

# Evolución de los fluidos hidrotermales en la génesis de los sulfuros masivos de Aznalcóllar (Faja Pirítica Ibérica): evidencias a partir de inclusiones fluidas

*Hydrothermal fluid evolution during the genesis of the Aznalcóllar massive sulphides (Iberian Pyrite Belt): fluid inclusion evidences*

M. Toscano, R. Sáez y G.R. Almodóvar

Departamento de Geología. Universidad de Huelva. 21819 La Rábida (Huelva)

## ABSTRACT

*Fluid inclusion data from Aznalcóllar and Los Frailes stockworks indicate that hydrothermal fluids changed continuously in temperature and salinity, both in time and space. The values change from 140 to 380 °C and salinity from 0.4 to 12.4 NaCl eq. The highest values for both parameters have been found for central stockworks and later fluids. Statistic population analysis of fluid inclusion data points to three stages of hydrothermal activity, at low (<200 °C), intermediate (200-300 °C) and high temperatures (300-400 °C). Salinity values show similar variation trend with higher values for the last hydrothermal stage.*

**Key words:** Iberian Pyrite Belt, Aznalcóllar, Los Frailes, fluid inclusions, massive sulphide, hydrothermal alteration.

*Geogaceta, 21 (1997), 211-214  
ISSN: 0213683X*

## Introducción

El distrito minero de Aznalcóllar se encuentra en el extremo Sureste de la Faja Pirítica Ibérica (FPI), en la provincia de Sevilla (Fig. 1). En este área existen varios yacimientos de sulfuros masivos, de los cuales sólo Aznalcóllar y Los Frailes permanecen en explotación. Las mineralizaciones masivas son polimetálicas con predominio de estructuras bandeadas marcadas por la alternancia de bandas ricas en pirita y en esfalerita más galena. Las reservas totales superan los 130 Mt de sulfuros masivos, con unas leyes medias de 3.6 % Zn, 2 % Pb, 0.4 % Cu y 65 ppm de Ag. Además, una mineralización cuprífera aparece en las zonas de "stock-work" y muro de los sulfuros masivos. Dicha mineralización sólo se explota en el "stockwork" de Aznalcóllar, cuyas reservas originales fueron de 30 Mt con una ley media de 0.6% en Cu (Pons *et al.*, 1993).

Las mineralizaciones de sulfuros masivos están asociadas a pizarras negras que se localizan a techo de una secuencia piroclástica ácida perteneciente al primer episodio volcánico a escala regional (Sáez *et al.*, en prensa), y que conjuntamente constituyen la denominada «Serie

félsica inferior» (Fig. 1). Las rocas a techo de la mineralización son esencialmente rocas epiclásticas y dacitas porfídicas que están incluidas en la «Serie félsica superior» (Fig. 1). Las rocas volcánicas a muro de la mineralización, son tobas vítreo-cristalinas y aglomerados con cambios rápidos en el tamaño de grano, tanto vertical como lateralmente. Los componentes cristalinos son cuarzo, plagioclasa albitizada, biotita, rutilo y sericita. Los fragmentos vítreos son cloríticos y sericíticos y presentan vacuolas rellenas de cuarzo. Estas tobas también incluyen fragmentos líticos de composición dacítica.

Localmente las rocas del muro presentan una intensa alteración hidrotermal con mineralización asociada de tipo "stockwork", que representan las zonas de circulación focalizada del sistema hidrotermal. Se han distinguido dos zonas de alteración, una interna clorítica, cuya paragénesis consta de clorita chamosítica + cuarzo + pirita + calcopirita + rutilo + zircón ± siderita ± sericita ± esfalerita ± cobaltina, y una aureola externa sericítica, caracterizada por la presencia de sericita + cuarzo + rutilo + pirita + esfalerita ± clorita ± albita ± galena.

