

GEOQUÍMICA DE LAS MINERALIZACIONES AURÍFERAS DE SIERRA ALMAGRERA (ALMERÍA, ESPAÑA)

NAVARRO FLORES, A*; COLLADO FERNÁNDEZ, D.**; FONT CISTERÓ, X***; VILADEVALL SOLE M.***

(*): Dpto Mecánica de Fluidos. ETSEIT.UPC, Terrassa (Barcelona).

(**): Dpto Edafología y Química Agrícola. Universidad de Almería (Almería).

(***): Dpto. Geoquímica, Petrología y Prosp. Geol. Facultad de Geología.
Universidad de Barcelona. Barcelona.

RESUMEN

Las mineralizaciones de cuarzo aurífero recientemente descubiertas en Sierra Almagrera se asocian a estructuras filonianas de orientación aproximada N-S, con potencias que oscilan entre 0.3 y 2.5 m, encajadas en el conjunto metamórfico de la Sierra y alcanzando en algunos casos los 500 m de longitud.

La geoquímica de los filones señala unas concentraciones de Au que llegan a las 6'6 ppm en las zonas más favorables, presentándose valores que oscilan entre 0.1 y 1.5 ppm en gran parte de la superficie de las estructuras mineralizadas. Otros metales que aparecen en cantidades apreciables son el As (1286-15000 ppm), Ba (193-1600 ppm), Ni (613-990 ppm), Sb (54-400 ppm) y Zn (100-369 ppm), destacando también el elevado contenido en Na de las muestras mineralizadas (hasta un 5.5 %).

El análisis multivariante de los datos geoquímicos de éstos yacimientos muestra la existencia de un proceso mineralizador común ligado a enriquecimientos en Au-As-Na, y una clara diferenciación entre los distintos modelos de yacimientos hidrotermales existentes.

Palabras clave: Oro, filón, hidrotermal, análisis multivariante, epitermal.

ABSTRACT

The gold-bearing quartz mineralizations recently discovered in Sierra Almagrera are associated with vein-type structures showing a rough orientation N-S, with thicknesses ranging between 0.3 and 1 m, being inserted in the Sierra's metamorphic structure, and reaching 500 m length.

The geochemistry of the veins shows gold concentrations of 6'6 ppm in the most favourable areas, with values ranging between 0.1 and 1.5 ppm in the wide area of these mineralized structures. Some heavy metals presents following concentrations: As (1286-15000ppm); Ba (193-1600 ppm), Ni (613-990 ppm), Sb (54-400 ppm) and Zn (100-369 ppm); and it's also important the high amount of Na in the mineralized samples (until 5.5%).

The multivariate analysis of the geochemical data shows the existence of common mineralizing process related to an enrichment of Au-As-Na, and a clear diferenciation between the different models of the existing hydrothermal sites.

Key words: *Gold, vein, hydrothermal, analysis multivariate, epithermal.*

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El macizo metamórfico de Sierra Almagrera es un antiforme de eje NE-SW constituido por una potente serie de esquistos, filitas, cuarcitas, mármoles y materiales volcánicos, que da lugar a una pequeña cadena montañosa costera de unos 12 km de longitud y 3 de anchura, situada al NE de la provincia de Almería, dentro del término municipal de Cuevas del Almanzora. (Fig. 1).

Sierra Almagrera se ha atribuido tradicionalmente al Complejo Alpujárride (IGME, 1974); aunque su adscripción a esta unidad es discutida por algunos autores (Martínez Frías et al., 1989), (Álvarez Lobato, 1984) y (Navarro Vila, 1984), que la definen como Nevado-Filábride y formando parte de la llamada Unidad del Lomo de Bas.

Los micaesquistos aflorantes en Sierra Almagrera alcanzan potencias superiores a los 700 m y se caracterizan por su carácter grafitoso y presencia de granates y turmalina.

Estos materiales están limitados por una gran fractura, la Falla del Arteal, de dirección NE-SW, que los separa de los depósitos terciarios de la Cuenca de Las Herrerías, que a su vez fosilizan a la Falla de Palomares. (Fig 2).

La posición actual de Sierra Almagrera es el resultado del desplazamiento de la Falla de Palomares. Esta falla actuó en una primera fase de forma dúctil sinistral (Bousquet et al., 1975), provocando el desplazamiento de los macizos metamórficos de Sierra Almagrera y Sierra Cabrera.

Martín Escorza y López Ruiz (1988) sugieren una fase posterior frágil dextral de esta falla, que dio lugar a los conjuntos volcánicos del Cabo de Gata y Mazarrón, y probablemente también está relacionada con el hidrotermalismo responsable de la formación de los filones mineralizados de Sierra Almagrera.

