

# Geología, Mineralogía y Metalogenia del yacimiento de Aznalcóllar. Parte III. Metalogenia.

Por J. SIERRA (\*), A. ARRIBAS (\*\*) y P. GUMIEL (\*\*\*)

## RESUMEN

En este trabajo se estudian algunas importantes estructuras sedimentarias del yacimiento de Aznalcóllar, principalmente las que están relacionadas con la formación de lóbulos de turbiditas piríticas. En base a estos datos y a los caracteres petrológicos, mineralógicos, estructurales y geoquímicos descritos en anteriores trabajos, se propone un modelo genético. De acuerdo con él, Aznalcóllar es un yacimiento estratiforme, exhalativo-sedimentario, polimetálico y proximal, aunque no directamente enraizado en un foco volcánico, del tipo Kuroko.

## SUMMARY

Some important sedimentary structure of the Aznalcollar ore deposit are studied in this paper, namely those related with the development of pyrite turbidite lobes. Based on these data and on the petrological, mineralogical, structural and geochemical features described in previous papers, a genetic model is proposed. According to it, Aznalcollar is a stratiform, exhalative-sedimentary, pollymetallic and proximal ore deposit of the Kuroko type.

## 1. INTRODUCCION

Este artículo constituye la tercera y última parte de una serie de trabajos sobre el yacimiento de Aznalcóllar. En el primero (SIERRA, 1984a), se han descrito las características litoestratigráficas y estructurales del yacimiento. La paragénesis y sucesión mineral han quedado reflejadas en el segundo (SIERRA, 1984b). Finalmente, en este último trabajo se propone un modelo genético para explicar el origen de la mineralización de Aznalcóllar.

## 2. EL YACIMIENTO DE AZNALCOLLAR

El yacimiento de Aznalcóllar, una de las mineralizaciones estratiformes de sulfuros masivos más importantes de la Faja Pirítica Ibérica, está constituido por más de un 60 por 100 de sulfuros, prin-

cipalmente pirita, acompañada de cantidades variables de esfalerita, galena, calcopirita y sulfosales de Fe, Cu, Pb y Ag.

Aznalcóllar, al igual que otros yacimientos de esta clase existentes en el mundo (ANDERSON, 1969; SANGSTER, 1972; HUTCHINSON, 1973 y 1980), muestra como ellos una serie de características petrotectónicas, mineralógicas y geoquímicas bien definidas.

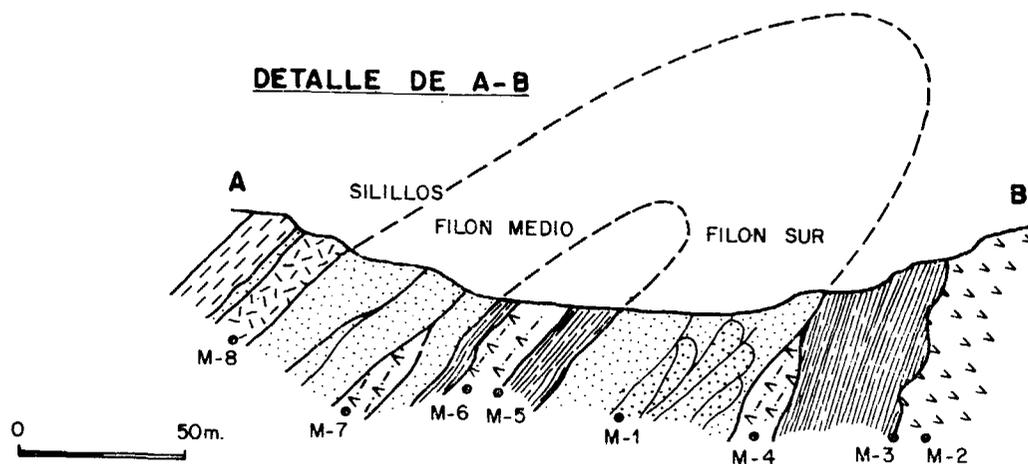
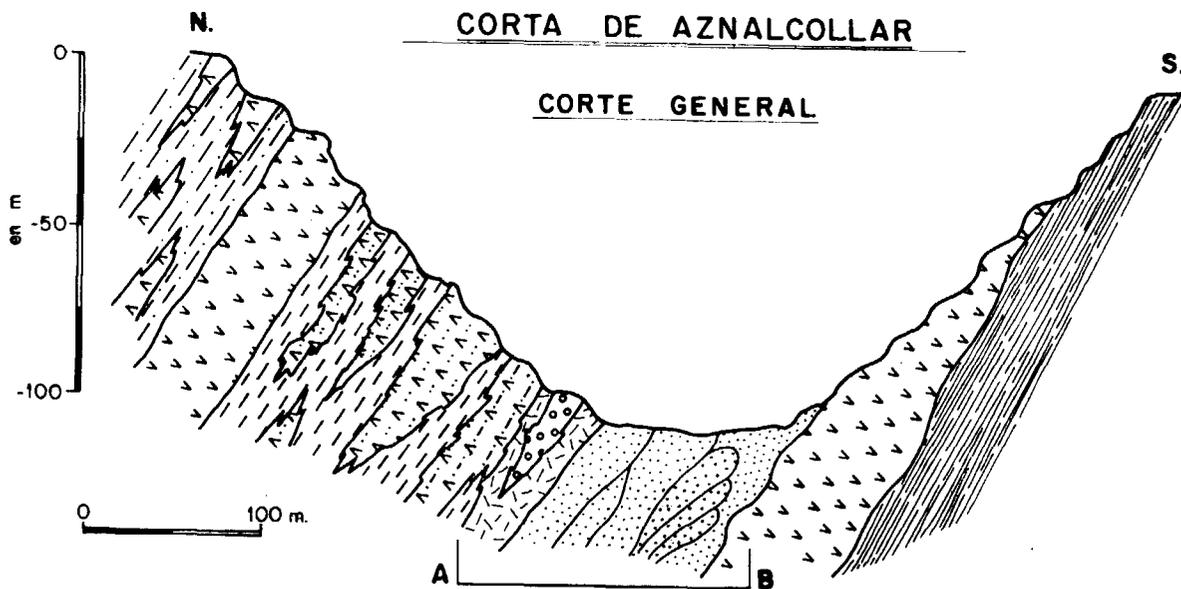
Por otra parte, de los tres tipos principales de mineralización que caracterizan a los yacimientos de la Faja Pirítica —lentejones masivos, sulfuros bandeados y «stockworks»—, en Aznalcóllar sólo se encuentran los dos primeros, ya que el llamado allí «stockwork» (HOFSTETTER, 1980) corresponde, con toda probabilidad, a una removilización tectónica del cobre del Filón Silillos.

