidad de las fases (Roedder 1984, Davis *et al.* 1990). Las inclusiones con hidrocarburos (familia 4), pese a su mayor tamaño promedio, presentan mayor carácter metaestable puesto que ninguna de ellas se congeló durante las rutinas de enfriamiento. Por el contrario, las inclusiones incoloras (con baja o nula cantidad de hidrocarburos, familias 2 y 5) mostraron una relación directa entre el carácter metaestable y el tamaño de las mismas; hecho que sustenta el comportamiento descrito por Roedder (1984). Solo en 15 inclusiones se logró congelar las fases líquidas y determinar consecuentemente temperaturas de fusión (Cuadro 1). Las escasas temperaturas en las cuales se reconoció el primer fundido (posible temperatura de eutéctico, Te) muestran una distribución errática (Fig. 6a). Este patrón se debe a la imposibilidad de identificar en forma precisa la primera fase líquida en inclusiones de dimensiones reducidas y al carácter metaestable propio del sistema. Por iguales razones, el método de enfriamiento secuencial propuesto por Haynes (1985) tampoco pudo aplicarse para corroborar los valores obtenidos. Por lo tanto, las temperaturas observadas, lejos de representar el punto eutéctico, solo evidencian que el sistema está compuesto por más de un componente: agua con una o más sales disueltas. Respecto de las temperaturas en las que fundieron las fases sólidas (T_{mi} o T_{mh}: temperatura de fusión del hielo y temperatura de fusión de hidratos respectivamente), si bien el escaso número de medidas impide su análisis estadístico, los resultados obtenidos sugieren una concentración hacia temperaturas de -23°C y otra en temperaturas mayores a -6°C (Fig. 6b). A este respecto se puede inferir que la primera de ellas puede correspon-

CUADRO 1: Características de las inclusiones analizadas y resultados obtenidos por microtermometría.

Manif.	Te	Tm	Th	D.	G.	Flia.	Manif.	Te	Tm	Th	D.	G.	Flia.
B1	me.	me.	>345	11	70	5	B2	me.	me.	407	9	40	5
B1	-62	-24	113	13	85	5	B2	me.	me.	>432	10	40	5
B1	-24	-5	363	20	95	5	B2	me.	me.	86	9	85	4
B1	-51	-26	>377	8	90	5	B2	me.	me.	87	9	80	4
B1	-57	-28	>377	12	90	5	B2	me.	me.	208	13	70	4
