

ESTUDIO DE INCLUSIONES FLUIDAS DE LAS MINERALIZACIONES EPITERMALES DE Ag-BARITINA-METALES DE BASE DE HIENDELAENCINA Y DE BARITINA DE ATIENZA (SISTEMA CENTRAL ESPAÑOL)

A. Concha *, R. Lunar *, J. Sierra *, J. Lillo ** y R. Oyarzun *

RESUMEN

Estudios de inclusiones fluidas en muestras de cuarzo y baritina del yacimiento epitermal argentífero de Hiendelaencina sugieren que esta mineralización se formó a lo largo de cuatro episodios hidrotermales. El estadio mineral I estuvo caracterizado por la presencia de fluidos acuoso-carbónicos que precipitaron piritita y arsenopiritita. La interacción entre fluidos de probable origen magmático (soluciones acuosas; Th = 320 – 200° C, 12 % eq. NaCl) y fluidos de origen meteórico (de menor temperatura y salinidad) causó un decrecimiento generalizado en T y salinidad (desde 12 % eq. NaCl a 3 % eq. NaCl), lo cual probablemente indujo la precipitación de minerales de Cu y Zn (estadio mineral II). El estadio mineral III (estadio argentífero) se caracterizó por la interacción entre fluidos de baja temperatura pero de salinidades contrastadas (Th = 100 – 150° C; 3 % eq. NaCl a 18-22 % eq. NaCl). Un estadio final y estéril (estadio mineral IV) originó la precipitación de una generación tardía de cuarzo y baritina.

Palabras clave: *Hiendelaencina, epitermal, plata, inclusiones fluidas.*

ABSTRACT

Fluid inclusion studies on quartz and barite samples from the Hiendelaencina Ag-base metals epithermal deposit (late Hercynian) suggest that this mineralization was formed during four hydrothermal stages. Ore stage I was characterized by aqueous-carbonic fluids from which pyrite and arsenopyrite were precipitated. The interaction between probably magmatic-derived fluids (aqueous solutions; Th = 320 – 200° C, 12 eq. wt. % NaCl) and meteoric waters (of lower temperature and salinity) caused a generalized decrease in both, T and salinity (from 12 eq. wt. % NaCl to 3 eq. wt. % NaCl), thus probably inducing the precipitation of Cu and Zn minerals (ore stage II). Ore stage III (silver stage) was characterized by the interaction between fluids of low temperature and contrasted salinities (Th = 100 – 150° C; 3 eq. wt. % NaCl to 18-22 eq. wt. % NaCl). A final and «barren stage» (stage IV) resulted in the precipitation of a late generation of quartz and barite.

Key words: *Hiendelaencina, epithermal, silver, fluid inclusions.*

Introducción

Durante la última década el estudio de las mineralizaciones epitermales de metales preciosos ha cubierto un gran espacio dentro del campo de la geología económica. Fenómenos de alteración/mineralización de este tipo son poco frecuentes en España y quizá los casos más significativos se encuentren en relación al vulcanismo Neógeno de Almería (Rodalqui-

lar, Au) y Pérmico de Atienza (Hiendelaencina, Ag-metales de base) (fig. 1). Aunque la conexión vulcanismo-mineralización en el último caso no es clara, existen criterios geológicos, tectónicos y metalogénicos que permiten ligar ambos fenómenos (Martínez Frías, 1987; Martínez Frías *et al.*, 1988; Doblás *et al.*, 1988). Estudios de inclusiones fluidas (este trabajo) y de isótopos de azufre (Concha *et al.*, 1991) en estas zonas de alteración/mineralización permiten se-

* Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid, España.