El volcanismo neógeno postorogénico de esta zona pertenece a la serie calcoalcalina potásica (López Ruiz y Rodríguez Badiola, 1980), representada por andesitas y dacitas potásicas, y a la serie shoshonítica, aflorante en la zona de Las Herrerías, junto a Sierra Almagrera, representada por unas cuarzo-latitas constituidas por ortopiroxeno, plagioclasa, sanidina, biotita y cuarzo en una matriz de carácter vítreo y rica en sílice y álcalis. Es destacable también la existencia de un afloramiento de cuarzo-latitas junto al mar, a unos 2 km de la zona estudiada y un segundo cinturón volcánico paralelo al anterior, ya dentro del mar y a 1 km de la costa.

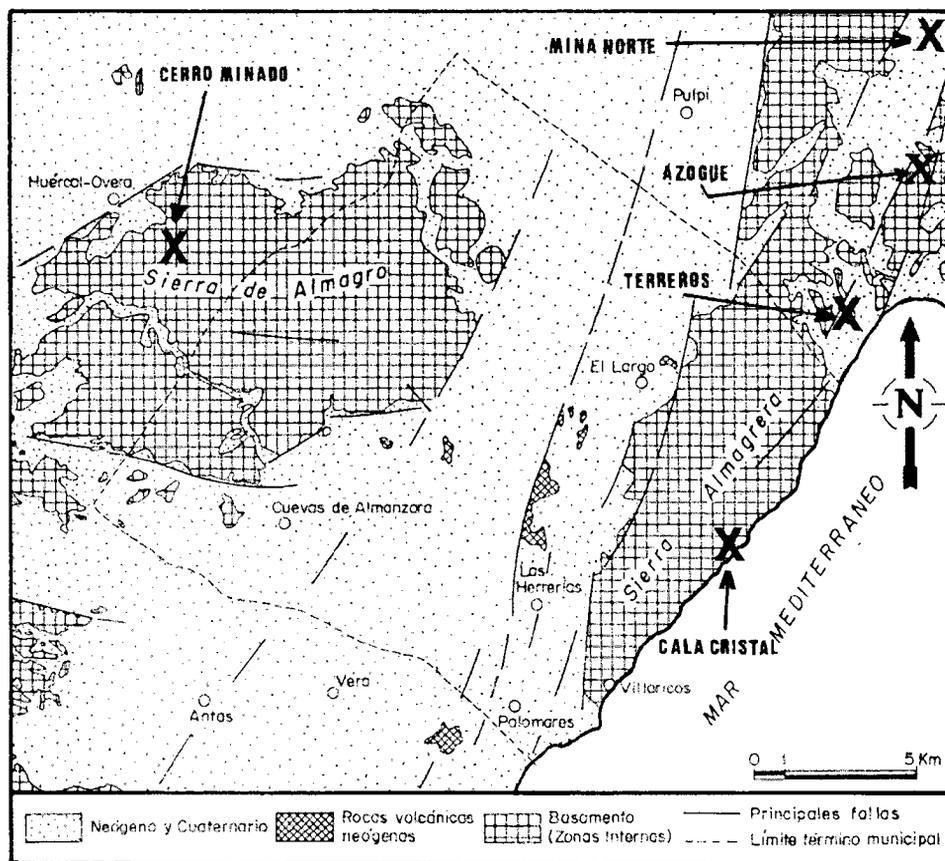


FIG. 1.- Mapa geológico sintético de la zona estudiada. Tomado de López Casado et al., (1993).

DESCRIPCIÓN DE LAS MINERALIZACIONES

Las mineralizaciones de Sierra Almagrera constituyen un conjunto de filones con estructuras de varios tipos, como son: microfisuras, disseminaciones y brechas filonianas (Martínez Frías et al., 1989), destacando los filones bandeados de gran potencia; sirvan de ejemplo los filones «Jaroso» y «Francés», trabajados intermitentemente desde 1839 a 1957. Estos filones alcanzaban espesores de hasta 10 m, aunque en la actualidad sólo aparecen visibles en superficie venas de 10-30 cm.

