

En este número:

- Los montículos arrecifales de Algas y Arqueociatos del Cámbrico Inferior de Sierra Morena. IV: Bioestratigrafía y Sistemática de los Arqueociatos.
- La Caliza Urbana (Ordovícico Superior) y sus tramos volcanoclásticos en el subsuelo del norte de El Centenillo (Jaén).
- Determinación biométrica de *Paradoxides mureroensis* Szűcs 1958.
- Estudio mineralógico, textural y geoquímico de las zonas de oxidación de los yacimientos de Fe-Pb-Zn de la Sierra de Cartagena (3.ª parte: Oxidación de paragénesis con sulfuros-carbonatos-silice).
- Geología del área minera del yacimiento (Pb-Zn) Grupo Cantabria, Caranga de Arriba, Proaza, Asturias.
- La regulación de los manantiales y su incidencia en España.
- Una nueva perspectiva de la Formación Roque Nublo (Gran Canaria).

REVISTA BIMESTRAL DEL IGME FUNDADA EN 1874

Tomo XCVIII. Sexto Fascículo. Nov.-Diciembre 1987

boletín geológico y minero

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



Tomo 98

Fascículo VI

Noviembre-Diciembre 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 Archeociatos del Cámbrico Inferior de Sierra Morena. IV: Bioestratigrafía y Sistemática de los Archeociatos 3
	A. PINEDA VELASCO: La Caliza Urbana (Ordovícico Superior) y sus tramos volcanoclásticos en el subsuelo del norte de El Centenillo (Jaén) 54
	A. CALONGE GARCÍA y D. GIL CID: Determinación biométrica de <i>Paradoxides mureroensis</i> Sdzuy 1958 68
Minería	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 (3.ª parte: Oxidación de paragénesis con sulfuros-carbonatos-silíce) 76
	L. A. DÍAZ RODRÍGUEZ y C. J. FERNÁNDEZ: Geología del área minera del yacimiento (Pb-Zn) Grupo Cantabria, Caranga de Arriba, Proaza, Asturias 88
Aguas subterráneas	E. SANZ PÉREZ: La regulación de los manantiales y su incidencia en España 105
Estudio de minerales y rocas	L. GARCÍA CACHO, F. ANGUITA, V. ARAÑA, F. BARBERI, J. DÍAZ-GIL, R. ORTIZ y A. SBRANA: Una nueva perspectiva de la Formación Roque Nublo (Gran Canaria) 133
Información	J. M. LÓPEZ DE AZCONA: Mineros destacados del siglo XVIII. Francisco de Angulo (17...-1815). Primera Dirección General de Minas (1788-1815) 138
	E. RUIZ DE SOMAVÍA CABELLO: La industria minera española durante 1986 150
	Proyectos-Tipo para la minería 161
	Noticias y Notas bibliográficas 164
	Indice de materias 176
	Indice de autores 181

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**

MINERIA

Estudio mineralógico, textural y geoquímico de las zonas de oxidación de los yacimientos de Fe-Pb-Zn de la Sierra de Cartagena (3.ª Parte: Oxidación de paragénesis con sulfuros-carbonatos-sílice)

Por J. A. LOPEZ GARCIA (*)

RESUMEN

En este trabajo (parte III) se estudian las zonas de oxidación de los yacimientos de Fe-Pb-Zn de la Sierra de Cartagena, que proceden de la alteración supergénica de mineralizaciones estratiformes con paragénesis de sulfuros-carbonatos-sílice.

ABSTRACT

This paper (part III) deals with the oxidation zones of the Fe-Pb-Zn ore deposits from Sierra of Cartagena. These ores were formed by supergene alteration of stratabound mineralized bodies, whose original paragenesis included: sulphides-carbonates and silica.

1. INTRODUCCION

Las mineralizaciones tipo manto, existentes en la Sierra de Cartagena, presentan dos paragénesis primarias diferentes:

- A) Paragénesis con magnetita-greenalita-sulfuros-carbonatos y sílice.
- B) Paragénesis con sulfuros-carbonatos y sílice.

En el trabajo anterior, se han estudiado los procesos de oxidación de las paragénesis primarias tipo A. En esta parte del trabajo, se aborda el estudio de la oxidación de las mineralizaciones tipo manto, con paragénesis de sulfuros-carbonatos y sílice.

2. OXIDACION DE PARAGENESIS CON SULFUROS-CARBONATOS Y SILICE

Las mineralizaciones tipo manto, con paragénesis de sulfuros-carbonatos y sílice presentan una

mineralogía compuesta por pirita, marcasita, galena, esfalerita y calcopirita como minerales principales, así como otros sulfuros y sulfosales en menor proporción. Los minerales que componen la ganga son: cloritas, carbonatos y sílice principalmente (OEN et al., 1975).

La mineralogía de las zonas oxidadas está compuesta por óxidos de hierro y manganeso principalmente, con cantidades menores de sulfatos como anglesita y jarositas, carbonatos como cerusita y smithsonita, cuarzo, calcedonia y cloritas.

Descripción de la zona

Se han estudiado oxidaciones procedentes de paragénesis con sulfuros-carbonatos-sílice, pertenecientes al primer y segundo manto mineralizados.

El primer manto, aparece raramente oxidado, ya que normalmente su emplazamiento en profundidad le ha preservado de la alteración.

En la zona estudiada, por medio de testigos de sondeos, aparecen óxidos dolomíticos, junto a una falla, que ha facilitado la circulación de agua y

la oxidación en profundidad, dando lugar a zonas alteradas de pequeña extensión. Separado de la zona alterada por esta falla, aparece el primer manto mineralizado sin alterar (fig. 1).

El segundo manto oxidado se ha estudiado en el estrecho de San Ginés (fig. 2), donde el manto que afloraba en superficie ha sido completamente alterado, dando lugar a una zona de oxidación, que ya ha sido objeto de un estudio preliminar (LÓPEZ GARCÍA y LUNAR, 1983).

Se han estudiado conjuntamente ambas zonas, ya que presentan características comunes de alteración, aunque en la zona de El Estrecho, la alteración está más evolucionada.

Mineralogía y texturas

De igual forma que en el caso de la paragénesis grenalita-magnetita, a continuación se describen

los procesos de oxidación de los diferentes minerales, de la paragénesis primaria.

Pirita

Es el mineral más abundante en esta paragénesis, junto con marcasita. Se encuentra, tanto en granos idiomorfos de tamaño muy variado como en forma masiva.

Esta pirita masiva y de grano fino comienza a oxidarse en los primeros estadios, por bordes de grano y centro de los cristales, avanzando la alteración hasta la completa transformación a goethita.