** Department of Earth Sciences, The University of Leeds, Leeds LS2 9JT, Gran Bretaña.

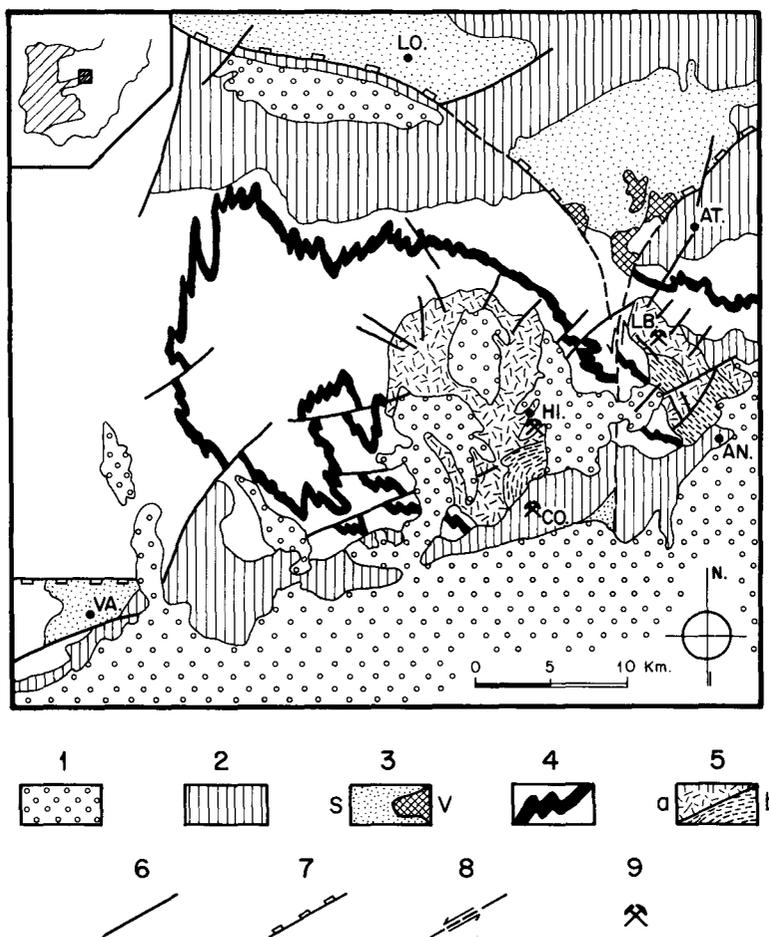


Fig. 1.—Mapa geológico simplificado de la región de Hiendelaencina-Atienza (modificado de Capote *et al.*, 1977 y Doblas *et al.*, 1988). 1: sedimentos cenozoicos; 2: sedimentos mesozoicos; 3: sedimentos (S) y andesitas (V) del Pérmico; 4: metasedimentos ordovícicos de bajo grado; 5: complejos metamórficos de núcleo («metamorphic core complexes») del Precámbrico/Cámbrico (a: augengneisses; b: metasedimentos); 6: fallas; 7: fallas normales de gran ángulo; 8: zonas de cizalla transcurrente; 9: depósitos minerales; AN: Angon; AT: Atienza; CO: Congostrina; HI: Hiendelaencina; LB: La Bodera; LO: Losana; VA: Valdesotos.

ñalar que los fluidos que dieron origen a baritinas en Atienza y Hiendelaencina fueron similares (tabla 3). Por otra parte, el origen del azufre en las baritinas de Atienza sería similar al de la fase sulfurada del distrito de Hiendelaencina, esto es, magmático (Concha *et al.*, 1991). Los valores $\delta^{34}\text{S}\%$ en baritinas de Atienza son comparables a los observados en esfaleritas del distrito de Hiendelaencina (Concha *et al.*, 1991).

Los fenómenos de alteración en Atienza son particularmente significativos e implican al menos dos fases de alteración de gran desarrollo areal: 1) propilitización, con desarrollo de clorita y calcita alterando las fases ferromagnésiana y de plagioclasa;

2) argilización, con desarrollo de caolinita e illita como productos de la alteración de plagioclasas. La presencia de sílice jasperoide y filones de baritina-carbonatos-cuarzo completan el esquema de alteración-mineralización. Estos fenómenos de alteración pueden ser asimilados en ciertos aspectos al tipo epitermal Comstock (Mosier *et al.*, 1986), el cual presenta importantes ejemplos de mineralizaciones de metales preciosos a lo largo del «Walker Lane» (W Nevada, USA) tales como Comstock Lode y Tonopah. Los fenómenos de vulcanismo-alteración-mineralización de Atienza pueden encuadrarse dentro de un contexto extensional tardihercínico que permitió el ascenso de magmas andesíticos a niveles corticales

superiores induciendo actividad volcánica y actividad hidrotermal de tipo epitermal (Doblas *et al.*, 1988; Concha *et al.*, 1991).

A continuación se presentan los datos y conclusiones del estudio de detalle sobre inclusiones fluidas realizado en muestras de cuarzo y baritina de las zonas de Atienza y Hiendelaencina.

Análisis de las inclusiones fluidas en el yacimiento de Hiendelaencina y sector de Atienza

Instrumental, selección y preparación de muestras

Para la realización de este estudio se utilizó una platina calentadora-refrigeradora Chaixmecca (modelo Newport 871). Con el fin de conocer las características microtermométricas sobre las distintas etapas evolutivas de las mineralizaciones de Hiendelaencina y Atienza se han analizado los fluidos atrapados en el cuarzo y baritina de la ganga filoniana para el caso de Hiendelaencina e igualmente cuarzo y baritina para los filones que atraviesan a los materiales volcánicos en el sector de Atienza. En todas las zonas estudiadas el mineral más favorable para el estudio microtermométrico es el cuarzo por sus características de transparencia, que permiten una observación clara de las inclusiones fluidas englobadas, así como por sus buenas condiciones de estancamiento del fluido. El otro mineral escogido para realizar el estudio ha sido la baritina, aunque en ésta el número de inclusiones analizadas ha sido menor, por ser éstas menos abundantes y presentar menor tamaño.

Considerando únicamente las inclusiones que han proporcionado resultados válidos, se han medido en torno a 200 inclusiones fluidas, en muestras procedentes de cada uno de los distintos tipos de filones presentes en ambas zonas.

Características del cuarzo y la baritina del sector de Hiendelaencina

Se distinguen cuatro tipos de cuarzo en el yacimiento de Hiendelaencina, correspondientes a cuatro etapas metalogénicas claramente diferenciadas (fig. 6): H-1) cuarzo asociado a piritita y arsenopiritita. Presenta un color amarillento y opaco, con gran cantidad de impurezas, lo que ha dificultado la observación de las inclusiones atrapadas en él. Dichas inclusiones son escasas, y en ocasiones presentan fenómenos de metaestabilidad. Por otra parte, este cuarzo ha sufrido además, frecuentes procesos de recristalización; H-2) cuarzo asociado a esfalerita y calcopiritita. Presenta un aspecto masivo y lechoso. Las inclusiones son algo más abundantes que en el caso anterior y presentan mejores condiciones para su análisis; H-3) cuarzo con galena y sulfosales de plata. Se trata de un cuarzo masivo que presenta un mayor grado de transparencia respecto a los casos anteriores. Las inclusiones fluidas asociadas son de tamaño y forma variada, y H-4) cuarzo tardío, sin mineralizar, normalmente bien cristalizado y con un grado de transparencia elevado. Las inclusiones que aparecen en este cuarzo son de mayor tamaño que las anteriores.

