

YACIMIENTOS DE PLATA Y CHIMENEAS SUBMARINAS ASOCIADAS DEL AREA DE CUEVAS DEL ALMANZORA

J. Martínez Frías - J. García Guinea***

**Instituto Andaluz de Geología Mediterránea (CSIC - U. Granada)*

***Dpto. de Geología. Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC)*

Recursos Naturales y Medio Ambiente de Cuevas del Almanzora

*Luis García - Rossell Martínez
Jesús Martínez Frías*

Coordinadores

**ALMERIA
INSTITUTO DE ESTUDIOS ALMERIENSES**

**CUEVAS DEL ALMANZORA
AYUNTAMIENTO
1 9 9 3**

- © Edición: Instituto de Estudios Almerienses
 - © Texto: Los autores
- Composición: Servicio de Edición del I.E.A.
Realización de la Composición: Manuel Gálvez Martínez
I.S.B.N.: 84-8108-008-X
Dep. Legal. AL-98-1993
Fecha: Abril, 1993
Tirada: 1.000 ejemplares
Imprime: T.G. ARTE, Juberias & CÍA, S.L. - Maracena (Granada)

YACIMIENTOS DE PLATA Y CHIMENEAS SUBMARINAS ASOCIADAS DEL AREA DE CUEVAS DEL ALMANZORA

J. Martínez Frías - J. García Guinea

INTRODUCCION Y ANTECEDENTES HISTORICO-MINEROS

En el borde SE Ibérico existe un cortejo de mineralizaciones de sulfuros de metales base y sulfosales de metales preciosos, cuya investigación conlleva, primeramente, la comprensión de los procesos geológicos, tectónicos e ígneos que interactuaron en el borde mediterráneo meridional. El trabajo que se expone a continuación corresponde al estudio detallado, dentro del área de Cuevas del Almanzora, de dos de estas mineralizaciones: Los yacimientos de óxidos, sulfuros y plata nativa de Las Herrerías y los de sulfuros y sulfosales de Sierra Almagrera (Fig.1). Ambos depósitos poseen una larga historia minera y constituyen, desde el punto de vista científico, dos zonas de especial interés, ya que es posible observar, directamente sobre el terreno, los resultados de gran parte de los procesos actuantes implicados en su formación.

La explotación de estos yacimientos se remonta al tercer milenio a.C. Diversas civilizaciones (fenicios, griegos, romanos, árabes etc.), trabajaron estos depósitos (especialmente para la extracción de plata), y fundaron importantes centros metalúrgicos (Barea, Colonia de Molybdana, etc.) (ENADIMSA, 1986). La actividad minera fue muy irregular entre los siglos XVI a XVIII. El aprovechamiento de las zonas de mayor riqueza continuó hasta el último tercio del siglo XIX (concretamente, en 1869, el yacimiento de Las Herrerías alcanzó un máximo de producción - 50 millones de francos de plata entre 1870 y 1885, equivalentes a 350.000 t de mineral -), momento en que comenzó el apogeo local de la minería del hierro (Corta Santa Matilde, Las Herrerías), siendo, asimismo, el responsable del 70% de la producción de hierro del distrito. La actividad minera cesó en 1895 (Fig.2), y, desde entonces, sólo se han realizado trabajos de exploración y evaluación.



Fig. 1.- Vista general de la cuenca sedimentaria de Las Herrerías y de Sierra Almagrera.



Fig. 2.- Antiguas labores mineras en la zona de contacto entre los materiales sedimentarios de Las Herrerías y las filitas triásicas de Sierra Almagrera.

Siret (1935) hace una excelente descripción de estos yacimientos, resaltando su significación histórica. Es tal la exactitud y detalle de sus observaciones, que nos parece obligado extraer algunos fragmentos:

El distrito minero de Las Herrerías, conocido como productor de plata nativa, dista 3 kilómetros de Villaricos; está dividido en dos partes por una falla geológica que corre poco más o menos de Norte á Sud. Al Poniente aflora el criadero en un cerro de 50 metros de elevación; al Levante, se esconde debajo de una serie de colinas formadas de arcilla, cuyo aspecto no hace presumir la existencia del terreno metalizado.... A Sud y á Levante de las minas estaban instalados varios lavaderos de mineral de plomo argentífero procedente, no de Las Herrerías, sino de Sierra Almagrera, como lo prueban los resíduos de pizarra, roca en que arman sus filones; y efectivamente en dicha sierra hay explotaciones, no muy profundas; es muy notable que cuando en 1838 se descubrió el famoso filón Jaroso, se encontró completamente virgen, á pesar de ser superficial y de existir trabajos antiguos de los demás filones de menor importancia.

El mineral de Las Herrerías es de plata, y sólo hay escasas cantidades de plomizo: siendo éste indispensable para el tratamiento metalúrgico de aquel, era preciso traerlo de otra parte, y los mineros tuvieron la suerte de encontrarlo en la proximidad inmediata, en las faldas Oeste de Sierra Almagrera, y con buena ley de plata. Lo llevaron á Las Herrerías, donde se fundía con las tierras argentíferas, obteniendo un plomo muy rico en plata: una segunda operación producía la plata pura, transformándose el plomo en un óxido llamado litargirio.... Las tierras argentíferas de Las Herrerías no son susceptibles de concentración por el lavado, de suerte que se utilizaban únicamente las de buena ley: de ahí que los modernos (¡!) han podido beneficiar la casi totalidad de los vaciaderos y rellenos antiguos.... En el distrito de Las Herrerías, como en Villaricos, han vivido iberos, juntamente con cartagineses primeros, y con romanos después.... Esto nos lleva al deseo de saber cuando y por quien se realizó el descubrimiento de la plata en España, y particularmente del criadero argentífero de Las Herrerías. Su poca profundidad, la facilidad de su explotación, la abundancia de objetos de plata en las próximas estaciones de la edad del bronce, inducen a creer que de ahí procedía la primera plata conocida en esta región, y tal fue nuestra opinión al encontrar tantos objetos de plata, hecho nuevo en la Arqueología occidental. Pero hoy me encuentro delante de un conjunto de hechos que obli-

gan á modificar esas suposiciones.... El descubrimiento fue debido a los Fenicios cuando los indígenas desconocían la plata.... En las casas neolíticas de Almizaraque he encontrado hace poco minerales de plomo y de cobre argentíferos y algún plomo fundido; pero ni en las casas ni en las sepulturas contemporáneas ningún objeto de plata.... Los neolíticos manejaban el plomo rico, pero ignorando su valor, y los de la edad del bronce habiendo aprendido a desplatarlo. ¿Qué hacían los neolíticos con ese plomo argentífero? Si no lo empleaban, ni extraían la plata, es de suponer que lo vendían.... Por lo que acabamos de ver, y á pesar de que el razonamiento hace creer que la plata nativa debió ser la primera conocida, resulta lo contrario: fué antes la que se extraía del plomo y del cobre. Esta aparente anomalía tiene fácil explicación: los descubridores eran los Fenicios, y éstos, hacía siglos, conocían la plata, pero la sacaban del plomo y del cobre, ignorando quizás que existieran criaderos de plata pura. Cuando arribaron á estas costas, procuraron enterarse si había filones de aquellos metales; encontrados estos con facilidad, enseñaron á los habitantes su explotación, comprándoles los minerales ó los metales brutos.