Todos estos materiales fueron afec-

tados por deformación y metamorfismo regional de grado muy bajo durante la orogenia hercínica. La tectónica local ha dado lugar a la imbricación de láminas y, como consecuencia de ello, es frecuente la superposición de zonas de "stockwork" sobre láminas de sulfuros masivos (Almodóvar *et al.*, en prensa).

## Petrografía y Microtermometría

El estudio de inclusiones fluidas se ha realizado en cuarzo de venas de los "stockworks" de Aznalcóllar y Los Frailes. Para ello, se han seleccionado inclusiones primarias de acuerdo con los criterios propuestos por Roedder (1984).

El estudio microtermométrico ha sido llevado a cabo con una platina LINKAM® TM-600. El número total de inclusiones medidas fue 775, que corresponden a ocho muestras (tres de Aznalcóllar y cinco de Los Frailes) de tres sectores diferentes del "stockwork": zona profunda, zona intermedia a superficial y zona periférica. En la mayoría de las muestras, se observan varias fases de mineralización sobreimpuesta (Almodóvar *et al.*, 1994). En todas ellas, las inclusiones

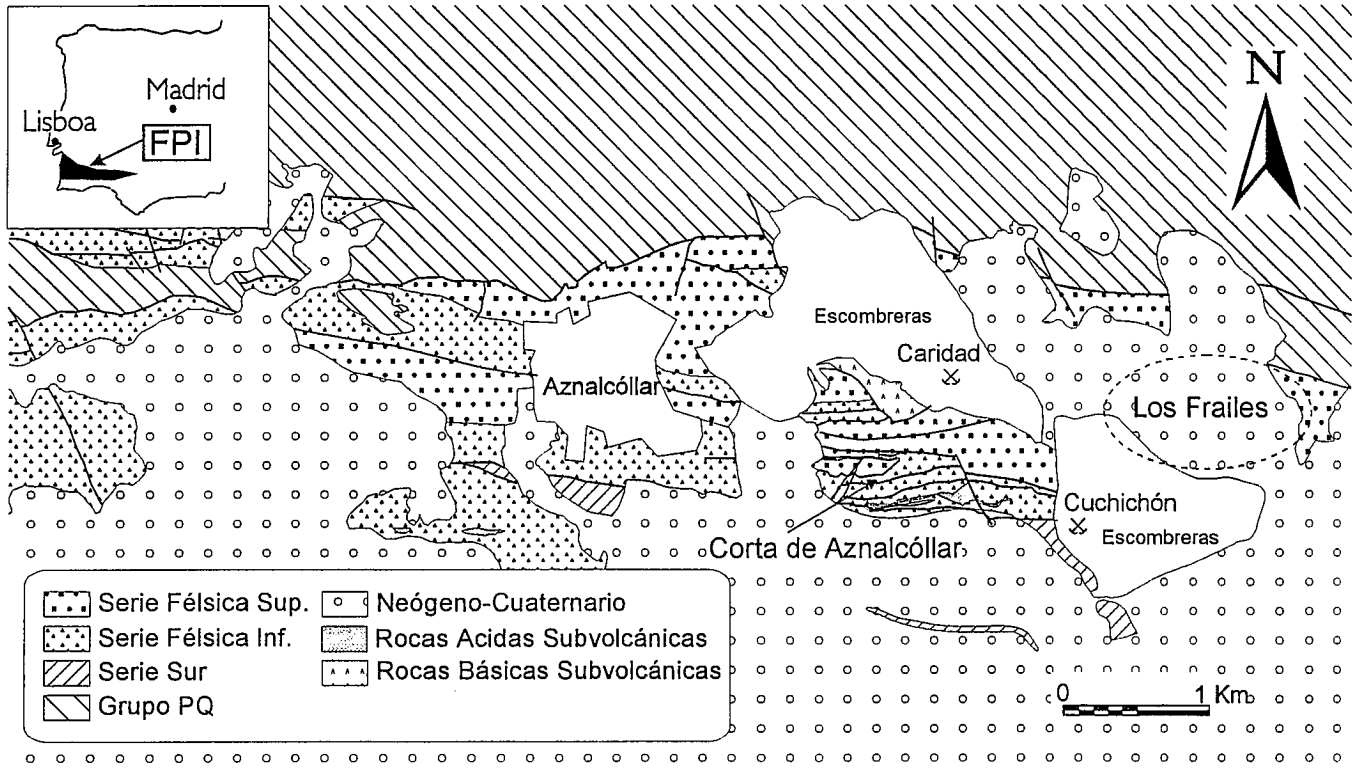


Fig. 1.- Mapa geológico del distrito de Aznalcóllar con la localización de las cortas de Aznalcóllar y Los Frailes (modificado de Almodóvar *et al.*, en prensa).

Fig. 1.- Geological map of the Aznalcóllar district with the location of the Aznalcóllar and Los Frailes open pits (modified from Almodóvar *et al.*, in press).

