

# ESTUDIO MINERALÓGICO Y TEXTURAL DE LOS SULFUROS MASIVOS ENCAJADOS EN PIZARRAS NEGRAS DE LOS ANDES DE TIERRA DEL FUEGO (ARGENTINA)

C. BIEL<sup>(1)</sup>, I. SUBÍAS<sup>(1)</sup>, I. FANLO<sup>(1)</sup> Y R.D. ACEVEDO<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> *Cristalografía y Mineralogía. Universidad de Zaragoza, c/ Pedro Cerbuna, 12, 50009 Zaragoza (España)*

<sup>(2)</sup> *Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC). Ushuaia, Tierra del Fuego (República Argentina)*

## INTRODUCCIÓN

Está ampliamente aceptado que el control paragenético de los yacimientos minerales es fundamental para conocer la génesis de los mismos. En el caso concreto de los sulfuros masivos existe una cierta controversia entre el modelo SEDEX y el volcanogénico VMS en aquellos casos, cuyo ejemplo paradigmático sería la Faja Pirítica, en los que existe mineralización tanto en rocas volcánicas como en rocas detríticas, principalmente, pizarras negras. Este es el caso de los sulfuros masivos de los Andes Fueguinos por lo que se ha realizado un estudio mineralógico y textural de los sulfuros polimetálicos presentes en dos sectores de Tierra del Fuego: mina Beatriz y Arroyo Rojo.

El propósito de este trabajo es comparar los dos sectores anteriores que corresponden al estilo de depósito II, descrito por Acevedo et al. (2005) como lentes de sulfuros estratiformes encajados en pizarras negras; en concreto, en las facies de turbiditas clásicas (Olivero y Martinioni, 1996) de la Fm. Lemaire. La razón de seleccionar estas mineralizaciones radica en el hecho de que el conocimiento mineralógico y textural será un apoyo imprescindible en las siguientes etapas de nuestra investigación: geoquímica de las pizarras negras y geoquímica isotópica.

## CONTEXTO GEOLÓGICO

La geología de esta zona está íntimamente ligada a una serie de cambios tectónicos regionales ocurridos desde el Mesozoico en la parte más austral de América del Sur. La sucesión de regímenes tectónicos extensivo (Jurásico superior-Cretácico inferior), compresivo (Cretácico superior-Paleógeno) y transcurrente (Cenozoico) dio lugar a una serie sedimentaria representada en la zona de estudio por: 1) *Metamorfita Lapataia* (Paleozoico superior-Jurásico medio), formada por esquistos clorítico-sericíticos y biotíticos-grantíferos muy deformados, y anfibolitas (Olivero y Martinioni, 2001). Estauroлита, cianita y sillimanita indican el grado metamórfico más alto alcanzado. Hervé et al. (1981) interpretaron estas rocas como correspondientes a un prisma de acreción, posterior al Jurásico medio, en el margen Panthalásico de Gondwana; 2) *Formación Lemaire* (Jurásico superior) constituida por un complejo submarino volcánico-sedimentario

(Krank, 1932) que incluye rocas epiclásticas (turbiditas, conglomerados, chert y radiolarios negros, y calizas carbonáceas), rocas ácidas volcánicas y volcanoclásticas (lavas riolíticas, coladas piroclásticas, brechas, tobas, y lapilli acrecionado; porfirios quarcíticos subvolcánicos) y espilitas basálticas (Hanson y Wilson, 1991). Se presentan altamente deformadas y con una esquistosidad muy penetrativa que ha obliterado casi por completo la estratificación original en las facies de grano fino (Bruhn 1979, Olivero et al. 1996). La Fm. Lemaire está separada del basamento por una discordancia angular (Krank, 1932); 3) *Formación Yahgan* (Jurásico superior-Cretácico inferior) constituida por brechas y conglomerados; arenas, turbiditas arenosas y fangosas, tobas y calizas negras tobáceas, intruidas por rocas basálticas de afinidades toleíticas-calcoalcalinas y espilíticas. Al Norte del canal Beagle se han descrito tres facies principales dentro de esta formación a) calizas negras, turbiditas de grano fino y tobas, b) turbiditas clásicas y c) areniscas masivas a gradadas (Olivero y Martinioni, 1996). El contacto con la Fm. Lemaire es fundamentalmente tectónico, salvo en las zonas con menor deformación, como la subsuperficie de la cuenca Austral donde el contacto con materiales del cretácico inferior es una discordancia (Galeazzi 1998). Ambas formaciones constituyen depósitos de cuenca marginal.