Como la plata superficial se altera, no debe extrañar que haya quedado mucho tiempo desconocida; es probable que su descubrimiento tuviera lugar durante la edad del bronce.... En resumen: el primer aprovechamiento de las riquezas mineras del país es debido á los Fenicios, que exportaron el plomo argentífero durante la época neolítica, mucho antes de la fundación de Gadir. Los invasores del Norte introdujeron la civilización del bronce y el conocimiento de la plata; desde entonces los criaderos de plomo argentífero de Almagrera y probablemente los de plata de Las Herrerías fueron explotados por los Iberos ó Celtíberos. A mediados del último milenario los Cartagineses fundaron la colonia minera y comercial de Baria y reanudaron la exportación de la plata.

A pesar de toda esta intensa actividad minera, los estudios sobre los depósitos de Las Herrerías y Sierra Almagrera son muy escasos (Calderón, 1910; Arribas y Moro, 1981; López Aguayo y Arana, 1987; Arana et al, 1988) y no abordan en profundidad las características metalogénicas de ámbos yacimientos. En 1987, se comienza la investigación detallada de estas mineralizaciones y se describen y analizan, por primera vez, sus rasgos geológicos, mineralógicos y geoquímicos más representativos, a fin de llevar a cabo su modelización genética. Los resultados de estos estudios se han plasmado en distintos trabajos (Martínez Frías et al, 1989; Martínez Frías, 1991; López Gutiérrez et al, 1992; Martínez Frías et al, 1992), de, entre los cuales, extraemos esta comunicación.

PRINCIPALES RASGOS DE MODELIZACION

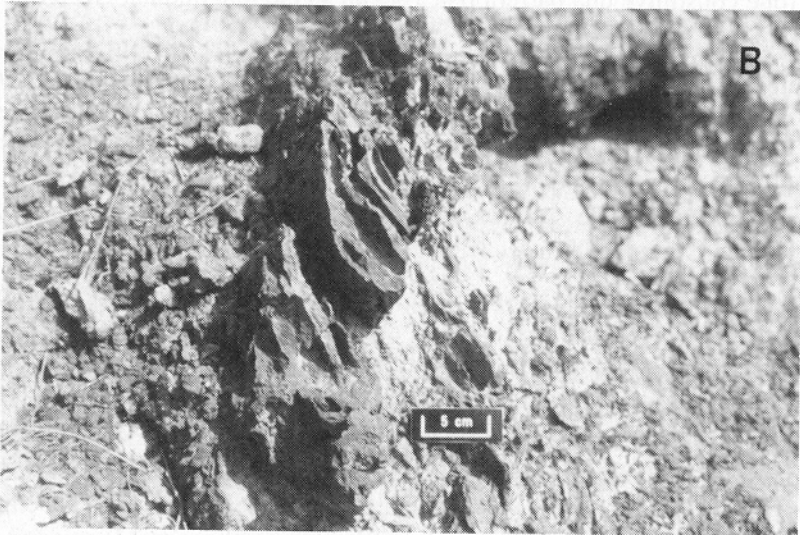
Los yacimientos de Las Herrerías y los de Sierra Almagrera forman parte de un mismo proceso genético combinado, de tipo exhalativo-hidrotermal submarino (probablemente con características epitermales), asociado con los movimientos neotectónicos, que tuvieron lugar dentro de la fosa de Vera, y ligados a los estadios más tardíos (Mioceno-Plioceno) de la evolución del volcanismo shoshonítico presente en el área. Con objeto de facilitar la ulterior comprensión de las características específicas de cada uno de los dos depósitos, se resúmen, a continuación, los criterios de modelización que permiten establecer sus rasgos más representativos:

- En un área relativamente pequeña, es posible observar, directamente sobre el terreno, las estructuras geológicas resultantes de los mecanismos implicados en la formación/emplazamiento de los dos yacimientos, haciendo hincapié en su contigüidad espacial y temporal.
- El ámbito geológico y tectónico, donde aparecen, está perfectamente definido por una pequeña subcuenca/fosa, limitada al oeste por la falla de Palomares, y al este por la falla que pone en contacto los materiales triásicos de Sierra Almagrera con los sedimentos marinos miocenos de Las Herrerías (Fig.3A). En este sentido, el movimiento de los fluidos mineralizadores parece ser, aparentemente, W-E, según una microcelda convectiva desde las rocas volcánicas de Alifraga, en el sector occidental, hasta la zona central de Sierra Almagrera (que constituye una barrera física según su eje longitudinal NE-SW).
- Existe una clara relación mineralógica y geoquímica entre ambas mineralizaciones, atendiendo a una secuencia en profundidad que iría desde la deposición de óxidos e hidróxidos de Fe-Mn, sulfuros de metales base y plata nativa, en los sectores más superficiales - probablemente de carácter exhalativo/hidrotermal (yacimiento de Las Herrerías) -, hasta la deposición, en niveles más profundos, de sulfuros de metales base y sulfosales de Pb-Sb-Ag, con características epitermales (filones de Sierra Almagrera).
- Es posible observar, en superficie, fumarolas fósiles (in situ), y depósitos de exhalitas, que están relacionadas, al menos, con el yacimiento de Las Herrerías. Estas estructuras se encuentran localizadas en correspondencia con las principales direcciones tectónicas del área, conformando, en esta zona, un campo de chimeneas, N-S, de aproximadamente 1300 m². En las propias estructuras fumarólicas existen restos de óxidos de Fe y Mn, sulfuros, sulfatos y plata nativa.
- El área de Cuevas del Almanzora se encuentra actualmente activa en cuanto a geotermalismo y sismicidad (López Casado et al, - *en este volumen*)



Fig. 3.

A) Falla/contacto. Sector occidental de Sierra de Almagrera.



B) Costras ferruginosas masivas de óxido de hierro y manganeso, situadas en la base de la serie mineralizada de Herrerías.