B1	me.	me.	301	8	75	5	B2	me.	me.	205	12	80	4
B1	me.	me.	>427	22	70	5	B2	me.	me.	214	20	70	4
B1	me.	me.	344	9	75	5	B2	me.	me.	216	14	75	4
B1	me.	me.	>441	9	50	5	B2	me.	me.	>280	10	60	4
B1	me.	me.	296	13	90	4	B2	me.	me.	224	12	75	4
B1	me.	me.	407	18	80	5	B2	me.	me.	75	14	80	5
B1	?	me.	156	24	90	4	B2	me.	me.	206	36	70	4
B1	?	?	192	8	90	4	B2	me.	me.	241	18	80	5
B1	me.	?	347	7	85	5	B2	me.	me.	73	18	85	4
B1	me.	me.	>340	14	60	5	B2	me.	me.	241	9	70	4
B1	me.	me.	305	16	70	5	B2	me.	me.	261	14	70	4
B1	me.	me.	>385	12	50	5	B2	-36	-0.3	246	13	70	5
B1	?	me.	>431	10	50	5	B2	me.	me.	308	36	70	5
B1	?	?	91	8	90	4	B2	me.	me.	83	13	80	4
B1	me.	?	122	8	90	4	B2	me.	me.	86	8	90	4
B1	me.	me.	202	12	75	4	B2	me.	me.	>391	18	70	5
B1	me.	me.	162	15	80	4	B7	me.	me.	104	27	85	5
B1	?	me.	175	13	80	4	B7	me.	me.	116	10	80	5
B1	me.	?	244	8	80	5	B7	me.	me.	178	12	80	5
B1	me.	me.	338	15	80	5	B7	me.	me.	142	15	70	5
B1	me.	me.	>391	12	50	5	B7	me.	me.	171	10	80	5
B1	me.	me.	462	22	85	5	B7	me.	me.	171	10	70	5
B1	?	me.	>470	10	60	5	B7	me.	me.	125	20	70	5
B4	me.	-24	117	22	90	5	B7	me.	me.	>446	31	40	5
B4	-24	me.	>360	81	60	2	B7	?	?	302	5	40	5
B4	-23	-4	>305	23	50	2	B7	me.	me.	395	10	50	5
B4	-21	?	>305	36	50	2	B7	me.	me.	>451	10	20	5
B4	me.	-5	>305	13	50	2	B7	me.	me.	84	10	75	5
B4	me.	me.	>397	45	70	2	B7	?	?	>341	8	40	5
B4	me.	me.	>397	45	50	2	B7	me.	me.	164	27	80	5
B4	-42	me.	>397	25	50	2	B7	me.	me.	>325	31	50	5
B4	?	-16	198	65	85	5	B7	me.	me.	381	14	60	5
B4	me.	?	>369	36	50	5	B7	me.	me.	411	13	60	5
B4	me.	me.	>430	9	60	5	B7	me.	me.	>421	14	60	5
B4	-26	me.	>430	10	60	5	B7	me.	me.	163	16	80	5
B4	-38	-23	308	40	90	5	B7	me.	me.	195	12	75	5
B4	me.	-26	>359	14	40	5	B7	?	?	198	8	75	5
B4	-35	me.	>359	8	60	5	B7	me.	me.	>434	11	40	5
B4	-68	-22	>413	45	70	5	B7	?	?	75	8	90	5
B4	-34	-27	332	12	80	5	B7	me.	me.	113	16	85	5
B4	me.	-23	106	16	90	5	B7	?	?	221	8	70	5
B4	me.	me.	>380	22	60	5	B7	me.	me.	>301	10	60	5
B4	me.	me.	>380	13	50	5	B7	me.	me.	187	24	70	4
B4	-31	me.	253	35	85	5	B7	me.	me.	151	16	75	4
B4	me.	-23	211	14	80	5	B7	me.	me.	186	20	65	4
B4	?	me.	306	13	80	5	B7	me.	me.	291	28	65	4
B4	?	?	301	27	80	5							
B4	?	?	371	8	60	5							
B4	?	?	>371	11	60	5							

