

## ALTERACION SUPERGENICA DE SULFUROS EN ALGUNOS YACIMIENTOS DEL SE DE ESPAÑA. NOTA PRELIMINAR

F. López Aguayo (\*) y R. Arana (\*\*)

### RESUMEN

Se seleccionaron dos áreas, S. Almagrera (Almería) y "Cabezo S. Cristobal" (Mazarrón, Murcia), explotadas en el pasado para la obtención de Pb, Zn, Fe y Ag y subsecuentemente barita (S. Almagrera), en la actualidad las labores mineras están abandonadas.

En ambas áreas la mineralización es similar, destacando por su interés económico la paragénesis galena argentífera, esfalerita y pirita, con otros sulfuros y sulfosales como componentes menores. El contexto geológico en ambas áreas es diferente. Así, en S. Almagrera las rocas encajantes son esquistos y micasquistos del Complejo Alpujarride (dominio Bético s.s.), mientras que en el área de Mazarrón la mineralización arma en rocas volcánicas calcoalcalinas del Terciario.

Los procesos de alteración en estas dos áreas no están bien conocidos, tanto desde el punto de vista mineralógico como del geoquímico. Consecuentemente, en este trabajo, de carácter preliminar, se estudiarán algunos de ellos. Se pueden considerar dos grupos de alteraciones, las desarrolladas en filones y rocas encajantes y las observadas en las escombreras.

El segundo grupo corresponde a los procesos de alteración terminales, convergentes en ambas áreas. La asociación mineralógica es similar y las fases más importantes representadas son: jarosita, alunogeno, halotrichita, melanterita, coquimbita y otros sulfatos solubles.

Un avance de la composición química de estos productos de alteración pone de manifiesto la presencia sistemática de un gran número de elementos químicos, tales como: Pb, Zn, Fe, Mn, Al, Mg, Ag, Cu, Cd, As, Ge, Sb y Bi entre otros.

**Palabras clave:** *Sulfatos, alteración supergénica, yacimientos sulfuros.*

### ABSTRACT

The two areas selected in this paper correspond to S. Almagrera (Almeria) and "Cabezo S. Cristobal" (Mazarron, Murcia). Both went exploited to obtain Pb, Zn, Fe and Ag and subsecuently baryte (S. Almagrera), being at the present time all the mining works abandoned.

Both areas present a similar mineralization, standing out for its economic interest the bearing Ag galena, sphalerite and pyrite assemblage, with other sulphides and sulphosalts as minor phases. However, the geological setting in which mineralizations occur is very different. So, in S. Almagrera the wall-rocks of the veins are schists and micaschists of "Alpujarride complex", while in the Mazarron area the orebodies occur within the calcaline volcanic materials, developed during Tertiary in the SE of Spain.

The weathering processes of these two areas have not sufficiently known, from a mineralogical and geochemical point of view. In this paper, a preliminary note over these processes is pointed out. Such weathering processes can be studied in two different groups. The first one, developed over the veins and wall-rocks and the second one, related to the dumps.

The second group corresponds to the most developed weathering processes, which are convergent on both two areas. The mineralogical association is similar and the main phases are: jarosite, alunogen, halotrichite, melanterite, coquimbite and other soluble sulphates.

An advance of the chemical composition of the weathering products points out the systematic presence of a large number of chemical elements as Pb, Zn, Fe, Mn, Al, Mg, Ag, Cu, Cd, As, Ge, Sb, and Bi among others.

**Key words:** *Sulphates, weathering, sulfide ores.*

(\*) Dpto. Ciencias de la Tierra. Cristalografía y Mineralogía. F. Ciencias. Univ. 50009 Zaragoza.

(\*\*) Dpto. Geología. F. Ciencias Químicas y Matemáticas. Univ. Murcia. 30001.

## Introducción

Algunos de los procesos de alteración supergénica en yacimientos de sulfuros son muy conocidos, ya que el desarrollo de "monteras de oxidación" (iron cap) puede ser importante, originando concentraciones de minerales de interés económico. Blain y Andrew (1977) y más recientemente López García (1985) han realizado una buena revisión de este grupo de procesos.

No obstante, aquellos procesos que representan la fase terminal de la alteración supergénica no están igualmente bien conocidos, debido, sobre todo, a su complejidad. Si bien resultan ilustrativos algunos trabajos de Thornber y Wildman (1984) y Zódraw (1980).

Por este motivo se ha planificado un programa de investigación que trata de cubrir los aspectos geoquímicos y mineralógicos de esta fase final, en la que hay un espectacular desarrollo de fases hidratadas altamente solubles.

