

La mineralización de sulfuros y sulfosales de plata de La Bodera: Geología, Mineralogía y texturas (Sistema Central)

Por J. MARTINEZ FRIAS, R. LUNAR y E. VINDEL (*)

RESUMEN

Este trabajo forma parte de las investigaciones sobre la Metalogenia de la plata del Sistema Central. Los filones de la zona de La Bodera presentan caracteres morfológicos «tipo brecha» y su mineralogía es rica en sulfuros de metales base y sulfosales de plata. En este trabajo se ha encuadrado la mineralización en su contexto geológico y se han estudiado los aspectos mineralógicos y texturales del yacimiento y del medio encajante.

ABSTRACT

This study is aimed at defining the metallogenesis of silver in the Spanish Central System. The veins are «breccia-type» and the ore minerals are base metal sulphides and silver sulphosalts. In this paper, the geological setting and the mineralogical and textural features, were studied.

INTRODUCCION

Siguiendo con el estudio de los yacimientos argentíferos del Sistema Central, La Bodera corresponde, dentro del conjunto de mineralizaciones de plata, a la zona que presenta mayores analogías con respecto al yacimiento principal (zona de Hiendelaencina).

La Bodera fue tratada en un principio como yacimiento de Pb-Zn, revelándose posteriormente, gracias a los estudios realizados por CASTELLS et al. (1973), como fuente importante de plata.

SITUACION GEOGRAFICA - GEOLOGICA

La mineralización de La Bodera se encuentra situada al noreste de Hiendelaencina y al sur de Atienza, cerca del contacto entre los materiales ordovícicos con los gneises de la formación «Hiendelaencina» y la Grenz Serie de SHAFER (1969).

El acceso a las labores mineras, situadas junto al río Cañamares, se lleva a cabo mediante un camino, que parte del sur del pueblo de La Bodera, y que llega justamente hasta las minas (La Carolina y San José) (fig. 1).

DESCRIPCION DEL YACIMIENTO

Las observaciones para determinar la morfología y disposición de la mineralización únicamente se han podido hacer en superficie, pues las antiguas explotaciones son actualmente inaccesibles (fig. 2).

Los indicios que se han estudiado siguen fracturas de dirección noroeste-sureste y este-oeste, lo que pone de manifiesto un claro control estructural. Antiguamente ya se definieron dos tipos distintos de filones, unos de escasa potencia y gran irregularidad, que se pueden considerar como vetas de carácter secundario, y otros, que presentan mayor constancia en cuanto a potencia y dirección este-oeste, que se denominaron «filones principales» (fig. 1).

(*) Departamento de Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.

