

MINERIA

Nuevos conocimientos sobre la geología y metalogénesis de los yacimientos de mercurio de Almadén (Ciudad Real).

Por J. BORRERO (*) y P. HIGUERAS (**)

RESUMEN

Los yacimientos de mercurio del distrito minero de Almadén se localizan en la Zona Centroibérica, rama central del Macizo Hercínico Ibérico, en una secuencia Paleozoica de materiales detríticos, que, a partir del Silúrico, presentan una importante participación de rocas volcánicas, mayoritariamente de composición básica.

Estos yacimientos han constituido, desde tiempos de los romanos, y aún constituyen en la actualidad, el principal foco de producción de mercurio del mundo.

La prospección geológica reciente de nuevos yacimientos y reservas ha permitido poner de manifiesto nuevos datos sobre la geología y metalogénesis de estas mineralizaciones. Una nueva tipología se puede establecer, en base a la litología de la roca encajante, y la relación espacial y temporal de ésta con la mineralización.

Los tipos propuestos se pueden agrupar en dos: (1) yacimientos encajados en cuarcitas, y (2) yacimientos encajados en rocas volcánicas. El tipo (1) agrupa a las minas de Almadén y El Entredicho, en la Cuarcita de Criadero, de edad Silúrico, y El Burcio, en la Cuarcita de Base, de edad Devónico. El tipo (2), yacimientos encajados en rocas volcánicas, incluye El Nuevo Entredicho (Ordovícico-Silúrico), Las Cuevas (Silúrico), Guadalperal y Corchuelo (Devónico Superior).

El modelo metalogenético que se propone explica la diversidad de yacimientos en base a la relación de los fluidos mineralizadores con las fases fluidas, muy ricas en CO₂, del magmatismo basáltico explosivo con el que se relacionan espacialmente las mineralizaciones: cuando estos fluidos pueden escapar de la roca volcánica portadora se emplazarían en las rocas detríticas o sedimentos asociados, mientras que si no pueden liberarse se emplazan en forma de stockwork o asociados a los minerales de alteración o en el relleno de vacuolas en la propia roca volcánica. Ello concuerda con nuevos datos isotópicos, que indican que el C y el O de carbonatos asociados a las rocas volcánicas tienen un origen hipogénico.

Palabras clave: Hercínico, Metalogenia, Mercurio, Silúrico, Devónico, Almadén.

ABSTRACT

The mercury deposits of the Almadén mine camp are located in the Centro-Iberian Zone, the central domain of the Hercynian Massif of the Iberian peninsula. They are hosted by a Paleozoic sequence of detritic rocks which, ever since the Silurian, also comprise an important proportion of volcanic rocks, mainly of basic composition.

These deposits constitute from Roman times until today the major source for mercury in the world.

Recent geological prospection of new deposits and reserves has provided new data on the geology and metalogeny of these mineralizations. A new sub-division of mineralization types has been established based on the lithology of the host rock and the time and space relationships of this host rock with respect to the (timing of the) mineralization.

Two main types can be distinguished:

- 1) deposits hosted by quartzites, and
- 2) deposits hosted by volcanics.

Type 1) encompasses the producing mines of Almadén and El Entredicho, hosted by the Silurian Criadero Quartzite and El Burcio, hosted by the Devonian Base Quartzite (Cuarcita de Base). Type 2) comprises deposits hosted by volcanic

(*) Dpto. Geología. Minas de Almadén y Arrayanes. Dirección actual: Dirección General IARA, Junta de Andalucía (Sevilla).

(**) Dpto. Geología. Minas de Almadén y Arrayanes. Dirección actual: Dpto. de Ingeniería Geológica y Minera. E. U. P. Almadén (Almadén, Ciudad Real).

rocks and includes El Nuevo Entredicho (Ordovician-Silurian volcanics), Las Cuevas (Silurian), Guadalperal y Corchuelo (Upper Devonian).