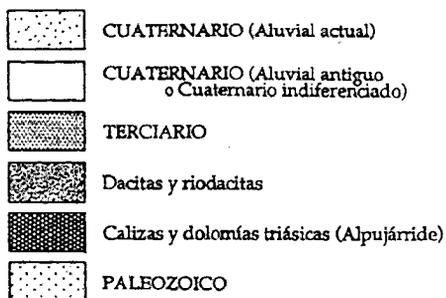
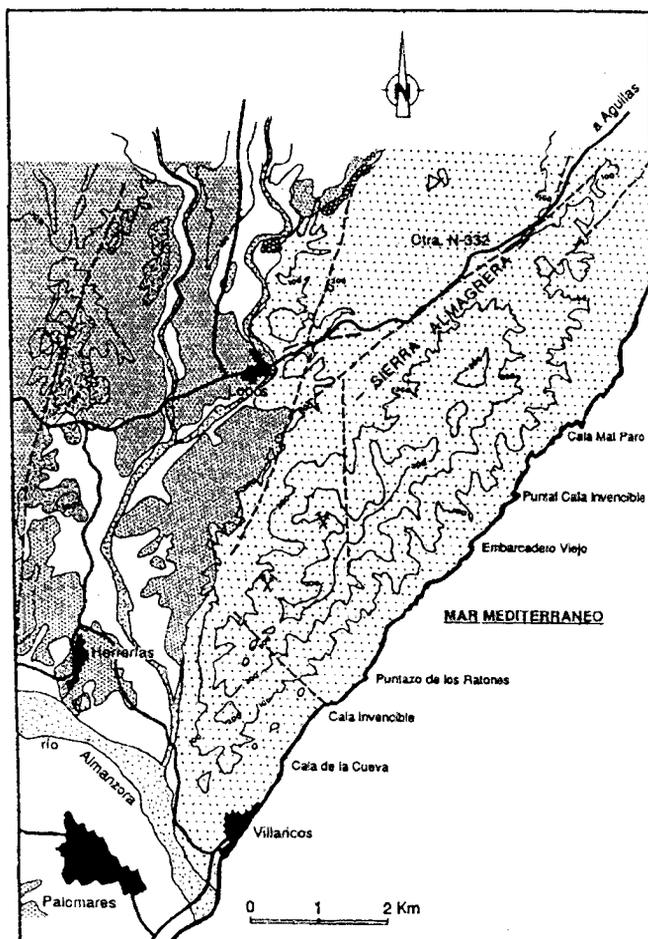


FIG. 2.- Esquema geológico del sector Almagrera-Las Herrerías Tomado de IGME, (1974).

Se han identificado dos sistemas principales de filones, de dirección N10W y N30-40E y con buzamientos muy variables, casi siempre hacia el Este. La extensión vertical de los filones excede los 400 m, abandonándose la explotación de los mismos por problemas de desagüe cuando se alcanzó una cota de 220 metros por debajo del nivel del mar.

La alteración hidrotermal de la roca encajante, esquistos en este caso, se encuentra poco desarrollada, extendiéndose raramente a más de unos pocos metros de los filones. Esto indica una cristalización a baja temperatura. Por otra parte, los análisis químicos de las rocas encajantes indican que sólo se encuentran enriquecidos en elementos constituyentes de los filones las rocas adyacentes a las venas (Martínez Frías et al., 1989).

Estos filones constituyen un intercrecimiento simple de sulfuros de metales base y sulfosales de Pb, Sb, Cu y Ag, siendo por orden de abundancia: galena, esfalerita, calcopirita, pirita, bournonita, tetraedrita, boulangerita y arsenopirita. Recientemente Navarro et al. (1994) han localizado unos filones auríferos que podían tener un origen común con las mineralizaciones descritas, y cuya geoquímica se analiza en éste trabajo.

Dada la situación espacial del conjunto de mineralizaciones, parece existir (Navarro et al, 1994) una cierta zonalidad, a escala regional, similar a la existente en la Sierra de Cartagena, y que permite distinguir una serie de áreas:

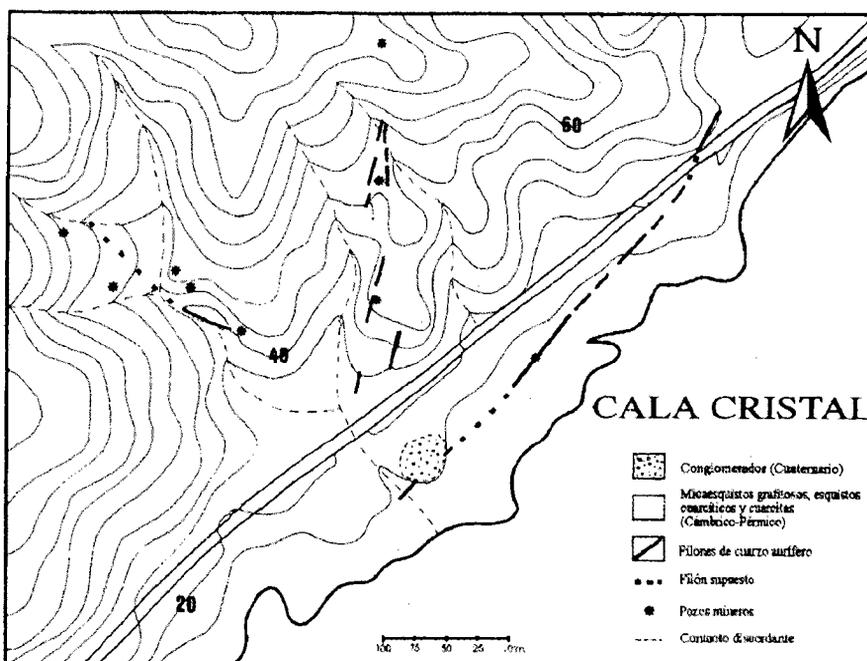


FIG. 3.- Mapa de situación de la zona estudiada en el que se muestra la posición de los filones de cuarzo aurífero.