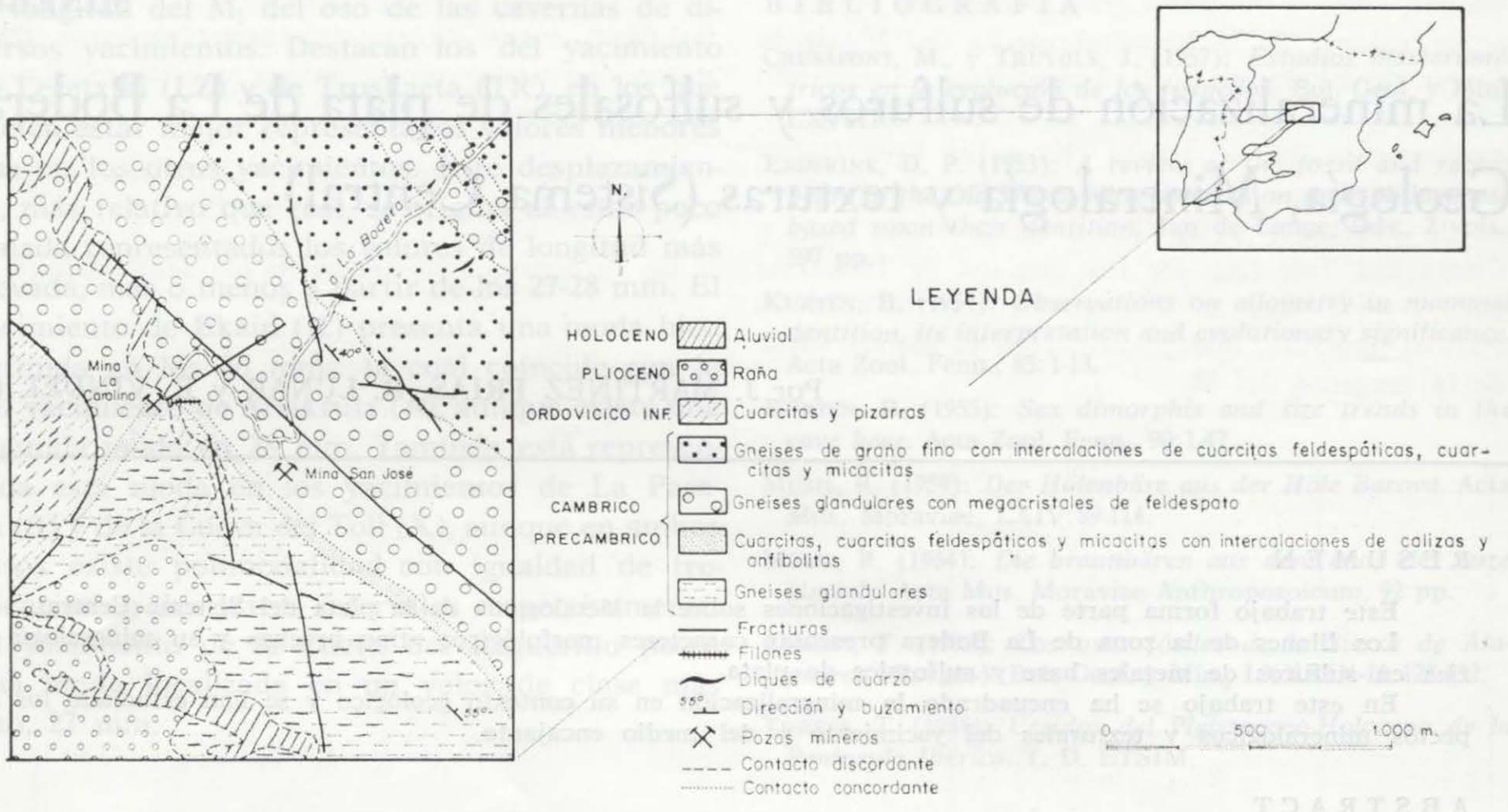


Figura 1.—Esquema geológico de la zona de La Boderá.



Figura 2.—Vista parcial de las escombreras correspondientes a las labores mineras de la zona de La Boderá.

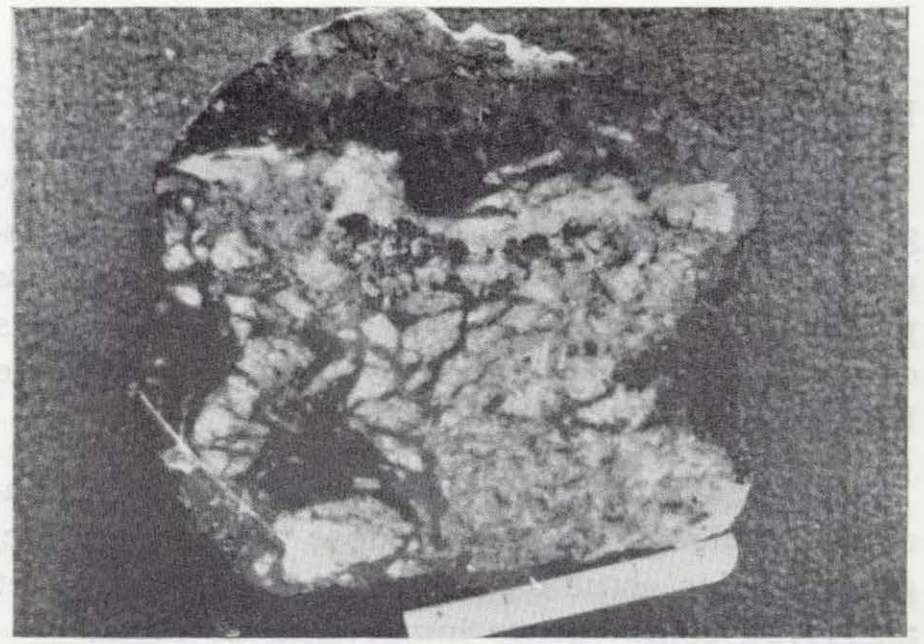


Figura 3.—Aspecto de la brecha filoniana de la mineralización de La Boderá.

A escala mesoscópica las muestras presentan estructuras características de brechas filonianas, que engloban pequeños fragmentos de roca encajante (fig. 3) y pequeñas estructuras de filones paralelos de aproximadamente 2 cm. de espesor.

EL MEDIO ENCAJANTE

Los materiales que constituyen el medio enca-

jante de la mineralización de La Boderá son fundamentalmente el tramo basal de la formación «Hiendelaencina» y la serie samítico-pelítica correspondiente a la formación «Cardenosa». Concretamente en esta zona es donde aparecen, dentro de esta última formación, una serie de niveles de carácter calcomagnésico que fueron definidos por SHAFFER (1969).

Es importante destacar en la formación «Hien-

de la encina» la sericitización de los feldespatos, que decrece progresivamente con la distancia a los filones.

Las rocas de silicatos cálcicos presentan un alto grado de alteración hidrotermal, que da lugar a una recristalización, con aumento del tamaño de los cristales de carbonato y una intensa sericitización con formación de agregados carbonato-sericita de grano muy fino (fig 4).