En síntesis, en el yacimiento de Aznalcóllar, y de Sur a Norte (figs. 1 y 2), aparece una potente formación de riolitas que constituye el llamado «Cerro de la Felsita». Sigue a continuación un tramo de pizarras carbonosas y tobas dacíticas vacuolares que sirve de base a la masa de pirita

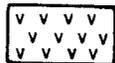
(\*) Dpto. de Cristalografía y Mineralogía. Facultad C. C. Geológicas. Universidad Complutense. Madrid.

(\*\*) Dpto. de Geología. Universidad Salamanca.

(\*\*\*) IGME.



Pizarras grafitosas (Tournaisiense-Viscense).



Plug riolítico (felsitas).



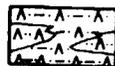
Masas de sulfuros (Pirita, Esfalerita, Galena y Calcopirita).



Lóbulos de las turbiditas piríticas.



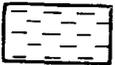
Emborrascado (terminología local).



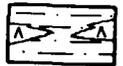
Alternancias de piroclastos.



Piroclasto cuprífero (-0,7% Cu).



Pizarras verdes.



Alternancias de pizarras negras con intercalaciones de piroclastos félsicos, felsitas (riolitas) y jaspes.



Puntos de muestreo.

Figura 1.—Corte esquemático generalizado de Aznalcóllar.

masiva denominada «Filón Sur». A esta primera masa de pirita sigue una serie alternante de rocas piroclásticas, con diferente tamaño de grano y ocasionalmente con sulfuros diseminados, que constituye el muro de la segunda masa de pirita, la denominada «Filón Medio. A continuación, se encuentra otro tramo de materiales piroclásticos que separa a esta segunda masa del llamado «Filón Silillos». Por encima se encuentra una zona de transición mena-estéril, y finalmente una serie alternante de pizarras negras con intercalaciones de piroclastos félsicos, riolitas y jaspes (SIERRA, 1984a).

El Filón Sur muestra, en detalle, una estructura muy característica, constituida por los frentes de varios lóbulos turbidíticos de pirita superpuestos (fig. 3). Estos lóbulos están separados entre sí por intercalaciones de materiales lutíticos, ricos en materia carbonosa, que reflejan las condiciones euxínicas del medio de sedimentación (fig. 4). Además, los lóbulos presentan una serie de criterios de flanco, entre otros, granoselección (fig. 5), que vienen a confirmar la situación de los mismos en el flanco inverso de un anticlinal, vergente al sur, correspondiente a la primera fase de deformación hercínica (fig. 6). Este hecho, y el que dichos lóbulos constituyan la parte final, engrosada, de sucesivos deslizamientos de lodos piríticos, hace que, en el afloramiento, los lóbulos parezcan abrirse en abanico (fig. 7).

### 3. EL ORIGEN DEL YACIMIENTO

#### 3.1. Generalidades

Durante la década de los 60, las teorías de reemplazamiento hidrotermal e inyección magmática con las que se trataba de explicar el origen de este tipo de yacimientos fueron abandonadas para dar paso a la volcano-sedimentaria, hoy la más aceptada. Según esta teoría, los yacimientos estratiformes de sulfuros están relacionados con las etapas finales, exhalativas, de ciertos procesos volcánicos submarinos, estudiados, entre otros autores, por OFTHEDAL, 1958; AMSTUTZ, 1962; KINKEL, 1966; ANDERSON, 1969; HORIKOSHI, 1969; SCHERMERHORN, 1970, y HUTCHINSON, 1973.

