

En este número:

- Los montículos arrecifales de Algas y Arqueociatos del Cámbrico Inferior de Sierra Morena. II: Las Algas calcáreas.
- Materiales stephano-pérmicos en la fosa de Fombuena (provincia de Zaragoza).
- Evaluación de una técnica de tratamiento digital de imágenes: Aplicación del análisis de componentes principales a una imagen TM en un área granítica del Macizo Hespérico Central.
- La estructura del borde norte de la Sierra de Cameros (La Rioja).
- Movimientos absolutos en fallas.
- El macizo de Aracena (macizo Ibérico meridional): Propuesta de división sobre la base de nuevos datos estructurales y petrográficos.
- Dolomitización, silicificación y concentración de sulfuros de Zn, Pb y Fe en calcarenitas urgonianas (Mina de Legorreta, Guipúzcoa).
- Estudio mineralógico, textural y geoquímico de las zonas de oxidación de los yacimientos de Fe-Pb-Zn de la Sierra de Cartagena (1.ª parte).
- Las curvas de Dar Zarrouk para medios polarizantes.
- Comportamiento hidrico de calizas y dolomías.

REVISTA BIMESTRAL DEL IGME FUNDADA EN 1874

Tomo XCVIII. Cuarto Fascículo. Julio-Agosto 1987

boletín geológico y minero

6 OCT. 1987



geología • minería • aguas subterráneas • geotecnia • estudios de minerales • mineralurgia



Tomo 98
Fascículo IV
Julio-Agosto 1987

Boletín Geológico y Minero



revista bimestral de geología económica, industrias extractivas y de su beneficio - fundada en 1874 - 4.ª serie

SUMARIO

Geología	E. MORENO-EIRIS: Los montículos arrecifales de Algas y Arqueociatos del Cámbrico Inferior de Sierra Morena. II: Las Algas calcáreas 3
	J. C. CONTE, F. GASCÓN, M. LAGO SAN JOSÉ y P. CARLS: Materiales stephano-permicos en la fosa de Fombuena (provincia de Zaragoza) 14
	A. RIAZA y A. BEL-LAN: Evaluación de una técnica de tratamiento digital de imágenes: Aplicación del análisis de componentes principales a una imagen TM en un área granítica del Macizo Hespérico Central 25
	F. PÉREZ-LORENTE: La estructura del borde norte de la Sierra de Cameros (La Rioja) 38
	M. DOBLAS y J. RUBIO: Movimientos absolutos en fallas 47
	A. CRESPO-BLANC: El macizo de Aracena (macizo Ibérico meridional): Propuesta de división sobre la base de nuevos datos estructurales y petrográficos 61
Minería	J. M. HERRERO, F. VELASCO y H. FANO: Dolomitización, silicificación y concentración de sulfuros de Zn, Pb y Fe en calca-renitas urgonianas (Mina de Legorreta, Guipúzcoa) 70
	J. A. LÓPEZ GARCÍA: Estudio mineralógico, textural y geoquímico de las zonas de oxidación de los yacimientos de Fe-Pb-Zn de la Sierra de Cartagena (1.ª Parte) 81
Geofísica	J. L. SEARA: Las curvas de Dar Zarrouk para medios polarizantes 98
Geotecnia	F. J. ALONSO, R. M. ESBERT y J. ORDAZ: Comportamiento hídrico de calizas y dolomías 108
Información	J. M. LÓPEZ DE AZCONA: Mineros destacados del siglo XIX. Mariano Pérez de Santa Cruz (1825-1864) 131
	Noticias y Notas Bibliográficas 134

DIRECCION, REDACCION Y PUBLICACION

Ríos Rosas, n.º 23 - 28003-Madrid
Teléfono 441 70 67

ADMINISTRACION, DISTRIBUCION Y SUSCRIPCION

Doctor Fleming, 7, 2.º - 28036-Madrid
Teléfono 250 02 03

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

**CENTRO DE PUBLICACIONES
MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA**

agradecemos su colaboración, así como a don Argimiro Fernández, Facultativo en Legorreta, por las facilidades prestadas en los trabajos en el interior de la mina.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, G. M., y MACQUEEN, R. W. (1982): *Ore deposits models. 6. Mississippi Valley type lead-zinc deposits*. Geoscience Canada, 9, 108-117.
- BADIOZAMANI, K. (1973): *The Dorag dolomitization model. Application to the Middle ordovician of Wisconsin*. Journal of Sedimentary Petrology, 43, 965-984.
- FLÜGEL, E. (1982): *Microfacies analysis of limestones*. Springer Verlag, Berlín, 633 pp.
- FOLK, R. L. (1965): *Some aspects of recrystallization in ancient limestones*. Soc. Econ. Paleont. Min. Spec. Publ., 13, 14-48.
- FUCHS, Y. (1973): *Sur les relations entre emersion et concentration métallifère (quelques exemples tunisiens)*. Livre Jubilaire M. Solignac. Annales de Mines et de la Géologie. Tunis, 26, 479-509.
- HAGNI, R. D. (1976): *Tri-State ore deposits: the character of their host rocks and their genesis*. En H. K. Wolf, ed., «Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits II, Vol. 6, Cu, Zn, Pb and Ag deposits». Elsevier, Amsterdam, 457-494.
- HERRERO, J. M., y VELASCO, F. (1985): *Rasgos geológicos y metalogénicos del extremo oeste de la cadena pirenaica*. En «Yacimientos de Zn, Fe y Mg asociados a rocas carbonatadas en la región vasco-cantábrica». II Reunión AEGYM. Reocin, Gallarta, Euguí, octubre 1985, 13-33.

HERRERO, J. M.; VELASCO, F., y FORTUNE, J. P. (1982): *Estudio preliminar sobre las mineralizaciones de hierro y de plomo-cinc-flúor en ambiente carbonatado del oeste de Vizcaya*. Bol. Soc. Esp. Mineralogía, 5, 183-190.

JEREZ, L.; ESNAOLA, J. M., y RUBIO, V. (1971): *Estudio geológico de la provincia de Guipúzcoa*. Memoria del IGME 79, 130 pp. Mapa 1:50.000.

KNAUTH, L. P. (1979): *A model for the origin of chert in limestone*. Geology, 7, 274-277.

LONGMAN, M. W. (1980): *Carbonate diagenetic textures from nearsurface diagenetic environments*. AAPG Bull., 64, 461-487.

PASCAL, A. (1985): *Les systèmes biosédimentaires urgoniens (Aptien-Albien) sur la marge nord-ibérique*. Mém. Géol. Univ. Dijon 100. BRGM, Orléans, 569 pp.

RAT, P. (1959): *Les pays crétacés basco-cantabriques*. Publ. Univ. Dijon 18. Dijon, 525 pp.

RAT, P. (1983): *Les régions basco-cantabriques et nord-ibériques*. En «Vue sur le Crétacé basco-cantabrique et nord-ibérique». Mém. Géol. Univ. Dijon 9, 1-24.

VADALA, P.; TOURAY, J. C.; GARCÍA IGLESIAS, J., y RUIZ, F. (1981): *Nouvelles données sur le gisement de Reocin (Santander, Espagne)*. Chronique de la Recherche Minière, 462, 43-59.

WILSON, J. L. (1975): *Carbonate facies in geologic history*. Springer Verlag, Berlín, 633 pp.

Estudio mineralógico, textural y geoquímico de las zonas de oxidación de los yacimientos de Fe-Pb-Zn de la Sierra de Cartagena (1.^a Parte)

Por J. A. LOPEZ GARCIA (*)

RESUMEN

El estudio de las zonas de oxidación de los yacimientos de Fe-Pb-Zn de la Sierra de Cartagena, se ha dividido en una serie de trabajos.

En este primero se estudian las características mineralógicas y geoquímicas de las mineralizaciones con estaño de Las Lajas.

ABSTRACT

Oxidized zones of Fe-Pb-Zn ore of the Sierra de Cartagena in the province of Murcia will be studied in three papers. In this first one the mineralogical and geochemical characteristics of the tin bearing ores of Las Lajas are treated.

1. INTRODUCCION

Este trabajo fue presentado para la opción al título de Doctor en Geología en la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid.

Para la publicación de este estudio se ha dividido el mismo en tres trabajos que se agrupan bajo un título común «Estudio mineralógico, textural y geoquímico de las zonas de oxidación de los yacimientos de Fe-Pb-Zn de la Sierra de Cartagena». En este primero se estudian las características mineralógicas y geoquímicas de las mineralizaciones oxidadas de Las Lajas, caracterizadas por la presencia de estaño.

2. MINERALIZACIONES DE Fe-Pb-Zn DE LA SIERRA DE CARTAGENA

En el conjunto de la Sierra de Cartagena, situada geológicamente en el dominio interno de las

Cordilleras Béticas, aparecen diversos tipos de mineralizaciones, generalmente de Fe-Pb-Zn, que han sido estudiadas por diferentes autores, desde los principios de siglo, como DEMAY (1924) y GUARDIOLA (1929), hasta los desarrollados más recientemente como los de FRIEDRICH (1964), PAVILLON (1969-1972), OEN et al. (1975), OVEJERO et al. (1976) y KAGER (1980). Hay asimismo numerosos estudios de aspectos parciales de estas mineralizaciones, como los de OEN et al. (1980), LÓPEZ GARCÍA et al. (1981-1984) y ARANA et al. (1983).

En base a la clasificación de OEN et al. (1975) podemos diferenciar diversos tipos de mineralizaciones:

— Mineralizaciones, caracterizadas por la presencia de estaño, junto con minerales de plomo y zinc.

Mineralizaciones estratiformes, que constituyen los depósitos más importantes económicamente, y que pueden presentar dos tipos de paragénesis diferentes:

— Paragénesis con greenalita-magnetita-sulfuros, carbonatos y sílice.

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

- Paragénesis con sulfuros-carbonatos y sílice.
- Mineralizaciones filonianas asociadas al vulcanismo neógeno existente en la Sierra de Cartagena.
- Mineralizaciones fisurales, situadas fuera del vulcanismo.
- Niveles mineralizados en los depósitos del Mioceno.

En este trabajo se aborda el estudio de las mineralizaciones que proceden de la alteración supergénica de los yacimientos primarios.

Para su estudio, se han diferenciado tres zonas (fig. 1):

- Las Lajas, caracterizada por la presencia de

óxidos con estaño, y que según autores sería una paragénesis primaria, y no una zona de oxidación.

- San Valentín, donde aparece una zona de oxidación bien desarrollada, procedente de la alteración de mineralizaciones estratiformes con paragénesis de greenalita, magnetita, sulfuros, carbonatos y sílice.
- El Estrecho y Buen Consejo, en los que la zona de oxidación proviene de la alteración de mineralizaciones estratiformes con sulfuros, carbonatos y sílice.

En esta primera parte del trabajo se han estudiado las mineralizaciones oxidadas de Las Lajas que presentan una paragénesis de óxidos con estaño.

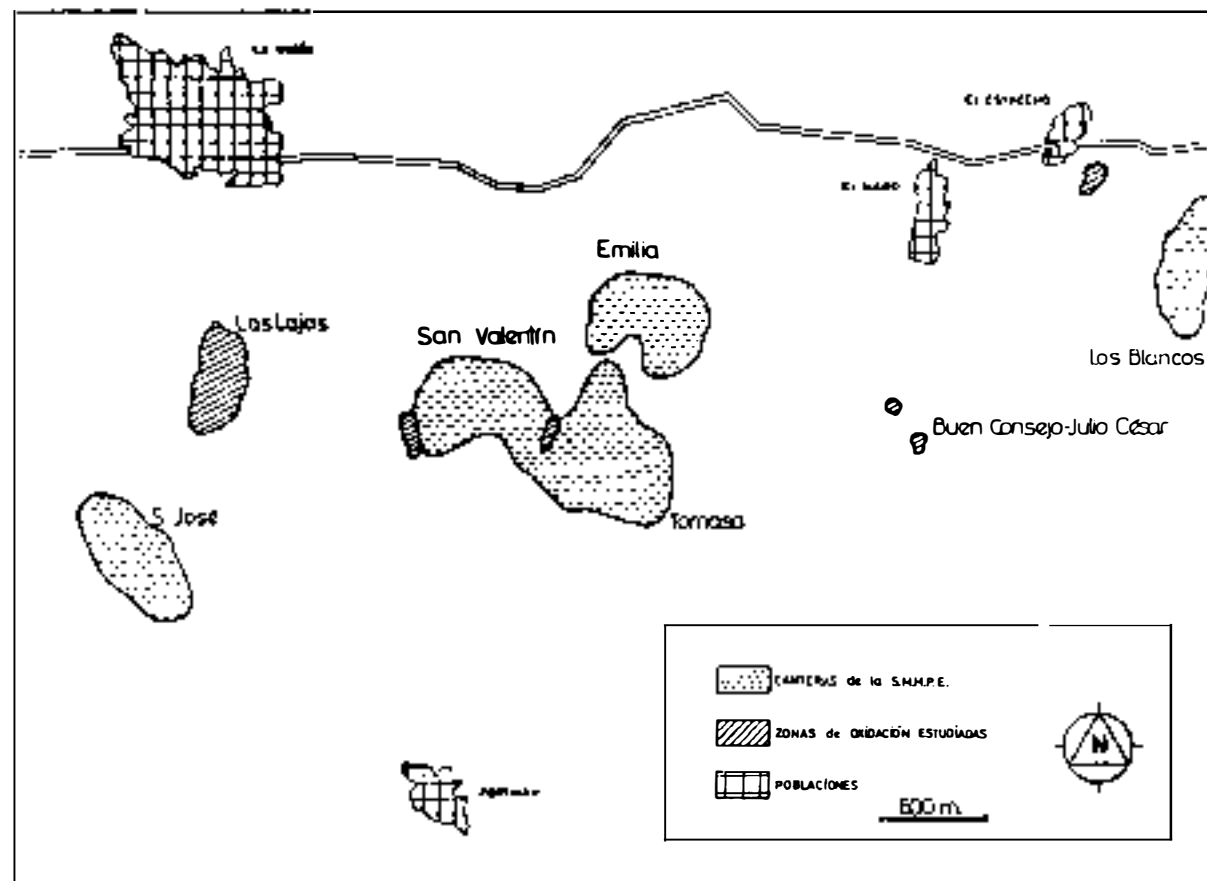


Figura 1.—Zonas de oxidación que aparecen en los yacimientos de la Sierra de Cartagena.