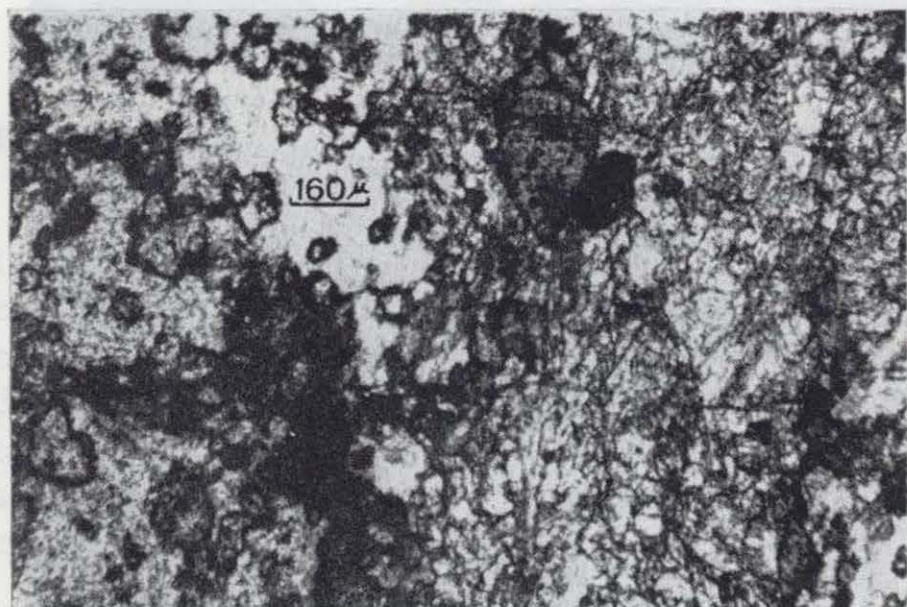


Figura 4.—Microfotografía correspondiente a los niveles calco-magnésicos de la formación «Cardeñosa» (Grenz Serie).

LA MINERALIZACION

La paragénesis de las minas de La Bodería está constituida por los siguientes minerales:

- Minerales hipogénicos: Esfalerita, galena, calcopirita, pirita, marcasita, freibergita, pirargirita, polibasita, freieslebenita.
- Minerales supergénicos: Goethita, covellina, anglesita.

MINERALES HIPOGENICOS

Esfalerita

La esfalerita es el mineral más abundante en La Bodería. Se presenta de dos formas distintas: masiva (fig. 5 A) y asociada siempre a la galena,

intruyendo a veces entre las zonas de debilidad de los minerales de las rocas encajantes, y como producto de exsolución sobre la calcopirita.

La esfalerita que aparece con hábito masivo, casi siempre posee pequeñas gotas aisladas de calcopirita, productos de exsolución y se encuentra intensamente fracturada (fig. 5 B). Esta fracturación suele ser importante, especialmente en las zonas de bordes de grano donde el mineral se rompe a favor de los planos de exfoliación, dando lugar a texturas cataclásticas.

Las esfaleritas suelen poseer bajos contenidos en Fe, presentando las típicas reflexiones internas acarameladas.

En algunas ocasiones, aparece en forma de granos subredondeados asociados siempre a galena (fig. 50).

También, aunque menos frecuentemente, se presenta asociada a la freibergita reemplazándola.

Galena

La galena es el segundo mineral en abundancia. Se presenta siempre rellenando huecos en la esfalerita y menos frecuentes en calcopirita.

Es un mineral muy importante desde el punto de vista económico, pues a ella se asocian los minerales de plata, estefanita, freieslebenita y pirargirita.

La galena, tal y como sucedía con la esfalerita, suele presentar texturas típicas de deformación. Esto se refleja en la presencia de fracturaciones (fig. 5 D) y cataclasis (fig. 5 E) en las zonas de borde cristalino y deformaciones dúctiles en el centro de los cristales (fig. 5 F).

La galena también suele ir asociada a calcopirita en forma de cristales alotriomorfos incluidos en ella.

Calcopirita

Es un mineral relativamente abundante, que se asocia a esfalerita, galena y freibergita.

Se pueden reconocer distintos tipos de calcopirita:

- 1) Cristales idiomorfos de gran tamaño, gene-

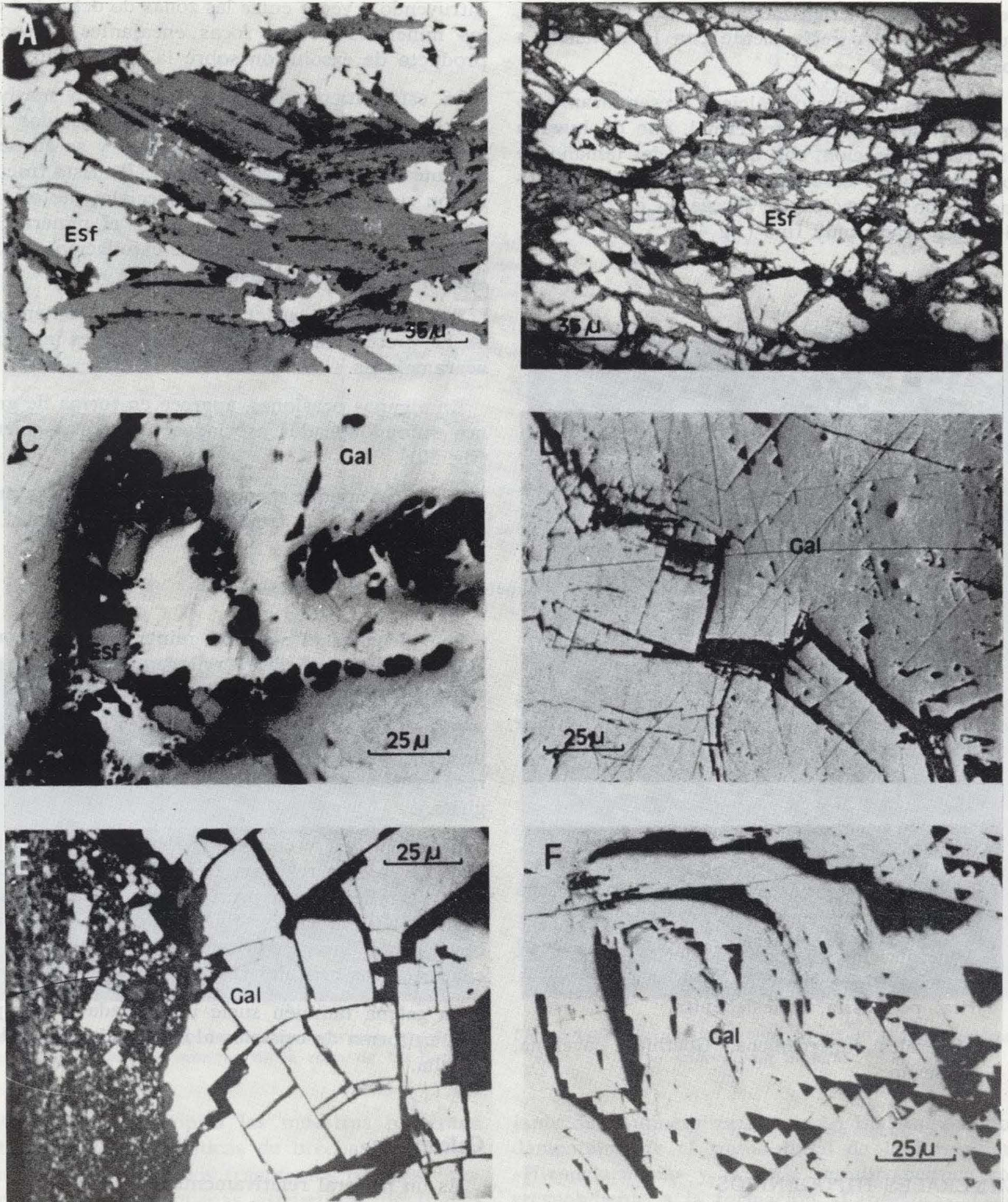


Figura 5

- A) Esfalerita masiva (Esf) introduciéndose entre los planos de la foliación micácea. L.R.
 B) Fracturación e intensa alteración de la esfalerita (Esf). L.R.
 C) Granos subidiomorfos de esfalerita (Esf) incluidos en galena (Gal). L.R.
 D) Fracturación de la galena (Gal) a favor de los planos de exfoliación. L.R.
 E) Microbrechificación de la galena (Gal) típica de las zonas de borde de grano. L.R.
 F) Micropliegue en galena (Gal), típico de las zonas de centro de grano. L.R.

ralmente maclados con cuerpos de exsolución de esfalerita (fig. 6 A).

- 2) Gotas o formas irregulares, producto de desmezcla, sobre la esfalerita, especialmente en zonas de borde de grano.
- 3) Cristales subidiomorfos de pequeño tamaño, incluidos en la galena.
- 4) En zonas de relleno de grietas, claramente tardía, asociada a goethita y anglesita.
- 5) Cristales alotriomorfos (hábito masivo) con pequeñas zonas en los bordes de grano donde aparecen segregaciones de freibergita.

Pirita

Es un mineral poco abundante que se encuentra como granos idiomorfos o subidiomorfos de pequeño tamaño incluidos en la ganga, o con hábito alotriomorfo asociado a grietas de relleno de minerales supergénicos, especialmente goethita y escorodita. En algunas ocasiones, la pirita se encuentra parcialmente transformada a marcasita.

Freibergita

La freibergita generalmente se encuentra en forma de cristales alotriomorfos de pequeño tamaño, asociada a esfalerita, galena y calcopirita.

En algunas ocasiones se reconocen cristales idiomorfos de mayor tamaño, generalmente zonados (fig. 6 B).

Freieslebenita

Se presenta como producto de exsolución sobre la galena, en cristales generalmente alargados e irregulares (fig. 6 C).

Polibasita

Aparece como pequeños cristales muy irregulares sobre la galena, debidos a un proceso de desmezcla (fig. 6 D).