OFTHEDAL (1958) consideró que las exhalaciones estaban formadas únicamente por emanaciones ga-

Figura 2.—Vista del extremo oriental de la corta de Aznalcóllar en una sección transversal al núcleo del anticlinal volcado, vergente al sur, que contiene la mineralización. Aquí, de derecha a izquierda y entre rocas piroclásticas, se ven sucesivamente los lóbulos piríticos del Filón Sur, el Filón Medio y parte del Filón Silillos.

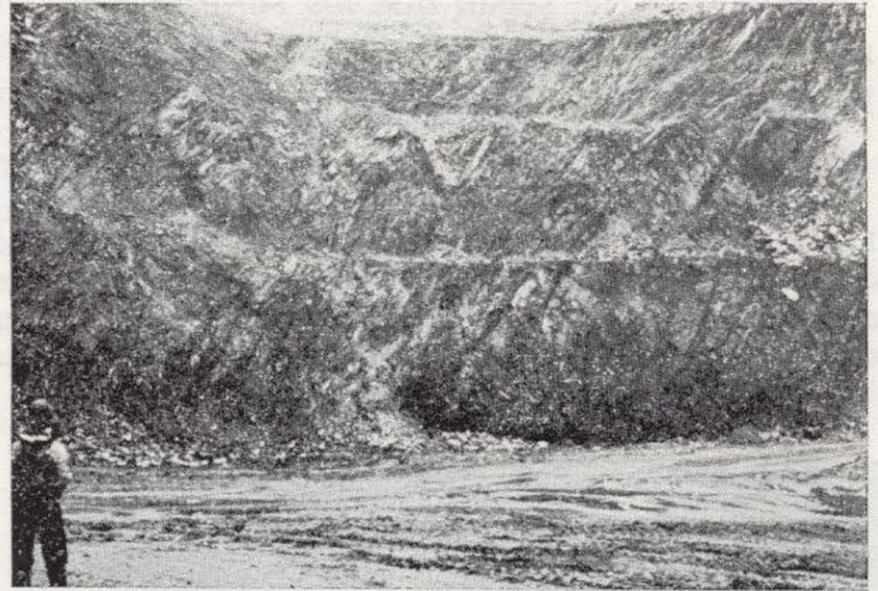


Figura 3.—Detalle de los lóbulos turbidíticos que constituyen el Filón Sur, situado en el flanco inverso del anticlinal de Aznalcóllar.

seosas. Posteriormente, ante la dificultad de explicar que una cantidad significativa de metales fuera transportada tan sólo por vapores volcánicos, se admitió que las exhalaciones podrían estar constituidas también por gases y líquidos.

Por otra parte, según que los sulfuros sean inmiscibles, y se concentren, o miscibles, y se dispersen, en el agua del mar (SATO, 1976), se pueden

Figura 4.—Detalle de la figura anterior en el que se aprecian, aparte de las finas intercalaciones de lutitas negras, acorde con el ambiente reductor que imperaba en la cuenca de sedimentación, el bandeado formado por los sulfuros de hierro, zinc y plomo.