Las dos áreas seleccionadas, localizadas en el SE de España, S. Almagrera (Almería) y "Cabezo S. Cristobal" (Mazarrón, Murcia), son distritos mineros, hace tiempo abandonados, pero de gran importancia en la minería de final del siglo XIX y principios del XX.

Este trabajo es un nota preliminar sobre la mineralogía encontrada y el comportamiento geoquímico de los elementos químicos ligados a los sulfuros y rocas encajantes.

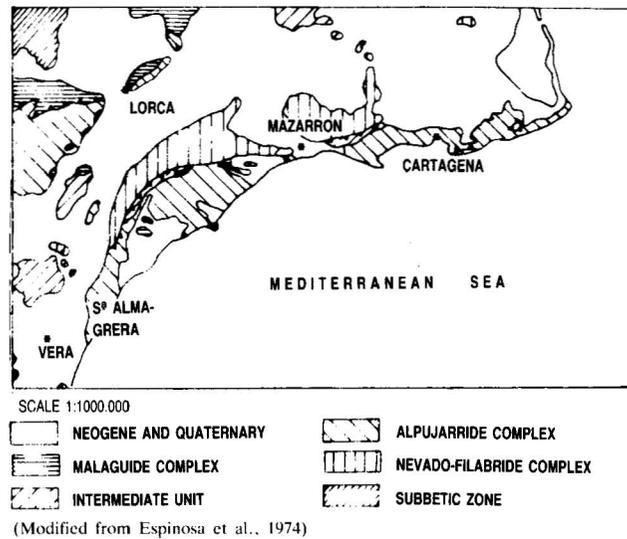


Fig. 1.—Esquema geológico general del SE de España, incluyendo la localización de las dos áreas seleccionadas.

## Geología regional y mineralizaciones primarias

El esquema regional simplificado del SE de España se recoge en la figura n.º 1; del mismo se pueden deducir las diferencias de contexto en las que aparecen las mineralizaciones de las dos áreas seleccionadas. Para una mayor información se ha incluido una cartografía más detallada de cada una de las áreas (fig. 2 y 3). S. Almagrera

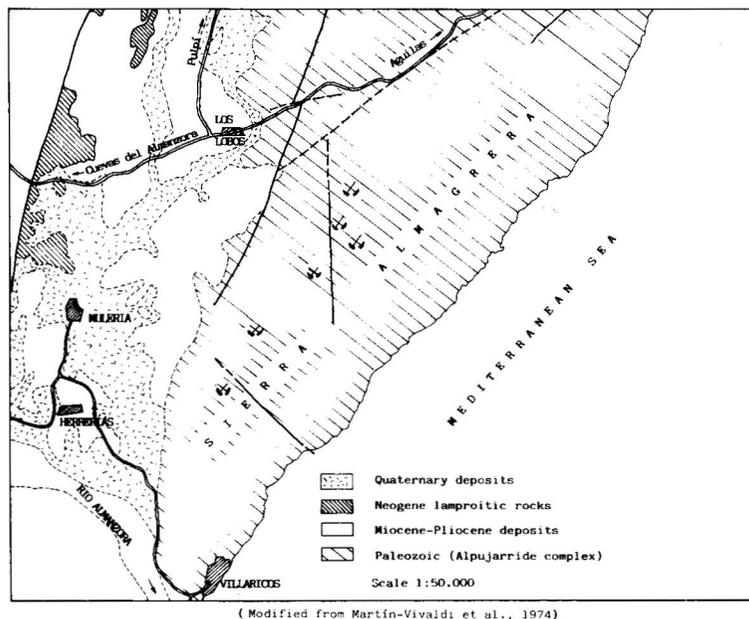


Fig. 2.—Esquema geológico del área de Sierra Almagrera (Almería).



SCALE 1:50.000 (Modified from Espinosa et al., 1974)

Fig. 3.—Esquema geológico del área de Mazarrón (Murcia).

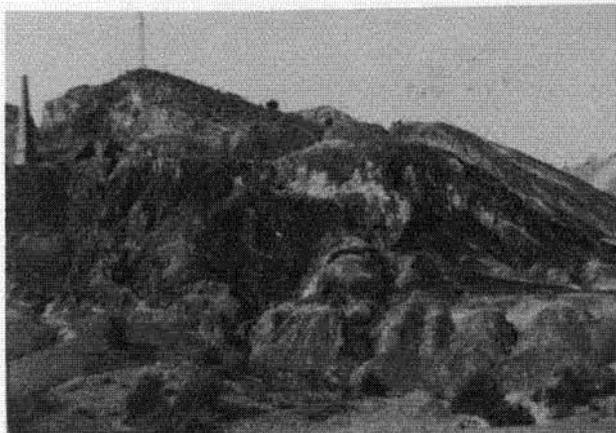


Fig. 4.—Vista general del "Cabezo S. Cristobal", con las escombreras en primer término.