## DESCRIPCIÓN DE LOS DEPÓSITOS

Los depósitos de sulfuros masivos estudiados se localizan dentro del Complejo Deformado de los Andes Fueguinos (Quartino *et al.*, 1989), y encajan en una serie volcano-sedimentaria (Fm. Lemaire o Tobífera) deformada y con características metamórficas de bajo grado.

Mina Beatriz es un depósito ubicado en las proximidades de la ciudad de Ushuaia, que ha sido explotado y estudiado con anterioridad (Zubía et al., 1989; Ametrano et al., 1996). Se trata de un depósito de morfología lenticular con un acentuado bandeo composicional, concordante con la esquistosidad del encajante (Zubía et al., *op. cit.*), que está constituido por lutitas a base y fangolitas metamorfizadas a techo de la Fm. Lemaire. Además del cuerpo de mena principal se distinguen niveles lenticulares piríticos estratiformes y venillas y vetas, correspondientes al

stockwork, encajados en la Fm. Lemaire (Ametrano y Paar, op. cit.). El cuerpo mineralizado tiene unas dimensiones aproximadas de 3 m de corrida, 1,20 m. de anchura y 0,60 m. de espesor, las lentes piríticas presentan un espesor de unos 15 m. y el stockwork puede alcanzar los 15 m de continuidad lateral con espesores variables entre 1 y 40 cm (Ametrano y Paar, op. cit.).

La importancia mineralógica del prospecto de Arroyo Rojo se empezó a conocer a partir de 1970, cuando varias compañías mineras se interesaron en la prospección de estos depósitos. La mineralización en esta zona aparece de forma masiva, en un cuerpo lenticular de 120 m. de largo y 10 m. de espesor máximo, subconcordante con la foliación y encajado en metariolitas y pizarras de la Fm. Lemaire. Aunque la mena masiva y de grano grueso está milonitizada, se observan bandeados y laminaciones que pueden interpretarse como primarias. Además, la mineralización está diseminada en el encajante tanto a techo como a muro. En este estudio se ha seleccionado el sondeo AR97-7 que corta lentes de sulfuros estratiformes encajadas en pizarras negras de la Fm. Lemaire.

## MINERALOGÍA Y PETROGRAFÍA

El estudio mineralógico y textural se ha realizado mediante microscopía óptica por luz reflejada. Con objeto de reconocer mejor las diferentes texturas de las menas, se llevó a cabo el ataque ácido de las superficies pulidas, usando diferentes ácidos en función del sulfuro a estudiar. Asimismo, se utilizó también la microscopía electrónica de barrido para completar el estudio textural. Los análisis químicos puntuales de los sulfuros se realizaron mediante una microsonda electrónica Cameca SX-50 en la Universidad de Barcelona.

La mineralogía en ambos depósitos está dominada por pirita, esfalerita, calcopirita y galena. La principal diferencia mineralógica entre los depósitos de mina Beatriz y Arroyo Rojo, es la presencia de cobaltita en la primera (Ametrano y Paar, 1996), mientras que en la segunda destaca la existencia de sulfosales de tipo fahlore (Acevedo *et al.* 2005), así como la ausencia de arsenopirita y pirrotita. Entre los minerales ganga destacan cuarzo, moscovita, clorita que, con frecuencia, se disponen en las sombras de presión de cristales euhedrales de pirita y, de forma minoritaria, calcita.