3. OXIDACION DE PARAGENESIS CON ESTAÑO (Las Lajas)

En el sector Central de la Sierra de Cartagena, aparecen mineralizaciones conteniendo casiterita, asociadas a los afloramientos subvolcánicos terciarios andesíticos y dacíticos, que han sido objeto de estudios diversos.

FRIEDRICH (1964) clasifica esta paragénesis, como filones con casiterita asociados a hematites, jarosita y alunita. En las zonas profundas, la mineralogía de los filones es de pirita y marcasita, con relictos de magnetita, formándose hematites y jarosita por alteración. Su génesis sería un ejemplo de yacimientos subvolcánicos en relación con un emplazamiento poco profundo de las rocas ígneas.

KAGER (1980) considera estas mineralizaciones de origen hidrotermal BAS et al. (1984) las clasifican dentro del tipo 1A de TAYLOR (1979), en la cual el estaño está asociado a lavas y rocas subvolcánicas ácidas, y formado a bajas temperaturas.

Descripción de la zona

La zona Central de la Sierra de Cartagena está constituida por las unidades Nevado-Filábride y Alpujárride, con algún resto de sedimentos miocenos, atravesados por rocas subvolcánicas dispuestas según una banca NO-SE, con una anchura entre 1,5 Km. y 2 Km., que alcanzan su máxima extensión en la zona de La Crisoleja (fig. 2), donde aflora un domo elipsoidal, acompañado de una serie de diques, que se extienden hacia el Norte en la llamada Cuesta de Las Lajas.

En esta zona se encuentran mineralizaciones con estaño, de dos tipos diferentes:

- Mineralizaciones, asociadas a fisuras y fracturas, a favor de la esquistosidad en las rocas encajantes y formando un stockwork en los cuerpos subvolcánicos, con una paragénesis primaria de sílice-hematites-pirita y/o marcasita y casiterita.
- Mineralizaciones ferruginosas silíceas, tabulares, pos subvolcánicos sobre las filitas alpujárrides, con morfología estratiforme, y una paragénesis similar a las anteriores.

Estas silicificaciones, según OEN et al. (1975a) po-

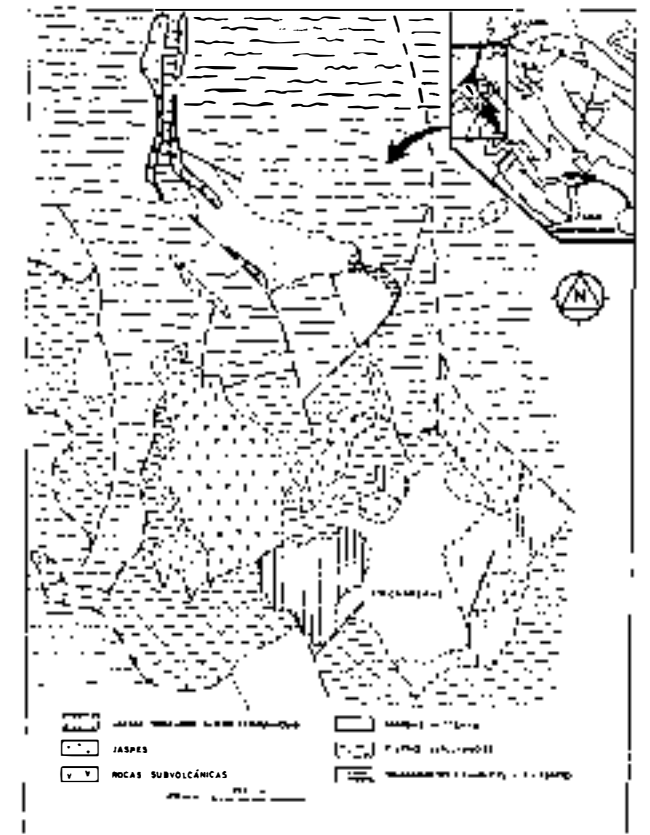


Figura 2.—Esquema geológico de La Crisoleja y Las Lajas (Servicio geológico de la S. M. M. Peñarroya, España).

drían corresponder a calizas alpujárrides silicificadas. OVEJERO (1980) cita también como posibilidades que estas masas sean un primer manto oxidado, o también un sinter silíceo, mineralizado. ARRIBAS et al. (1984) consideran que es el mismo proceso de silicificación y piritización el que da lugar al stockwork y las masas silíceo-ferruginosas.

Las rocas de toda la zona, han sido sometidas a un proceso de meteorización, que ha dado lugar a un paisaje de color rojizo característico en el que hay numerosas pequeñas explotaciones mineras antiguas, hoy abandonadas.

Mineralogía y texturas

Para el estudio mineralógico y textural, se recogieron muestras de mano, en las vetas y fisuras mineralizadas y también se han estudiado muestras procedentes de testigos de sondeos que cortan las

que

silicificaciones tabulares ferruginosas, descritas anteriormente.

Mineralizaciones en fisuras y stockwork.

Las mineralizaciones en vetas y el stockwork, presentan una paragénesis sencilla compuesta por sílice (cuarzo, jaspe y calcedonia), hematites, pirita, galena y casiterita, como minerales primarios, y goethita y jarosita como minerales secundarios.

El *cuarzo* que acompaña a la mineralización se deposita en fracturas y huecos, con grano fino, llegando a ser de tipo calcedonia (fig. 3a).

Hematites: Aparece en las zonas brechificadas, asociado a casiterita. Se puede reconocer en la mayoría de los casos por su hábito, ya que suele estar transformado a goethita.

Pirita: Quedan restos aislados sin alterar dentro de cristales de cuarzo. Aunque en su mayor parte, está transformada a goethita, quedando únicamente las texturas pseudomorfas que indican su presencia en la mineralización primaria. Se han encontrado texturas réplica de pirita diseminada en los huecos (fig. 3b) y en las zonas de brecha asociadas a casiterita (fig. 3c).

Galena: No se encuentra resto alguno de este mineral, únicamente se han reconocido por algunas texturas réplicas que aparecen en huecos, junto a casiteritas, y réplicas de pirita (fig. 3d y 3e). Las texturas pseudomorfas de galena transformadas a goethita, presentan un entramado fino, con paredes muy rectas, reflejando las direcciones (100) de la red cúbica preexistente, y con numerosos huecos, al contrario que las de pirita, que son más compactas y con menos huecos y mayor cantidad de goethita (BLAIN y ANDREW, 1977). Comparando las figuras 3b a 3e se pueden observar estas diferencias texturales.

La escasa presencia de texturas pseudomorfas de galena, está justificada, además de por una baja proporción de este mineral en la mineralización primaria, por la presencia de pirita, que produce un medio ácido y dificulta la conservación de texturas.

Casiterita: Es junto con el cuarzo, el mineral primario que permanece sin alterar. Se presenta en bandas bordeando al cuarzo (3f) con texturas xiloides, y asociada a los minerales primarios ya citados. En ocasiones la casiterita aparece junto a jarosita, en granos de pequeño tamaño.

Goethita: Es el mineral secundario más abundante. Reemplaza a hematites, pirita y galena, dejando en ocasiones texturas réplica de estos minerales. Aparece también impregnando huecos y fisuras en cuarzo (fig. 3g), y en masas y texturas coloidales empastando casiterita.

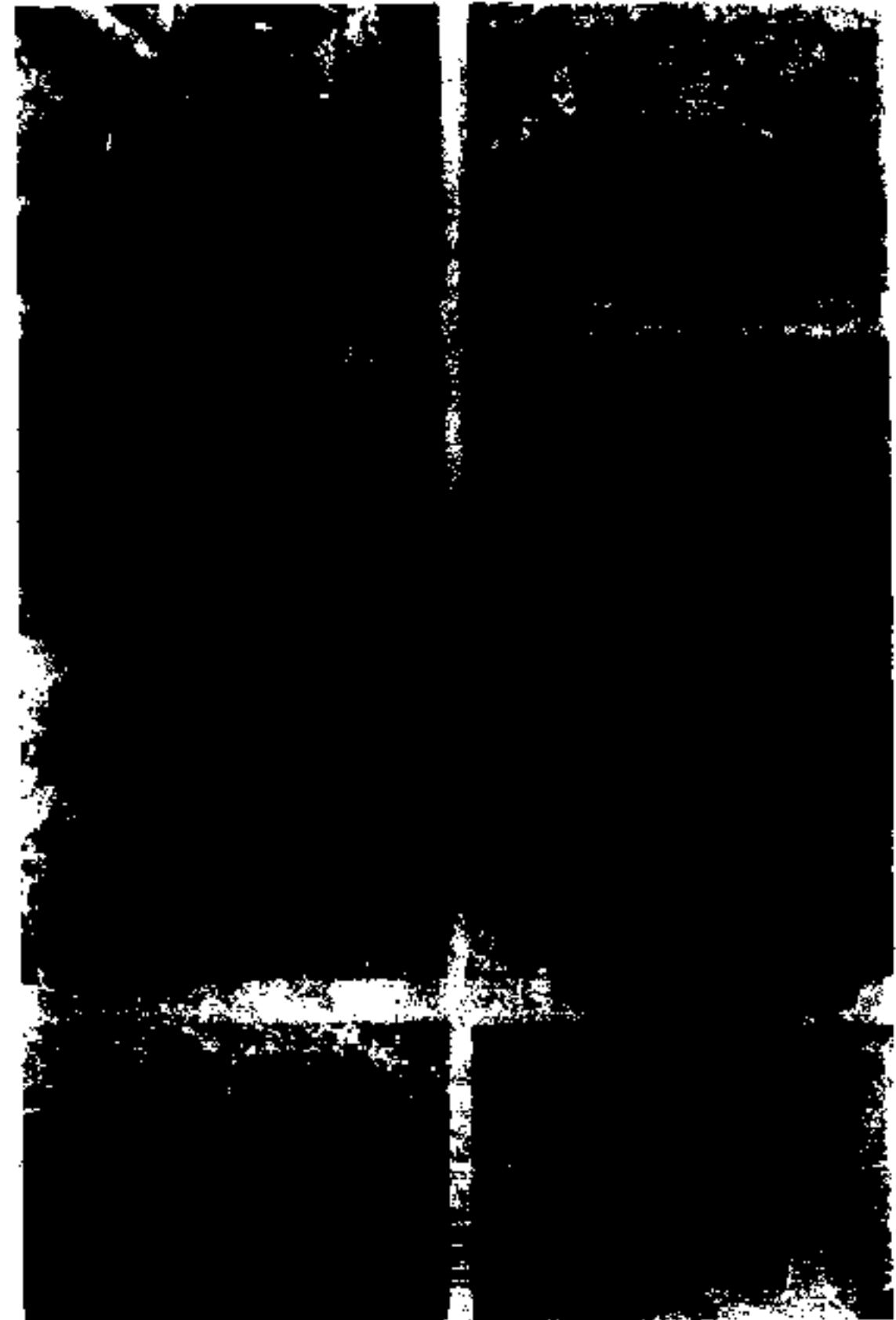
Jarosita: Es un mineral menos abundante que goethita. No se han encontrado jarositas pseudomorfas de pirita, como citan ARRIBAS et al. (1984), sino texturas bandeadas, asociadas a casiterita. La presencia de plomo en la jarosita, es otro indicio de la existencia de galena en la mineralización primaria. La formación de sulfatos tipo jarosita, en lugar de cerusita y anglesita, está justificado por las condiciones químicas de la alteración, y la presencia de cationes como sodio y potasio, como veremos más adelante.