Fig. 5.—Zona central de las escombreras en el "Cabezo S. Cristobal" (Mazarrón, Murcia).

está constituida por esquistos y micasquistos del complejo Alpujarride (Aldaya et al., 1980), mientras que el "Cabezo S. Cristobal" corresponde a un importante afloramiento de rocas volcánicas calcoalcalinas de edad neógena (López Ruiz y Rodríguez Badiola, 1980).

Las mineralizaciones primarias son semejantes en ambas áreas. Están constituidas por galena argentífera, esfalerita, pirita, marcasita, barita y siderita. Las diferencias entre ambas áreas corresponden a las proporciones relativas entre estos minerales, así como a variaciones en los minerales accesorios. En S. Almagrera es frecuente encontrar, en cantidades menores, calcopirita, tetraedrita y otros sulfuros complejos y sulfosales, mientras que en el "Cabezo S. Cristobal" aparece calcopirita, magnetita, estibina y algunas sulfosales.

Algunos de los trabajos más importantes sobre las mineralizaciones de estas dos áreas se deben a Pavillon (1972), Alabert (1973), Arana (1973) y Arribas et al., (1983). En ambas áreas se trata de mineralizaciones filonianas e hidrotermales, con zonación vertical en la distribución de los sulfuros. En S. Almagrera se han descrito, al menos, dos etapas mineralizadoras, mientras que en el "Cabezo S. Cristobal" la mineralización corresponde a una única etapa, con un episodio final en el que se desarrolla un importante proceso de alunitización y jarositización (Hoyos y Alias, 1962).

#### Resultados experimentales y discusión

El análisis mineralógico de las muestras se realizó sistemáticamente por DRX, método de polvo. La técnica utilizada para la identificación de

las fases está descrita en Hueso et al., (1981). Las muestras se tomaron en las antiguas escombreras, en las que hay un desarrollo muy importante de los procesos de alteración. Las figuras n.º 4-7 corresponden a algunas de las escombreras muestreadas. Los resultados se reflejan en las tablas 1 y 2.

El análisis químico se realizó mediante FRX y absorción atómica. Los análisis de fluorescencia permitieron determinar la existencia de un gran número de elementos, clasificados según su abundancia en mayores, menores y trazas. El método seguido consistió en preparar las pastillas después de calentar las muestras a 250° C para proceder a su total deshidratación.

El análisis químico por absorción atómica corresponde a la fracción de la muestra soluble en agua. La técnica utilizada consistió en pesar 2 gramos de muestra disolviéndola en 100 c.c. de agua. Las medidas de pH también se realizaron en esta fracción. Los resultados se recogen en las tablas 3 y 4. Los valores de pH corresponden al máximo y mínimo medidos en muestras que contienen el mineral de referencia.

Algunos datos previos del área de S. Almagrera, tanto sobre el tipo de productos como sobre los procesos de alteración, que incluyen observaciones químicas, genéticas y mineralógicas, se pueden encontrar en Hueso et al. (1981) y López Aguayo et al., (1983).

En estos procesos de alteración supergénica de carácter terminal se pueden diferenciar dos etapas para una mayor facilidad expositiva. La primera en la que se describe la aparición de fases insolubles en agua, son los minerales de los grupos de la alunita y jarosita, oxihidroxidos de hierro, minerales de la arcilla y otros, y la segunda, correspondiente a la formación de los diferentes

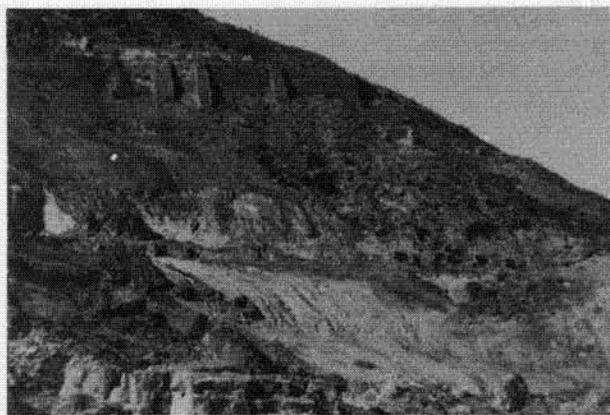


Fig. 6.—Vista general del barranco de "El Jaroso" en Sierra Almagrera, se pueden observar restos de antiguas explotaciones.