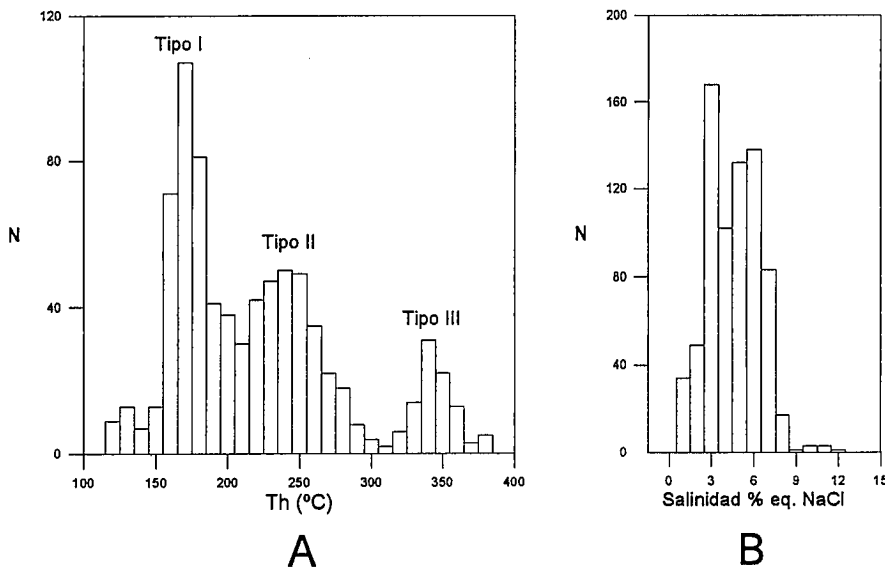


Fig. 2.- Histogramas de datos microtemométricos de la inclusiones fluidas: A) Th; B) salinidad (modificado de Almodóvar *et al.*, en prensa).

Fig. 2.- Histograms of microthermometric fluid inclusions data: A) Th; B) salinity (modified from Almodóvar *et al.*, in press).

muestran características texturales muy similares. La morfología general es elipsoidal y de tamaño pequeño (5-20  $\mu$ m). La mayoría son bifásicas (L+V)

con un índice de relleno comprendido entre 0.4 y 0.95. Localmente se han observado inclusiones trifásicas (L+S+V). Estas últimas no han sido

consideradas en la discusión posterior, ya que muestran evidencias de cambios post-captura.

En función de su posición relativa dentro de las venas de cuarzo y sus datos microtermométricos, las inclusiones fluidas estudiadas han sido clasificadas en tres tipos. En la figura 2 se representan los histogramas de Th y salinidad para los tres tipos determinados.

Las inclusiones del tipo I se encuentran esencialmente próximas a las salbandas de las venas de cuarzo, su temperatura de homogeneización (Th) está comprendida entre 139 y 214 °C, y su salinidad entre 0.4 y 7.2% eq. NaCl. El valor estadístico medio de la salinidad de estas inclusiones es de 3.8% eq. NaCl, próximo a la salinidad del agua marina (3.2% eq. NaCl).