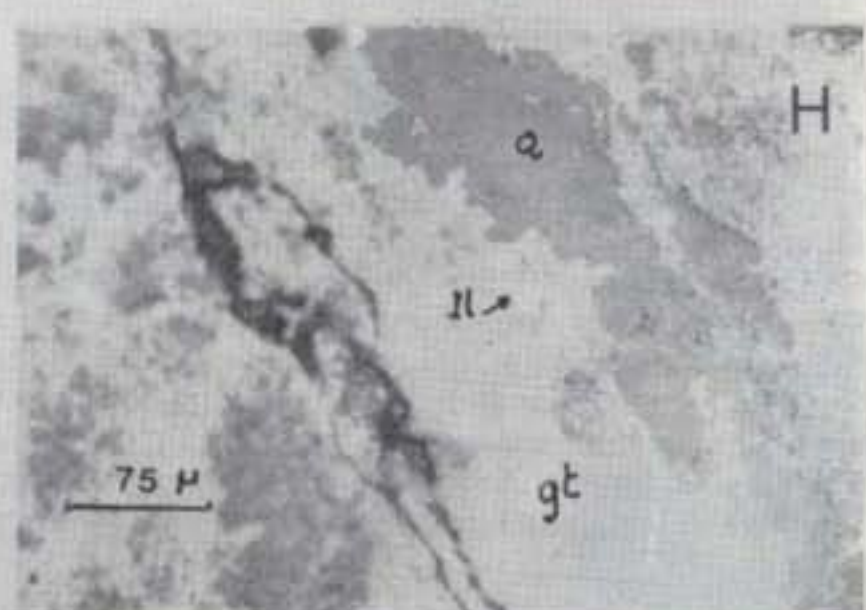
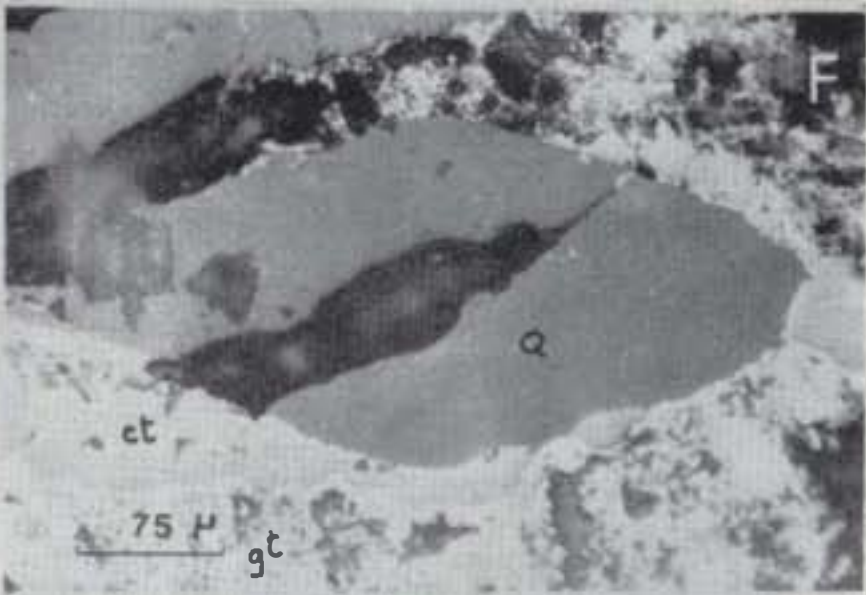
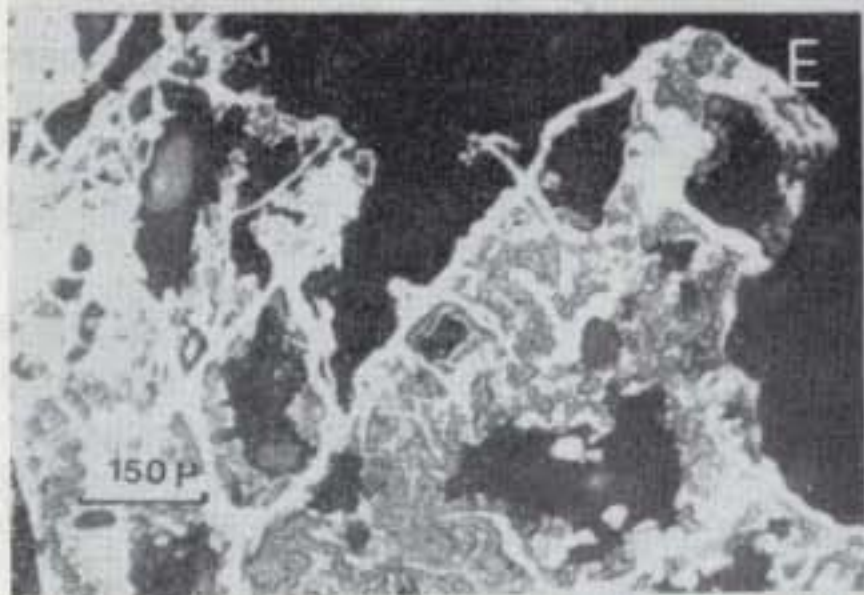
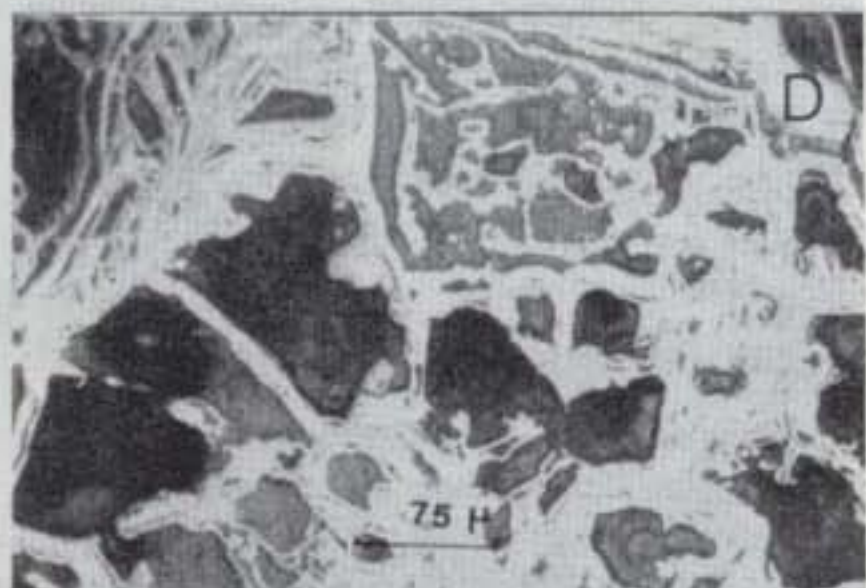
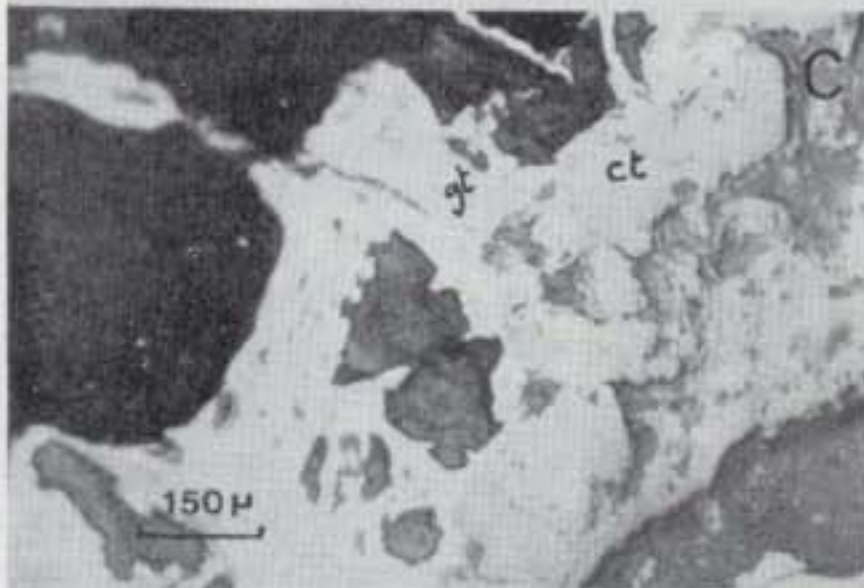
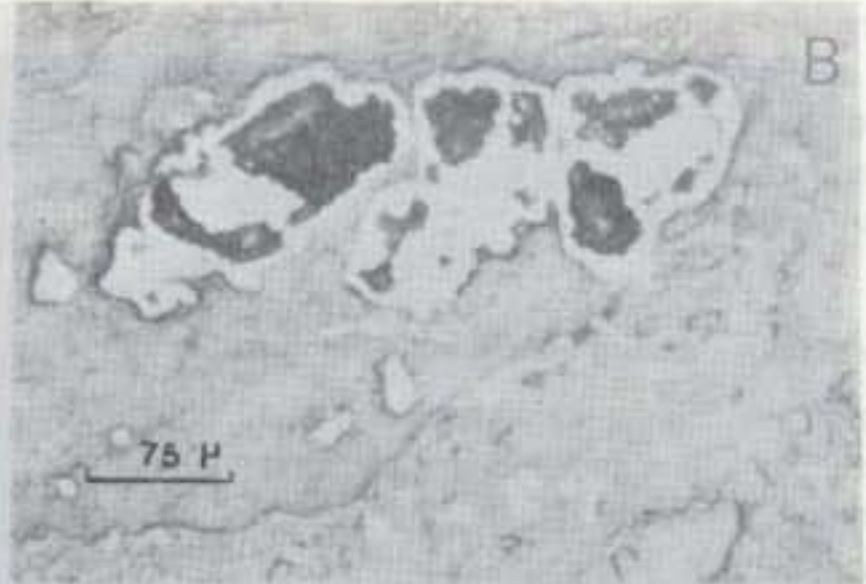
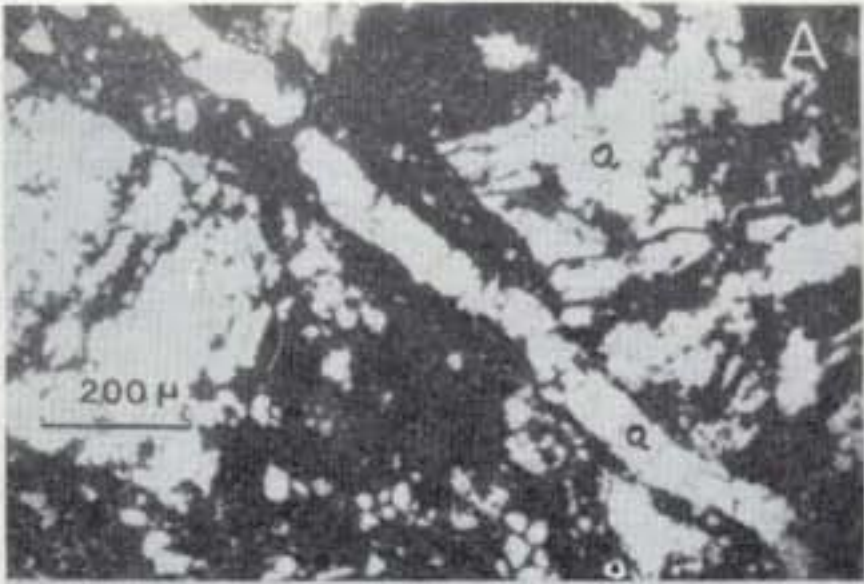
Dispersos por la mineralización, hay restos de óxidos de titanio como *anatasa* y *rutilo*, que permanecen sin alterar (fig. 3h).

En los análisis efectuados mediante microsonda electrónica sobre casiterita, se detectaron contenidos en hierro de un 4 a 5 por 100. LUFQUIN (1977) ha descrito sustitución de Fe^{3+} por Sn^{4+} en la es-

Figura 3

- A) Cuarzo (Q) procedente de la silicificación rellenando fracturas. L. T.
- B) Goethita con texturas réplica de pirita, rellenando huecos. L. R.
- C) Goethita (gt) con texturas réplica de pirita, asociada a casiterita (ct).
- D) Texturas réplica de galena, transformada a goethita. El entramado es menos compacto que en las texturas procedentes de la oxidación de pirita. L. R.
- E) Texturas réplica de galena, transformada en goethita. L. R.
- F) Cristales de cuarzo (Q) bordeados por casiterita (ct) y goethita (gt). L. R.
- G) Goethita rellenando pequeñas fracturas y huecos de cuarzo (Q). L. R.
- H) Cuarzo (Q) empastado por goethita (gt) con restos de ilmenita (Il) sin alterar. L. R.





estructura de la casiterita de Nuevo Méjico, de un origen similar al de estas mineralizaciones. También se encontraron pequeños granos de casiterita, con tamaños entre 10 y 15 micras, englobados por bandas de jarosita.

Silicificaciones tabulares ferruginosas

Se han estudiado muestras de testigos de sondeos que cortan estas mineralizaciones, que llegan a alcanzar una potencia de 18 metros en el sondeo Mc-1 Bis, y 8 metros en el sondeo Mc-2 Bis.

Dada la baja concentración de elementos de interés económico de estas silicificaciones, se hicieron separaciones magnéticas de las muestras, recogiendo tres concentrados diferentes:

- Fracción no magnética a 0,5 amperios (NM).
- Fracción intermedia no magnética a 0,3 amperios (I).
- Fracción magnética a 0,3 amperios (M).

De cada concentrado obtenido se hizo difracción de rayos X, para determinar su mineralogía, así como análisis químicos de Fe, Pb, Zn, Ag y en los casos que fue posible de Sn.