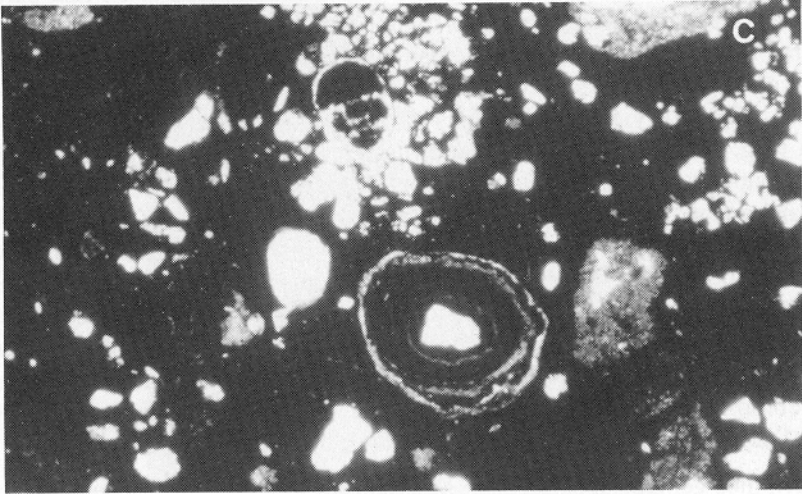
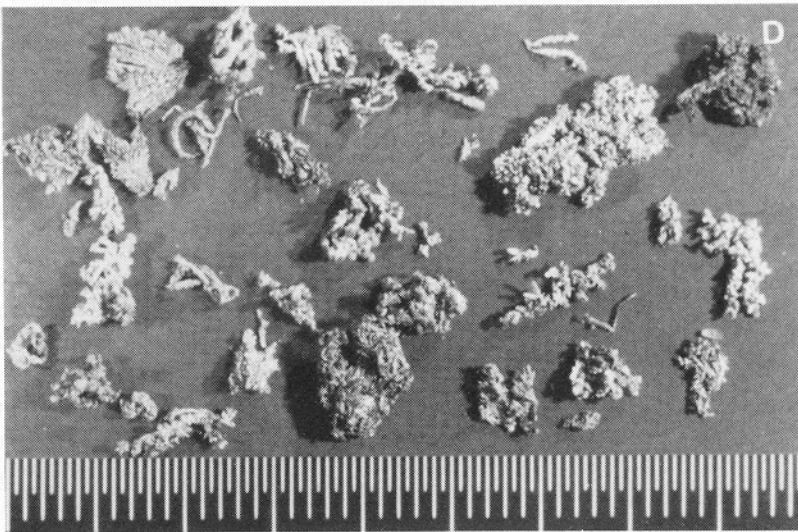


Fig. 3.
C) *Oncoides ferruginos* que aparecen dentro de los laminados exhalativo-sedimentarios ("geiseritas"). Zona de Las Herrerías.



D) Cristales dendríticos de plata nativa. (Zona de Las Herrerías).

LA MINERALIZACION DE LAS HERRERIAS

El yacimiento de Las Herrerías consiste, fundamentalmente, en una paragénesis simple caracterizada por la presencia de óxidos e hidróxidos de Fe y Mn - que constituyen costras (Fig.3B), pitones y pequeñísimas láminas de oncoides ferruginosos (Fig.3C)-, plata nativa (cristales dendríticos de hasta 2 cm) (Fig.3D), barita (en pequeños filones (Fig.4A), y formando capas de más de 20 m de espesor (en superficie), esfalerita (Fig.4B), calcopirita, galena, piritita (escasa), siderita (Fig.4C) y jasperoides (Fig.4D). Todos estos minerales se presentan ligados a los sedimentos marinos miocenos, que forman parte de los sectores más superficiales de la subcuenca/fosa de Las Herrerías (como parte de la fosa de Vera), y que han sido, en gran parte de los casos, afectados y transformados por la actividad hidrotermal del Tortoniense superior/Messiniense, probablemente coetánea y/o ligeramente posterior a la deposición de los sedimentos. Los primeros estudios de inclusiones fluidas en baritas y cuarzos indican temperaturas de formación de 230-250°C (Martínez Frías et al, 1989). El yacimiento se constituye, por lo tanto, como de tipo estratoligado, de carácter exhalativo-submarino, con desarrollo diferencial, adicional, de estructuras de relleno de fracturas y cavidades.

En términos generales, el depósito se compone, de base a techo, de tres partes bien diferenciadas:

- 1) Zona de óxidos e hidróxidos, con barita (escasa), siderita y plata nativa.
- 2) Zona de sulfatos (fundamentalmente barita), con galena, esfalerita, calcopirita, piritita y óxidos e hidróxidos de hierro (todos ellos como minerales accesorios).
- 3) Zona de barita-jasperoides (geiseritas), con trazas de sulfuros de metales base.

Sobre estas tres zonas se encuentran multitud de estructuras fumarólicas (Fig.5A-5D), bien desarrolladas, que corresponden, probablemente, al último episodio, en esta zona, representativo de la actividad exhalativa-hidrotermal.

Dado el carácter estratoligado del yacimiento, el estudio de los materiales "encajantes" es de gran interés para establecer las relaciones entre litología-mineralización-alteraciones hidrotermales-aporte de nuevo material. Estos materiales constituyen, en conjunto, una serie regresiva, conocida localmente como "láguena", en la que se diferencian, de muro a techo, tres tramos (I, II y III). A su vez, en el tramo II - al que se asocia la mineralización -, se han distinguido 2 niveles, y en uno de ellos 8 capas. Una descripción detallada de estos materiales (tramos, niveles y capas), puede encontrarse en Martínez Frías et al (1989). A grandes rasgos, se trata de una serie constituida por depósitos turbidíticos, areniscas, calizas y margas, que culmina a techo con un nivel de conglomerados pleistocenos (Alvado, 1986). El hidrotermalismo sincrónico y/o ligeramente posterior a la sedimentación ha sustituido y alterado estos materiales, dando como resultado el desarrollo de niveles heterogéneos de carácter exhalativo-sedimentario que, a veces, enmascaran los planos originales de estratificación, y en los que se observa una incipiente silicificación y sericitización.