Pirargirita

Las pirargiritas se encuentran siempre asociadas a la galena, bien rellenando pequeñas grietas

(fig. 6 E), o como producto de exsolución. Los cuerpos huéspedes son generalmente de hábito subredondeado.

MINERALES SUPERGENICOS

La goethita y la anglesita son los minerales supergénicos más frecuentes. Aparecen en grietas pseudomorfizando parcialmente a la esfalerita y galena.

La covellina es menos frecuente y únicamente se presenta en pequeñas fracturas, en zonas de contacto freibergita-calcopirita.

La siderita reemplaza también a la pirrotina (fig. 6 F).

ANALISIS QUIMICO-MINERALOGICO

En la zona de La Bodera se realizaron 29 análisis químico-mineralógico mediante microsonda electrónica en los siguientes minerales:

	<i>Análisis</i>
Esfalerita	4
Calcopirita	5
Freibergita	6
Freieslebenita	3
Pirrotina	4
Polibasita	6
Pirargirita	1

Los resultados obtenidos se detallan en la tabla I.

Se distinguen los siguientes sistemas:

Sulfuros

S-Fe

Pirrotina

Los contenidos de Fe prácticamente no presentan variación, oscilando entre mínimos de 59,94 por 100 y máximos de 60,34 por 100.

Los elementos minoritarios que alcanzan valo-

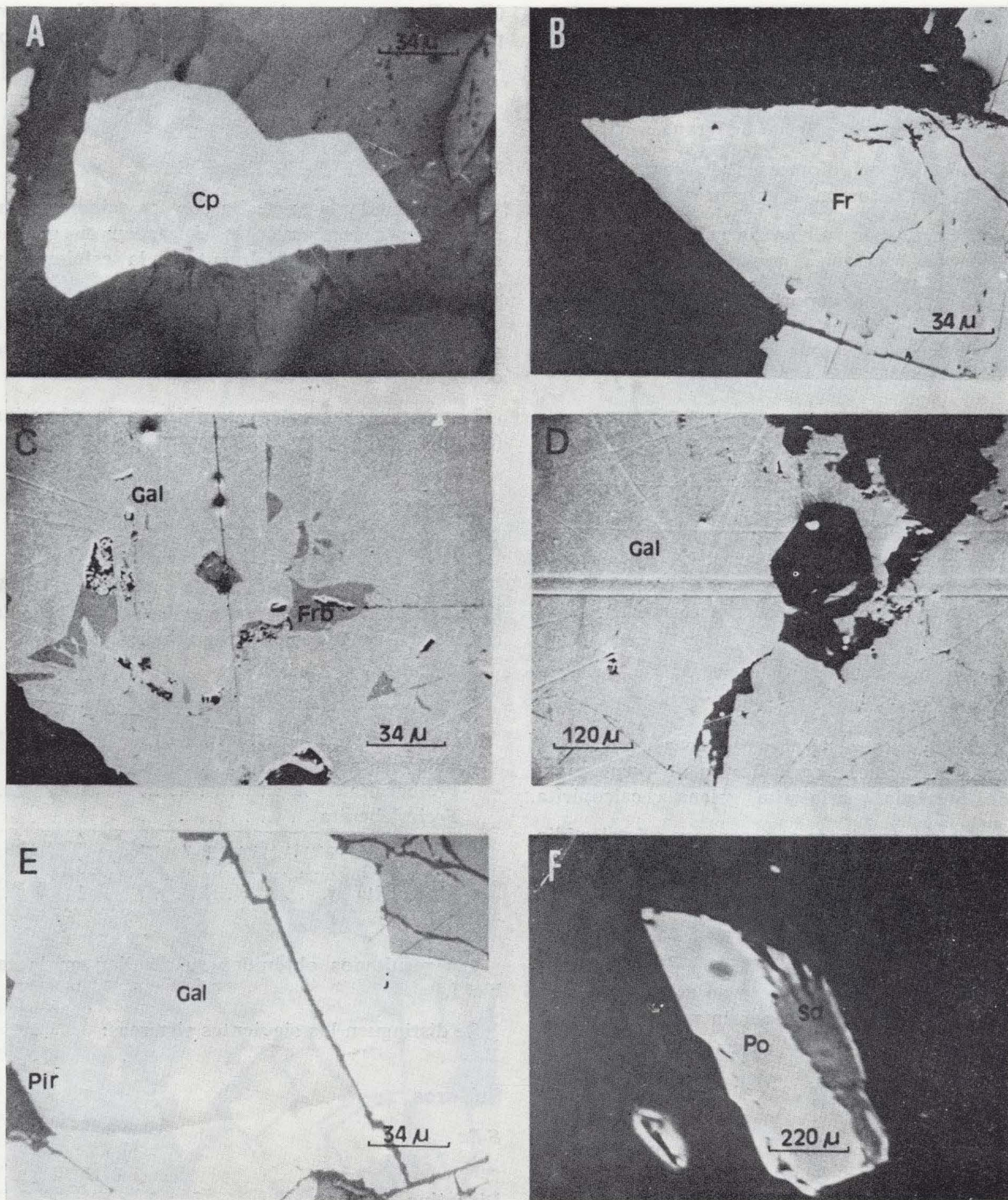


Figura 6

- A) Grano subidiomorfo de calcopirita (Cp) incluido en la ganga. L.R.
 B) Cristal zonado de freibergita (Fr). Obsérvese la zona más clara correspondiente al borde del cristal. L.R.
 C) Freibergita (Frb) en forma de cuerpos irregulares de desmezcla sobre galena (Gal). Microsonda electrónica.
 D) Granos irregulares de polibasita (Pb) como productos de desmezcla sobre galena (Gal). Microsonda electrónica.
 E) Cuerpo subidiomorfo de pirargirita (Pir), como producto de exsolución sobre galena (Gal). L.R.
 F) Reemplazamiento de pirrotina (Po) por siderita (Sd). Microsonda electrónica.

TABLA I.—Porcentajes en peso

ESFALERITA										
	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sb	Ag	S	Total
1	8.23	—	0.08	—	59.13	—	—	—	32.87	100.31
2	9.19	0.07	—	0.05	58.16	—	—	—	32.59	100.06
3	9.12	0.05	—	0.04	58.30	—	—	—	32.63	100.14
4	9.33	0.04	0.03	0.01	57.35	—	—	—	32.96	99.71

CALCOPIRITA										
	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sb	Ag	S	Total
1	30.71	—	0.11	34.19	0.05	—	—	—	34.98	100.04
2	30.56	—	—	34.12	0.21	0.24	—	—	34.89	100.02
3	30.52	0.01	—	34.40	—	—	—	—	35.04	99.98
4	30.12	0.06	0.32	33.96	—	0.08	—	—	35.47	100.01
5	29.81	—	0.05	34.25	—	0.07	—	—	35.10	99.29