La mineralogía de las silicificaciones tabulares ferruginosas, está compuesta por cuarzo, como mineral más abundante; goethita en cantidades menores, y en orden decreciente: hematites, jarosita, ferryhidrita, calcita, cerusita, anglesita, cloritas, ilmenita, anatasa, rutilo y casiterita. Se encuentran también algunos restos aislados de pirita y marcasita, como inclusiones en el cuarzo, y en los niveles más profundos, dentro ya de las filitas Alpujárrides, sin alterar.

Cuarzo: Se encuentran tres tipos bien diferenciados texturalmente:

- Cuarzos bien formados, a veces de tipo hematideo con impregnaciones de hierro, que suelen estar empastados por masas de goethita, generalmente de tamaño grueso (fig. 4A).
- Cuarzo de tipo calcedonia, bordeando los del tipo anterior, así como las masas de goethita (fig. 4B).
- Cuarzos cristalizados en fisuras, idiomorfos y prismáticos (fig. 4C).

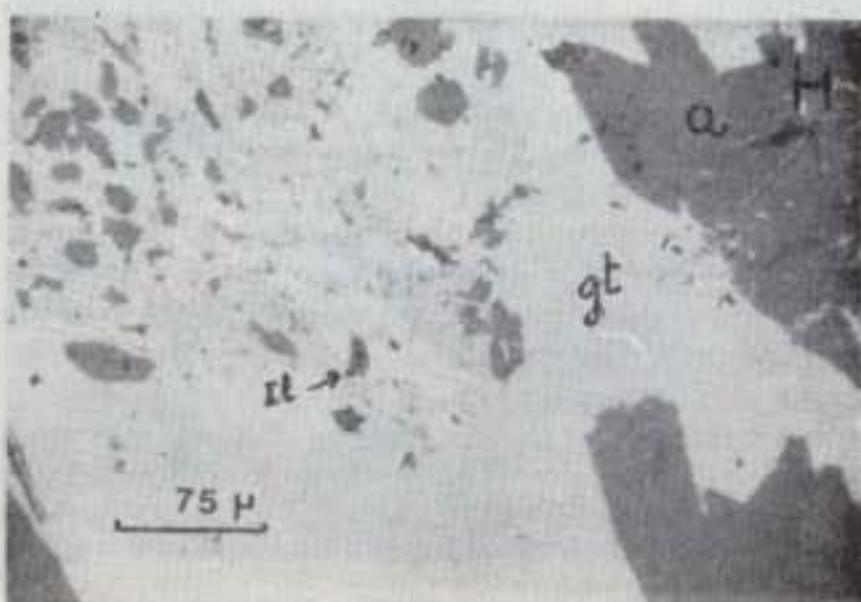
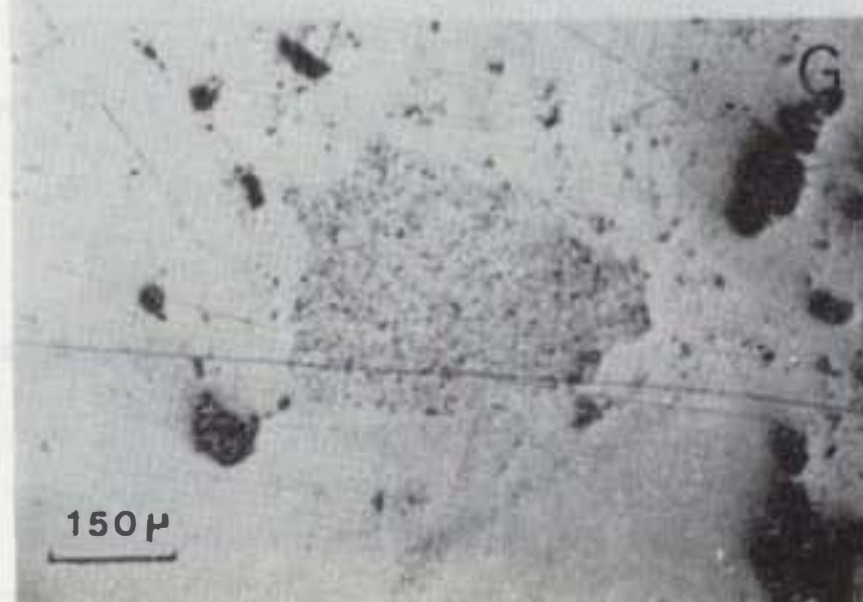
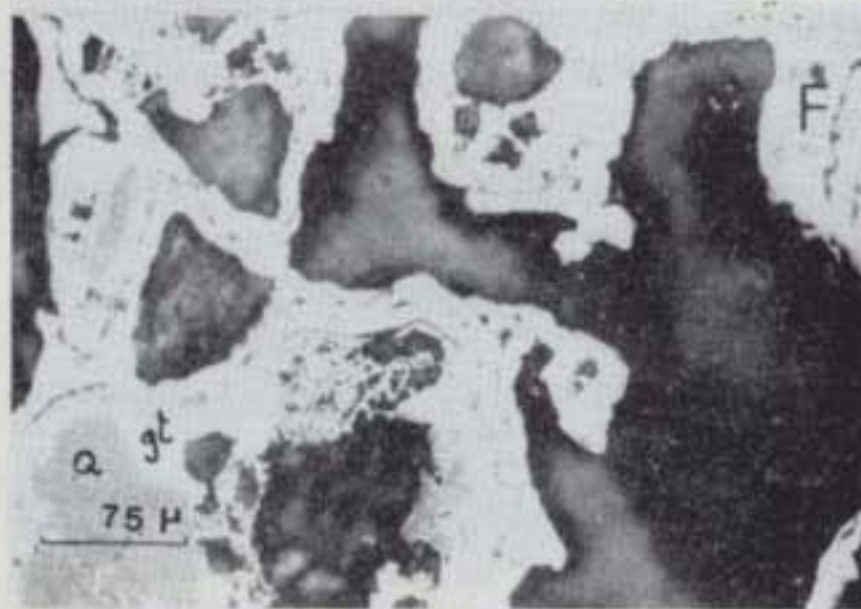
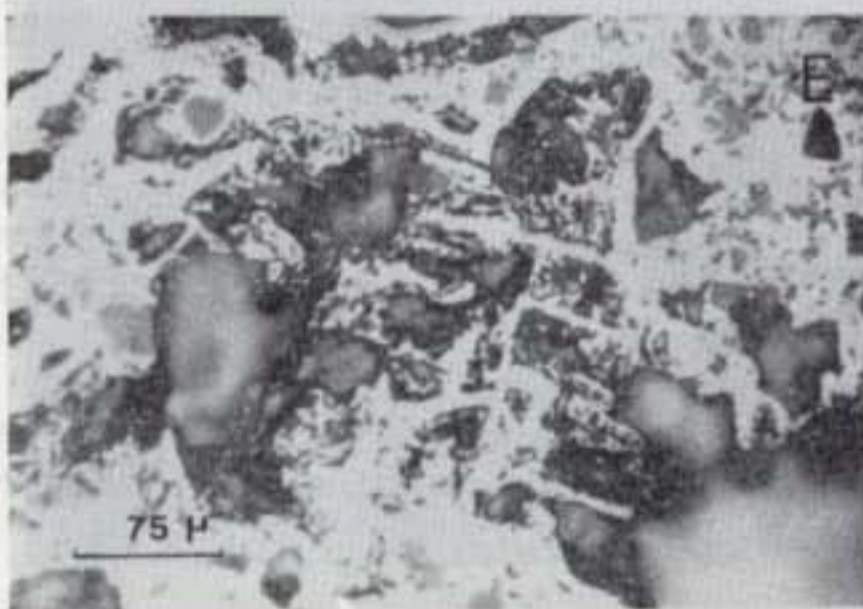
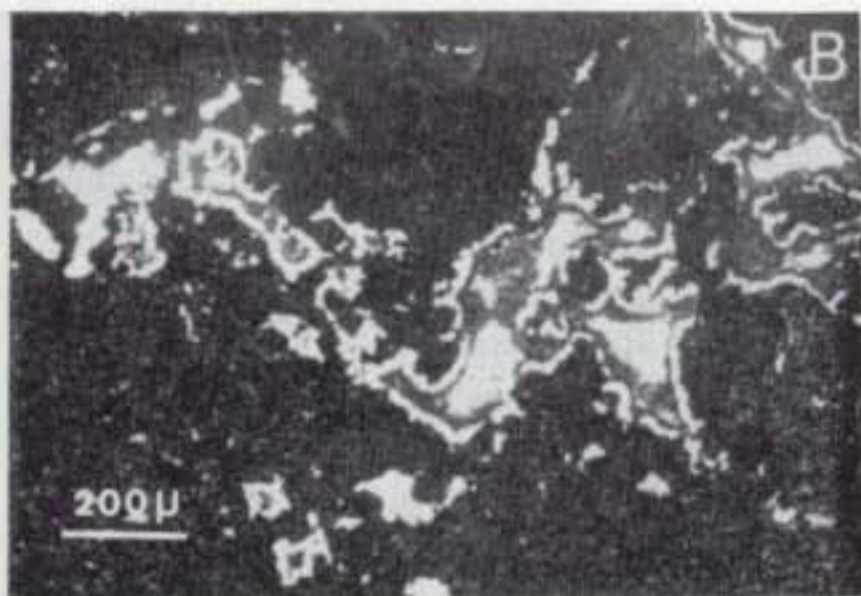
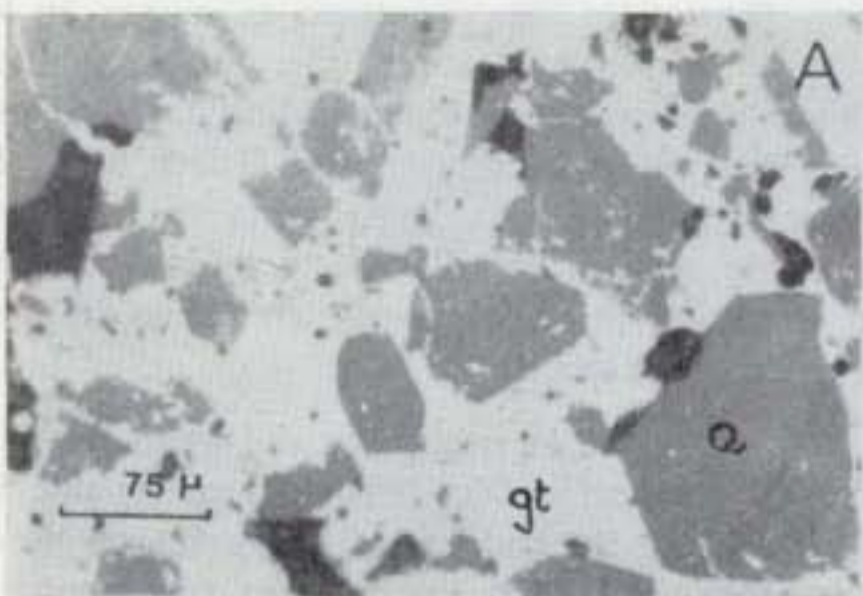
Goethita: Junto con el cuarzo, es el mineral más abundante en las mineralizaciones. Presenta texturas muy variadas, relacionadas con minerales preexistentes. Se han diferenciado los siguientes tipos:

- Goethita con texturas pseudomorfas de pirita. Son relativamente abundantes, y fáciles de reconocer, ya que se conservan los hábitos cúbicos de pirita (fig. 4D). En algún caso la goethita va acompañada de jarosita pseudomorfa de pirita.
- Goethita con texturas réplica de galena: Diferenciadas de las anteriores, como se ha descrito anteriormente, han sido reconocidas, muy aisladamente, en los niveles donde no hay cerusita (fig. 4E).
- Goethita con texturas réplica de marcasita: Menos abundantes que las de pirita, se caracterizan por sus formas alargadas y en algún caso por texturas típicas en espina (fig. 4F).
- Goethita en texturas réplica de esfalerita: Muy difíciles de reconocer. A pesar de la escasa cantidad de zinc existente, hay texturas que corresponden a una alteración de esfalerita. Su similitud con las texturas de



Figura 4

- A) Cristales de cuarzo (Q) empastados por goethita masiva (gt). L. R.
- B) Calcedonia (blanca) bordeando masas de goethita (negro). L. T.
- C) Cuarzo prismático (Q) en fracturas, empastado por goethita (negro). L. T.
- D) Texturas pseudomorfas de pirita en una masa de cuarzo. L. R.
- E) Texturas réplica de galena, transformada a goethita. Se observan los planos (100) primitivos de la galena. L. R.
- F) Goethita (gt) conservando las facetas triangulares procedentes de oxidación de esfalerita. En el centro se observa una textura en «espina» procedente de la oxidación de marcasita. L. R.
- G) Texturas ocherosas de goethita, empastadas por goethita masiva. L. R.
- H) Goethita coloidal (gt) empastando cuarzo (Q) e ilmenita (Il). L. R.



esfalerita descritas por ANDREW (1980), es grande, lo que nos ha llevado a su identificación (fig. 4F).