Respecto a la baritina analizada, se han distinguido dos tipos (fig. 6): H-5) baritina asociada a la mineralización. Presenta hábito prismático y aparece junto con cuarzo que a pesar de ser difícil su identificación, parece corresponderse con la segunda etapa metalogénica y H-6) baritina masiva, perteneciente a la cuarta etapa, donde las inclusiones son escasas y difícilmente observables por la opacidad del material.

Características del cuarzo y de la baritina del sector de Atienza

En esta región se han analizado dos tipos de muestras: 1) cuarzo en pequeñas bolsadas incluidas dentro de filones de baritina fibrosa. Se trata de un cuarzo muy transparente en el que las inclusiones encontradas son escasas y presentan tamaños comprendidos entre 20 y 40 μm , y 2) baritina fibrosa, en unos casos y masiva en otros, que rellena fracturas dando lugar a filones de pequeño espesor que atraviesan los materiales volcánicos. Las inclusiones fluidas encontradas en estos cristales son escasas y sus tamaños varían entre 15 y 50 μm .

Tipos de inclusiones fluidas analizadas en Hiendelaencina y Atienza y resultados del estudio microtermométrico

Teniendo en cuenta la composición y número de fases a temperatura ambiente, se han distinguido los siguientes tipos de inclusiones (fig. 2):

- Tipo I: Corresponden a inclusiones acuosas con diversos cationes. Las temperaturas eutécticas de fusión del hielo obtenidas son, en todos los casos, inferiores a -35°C . Estas temperaturas son por tanto, inferiores a la temperatura eutéctica del sistema $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ ($-20,8^\circ\text{C}$), de lo que se deduce la presencia de otros cationes además del Na^+ en la solución (Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+) (Crawford, 1981). Estas inclusiones han sido divididas en dos subtipos (fig. 2): Ia, inclusiones monofásicas, rellenas enteramente de solución acuosa salina; Ib, inclusiones bifásicas con solución acuosa salina y burbuja de vapor de agua, con una relación V_g/V_t (volumen de la fase gaseosa/volumen total) variable, aunque normalmente comprendida entre 10 y 30 %. Están presentes en todos los tipos de filones estudiados, y son las más abundantes.
- Tipo II: Corresponden a inclusiones acuosas-carbónicas complejas, denominadas así por considerar que la fase carbónica presente en la fase no acuosa no es CO_2 puro, sino una fase compleja que constaría además de CO_2 , de otros volátiles

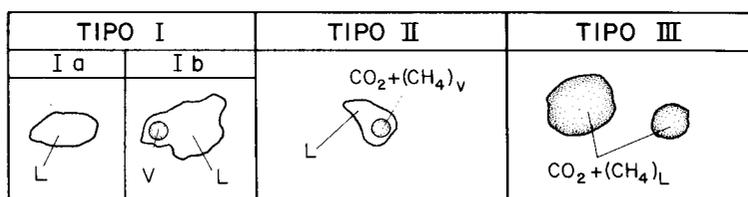


Fig. 2.—Tipos de inclusiones fluidas analizadas.

tales como CH_4 , N_2 , etc. Las temperaturas de fusión del hidrato de gas (tabla 1), se encuentran alejadas de la temperatura teórica de fusión del hidrato de CO_2 (clatrato: $+10^\circ \text{C}$), hecho que permite inferir la presencia, junto al CO_2 de dichos volátiles. En este tipo de inclusiones la concentración de CO_2 es variable, distinguiéndose, por tanto: IIa, inclusiones acuoso-carbónicas complejas bifásicas, con alta proporción de CO_2 (puesto de manifiesto por la nucleación de CO_2 durante el proceso de enfriamiento). Son poco abundantes y aparecen únicamente, en el cuarzo englobado en los filones de baritina de la región de Atienza, y IIb, inclusiones acuoso-carbónicas complejas con baja proporción de CO_2 , no observándose en ningún caso la formación de CO_2 sólido. Sin embargo la presencia de este componente se ha detectado por la formación de clatratos que funden durante el período de recuperación de temperatura después del enfriamiento.

- Tipo III: Corresponden a inclusiones carbónicas complejas constituidas por una única fase de CO_2 a temperatura ambiente ($+25^\circ \text{C}$), que se convierten en bifásicas al descender levemente la temperatura. Los valores de fusión del CO_2 (tabla 1) obtenidos, son ligeramente inferiores a la temperatura teórica de fusión del CO_2 puro ($-56,6^\circ \text{C}$). Este hecho, pone de manifiesto la presencia de otros volátiles tales como CH_4 , N_2 , etc. Son inclusiones muy escasas.

Es importante señalar que sellando una misma fractura aparecen inclusiones fluidas del mismo tipo, con tamaños parecidos y relaciones V_g/V_t similares. Este hecho nos puede indicar que durante cada período de fracturación el atrapamiento de fluidos fue homogéneo.

Las tablas 1 y 2, y las figuras 3, 4 y 5 muestran los resultados del estudio microtermométrico llevado a cabo en las muestras de cuarzo y baritina de Hiedlaencina y Atienza.

Para el cálculo de salinidades en las inclusiones tipo I, se han utilizado las temperaturas de fusión del último cristal de hielo, según los datos experimentales de Potter *et al.* (1978). Los valores de salinidad así obtenidos son sólo aproximados, ya que estas in-

clusiones no pertenecen al sistema $\text{NaCl-H}_2\text{O}$. Sin embargo, Crawford (1981) indica que el error cometido al calcular la salinidad en inclusiones con Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ según el método es inferior al 5 %.