El hierro disuelto en la alteración de pirita puede ser depositado «in situ», dando lugar a texturas pseudomorfas de pirita o bien ser transportado, antes de su redeposición, como goethita ma-

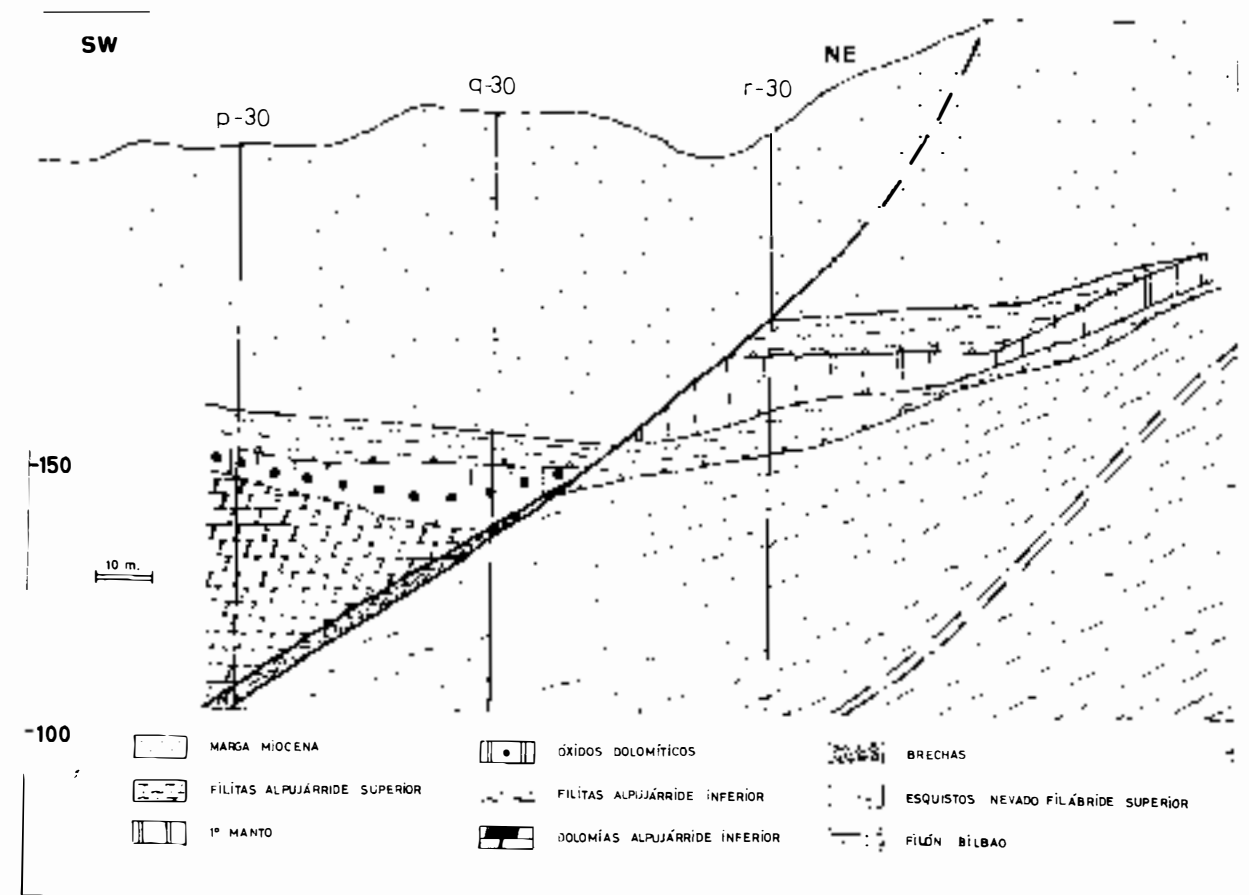


Figura 1.—Corte geológico de Buen Consejo-Julio César, donde se recogieron las muestras de óxidos dolomíticos.

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

siva y coloidal; en este caso no quedan texturas réplica de la pirita preexistente.

Marcasita

Es un mineral abundante en la mineralización primaria, junto con la pirita, con la que puede formar intercrecimientos. Las texturas de marcasita son generalmente de cristales alargados, originando formas bandeadas, frecuentemente intercrecidas con los carbonatos presentes en la mineralización (fig. 3.A).

La oxidación de marcasita, deja texturas pseudomorfas, que conservan perfectamente la forma bandeada, transformada en una mezcla de hematites y goethita, mientras que los carbonatos han sido completamente disueltos (fig. 3.B). En la zona de El Estrecho son especialmente abundantes

estas texturas réplica de marcasita, que están definidas como «texturas bandeadas» en el trabajo de LÓPEZ GARCÍA y LUNAR (1983).

Pirrotina

Este sulfuro es abundante en zonas locales, dentro de la mineralización (LÓPEZ GARCÍA y LUNAR, 1981). Se transforma generalmente a marcasita y no directamente a goethita; se encuentran texturas típicas de «ojos de pájaro» originadas por esta alteración (fig. 3.C). Las formas redondeadas a veces se conservan en la zona de oxidación, donde han sido transformadas a hematites y goethita (fig. 3.D).

Galena

Se presenta dispersa en la mineralización pri-

maria y asociada generalmente a esfalerita. Su proceso de oxidación y transformación en cerusita y anglesita ya ha sido descrito en el anterior trabajo. En estas zonas de oxidación se producen dos tipos de minerales secundarios de plomo, a partir de la alteración de galena: cerusita y anglesita cu segundo grupo de minerales formado por coronaditas y jarosita, cuando existe una disolución y un transporte de este elemento (fig. 3 E y F).

Cerusita y anglesita se encuentran principalmente en zonas donde la alteración no es muy avanzada y en los niveles carbonatados, siendo en todos los casos la anglesita menos abundante que la cerusita.

El mineral más abundante de plomo en estas zonas de oxidación es la coronadita, presente en la mayoría de las muestras estudiadas, donde suele encontrarse mostrando texturas coloidales. La jarosita es también abundante pero solamente en zonas locales, especialmente en El Estrecho, donde la oxidación es más avanzada; normalmente, aparece con texturas de relleno de huecos y fisuras, dejados por la goethita. Se han encontrado escasas texturas réplicas de galena.

La plata liberada, con la alteración de la galena, se deposita como plata nativa dentro de goethitas coloidales; es posible que en algún caso dé lugar a la formación de querargirita.

Esfalerita

Asociada a la galena y en ocasiones intercrecida con marcasita en la mineralización primaria. Al ser alterada, puede dejar texturas réplica, en su transformación a goethita. El cinc liberado en esta oxidación es transportado en disolución; una parte de él queda en la zona de oxidación, bien incluido en los óxidos de manganeso, principalmente calcofanita y en otros óxidos de manganeso con menores contenidos en cinc, o formado smithsonita en determinados niveles.

Otra parte del cinc es transportada fuera de la zona de oxidación.

Calcopirita y otros sulfuros y sulfosales

Que aparecen de manera accidental en la mine-

ralización primaria, son también alterados sin que queden pseudomorfos en la zona de oxidación. No se han encontrado sulfuros secundarios de cobre en esta zona, aunque sí está citada su presencia en niveles del yacimiento primario con alteración incipiente (LÓPEZ GARCÍA y LUNAR, 1981).

Carbonatos

KAGER (1980) cita la presencia de carbonatos hipogénicos con diferente composición química; el más abundante es siderita con contenidos variables en manganeso y cinc. La alteración de los carbonatos comienza por los planos (1011), con transformación a goethita, parte del hierro y manganeso procedentes de la siderita son depositados «in situ» dejando texturas réplica de los carbonatos y otra parte es disuelta y transportada, siendo posteriormente depositada como óxidos de hierro y manganeso, con diferentes contenidos en otros cationes. Las texturas pseudomorfas de carbonatos pueden ser borradas posteriormente por la goethita.

Moscovita y clorita

Procedentes de las rocas encajantes y de la mineralización primaria, permanecen en la zona de oxidación empastadas por los óxidos.

Sílice

Se presenta en forma de cuarzo y calcedonia procedentes de la mineralización primaria y de la alteración de los silicatos. El cuarzo que acompaña a los sulfuros permanece en la zona de oxidación empastado por los óxidos que han sustituido a la mineralización primaria (fig. 3.G y H).

Oxidos de titanio

Se encuentran dispersos en la zona de oxidación, procedentes de la alteración de las rocas volcánicas; son ilmenitas que permanecen sin alterar, o bien rutilo y anatasa, procedentes de la alteración de aquella.