Fig. 7.—Detalle de las escombreras alteradas de una explotación del barranco de "El Jaroso" (S. Almagrera).

sulfatos solubles con distintos grados de hidratación.

En relación con los sulfatos de Fe se pueden hacer algunas observaciones de interés, ya que en su caso aparecen secuencias con diferente grado de oxidación e hidratación:

Fe<sup>2+</sup>: Rozenita (4H<sub>2</sub>O)/Ferrohexahidrita (6H<sub>2</sub>O)/  
Melanterita (7H<sub>2</sub>O)  
Fe<sub>2+</sub> - Fe<sup>3+</sup>: Roemerita (14H<sub>2</sub>O)/Voltaita  
(18H<sub>2</sub>O)  
Fe<sup>3+</sup>: Amarantita (3H<sub>2</sub>O)/Hohmannita  
(3.5H<sub>2</sub>O)/Coquimbita (9H<sub>2</sub>O)/Quenstedtita  
(10H<sub>2</sub>O)

Una primera aproximación del comportamiento de las mineralizaciones y rocas de caja, frente a los procesos de alteración supergénica, se ha resumido en dos esquemas diferentes (fig. 8 y 9). Tales esquemas incluyen las relaciones posibles entre las distintas fases del sistema considerado de forma global. Las diferencias entre ambas áreas parecen derivarse de las variaciones de concentración de determinados elementos químicos. Estos esquemas constituyen la hipótesis de trabajo teniendo en cuenta diversos factores, entre otros la posibilidad de intervención de bacterias ferruginosas del género *Thiobacillus* (\*).

La secuencia de disolución, los tipos de especies solubles de los diferentes elementos y las secuencias de precipitación son los mecanismos actualmente en estudio.

(\*) En la actualidad el Prof. Westbroek del Dpto. de Bioquímica de la Univ. de Leiden (Holanda) estudia la posible existencia de *Thiobacillus ferrooxidans* en muestras del "Cabezo S. Cristobal".

Desde un punto de vista geoquímico se trata de estudiar el comportamiento de algunos elementos de interés como son: Pb, Zn, Ag, Cd, Ge, As, Bi, Sb y Sn, junto a los más comunes: Si, Al, S, Fe, Mn, Ca, Ti y Ba entre otros.

Los elementos encontrados se han clasificado en tres grupos diferentes, de acuerdo con sus cantidades relativas, pero de mayor interés aún es la distribución entre las distintas fases. De acuerdo con este criterio, los resultados se resumen de la siguiente manera:

*Elementos mayores:*

Fundamentalmente en fases insolubles: K, Pb, Si.

Fundamentalmente en fases solubles: Ca, Mg, Zn.

Fundamentalmente en ambas fases: Fe, Al, S.

*Elementos menores:*

Fundamentalmente en fases insolubles:

silicatos: Cr, Ti

sulfatos: As, Ba

Fundamentalmente en fases solubles:

Cd (capturado por el Zn), Mn.

*Elementos traza:*

Fundamentalmente en fases insolubles:

silicatos: Rb, V, Ni, Th

sulfatos: Ag, Ge, Sn, Bi, Sb.

La presencia de estos elementos está de acuerdo con los datos procedentes del análisis de las

Tabla 1.—Minerales de alteración insolubles en agua.

Nombre del mineral	Número muestras por área	
	Mazarrón	S. Almagrera
<i>Grupo de la jarosita</i>		
Jarosita		
Natrojarosita	24	24
Plumbojarosita		
Hidroniojarosita		
<i>Grupo de la alunita</i>		
Alunita	3	5
Natroalunita		
Anglesita	16	4
Hematites	14	7
Goethita	23	9
Ferrihidrita	23	14
<i>Minerales de la arcilla</i>		
Cristobalita	9	—

Tabla 2.—Sulfatos solubles identificados por DRX.