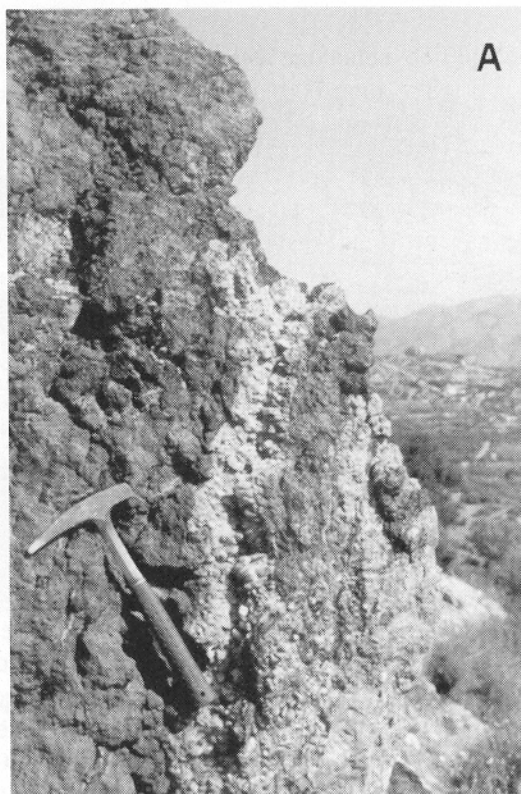


Fig. 4.

A) Pequeños Filones de barita -con cristales idiomorfos de hasta 5 cm- que cortan la secuencia sedimentaria (visible en los laminados). Zona de Las Herrerías.



B) Esfalerita colomorfa. Zona de Las Herrerías.

Estos materiales presentan importantes anomalías de Pb, Zn, Cu y Ba, con máximos de Pb: 1326 ppm, Zn: 2700 ppm, Cu: 1605 ppm, y Ba: 9% (Martínez Frías et al, 1989), y las concentraciones más elevadas corresponden a las zonas de muro y techo del frente mineralizado.

Tal y como se ha expuesto anteriormente, la paragénesis del yacimiento de Las Herrerías es simple, al menos en su manifestación superficial, y tanto los sulfuros como los óxidos e hidróxidos se presentan con texturas colomorfas, encostramientos, brechas, diseminaciones y reemplazamientos. Por último, destaca la presencia de pequeños filones de barita, de no más de 10 cm de espesor, que, salvo los conglomerados, cortan toda la serie.

Un hecho de especial relevancia es la existencia de espectaculares chimeneas fumarólicas (Martínez Frías et al, 1992) (Fig 5A-5D), desarrolladas en el sustrato de margas arenosas, inmediatamente subyacente a los conglomerados pleistocenos. En superficie, el campo de fumarolas se extiende aprox. 130 m N-S por 10 m E-W, y consiste, en especial, de más de 30 cuerpos fumarólicos simples ("vents"). La meteorización y el colapso parcial de las margas permite, incluso, una visión tridimensional de estas estructuras. Las "vents" son cuerpos tubulares cilíndricos de hasta 1 m (visible) de altura (Fig.5A), y 5-50 cm de diámetro. Se trata de tubos concéntricos de margas silicificadas con sulfatos, óxidos, y sulfuros y sulfosales (escasos), incorporados por los fluidos hidrotermales. En términos generales, son semejantes a las chimeneas de pirita descritas por Boyce et al (1983) en el depósito de Silvermines (Irlanda). Dentro del campo de fumarolas, es posible distinguir dos sectores, divididos por un escarpe topográfico de 10 m, siendo el sector situado al norte el que contiene un mayor número de estructuras. Todas estas chimeneas aparecen en la misma formación margosa y no se han observado posibles zonas de alimentación que pudieran considerarse enraizamientos. Tampoco se ha evidenciado deformación del sustrato margoso. El estudio morfológico detallado de estas estructuras de escape de fluidos permite distinguir, directamente sobre el terreno, tres tipos de cuerpos fumarólicos individuales:

- 1) "poros" de tamaño milimétrico dispersos en el sustrato margoso.
- 2) Pequeñas fracturas entrecruzadas, de direcciones N-S y N20-25W, con anchura y longitud máximas de 10 cm y 2 m, respectivamente.
- 3) Tubos simples (Fig.5B), y estructuras circulares concéntricas (hasta 6 anillos) (Fig.5C), cuyos diámetros varían de 5 a 50 cm. Estas estructuras preservan, incluso, el orificio central que presumiblemente sirvió como conducto de escape de los fluidos hidrotermales. En algunas ocasiones, las fumarolas se elevan, por encima del sustrato margoso, hasta 10 cm, abriéndose hacia arriba en forma de "seta" (Fig.5D). Dentro de este último tipo, se distinguen dos subtipos texturales: a) cuerpos con recristalización parcial y bandas concéntricas alternantes duras y blandas (en cuanto a coherencia/cementación), y 2) cuerpos totalmente recristalizados (escasos), en los que las margas sufrieron una transformación mineralógica y textural completa y una fuerte cementación.

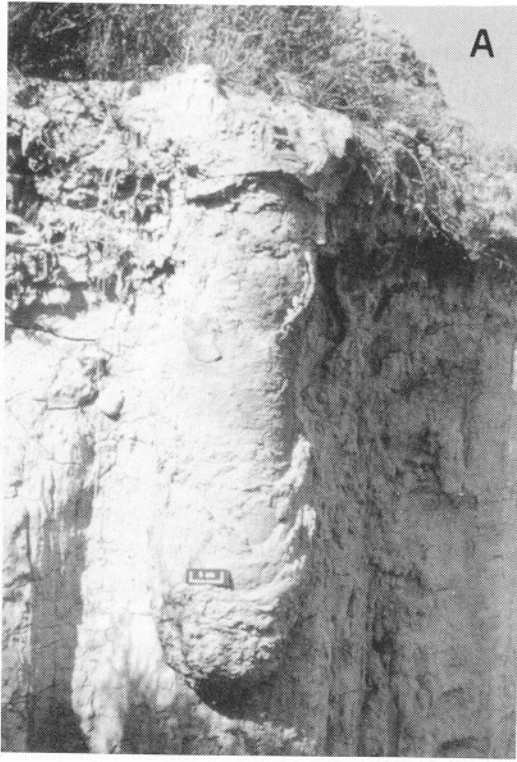
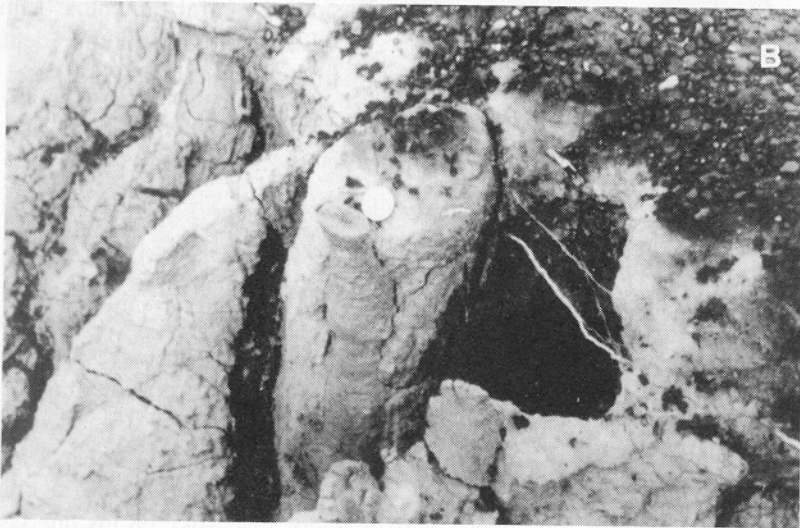


Fig. 5.