La alteración de la paragénesis con sulfuros-carbonatos-sílice da lugar a unas zonas oxidadas compuestas por:

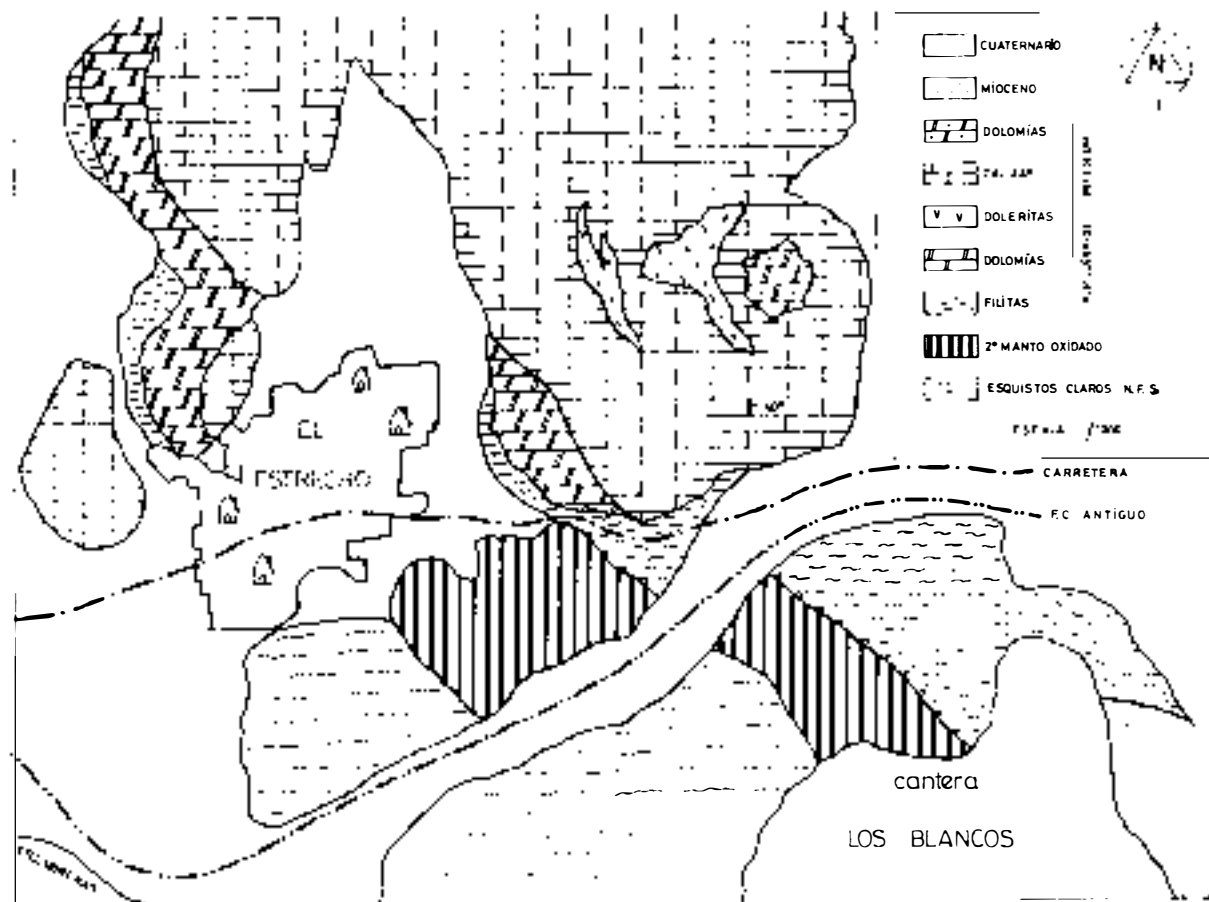


Figura 2.—Esquema geológico de la zona de oxidación de El Estrecho de S. Ginés.

Goethita

Procedente de la oxidación de los sulfuros de hierro, así como de siderita. Se pueden distinguir, al igual que en las otras zonas de oxidación estudiadas, dos generaciones de goethita: una formada en los primeros estadios de la alteración, que deja texturas réplica de los minerales primarios; y una segunda generación, más tardía, con texturas coloidales y masivas que envuelve los minerales formados anteriormente.

Hematites

Procede de la alteración de marcasita, y en menor cantidad de la deshidratación de goethita en zonas cercanas a la superficie, debido al clima árido. También puede proceder de la destrucción de jarosita, depositada anteriormente.

Oxidos de manganeso

El manganeso procedente de la alteración de los carbonatos es disuelto y redepositado como óxidos, generalmente con texturas coloidales, en los últimos estadios de la oxidación. Hay una gran variedad de óxidos de manganeso con diferente composición química. Mediante estudio de las propiedades ópticas, difracción de rayos X y microsonda electrónica, se han reconocido los siguientes:

Psilomelana y pirolusita

Son los más abundantes y se presentan con texturas coloidales variadas. Suelen depositarse en bordes de goethita en los últimos estadios de la oxidación.

Coronadita

Oxidos de manganeso y plomo; se presentan con texturas coloidales y englobados en ocasiones por goethita masiva. Se han encontrado en este mineral cantidades menores de otros elementos químicos, como aluminio y cinc (fig. 3.E); los contenidos en cinc generalmente son menores en el núcleo y aumentan hacia los bordes de las texturas coloidales.

El contenido en otros elementos de la coronadita es inferior siempre al 5 por 100 en peso.

En diferentes análisis químicos de coronadita citados por ROY (1981), este mineral nunca tiene un contenido en plomo superior al 30 por 100 en peso; mientras que todas las coronaditas analizadas en esta zona, tienen un contenido en plomo superior al 35 por 100, y están más acordes con los contenidos en plomo de la coronadita de la zona de oxidación de Broken Hill (VAN MOORT et al., 1982).

Calcofanita

Oxido de manganeso y cinc. Es menos abundante que la coronadita, aparece dispersa en la mineralización y concentrada en los niveles ricos en cinc.