Las inclusiones del tipo II, están localizadas en una posición intermedia de las venas, presentan Th entre 203 y 299°C, con un valor medio de 245°C, y una salinidad media próxima al 5% eq. NaCl (1.2 a 8.3% eq. NaCl). La aparición de clatratos durante el estudio microtermométrico, en algunas de estas inclusiones, pone de manifiesto la pre-

sencia de CO<sub>2</sub>.

Las inclusiones del tipo III son las más comunes en las zonas centrales de las venas. En la mayoría de los casos, son inclusiones aisladas que generalmente homogenizan a líquido. La Th varía entre 306 y 384 °C y la salinidad entre 4.3 y 12.4% eq. NaCl, con valores medios próximos al 6 % eq. NaCl.

**Discusión y Conclusiones**

Las salinidades y temperaturas obtenidas son similares a las que se conocen para depósitos vulcanosedimentarios de sulfuros masivos actuales y antiguos (Pisutha-Arnold and Ohmoto, 1983; Rona, 1984; Von Damn, 1990). Los sistemas actuales también se caracterizan por un amplio rango de variación en temperatura y salinidad (Fig. 3), en los que se suelen identificar (Herzig and Hannington, 1995) al menos dos asociaciones minerales, una de baja temperatura (< 300°C) y otra de alta (>300 °C). El fluido hidrotermal es esencialmente agua marina modificada, aunque en algunos casos también se ha propuesto la participación de fluidos meteóricos y magmáticos (Rona, 1984).

En función de los valores de salinidad obtenidos, los fluidos hidrotermales relacionados con la génesis de los yacimientos de Aznalcóllar se pueden interpretar como soluciones derivadas de agua marina. Esta interpretación es consistente con los datos de geoquímica isotópica de oxígeno e hidrógeno obtenidos para otros yacimientos de la FPI (Munhà *et al.*, 1986). El aumento de salinidad es consecuencia de un elevado grado de interacción con las rocas, que implica pérdida de agua e incremento de la proporción de solutos, durante reacciones de hidratación/hidrólisis. Las inclusiones menos salinas pueden ser explicadas en términos de dilución de agua marina con aguas

Fig. 4.- Diagrama de Th - salinidad. Nótese que cada población corresponde con una determinada posición en relación con la geometría original de las zonas de stockwork y de los sulfuros masivos (modificado de Almodóvar *et al.*, en prensa).

Fig. 4.- Fluid inclusion Th vs. salinity diagram. Note that each one of the fluid inclusion populations correspond to a roughly definite position with regard to the deduced original geometry of stockwork zones and sulphide masses (modified from Almodóvar *et al.*, in press).