El tamaño de cada inclusión está expresado en micrones y las temperaturas en grados centígrados. Abreviaturas: grado de llenado (G.); metaestabilidad de la inclusión (me.); no pudo observarse (?). Las temperaturas de homogeneización (Th) que son precedidas por el símbolo ">" expresan la temperatura a la cual el cristal de baritina decrepita.

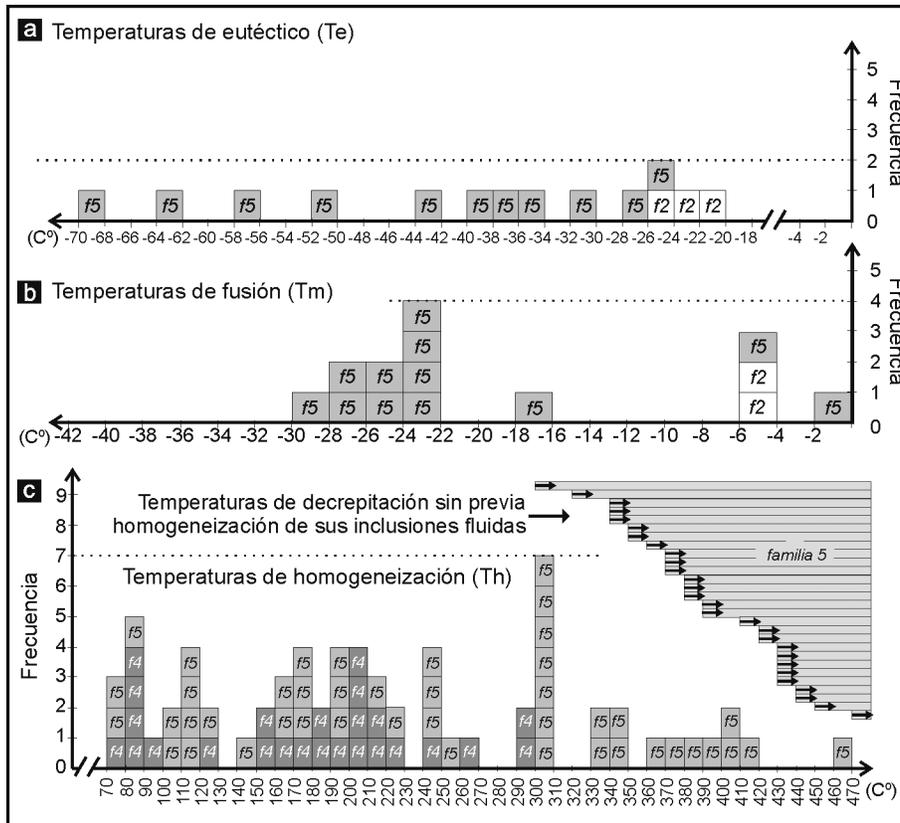


Figura 6: Histogramas de frecuencia de las temperaturas determinadas por microtermometría en inclusiones fluidas alojadas en baritina del principal pulso mineralizador. f_2 , f_4 y f_5 , dentro de cada recuadro, indican a que familia de inclusiones fluidas corresponde el dato.

der a la fusión de algún hidrato mientras que la segunda probablemente represente la fusión del último cristal de hielo. Puesto que este comportamiento puede corresponder a distintos tipos de soluciones compuestas por una o más sales disueltas en agua no es posible definir los componentes del sistema a partir de los resultados obtenidos (Roedder 1984, Bodnar 2003). Solo a fines comparativos y partiendo del supuesto de temperaturas de fusión del hielo inferiores a -6°C y un sistema compuesto por NaCl, la salinidad de la solución involucrada no superaría el 9% en peso equiv. de NaCl (Bodnar y Vitky 1994, Belkin 1994, Bodnar 2003).

Temperaturas de homogeneización y decrepitación (T_h , T_d): Como es frecuente, estas temperaturas muestran mayor dispersión debido a su variación por cualquier cambio de volumen que experimenten las cavidades. Para estas temperaturas solo se consideraron las familias 4 y 5 que representan inclusiones primarias. No obstante,

en el cuadro 1 puede observarse que todas las inclusiones de la familia 3 decrepitaron antes de homogeneizar. Por el contrario las inclusiones primarias (familias 4 y 5) que si homogeneizaron lo hicieron siempre a fase líquida. El histograma de la figura 6c permite observar que las inclusiones con hidrocarburos (familia 4) homogeneizaron a temperaturas inferiores a los 300°C . Esta característica es consistente con su menor proporción de fase vapor. Por otro lado, resulta importante notar que este pulso no define una moda marcada, lo cual (al igual que los distintos tonos de anaranjado) puede ser consecuencia de variaciones en la proporción de hidrocarburos que cada una contiene.

En cuanto a la familia de inclusiones primarias incoloras (familia 5), las temperaturas de homogeneización (T_h) obtenidas varían entre 70 y 420°C (Fig. 6c). Esta dispersión en los valores obtenidos puede parcialmente deberse a deformación post-entrapamiento que se condi-

ce con la variación en el grado de llenado (F) de esta familia. No obstante, debe notarse que las esquiras de baritina comienzan a decrepitar a partir de los 300°C y casi ninguna de ellas pudo calentarse a temperaturas superiores a los 400°C debido a la baja resistencia de esta especie a los cambios de volúmenes (Ulrich y Bodnar 1988). Las temperaturas indicadas con una flecha en la figura 6c corresponden a esquiras con inclusiones que decrepitaron antes de homogeneizar sus fases y por lo tanto indican temperaturas de homogeneización (T_h) superiores a las de decrepitación (T_d). Partiendo de esta premisa, resulta evidente que la mayoría de las inclusiones fluidas de esta familia poseen temperaturas de homogeneización por encima de los 300°C .

DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

La mineralización de baritina en la localidad de Chorriaca se caracteriza por sus texturas de rellenos, su homogénea composición mineralógica y su escasa expresión superficial. Esta última particularidad es uno de los principales inconvenientes que presenta el área donde la escasa o nula preservación de las estructuras y texturas originales se debe a la poca envergadura de la mineralización y el avanzado estado de explotación de las mismas. Esta situación dificulta la elaboración de una secuencia paragenética completa. Sin embargo, el análisis microtermométrico se limitó exclusivamente a las inclusiones fluidas alojadas en la baritina del pulso más representativo de cristalización que se observa en la mayoría de las manifestaciones del área de estudio. Por lo tanto, las interpretaciones y resultados obtenidos reflejan las condiciones mayormente imperantes en la comarca durante la precipitación de dichos sulfatos.

La mineralización de sulfatos de Ba y Sr que alberga la Cuenca Neuquina afecta gran parte de su columna estratigráfica comenzando por formaciones de edad jurásica (Formaciones Los Molles, Lotena, Tábanos y Auquilco) hasta alcanzar otras de edad cretácica (Formaciones Agrio y

Huitrín) (Brodtkorb *et al.* 1975, de Barrio *et al.* 2009, 2013, Del Blanco *et al.* 1992, Ramos y Brodtkorb 1990). En el área del anticlinal Chorriaca, todas las manifestaciones guardan una clara relación espacial con los bancos carbonáticos que constituyen resaltos topográficos. Sobre la base de sus características petrográficas, su asociación con bancos de pelitas y su relación estratigráfica con niveles de yeso de la formación Huitrín se los correlaciona con el Miembro Agua de la Mula, según fuera propuesto por Llambías y Malvicini (1978).

La gran cantidad de manifestaciones, la diversidad de rocas de caja, las distintas paragénesis, las diferentes texturas y las características geoquímicas de cada distrito dan prueba suficiente de una diversidad de procesos responsables de este tipo de mineralizaciones de Ba y Sr en el ámbito de la Cuenca Neuquina. Si bien la génesis de algunas manifestaciones es aún motivo de controversias, es de común acuerdo que algunas poseen claras evidencias de procesos de precipitación epigenética. Este último tipo de manifestaciones se caracterizan generalmente por las presencia de texturas de relleno y estructuras de tipo vetiforme que cortan en forma discordante a la estratificación de la roca de caja. Brodtkorb *et al.* (1975) describen dos mecanismos que pueden explicar estas concentraciones: a) yacimientos vetiformes epigenéticos formados por soluciones descendentes que disuelven bancos de sulfatos evaporíticos para reprecipitarlos en niveles inferiores y b) yacimientos mantiformes singenéticos con removilización epigenética sobrepuesta. Por otro lado, Hayase y Bengochea (1975) proponen un origen hidrotermal para nueve manifestaciones dadas las evidencias texturales y las temperaturas de homogeneización entre 131 y 176 °C. Esta última hipótesis fue sustentada años más tarde por Llambías y Malvicini (1978), Collao *et al.* (1997), Collao (1998) y de Barrio *et al.* (2013) quienes coinciden en correlacionar a la actividad hidrotermal con la actividad ígnea de la Formación Los Molles. Para las manifestaciones del área de estudio, dadas sus texturas de relleno, el tama-

ño de medio a grueso de los agregados, el predominio de estructuras discordantes en forma de venillas, las temperaturas de homogeneización por encima de los 300 °C y las evidencias de actividad magmática en el área, consideramos que deben incluirse dentro del conjunto de precipitados formados por actividad hidrotermal. No obstante, debemos destacar que en el área de estudio no existe otra evidencia para la vinculación entre el volcanismo de los alrededores del anticlinal de Chorriaca y la mineralización que la superposición espacial de ambos procesos (Mateo Fernández Caso 2011).