Nombre del mineral	Fórmula teórica	Mazarrón	S. Almagrera
Coquimbita	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	5(*)	5
Fibroferrita	$\text{FeSO}_4(\text{OH}) \cdot \text{SH}_2\text{O}$	4	3
Botriogeno	$\text{MgFe}(\text{SO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	8	3
Copiapita	$\text{FeFe}_4(\text{SO}_4)_6(\text{OH})_2 \cdot 2\text{OH}_2\text{O}$	9	17
Melanterita	$\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	3	2
Rozenita	$\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2	1
Halotrichita	$\text{FeAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$	3	3
Pickeringita	$\text{MgAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$	2	7
Gunningita	$(\text{Zn}, \text{Mn})\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1	3
Bianchita	$\text{ZnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1	3
Goslarita	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	7	10
Kieserita	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1	2
Mooreita	$(\text{Zn}, \text{Mg}, \text{Mn})_8\text{SO}_4(\text{OH})_{14} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1	1
Butlerita	$\text{FeSO}_4(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	—	1
Pisanita	$(\text{Fe}, \text{Cu})\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	—	1
Szomolnokita	$\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	—	3
Ilesita	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	—	2
Szmikita	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	—	2
Torreyita	$(\text{Zn}, \text{Mn}, \text{Mg})_7\text{SO}_4(\text{OH})_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	—	2
Siderotilo	$\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1	—
Ferrohexahidrita	$\text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1	—
Voltaita	$\text{K}_2\text{Fe}_5\text{Fe}_4(\text{SO}_4)_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1	—
Roemerita	$\text{FeFe}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	8	—
Amarantita	$\text{FeSO}_4(\text{OH}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	1	—
Hohmannita	$\text{FeSO}_4(\text{OH}) \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$	1	—
Quenstedtita	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	1	—
Goldichita	$\text{KFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2	—
Sideronatrita	$\text{Na}_3\text{Fe}(\text{SO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	1	—
Alunogeno	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	18	—
Kalinita	$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$	3	—
Starkeyita	$\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1	—
Leonita	$\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1	—
Beaverita	$\text{Pb}(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Al})_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$	2	—

(\*) Número de muestras.

Tabla 3.—Valores de pH medidos en solución.

	Mazarrón		Sierra Almagrera			
Coquimbita	2.15	—	2.81	2.12	—	2.85
Fibroferrita	2.42	—	2.89	2.30	—	3.20
Botriogeno	2.35	—	2.81	2.55	—	4.00
Copiapita	2.31	—	2.69	2.30	—	4.00
Melanterita	2.58	—	2.89	2.90	—	3.10
Rozenita	3.04	—	3.13	—	3.10	—
Halotrichita	2.31	—	2.40	2.70	—	3.20
Pickeringita	3.13	—	3.53	2.10	—	4.00
Gunningita	—	2.71	—	2.60	—	4.00
Bianchita	—	3.03	—	2.60	—	4.00
Goslarita	2.50	—	4.47	3.10	—	5.40
Kieserita	—	3.50	—	—	4.00	—
Mooreita	—	2.35	—	—	4.00	—
Butlerita	—	—	—	—	2.90	—
Pisanita	—	—	—	—	3.10	—
Szmlnokita	—	—	—	—	3.10	—
Ilesita	—	—	—	2.80	—	3.10
Szmikita	—	—	—	—	4.00	—
Torreyita	—	—	—	4.00	—	4.50
Siderotilo	—	2.40	—	—	—	—
Ferrohexahidrita	—	3.30	—	—	—	—
Voltaita	—	4.10	—	—	—	—
Roemerita	2.60	—	3.30	—	—	—
Amarantita	—	3.15	—	—	—	—
Hohmannita	—	2.40	—	—	—	—
Quenstedtita	—	2.40	—	—	—	—
Goldichita	2.50	—	2.70	—	—	—
Sideronatrita	—	2.35	—	—	—	—
Alunogeno	2.40	—	4.10	—	—	—
Kalinita	2.75	—	2.80	—	—	—
Starkeyita	—	3.55	—	—	—	—
Leonita	—	2.80	—	—	—	—
Beaverita	2.80	—	4.10	—	—	—

mineralizaciones y rocas encajantes. Efectivamente, los datos disponibles de galenas y esfaleritas del área de Mazarrón (Arribas et al., 1983), así como los de las rocas volcánicas (López Ruiz y Rodríguez Badiola, 1980), confirman la presencia de estos elementos. La correlación entre la concentración de los mismos en las mineralizaciones primarias y rocas encajantes y la correspondiente a los productos de alteración permitirá determinar el comportamiento geoquímico de algunos de estos elementos en los procesos a estudiar.

La medida del pH, como método indirecto del estudio de los campos de estabilidad de las distintas fases, ha permitido establecer una primera secuencia de precipitación según las cationes involucrados. En general, las fases más hidratadas precipitan a pH menos ácidos, si bien para obtener mejores resultados, probablemente sea necesario tener en cuenta condiciones de Eh y tipo de especies en solución.