- Goethita oquerosa: Son agregados de goethita, dejando huecos entre sus granos. Estos agregados aparecen bordeados por goethita masiva (fig. 4G). Estas texturas, pueden corresponder a granos de jarosita, que han sufrido una transformación a goethita. Estas concuerdan además con las texturas que van dejando las jarositas que están en proceso de alteración.
- Goethita masiva: Muy abundante, rellena todos los huecos, empasta los minerales citados y asimismo a las goethitas citadas anteriormente. Es muy compacta y poco porosa. Según BLANCHARD (1968) por sus características se correspondería a lo que llama limonitas transportadas, es decir, que su deposición se produce después de una disolución del ión ferroso, y su transporte a zonas cercanas.
- Texturas coloidales: Son las goethitas depositadas en el último estadio, bordean texturas masivas de goethita. El espesor de las bandas es muy variable, desde algunas micras hasta casi 0,5 mm. Bordean también granos de cuarzo o carbonatos, o bien óxidos de titanio (fig. 4H).

En los análisis que se han realizado mediante microsonda electrónica en diversos granos de goethita, solamente uno de ellos dio un contenido en plomo del 4 por 100 (fig. 5A), mientras que no se encontraron goethitas con Zn. Sin embargo KAGER (1980) cita goethita en Las Lajas con un contenido en zinc del 7 por 100.

— *Hematites*: Su presencia es mayor en los niveles cercanos a la superficie. Su abundancia va ligada a la existencia de ferrhidrita, y en proporción inversa a la de jarosita. Parte de la hematites proviene de la transformación de jarosita, pasando por un estadio intermedio de ferrhidrita; también puede provenir en parte de la transformación de goethita.

— *Jarosita*: Los minerales del grupo de la jarosita están distribuidos irregularmente por la mineralización, llegando a ser mayoritarios en determinados niveles. Se encuentran raramente como pseudomorfos de pirita (fig. 5B), y más frecuentemente se encuentran en forma masiva o bandada, bordeando granos de cuarzo y rodeados por goethita masiva. En la mayoría de los análisis efectuados por microsonda electrónica, la composición que se obtiene corresponde al plumbojarosita, con escaso contenido en potasio, y con pequeñas proporciones de aluminio sustituyendo al hierro. Se han encontrado también pequeños cristales de jarositas (10 micras) empastados por goethita (fig. 5C). En la figura tomada en la microsonda electrónica, se pueden observar los granos de jarosita, en algún caso zonados, con el núcleo más rico en plomo y una banda intermedia empobrecida en él (fig. 5D).

FRIEDRICH (1964) considera que parte del estaño presente en esta zona, iría asociado a las jarositas, formando parte de su red, citando este autor la presencia de jarositas de estaño. En ninguna de las muestras que hemos analizado, se ha presentado estaño formando parte de jarositas, pero sí se han encontrado pequeñas inclusiones de casiterita con tamaños de unas 5 micras que sirven de núcleos a plumbojarositas, que los engloban. Los espectros de plomo y estaño

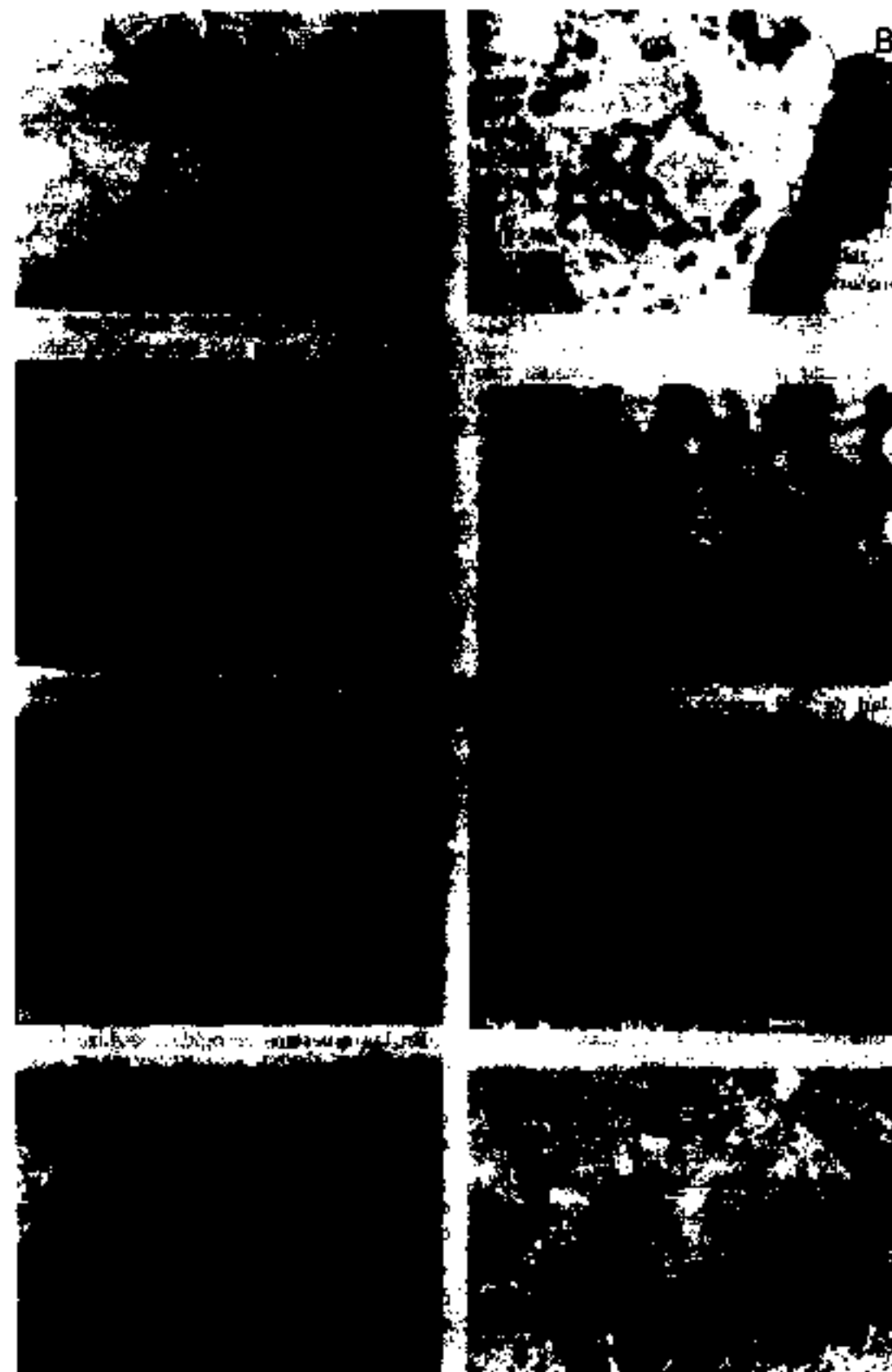
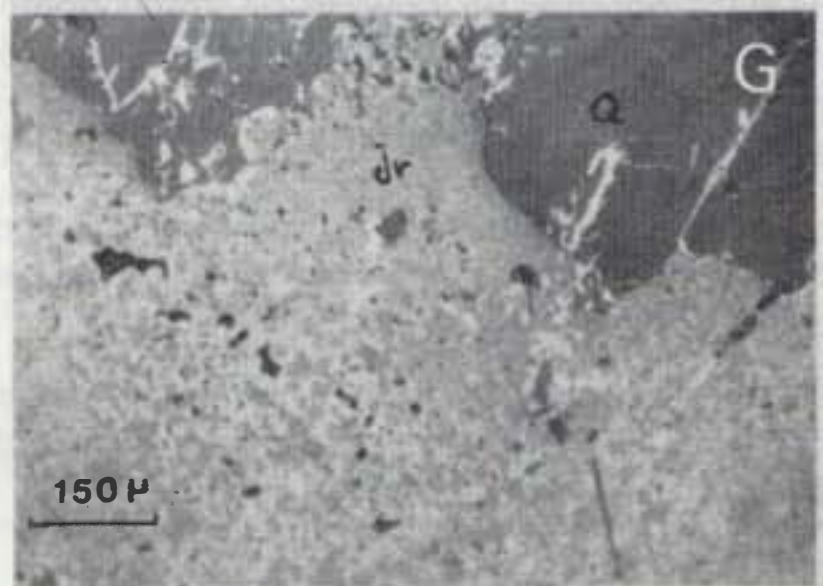
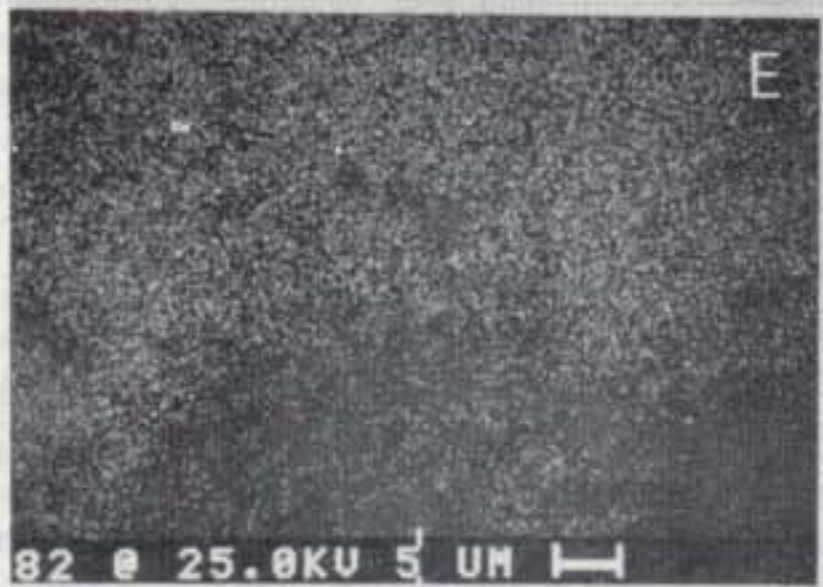
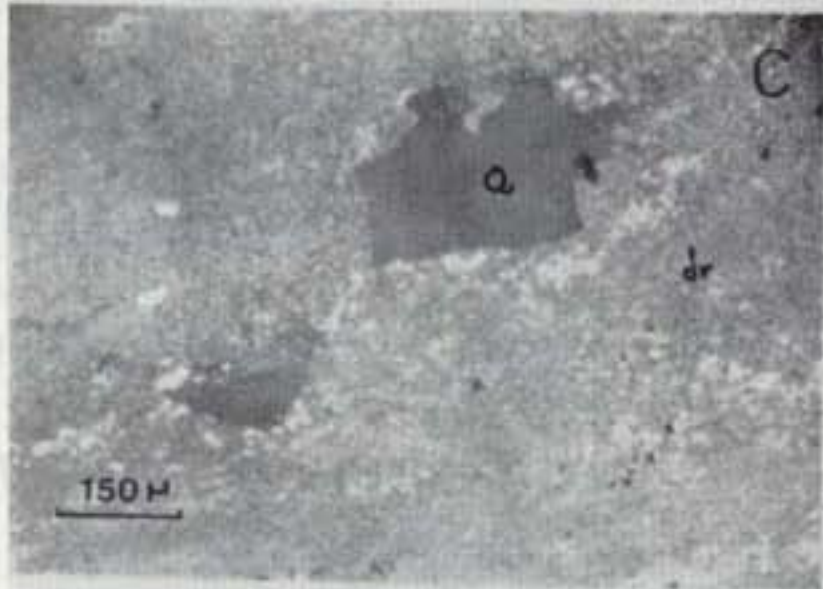
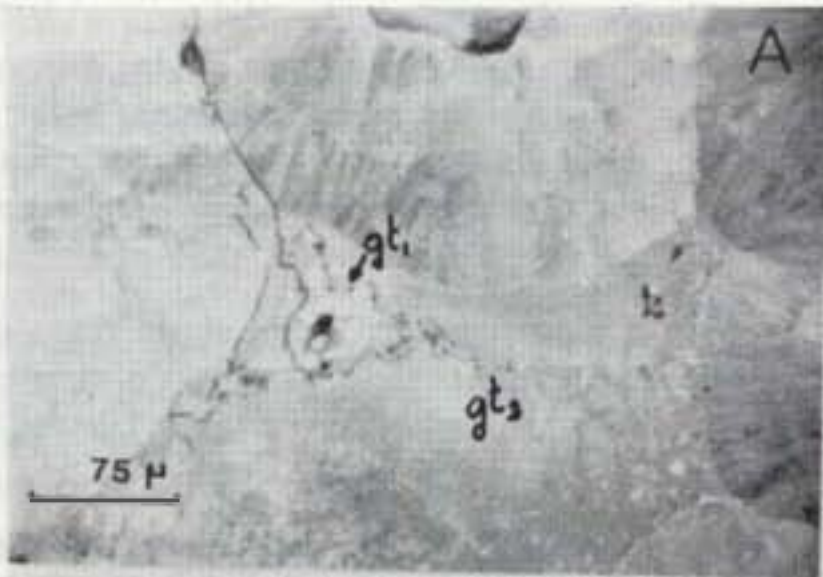


Figura 5

- A) Goethita depositada en huecos de texturas coloidales, con un contenido en plomo del 4 por 100 (gt_1) junto a goethitas sin contenidos de otros cationes (gt_2). L. R.
- B) Jarosita (Jr) pseudomorfa de pirita junto a cuarzo (Q) empastadas por goethita masiva (gt). L. R.
- C) Cuarzo (Q) y cristales submicroscópicos de jarosita (Jr) empastados por goethita. L. R.
- D) Imagen en microsonda electrónica, de la figura anterior.
- E) Distribución de plomo en un cristal de jarosita, con inclusión de casiterita.
- F) Distribución de estaño en el cristal de jarosita de la figura anterior. El estaño se encuentra únicamente en la inclusión de casiterita.
- G) Jarosita (Jr), empastando cuarzo (Q), en proceso de transformación a goethita y hematites. L. R.
- H) Cristales de cerusita (Cr) depositada relleno huecos.