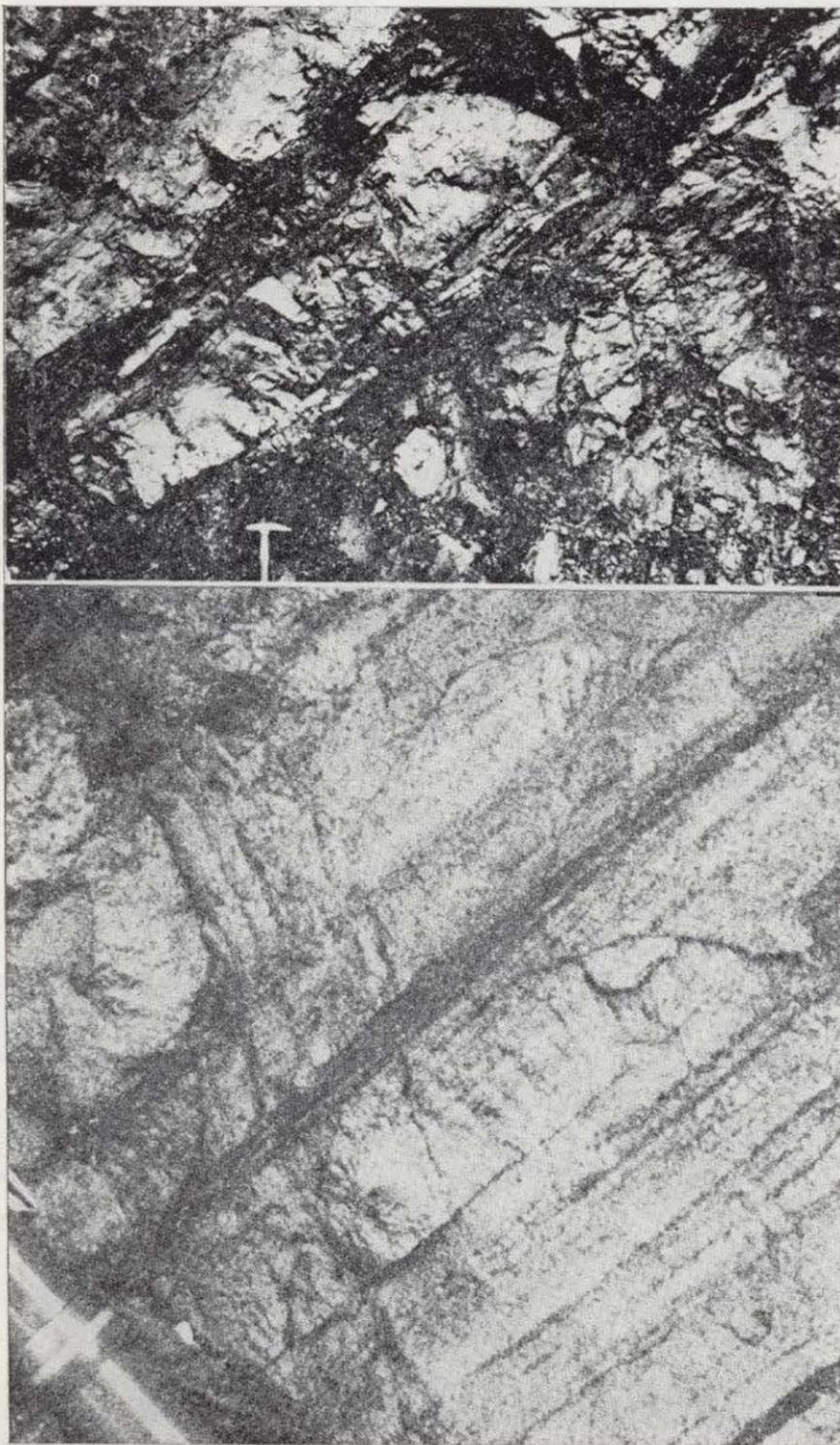


Figura 5.—Sedimentación graduada, en este caso invertida, de los lóbulos turbidíticos señalados por el martillo en la figura 4.

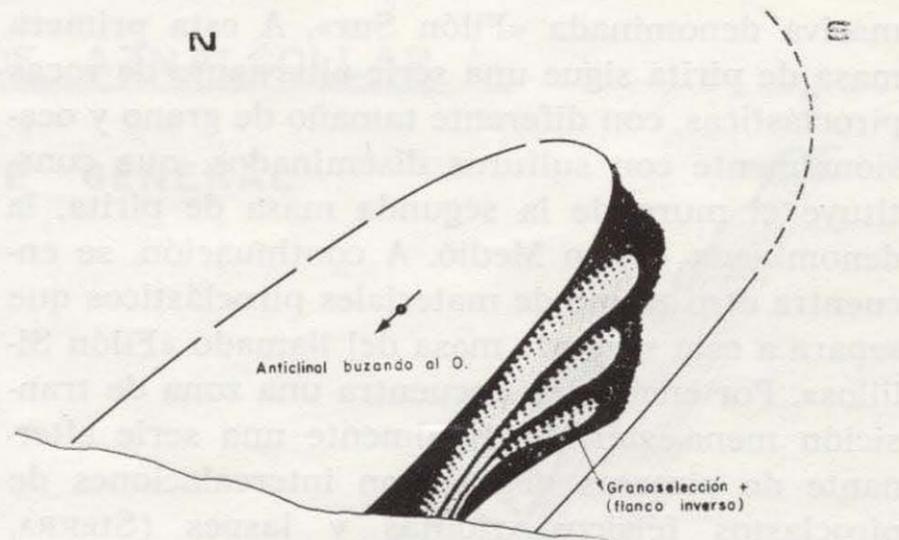


Figura 6.—Disposición de los lóbulos turbidíticos de pirita en el flanco inverso del anticlinal de Aznalcóllar.

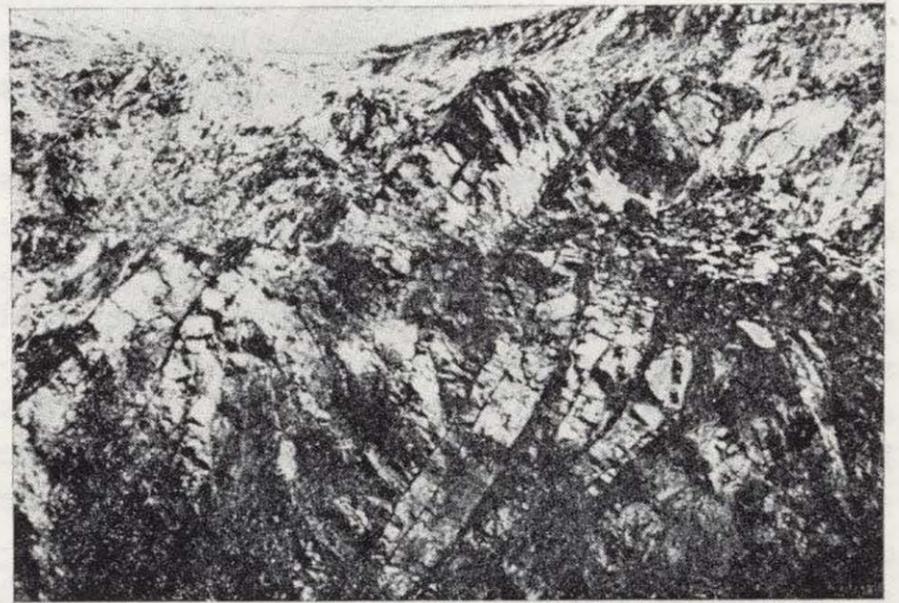


Figura 7.—Un aspecto de los tres lóbulos de pirita del Filón Sur, en el que se observa su disposición en abanico.