1. Zona asociada a los afloramientos volcánicos y con mineralizaciones de elementos nativos (Ag en Alifraga y Las Herrerías) y óxidos-sulfatos (hematites, celestina y barita).
2. Zona intermedia con mineralizaciones en rocas estratiformes de tipo oxidado y con presencia de sulfuros de Cu, Pb, Fe, Zn en cantidades poco importantes.
3. Zona exterior constituida por el campo filoniano de Sierra Almagrera, dentro del cual puede hacerse, a grandes rasgos, un primer intento de zonación, pudiéndose distinguir tres áreas básicas:
 - * Filones de galena-sulfosales-barita-siderita ubicados en el área Oeste (Bco. Jaroso) y Suroeste de la Sierra (Bco. Francés-Ramo de Flores).
 - * Filones de siderita-barita ubicados en una zona intermedia (Mina Madrileña y El Tomillar).
 - * Filones de cuarzo con contenido elevado de oro y arsénico de la zona costera de la Sierra.

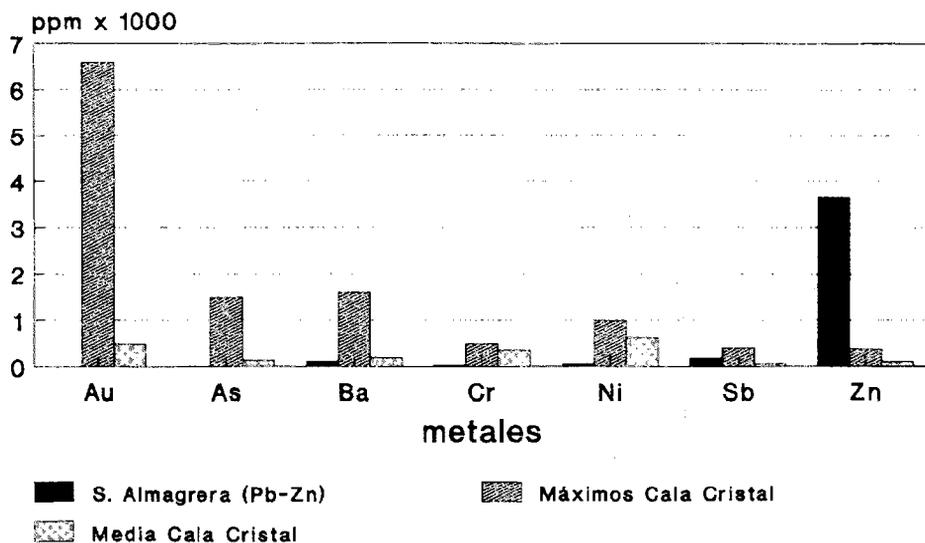
MINERALIZACIONES AURÍFERAS

Las campañas de muestreo realizadas en 1990 y 1991 indican la existencia de un campo filoniano con filones de cuarzo que presentan un elevado contenido en oro. Esta mineralización es citada ya a principios de siglo por Calderón (1910) en su libro de mineralogía como una explotación de mineral aurífero en activo, así como en publicaciones mineras antiguas («El Minero de Almagrera», 1882).

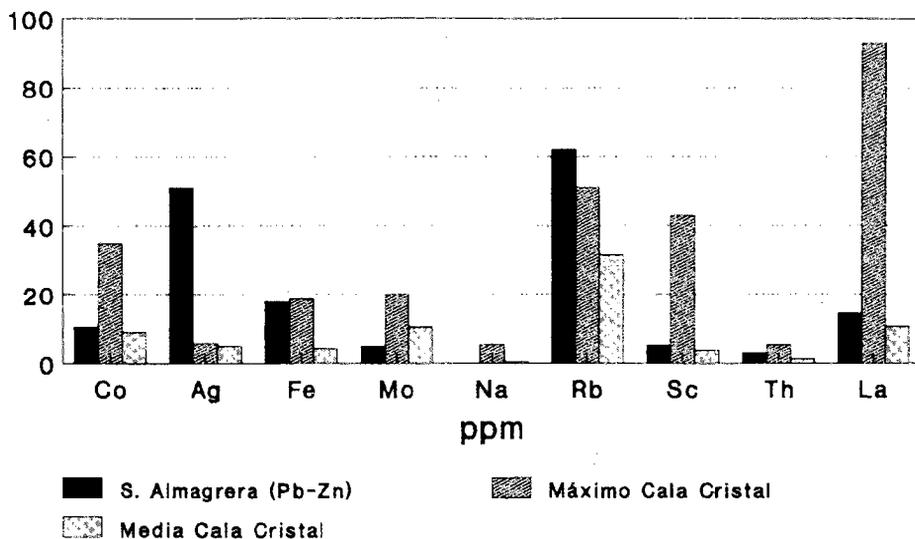
El área de estudio se encuentra en la zona costera de Sierra Almagrera, a unos 7 km de Villaricos, en el paraje conocido como Cala Cristal.