(fig. 5 E y 5F), indican claramente que el estaño no aparece en la jarosita, sino solamente en la inclusión de casiterita.

Se han podido observar jarositas en proceso de destrucción y transformación a goethita y hematites. Algunos autores (BROWN, 1971; CHUKHROV et al., 1975) indican que los minerales del grupo de la jarosita no son estables en la zona de oxidación, al ascender el pH, y que se transforman en óxidos de hierro. Más adelante se discutirán estas transformaciones.

— *Ferryhidrita*: Según CHUKHROV et al. (1975), la destrucción de jarosita y formación de hematites, ha de pasar por un estadio intermedio, con la formación de ferryhidrita. Nosotros solamente la hemos identificado por medio de difracción de rayos X. Un dato a favor de su formación, es que su presencia en los diagramas de difracción de rayos X está en relación inversa con la de jarosita, y su aparición, se da en las muestras en las que se observan texturas de destrucción de jarositas (fig. 5G).

— *Calcita*: Se deposita en zonas de huecos, es posterior a la formación de calcedonia.

En el sondeo Mc-1 Bis aparece sólo hasta una profundidad de 3,50 metros, y en el sondeo Mc-2 Bis se extienden hasta los 17 metros de profundidad, dentro de las filitas Alpujárrides.

— *Cerussita y anglesita*: Son bastante escasas, se depositan en huecos (fig. 5H) y únicamente aparecen en los niveles más cercanos a la superficie, desapareciendo en profundidad.

— *Oxidos de titanio*: A lo largo de todas las mineralizaciones aparecen, distribuidos al azar por la preparación, ilmenitas, en ocasiones alteradas, anatasas y rutilos, que suelen estar englobados por goethitas masivas. Solamente hay que destacar una concentración de anatasas superior en uno de los sondeos estudiados, que está situado inmediatamente encima de las filitas Alpujárrides.

Los óxidos de titanio deben ser restos de las rocas volcánicas que permanecen sin alterar.

— *Casiterita*: Diseminada en las muestras, no se han encontrado bandas xiloides como en el stockwork. Aparecen con pequeños tamaños de grano, muy diseminadas, y como ya se han descrito anteriormente, englobadas en jarositas.

— *Cloritas*: Los minerales del grupo de las cloritas, se presentan únicamente en las filitas situadas en la base de las silicificaciones; estas filitas, pueden presentar en sus tramos superiores oxidaciones de la pirita que contenían originalmente y que se observa en los niveles más profundos.

— *Pirita y marcasita*: Queda algún resto de ellas en inclusiones dentro de granos de cuarzo. Además aparecen diseminadas en las filitas Alpujárrides.

En el sondeo Mc-1 Bis, donde las masas tabulares silíceo ferruginosas tienen una mayor potencia, hay 3 zonas con mineralogía diferenciada:

— Una zona próxima a la superficie, con carbonatos (cerussita y calcita).

— Una zona intermedia, en la que aparece jarosita y productos de su alteración (ferryhidrita).

— Una zona más profunda, en la que jarosita está menos alterada.

En el sondeo Mc-2 Bis, es de destacar la presencia de calcita en mayor proporción, y la escasa aparición de jarositas, consecuencia lógica, ya que los carbonatos han impedido una mayor acidificación del medio, por lo que la jarosita no ha podido formarse; en este sondeo, se han encontrado las mejores texturas réplica de los sulfuros preexistentes.

Distribución geoquímica de los elementos Fe, Pb, Ag, Zn y Sn

El estudio geoquímico se ha hecho en las silicificaciones tabulares a partir de los testigos de sondeos. Se realizaron análisis químicos en tramos que, de «visu», tenían apariencia homogénea.

En las muestras recogidas, se hizo una molienda para obtener un tamaño de grano homogéneo, entre 0,12 mm. y 0,17 mm., para realizar la separación magnética. Se obtuvo un residuo en esta molienda, con tamaño de grano menor de 0,12 mm.

Se han hecho análisis químicos de las tres fracciones obtenidas por separación magnética, así como del residuo de la molienda.

En el sondeo Mc-2 Bis a partir de una profundidad de 10,95 m., no se hicieron análisis químicos de las fracciones obtenidas, excepto en el tramo

entre 18,15 y 19,55 m. que presenta anomalías de plata, ya que sus contenidos en metales son muy bajos, y la mineralogía no indicaba, ninguna característica que aportara nuevos datos.

Se pueden observar, en algún caso, discrepancias entre los datos de los análisis de tramos completos (todo uno) y los contenidos en las distintas fracciones, debido a la gran variación geoquímica existente. Un ejemplo es el contenido en plata en el sondeo Mc-1 Bis entre los 15 y 16 metros de profundidad.

Hierro

Los contenidos en hierro de las diferentes muestras están resumidos en las tablas 1 y 2.

Los contenidos medios en hierro de las masas silíceo ferruginosas es de 36,1 por 100 en el sondeo Mc-1 Bis y de 22,1 por 100 para el sondeo Mc-2 Bis. Las filitas Alpujárrides tienen una ley

TABLA 2

Sondeo Mc-2 Bis. Contenidos en % de Fe en las diferentes fracciones. 0.12 mm. = Residuo de la molienda. NM = Fracción no magnética. I = Fracción intermedia. M = Fracción magnética.

Fracción Tramo	Todo Uno	0.12 mm.	N. M.	I	M
0.00-1.60 m. ...	24.00	22.53	5.90	31.30	43.00
1.60-3.00 m. ...	18.80	15.80	6.30	19.90	38.10
3.00-3.85 m. ...	16.30	15.80	5.90	38.90	42.00
3.85-4.90 m. ...	19.30	20.70	4.05	38.60	45.80
4.90-6.30 m. ...	27.60	23.50	4.70	37.50	45.90
6.30-8.15 m. ...	22.50	17.30	4.50	35.90	50.90
8.15-10.9 m. ...	12.60	8.30	4.25	14.80	35.60
10.9-12.6 m. ...	15.76	—	—	—	—
12.6-13.6 m. ...	14.41	—	—	—	—
13.6-14.6 m. ...	12.71	—	—	—	—
14.6-15.4 m. ...	22.00	—	—	—	—
15.4-17.3 m. ...	25.60	—	—	—	—
17.3-18.1 m. ...	16.30	—	—	—	—
18.1-19.5 m. ...	8.17	—	—	—	—
19.5-21.0 m. ...	9.72	—	—	—	—

TABLA I

Contenidos en % de Fe en las distintas fracciones del sondeo Mc-1 Bis: 0.12 mm. = Residuo de la molienda. NM = Fracción no magnética. I = Fracción intermedia. M = Fracción magnética.

Fracción Tramo	Todo Uno	0.12 mm.	N. M.	I	M
0.80-1.40 m. ...	38.80	41.10	8.00	52.00	53.00
1.40-1.90 m. ...	39.30	42.50	11.00	47.00	54.00
1.90-2.60 m. ...	40.00	41.90	5.00	47.00	54.00
2.60-3.50 m. ...	35.60	36.50	11.00	38.00	46.00
3.50-4.70 m. ...	38.25	32.40	6.00	51.00	49.00
4.70-5.60 m. ...	32.95	32.45	4.50	41.00	53.00
5.60-6.30 m. ...	38.25	42.60	—	38.00	52.00
6.30-7.30 m. ...	40.20	40.05	22.50	41.00	55.00
7.30-7.40 m. ...	32.95	26.00	7.00	41.00	54.00
7.40-8.00 m. ...	36.50	41.70	12.00	44.00	47.00
8.00-9.00 m. ...	33.50	36.60	7.00	34.00	39.00
9.00-9.85 m. ...	27.50	26.25	1.00	14.00	51.00
9.85-10.3 m. ...	32.35	25.80	1.00	20.00	50.00
10.3-11.1 m. ...	32.60	34.55	6.50	42.00	51.50
14.1-14.8 m. ...	34.10	43.40	11.50	28.00	51.00
14.8-15.1 m. ...	22.95	20.70	7.50	22.00	41.00
15.1-15.6 m. ...	35.90	33.50	7.00	28.00	43.00
15.6-15.7 m. ...	36.60	44.25	9.00	39.00	49.00
15.7-16.1 m. ...	40.90	52.15	31.00	55.00	56.00
16.1-17.3 m. ...	40.90	39.15	33.00	48.00	52.00
17.3-17.8 m. ...	40.60	36.80	3.00	33.00	43.00
17.8-19.9 m. ...	18.15	8.40	9.70	36.00	—

media del 17,1 por 100 para el sondeo Mc-1 Bis y 15,1 por 100 para el sondeo Mc-2 Bis.

Las filitas Alpujárrides, presentan en algún caso signos de silicificaciones ferruginosas, este hecho justifica la presencia de goethita y hematites en ellas. Asimismo los procesos de oxidación, han facilitado la deposición de goethitas transportadas, en las filitas.

En el tramo entre 8,15 y 21 m. del sondeo Mc-2 Bis, las filitas Alpujárrides comienzan a aparecer sin alterar, con presencia de pirita diseminada y con un descenso del contenido en hierro, lo cual es una confirmación de que parte del hierro ha emigrado hacia las filitas y se ha depositado, quedando enriquecidas en este elemento.

La separación magnética, da como resultado, una buena diferenciación de este elemento, quedando las fracciones intermedia y magnética enriquecidas en Fe. En el caso de las muestras entre 15,75 y 17,35 m., en el sondeo de Mc-1 Bis, la separación es mala debido al fuerte intercrecimiento entre cuarzo-jarosita-goethita.

Los contenidos altos en hierro se corresponden lógicamente con fracciones ricas en goethita y hematites.

Plomo

Los contenidos en plomo de los sondeos, están resumidos en las tablas 3 y 4. Los contenidos medios de las masas silíceo ferruginosas son de 1,99 por 100 en el sondeo Mc-1 Bis y 1,60 por 100 en el sondeo Mc-2 Bis. En las filitas infrayacentes los contenidos son de 0,99 por 100 y 0,09 por 100 respectivamente.

La diferencia entre los contenidos en las filitas y los sondeos se debe a que en el Mc-1 Bis los tramos de filitas analizados tienen poco espesor, y están inmediatamente debajo de las masas silíceo-ferruginosas, con lo que parte del plomo ha emigrado con la oxidación hacia esa zona. En el sondeo Mc-2 Bis los tramos de filitas situados inmediatamente debajo de las masas silíceo-ferruginosas, tienen un contenido más alto en plomo, que las inferiores; como el plomo es un elemento poco móvil en la zona de oxidación, de ahí que las filitas oxidadas presenten bajos contenidos en este elemento.

TABLA 3

Sondeo Mc-1 Bis. Contenidos en % de Pb en las distintas fracciones. 0.12 mm.=Residuo de la molienda. NM=Fracción no magnética. I=Fracción intermedia. M=Fracción magnética.

Fracción Tramo	Todo Uno	0.12 mm.	N. M.	I	M
0.80-1.40 m. ...	2.80	4.40	3.05	2.20	1.78
1.40-1.90 m. ...	2.05	2.80	1.90	2.35	2.10
1.90-2.60 m. ...	1.75	1.84	1.92	1.85	1.84
2.60-3.50 m. ...	1.34	1.14	0.35	1.10	1.50
3.50-4.70 m. ...	1.62	1.08	0.30	1.24	1.40
4.70-5.60 m. ...	1.50	2.00	0.55	1.40	1.75
5.60-6.30 m. ...	1.80	2.14	-	1.98	2.40
6.30-7.30 m. ...	1.65	1.39	0.10	1.33	1.55
7.30-7.40 m. ...	1.17	0.96	0.18	1.22	1.34
7.40-8.00 m. ...	2.30	2.67	0.62	2.50	2.28
8.00-9.00 m. ...	2.50	5.50	0.87	5.90	8.45
9.00-9.85 m. ...	1.56	2.35	0.03	0.90	3.22
9.85-10.3 m. ...	2.55	2.30	0.04	1.32	2.82
10.3-11.1 m. ...	0.88	1.01	0.08	1.10	1.47
14.1-14.8 m. ...	1.10	1.13	0.32	0.80	1.30
14.8-15.1 m. ...	1.20	1.14	0.33	0.87	2.00
15.1-15.6 m. ...	2.90	5.00	1.62	6.85	4.20
15.6-15.7 m. ...	8.50	5.90	1.50	6.40	5.35
15.7-16.1 m. ...	3.70	3.10	3.05	3.16	0.88
16.1-17.3 m. ...	2.50	2.92	4.00	2.85	2.62
17.8-19.9 m. ...	1.12	0.72	0.29	0.50	-

TABLA 4

Sondeo Mc-2 Bis. Contenidos en % de Pb en las distintas fracciones. 0.12 mm.=Residuo de la molienda. NM=Fracción no magnética. I=Fracción intermedia. M=Fracción magnética.