formar dos tipos diferentes de depósitos exhalativos. En el primer caso, los sulfuros se depositan en la proximidad de los orificios de salida; en el segundo, los iones enriquecen progresivamente el agua del mar hasta sobresaturarla, precipitando entonces y dando lugar a concentraciones más alejadas de los focos emisores.

Estos dos tipos de depósito han sido utilizados en el modelo empírico establecido por LARGE (1977) quien, siguiendo la nomenclatura de RIDLER (1973), denominó yacimientos proximales a los del primer tipo, y distales a los del segundo. Estos términos se refieren principalmente a la distancia relativa de las mineralizaciones con respecto a los orificios de salida, tal y como se reflejaba ya en los mo-

delos de BRETIZEL y FOGLIERINI (1971) y COLLEY (1976) (figs. 8 y 9).

Así, los yacimientos tipos I, II, III y IV, de COLLEY (fig. 9), formados, bien sea directamente o por remoción, en o en las proximidades de los conductos de salida, y que corresponden a los yacimientos situados en las zonas I y II de BRETIZEL y FOGLIERINI (fig. 8), serían yacimientos proximales, mientras que los del tipo V, del primer autor, y los de la zona III, de los segundos, serían distales.

En el caso de los yacimientos proximales, el modelo que mejor refleja las relaciones existentes entre las rocas volcánicas y los sulfuros con ellas asociados es el de tipo Kuroko (HORIKOSHI, 1969).

**3.2. El modelo genético**

La mineralización de sulfuros masivos de Aznalcóllar encaja en lavas y rocas piroclásticas de carácter principalmente félsico.

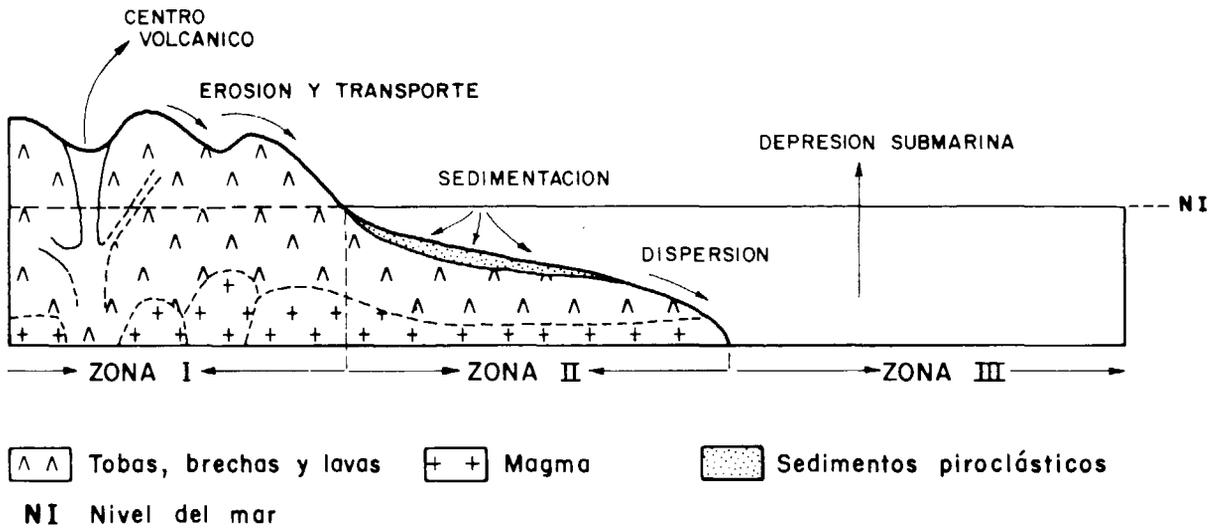


Figura 8.—Sedimentación de materiales volcánicos sobre un talud submarino (según BRETIZEL y FOGLIERINI, 1971).