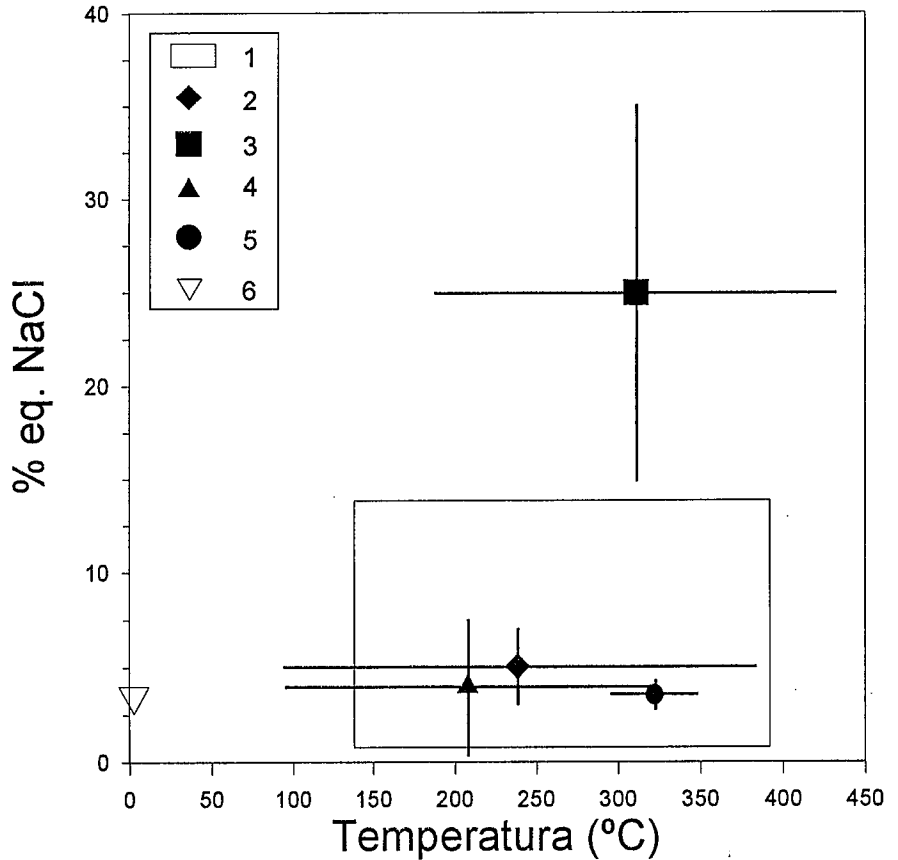
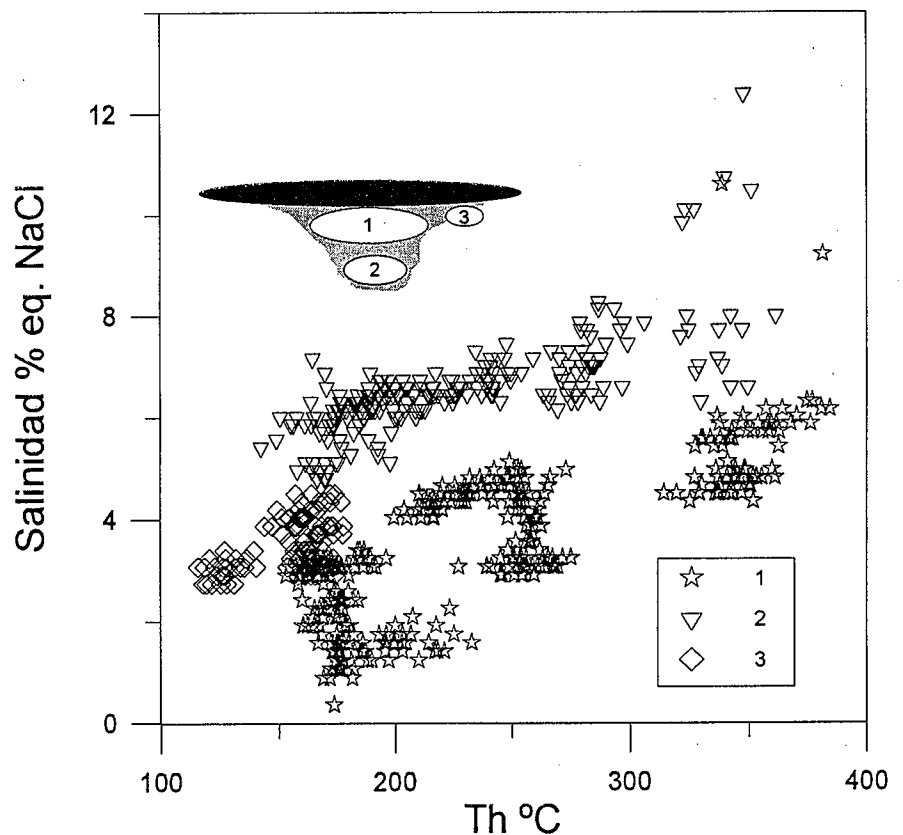


Fig. 3.- Comparación de los datos obtenidos para Aznalcóllar con depósitos actuales, antiguos y el agua marina oceánica (datos de la literatura). 1.- Aznalcóllar. 2.- Fumarolas oceánicas. 3.- Mar Rojo. 4.- Depósitos de sulfuros masivos de Kuroko. 5.- Depósitos de sulfuros masivos de Chipre. 6.- Agua marina.