FREIESLEBENITA						
	Ag	Sb	Pb	S	Total	
1	20.69	21.86	39.11	17.96	99.62	
2	20.33	22.90	38.27	18.00	99.51	
3	20.61	22.38	39.54	18.14	100.67	

PIRARGIRITA						
	Ag	Sb	Pb	S	Total	
1	61.65	19.61	—	18.74	100.00	

FREIBERGITA										
	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sb	Ag	S	Total
1	3.19	0.06	0.05	13.02	2.07	0.41	26.21	34.69	19.65	100.15
2	3.18	0.05	0.35	14.96	2.61	0.37	26.46	32.35	19.79	100.12
3	3.43	—	—	12.73	3.12	0.16	26.76	34.69	19.25	100.15
4	4.74	—	—	17.25	2.26	—	27.17	27.91	20.67	100.01
5	4.76	—	—	16.03	3.41	0.38	26.13	29.47	20.41	100.59
6	4.71	0.15	—	19.95	2.10	0.16	27.25	24.10	21.43	99.85

PIRROTINA										
	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sb	Ag	S	Total
1	59.94	—	0.20	—	0.10	—	—	—	39.76	100.00
2	60.20	0.24	0.25	0.11	—	0.09	—	—	39.16	100.06
3	60.08	0.09	0.13	—	—	—	—	—	38.97	99.27
4	60.34	0.28	0.32	0.03	—	—	—	—	39.04	100.01

POLIBASITA										
	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sb	Ag	S	Total
1	—	0.07	0.12	0.01	—	0.21	22.59	60.72	16.67	100.39
2	0.04	—	0.14	0.03	—	0.07	15.33	70.41	14.58	100.61
3	0.17	0.14	0.13	—	—	0.15	14.13	71.37	14.13	100.21
4	0.15	0.08	—	0.13	0.09	—	14.97	70.79	14.71	100.93
5	—	0.10	0.15	0.01	0.03	—	14.55	70.37	14.15	99.37
6	0.12	0.02	—	—	0.03	—	14.39	72.41	13.84	100.81

res más elevados son el Co y el Ni (máximos de 0,28 por 100 y 0,32 por 100, respectivamente).

S-Zn-Fe**Esfalerita**

En esta zona la composición de las esfaleritas es bastante homogénea, variando el contenido en Fe entre el 8,23 por 100 y el 9,33 por 100.

En cuanto a los distintos elementos minoritarios, únicamente aparecen pequeñas proporciones de Co y Ni (máximos de 0,07 por 100 y 0,03 por 100, respectivamente).

Sulfosales**S-Sb-Ag**

Incluidos en este sistema se han distinguido la polibasita y pirargirita.

Polibasita

El contenido en Ag de la polibasita es muy variable, oscila entre 60,72 por 100 y 72,41 por 100.

Los elementos menores más importantes son el Fe y el Ni, que alcanzan máximos de 0,17 por 100 y 0,15 por 100. El As y el Co aparecen en muy pequeñas proporciones (máximos de 0,21 por 100 y 0,14 por 100, respectivamente).

Pirargirita

El único análisis realizado sobre pirargirita refleja una composición que no se adapta a la fórmula ideal, puesto que parece existir una disminución del S con respecto a la Ag y el Sb. El contenido en S es dos veces menor que el esperado.