A) Tubo vertical ("vent") de 1m. de altura. Corresponde a la estructura de mayores dimensiones. Zona de Las Herrerías.



B) Pequeños tubos fumarólicos simples. Zona de Las Herrerías.

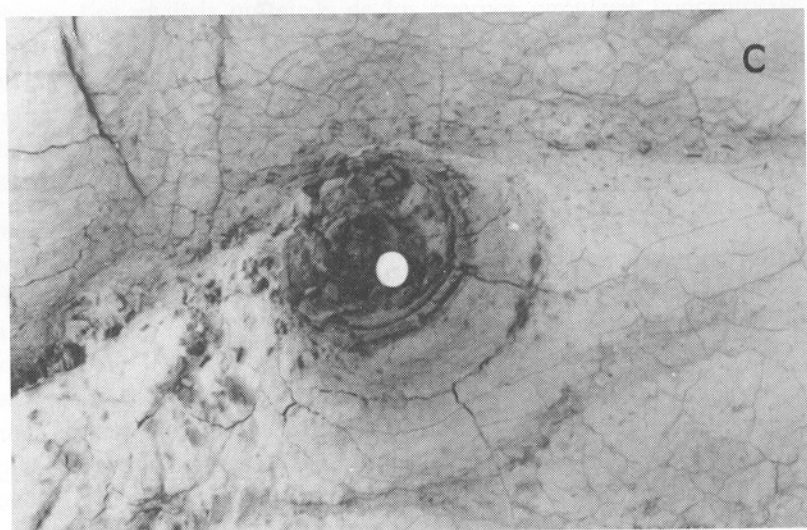


Fig. 5.

C) Estructura fumarólica concéntrica con bandas alternantes duras y blandas.
Zona de Las Herrerías.



D) Estructura fumarólica que sobresale del substrato margoso con forma de seta.
Zona de Las Herrerías.

Tabla 1: Principales parámetros de geotermalismo mineralizador

<p>Temperaturas (°C) (datos preliminares)</p> <p>1ª etapa: 295 - 340 2ª etapa: 230 - 250</p>	<p>δ³⁴S (barita)</p> <p>23.3 - 23.6 ‰</p>	<p>Edad Geotermalismo</p> <p>Tortonense sup. - Pre-Zancian</p>
<p>Modelo Dinámico</p> <p>"Convection through crack zones"</p> <p>Sirens & Cann, 1982</p>	<p>Area de Influencia</p> <p>Campo de Fumarolas ~ 1300 m²</p> <p>Yac. de Herrerías ~ 1.5 km²</p>	<p>Difusiv. Termal (k)</p> <p>Campo de Fumarolas 4.4 x 10⁻⁸ cm²/s</p> <p>Yac. de Herrerías 5 x 10⁻⁵ cm²/s</p>
<p>Conduct. Termal (K)</p> <p>0.019 cal/cm °C</p>	<p>Pérdida de Calor (Q)</p> <p>4.1 x 10¹⁸ - 4.5 x 10¹⁹</p>	<p>Pérdida de Calor por unidad de tiempo (F)</p> <p>4.3 x 10⁵ - 4.7 x 10⁵</p>
<p>Proporción de Calor por volumen de agua</p> <p>~ 1 cal/cm³ °C</p>	<p>Pauta Crítica de Flujo (W)</p> <p>1.9 l/s</p>	<p>Materiales Afectados</p> <p>Sedimentos marinos de Herrerías</p>

Todos estos tipos de chimeneas poseen similares características químicas y mineralógicas. Los análisis químicos de los cuerpos circulares concéntricos indican concentraciones de Pb (8-131 ppm), Zn (70-122 ppm), Ag (0.2-0.9 ppm), Mn (381-1640 ppm), y Fe (0.34-10.76%), y su composición mineralógica consiste de calcita, cuarzo, moscovita, goethita, spangolita, cerusita, dyscrasita, hetaerolita, anglesita, hausmannita y kasparita, y muy escasos pirargirita y calaverita. La composición química del sustrato margoso es similar aunque carece de los óxidos, sulfatos y sulfuros (s.l).

Teniendo en cuenta la morfología del campo de fumarolas, los tipos de estructuras, y las características geotectónicas que controlan la posición de los cuerpos mineralizados de Las Herrerías (López Gutierrez et al, 1992), el sistema geotermal desarrollado en este área parece tener su correspondencia más directa con el modelo de "convection through crack zones" (Strens & Cann, 1982). De acuerdo con este modelo, las presiones asociadas con el flujo de los fluidos, a través de las fracturas, no modifican prácticamente su forma. Por otra parte, la pauta de flujo crítica para el ascenso a la superficie de los fluidos calientes puede obtenerse, a partir de una aproximación dimensional, mediante la comparación de las pérdidas de calor (Lowell, 1975, y Sleep & Wolery, 1978). Siguiendo el modelo de Strens & Cann, es posible determinar, de forma aproximada, los valores de: k (difusividad termal; tanto para el campo de fumarolas como para el área mineralizada de Las Herrerías); K (conductividad termal); Q (pérdida de calor); F (pérdida de calor por unidad de tiempo), y W (pauta crítica de flujo) (Tabla 1).

Los valores obtenidos de K y W (Tabla 1), pueden ser considerados similares a los de otras zonas geotermales, aunque ligeramente mayores que los definidos por Sleep (1983) en estas zonas de fractura ($K = 0.006 \text{ cal/cm s } ^\circ\text{C}$, y $W = 0.6 \text{ l/s}$).

Finalmente, la proximidad del campo de fumarolas con respecto al yacimiento de Las Herrerías no puede ser considerada un hecho accidental, - este yacimiento se encuentra emplazado en los sedimentos marinos del Tortoniense superior infrayacentes, estructuralmente, a las margas con las fumarolas -.

Además, Bonatti (1983) ha demostrado la existencia de paragénesis, similares a las de Las Herrerías, en los depósitos hidrotermales actuales del "East Pacific Rise". Este autor sugiere que existe una oxidación parcial o total de algunos metales, tales como Fe o Mn, permitiendo, así, su dilución con el propio agua del mar, y la subsecuente neoformación de óxidos y silicatos en la proximidad de las "vents". En este sentido, las fumarolas podrían representar el último estadio (Mioceno-Plioceno), del evento hidrotermal - ya de menor capacidad mineralizadora -, que dió lugar al depósito adyacente de Las Herrerías.