Los esquemas de alteración (fig. 8 y 9) incluyen también las primeras etapas de transformación de

las mineralizaciones, ya sean de carácter hidrotermal o supergénico, correspondientes a la formación de la montera. En el área de S. Almagrera esta fase está representada principalmente por los oxihidroxidos de Fe y la jarosita y alunita; mientras que en el "Cabezo S. Cristobal" la mineralogía de esta etapa es más compleja.

Finalmente, resulta interesante destacarlas dos asociaciones de sulfatos solubles más frecuentes en cada una de las áreas:

*Sierra Almagrera:*

- Fibroferrita/Copiatita/Goslarita/Halotrichita/Szmikita.
- Coquimbita/Fibroferrita/Copiapita/Botriogeno/Melanterita/Goslarita/Halotrichita.

*"Cabezo S. Cristobal":*

- Copiapita/Halotrichita/Botriogeno/Alunogeno/Melanterita.
- Goethita/Rozenita/Amarantita/Alunogeno/Pickeringita.

ESQUEMA DE ALTERACION PROPUESTO PARA LA ZONA DE SIERRA ALMAGRERA (ALMERIA)

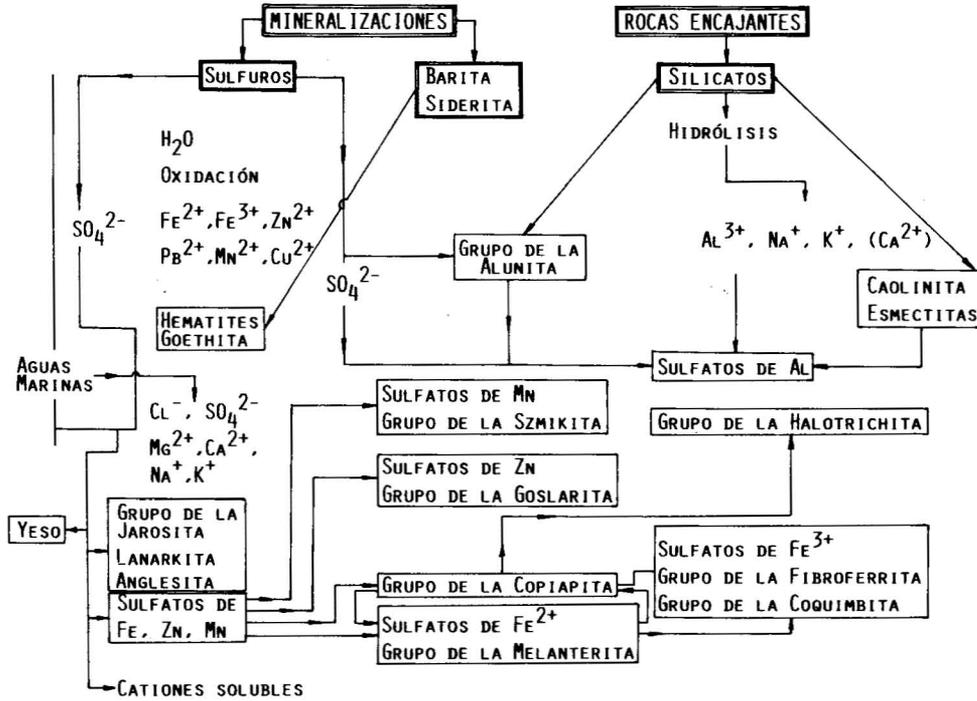


Fig. 8.—Esquema de alteración propuesta para la zona de Sierra Almagrera, Almería.

ESQUEMA DE ALTERACION PROPUESTO PARA EL AREA DEL CABEZO DE SAN CRISTOBAL (MAZARRON)