El estudio petrográfico de las inclusiones fluidas evidenció cinco familias de inclusiones distintas. Puesto que al menos dos de ellas son primarias resulta evidente que las soluciones responsables de la mineralización cambiaron con el tiempo. Las temperaturas de homogeneización evidencian un mínimo de dos estadios distintos durante el pulso de mineralización: uno de temperaturas superiores a los 300°C que sería el responsable de la cristalización del mayor volumen de baritina (familias 3 y 5) y otro de temperaturas menores (probablemente inferiores a 250 °C) que sería consecuencia de la interacción entre las soluciones hidrotermales y niveles portadores de hidrocarburos (familia 4). La ubicación de inclusiones con hidrocarburos restringida a delgadas zonas de crecimiento sugiere que dicha interacción fue solo temporal. Las distintas tonalidades y la amplia variación de las temperaturas de homogeneización de este período evidencian que la proporción de hidrocarburos aportado al sistema no fue la misma en toda el área de estudio. Sobre la base de esta hipótesis, el descenso de temperatura pudo ser proporcional a la cantidad de hidrocarburos incorporada por las soluciones hidrotermales. No obstante, las condiciones precisas de presión, temperatura y composición de este particular pulso requieren de estudios específicos sobre las inclusiones fluidas más allá de los objetivos de este trabajo. El resto de las inclusiones consideradas secundarias (familias 1 y 2) se generaron con posterioridad al crecimiento de los cristales y por lo tanto no

guardan vinculación alguna con la mineralización. El predominio de inclusiones monofásicas en la gran mayoría de estas familias sugiere que debieron formarse en condiciones similares a las condiciones superficiales de presión y temperatura.

Collao *et al.* (1997) reconocieron en cristales de baritina de los distritos Arroyo Nuevo y Loncopué dos familias de inclusiones primarias: unas ricas en fase líquida y otras en fase vapor que interpretaron como variaciones debidas a procesos de ebullición. Estas inclusiones les permitieron definir salinidades entre el 1 y el 23 % en peso equiv. de NaCl y temperaturas de homogeneización entre 126 y 406 °C. Es importante recalcar que, según las descripciones petrográficas, estas inclusiones son muy similares a las inclusiones primarias incoloras (familia 5) de este trabajo, solo que en el área de estudio la variación continua de los grados de llenado no permite realizar la misma discriminación. Esta correlación se sustenta además con el rango de temperaturas obtenidas. Por otro lado, Hayase y Bengochea (1975) también obtuvieron temperaturas de homogeneización pero en el intervalo de 119 a 187 °C en baritinas y celestinas de cinco distritos (Mallín Quemado, Bajada del Agrio, Chorriaca, Colipilli y Curamallín). Años más tarde, Collao (1998) complementó los datos previos con mediciones realizadas sobre celestinas y cuarzos de distintas localidades (Mina Clementina, Sapag, Candelaria y Cerro Partido) obteniendo temperaturas de homogeneización de 323, 276, 268 y 205 °C y salinidades de 7,6 5,9 2,7 y 3,6 % en peso equiv. de NaCl, respectivamente. No obstante, la falta de secuencias paragenéticas que especifiquen los pulsos estudiados y la falta de descripciones petrográficas sobre las inclusiones medidas en estos últimos dos trabajos impiden cualquier posible comparación con los datos aquí obtenidos. Sobre la base de los resultados presentados y las hipótesis asumidas se propone el siguiente esquema evolutivo para las manifestaciones estudiadas: 1) El primer evento de deformación compresiva que afectó al área de estudio comenzó en el Cretácico tardío (Zamora Valcarce *et al.* 2006,

2007) previo a la actividad magmática que se desarrolló desde ese entonces hasta comienzos del Eoceno (Grupo Naunauco y Diques de Colipilli respectivamente; Zamora Valcarce *et al.* 2006, Llambías y Malvicini 1978, Mateo Fernández Caso *et al.* 2011). Sobre la base de esta premisa, las soluciones hidrotermales asociadas a dicho magmatismo pudieron ascender aprovechando la mayor permeabilidad que generaron las estructuras menores asociadas al plegamiento. 2) Durante el mencionado ascenso los fluidos debieron desestabilizarse al alcanzar el primer horizonte de carbonatos. Este control litológico resulta evidente debido a las texturas de disolución que se observan tanto en el área de estudio como en otros distritos (Brodtkorb *et al.* 1975, Llambías y Mailvicini 1978, Escobar *et al.* 2013, entre otros) así como por la ausencia de precipitados en las litologías supra o subyacentes del Miembro Agua de la Mula. 3) Sobre la base de estos supuestos la mineralización se encontraría en la intersección entre estructuras menores relacionadas a la formación del anticlinal Chorriaca y los bancos de carbonatos del Miembro Agua de la Mula. Esta hipótesis permite explicar por qué las labores encontradas se hallan sobre el mismo horizonte estratigráfico pero separadas unas de otras en forma inhomogénea. Este control litoestratigráfico sumado a otro de tipo estructural para la mineralización fue también propuesto para el Grupo Continental por Escobar *et al.* (2013). 4) La deformación que afectó al área mientras se desarrollaba la actividad hidrotermal pudo condicionar la circulación de los fluidos generando cambios en las condiciones de cristalización que hoy se reflejan en los distintos pulsos que componen la secuencia paragenética. 5) Durante el desarrollo del proceso hidrotermal las soluciones ascendentes se mezclaron temporalmente con formaciones portadoras de hidrocarburos generando un descenso de sus temperaturas y la incorporación de bajas proporciones de compuestos orgánicos que hoy se preservan en las inclusiones fluidas de la familia 4. No obstante, dicha variación de temperatura no afectó sustancialmente