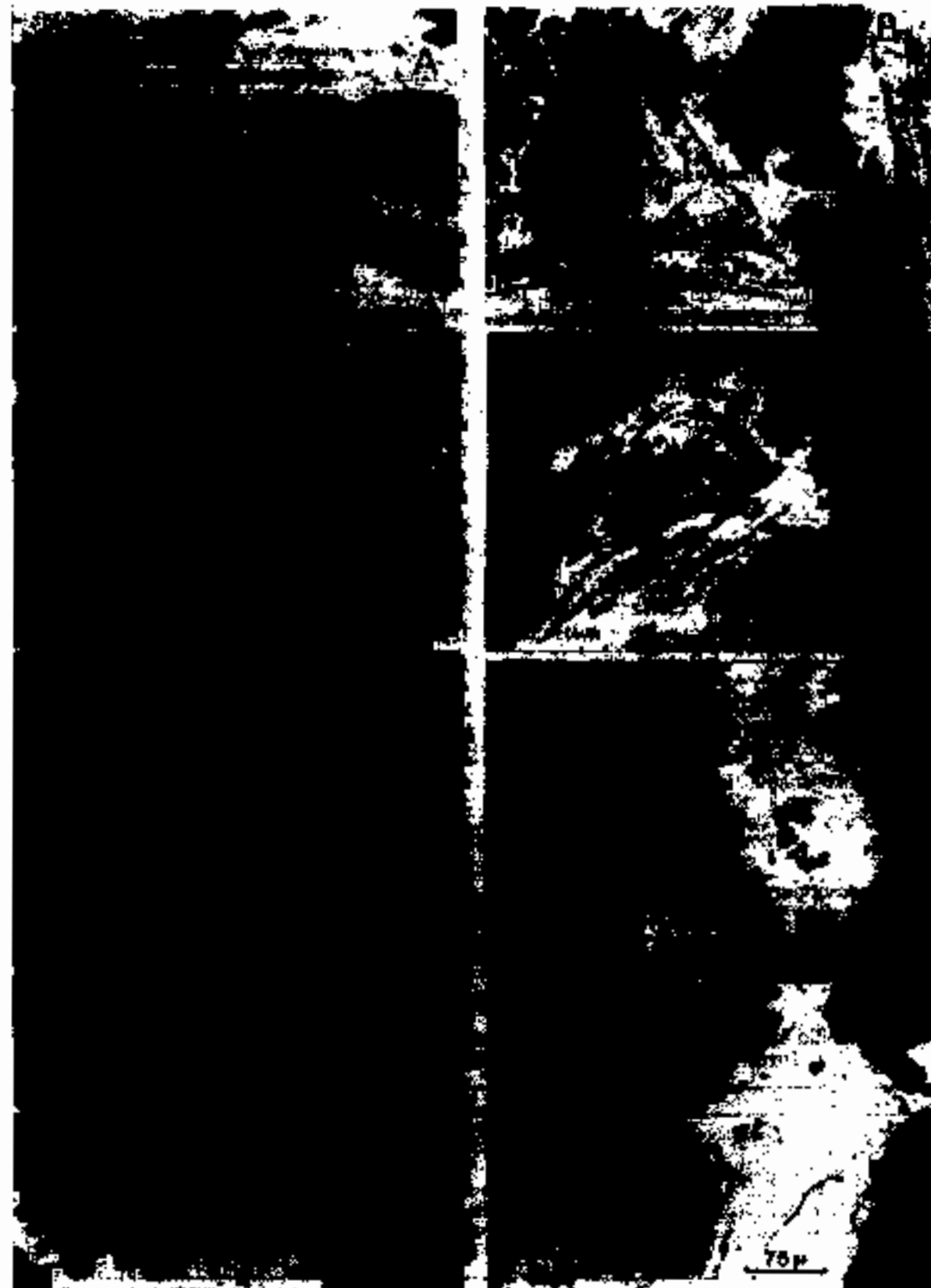
RADTKE et al. (1967) citan en Nevada (U.S.A.) calcofanita argentífera (Aurorita), en la que el cinc ha sido sustituido por plata. En esta zona, no ha sido reconocida la presencia de este elemento en los análisis por microsonda de las calcofanitas; que tienen un contenido medio en cinc del 20 por 100.