A metallogenic model is proposed which tries to explain the diversity of the deposits based on the relationship between the mineralizing fluids and the fluid phases — very rich in CO₂ — of the explosive basaltic magmatism with which the mineralizations are spatially associated: when these fluids can escape from the volcanic rocks they could be emplaced in the associated detritic or sedimentary rocks. When no escape took place, stockwork-type mineralization was formed or cinnabar is deposited in association with alteration minerals in voids and fractures within the volcanic rock. This hypothesis is in line with new isotope data which indicate that C and O of the carbonates associated with the volcanic rocks have a hypogene origin.

Key words: Hercynian, Metallogeny, Mercury, Silurian, Devonian, Almaden.

1. INTRODUCCION

Las mineralizaciones de mercurio de Almadén se encuentran situadas en la esquina SO de la provincia de Ciudad Real, todas dentro de la Hoja topográfica núm. 808 (Almadén), del M. T. N., a escala 1:50.000, en los términos municipales de Almadén, Almadenejos y Chillón.

Desde el punto de vista geológico se ubican dentro de la Zona Centro Ibérica de la división de JULIVERT et al. (1974), del Macizo Hespérico (fig. 1), en concreto en una gran estructura denominada «Sinclinal de Almadén» (ALMELA et al., 1962), ocupada por materiales volcánico-sedimen-

tarios Paleozoicos. Las mineralizaciones estudiadas se localizan en el flanco sur y núcleo de esta estructura (fig. 2), y su edad va desde la base del Silúrico hasta el Devónico Superior.

La comarca de Almadén ha tenido una gran importancia minera desde hace más de 2.000 años: de sus minas se han extraído más de 7,5 millones de frascos de mercurio, habiendo sido explotadas por romanos, árabes, y, finalmente, castellanos, prácticamente sin interrupción, salvo excepciones debidas a inundaciones e incendios, hasta la actualidad.

La zona denominada como Sinclinal de Almadén ha sido objeto de numerosos estudios puramente geológicos regionales, de los que mencionamos aquí brevemente los de más interés en el contexto actual.

ALMELA et al. (1962) realizan un estudio geológico general de la zona de Almadén, que ocupa

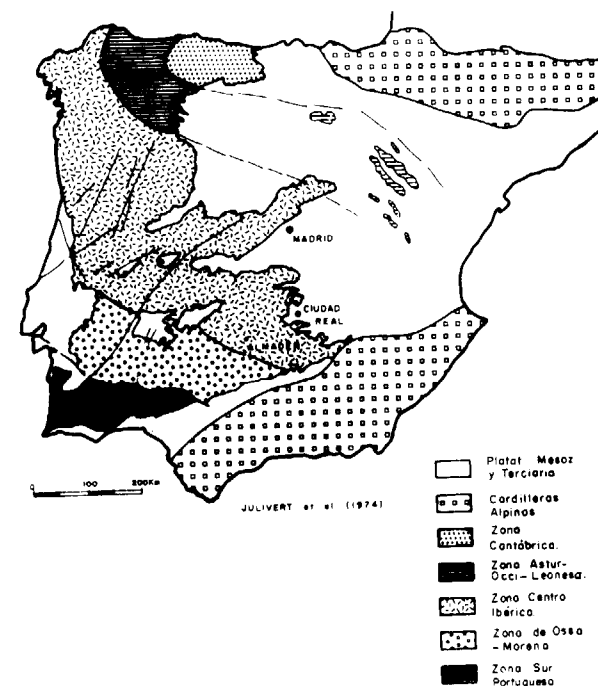


Figura 1.—Localización geográfica y geológica de los yacimientos de Almadén.