S-Ag-Sb-Cu**Freibergita**

En esta zona parece existir una distribución lineal muy marcada en los contenidos de los elementos mayoritarios. El Sb no presenta variación, mientras que los tantos por ciento de plata oscilan entre máximos atómicos de 42,36 por 100 y

mínimos de 29,33 por 100. El cobre varía entre un máximo de 41,25 por 100 y mínimo del 27,0004 por 100 atómico.

Los contenidos de Fe y Zn, como elementos minoritarios de las freibergitas, varían entre máximos de 4,81 por 100 y 3,41 por 100, respectivamente.

El As, Co y Ni también se encuentran en pequeñas proporciones (máximos de 0,41 por 100, 0,15 por 100 y 0,35 por 100, respectivamente).

S-Ag-Sb-Pb

Freieslebenita

En esta zona, las freieslebenitas presentan una cierta variación de los contenidos en Pb (desde 38,27 por 100 a 39,54 por 100). Los contenidos en Ag son relativamente bajos, 20,69 por 100, frente a los del Sb, que en esta zona llegan a alcanzar un 22,90 por 100.

CARACTERES TEXTURALES

En los minerales que aparecen en la zona de La Bodega se han distinguido los siguientes tipos texturales:

- Texturas de exsolución.
- Texturas de deformación:
 - Deformación frágil.
 - Deformación dúctil.
- Zonados.
- Maclas.

Texturas de exsolución

Como texturas de exsolución se pueden distinguir: cuerpos huésped subredondeados e irregulares, que se presentan en las zonas de centro de grano, y cuerpos subidiomorfos, que responden a un proceso de segregación, típicos de zonas de borde de grano.

El primer tipo se presenta en las siguientes asociaciones mineralógicas:

Huésped	Patrón
Calcopirita	Esfalerita
Esfalerita	Calcopirita
Polibasita	Galena
Freieslebenita	Galena
Pirargirita	Galena

El segundo tipo (zonas de borde de grano) únicamente aparece cuando la calcopirita se encuentra como huésped sobre patrón de esfalerita.

Texturas de deformación

En la esfalerita y la galena se han detectado dos tipos de deformación: frágil y dúctil. La primera se manifiesta especialmente en las zonas de borde de grano y tiene como resultado la formación de un agregado cataclástico de grano fino, tal y como se observa en la figura 5 E.

La formación de pequeñísimos pliegues en ambos minerales es frecuente en esta zona, especialmente en las galenas (fig. 5 F). Estos pliegues son típicos de las zonas de centro de grano.

Zonados

El único mineral que se presenta zonado es la freibergita (fig. 6 B). La variación composicional es algo común, que se presenta prácticamente en todos los depósitos donde aparece, pudiéndose apreciar incluso sin ningún tipo de ataque químico.

Maclas

Se han podido reconocer tres minerales maclados: calcopirita, esfalerita y freieslebenita.

El maclado de las calcopiritas se presenta en casi todos los granos según varias leyes de macla (101), (110) y (111). Generalmente, estas maclas se forman durante el crecimiento cristalino, aunque también pueden ser generadas como consecuencia de efectos tectónicos o procesos de transformación.

Las maclas de la esfalerita, en este caso únicamente visibles mediante ataque químico, son muy comunes. El maclado más frecuente es paralelo a (111) y (211), desarrollándose las típicas maclas polisintéticas. Únicamente no aparece maclado en los granos muy pequeños producidos por recristalización y/o exsolución.

Finalmente, el maclado en las freieslebenitas es muy variable, puesto que no se encuentra en todos los granos.

GEOTERMOMETRIA

De acuerdo a la mineralogía presente, así como la freieslebenita, puede considerarse un mineral claramente tardío, la pirargirita y la polibasita tienen dos ambientes térmicos bien diferenciados. Concretamente, en La Bodega la galena es un mineral tardío, y las sulfosales únicamente aparecen como exsolución sobre ella o bien rellenando pequeñas fracturas atravesándola (pirargirita). La desmezcla tuvo que ser simultánea o ligeramente posterior a la formación del mineral patrón (galena), por lo que la pirargirita y la polibasita serían términos de baja temperatura, de acuerdo con la formación de freieslebenita.

Mineral	Máx. estabilidad térmica
Pirargirita	485° C CAMBI y ELLI (1965)
Polibasita	400° C FRONDEL (1963) HALL (1967) CAMBI et al. (1966)
Freieslebenita	340° C HODA y CHANG (1975)
Esfalerita	500 ± 10° C
Calcopirita	(temperatura + desmezcla) CZAMANSKE (1974)

El dato más claro en cuanto a termometría parece ser el de la asociación esfalerita-calcopirita, que nos indica una temperatura de 500 ± 10° C, posiblemente el límite térmico superior de la mineralización de La Bodega.

MINERALES DE LA GANGA

Los minerales de la ganga son cuarzo, baritina, fluorita y siderita. El cuarzo se presenta en forma de cristales idiomorfos parcialmente atacado en los bordes por galena.