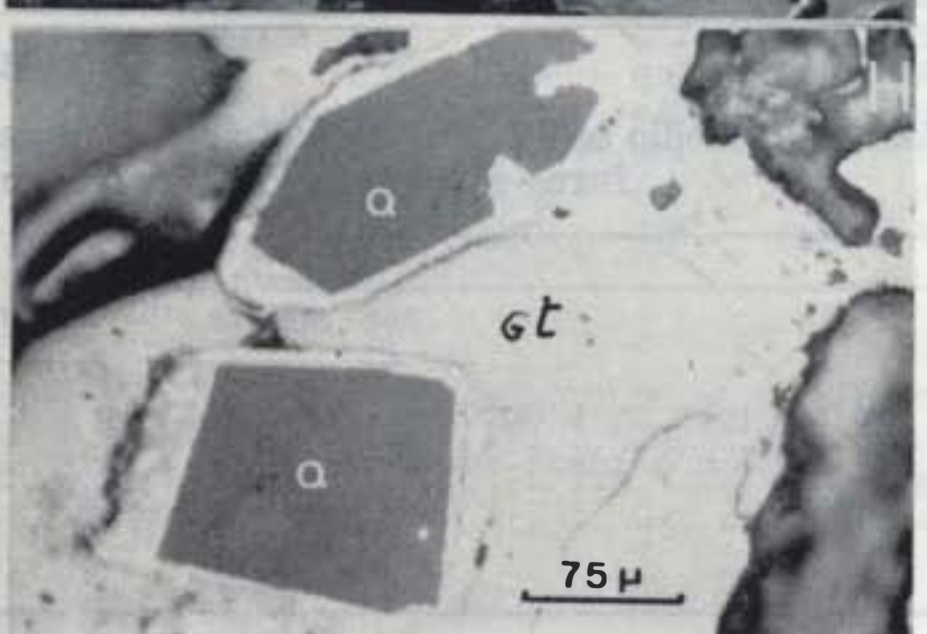
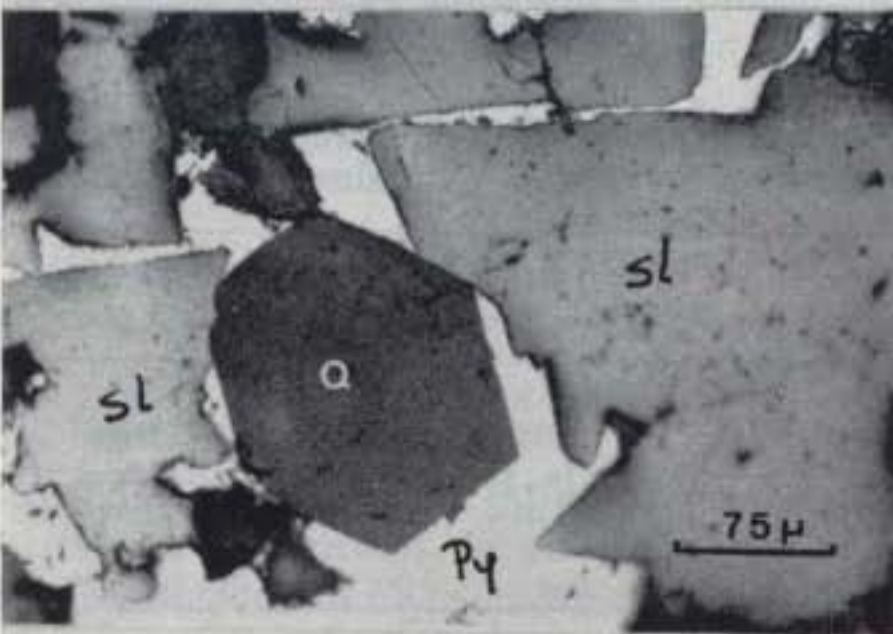
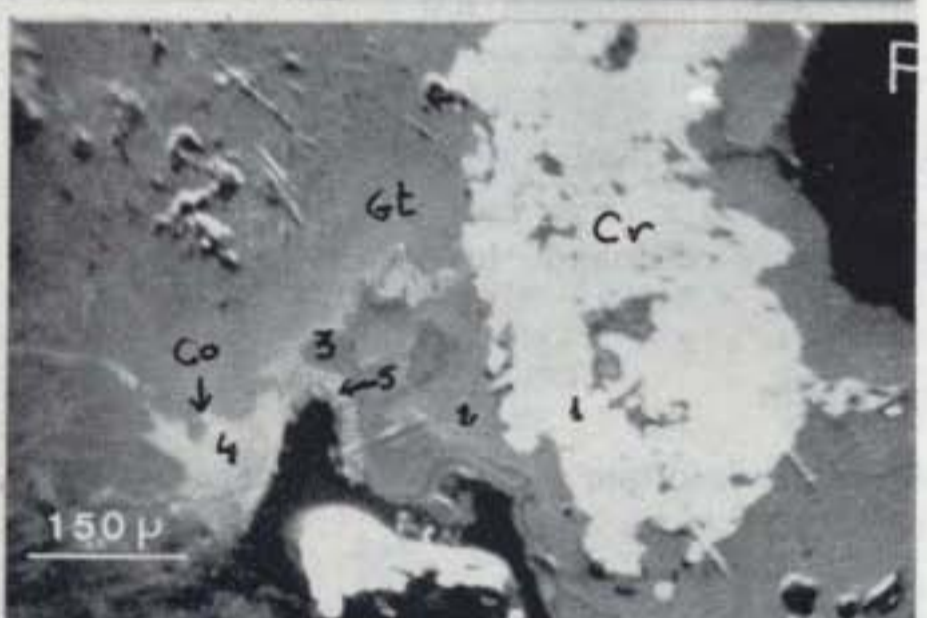
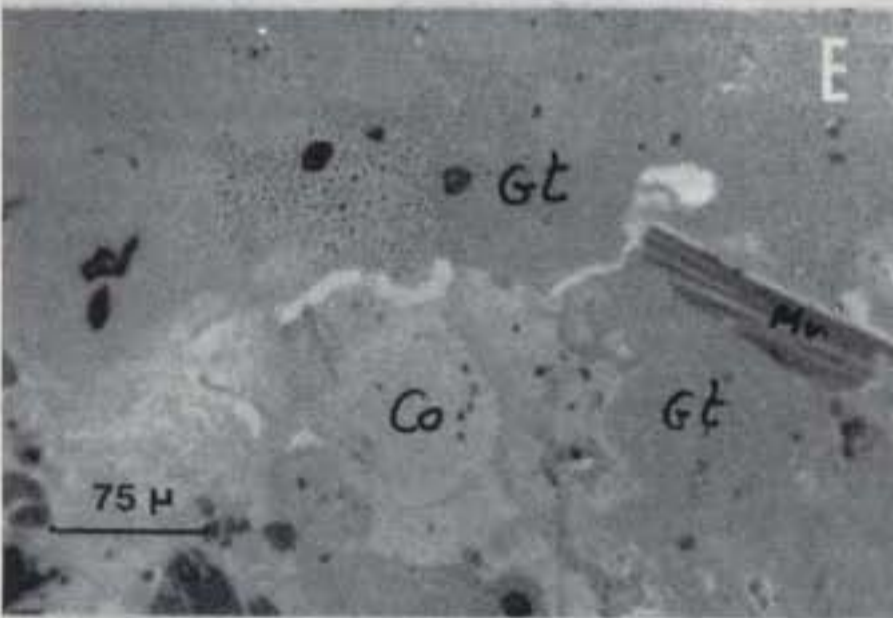
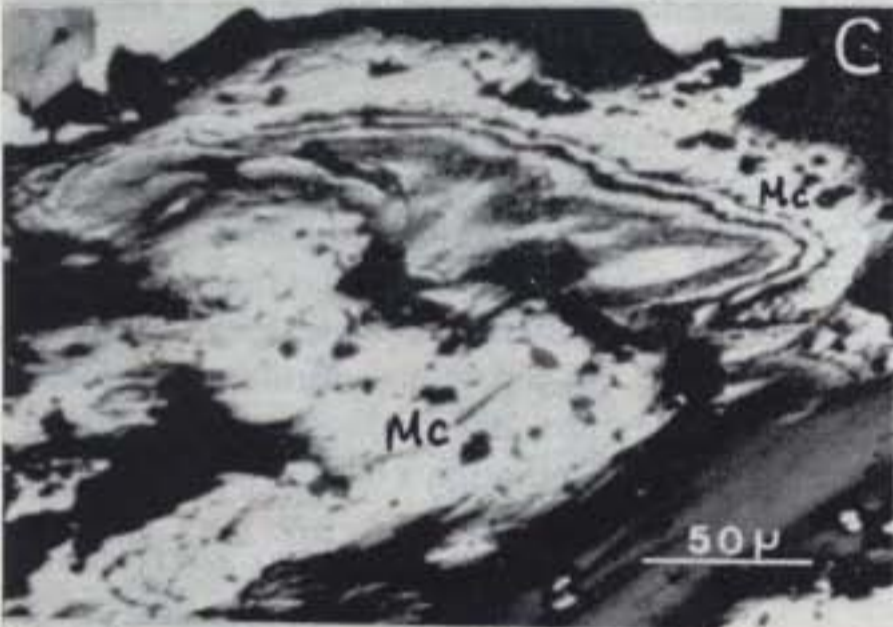
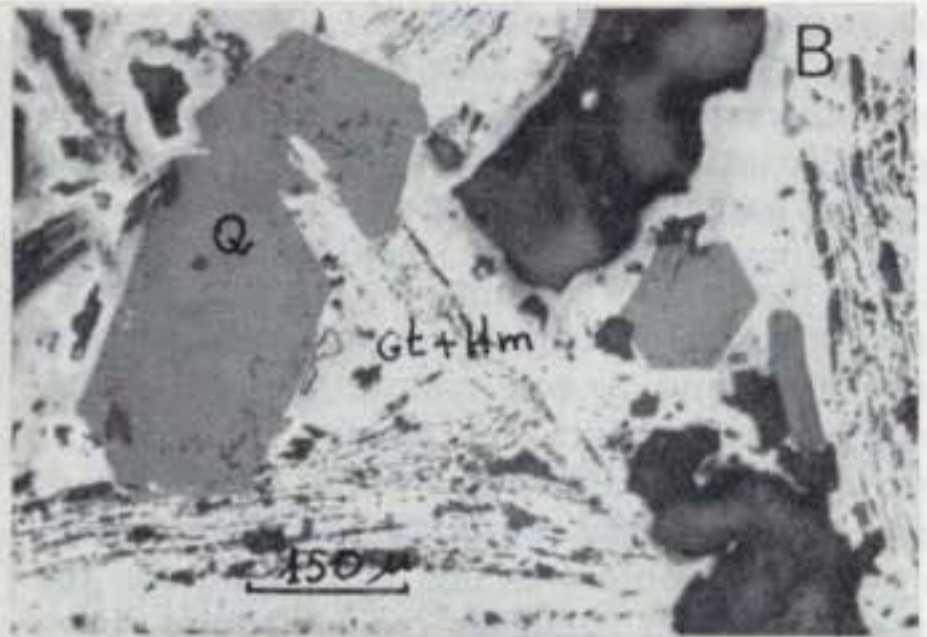
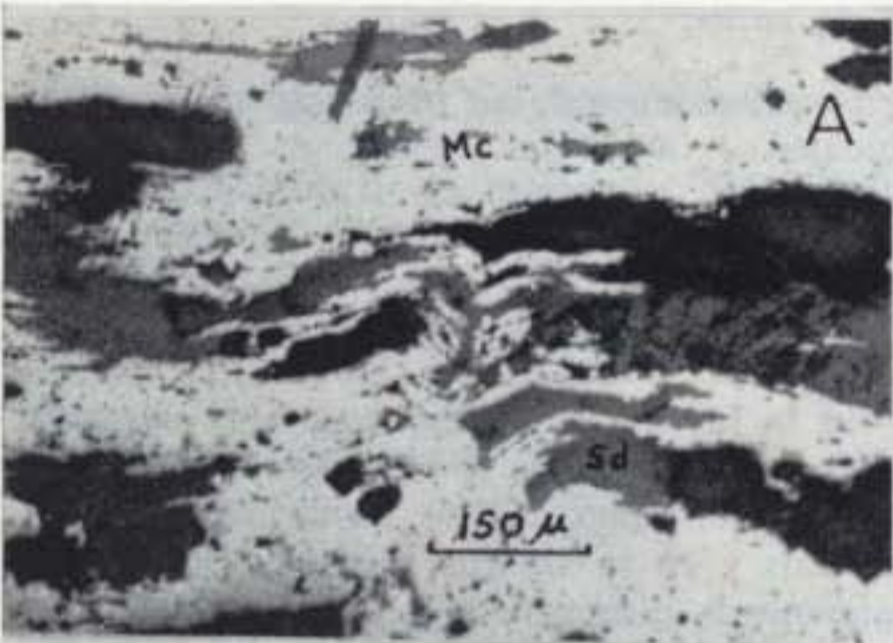
Oxidos de manganeso con hierro

En diversos análisis cualitativos de óxidos de manganeso, se encuentran cantidades variables de hierro, y ocasionalmente otros elementos como silicio, aluminio y cinc. Por sus características ópticas, pensamos que se podría corresponder a criptomelanas sin potasio.