Las características morfológicas y texturales más destacadas de las muestras son la presencia en ambos depósitos de cristales de pirita de gran tamaño, mal formados y con numerosas fracturas, orientadas o aleatorias, rellenas de calcopirita, esfalerita y galena, y la existencia de cristales de tamaño inferior idiomorfos o subidiomorfos con ausencia de fracturas e inclusiones de otros minerales. En Mina Beatriz se observa pirrotita en cristales individuales, formando agregados, o transformándose en un agregado de marcasita y pirita con la textura «birds eye» característica (Fig. 1J). La esfalerita presenta abundantes inclusiones de calcopirita, conocidas como «*chalcopyrite disease*», y en menor medida de pirrotita. La arsenopirita aparece en cristales individuales idiomorfos, inmersos en la ganga. Además de estos minerales primarios, las muestras estudiadas contienen covellita como mineral de alteración de la calcopirita, y goethita, rellenando fracturas,

por alteración de pirita y arsenopirita, que en ocasiones son reemplazadas por completo dando lugar a pseudomorfos. La goethita presenta en algunas zonas agregados de cristales radiales, que dan lugar a su típica morfología botroidal. En Arroyo Rojo destaca la presencia de pirita frambooidal (Fig. 1I). La esfalerita y calcopirita aparecen de forma masiva, al igual que la galena que se encuentra relleno los huecos dejados por estas dos primeras.

Tras el ataque ácido de las superficies pulidas, se pueden distinguir dos grupos de texturas: primarias o de crecimiento y secundarias (de reemplazamiento y de deformación-metamorfismo). Dentro del primer grupo textural se observa pirita frambooidal que aparece de forma diseminada (Fig. 1I) así como maclas de crecimiento en esfalerita (Fig. 1F) que representan la precipitación primaria de sulfuros en el yacimiento. Según England y Ostwald (1993), los cristales diseminados de pirita euedral serían el estadio final de la evolución de la pirita frambooidal bajo condiciones diagenéticas. Sin embargo, en nuestro estudio no se han observado fases intermedias entre estos estados inicial y final, que sustenten esta teoría, aunque el ataque de las muestras ha permitido ver recrecimientos de pirita euedral sobre agregados framboidales, que corresponderían a la recristalización diagenética tardía descrita por estos autores. Durante el depósito hidrotermal y/o la diagénesis se produjo la obliteración de las texturas primarias, formando cristales idiomorfos de pirita de hasta 200 mm y texturas de reemplazamiento de pirrotita primaria por pirita secundaria, dando lugar a un agregado intermedio de pirita y marcasita con textura lamelar y «*birds eye*» (Fig. 1J). Se ha identificado la presencia de pirita secundaria en algunas zonas, pero la relación entre las diferentes poblaciones de pirita y este agregado no son claras, ya que sobre éste aparecen también cristales de pirita euedral, nítidos y bien formados. Estas texturas demuestran que tuvo lugar una fase regional de metamorfismo que afectó a la mineralización primaria, alcanzando una temperatura suficiente como para producir la transformación de marcasita a pirita. Asimismo, este proceso genera numerosos recrecimientos de pirita (Fig. 1C y D), así como la formación de cristales idiomorfos o subidiomorfos zonados en pirita y arsenopirita (Fig. 1G y H). Como texturas de deformación-metamorfismo se han reconocido uniones triples, dislocaciones, bordes de subgrano y granos indentados en cristales de pirita (Fig. 1A y B). En determinados cristales se observa una transición de fracturas cataclásticas a dislocaciones planares que definen contactos de subgrano y llegan a formar uniones triples a 120°, producto de la recristalización (Fig. 1A) y nos permite determinar la dirección de movimiento de las dislocaciones y consecuentemente la dirección de avance de la deformación. Asimismo, se ha reconocido un agregado de esfalerita con uniones triples y presencia de maclas de «*annealing*», caracterizadas por su alta densidad y poca anchura (Fig. 1E). En la figura 1F se observan maclas de crecimiento, más anchas y menos numerosas, en un agregado de esfalerita pero se aprecian evidencias de mecanismos de cataclasis como son las fracturas orientadas.