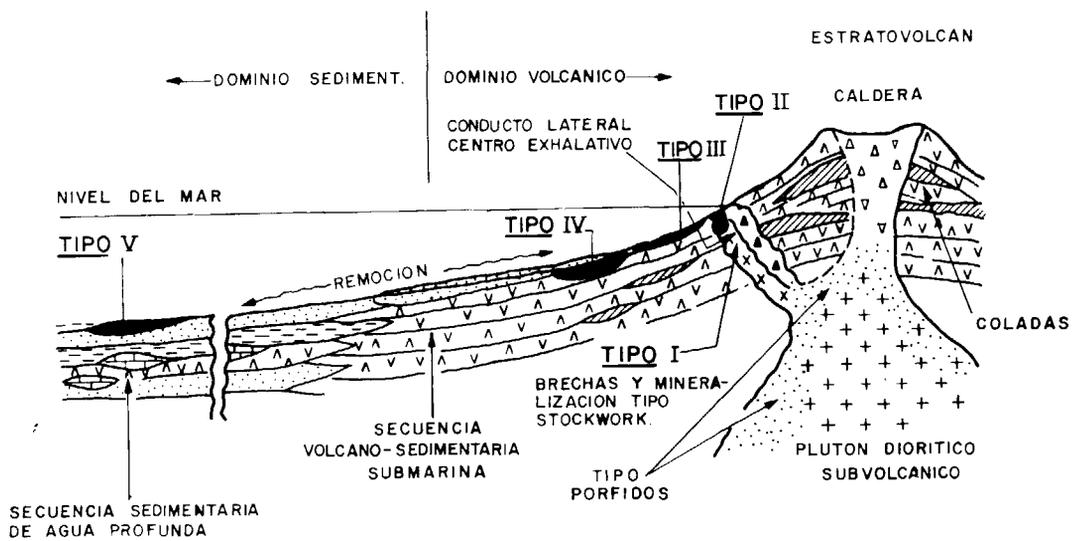


Figura 9.—Los cinco tipos de yacimiento del modelo Kuroko (según COLLEY, 1976).

El volcanismo de la zona es de tipo calcoalcalino, polifásico, originado sobre un borde de placa convergente que actuó entre el Devónico y el Carbonífero. Corresponde al de un arco-isla poco evolucionado, pero en un estadio más avanzado que el arco-isla toleítico (VEGAS y MUÑOZ, 1976).

En general, el volcanismo es de tipo fisural, con importantes cambios laterales de facies, en su mayor parte submarino y con algunos episodios aéreos, representados éstos por tobas dacíticas vacuolares de carácter posiblemente ignimbrítico (figura 10).

El aporte de los elementos metálicos que constituyen el yacimiento de Aznalcóllar se produjo fundamentalmente al final del primer episodio volcánico, ácido, de los que tuvieron lugar en la Faja Pirítica durante el Tournasiense-Viseense Medio. Este volcanismo dio lugar no sólo a las lavas y rocas piroclásticas, sino también a una importante actividad exhalativa submarina, la cual aportó al agua del mar los metales y el  $\text{SH}_2$ , y constituyó una importante fuente de calor. Esta habría dado lugar a una circulación convectiva de fluidos alrededor de los focos térmicos y, consecuentemente, a la lixiviación de ciertos elementos, metálicos y no metálicos, de las lavas y tobas, independientemente de los otros metales que pudieron ser aportados directamente por los fluidos magmáticos.

El transporte de los elementos metálicos se realizó posiblemente en forma de haluros, en solu-

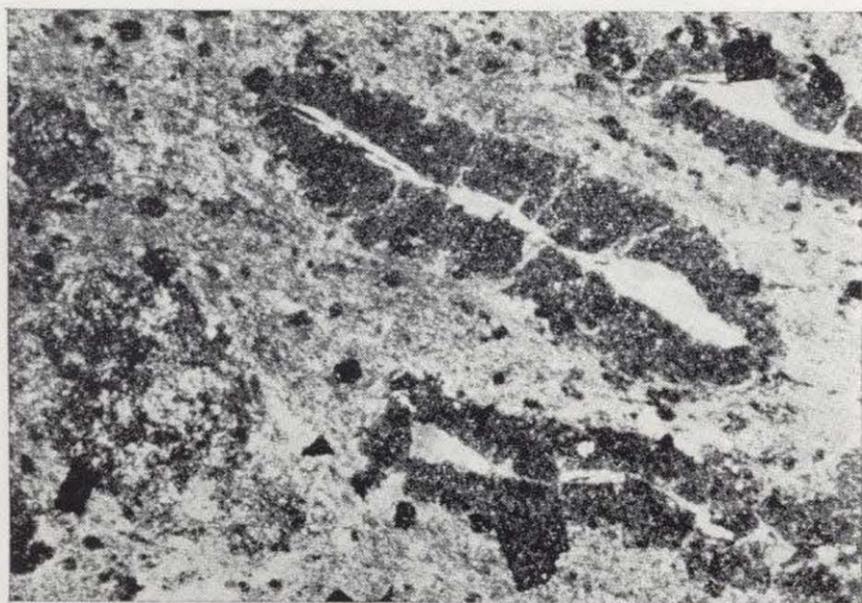


Figura 10.—Sec. trans. NC×25.

Toba dacítica vacuolar, fuertemente sericitizada. Las amígdalas tienen un borde de plagioclasa sericitizada y están rellenas de cuarzo y sericita.

ciones salinas débilmente ácidas y a elevada temperatura. Estas soluciones mineralizadoras llegaron al fondo oceánico a través de fracturas, donde reaccionaron con el  $\text{SH}^-$  de la propia solución y/o el procedente de la reducción bacteriana del sulfato marino. Ello dio lugar a la precipitación de sulfuros coloidales de hierro y de metales básicos que se depositaron, en forma de lodos, en o cerca de los orificios y conductos de salida.