Fracción Tramo	Todo Uno	0.12 mm.	N. M.	I	M
0.00-1.60 m. ...	2.05	2.49	2.62	1.31	1.33
1.60-3.00 m. ...	1.60	0.88	0.93	0.48	0.85
3.00-3.85 m. ...	1.10	1.48	1.72	1.25	0.95
3.85-4.90 m. ...	2.12	2.05	1.07	2.15	0.92
4.90-6.30 m. ...	1.66	2.65	2.50	1.74	1.85
6.30-8.15 m. ...	1.49	1.55	0.89	1.90	2.62
8.15-10.9 m. ...	0.17	0.11	0.08	0.04	0.12
10.9-12.6 m. ...	0.05	-	-	-	-
12.6-13.6 m. ...	0.06	-	-	-	-
13.6-14.6 m. ...	0.04	-	-	-	-
14.6-15.4 m. ...	0.11	-	-	-	-
15.4-17.3 m. ...	0.07	-	-	-	-
17.3-18.1 m. ...	0.10	-	-	-	-
18.1-19.5 m. ...	0.05	-	-	-	-
19.5-21.0 m. ...	0.08	-	-	-	-

En el sondeo Mc-1 Bis hay diversos niveles enriquecidos en este elemento con respecto a la media: una zona más enriquecida en plomo es la más próxima a la superficie; en estos tramos el plomo se concentra en las fracciones no magnéticas y va en especies minerales como cerusita, y en menor cantidad como jarosita. Las zonas más profundas, que están enriquecidas en plomo, éste se encuentra principalmente dentro de jarositas, y en menores cantidades dentro de goethitas, como ya se ha indicado anteriormente, lo que justifica los contenidos mayores en plomo de las fracciones magnéticas e intermedias.

En el sondeo Mc-2 Bis, con un contenido menor en plomo, la distribución de éste en las diferentes fracciones es variable. En los niveles más próximos a la superficie se encuentra enriquecido en las fracciones no magnéticas y a medida que se avanza en profundidad, su concentración es mayor en las fracciones intermedia y magnética. La presencia en este sondeo de carbonatos en mayor cantidad que en el sondeo anterior, justifica la presencia de cerusita y anglesita, como portadores del plomo, mientras que jarositas son portadoras de este elemento en los niveles más profundos de las masas silíceo-ferruginosas.

Hay, en resumen, tres asociaciones del plomo diferentes: Una como cerusita y anglesita, que se da en los niveles más próximos a la superficie. Una segunda en la que el plomo se encuentra en las jarositas, que aparecen en los niveles más profundos que los anteriores. Una tercera asociación del plomo en goethitas; estas goethitas, que son en su formación posteriores a la jarosita, podrían absorber el plomo que se libera con la destrucción de éstas.

Plata

Los contenidos en plata de las muestras, están resumidos en las tablas 5 y 6. La media en las masas silíceo-ferruginosas es de 31 ppm. en el sondeo Mc-1 Bis y 16 ppm. en el sondeo Mc-2 Bis. En las filitas los contenidos medios son de 6 ppm. y 10 ppm.

La distribución de plata, en el sondeo Mc-1 Bis es irregular, ya que junto a unos contenidos en

TABLA 5

Sondeo Mc-1 Bis. Contenidos en ppm de Ag en las distintas fracciones. 0.12 mm.=Residuo de la molienda. NM=Fracción no magnética. I=Fracción intermedia. M=Fracción magnética.

Fracción Tramo	Todo Uno	0.12 mm.	N. M.	I	M
0.80-1.40 m. ...	9	15	48	4	7
1.40-1.90 m. ...	16	15	56	8	5
1.90-2.60 m. ...	15	15	68	12	7
2.60-3.50 m. ...	13	10	57	89	10
3.50-4.70 m. ...	18	29	61	10	30
4.70-5.60 m. ...	15	25	30	19	9
5.60-6.30 m. ...	40	16	-	15	11
6.30-7.30 m. ...	19	35	106	24	14
7.30-7.40 m. ...	14	41	82	17	12
7.40-8.00 m. ...	44	24	77	18	20
8.00-9.00 m. ...	25	31	32	30	40
9.00-9.85 m. ...	18	190	95	50	16
9.85-10.3 m. ...	35	28	8	24	17
10.3-11.1 m. ...	42	63	88	47	45
14.1-14.8 m. ...	8	9	11	13	10
14.8-15.1 m. ...	18	27	30	30	15
15.1-15.6 m. ...	41	50	22	28	50
15.6-15.7 m. ...	21	360	97	355	300
15.7-16.1 m. ...	355	41	16	47	34
16.1-17.3 m. ...	25	17	19	20	20
17.3-17.8 m. ...	14	21	57	21	22
17.8-19.9 m. ...	6	3	2	1	-

TABLA 6

Contenidos en ppm de Ag en el sondeo Mc-2 Bis en las distintas fracciones. 0.12 mm.=Residuo de la molienda. NM=Fracción no magnética. I=Fracción intermedia. M=Fracción magnética.

Fracción Tramo	Todo Uno	0.12 mm.	N. M.	I	M
0.00-1.60 m. ...	14	12	19	12	8
1.60-3.00 m. ...	13	8	18	4	-
3.00-3.85 m. ...	15	19	28	8	-
3.85-4.90 m. ...	25	22	40	20	-
4.90-6.30 m. ...	12	14	25	15	4
6.30-8.15 m. ...	16	12	24	8	8
8.15-10.9 m. ...	6	8	10	10	-
10.9-12.6 m. ...	2	-	-	-	-
12.6-13.6 m. ...	2	-	-	-	-
13.6-14.6 m. ...	1	-	-	-	-
14.6-15.4 m. ...	2	-	-	-	-
15.4-17.3 m. ...	3	-	-	-	-
17.3-18.1 m. ...	10	14	6	12	38
18.1-19.5 m. ...	63	49	6	99	-
19.5-21.0 m. ...	2	-	-	-	-

tre 10 y 20 ppm. a lo largo del sondeo, hay niveles con fuertes enriquecimientos, llegando hasta las 350 ppm., con otros tramos con unas 40 ppm. de plata.

En el sondeo Mc-2 Bis el mayor enriquecimiento en plata lo presenta un nivel dentro de las filitas Alpujarrides, próximo a la base del sondeo, donde aparecen diseminaciones de piritita sin alterar. Se concentra en la fracción intermedia y se asocia a la goethita.

La plata es un elemento que generalmente se concentra en la fracción no magnética (NM) aunque en algunas zonas lo hace en las fracciones magnética e intermedia (I).

En el primer caso, cuando se asocia a las fracciones no magnéticas, probablemente, este elemento se encuentre en forma de plata nativa o bien en forma de cloruros como querargirita; mientras que en los otros casos se incluye en la red de otros minerales como jarosita o goethita.

Zinc

Los contenidos en zinc están resumidos en las

tablas 7 y 8. La media en las masas silíceo-ferruginosas es de 0,18 por 100 en el sondeo Mc-1 Bis, 0,09 en el sondeo Mc-2 Bis y de 0,02 por 100 y 0,04 por 100 respectivamente en las filitas Alpujarrides infrayacentes.

Es sabido, que el zinc es un elemento muy móvil en la zona de oxidación, esto junto con la presencia de texturas réplica de esfalerita, indican un mayor contenido en este elemento en la mineralización primaria, que ha sido en su mayor parte lixiviado y transportado fuera de la zona de oxidación.

En los análisis de las distintas fracciones se observa una concentración mayor de zinc, en las fracciones intermedia y magnética, asociado a goethita. Esto coincide con la goethita analizada por KAGER (1980) en esta zona, que tiene un contenido en zinc del 7 por 100. Así pues, las pequeñas concentraciones que quedan en la zona oxidada, son depositadas en las goethitas.

Estaño

Los contenidos medios de estaño en las silicificaciones es de 390 ppm. en el sondeo Mc-1 Bis y 530 ppm, en el sondeo Mc-2 Bis y en las filitas Alpujarrides de 260 ppm. y 90 ppm. respectivamente.

Su distribución en profundidad es muy irregular presentándose niveles con 1.800 ppm. junto a otros en los que hay concentraciones menores de 150 ppm.

Debido a la escasez de muestra disponible, se han podido realizar muy pocos análisis químicos de algunas fracciones, por lo que los resultados no son muy significativos.

El estaño se encuentra como casiterita, en granos de pequeño tamaño, incluido generalmente dentro de jarositas y con una difícil liberación debido al pequeño tamaño de grano.

Evolución de la alteración

En base a las características texturales, mineralógicas y geoquímicas, se puede establecer la mineralización primaria existente, que estaría compuesta por pirita, marcasita, galena, esfalerita y casiterita. Esta mineralización ha sufrido una intensa alteración supergénica, que ha tenido diversas etapas, hasta llegar al estado actual.

TABLA 7

Sondeo Mc-1 Bis. Contenidos en % de Zn en las distintas fracciones. 0.12 mm = Residuo de la molienda. NM = Fracción no magnética. I = Fracción intermedia. M = Fracción magnética.

Fracción Tramo	Todo Uno	0.12 mm.	N. M.	I	M
0.80-1.40 m. ...	0.14	0.12	0.08	0.17	0.28
1.40-1.90 m. ...	0.13	0.14	0.11	0.18	0.22
1.90-2.60 m. ...	0.15	0.15	0.11	0.21	0.24
2.60-3.50 m. ...	0.15	0.11	0.20	0.17	0.50
3.50-4.70 m. ...	0.19	0.14	0.05	0.23	0.20
4.70-5.60 m. ...	0.14	0.14	0.04	0.13	0.21
5.60-6.30 m. ...	0.26	0.41	—	0.33	0.51
6.30-7.30 m. ...	0.22	0.21	0.15	0.30	0.21
7.30-7.40 m. ...	0.17	0.14	0.08	0.10	0.21
7.40-8.00 m. ...	0.18	0.18	0.10	0.21	0.23
8.00-9.00 m. ...	0.18	0.10	0.06	0.05	0.12
9.00-9.85 m. ...	0.14	0.09	0.05	0.16	0.22
9.85-10.3 m. ...	0.16	0.10	0.06	0.13	0.27
10.3-11.1 m. ...	0.25	0.32	0.20	0.40	0.46
14.1-14.8 m. ...	0.18	0.20	0.10	0.18	0.23
14.8-15.1 m. ...	0.14	0.05	0.08	0.15	0.18
15.1-15.6 m. ...	0.21	0.12	0.05	0.11	0.14
15.6-15.7 m. ...	0.12	0.18	0.08	0.15	0.20
15.7-16.1 m. ...	0.19	0.14	0.15	0.19	0.16
16.1-17.3 m. ...	0.17	0.25	0.28	0.27	0.25
17.3-17.8 m. ...	0.22	0.17	0.04	0.14	0.19
17.8-19.9 m. ...	0.20	0.10	0.10	0.40	—

TABLA 8

Sondeo Mc-2 Bis. Contenidos en % de Zn de las distintas fracciones. 0.12 mm. = Residuo de la molienda. NM = Fracción no magnética. I = Fracción intermedia. M = Fracción magnética.

Fracción Tramo	Todo Uno	0.12 mm.	N. M.	I	M
0.00-1.60 m. ...	0.17	0.17	0.07	0.17	0.25
1.60-3.00 m. ...	0.09	0.09	0.05	0.10	0.17
3.00-3.85 m. ...	0.06	0.07	0.04	0.13	0.19
3.85-4.90 m. ...	0.07	0.09	0.02	0.11	0.28
4.90-6.30 m. ...	0.09	0.10	0.03	0.16	0.12
6.30-8.15 m. ...	0.11	0.07	0.03	0.12	0.13
8.15-10.9 m. ...	0.03	0.06	0.02	0.04	0.07
10.9-12.6 m. ...	0.05	—	—	—	—
12.6-13.6 m. ...	0.05	—	—	—	—
13.6-14.6 m. ...	0.02	—	—	—	—
14.6-15.4 m. ...	0.05	—	—	—	—
15.4-17.3 m. ...	0.09	—	—	—	—
17.3-18.1 m. ...	0.09	—	—	—	—
18.1-19.5 m. ...	0.09	—	—	—	—
19.5-21.0 m. ...	0.02	—	—	—	—

La alteración comienza con la oxidación de pirita y marcasita, primeros sulfuros en ser transformados, si son de grano fino (ANDREW, 1980). Este proceso lleva consigo una acidificación del medio, con lo que los restantes sulfuros: pirita idiomorfa, esfalerita y galena, son también alterados, quedando en algunos casos texturas réplicas. Para que se puedan depositar goethitas pseudomorfas de los sulfuros preexistentes, el pH del medio no debe de ser excesivamente ácido, para que se produzca la formación de goethita, sin transporte del hierro.

El zinc disuelto en este estadio, es transportado en su mayor parte fuera de la zona de oxidación, mientras que el plomo permanece en ella.

La oxidación continua de pirita, lleva consigo una mayor acidificación del medio, descendiendo el pH hasta llegar a unas condiciones favorables para la formación de jarositas.