LOS FILONES DE SIERRA ALMAGRERA

El macizo metamórfico de Sierra Almagrera (SA) es un antiforme de eje NE-SW, enclavada en el complejo Alpujárride (ver Fig.1). Está constituida, fundamentalmente, por filitas grafitoso-albíticas, filitas ricas en cuarzo y cuarcitas, con una paragénesis de cuarzo, moscovita, grafito y (escasos) biotita y granate.

La posición actual de SA es el resultado del “decrochement” de una gran megaestructura, la falla de Palomares. Esta falla produjo, en una primera fase, dúctil, sinistral (Alvado, 1986), el desplazamiento de los macizos metamórficos de SA y Sierra Cabrera. Martín Escorza y López Ruiz (1988) sugieren una fase posterior, frágil, dextral, de la falla de Palomares, que controlaría la distribución espacial de las rocas volcánicas del sureste español y, probablemente también, el hidrotermalismo que dió lugar a la formación de los filones de SA.

Las direcciones de fracturación predominantes en SA son N-S y NW-SE, y los filones se encuentran, exclusivamente, en la parte occidental del macizo. Poseen direcciones N10W y N30-40W, con buzamientos muy variables (10-90°), casi siempre hacia el Este. Aunque los filones “Jaroso” y “Francés”, trabajados durante los años 1839-1880, alcanzaban espesores de 10 m, en la actualidad, sólo aparecen visibles, en superficie, pequeñas venas de 10-30 cm de espesor (Fig.6A). La extensión vertical de los filones excede, en algunos casos, los 400 m, y se ha identificado la siguiente zonación en profundidad:

- 1.- Zona de alteración (0-50 m); óxidos supergénicos, carbonatos y sulfatos de Fe, Cu, Pb y Zn.
- 2.- Zona de sulfosales-sulfuros (50-300 m); bournonita (Fig.6B), boulangerita (Fig.6C), tetrahedrita, galena (Fig.6C), esfalerita, calcopirita, pirita, marcasita, barita, siderita y cuarzo (escaso). Texturas: brechas (Fig.7A y 7B), bandeados colomorfos e intercrecimientos dendríticos (Fig.7C). En términos generales, las brechas más frecuentes están constituidas por agregados cuarzo-sericíticos, en una matriz de fino de igual composición, con barita, impregnaciones de óxidos de hierro, galena, sulfosales y fragmentos de siderita (Fig.7B). Los cristales dendríticos, de hasta 2.5 cm, son de galena con inclusiones de esfalerita y calcopirita primarias, e intercrecimientos de sulfosales de Pb,Sb,Cu,Ag. Estas morfologías dendríticas se presentan siempre englobadas en masas de barita lechosa, amorfa (ver Fig.6D).
- 3.- Zona de sulfuros-sulfosales (300-350 m); principalmente esfalerita, calcopirita, bournonita, barita y siderita (escasa). Texturas: brechas y rellenos de pequeñas fracturas.
- 4.- Zona de sulfuros (>350 m); principalmente pirita y arsenopirita (rara), barita (muy escasa) y cuarzo. Texturas: brechas y rellenos de pequeñas fracturas.

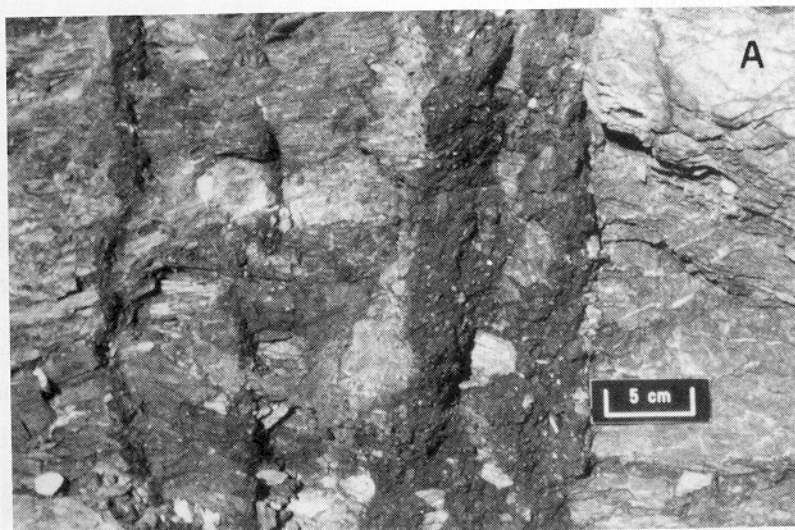
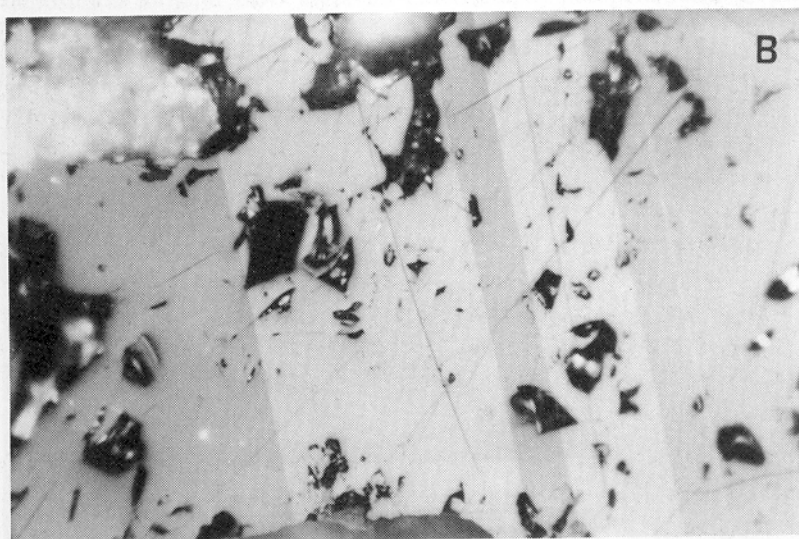


Fig. 6.

A) Pequeños filones de barita, óxido de hierro, siderita, galena, esfalerita y sulfosales, que cortan las filitas triásicas de Sierra Almagrera.