Respecto a las inclusiones tipo II, la salinidad de la fase acuosa no ha podido ser calculada utilizando los datos de temperatura de fusión del hidrato de gas (Bozzo *et al.*, 1973), puesto que no conocemos la composición del mismo. Por este motivo, y con el fin de obtener unos datos de salinidad aproximados, se han utilizado las temperaturas de fusión del hielo según Potter *et al.* (1978).

Los valores de densidad obtenidos para las inclusiones de tipo I y de densidad de la fase acuosa en las tipo II, se han realizado a partir de los datos de temperatura de homogeneización y salinidad según el ábaco de Ahmad y Rose (1980). La densidad calculada para las inclusiones tipo III se ha determinado aplicando en el ábaco de Swanenberg (1979) los datos de temperatura de fusión de CO_2 y la relación volumétrica media a esa temperatura.

En cuanto a la presión mínima de atrapamiento, se ha calculado según las tablas de Potter y Brown (1977).

Evolución hidrotermal

Los datos de composición, densidad, temperatura y presión obtenidos en el estudio microtermométrico y las relaciones paragenéticas entre las diferentes fases minerales estudiadas (fig. 6), han permitido establecer una cronología de los fluidos que indica una evolución hidrotermal compleja. En esta evolución se pueden distinguir las siguientes etapas:

- 1) Una primera etapa hidrotermal, caracterizada por la presencia de piritita y arsenopiritita junto con cuarzo. Este cuarzo presenta I.F. tipo IIb, correspondientes por tanto, a un fluido acuoso-carbónico complejo que muestra temperaturas de homogeneización entre 330 y 300°C . Esta primera circulación de fluidos acuoso-carbónicos complejos de alta temperatura provocaría la alteración cuarzo-sericítica de la roca encajante. Se trata, por tanto, de una primera etapa de alteración donde el fluido se contaminaría de CH_4

Tabla 1.—Resultados obtenidos a partir del estudio microtermométrico en el yacimiento de Hiendelaencina

HIENDELAENCINA												
Tipos	Tipo I								Tipo II	Tipo III		
	Subtipo Ia				Subtipo Ib							
Inclusiones fluidas	Q	Ba	Q	Q	Ba	Q	Ba	Q	Q	Q	Q	
	Etapa 2	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 2	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 4	Etapa 4	Etapa 1	Etapa 2	
Huésped												
Sistema	H ₂ O-NaCl-KCl-CaCl ₂ -MgCl ₂								CO ₂ -CH ₄ -H ₂ O-NaCl CO ₂ -CH ₄			
Tamaño (µm)	10-20	10-20		9-50	20-40	20-40	10-40	25-60	25-50	15-20		
Relación volumétrica (%)				25	15-40	20	20-30	10-20	20-40	40-50		
T. ^o eutéctica	≤40	≤40	≤40	≤40	≤40	≤40	≤35	≤35				
T. ^o fusión CO ₂											-60 a -58	
T. ^o fusión hielo	-9 a -6	-7 a -11	-12 a -20	-2 a -11	-8 a -11	-3 a -19	-3 a -22	-6 a -9			-5 a -7	
T. ^o fusión clatr.									-1,5 a -1,8	2		
T. ^o homogen. CO ₂											12 a 25 (L)	
T. ^o homog. total				90 a 340	220 a 310	90 a 190	100 a 250	90 a 140	275 a 350	275 a 315		
Salinidad (% eq. NaCl)	9 a 13	10 a 15	16 a 23	3 a 15	11 a 15	5 a 22	5 a 24	9 a 13			8 a 11	
Densidad (gr/cc)				0,7 a 1	0,8 a 0,9	0,95 a 1,1	0,95 a 1,1	aprox. 1		aprox. 0,8	0,7 a 0,8 0,2 a 0,3	
Presión mínima (bars)				90 a 200	100 a 150	90	50 a 90	70				
Modo de aparición:												
Aisladas (A)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
En fracturas (S)	S			S		S						

y N₂ provenientes del encajante metamórfico. Posteriores reaperturas y brechificaciones dificultarían la correlación entre este fluido y los posteriores fluidos acuosos de más baja temperatura responsables de las mineralizaciones argentíferas y de metales de base de este yacimiento.

2) De la segunda etapa hidrotermal (con cuarzo y baritina además de calcopirita y esfalerita) sí quedan registros de la circulación y atrapamiento de distintos fluidos: por una parte, el fluido acuoso-carbónico complejo que ya se mencionó en la primera etapa (I.F. tipo IIb), pero con temperaturas de homogeneización ligeramente inferiores (275 a 315° C); así como, un fluido carbónico complejo (I.F. tipo III). Posteriormente se produce la circulación y atrapamiento de fluidos acuosos con distintos cationes (I.F.

tipo I) a favor de fracturas quedando éstos con carácter secundario con respecto a los fluidos precoces carbónicos complejos. Este fluido acuoso experimenta un enfriamiento simple desde temperaturas próximas a los 320° C hasta los 200° C, manteniéndose la salinidad constante (aproximadamente 12 % eq. NaCl). A partir de este momento y de forma continuada, comienza a producirse la participación, cada vez mayor, de fluidos acuosos de baja salinidad y temperatura (posiblemente de origen meteórico) que provocan un descenso de la salinidad (desde 12 % eq. NaCl hasta 3 % eq. NaCl) a medida que progresa el enfriamiento. Esta evolución se ha comprobado en las inclusiones fluidas atrapadas en el cuarzo y no en la baritina, ya que en esta última no se registran temperaturas inferiores a 200° C. El fluido acuo-