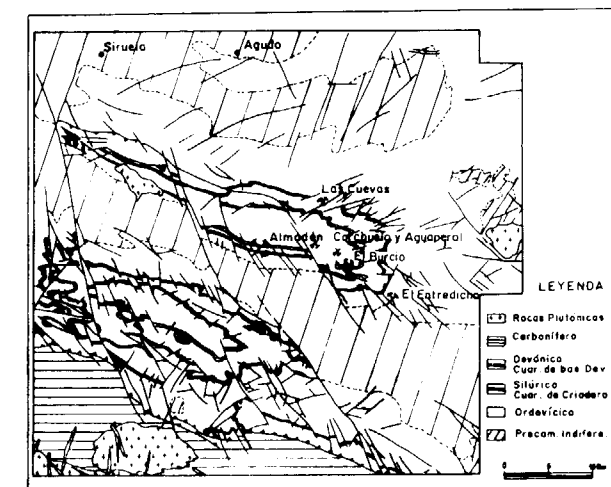


Figura 2.—Esquema geológico de la Reserva de Almadén. Donde se sitúan las mineralizaciones estudiadas.

toda la reserva para mercurio, en el que se incluye una primera cartografía bastante aceptable a escala 1:50.000.

La estratigrafía y tectónica, en el Sinclinal de Almadén, han sido definidos por varios autores, destacándose, además del trabajo mencionado, los de SAUPE (1973), BLANCHERE (1978), VERGES (1980) y todas las Hojas MAGNA que constituyen la Reserva de Almadén (1981-84).

Desde el punto de vista metalogénico se pueden destacar los trabajos realizados por SAUPE (1973) y HERNANDEZ SOBRINO (1984), en cuyas tesis doctorales establecen modelos metalogénicos de estos yacimientos que han sido aplicados en la prospección de nuevas reservas. ORTEGA, E. (1986) ofrece asimismo una descripción general de la geología y metalogenia del área.

En este trabajo se van a exponer los nuevos datos puestos de manifiesto mediante proyectos de exploración realizados en el período 1985-87, por los geólogos firmantes, en búsqueda de nuevos yacimientos de mercurio dentro de la «Reserva de Almadén». El estudio se ha basado en el reconocimiento de antiguas labores mineras, indicios, cartografías de detalle, levantamientos de columnas de sondeos, estudios petrográficos y metalográficos, y en los trabajos de explotación de los diversos yacimientos en producción.

2. EL MARCO GEOLOGICO

Los materiales en que encajan las mineralizaciones de mercurio de Almadén son de edad Paleozoica, y comprenden desde el Ordovícico hasta el Devónico Superior. La estratigrafía de este conjunto está representada en la columna de la figura 3. Como se puede observar, en su mayor parte está constituida por rocas sedimentarias de composición cuarcítica a pizarrosa, tratándose de sedimentos de plataforma somera que abarcan pizarras, limolitas y areniscas (cuarcitas). Rocas volcánicas, pasadas de piroclastos y volcanitas básicas, son escasas en la parte baja de la columna, pero aumentan en cantidad desde el Silúrico.

Dentro de la serie se pueden diferenciar, a gran escala, cuatro secuencias negativas cuyas bases están representadas por materiales pizarrosos