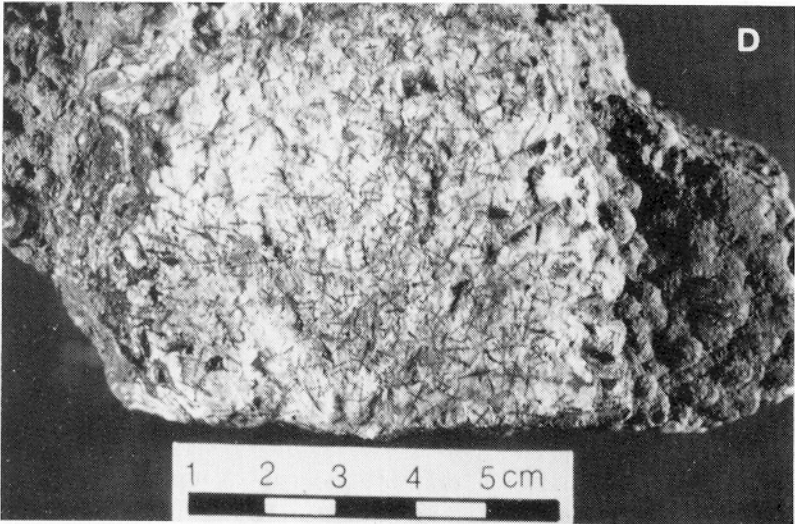


B) Bournonita. Filones de S^a Almagrera.

LOS FILONES DE SIERRA ALMAGRERA



Fig. 6.
C) Boulangerita. Filones de S^a Almagrera.



D) Cristales dendríticos de galena incluidos en barita. Filones de S^a Almagrera.

La alteración hidrotermal de las filitas encajantes se encuentra poco desarrollada, y raramente se extiende a más de unos pocos metros de los filones. Corresponde a procesos superpuestos, no zonados, de silicificación, sericitización y propilitización (Fig.7D). Los aspectos más representativos de las relaciones entre la mineralización y las alteraciones son: 1) la asociación de óxidos de hierro-sericita; 2) el desarrollo de cristales radiales de baritina, en relación íntima con los carbonatos y óxidos de hierro; 3) la zonación (local) y secuencia de los carbonatos (siderita), como últimos representantes de la entrada de fluidos; 4) las silicificaciones, con formación de agregados de cuarzo de tipo mosaico, de grano fino; 5) las impregnaciones de óxidos de hierro entre los planos de esquistosidad.

Por otra parte, los análisis químicos de estos materiales encajantes indican que únicamente se encuentran enriquecidos en los elementos constituyentes de los filones en las zonas adyacentes a las venas (Martínez Frías et al, 1989).

A diferencia de lo que ocurría en Las Herrerías, donde la mineralogía propia del yacimiento estaba virtualmente asociada a los materiales encajantes, dado su carácter estratoligado (al menos en su manifestación superficial), los principales minerales de los filones de Sierra Almagrera constituyen un intercrecimiento simple de sulfuros de metales base y sulfosales de Pb,Sb,Cu,Ag. Por orden de abundancia, éstos son: galena, esfalerita, calcopirita, pirita, bournonita, tetrahedrita, boulangerita y arsenopirita, con una relación (ratio) de sulfuros a sulfosales de menos del 10% con respecto al volumen de las venas. *Las fracturas oxidadas contienen, fundamentalmente, goethita, hematites, malaquita, azurita y cerusita.*

La deposición mineral tuvo lugar en cinco etapas paragenéticas: 1) pirita (I) y arsenopirita; 2) calcopirita (I) y esfalerita (I); 3) galena, bournonita, tetrahedrita y boulangerita; 4) esfalerita (II), calcopirita (II) y pirita (II), y 5) sulfuros y óxidos supergénicos. Los minerales correspondientes a las etapas 2, 3 y 4 se depositaron entre 230-340°C (Martínez Frías et al, 1989). Se han identificado dos tipos de inclusiones fluidas: a) inclusiones bifásicas y trifásicas, acuoso-carbónicas en las que la burbuja no excede, usualmente, el 50% del total de la inclusión y cuyas temperaturas de homogeneización varían entre 295-340°C, y b) inclusiones acuosas, con rangos de temperatura entre 230-250°C. En Martínez Frías (1991) se realiza una descripción y análisis detallado de la mineralogía presente en los filones, así como de las asociaciones mineralógicas más representativas y sus características químicas. Los principales resultados obtenidos indican:

- Un decrecimiento de la temperatura durante la formación de la esfalerita (I), liagado al progresivo incremento en el contenido en Fe de la esfalerita.
- Una posible tendencia a la cristalización individualizada de las sulfosales de As y Sb, de acuerdo con la tendencia Bi --> Sb --> As (Kostov & Stefanova, 1981).

- Transiciones desde las sulfosales de Cu-Pb-Sb (bournonita) a las de Pb-Sb (boulangerita) sin la aparición de fases intermedias.
- Una posible sustitución del azufre, antimonio y plata, por el cinc y cobre, en la estructura de la tetrahedrita rica en plata, probablemente condicionada por procesos de recristalización.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

El simple hecho de poder observar, en una zona de reducidas dimensiones, el volcanismo, el geotermalismo, el control tectónico, y las características diferenciales de ambos yacimientos, representa una importante ventaja, frente a otras áreas, para establecer, al menos en parte, la forma en que tuvo lugar la formación y deposición de las mineralizaciones.

Los datos obtenidos apuntan a que, durante el Tortoniense Superior-Messiniense, los fluidos hidrotermales procedentes del volcanismo shoshonítico asociado, en el área de Cuevas del Almanzora, a la falla de Palomares, quedaron atrapados en la subcuenca/fosa de Las Herrerías. Estos fluidos, con un alto contenido en metales, se depositaron, primeramente en profundidad en las fracturas de Sierra Almagrera, dando lugar a los filones que actualmente observamos en superficie, y, probablemente también, a los existentes en los sectores más profundos por debajo de los propios sedimentos de Las Herrerías. Asimismo, el ascenso a la superficie, de los fluidos de este campo geotermal probablemente convectivo, produjo una sustitución y transformación, en ambiente submarino, de los sedimentos de Las Herrerías, generando la manifestación superficial del proceso mineralizante en forma de un depósito exhalativo/hidrotermal. El proceso convectivo siguió funcionando después de la formación del yacimiento de Las Herrerías, teniendo su límite temporal superior, posiblemente, en el Plioceno. Esto dió lugar al desarrollo de un campo geotermal, más localizado hacia el Este pero aún dentro de la subcuenca, y con menor poder mineralizante, que condicionó el desarrollo de las estructuras fumarólicas submarinas que se observan en las margas arenosas ¿mesinienses?.

Finalmente, el hecho de que en la actualidad exista sismicidad (López Casado et al, - *en este volumen*), y un geotermalismo importante en todo el área de Cuevas del Almanzora podría inducir a pensar que la zona se encuentra todavía activa, y que, ¿por qué no?, podría estar formándose en profundidad un nuevo yacimiento.



Fig. 7.