Los materiales aflorantes en esta zona son (Fig. 3):

1. Micasquistos grafitosos y filitas fuertemente tectonizadas. La zona se encuentra sometida a plegamiento con dirección predominante N-S. Destaca también un doble sistema de fracturas con dirección NNE-SSW y NNW-SSE, encontrándose la superficie de fractura rellena por óxidos de hierro, fundamentalmente goethita. Estos materiales se han datado como Cámbrico- Pérmico.
2. Conglomerado poligénico con cantos de rocas metamórficas, volcánicas y restos orgánicos, abundante matriz y fuertemente cementado. Están situados discordantemente sobre los micasquistos conformando un pequeño afloramiento al SW de la zona de estudio. Presentan estratificación horizontal y una potencia aproximada de 1 m. Debido a procesos de tipo erosivo, buena parte de la zona costera se encuentra cubierta por derrubios del propio conglomerado. La edad de este conglomerado no se ha podido determinar con exactitud, aunque podría ser Pliocuaternario.
3. Filones de cuarzo mineralizados en oro. Se encuentran en la zona un conjunto de filones que se agrupan en torno a tres direcciones predominantes: N-S, N30W y N45E. El buzamiento que presentan es variable, aunque en la mayoría de los casos es de 70-80°.



Valores en ppm exto. Au (ppb) y As



Valores en ppm exto. Fe y Na (%)

FIG. 4.- Contenidos geoquímicos medios y máximos de las mineralizaciones de Cala Cristal y Sierra Almagrera.

Los filones auríferos presentan potencias variables que oscilan entre los 40 cm de los filones de la zona Norte a los más de 3 m del filón situado al Sur, si bien la potencia media se encuentra en torno a 1 m.

Estos filones presentan también un contenido variable en óxidos de hierro (goethita principalmente), barita y sulfosales, destacando el color amarillento que presentan en superficie.

Podemos observar también que el filón situado al Sur corta al conglomerado aflorante en la zona, llegando incluso a mineralizarlo. Se deduce de ello que la intrusión tuvo lugar en el Pliocuaternario o Cuaternario. Se trataría, en cualquier caso de uno de los episodios hidrotermales más tardíos conocidos en la región.

CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS GENERALES

Para caracterizar las mineralizaciones estudiadas se han analizado 21 muestras mediante activación neutrónica, determinándose los siguientes elementos: Au, Ag, As, Ba, Br, Ca, Co, Cr, Cs, Fe, Hf, Hg, Ir, Mo, Na, Ni, Rb, Sb, Sc, Sn, Sr, Ta, Th, U, W, Zn, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb y Lu.

Los valores medios de los metales más significativos (tabla 1) señalan que los filones de cuarzo poseen unos contenidos significativamente altos en Au (hasta 6'6 ppm), y en otros metales como son As (1286 - 15000 ppm), Ba (193 - 1600 ppm), Ni (613 - 990 ppm) y Sb (54 - 400 ppm), y presentan contenidos muy elevados en Na, que alcanzan hasta un 5'5% en algunos puntos. Una característica común en toda esta zona mineralizada es la coincidencia entre las anomalías de Au, Sb y As, y la escasa relación, a nivel superficial, entre las zonas anómalas en los anteriores metales y la distribución de Zn.

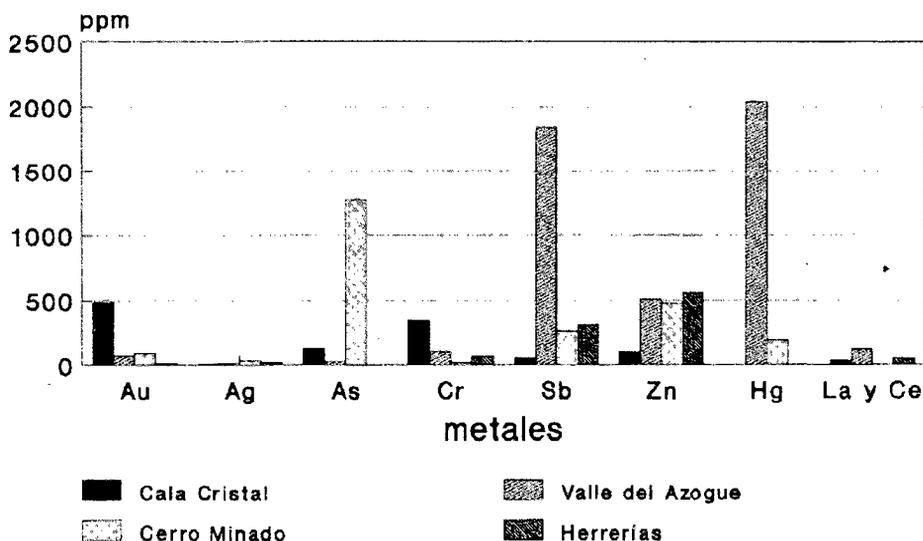
Estas mineralizaciones se diferencian, desde el punto de vista geoquímico, de las mineralizaciones de Sierra Almagrera por una ausencia casi total de Ag, un menor contenido medio en Fe, Zn y Sb, y un mayor contenido medio de Au, As, Ba y Ni en las mineralizaciones de Cala Cristal (fig. 4).