En el modelo genético que se propone aquí para el yacimiento de Aznalcóllar se contempla la formación de las masas de pirita a partir de uno o varios centros emisores submarinos situados en una plataforma continental (fig. 11, I). Posteriormente, una vez formadas aquellas masas, y como consecuencia de la inestabilidad gravitacional causada por el desplazamiento de las fracturas existentes en la zona de paso de la plataforma externa al talud (fig. 11, II), se producirían corrientes de turbidez y deslizamientos submarinos que habrían dado lugar a la formación de los lóbulos turbidíticos de pirita, separados éstos por las lutitas negras propias del ambiente euxínico en que dichos lóbulos se formaron (fig. 11, III).

Además, en el caso de Aznalcóllar, y de forma análoga a lo que ocurre en Kuroko con la riolita de Motoyama, durante los primeros estadios del volcanismo habría tenido lugar el emplazamiento del domo lávico riolítico, la llamada felsita, representante del magmatismo ácido que probablemente dio origen a estas mineralizaciones.

Por otra parte, dado el carácter proximal, aunque no enraizado en un foco volcánico, del yacimiento de Aznalcóllar, el llamado «stockwork» (HOFSTETTER, 1980) corresponde, en realidad, a una removilización del cobre del Filón Silillos como consecuencia de los procesos metamórficos y tectónicos que afectaron a la mineralización. Prueba de ello son: la ausencia de las alteraciones zonadas que caracterizan a este tipo de estructuras mineralizadas, ya que la silicificación, cloritización y sericitización afectaron por igual a todas las rocas del yacimiento; la escasa entidad de los filoncillos de cuarzo mineralizados, pues su desarrollo es muy reducido cuando se compara con el que presentan los verdaderos «stockwork» en los yacimientos de esta clase; y, finalmente, la situación de dicha estructura a techo del Filón Silillos, es decir, en el flanco normal del anticlinal de Aznalcóllar, por lo que el allí llamado

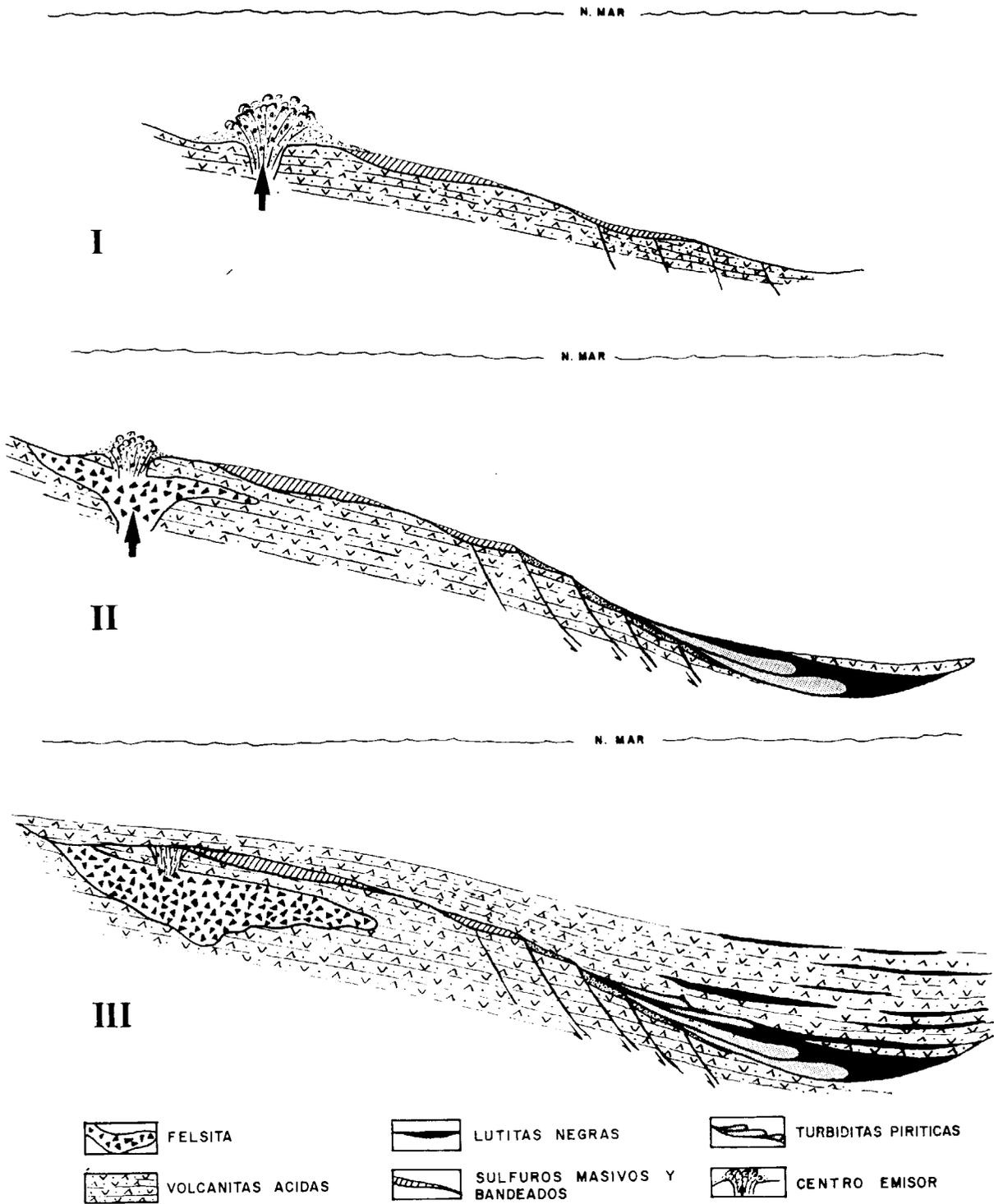


Figura 11.—Modelo genético del yacimiento de Aznalcóllar.