A) Brecha (zona inferior de los filones), constituida por pirita y arsenopirita (escasa), y fragmentos de las filitas encajantes. Zona de S^o Almagrera.

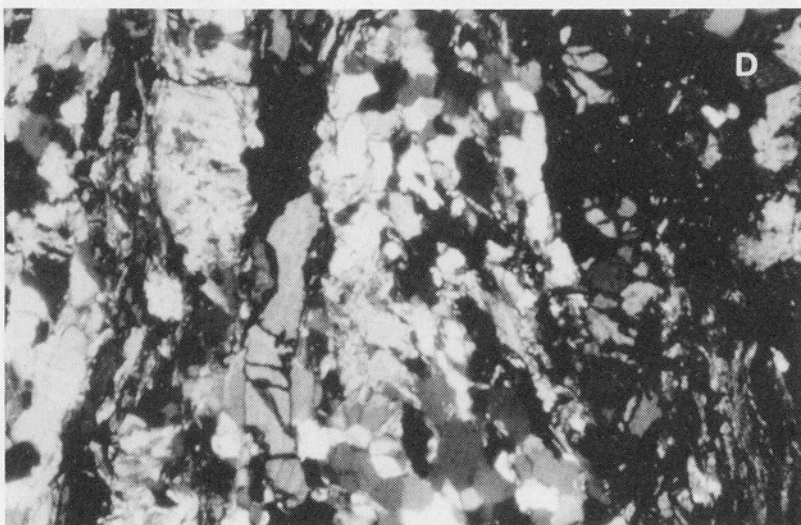


B) Brecha (zona superior de los filones), constituida por galena, sulfosales y fragmentos de las filitas encajantes. Zona de S^o Almagrera.



Fig. 7.

C) Dendrita de galena con inclusiones de intercrecimientos de esfalerita/calcopirita. Zona de S^a Almagrera.



D) Procesos solapados de silicificación y sericitización de las filitas. Zona de S^a Almagrera.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de los proyectos de investigación AMB92 - 0408 y PB87 - 0372, y se ha realizado en cooperación con el proyecto IGCP (IUGS / UNESCO) N° 318, y con el grupo de Trabajo sobre Geología y Metalogenia de Depósitos Hidrotermales Submarinos.

REFERENCIAS

- Alvado, J.C. (1986) "Sédimentation et manifestations magmatiques néogènes associées au coloir de décrochement de Palomares: Bassin de Vera (Sud-Est de l'Espagne)". Thesis Sc., Mém. Sc. Terre, Univ. P. et M. Curie, París. 86-23, 232 p.
- Arana, R.; López Aguayo, F.; Ruiz Gómez, J.M.; Perez Sirvent, C. y Rodríguez Gordillo, J. (1988) "Quimismo de los productos de alteración supergénica de los distritos mineros de Mazarrón y Sierra Almagrera (SE España): Aproximación estadística". *Bol. S.E.M.*, 11: 36-37.
- Arribas, A. y Moro, C. (1981) "Distribución de elementos trazas en las esfaleritas y galenas de los yacimientos filonianos españoles de tipo B.G.P.C.". *Tecniterrae*, 44: 10-44.
- Bonatti, E. (1983) "Hydrothermal Metal Deposits from the Ocean Rifts: A Classification". En: *Hydrothermal processes at seafloor spreading centers*. NATO Conference Series, V.12. Ed.: Peter A. Rona, Kurt Bostrom, Lucien Lambier y Kenneth L. Smith, Jr., 796 p.
- Boyce, A.J.; Coleman, M.L. y Russell, M.J. (1983) "Formation of fossil hydrothermal chimneys and mound from Silvermines, Ireland". *Nature* 306: 545-550.
- Calderón, S. (1910) "Los minerales de España". Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas". T.I. 415 p.
- ENADIMSA (1986) "La Minería Andaluza". Dirección General de Industria, Energía y Minas. Junta de Andalucía. 2 Tomos. 645 p.
- López Aguayo, F. y Arana, R. (1987) "Alteración supergénica de sulfuros en algunos yacimientos del SE de España. Nota Preliminar". *Estudios Geológicos*, 43: 117-125.

- López Casado, C.; Pelaez Montilla, J.A.; Peinado Montes, M.A. y Sanz de Galdeano, C. (1991) "Neotectónica y Sismicidad de Cuevas del Almanzora". (En este volúmen).
- López Gutierrez, J.; Martínez Frías, J.; Lunar Hernández, R. y López García, J.A.. (1992) "Geología y control tectónico de la mineralización hidrotermal submarina de Las Herrerías (Cordilleras Béticas). *Com. Cong. Geol. Esp. y Lat. de Geol.*, Salamanca, t. 3, 181-186.
- Lowell, R.P. (1975) "Circulation in fractures, hot springs and convective heat transport on mid-ocean ridge crests". *Geophys. J.R. Astron. Soc.* 44: 243-251.
- Martín Escorza, C. y López Ruiz, J. (1988) "Un modelo geodinámico para el volcanismo neógeno del sureste ibérico". *Estudios Geol.* 44: 243-251.
- Martínez Frías, J.; García Guinea, J.; López Ruiz, J.; López García, J.A. y Benito, R. (1989) "Las mineralizaciones epitermales de Sierra Almagrera y de la cuenca de Las Herrerías, Cordilleras Béticas". *Bol. S.E.M.*, 12: 261-271.
- Martínez Frías, J., García Guinea, J.; López Ruiz, J. y Reynolds, G.A. (1992) "Discovery of fossil fumaroles in Spain". *Economic Geology*, V.87-2:444-446.
- Martínez Frías, J. (1991) "Sulphide and sulphosalt mineralogy and paragenesis from the Sierra Almagrera veins (Betic Cordillera)". *Estudios Geol.*, 47 (5-6), 271-279.
- Siret, L. (1935) "Villaricos y Las Herrerías: Antigüedades púnicas, romanas, visigóticas y árabes". *Memorias de la Real Academia de la Historia*. T. XIV. 381-478.
- Sleep, N.H. (1983) "Hydrothermal Convection at Ridge Axes". En: *Hydrothermal processes at seafloor spreading centers*. NATO Conference Series, V.12. Ed.: Peter A. Rona, Kurt Bostrom, Lucien Lambier y Kenneth L. Smith, Jr., 796 p.
- Sleep, N.H. y Wollery, T.J. (1978) "Thermal and chemical constraints on venting of hydrothermal fluids at mid-ocean ridges". *J. Geophys. Res.* 83: 5913-5922.
- Strens, M.R. y Cann, J.R. (1982) "A model of hydrothermal circulation in fault zones at mid-ocean ridge crests". *Geophys. J.R. Astron. Soc.* 71: 225-240.