En relación con otros yacimientos hidrotermales próximos (Cerro Minado, Valle del Azogue y Las Herrerías) es destacable, a nivel de contenidos medios, un elevado contenido en Au, As y Cr en Cala Cristal, un elevado contenido en Hg, As y Sb en los restantes yacimientos, y un bajo contenido en Zn en todos ellos, salvo en Las Herrerías (fig. 5).

Todo ello nos indicaría que las mineralizaciones estudiadas son básicamente un conjunto filoniano rico en Au, As y Na, y pobre en Zn, Ag y Hg, a diferencia de lo que ocurre con el conjunto hidrotermal regional.

Otro dato interesante a destacar, es la relativa abundancia de lantánidos y tierras raras en todos estos yacimientos, salvo en Las Herrerías, donde únicamente es señalable la presencia de Europio en contenidos superiores a las 30 ppm, en el conjunto estratificado de baritina.

En relación con otras mineralizaciones epitermales clásicas (Silberman y Berger, 1985), es destacable la similitud en cuanto a contenidos de Au, As, Sb y Ag, con los yacimientos estudiados, sobre todo en las muestras pertenecientes a la zona de oxidación de los yacimientos americanos.



Valores en ppm exto. Au (ppb) y As

Fig. 5.- Comparación entre los contenidos medios en Au, Ag, As, Cr, Sb, Zn, Hg, La y Ce de los yacimientos de Cala Cristal, Cerro Minado, Las Herrerías y Valle del Azogue.

TRATAMIENTO ESTADÍSTICO MULTIVARIANTE DE LOS DATOS GEOQUÍMICOS

Para analizar la relación entre los yacimientos hidrotermales existentes en esta zona, los filones de Cala Cristal y el volcanismo shoshonítico, se ha realizado un análisis factorial de 47 muestras pertenecientes a varias áreas mineralizadas enclavadas en el arco metalogénico que va desde Las Herrerías a Mazarrón (fig.1), y que son concretamente: Las Herrerías (muestras 1 a 16), Valle del Azogue (muestras 17 a 35), Cerro Minado (muestras 41 y 42), Terreros (muestras 39 y 40), Azogue Norte (muestra 38), Cala Cristal (muestras 43 a 45) y Mazarrón (muestras 46 y 47).

En el tratamiento multivariante se han considerado 26 variables significativas: Au, Ag, As, Ba, Co, Cr, Fe, Hf, Hg, Na, Rb, Sb, Sc, Ta, Th, U, W, Zn, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb y Lu; procedentes de análisis realizados por activación neutrónica.

El análisis factorial, en modo R, nos ha permitido establecer cuatro factores principales, que explican un 70% de la varianza de la población, y que por su relación con las antiguas variables (tabla 2), permiten asignarles, en una primera hipótesis de trabajo, un significado de tipo genético, y que podría asociarse a distintos procesos o factores de mineralización. Los cuatro primeros factores obtenidos son los siguientes:

TABLA 1.- Contenidos medios, máximos y mínimos de los filones de Cala Cristal, para algunos elementos significativos.

Datos expresados en ppm, excepto Au (ppb) y Fe (%)

VARIABLE	MÍNIMO	MÁXIMO	VALOR MEDIO
Au	5.0	6600	482.9
As	3.0	15000	1286.4
Ba	100	1500	193.3
Co	5	35.0	9.14
Cr	78.0	480	374.5
Fe	0.45	18.9	4.4
Mo	5.0	20.0	10.6
Na	500	55100	5250.6
Ni	130	990	613.8
Sb	0.7	400	54.3
U	0.5	7.4	1.0
Zn	50	369.0	100.4
Ce	3.0	170	20.2