La baritina y la fluorita son menos abundantes, aparecen siempre asociados, en forma de cristales idiomorfos, a veces de gran tamaño.

La siderita es menos frecuente, en forma de recubrimientos de agregados de cristales idiomorfos y reemplazando a la pirrotina (fig. 6 F).

PARAGENESIS Y SUCESION MINERAL

La paragénesis de la mineralización de La Bodega corresponde al tipo q Ba(Pb-Ag-Sb).

Según se ha indicado en el esquema de paragénesis y sucesión mineral (fig. 7), se han podido reconocer dos etapas metalogénicas, una primera de Cu-Zn de más alta temperatura y una segunda más tardía de Pb-Ag-Sb.

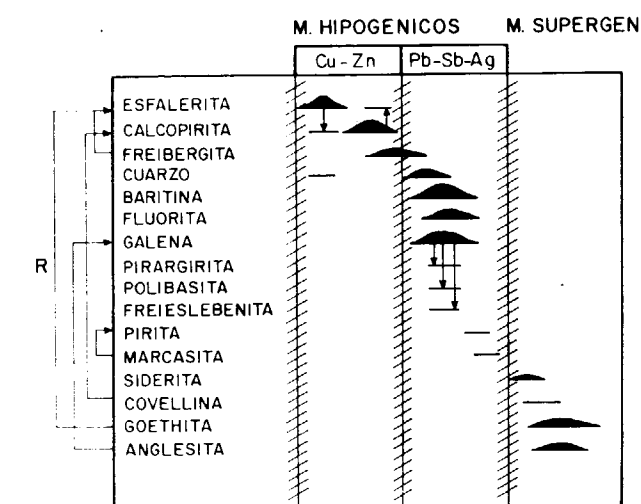


Figura 7.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral de la mineralización de La Bodega.

- El espesor del trazo es aproximadamente proporcional a la abundancia del mineral en el yacimiento.
- Las flechas verticales indican procesos de exsolución.
- R: Reemplazamientos.

Los primeros minerales en depositarse son esfalerita y calcopirita. La freibergita marca la transición entre la etapa Cu-Zn-Fe y la Pb-Ag-Sb.

Durante la etapa Pb-Ag-Sb el mineral principal es la galena, simultáneamente en este mineral se producen las desmezclas de minerales de plata (pirargirita, polibasita y freieslebenita).

También se reconoce una pirita tardía parcialmente reemplazada por marcasita. Los reemplazamientos (R) son numerosos, especialmente los de minerales hipogénicos (esfalerita, calcopirita, galena) por supergénicos, goethita, covellina y anglesita, respectivamente.

CONCLUSIONES

A partir de los datos obtenidos, los filones de La Bodega se consideran, al igual que los del ya-

cimiento principal (Hiendelaencina), de tipo hidrotermal, de edad tardihercínica, con predominio de las etapas metalogénicas ricas en Zn, Pb y Ag de temperatura intermedia.

Las texturas que presentan los sulfuros y sulfosales de plata indican que el enfriamiento de las soluciones mineralizadoras se produjo rápidamente. No obstante, la presencia de zonación en las freibergitas y la existencia de texturas de segregación de pirargirita en las zonas de bordes de grano de las freibergitas, plantea un decrecimiento de la velocidad de enfriamiento en esta zona, entre las etapas metalogénicas de media y baja temperatura.

Se considera, por tanto, que la mineralización de La Bodera se formó como consecuencia de una actividad meso-epitermal.

BIBLIOGRAFIA

- CAMBI y ELLI (1965), en WUENSCH et al. (1974): *Sulfide mineralogy*. Short Course Notes, vol. 1.
- CAMBI et al. (1966), en WUENSCH et al. (1974): *Sulfide mineralogy*. Short Course Notes, vol. 1.
- CASTELLS LÓPEZ, C.; S. DE LA FUENTE, J.; MARTÍNEZ, R.; BAEZA ROJANO, L. J., y LÓPEZ CASTAÑEDA, F. (1973): *Proyecto de investigación minera en la reserva de Hiendelaencina, provincia de Guadalajara*. Informe sobre los trabajos de investigación, cuarto año, IGME, División de Minería.
- CZAMANSKE (1974), en BARNES, H. L. (ed.) (1979): *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 2nd. ed. John Wiley, New York.
- FRONDEL (1963), en WUENSCH et al. (1974): *Sulfide Mineralogy*. Short Course Notes, vol. 1.
- HALL (1967), en WUENSCH et al. (1974): *Sulfide Mineralogy*. Short Course Notes, vol. 1.
- HODA y CHANG (1975), en WUENSCH et al. (1974): *Sulfide Mineralogy*. Short Course Notes, vol. 1.
- SCHAFFER, G. (1969): *Geologie und Petrographie in ostlichen Kastilichen Hamptscheidegebirge (Sierra de Guadarrama, Spain)*. Munster Forsch - Geol. Palont., 10, 207 pp.

Recibido: Enero de 1988.