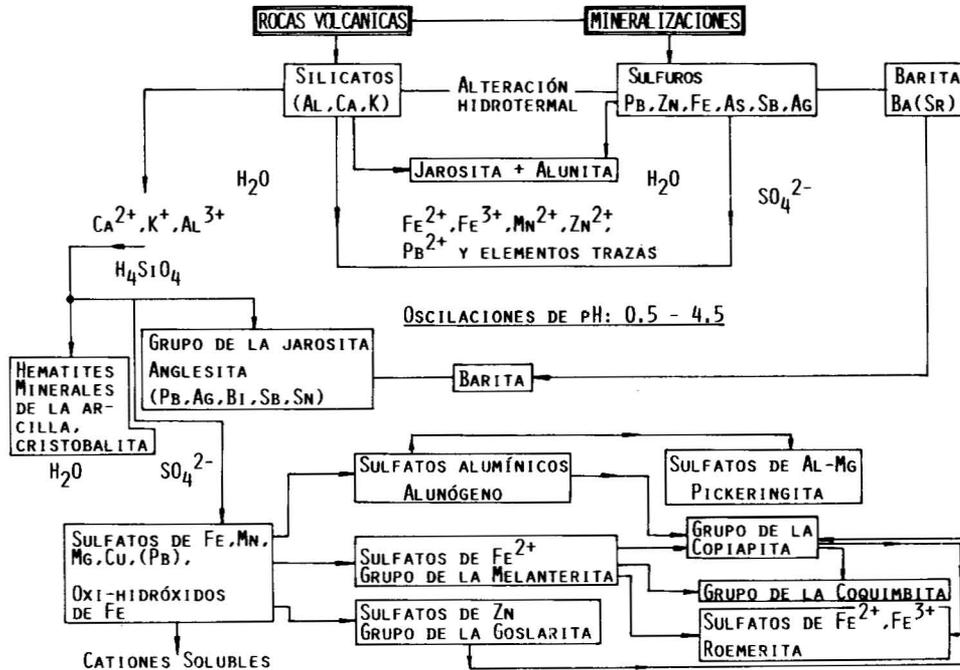


Fig. 9.—Esquema de alteración propuesta para el área del Casero de San Cristóbal, Mazarrón.

Tabla 4.—Análisis químicos de la fracción soluble (\*).

Muestras	Al(%)	Zn(%)	Fe(%)	Cu	Cd	Na	Ag	K	Mn	As	Pb	Sb	Mg	Ca
AM-3	1.90	0.76	12.15	47	65	215	—	23	1096	2322.5	57.5	225	1000	—
AM-4	1.77	0.68	18.83	100	48	149	—	174	856	2177	144	1667	1766	23
AM-5	1.56	0.80	13.75	120	57	73	—	115	1110	1727.5	162.5	1370	625	23
AM-6	3.15	2.35	0.01	470	188	775	—	20	11625	1026	24	2157.5	32500	6
AM-8	0.60	0.68	13.26	660	59	183	—	25	5150	1628	131	764	2366	18
AM-9	2.31	1.73	0.21	1060	70	56	—	20	16716	5769	20	78	28657	6
AM-12	0.87	3.50	0.31	260	320	210	—	30	24750	2784	30	—	36500	16
MZ-01	0.77	1.47	0.91	220	107	144	—	23	1931	1389	42	—	1832	237
MZ-02	0.38	3.09	1.40	420	141	138	—	23	8920	1518	111	—	3618	132
MZ-03	0.47	2.95	0.285	260	254	116	—	28	15000	140	13.5	172.5	4300	194.5
MZ-04	0.26	0.33	0.006	90	29	29	—	9	2020	—	14	—	1162	2096
MZ-05	0.81	2.36	2.48	640	53	154	—	27	14428	1234	75	858	5025	40
MZ-06	0.27	0.79	1.10	2100	38	153	—	20.5	4750	1510	68	—	1687.5	510
MZ-07	0.63	2.17	4.50	540	81	168	—	23.5	12875	198.5	80	—	3250	69
MZ-08	0.52	1.17	0.47	190	80	40	—	22	1393	924	27	1757	1169	214
MZ-09	1.05	2.14	10.29	370	164	177	—	27	4851	2848	132	1363	1343	25
MZ-010	0.76	7.13	1.38	580	255	73	—	20	11139	855	31	—	5445.5	42
MZ-011	0.72	4.90	4.82	530	460	266	—	427	2533	2877	259	—	1759	23
MZ-012	0.73	5.70	1.60	600	274	48	—	15	4300	821	36	40	1860	33
MZ-013	0.07	4.70	0.018	160	148	92	—	40	1900	2552	40	345	1880	672
MZ-014	0.76	6.80	10.72	320	248	540	3.3	4800	2350	864	192	792	1520	4.5
MZ-015	0.27	9.92	4.95	490	407	156	—	4221	10804	4507.5	63	13	3769	52
MZ-016	0.39	5.40	11.24	410	374	400	4.6	3200	2400	1794	185	548	1275	9
MZ-017	0.62	5.97	11.44	460	731	164	—	1094.5	4353	4734	196.5	—	1393	13
MZ-018	0.29	0.68	10.89	300	50	173	—	17	473	6317	119	173	191	148
MZ-019	0.51	0.17	3.34	20	10	352	—	6281	894.5	2063	191	73	1256	11
MZ-020	0.62	2.30	1.13	350	165	105	—	27	3750	1650	125	50	1500	114
MZ-021	0.32	3.68	0.14	190	59	80	25.0	2600	1400	3417	178	1482	1400	483
MZ-022	1.03	6.10	0.65	1000	470	1275	—	80	19500	1780	122.5	15	3700	—
MZ-023	0.19	2.55	0.017	120	54	62	—	44	1700	1362	133	1219	1850	361
MZ-024	0.88	7.25	8.35	430	525	540	—	700	21875	1295	105	—	3437	114
MZ-025	0.63	4.90	0.21	490	278	1325	—	6000	12250	1077.5	157.5	115	5000	40
MZ-026	0.95	4.33	10.00	480	173	173	—	25	6156	3422	138.2	40	2450	23
MZ-027	0.30	2.31	0.65	40	109	161	—	35	18109	1127	27	—	16418	2055
MZ-028	0.19	0.93	0.57	40	18	130	—	17	3000	1862.5	60	—	1625	4230
MZ-034	0.27	3.32	1.74	50	37	163	—	13	24381	960.4	79	51.5	10891	1116