En relación con la composición de los sulfuros cabe comentar que la característica más llamativa es la ausencia de elementos traza en la mayor parte de los

sulfuros, consecuencia, quizá, del proceso de deformación- metamorfismo que ha sufrido el depósito, evidenciado por las estructuras y texturas cataclásticas y de recristalización ya comentadas. El estudio textural también es compatible con el hecho de que la esfalerita de Mina Beatriz, con «*chalcopyrite disease*», tiene un mayor contenido en Fe ( $5,4 \pm 3,6\%$ ,  $n=27$ ) que la

esfalerita procedente de Arroyo Rojo ( $2,6 \pm 0,5\%$ ,  $n=47$ ), carente de este tipo textural. Por otra parte, el hecho de que algunos minerales como arsenopirita y cobaltita se presenten zonados y con evidencias de recristalización, impide que su composición pueda utilizarse para obtener la temperatura de formación de los depósitos.

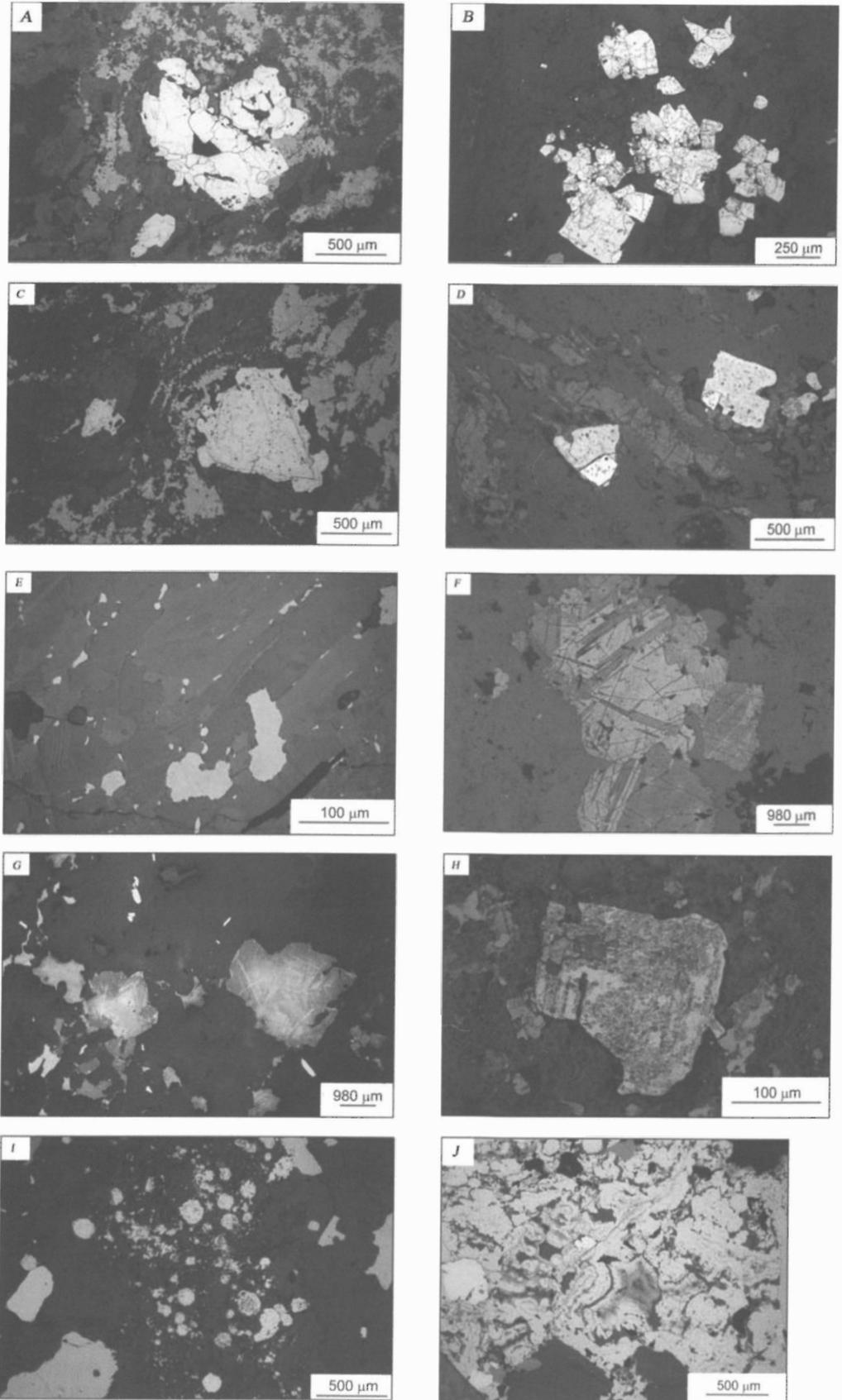


Figura1: (A) Dislocaciones, bordes de subgrano y uniones triples, consecuencia del metamorfismo, en un cristal de pirita de Mina Beatriz. (B) Mismas texturas de deformación en varios granos de pirita de Arroyo Rojo, y zonación de algún subgrano individual. (C) Recrecimiento en un cristal de pirita de Mina Beatriz. (D) Recrecimiento en un cristal de pirita de Arroyo Rojo. (E) Maclas de deformación en esfalerita de Mina Beatriz. (F) Maclas de crecimiento en esfalerita de Arroyo Rojo. (G) Cristales de Arsenopirita zonados inmersos en la ganga de una muestra de Mina Beatriz. (H) Cristal individual de pirita de Mina Beatriz con zonación. (I) Pirita framboidal en una muestra de Arroyo Rojo. (J) Agregado de pirita y marcasita, producto de la desestabilización de la pirrotita (textura de eye-bird), en una muestra de Mina Beatriz.

## CONCLUSIONES

En nuestro estudio se ha identificado la presencia de texturas de reemplazamiento así como texturas cataclásticas y de «annealing» que ponen de manifiesto que el metamorfismo regional de bajo grado que afectó a Tierra del Fuego, no alcanzó condiciones P-T suficientemente altas como para obliterar las estructuras y texturas primarias de los minerales. En este mismo contexto parece claro que la composición de los sulfuros sufrió durante este metamorfismo una homogeneización que originó que estos minerales tengan una fórmula prácticamente estequiométrica salvo en el caso de la esfalerita.