- Factor I: aparece directamente relacionado con Hf, Na, Rb, Sc, Th, La, Ce, Nd, Sm, Yb, Lu, e inversamente con Au. Dada la abundancia de Rb, Sc, Th y lantánidos en las rocas shoshoníticas, podría tratarse de un factor que explicara la «influencia geoquímica» del volcanismo en las muestras analizadas, y la proximidad de algunas muestras a este factor indicaría una relación directa con el volcanismo terciario.
- Factor II: está relacionado directamente con Ag, Ba, Hg, Sb, Ta, U y Tb, lo que podría asociarse a un proceso mineralizador de carácter epitermal, dada la relación de elementos asociados entre sí, y la ubicación espacial de las muestras que presentan una mayor carga respecto a este factor.
- Factor III: Está asociado directamente con Au, As y Na, y podría tratarse de un proceso de mineralización de Au a escala regional, de similares características al descubierto en algunas zonas andinas (Viladevall, com. pers.)
- Factor IV: Está inversamente asociado con Ag, Ba y Hg, y podría tratarse de un factor ligado a mineralizaciones muy ricas en Ag, en función de las muestras que presentan una mayor carga respecto a este factor.

La representación gráfica de las muestras en función de los factores I (volcanismo) y III (Au-As-Na) nos muestra (fig.6) 4 grupos o poblaciones, formados por una serie de muestras relacionadas también espacialmente, y que indicarían la existencia probable de, al menos, tres tipos diferenciados de yacimientos hidrotermales en esta región.

Así, en la fig. 6 el grupo Hhs correspondería a un yacimiento de características próximas al modelo «Hot Spring», y está formado por las muestras mineralizadas del Valle del Azogue.

TABLA 2.- Matriz de factores principales. Filas: antiguas variables. Columnas: Factores calculados.

	I	II	III	IV
Au	-0.70	.43	.77	-.18
Ag	-0.20	.56	-.15	-.64
As	-0.11	.06	.87	.05
Ba	-0.17	.62	-.16	-.63
Co	-0.24	.02	.13	-.03
Cr	0.13	-.04	.23	.04
Fe	-0.23	-.16	.24	.08
Hf	0.72	.32	-.05	.47
Hg	0.07	.70	.03	-.50
Na	0.66	-.00	.53	-.03
Rb	0.85	-.06	-.01	-.07
Sb	0.27	.87	-.04	.29
Sc	0.77	-.32	.02	-.10
Ta	0.34	.80	-.03	.29
Th	0.89	-.26	-.08	-.13
U	0.24	-.92	.00	.16
W	-0.17	.31	-.27	.27
Zn	0.24	.10	-.15	-.22
La	0.85	-.40	.02	-.07
Ce	0.91	-.30	.02	-.13
Nd	0.86	.42	-.02	-.03
Sm	0.86	-.42	-.03	-.12
Eu	-0.37	-.03	-.31	.13
Tb	0.31	.80	.01	.20
Yb	0.89	.17	-.11	.06
Lu	0.82	.01	-.16	-.24

En el mismo diagrama factorial se observan tres poblaciones más:

- 1) Población Hf: formada por las muestras de Cala Cristal y C. Minado (yac. hidrotermal)
- 2) Población Es: formada por las muestras de Las Herrerías, S. Almagrera, Terremos y Aguilas, asociándose a sistemas epitermales de carácter submarino.
- 3) Población V: formada por las muestras no mineralizadas del V. del Azogue, volcanismo de Mazarrón y exhalitas de Las Herrerías, en la que coinciden muestras geoquímicamente próximas al volcanismo con muestras procedentes del aparato volcánico regional.

CONCLUSIONES

El estudio de las mineralizaciones de cuarzo aurífero de Cala Cristal señala la existencia de un conjunto filoniano de características geoquímicas particulares y distintas a