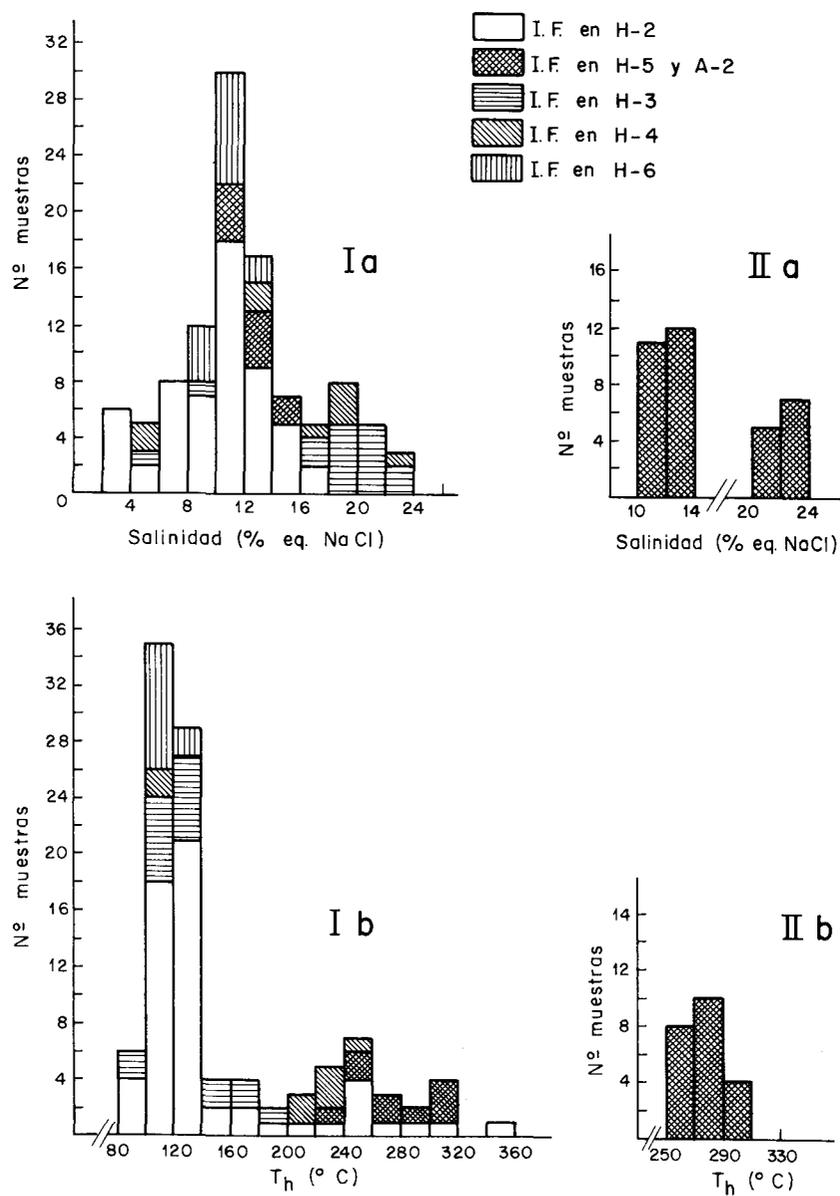


Fig. 3.—Inclusiones fluidas acuosas con diversos cationes en solución: I: histogramas de valores de salinidad (a) y T de homogeneización (b) de las inclusiones fluidas acuosas analizadas del yacimiento de Hiendelaencina. II: histogramas de valores de salinidad (a) y T de homogeneización (b) de las inclusiones fluidas analizadas en la baritina del sector de Atienza.

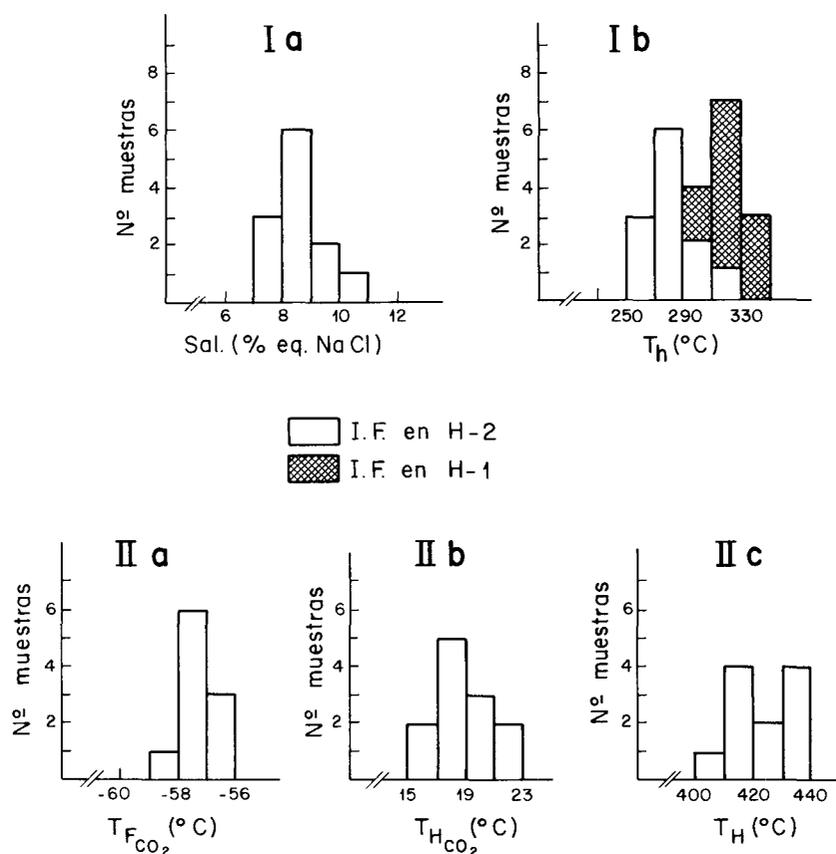


Fig. 4.—Inclusiones fluidas acuosas-carbónicas complejas: I: histogramas de valores de salinidad (a) y T de homogeneización (b) de las inclusiones acuosas-carbónicas complejas analizadas en el cuarzo del estadio mineral II de Hiendelaencina. II: histograma de valores de T de fusión del CO_2 (a), T de homogeneización del CO_2 (b), y T de homogeneización total (c) de las inclusiones acuosas-carbónicas complejas analizadas en el cuarzo del sector de Atienza.