Figura 3

- A) Bandeados de marcasita (Mc) asociada a siderita (Sd) en la mineralización primaria de Los Blancos. L.R.
- B) Texturas bandeadas de goethita (Gt) y hematites (Hm) pseudomorfas de marcasita. L.R.
- C) Marcasita (Mc) con texturas «ojos de pájaro» pseudomorfa de pirrotina. L.R.
- D) Bandeados de hematites (Hm) y goethita (Gt), con texturas pseudomorfas de pirrotina. L.R.
- E) Coronadita (Co) y moscovita (Mv) en una masa de goethita (Gt). L.R.
- F) Cristal de cerusita (Cr) bordeado por goethita (Gt), óxidos de hierro y manganeso (3 y 5) y coronadita (Co) analizados por medio de microsonda electrónica. L.R.
- G) Cuarzo idiomorfo (Q) rodeado de esfalerita (Sf) y piritita (Py). L.R.
- H) Cuarzo idiomorfo (Q), rodeado por goethita (Gt) con texturas coloidales. L.R.





Se pueden observar óxidos de manganeso con texturas coloidales, que han sido analizados mediante microsonda, y que ha puesto de manifiesto la gran variación en la composición química que presentan estos óxidos.

En la figura 3.F, el punto 1 corresponde a un cristal de cerusita, englobado por los diferentes óxidos. El punto 2, con textura masiva, corresponde a una goethita sin ningún contenido en otros elementos. El punto 3 es un hidróxido de hierro, con pequeñas cantidades de silicio, aluminio y cinc. El punto 4 es una coronadita con textura coloidal, con pequeñas cantidades de cinc y hierro (3%). El punto 5, que corresponde a la banda que rodea a los restantes, es un óxido de manganeso con pequeñas cantidades de plomo, hierro y cinc. Esta muestra es un ejemplo de la variabilidad de la composición química de los óxidos de esta zona.

Cerusita y anglesita

Se concentran en determinados niveles de las zonas oxidadas, y especialmente en las zonas menos evolucionadas.

Jarosita

Se encuentran concentradas en diversos niveles, alternando a veces con óxidos de manganeso y goethita, y rellenando los huecos de ésta.

Smithsonita

Mineral escaso que se encuentra esporádicamente en niveles ricos en cinc.

Plata nativa

Ya se ha indicado su presencia en goethitas coloidales.

Distribución geoquímica del Fe, Pb, Ag y Zn

En la tabla 1 están expresadas la composición geoquímica media de la paragénesis primaria, con sulfuros-carbonatos-sílice, en la cantera de Los Blancos y en la antigua mina de Buen Consejo; así como la composición geoquímica media de las zonas oxidadas analizadas en Buen Consejo, Julio César y El Estrecho de San Ginés.

En ambas zonas se puede observar un enriquecimiento en hierro en la zona oxidada, y asimismo un ligero aumento del contenido en plomo; mientras que el contenido en cinc desciende de manera variable, siendo mayor esta disminución en la zona de El Estrecho, donde el proceso de oxidación está más avanzado. Los contenidos en plata también descienden en la zona de oxidación.

En algunas muestras de mano correspondientes a El Estrecho y en un sondeo que corta el primer manto oxidado, se han analizado el Fe, Pb, Ag y Zn en las diferentes fracciones obtenidas en el proceso de separación magnética, así como del residuo, con tamaño de grano menor de 0,12 mm., obtenido en el proceso de molienda previo a la separación magnética.

Hierro

Los contenidos en hierro de las diferentes muestras y fracciones, están expresados en la tabla 2.

TABLA 1

Contenido medio en Pb, Zn, Ag y Fe de las mineralizaciones primarias con paragénesis de sulfuros-carbonatos-sílice y sus correspondientes zonas oxidadas.

	2.º Manto Los Blancos	1.º Manto J. César	2.º Manto Ox. El Estrecho	1.º Manto Ox. J. César
Pb	1,5%	1,4%	1,61%	1,53%
Zn	3,5%	3,4%	0,95%	3,09%
Ag	20 ppm	20 ppm	14 ppm	17 ppm
Fe	22,8%	17,25%	41%	21,8%
	(sulfuros)	Id.		

TABLA 2

Contenidos en hierro de las diferentes muestras y fracciones analizadas. 0,12 mm: Residuo de la molienda. N.M: Fracción no magnética a 0,5 Amp. I: Fracción no magnética a 0,3 Amp. M: Fracción magnética a 0,3 Amp.

Fracción Muestra	Todo Uno	0,12 mm.	N.M.	I	M
1.º Manto					
990-q-30					
67-70 m. ...	13,19	15,45	6,38	28,10	28,60
70-72 m. ...	14,04	27,90	6,90	19,40	44,95
72-76 m. ...	29,68	42,50	—	45,15	46,40
78,4-78,8 m. ...	18,94	37,60	9,64	39,50	42,10
2.º Manto					
El Estrecho 1.	39,45	48,60	4,40	47,50	53,65
El Estrecho 2.	48,75	50,20	7,38	43,10	53,13
El Estrecho 3.	25,13	26,00	7,95	21,53	38,65
El Estrecho 4.	40,09	36,60	2,45	18,85	52,60
El Estrecho 5.	25,53	25,90	3,85	17,75	33,95
El Estrecho 6.	36,71	36,50	3,71	28,95	46,30
El Estrecho 7.	39,35	33,90	3,48	20,95	45,60
El Estrecho 8.	49,75	25,10	5,60	21,25	55,12
El Estrecho 9.	47,20	23,50	5,60	21,58	53,00
El Estrecho 10.	48,00	43,30	4,62	17,02	41,70

En las muestras de los testigos de sondeos, del primer manto oxidado, los análisis del todo uno, que pertenecen a un tramo de espesor variable, no son concordantes con los resultados de las distintas fracciones, que están hechos sobre determinados niveles del tramo, con mayor presencia de óxidos, por lo que los análisis de las fracciones del residuo menor de 0,12 mm. son los más fiables para estas muestras.

Los contenidos en hierro de las muestras del primer manto son más bajos que las procedentes del segundo manto, debido a que en esta zona la alteración está menos evolucionada, quedan aún restos de los carbonatos primarios, y hay una menor lixiviación.

El hierro se concentra lógicamente en la fracción magnética, quedando en la fracción no magnética contenidos en hierro menores al 10 por 100 en peso.

Los minerales que integran la fracción intermedia son goethita, óxidos de manganeso con diferentes contenidos en hierro, y localmente jarosita.

La fracción magnética contiene principalmente hematites y goethita y de manera local, óxidos de manganeso y jarosita.

La fracción no magnética contiene pequeñas cantidades de goethita, clorita y localmente siderita.

Plomo

Los contenidos en plomo de las diferentes muestras y fracciones, están expresados en la tabla 3.

A diferencia de las zonas de oxidación con paragénesis de grenalita-magnetita, las mayores concentraciones de plomo en la paragénesis se dan en las fracciones intermedia y magnética, con pequeños contenidos en la fracción no magnética; la presencia en esta zona de cerusita y anglesita

TABLA 3

Contenido en plomo de las diferentes muestras y fracciones analizadas. 0,12 mm: Residuo de la molienda. N.M: Fracción no magnética a 0,5 Amp. I: Fracción no magnética a 0,3 Amp. M: Fracción magnética a 0,3 Amp.