la precipitación de sulfatos. 6) Finalizada la actividad magmática durante el Eoceno (Mateo Fernández Caso *et al.* 2011) las soluciones hidrotermales mermaron paulatinamente su actividad y cesó el proceso de mineralización en el área. Desde el Mioceno medio hasta el Plioceno, un segundo período de deformación generó el levantamiento de la sierra de Chorriaca y su posterior erosión hasta su morfología actual (Zamora Valcarce *et al.* 2006, 2007). Durante este proceso de deformación la mineralización debió sufrir pequeñas fracturas que fueron rellenas por procesos de disolución y recristalización mediante soluciones descendentes de baja temperatura que formaron a las inclusiones fluidas secundarias.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo debe su realización al financiamiento otorgado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas a través del subsidio PIP 114-201001-00011 y a los medios brindados por el Departamento de Ciencias Geológicas de la Universidad de Buenos Aires y el Instituto IGEBA. En particular debemos un agradecimiento a la Lic. Jazmín Shencman y al Dr. Oscar Limarino gracias a quienes pudimos realizar los estudios de fluorescencia. Debemos un especial agradecimiento a las Dras. Teresita Montenegro y Marta Franchini gracias a cuyas observaciones pudimos mejorar sustancialmente la versión original de este trabajo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Belkin, H.E. 1994. Microthermometric investigations: Th and Tmi. Practical and Theoretical aspects. En: De Vivo B. y Frezzotti M.L. (Ed.). Fluid Inclusions in Minerals: Methods and Applications. Short Course of the Working Group (IMA) "Inclusions in Minerals" 7-23, Viena.
- Bodnar, R.J. 2003. Introduction to aqueous-electrolyte fluid inclusions. En: Samson I., Anderson A. y Marshall D. (Ed.). Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation. Capítulo 4: 81-100, Ontario.
- Bodnar, R.J. y Vityk, M.O. 1994. Interpretation of

microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions. En: De Vivo B. y Frezzotti M.L. (Ed.). Fluid Inclusions in Minerals: Methods and Applications. Short Course of the Working Group (IMA) "Inclusions in Minerals" 117-130, Viena.

- Brodtkorb, M.K., Ramos, V.A. y Ametrano, S.J. 1975. Los yacimientos estratoligados de celestina y baritina de la Formación Huitrín y su origen evaporítico. Provincia del Neuquén. Argentina. 2º Congreso Iberoamericano de Geología Económica 2:143-167.
- Burrus, R.C. 1981. Hydrocarbon fluid inclusions in studies of sedimentary diagenesis. En: Hollister L.S. y Crawford M.L. (Ed.). Short course in fluid inclusions: applications to petrology. Capítulo 6: 138-156, Siena.
- Burrus, R.C. 2003. Petroleum fluid inclusions, an introduction. En: Samson I., Anderson A. y Marshall D. (Ed.). Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation. Capítulo 6: 159-174, Ontario.
- Collao, S., Brodtkorb M.K. de y Etcheverry R. 1997. Inclusiones fluidas en baritas recristalizadas de los yacimientos de la provincia de Neuquén, Argentina. 8º Congreso Geológico Chileno 2: 901-905, Antofagasta.
- Collao, S. 1998. Inclusiones fluidas en celestinas de los yacimientos de la Formación Huitrín, Provincia de Neuquén, Argentina. 40º Congreso Brasileiro de Geología. Anales: 174, Belo Horizonte.
- Davis, D.W., Lowenstein, T.K. y Spender, R.J. 1990. Melting behavior of fluid inclusions in laboratory-grown halite crystals in the systems NaCl-H₂O, NaClKCl-H₂O, NaCl-MgCl₂-H₂O and NaClCaCl₂-H₂O. Geochimical et Cosmochimical Acta 54: 591-601.
- de Barrio, R.E., Del Blanco, M.A., García, M. y Martín-Izard, A. 2009. Estructuras estromatolíticas y su relación con las mineralizaciones de Ba-Sr emplazadas en la Formación Huitrín, Cuenca Neuquina. 9º Congreso de Geología Económica, Actas: 45-51, San Fernando del Valle de Catamarca.
- de Barrio, R.E., Etcheverry, R.O., Del Blanco, M.A., Domínguez, E.A., Recio Hernández, C., Escobar, R.I. y Salvioli, M.A., 2014. Nuevos datos y esquema genéticos de los depósitos barítico-celestínicos vinculados a la secuencia Jurásico-Cretácica de la Cuenca Neuquina en la provincia del Neuquén. Revista de la Asociación Geológica Argentina