Fig. 3.- Comparison of Aznalcóllar data with present-day deposits, ancient deposits and seawater (data from literature). 1.- Aznalcóllar. 2.- Deep oceanic vents. 3.- Red sea. 4.- Kuroko deposits. 5.- Cyprus deposits. 6.- Seawater.



meteóricas o condensación de fluidos ricos en vapor que fueron originados mediante procesos de ebullición. Procesos similares han sido descritos en sistemas actuales (Rona, 1988; Humphris *et al.*, 1995).

En el gráfico salinidad vs Th (Fig. 4) se observa que la salinidad y Th aumentan con la profundidad, esto es con la distancia relativa a la base de las masas de sulfuros masivos. Temperatura y salinidad también aumentan desde la periferia hacia las zonas internas del sistema hidrotermal. Estas variaciones podrían estar relacionadas con procesos de mezcla de fluidos, aunque los datos disponibles no permiten una mayor precisión.

La variación en las características físico-químicas entre las inclusiones de tipo I, II y III, es indicativa de una evolución temporal de los fluidos hidrotermales con aumento de la temperatura y de la salinidad. De una manera general, el estudio de las inclusiones fluidas indica una actividad hidrotermal polifásica desarrollada en tres etapas, una de baja temperatura a menos de 200 °C, otra a temperatura intermedia entre 200 y 300 °C, y una

última de alta temperatura entre 300 y 400°C.

Esta evolución temporal y espacial de los fluidos muestra un paralelismo con la evolución de las paragénesis minerales de los sulfuros masivos y del "stockwork" (Almodóvar *et al.*, en prensa). Las etapas I y II dieron lugar a la formación de la mayoría de los sulfuros masivos incluyendo las asociaciones piríticas y polimetálicas, mientras que la etapa III fué la responsable de la mineralización rica en cobre.

#### Agradecimientos

Este estudio fué financiado por el contrato BRE2-CT92-0299 de la CCE y el grupo de investigación RNM 0198 de la Junta de Andalucía. Los autores agradecen a BOLIDEN - APIRSA las facilidades dadas para el trabajo de campo y la toma de muestras. También expresamos nuestro agradecimiento a R. W. Nesbitt y S. Roberts por la colaboración prestada a M. Toscano durante su estancia en el Departamento de Geología de la Universidad de Southampton.

#### Referencias

- Almodóvar, G.R., Sáez, R., Pons, J.M., Maestre, A., Toscano, M. y Pascual, E. (en prensa): *Mineral. Deposita*.
- Herzig, P.M. y Hannington, M.D. (1995): *Ore Geol. Rev.*, 10: 95-115.
- Humphris, S.E., Herzig, P.M., Miller, D.J. *et al.* (1995): *Nature*, 377: 713-716.
- Munhá, J., Barriga, F.J.A.S. y Kerrich, R. (1986): *Econ. Geol.*, 81: 530-552.
- Pisutha-Arnond, V. y Ohmoto, H. (1983): *Econ. Geol. Monograph*, 5: 523-558.
- Pons, J.M., Sáez, R., Almodóvar, G.R. *et al.* (1993): *Symposium on the polymetallic sulphides of the Iberian Pyrite Belt, Evora, Portugal*, 1.9.1- 1.9.16.
- Roedder, E. (1984): *Fluid Inclusions. Min. Soc. Amer., Reviews in Mineralogy* 12.
- Rona, P.A. (1984): *Earth. Sci. Rev.* 20, 1-104.
- Rona, P.A. (1988): *Can. Mineral.*, 26: 431-466.
- Sáez, R., Almodóvar, G.R. y Pascual, E. (1996): *Ore. Geol. Rev.*, 11: 429-45?
- Von Damm, K.L. (1990): *Earth Planet. Sci.*, 18: 173-204.