Fracción Muestra	Todo Uno	0,12 mm.	N.M.	I	M
1.º Manto					
990-q-30					
67-70 m. ...	0,97	0,87	0,31	1,90	1,32
70-72 m. ...	0,82	4,48	1,25	4,68	5,22
72-76 m. ...	6,15	6,45	—	5,60	3,47
78,4-78,8 m. ...	1,25	1,47	0,51	1,16	1,54
2.º Manto					
El Estrecho 1.	1,15	1,10	0,09	0,83	1,25
El Estrecho 2.	2,64	3,00	0,38	2,69	2,49
El Estrecho 3.	0,97	0,98	0,28	0,86	1,75
El Estrecho 4.	0,89	0,73	0,05	0,58	1,05
El Estrecho 5.	5,52	3,93	0,27	7,95	5,01
El Estrecho 6.	2,24	2,15	0,20	4,24	2,36
El Estrecho 7.	0,37	0,37	0,05	0,27	0,38
El Estrecho 8.	1,05	1,02	0,08	0,42	1,04
El Estrecho 9.	0,60	0,73	0,07	0,43	0,73
El Estrecho 10.	0,67	0,72	0,02	1,68	1,09

es más limitada, y debido a su pequeño tamaño de grano se concentran junto a goethita en las fracciones intermedias.

Los minerales principales que componen las

fracciones ricas en plomo son óxidos de manganeso, principalmente coronadita y en menor proporción se encuentran otros óxidos con plomo. En la zona de oxidación del yacimiento de Heure (Bélgica), el 40 a 50 por 100 de plomo va también asociado a los óxidos de manganeso (de WALOUE et al., 1983). La jarosita puede llegar a ser un mineral mayoritario en estas fracciones, en determinados niveles, concentrándose también en las fracciones intermedia y magnética.

Así pues, el plomo está concentrado en esta zona de oxidación en las fracciones intermedia y magnéticas, siendo escasa su presencia en la fracción no magnética.

Plata

Los contenidos en plata de las diferentes muestras y fracciones están expresados en la tabla 4.

El contenido en plata de las muestras analizadas es más bajo que el de la mineralización primaria. En las muestras procedentes de los testigos de sondeos los contenidos en este elemento

TABLA 4

Contenidos en partes por millón de plata en las distintas muestras y fracciones. 0,12 mm: Residuo de la molienda. N.M: Fracción no magnética a 0,5 Amp. I: Fracción no magnética a 0,3 Amp. M: Fracción magnética a 0,3 Amp.

Fracción Muestra	Todo Uno	0,12 mm.	N.M.	I	M
1.º Manto					
990-Q-30					
67-70 m.	8	6	6	8	5
70-72 m.	8	6	10	7	5
72-76 m.	20	5	—	6	10
78,4-78,8 m.	26	12	33	13	8
2.º Manto					
El Estrecho 1.	5	7	6	6	6
El Estrecho 2.	10	11	4	15	9
El Estrecho 3.	2	3	2	5	6
El Estrecho 4.	4	4	2	10	5
El Estrecho 5.	62	58	6	84	78
El Estrecho 6.	35	35	4	72	40
El Estrecho 7.	5	6	2	8	8
El Estrecho 8.	4	4	2	4	3
El Estrecho 9.	10	9	4	6	8
El Estrecho 10.	7	8	2	18	14

son mayores al aumentar la profundidad, hecho que ya ocurría en las restantes zonas de oxidación estudiadas, y justificado por el hecho de que la plata desciende hacia la base de la zona de oxidación y se concentra en este nivel.

En las muestras del segundo manto, también los contenidos en plata son bajos con la excepción de dos muestras, que se presentan enriquecidas en este elemento; es posible que zonas más profundas de esta zona, presenten unos mayores contenidos en plata.

En cuanto a la concentración en las distintas fracciones, es bastante irregular. En las muestras del primer manto, los mayores contenidos se dan en la fracción no magnética, lo que hace pensar en la presencia de querargirita; mientras que en las muestras del segundo manto, la plata se concentra en las fracciones intermedia y magnética. En esta zona los mayores contenidos en plata se dan en las muestras ricas en jarosita; por lo que este elemento, además de presentarse como plata nativa, podría ir asociado a las jarositas. En cuanto a la presencia de plata en las calcofanitas, no hay ninguna correlación entre la plata y el cinc, por lo que no parece factible la entrada de este elemento en los óxidos de manganeso.

Cinc

Los contenidos en cinc de las distintas muestras y fracciones analizadas, están expresados en la tabla 5.

Los contenidos en cinc en estas zonas de oxidación, son más bajos que en la mineralización primaria; aunque en este caso se han encontrado concentraciones mayores que en las demás zonas de oxidación estudiadas. Esto se debe a dos factores: en primer lugar al mayor contenido de cinc en la mineralización primaria, y en segundo lugar a una mayor retención de este elemento en la zona de oxidación, debido a la formación de óxidos de manganeso.

En las zonas oxidadas con carbonatos, el cinc no se concentra como smithsonita, sino principalmente como calcofanita; y en cantidades menores asociado a otros óxidos de manganeso y hierro. Los niveles más ricos en cinc son ricos en calcofanita, y no hay niveles ricos en smithsonita.

TABLA 5

Contenidos en cinc de las diferentes muestras y fracciones.

0,12 mm: Residuo de la molienda. N.M: Fracción no magnética a 0,5 Amp. I: Fracción no magnética a 0,3 Amp. M: Fracción magnética a 0,3 Amp.

Fracción Muestra	Todo Uno	0,12 mm.	N.M.	I	M
990-q-30					
1.º Manto					
67-70 m.	1,03	1,19	0,46	0,30	1,80
70-72 m.	1,50	1,51	0,53	1,81	1,80
72-76 m.	6,00	2,49	—	2,31	2,30
78,4-78,8 m.	0,66	0,68	0,15	0,75	0,73
2.º Manto					
El Estrecho 1.	0,73	0,75	0,06	0,56	0,89
El Estrecho 2.	1,79	1,75	0,22	1,83	1,75
El Estrecho 3.	1,08	1,03	0,41	0,99	1,11
El Estrecho 4.	0,47	0,43	0,05	0,24	0,52
El Estrecho 5.	0,63	0,56	0,07	0,66	0,84
El Estrecho 6.	1,04	0,98	0,07	1,05	1,25
El Estrecho 7.	1,35	1,18	0,11	0,75	1,53
El Estrecho 8.	0,79	0,82	0,09	0,42	0,81
El Estrecho 9.	0,98	1,00	0,11	0,48	0,97
El Estrecho 10.	0,63	0,64	0,09	0,44	0,64

En la separación magnética, el cinc se concentra en las fracciones intermedia y magnética, mientras que la fracción no magnética es siempre pobre en este elemento, excepto en el caso en que se encuentra presente smithsonita en pequeñas concentraciones.

Evolución de la alteración

La mineralogía del yacimiento primario, compuesta por pirita y marcasita como minerales principales, y galena, esfalerita y calcopirita como accesorios junto con carbonatos y sílice como minerales más importantes de la ganga; dan lugar en su alteración, a una mineralogía diferente de las zonas estudiadas anteriormente.

En un primer estadio de alteración se produce en la oxidación de la pirita alotriomorfa y de la marcasita, minerales ambos muy abundantes. Esta oxidación da lugar a una acidificación del medio, con la consiguiente alteración de los restantes sulfuros y carbonatos. La alteración de marcasita deja abundantes texturas réplica.

En una segunda etapa se alteran los restantes sulfuros y carbonatos. La calcopirita se transforma en goethita y el cobre liberado en la oxidación es lixiviado y transportado, en su mayor parte, fuera de la zona de oxidación; sin que queden minerales secundarios de este elemento, cuando la oxidación está avanzada.