so de moderada salinidad, parece haber representado un papel importante en el transporte de los metales (Cu y Zn principalmente), los cuales precipitarían como consecuencia de los cambios continuos en las condiciones físico-químicas del fluido debido a la mezcla de éste con el fluido de baja salinidad y temperatura.

3) La tercera etapa estaría representada por la circulación de soluciones cloruradas con sales de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ . A partir del estudio microtermométrico de las inclusiones (tipo I) pertenecientes a esta tercera etapa, se han determinado temperaturas mínimas de atrapamiento entre 100 y 150° C. Los datos de salinidad calculados para este fluido, muestran valores superiores a las etapas anteriores (entre 18 y 22 % eq. NaCl) y con densidades entre 0,95 y 1,1 gr/cc. La interacción entre este fluido y las soluciones pobremente salinas de la etapa anterior que aún continúan en circulación provocaría una va-

riación brusca en la salinidad. Esta interacción queda representada por la presencia de inclusiones con salinidades intermedias a ambos fluidos y con temperaturas semejantes. Estos cambios bruscos en las condiciones del medio serían los responsables de la precipitación de la plata, la cual pudo haber sido previamente transportada por este fluido de alta salinidad en forma de distintos complejos.

4) En una etapa hidrotermal tardía, dentro del cuarzo y de la baritina estériles, se ha reconocido la presencia de un nuevo fluido acuoso de moderada-alta salinidad (representado por I.F. tipo I). Dicho fluido sufre un enfriamiento progresivo desde 260 a 90° C. A medida que desciende la temperatura se produce una disminución de la salinidad, que podría implicar, al igual que en los casos anteriores, la participación de un fluido pobremente salino que interacciona con el anterior. No obstante, la baritina parece corresponder a los estadios de más alta tempe-

Tabla 2.—Resultados obtenidos a partir del estudio microtermométrico en el sector de Atienza

Tipos	Tipo I	
	Subtipo Ia	Subtipo Ib
Inclusiones fluidas		
Huésped	Ba	Ba
Sistema	H ₂ O - NaCl - KCl - CaCl ₂ - MgCl ₂	
Tamaño (µm)	12 a 24	30 a 50
Relación volumétrica (%)		10 a 50
T _E	≤40	≤40
°C T _{FH}	-17 a -20 -8 a -10	-17 a -21 -7 a -9
T _H		310 a 250
Salinidades (% eq. NaCl)	21 a 23 11 a 14	21 a 24 10 a 13
Densidades (gr/cc)		0,82 a 1
Presión mínima (bars)		100 a 250
Modo de aparición:		
Aisladas (A)	A	A
En fracturas (S)	S	S

ratura dentro de esta etapa, mientras que el cuarzo queda restringido a los últimos estadios más fríos.

Las tendencias observadas indicarían relaciones complejas entre fluidos de salinidad y temperaturas contrastadas (fig. 7). La interacción entre ellos parece haber sido la clave que indujo a la deposición de las sucesivas asociaciones minerales. Se puede además, interpretar que los fluidos más fríos y de baja salinidad fueron de origen meteórico, frente a los de mayor temperatura y más altos valores de salinidad que serían probablemente de origen magmático.

Una situación similar se puede observar en La Bodega (mineralización próxima a Hiendelaencina y con características semejantes). En este sector Sierra *et al.* (1988) realizaron un estudio de inclusiones fluidas en el que se detectó la presencia de fluidos acuosos complejos, que jugaron un papel importante en la deposición mineral. Dichas inclusiones presentaron valores de salinidad y temperatura semejantes a las observadas para Hiendelaencina.

Con respecto a la actividad hidrotermal en el sector de Atienza, se han inferido dos tipos de fluidos diferentes:

1) Un fluido acuoso-carbónico complejo de alta temperatura (representado por inclusiones fluidas tipo IIa), atrapado en pequeños cristales de cuarzo

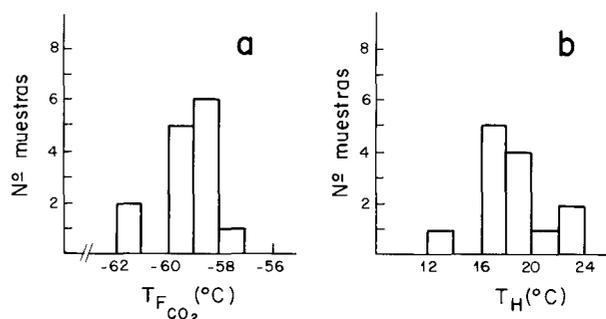


Fig. 5.—Inclusiones fluidas carbónicas complejas analizadas en el cuarzo del estadio mineral II de Hiendelaencina. Histogramas de valores de T de fusión del CO₂ (a) y T de homogeneización de CO₂ (homogeneización total) (b).

englobado en los filones de baritina. Dicho fluido parece corresponder a una etapa muy precoz dentro del episodio hidrotermal. No se ha podido comprobar la evolución de este fluido, pero es probable que esté relacionado con los fluidos acuoso-carbónicos complejos que también aparecían en las primeras etapas hidrotermales del yacimiento de Hiendelaencina.