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se ha financiado con el Proyecto CGL2004-05055/BTE de la DGES y por el Programa de Reconocimiento y Ayudas a Grupos de Investigación del Gobierno de Aragón («Grupos Consolidados 2005-2007»). CB es becaria del Programa F.P.U. (AP2005-0244).

## REFERENCIAS

Acevedo, R. D., Fanlo, I., Subías, I., Paniagua, A. y Buffone, D. E. (2005). Polymetallic VMS deposits of the Andes Fueguinos (Southernmost Argentina): Preliminary report. In: «Mineral Deposits Research:

Meeting the Global challenge», eds., Pekín, 599-602.  
 Ametrano, S. y Paar, W., (1996). 13º Congreso Geológico Argentino, Actas III; 159-172.  
 Ametrano, S., Etcheverry R., Echeveste H., Godeas M., Zubía M. (1999). Depósitos polimetálicos (tipo VMS) en la cordillera fueguina, Tierra del Fuego. In: «Recursos Minerales de la República Argentina», Zapettini, E.O. ed., Buenos Aires, pp 1029-1038.  
 England, B. M. y Ostwald, J., (1993). Ore Geology Reviews 7, 381-412.  
 Galeazzi, J.S. (1998). American Association of Petroleum Geologists Bulletin 82, 596-636.  
 Hanson, B.E. y Wilson, T.J. (1991). Geological Society of America, Special Paper 265, 13-27.  
 Hervé, F., Nelson, E., Kawashita, K. y Suárez, M. (1981), Earth and Planetary Science Letters 55, 257-265.  
 Krank, E.H. (1932). Acta Geográfica 4: 1-231.  
 Olivero, E.B. y Martinioni, D.R., (1996). 13º Congreso Geológico Argentino, Actas III; 2, 45-59.  
 Olivero E.B. y Martinioni, D.R., (2001). Journal of South American Earth Sciences 14: 175-188.  
 Quartino B.J., Acevedo R.D., Scalabrini Ortiz, J. (1989). Rev. Asociación Geológica Argentina 44: 328-335.  
 Zubía M., Godeas, M., Ametrano, S. (1989). Área mina Beatriz, Territorio Nacional del Tierra del Fuego, República Argentina: una manifestación de metales de base estratoligada y singenética. In: «Simposios sobre el Cretácico de América Latina IGCP 242», Brodtkorb, M. and Schalamuk, I. (eds.), pp C15-C44.