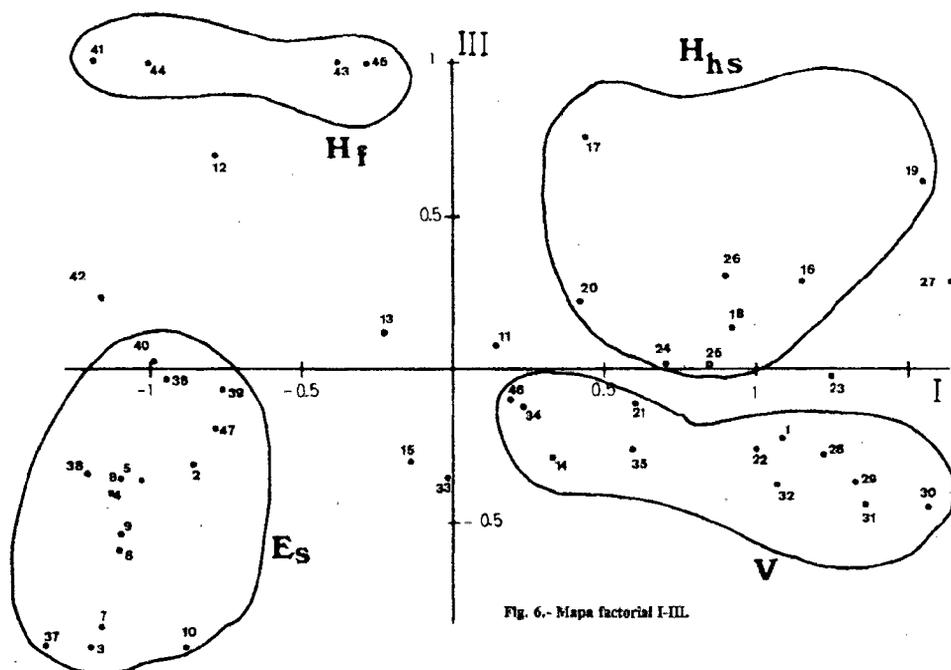


Fig. 6.- Mapa factorial I-III.

FIG. 6.- Mapa factorial I-III; Factor I: Hg, Na, Rg, Sc, Th, Ca, Ce, Nd, Sm, Yb y Lu; Factor III: Au, As y Na

las de los yacimientos hidrotermales cercanos conocidos, sobre todo por el elevado contenido en Au (hasta 6'6 ppm) que se detecta en algunos puntos.

El análisis multivariante de los datos geoquímicos apunta la probable existencia de un proceso mineralizador de carácter regional y asociado a anomalías de Au, As y Na, parecido al de algunos yacimientos andinos.

La probable edad Pliocuaternaria de las mineralizaciones, y la existencia de otros yacimientos próximos ricos en Au y encajados en rocas metamórficas abre la posibilidad a la existencia de un nuevo modelo de yacimiento hidrotermal de metales preciosos, y revaloriza el interés por la minería en una zona escasamente estudiada en los últimos años.

BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ LOBATO, F. (1984): «Las unidades Alpujarrides y Nevado-Filábrides del sector Aguilas-Mazarrón (Cordilleras Béticas Orientales)». *Nota Preliminar. En: El borde Mediterráneo Español: Evolución del orógeno bético y geodinámica de las Depresiones neógenas. Granada. pp. 30-32.*

- BOUSQUET, J.C.; DUMAS, B. Y MONTENAT, C. (1975): «Le décrochement de Palomares: décrochement quaternaire senestre du bassin de Vera (Cordillères Bétiques Orientales. Espagne)». *Cuadernos de Geología*, n° 6, pp. 113-119.
- CALDERON, L. (1910): «Minerales de España». Vol. I., 251 pp.
- EL MINERO DE ALMAGRERA (1882) n° 390, Pág. 10.
- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1974): «Mapa Geológico de España, escala 1:50.000 Hoja 1015: Garrucha». IGME, Madrid
- LÓPEZ CASADO, C; PELÁEZ MONTILLA, J.A.; PEINADO MONTES, M.A.; SANZ DE GALDEANO, C. (1993) «Neotectónica y sismicidad en Cuevas del Almanzora». *Recursos Naturales y M. Ambiente en Cuevas del Almanzora*, p. 167-186.
- LÓPEZ RUIZ, Y RODRÍGUEZ BADIOLA, E. (1980): «La región volcánica neógena del sureste de España» *Estudios Geol.* n° 36, pp. 5-63
- MARTÍN ESCORZA, C. Y LÓPEZ RUIZ, J. (1988): «Un modelo geodinámico para el volcanismo neógeno del sureste ibérico». *Estudios Geol.*, n° 44, pp. 243-251.
- MARTÍNEZ FRÍAS, J.; GARCÍA-GUINEA, J.; LÓPEZ RUIZ, J.; LÓPEZ GARCIA, J.A. Y BENITO, R. (1989): «Las mineralizaciones epitermales de Sierra Almagrera y de la cuenca sedimentaria de Herrerías, Cordilleras Béticas». *Bol. Soc. Esp. Miner.*, Vol. 12, pp. 261-271.
- NAVARRO-VILA, F.; ALVAREZ LOBATO, F. Y ALDAYA, F. (1994): «La extensión regional y la posición tectónica de la unidad del Lomo de Bas (Cordilleras Béticas)». En: *El borde Mediterráneo Español. Evolución del orógeno bético y geodinámica de las Depresiones neógenas*. Granada. 26-27.
- NAVARRO, A.; VILADEVALL, M.; FONT, X. Y RODRÍGUEZ, P. (1994): «Las mineralizaciones auríferas de Sierra Almagrera (Almería). Estudio Geoquímico y Modelos de yacimientos». *Boletín Geol. y Min.* Vol. 105-1, pp. 85-101.
- SILBERMAN, M.L. Y BERGER, B.R. (1985): «Relationship of trace-element patterns to alteration and morphology in epithermal precious-metal deposits». In *Geology and Geochemistry of epithermal systems. Reviews in Economic Geology*. Vol. 2. Soc. of Ec. Geol. pp. 203-231.