2) Un fluido acuoso con diversos cationes en solución (Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺) representado por inclusiones fluidas tipo Ia y Ib, atrapadas en baritina (tabla 2). No obstante, en relación a este fluido se pueden distinguir dos poblaciones de inclusiones claramente diferenciadas en cuanto a salinidad pero con temperaturas semejantes: a) de salinidad media (10 y 13 % eq. NaCl) con características tanto composicionales, como de salinidad, densidad y temperaturas, semejantes a las obtenidas para las inclusiones fluidas tipo I que aparecían atrapadas en baritinas de la segunda etapa mineralizadora en el yacimiento de Hiendelaencina (tabla 3); y b) de alta salinidad (entre 21 y 24 % eq. NaCl), que aparecen sellando fracturas y con características semejantes a las analizadas en el cuarzo de la tercera etapa en Hiendelaencina, pero con temperaturas superiores a éste.

Es por tanto evidente que los tipos de fluidos que han tomado parte en la deposición de la baritina de Hiendelaencina y Atienza presentan características semejantes (tabla 3). No obstante el hecho de que en Hiendelaencina haya dado lugar a la precipitación masiva de los metales que transportaba y sin embargo, esto no se haya producido en Atienza, puede ser debido a que en Hiendelaencina se dieron las condiciones óptimas de mezcla de fluidos para la consiguiente precipitación de dichos metales, mientras que en Atienza este fenómeno no tuvo lugar o al menos, no de una forma tan eficaz.

La mezcla de fluidos está igualmente apoyada por los datos de isótopos de S (Concha *et al.*, 1991) (ta-

	1ª ETAPA As - Fe	2ª ETAPA Cu - Zn	3ª ETAPA Pb - Sb - Ag	4ª ETAPA TARDIA	ETAPA SUPERGENICA
Pirita	---				
Arsenopirita	---				
Calcopirita		=====			
Esfalerita		=====			
Pirrotina		---			
Freibergita			---		
Galena			=====		
Pirargirita			=====		
Polibasita			=====		
Estefanita			=====		
Bournonita			=====		
Freieslebenita			=====		
Marcasita			=====		
Cuarzo	---	---	---	---	
Baritina		---		---	
Siderita		---			
Querargirita					---
Bromargirita					---
Plata nativa					---
Goethita					---
Hematites					---

Fig. 6.—Esquema de sucesión mineral en el yacimiento de Hiendelaencina (modificado de Martínez Frías, 1987).

Tabla 3.—Comparación entre los valores obtenidos a partir del estudio microtermométrico en la baritina mineralizada de Hiendelaencina y la baritina de Atienza

Tipos Inclusiones fluidas	HIENDELAENCINA		ATIENZA	
	Tipo I		Tipo I	
	Subtipo Ia	Subtipo Ib	Subtipo Ia	Subtipo Ib
Huésped	Ba Etapa 2	Ba Etapa 2	Ba	Ba
Sistema	H ₂ O-NaCl-KCl-CaCl ₂ -MgCl ₂		H ₂ O-NaCl-KCl-CaCl ₂ -MgCl ₂	
Tamaño (µm)	10 a 20	20 a 40	12 a 24	30 a 50
Relación volumétrica (%)		15 a 40		10 a 50
T _E	≤40	≤40	≤40	≤40
°C T _{FH}	-7 a -11	-8 a -11	-17 a -20 -8 a -10	-17 a -21 -7 a -9
T _H		220 a 310		250 a 310
Salinidades (% eq. NaCl)	10 a 15	11 a 15	21 a 23 11 a 14	21 a 24 10 a 13
Densidades (gr/cc)		0,8 a 0,9		0,82 a 1
Presión mínima (bars)		100 a 150		100 a 150
Modo de aparición: Aisladas (A) En fracturas (S)	A	A	A S	A S

Tabla 4.—Valores de $\delta^{34}\text{S}$ en baritinas y sulfuros de Hiendelaencina y Atienza (CDT estándar; espectrómetro de masas VG SIRA 10; Department of Earth Sciences, University of Leeds, Gran Bretaña)

Muestra	Localización	$\delta^{34}\text{S}$ (‰) CDT		
		Baritina	Esfalerita	Pirita
SCS-41	Hiendelaencina	+25,7		
SCS-42	Hiendelaencina	+26,1		
SCS-46	Hiendelaencina			+2,9
SCS-47	La Bodera	+18,2		
SCS-48	La Bodera	+18,0	+6,7 *	
SCS-49	La Bodera		+6,4	
SCS-20	Atienza	+6,2		
SCS-51A	Atienza	+6,2		
SCS-51B	Atienza	+6,7 *		

* Muestra duplicada, con el valor medio.

bla 4). Así, los valores de $\delta^{34}\text{S}$ ‰ en esfaleritas de La Bodera, parecen estar de acuerdo con una fuente de azufre derivado de un magma andesítico, mientras que el azufre en baritina (tanto en Hiendelaencina como en La Bodera), tendría un origen metasedimentario. Igualmente, los valores $\delta^{34}\text{S}$ ‰ en baritinas de Atienza parecen indicar una fuente de azufre a partir de un fluido derivado de andesitas con muy baja relación $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_4$ (únicamente se han encontrado trazas de sulfuros en estas venas).