- 71:184-200.
- Del Blanco, M.A., Brodtokorb, M.K. de, Hladiková J., Zak, K. y Barbieri, M. 1992. Composición isotópica de azufre y estroncio de depósitos de baritina y celestina relacionados a las formaciones Tábanos y Auquilco de la cuenca Neuquina y su interpretación. 4° Reunión Argentina de Sedimentología, Actas 2: 183-190, La Plata.
- Dígregorio, J.H. y Uliana, M.A. 1975. Plano geológico de la provincia del Neuquén, escala 1:500.000. 2° Congreso Iberoamericano de Geología Económica 4:69-93, Buenos Aires.
- Escobar, R.I., de Barrio, R.E., Etcheverry, R.O. y Recio Hernández, C. 2013. Características litoestratigráficas y geoquímicas de los depósitos Celesto-Baríticos del Grupo Continental, provincia del Neuquén. 10° Congreso Argentino de Geología Económica, Actas: 9-25, San Juan.
- Franzese, J., Spalletti, L., Gómez Pérez, I. y MacDonald, D. 2003. Tectonic and paleoenvironmental evolution of Mesozoic sedimentary basins along the Andes foothills of Argentina (32°-54°S). *Journal of South American Earth Sciences*, 16: 81-90.
- Goldstein, R.H. 2003. Petrographic analysis of fluid inclusions. En: Samson I., Anderson A. y Marshall D. (Ed.). *Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation*. Mineralogical Association of Canadá. Short Course 32, 2: 9-53, Quebec.
- Hayase, K. y Bengochea, A., 1975. Consideraciones sobre la génesis de algunos yacimientos de baritina-celestina, provincia de Neuquén, República Argentina. 2° Congreso Iberoamericano de Geología Económica 2: 295-314.
- Haynes, F. M. (1985). Determination of fluid inclusion compositions by sequential freezing. *Economic Geology* 80: 1436-1439.
- Howell, J.A., Schwarz, E., Spalletti, L.A. y Veiga, G.D. 2005. The Neuquén Basin: an overview. *Geological Society, London, Special Publications* 252: 1-14, Londres.
- Kretz, R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American mineralogist* 68: 277-279.
- Leanza, H.A., Marchese, H.G. y Riggi, J.C. 1978. Estratigrafía del Grupo Mendoza con especial referencia a la Formación Vaca Muerta entre los paralelos 35° y 40° l.s. Cuenca Neuquina-Mendocina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 32: 190-208.
- Leanza, H.A., Repol, D., Hugo y C.A., Sruoga, P. 2006. Hoja geológica 3769-31. Chorriaca (inédito), 9 p., Buenos Aires.
- Legarreta, L. 2002. Eventos de desecación en la Cuenca Neuquina: depósitos continentales y distribución de hidrocarburos. 5° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas en CD, 1-20. Mar del Plata.
- Legarreta, L. y Uliana, M.A. 1991. Jurassic/Cretaceous marine oscillations and geometry of a back-arc basin fill, central Argentine Andes. En: D.I.M. Mc Donald (Ed.), *Sedimentation, Tectonics and Eustasy*. I.A.S. Special Publication 12: 429-450, Gante.
- Legarreta, L. y Uliana, M.A. 1999. El Jurásico y Cretácico de la Cordillera Principal y la cuenca Neuquina. En: Caminos, R. (Ed.) *Geología Argentina*. SEGEMAR 29: 339-432, Buenos Aires.
- Llambías, E.J. y Malvicini, L. 1978. Geología, petrología y metalogénesis del área de Colipilli, provincia del Neuquén, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 33: 257-276.