La alteración de galena da lugar, en este segundo estadio a la formación de anglesita y cerusita. Este último mineral persiste en las zonas oxidadas del primer manto donde la alteración está menos avanzada. En las áreas más evolucionadas, por el contrario, el continuo lavado no permite la persistencia de estos minerales, y el plomo se deposita en los óxidos de manganeso y hierro, mientras que la plata que contienen las galenas se deposita junto a goethita como plata nativa.

La esfalerita oxidada deja texturas réplicas en su transformación a goethita, y el cinc liberado es en parte lixiviado y en parte depositado con los óxidos de manganeso.

La pirita idiomorfa existente en la mineralización, se altera dejando buenas texturas réplicas.

En las zonas locales, con menor presencia de carbonatos, se va a producir una mayor acidificación del medio, con descenso del pH hasta valores cercanos a 3 y la formación de jarosita alternando con goethita y óxidos de manganeso.

Parte de esta jarosita es posteriormente alterada y transformada en hematites, con un estadio intermedio de formación de ferrihidrita; al igual que sucede en la zona de Las Lajas. Esta transformación de jarosita está descrita también en el yacimiento pirítico de Saint-Bel (SORNEIN, 1980). La jarosita puede contener diferentes cantidades de plomo y quizás pequeñas proporciones de plata.

Los carbonatos presentes en la mineralización son también oxidados y el manganeso que contienen es depositado como óxidos con contenidos variables en hierro, plomo y cinc.

La alteración de los carbonatos deja texturas réplica a veces borradas por la continua alteración. En las zonas de primer manto más profundas, donde la oxidación está menos avanzada, pueden quedar restos de los carbonatos de la mineralización primaria sin alterar, mientras en las

zonas más evolucionadas no quedan restos de ellos.

La sílice, así como las cloritas, se conservan en la zona de oxidación, empastados por la goethita.

Los carbonatos van a neutralizar en esta segunda etapa la acidificación, permitiendo la formación de texturas réplica y de cerusita. En estas zonas la mayor abundancia de sulfuros de hierro produce un medio más ácido que en la zona de San Valentín; los carbonatos en los primeros estadios van a neutralizar esta acidez, pero la continua oxidación y destrucción de éstos, hará descender nuevamente el pH del medio, de manera que la cerusita puede ser destruida.

En un tercer estadio de alteración se van a depositar óxidos de manganeso y goethita y, localmente, en las zonas con mayor acidez, lo harán los minerales del grupo de la jarosita.

Por último, en una etapa cuarta de alteración, en la que existe mayor aridez y menor circulación de agua, la jarosita se va a destruir, y va a dar lugar a la formación de hematites; así mismo se puede originar la transformación de goethita en hematites.

Las características de esta zona de oxidación pueden compararse con la de Broken Hill (VAN MOORT et al., 1982), en la que existen unos niveles próximos a la superficie enriquecidos en coronadita y otros óxidos de manganeso y una zona más profunda rica en cerusita y otros carbonatos. Las diferencias fundamentales estriban en un mayor contenido en plomo y un menor contenido en hierro en la mineralización primaria de Broken Hill, por lo que los enriquecimientos en plomo en este yacimiento son mayores en la zona de oxidación que las estudiadas aquí.

Se puede sintetizar el proceso de alteración en esta zona de la siguiente manera (fig. 4).

1.º Oxidación de piritita alotriomorfa y marcasita:

- Formación de texturas pseudomorfas de marcasita.
- Acidificación del medio.

2.º Oxidación de los restantes sulfuros y carbonatos.

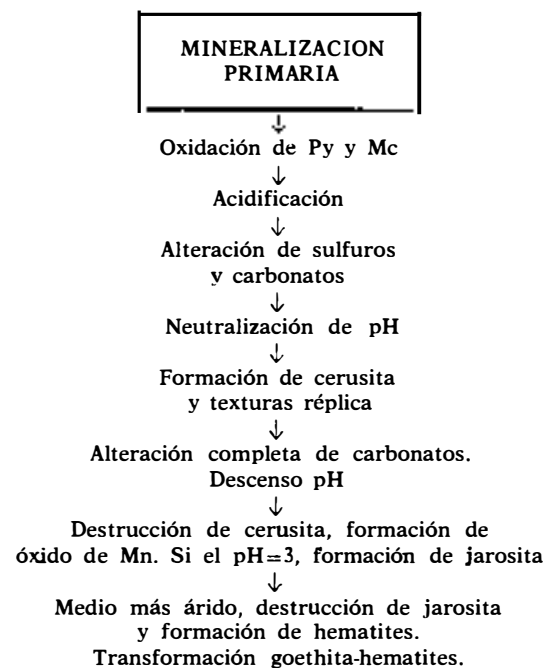


Figura 4.—Secuencia de alteración supergénica de la paragénesis con sulfuros-carbonatos-sílice.

- Liberación de Zn, Mn, Cu, Ag.
- Formación de anglesita y cerusita.
- Formación goethita pseudomorfa.
- Inicialmente neutralización del pH; posteriormente a la destrucción de los carbonatos mayor acidez, con destrucción de cerusita, y descenso en zonas locales hasta un pH3.
- 3.º Formación de óxidos de manganeso con Fe, Ph, Zn.
 - Formación de goethita coloidal.
 - Formación de plata nativa.
 - Zonas de bajo pH, formación de jarosita.
- 4.º Clima más árido.
 - Destrucción de jarosita con formación de hematites y ferrihidrita.
 - Transformación de goethita en hematites.

BIBLIOGRAFIA

- KAGER, P. C. (1980): *Mineralogical investigations on sulphides Fe-Mn-Zn-Mg-Ca Carbonates, greenalite and associated minerals in the Pb-Zn deposits in the Sierra de Cartagena. Province of Murcia. S. E. Spain.* Gue papers of Geology. Series 1, núm. 12, Amsterdam, 204 pp.
- 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.
- LÓPEZ GARCÍA, J. A., y LUNAR, R. (1983): *Estudio mineralógico, textural y geoquímico de la zona de alteración de El Estrecho de S. Ginés (Sierra de Cartagena-Murcia).* Bol. Soc. Esp. Mineralogía, vol. 7, pp. 243-248.
- OEN, I. S.; FERNÁNDEZ, J. C., y MANTECA, J. I. (1975): *The Lead-zinc and associated ores of La Union, Sierra de Cartagena, Spain.* Econ. Geol., vol. 70, pp. 1259-1278.

RADTKE, A. S.; TAYLOR, C. M., y HEWET (1967): *Aurorite, argentine todorokite and hydrous silver bearing lead manganese oxide.* Econ. Geol., vol. 62, pp. 182-206.

ROY, S. (1981): *Manganese Deposits.* Academic Press. London, 458 pp.

SORNEIN, J. F. (1980): *Alteration supergene de minéralisations ferrifères. Les chapeaux de fer du gisement de Sidérite de Batere (Pyrenées Orientales) et du gisement de pyrite de Sain-Bel (Rhône).* These L'Ecole Nationale Supérieure de Mines de Paris, 150 pp.

VAN MOORT, J. C., y SWENSSON, C. B. (1982): *The oxidized zone of the Broken Hill Lode W.S.W.* The Ore genesis. The state of the art. Special publication núm. 2. Springer Verlag, pp. 251-268.

WALQUE, L. DE, y MARTIN, H. (1983): *Geochemical dispersion of Lead and zinc around a gossan in a Carbonate Environment at Heure (Belgium).* Mineral. Deposita, volumen 18, pp. 27-38.

Recibido: Enero 1987