Conclusiones

A partir del estudio microtermométrico y paragenético se pueden definir cuatro etapas hidrotermales

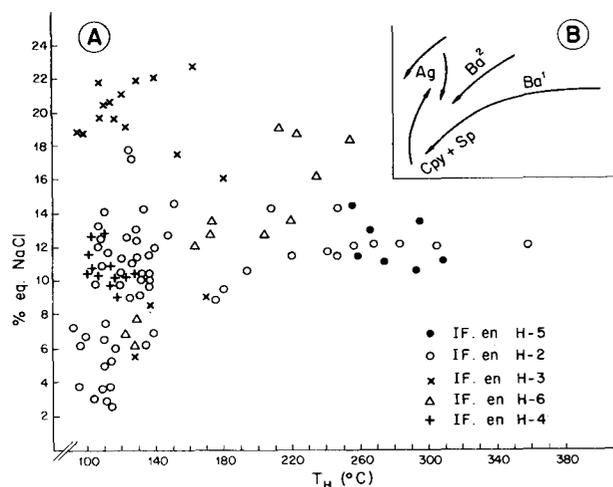


Fig. 7.—Diagrama de salinidad/temperatura de homogeneización de las inclusiones fluidas acuosas analizadas del yacimiento de Hiendelaencina (A) y probables tendencias evolutivas (B). Ba¹: Baritina de la segunda etapa. Ba²: Baritina de la cuarta etapa.

que indican una evolución hidrotermal compleja en Hiendelaencina:

1) Una primera etapa representada únicamente por fluidos acuoso-carbónicos complejos (entre 330 y 300° C), en la que precipitó pirita y arsenopirita junto con cuarzo.

2) La segunda etapa corresponde a la circulación y atrapamiento del fluido acuoso-carbónico complejo de la etapa anterior, pero con menor temperatura; además de un fluido carbónico complejo y fluidos acuosos con diversos cationes en solución. En esta etapa se depositaron la esfalerita y calcopirita junto con cuarzo y baritina.

3) La tercera etapa está caracterizada por la presencia de fluidos acuosos con diversos cationes (18 y 22 % eq. NaCl, y 100-150° C). En esta etapa se depositaron la galena y sulfosales de plata junto con cuarzo.

4) La cuarta etapa corresponde a una etapa tardía, con cuarzo y baritina estériles, caracterizada igualmente por fluidos acuosos.

La precipitación de las distintas fases minerales vendría dada en cada etapa, por la interacción entre fluidos acuosos de salinidades y temperaturas contrastadas. Esta interacción provocaría variaciones bruscas en las condiciones físico-químicas del medio, dando lugar a la desestabilización de los complejos portadores de los metales, con la consiguiente precipitación de éstos.

Se puede inferir que los fluidos más fríos y de baja salinidad fueron de origen meteórico, frente a los de mayor temperatura y salinidad, que serían probablemente de origen magmático.

Los fluidos que han tomado parte en la deposición de la baritina mineralizada de Hiendelaencina y de la de Atienza, presentan características similares en lo que respecta a composición, salinidad, densidad y temperatura.

AGRADECIMIENTOS

Parte de esta investigación fue realizada con financiación de la DGICYT, Ministerio de Educación y Ciencia.

Referencias

- Ahmad, S. N. y Rose, A. W. (1980). Fluid inclusions in Porphyry and Skarn ore at Santa Rita, New Mexico. *Econ. Geol.*, 75, 229-250.
- Concha, A.; Oyarzun, R.; Lunar, R.; Sierra, J.; Doblas, M. y Lillo, J. (1991). The Hiendelaencina epithermal silver-base metal district, Central Spain: tectonic and mineralizing processes. *Mineralium Deposita* (en prensa).
- Crawford, M. L. (1981). Phase equilibria in aqueous fluid inclusions. *Short course in fluid inclusion: applications to*

- petrology*. L. S. Hollister et M. L. Crawford, eds., 75-100.
- Doblas, M.; Oyarzun, R.; Lunar, R.; Mayor, N. y Martínez, J. (1988). Detachment faulting and late Paleozoic epithermal Ag-base metal mineralization in the Spanish Central System. *Geology*, 16, 800-803.
- Martínez Frías, J. (1987). *Mineralogía y metalogenia de las mineralizaciones de plata del sector oriental del Sistema Central*. Colección Tesis Doctorales n.º 16/87, Univ. Complutense, Madrid, 379 págs.
- Martínez Frías, J.; Oyarzun, R.; Mayor, N.; Lunar, R. y Vindel, E. (1988). Mineralizaciones de la Sierra de Guadarrama: aplicación del modelo epitermal. *Bol. Soc. Española Mineral.*, 11, 27-34.
- Mosier, D. L.; Singer, D. A. y Berger, B. R. (1986). Descriptive model of Comstock epithermal veins. In: *Mineral Deposits Models* (D. P. Cox y D. A. Singer, eds.), U.S. Geol. Surv. Bull., 150-153.
- Potter, R. W. y Brown, D. L. (1977). The volumetric properties of aqueous sodium chloride solutions from 0 to 500° C and pressures up to 2,000 bars based on a regression of available data in the literature. *U.S. Geol. Survey Bull.*, 1421-C, 36 págs.
- Potter, R. W.; Clynne, M. A. y Brown, D. L. (1978). Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions. *Econ. Geol.*, 72, 284-285.
- Sierra, J.; Vindel, E.; Lunar, R.; López, J. A. y Martínez Frías, J. (1988). Estudio de inclusiones fluidas en la mineralización de plata de La Bodega (Sistema Central español). *Bol. Soc. Española Mineral.*, 11, 61-66.
- Swanenberg, H. E. C. (1979). Phase equilibria in carbonic system and their application of freezing studies of fluid inclusions. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 68, 303-306.

Recibido el 7 de marzo de 1991
Aceptado el 25 de julio de 1991