«stockwork» no puede ser la vía de acceso de una mineralización exhalativa.

En resumen, los datos expuestos permiten equiparar el yacimiento de Aznalcóllar con las mineralizaciones de la zona A de BRETIZEL y FOGLIERINI (1971), y con los tipos III y IV de COLLEY (1976). Se trata, pues, de un yacimiento estratiforme, volcano-sedimentario, polimetálico de génesis semejante a la de los yacimientos de Kuroko, en el Japón.

#### BIBLIOGRAFIA

- AMSTUTZ, G. C.: *L'Origine des gîtes minéraux concordants dans les roches sédimentaires*. Chroniques de mines et de la Recherche minière núm. 308. 30 année, pp. 116-125 (1962).
- ANDERSON, CH. A.: *Massive sulfide deposits and volcanism*. Econ. Geology, vol. 64, núm. 2, pp. 129-146 (1969).
- BRETIZEL, P., et FOGLIERINI, F.: *Les gîtes sulfurés concordants dans l'environnement volcanique et volcano sédimentaire*. Mineral Deposita (Berl.), C. G., pp. 65-76 (1971).
- COLLEY, H.: *Classification and exploration guide for Kuroko-type deposits based on occurrences in Fiji*. Trans. Instn. Min. Metall (Sect B: Appl. earth sci.), 85, B. 190-9 (1976).
- HOFSTETTER, J. P.: *L'amas sulfure a Cu-Pb-Zn D'Aznalcollar (Sevilla), España. Geologie, Paleogeographie et metallogenie de l'extrémité Sud-Orientale de la ceinture sud-Iberique*. Thésis 3 ciclo Universidad Pierre Marie Curie, París (1980).
- HORIKOSHI, E.: *Volcanic Activity related to the formation of the Kuroko-type deposits in the Kosaka District, Japan*. Mineral Deposita (Berl.), 4, pp. 321-345 (1969).
- HUTCHINSON, R. W.: *Volcanogenic sulfide deposits and their metallogenic significance*. Econ. Geology, vol. 68, núm. 8, pp. 1223-1246 (1973).
- HUTCHINSON, R. W.; FIFE, W. S., y KERRICH, R.: *Deep fluid penetration and ore deposition*. Min. Science. Engineering, 1, 2, 3, pp. 107-120 (1980).
- KINKEL, A. R.: *Massive pyritic deposits related to volcanism; and methods of emplacement*. Econ. Geology, vol. 61, núm. 4, pp. 673-694, Lancaster (1966).
- LARGE, R. R.: *Chemical evolution and zonation of massive sulfide deposits in volcanic Terrain*. Econ. Geology, vol. 72, pp. 549-572, Lancaster (1977).
- OFTEDALS, C.: *A theory of exhalative-sedimentary ores*. Geol. Foren. Stockholm Forh., 80, pp. 1-19, Stockholm (1958).
- RIDLER, R. H.: *Exhalite concept a new local tool for exploration*. The Northern Miner (1973).
- SANGSTER, D. F., y SCOTT, S. D.: *Precambrian, Strata-bound. Massive Cu-Zn-Pb sulfide ores of Nort America*. Woolf, vol. 6, cap. 5, pp. 129-222 (1976).
- SATO, T.: *Kuroko deposits: their geology, geochemistry and Origin*. Volcanic processes in ore genesis. Inst. Min. Metall. and Geol. Soc. London, 153-161 (1976).
- SCHERMERHORN, L. J. G.: *The Deposition of volcanics and pyritite in the Iberian Pirite Belt*. Mineral. Deposita (Berl.), 5, 273-279 (1970).
- SIERRA, J.: *Geología, Mineralogía y Metalogenia del Yacimiento de Aznalcóllar. I parte*. Litoestratigrafía y Tectónica. Bol. Inst. Geol. y Min. España. Tomo XCV, 440-455 (1984).
- SIERRA, J.: *Geología, Mineralogía y Metalogenia del Yacimiento de Aznalcóllar. II parte*. Paragénesis y Sucesión mineral. Bol. Inst. Geol. y Min. España. Tomo XCV, 553-568 (1984).
- VEGAS, R., y MUÑOZ, M.: *El Contacto entre las zonas sur-portuguesas y Ossa-Morena en el SW de España. Una nueva interpretación*. Comunicações dos serviços geológicos de Portugal, tomo LX, Lisboa (1976).
- WATANABE, T.: *Volcanism and Ore Genesis*. Edit. Tatsuo Tatsumi (1970).