BROWN (1971) establece las condiciones para la formación de jarositas, indicando que los valores necesarios de pH para que se forme este mineral, oscilaría entre 1 y 3, dependiendo también del Eh del medio, así como de la actividad de S^{2-} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Pb^{2+} , Ag^+ y K^+ , en los que las jarositas llevan plomo, plata y potasio. Asimismo considera que la formación de jarosita en presencia de carbonatos sólo se produce de forma aislada y esporádica, debido al pH existente en presencia de éstos. En este sentido HLADKY y SLANSKY (1981), establecen campos de estabilidad de diversos minerales del grupo de la jarosita, limitando el campo de estabilidad de plumbojarosita en un pH 3.

DUTRIZAC et al. (1980), en un trabajo sobre síntesis de plumbojarosita, consideran que para su formación, se necesitan una buena agitación y temperatura elevada así como una relación SO_4Pb/Fe^{3+} no muy alta y la fuerza iónica de la solución. La baja solubilidad del plomo es un factor a tener en cuenta en la formación de jarosita ya que, una alta concentración de plomo, produce la formación de anglesita y no jarosita.

Así pues la plumbojarosita se ha de formar, en el proceso de oxidación, cuando los valores de pH han descendido hasta valores cercanos a tres, en condiciones oxidantes, con una temperatura relativamente alta, y cuando en el medio hay una buena circulación de aguas, de manera que la concentración de plomo no es muy elevada.

En estas condiciones químicas, la casiterita estable y la plata permanece como Ag^+ (BROOKINS, 1978) lo que lleva consigo que la casiterita se mantenga sin alterar y englobada por jarosita, y que la plata en su caso pueda entrar a formar parte de las jarositas en pequeñas concentraciones. Esto justificaría la correlación Pb/Ag existente en los niveles en los que la jarosita no se ha alterado.

En este segundo estadio, se van a formar las jarositas que, bien formando bandas, y en algún caso como pseudomorfo de pirita, van a englobar las goethitas, formadas en el estadio anterior, así como el cuarzo y la casiterita.

La formación de jarosita se mantiene hasta la completa oxidación de los sulfuros, momento en que el pH comienza a ascender, con lo cual, se produce la formación de goethita en una segunda generación. Estas goethitas se forman no «in situ», como las depositadas en el primer estadio, sino después de haber sufrido un transporte (limonitas transportadas). Las texturas son masivas y coloidales y engloban los minerales anteriormente depositados.

Las jarositas, una vez formadas, no son estables al ascender el pH, por lo que se alteran, transformándose en goethita o hematites, según las condiciones del medio. La transformación jarosita-goethita, se hace de forma lenta (BROWN, 1971) y a veces este proceso puede estar retardado por diversos factores físico-químicos (BLADH, 1982). La transformación jarosita-ferryhidrita-hematites, se desarrolla más rápidamente, cuando se alcanza un pH=7 (CHUKHROV et al., 1975).

Según estas ideas, en este estadio la jarosita se transforma a goethita paulatinamente y el plomo liberado por la destrucción de jarositas y el existente en el medio entrarían en las goethitas.

Además, parte del hierro en disolución puede descender a las filitas Alpujarrides, enriqueciéndolas en goethita.

En el último estadio de la oxidación, con un pH más alto, la jarosita puede comenzar su transformación a hematites con el paso intermedio de ferryhidrita citado anteriormente.

La transformación hematites-goethita, está citada en diferentes trabajos como son los de BEDARIDA et al. (1971, 1973) y CHUKHROV et al. (1975). Experimentalmente LANGMUIR (1971) llega a la con-

clusión de que cinéticamente la transformación hematites-goethita, no es factible. Sin embargo, las texturas réplica encontradas, así como los casos citados anteriormente, llevan a pensar en una sustitución de hematites por goethita, en el caso de las mineralizaciones del stockwork, en estas mineralizaciones de la Sierra de Cartagena.

Respecto a la hematites presente en las masas tabulares silíceo ferruginosas, no está muy clara su existencia en la mineralización primaria. Su mayor abundancia en los niveles más próximos a la superficie, coincide con casos similares en otras zonas de oxidación citadas por ANDREW (1980) en las que la hematites se forma por deshidratación de goethita. En este caso pensamos que la presencia de este mineral podría estar justificada por su existencia ya en la mineralización primaria, por la transformación de goethita y por la transformación de jarositas.

En las zonas más cercanas a la superficie donde hay carbonatos, este proceso de oxidación no ha sufrido las mismas etapas. Los carbonatos impiden la acidificación del medio y favorecen la formación de cerusita, y en menor cantidad de anglesita. La deposición de jarosita, de forma aislada y esporádica o su ausencia en estas zonas más superficiales, concuerda también con la existencia de un medio más básico que en los niveles donde no hay carbonatos.

En la figura 6 se resume el proceso de oxidación que han sufrido las mineralizaciones. Se pueden distinguir varias etapas, según sean niveles con o sin carbonatos:

Zonas sin carbonatos

1. Oxidación de pirita y marcasita y acidificación del medio.
2. Destrucción de la pirita idiomorfa, galena y esfalerita, con formación de texturas réplica.
3. Descenso del pH del medio hasta un valor de 3 y comienzo de formación de jarositas.
4. Destrucción total de los sulfuros, final de formación de jarosita y comienzo del ascenso del pH.

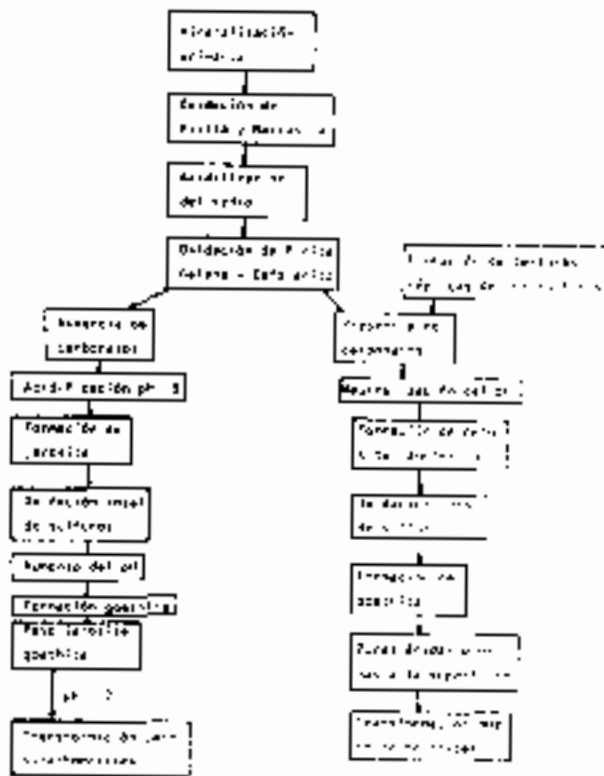


Figura 6.—Proceso de la alteración supergénica en las masas tabulares silíceo-ferruginosas.

5. Formación de goethita masiva y coloidal, transformación de jarosita a goethita, ascenso del pH.
6. Transformación de jarosita a ferryhidrita y hematites, con un pH 7.

Zonas con carbonatos

1. Disolución de sulfuros, con formación de texturas réplica en algún caso, formación de cerusitas y anglesitas, según la acidez del medio y formación esporádica de jarosita.
2. Deposición de goethitas masivas y coloidales envolviendo los minerales anteriores.
3. Formación de hematites a partir de goethita, por deshidratación favorecida por la aridez actual.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento al IGME, especialmente al Dr. Martín Fernández, por las determinaciones de microsonda, y a la S. M. M. Peñarroya España por las facilidades para la realización y publicación de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

ANDREW, R. L. (1980): *Súpergene alteration and gossan textures of Base-Metal ores in southern Africa*. Mineral Sci. Engng., vol. 12, pp. 193-215.

ARANA, R., y PÉREZ SIRVENT, C. (1983): *Características mineralógicas de las baritas de S. Ginés de la Jara (Murcia)*. Bol. Soc. Esp. Esp. Min., vol. 7, pp. 89-100.

ARRIBAS, A.; MORO, C.; OVEJERO, G., y SANTIAGO, L. (1984): *El Sn asociado al subvolcanismo neógeno de La Crisoleja. Sierra de Cartagena (Cordilleras Béticas)*. I Congreso Español de Geología, tomo II, pp. 403-414.

BEDARIDA, F., y PEDEMONTTE, G. M. (1971): *Hematite to goethite surface weathering*. Am. Min., vol. 56, pp. 1469-1473.

BEDARIDA, F.; FLAMINI, y PEDEMONTTE, G. M. (1973): *Hematite to goethite surface weathering scanning electron microscopy*. Am. Min., vol. 58, pp. 794-795.

BLADH, K. H. (1982): *The formation of goethite, jarosite and Alunite during the weathering of sulfide bearing felsic rocks*. Econ. Geol., vol. 77, pp. 176-184.

BLAIN, C. F., y ANDREW, R. L. (1977): *Sulphide weathering and the evaluation of gossans in mineral exploration*. Mineral Sci. Engn., vol. 9, pp. 119-150.

BLANCHARD, R. (1968): *Interpretation of leached outcrops*. Nevada State Bur. Mines Bull., 66, 196 pp.

BROOKING, D. G. (1978): *Eh-pH diagrams for elements from Z=40 to Z=52. Application to the Oklo natural reactor*. Gabon. Chem. Geol., vol. 23, pp. 325-342.

BROWN, J. B. (1971): *Jarosite-Goethite stabilities at 25° C, IATM*. Mineral. Deposite, vol. 6, pp. 245-252.

CHUKHROV, Cv.; ERMILOVA, L. P.; ZVYAGIN, B. B., y GORS-HICON (1976): *Genetic system of hypergene iron oxides*. Proceeding of the International Clay Conference Applied publishing Ltd. Wilmelte. Illinois, pp. 275-286.

DEMAY, A. (1924): *Observations géologiques, métallogéniques et économiques sur le district Minière de Cartagena*. Annales Mines, ser. 12, vol. 3, pp. 137-193.

DUTRIZAC, J. E.; DINARDO, O., y KAIMAN, S. (1980): *Factors affecting clead jarosite formation*. Hydrometalurgy U.S., pp. 305-324.

FRIEDRICH, G. (1964): *Lagerstättenkundliche Untersuchungen an den Erzvorkommenen der Sierra de Cartagena in Spanien*. Geol. Jahrb Beiheft, 59, 108 pp.

GUARDIOLA, R. (1927): *Estudio metalogénico de la Sierra de Cartagena*. Mem. Inst. Geol. España, vol. 53, 564 pp.

HLADKY, G., y SLANSKY, E. (1981): *Stability of alunite minerals in aqueous solutions at normal temperature and pressure*. Bull. Mineral, vol. 104, pp. 468-477.

KAGER, P. C. (1980): *Mineralogical investigations on Sulphides Fe-Mn-Zn-Mg-Ce Carbonates, greenalite and associated minerals in the Pb-Zn deposits in the Sierra de Cartagena. Province of Murcia. S.E. Spain*. Gua paper of Geology Series, 1, núm. 12, Amsterdam, 204 pp.

LANGMUIR, D. (1971): *Particle size effect on the reaction goethite-hematites+water*. Am. J. Sc., vol. 271, pp. 431-453.

LÓPEZ GARCÍA, J. A., y LUNAR, R. (1981): *Mineralogía de los yacimientos de Buen Consejo y Los Blancos. Sierra de Cartagena. Murcia*. Bol. Soc. Esp. Mineralogía, vol. 2, pp. 255-261.

LUFQUIN, J. L. (1977): *Chemistry and mineralogy of wood-tin. Black Range. New Mexico*. Am. Mineral, vol. 62, pp. 100-106.

OEN, I. S.; FERNÁNDEZ, J. C., y MANTECA, J. I. (1975): *The Lead-Zinc and associated ores of La Unión, Sierra de Cartagena, Spain*. Econ. Geol., vol. 70, pp. 1259-1278.

OEN, I. S.; KAGER, P., y KIEFT, C. (1980): *Oscilatory zoning of a discontinuous solid solution series: Sphalerite-stannite crystals from Julio Cesar Mine, Cartagena, Spain*. Neues Jahrb Mineralogie. Monatsh, 11, pp. 507-513.

OVEJERO, G.; JACQUIN, J. P., y SERVAJEAN, G. (1976): *Les mineralisations et leur contexte géologique dans la Sierra de Cartagena (Sud-Est de l'Espagne)*. Bull. Soc. Geol. France (7), t. XVIII, pp. 619-633.

OVEJERO, G., y SANTIAGO, L. (1980): *Investigación general de la montera de La Crisoleja, Cartagena*. Informe de la S. M. M. P. E. Inédito.

PAVILLON, M. J. (1969): *Les minéralisations plombo-zincifères de Carthagene (Cordillères Bétiques, Espagne). Un exemple d'heritages successifs en Metallogenie*. Miner. Deposita, vol. 4, pp. 368-385.

PAVILLON, M. J. (1972): *Paléogéographies, vulcanismes structures minéralisations plombo-zincifères et heritages dans l'Est des Cordillères Bétiques (Zones internes)*. These Université de Paris, 623 pp.