- Llambías, E.J. y Aragón, E. 2011. Volcanismo Paleógeno. En: Leanza, H., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C. y Vallés, J. (Eds.) *Relatorio Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén*, 18° Congreso Geológico Argentino, Estratigrafía 23: 265-274.
- Mateo Fernández Caso, M.P. 2011. Geología del sector norte de la sierra de Chorriaca y estudio metalogénico de sus manifestaciones minerales, provincia del Neuquén. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires, (inédito), 135 p., Buenos Aires.
- Mateo Fernández Caso, M.P., Montero, D., Leal, P.R. y Ramos, A.V. 2011. Petrografía y geoquímica del magmatismo cretácico superior-eoceno en el área de Pichaihue, provincia de Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 68: 173-184.
- Ramos, V.A. 1998. Estructura del sector occidental de la faja plegada y corrida del Agrio, cuenca Neuquina, Argentina. 10° Congreso Latinoamericano de Geología, Actas 2: 105-110, Buenos Aires.
- Ramos, V.A. y Brodkorb, M.K. de 1990. The barite and celestite metallotects. En: Fontboté L., Amstutz G., Cardozo M., Cedillo E. y Frutos J. (Eds.) *Stratabound Ore Deposits in the Andes*. 8° Special Publication of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits, 2:5 99-613, Praga.
- Roedder, E. 1984. Fluid Inclusions. *Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy*, 12: 644 p.
- Spalletti, L., Franzese, J., Matheos, S. y Schwarz, E. 2000. Sequence stratigraphy of a tidally dominated carbonate-siliciclastic ramp; the Tithonian of the southern Neuquén Basin, Argentina. *Journal of the Geological Society* 157: 433-446.
- Ulrich, M.R. y Bodnar, R.J. 1988. Systematics of stretching of fluid inclusions II: barite at 1 ATM confining pressure. *Economic Geology* 83: 1037-1046.
- Van der Kerckhof, A.M. y Hein, U.F. 2001. Fluid Inclusion Petrography. *Lithos* 55:27-47.
- Vergani, G.D., Tankard, A.J., Belotti, H.J. y Welsink, H.J. 1995. Tectonic Evolution and Paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina. En: A.J. Tankard, R. Suárez Sorucco y H.J. Welsink (Eds.), *Petroleum Basins of South America* 62: 383-402, Tulsa.
- Zamora Valcarce, G. 2007. Estructura y cinemática de la Faja Plegada del Agrio, Cuenca Neuquina. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires (inédito), 291p., Buenos Aires.
- Zamora Valcarce, G., Zapata, T., del Pino, D. y Ansa, A. 2006. Structural evolution of the Agrio fold and thrust belt. En: S.M. Kay y V.A. Ramos (Eds.), *Evolution of an Andean margin: A tectonic and magmatic from the Andes to the Neuquén Basin (35°-39°S Lat)*. Geological Society of America. Special Paper. 407: 125-145, Virginia.
- Zamora Valcarce, G., Rapalini, A.E. y Spagnuolo, C.M. 2007. Reactivación de estructuras cretácicas durante la deformación Miocena, Faja Plegada del Agrio, Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 62: 299-308.
- Zapata, T.R. y Folguera, A. 2006. Tectonic evolution of the Andean Fold and Thrust Belt of the Southern Neuquén Basin, Argentina. En: G. Veiga, L. Spalletti, E. Schwarz y J. Howell (Eds.) *The Neuquén Basin: A case study in sequence stratigraphy and basin dynamics*. Geological Society of London. Special Publications 252: 37-56, Londres.

Recibido: 6 de enero, 2014

Aceptado: 7 de octubre, 2014