(\*) Valores en ppm.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado con el proyecto n.º 3.281/83 de la C.A.I.C.Y.T.

## Referencias

- Arana, R. (1973). *Investigaciones mineralógicas en Sierra Nevada (Cordilleras Béticas, España)*. Tesis doctoral. Univ. Granada. 2 tomos, 683 pp.
- Arribas, A.; Espinosa, J. y Moro M.C. (1983). Distribución de elementos en trazas en las esferulitas y galenas de las mineralizaciones españolas asociadas con rocas volcánicas. *Tecniterae*. 55: 12-40.
- Blain, C.F. and Andrew, R.L. (1977). Sulphide weathering and the evaluation of gossans in mineral exploration. *Minerals Sc. Engng.* 9: 119-150.
- Espinosa, J.; Martín-Vivaldi, J.M.; Martín, J.M. y Pereda, M. (1974). Mapa geológico de España, 1:50.000. Hoja 976 (Mazarrón). *Inst. Geol. Min. España*. Madrid.
- Espinosa, J.; Martín-Vivaldi, J.M.; Martín, J.M. y Pereda, M. (1974). Mapa geológico de España, 1:50.000. Hoja 1.015 (Garrucha). *Inst. Geol. Min. España*. Madrid.
- Hoyos, A. y Alias, L.J. (1962). Mineralogía y génesis del yacimiento de alunita del Cerro de San Cristobal (Mazarrón,

Murcia). III Estudio mineralogénico. *Not. Com. Inst. Geol. Min. España*. 80 109-120.

- Hueso, R.; Rodríguez-Gordillo, J. y López Aguayo, F. (1981). Las jarositas de Sierra Almagrera (Almería): Mineralogía y génesis. *Bol. Soc. Esp. mineralogía*. 4: 29-36.
- López Aguayo, F.; Hueso, R. y Rodríguez-Gordillo, J. (1983). Procesos de alteración supergénica en Sierra Almagrera (Almería): Los sulfatos solubles. *Bol. Soc. Esp. Mineralogía*. 7: 101-110.
- López García, J.A. (1985). *Estudio mineralógico, textural y geoquímico de las zonas de oxidación de los yacimientos de Fe-Pb-Zn de la Sierra de Cartagena (Murcia)*. Tesis doctoral. Univ. Complutense de Madrid. 226 pp.
- López Ruiz, J. y Rodríguez Badiola, E. (1980). La región volcánica Neógena del sureste de España. *Estudios Geol.* 36: 5-63.
- Pavillon, M.J. (1972). *Paleogéographies, volcanismes, structures, mineralizations plomb-zincifères et héritages dans l'est des Cordillères Bétiques (zones internes)*. These Univ. Paris. 623 pp.
- Thorber, M.R. and Wildman, J.E. (1984). Supergene alteration of sulphides VI. The binding of Cu-Ni-Zn-Co and Pb with gossan (iron-bearing) minerals. *Chem. Geol.* 44: 339-434.
- Zodrow, E.L. (1980). Hydrated sulphates from Sydney Coalfield, Cape Breton Island, nova Scotia. *Amer. Mineral.* 65: 961-967.

Recibido el 10 de Febrero de 1987  
Aceptado el 16 de Octubre de 1987