COLUMNA ESTRATIGRAFICA PARA EL FLANCO SUR DEL SINCLINAL DE ALMADEN

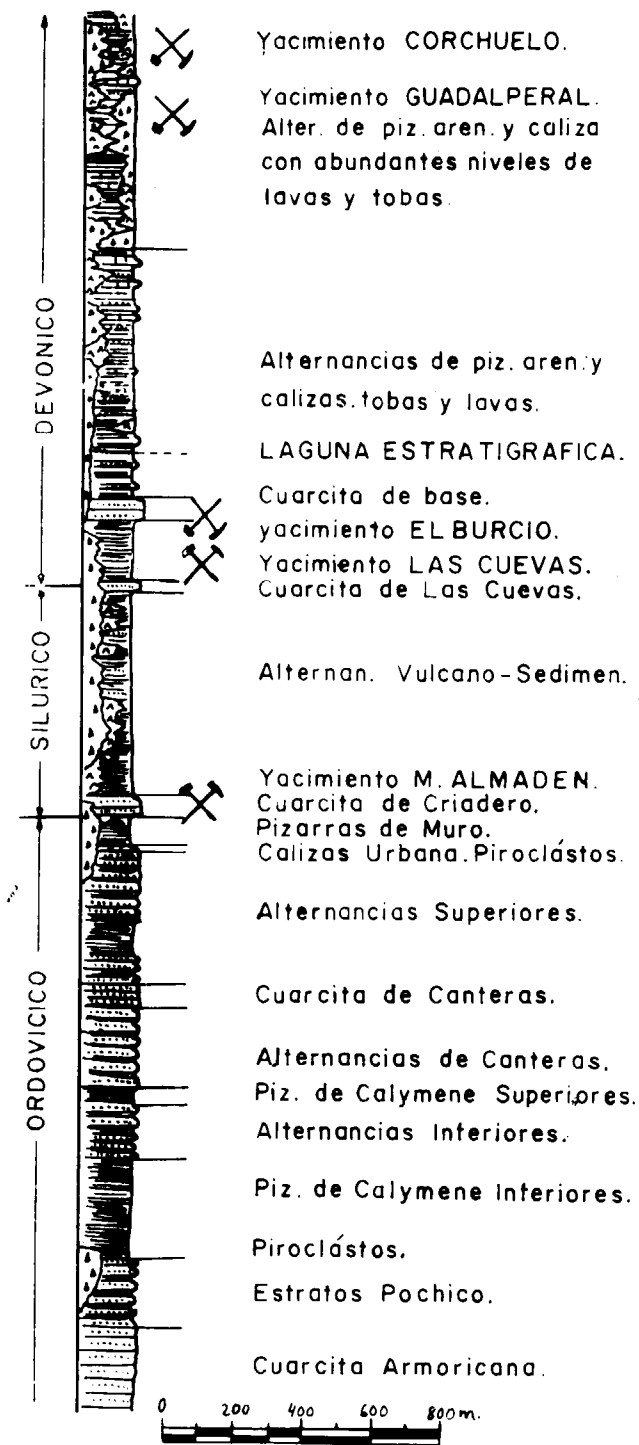


Figura 3.

que culminan con las barras cuarcíticas siguientes: Cuarcita Armórica, Cuarcita de Canteras, Cuarcita de Criadero y Cuarcita de base del Devónico (véase fig. 3).

El muro de la serie está constituido por la Cuarcita Armórica. De acuerdo con BOUYX (1970) la secuencia de estos materiales, en la Meseta Meridional, se divide en tres tramos: (1) «Areniscas inferiores», formado por areniscas y cuarcitas en bancos gruesos, con algunos niveles de conglomerados en la base; (2) «Nivel con abundantes pistas bilobadas», compuesto por una alternancia de cuarcitas, areniscas y pizarras, en bancos decimétricos, conteniendo Cruziana Furcifera y Cruziana Goldfussi, y (3) «Areniscas Superiores», formado por areniscas y cuarcitas con menor proporción de pizarras.

Concordante, y por encima, se sitúan las «Alternancias Pochico», definida por TAMAIN (1972) en la «Tabla de Pochico», a unos 2 kilómetros al sur de Aldequemada (Jaén). Allí diferencia dos tramos: uno de alternancias de cuarcitas, areniscas micáceas e intercalaciones pizarrosas y otro de alternancias de areniscas y pizarras arenosas.

Suprayacente a la anterior aparece la formación de Pizarras de Calymene, constituida por tres tramos, que TAMAIN (1972) definió en Sierra Morena Oriental como «Esquistos Botella», «Cuarcitas Inferiores» y «Esquistos del Río», citados de techo a muro. Del mismo modo COULLAUT et al. (1977) distinguen los mismos tramos que denominaron «Pizarras de Calymene Inferiores», «Alternancias Inferiores» y «Pizarras de Calymene Superiores». Los tramos de Pizarras de Calymene Inferiores y Superiores son litológicamente idénticos. En ambos casos se trata de pizarras arcillosas de color gris-azulado, con esporádicas pasadas de niveles muy finos de areniscas, que presentan abundantes nódulos limolíticos y arenosos acompañados de óxidos de Fe de morfología irregular. Ocasionalmente se encuentran, interestratificadas con las pizarras, volcanitas de composición básica.

El tramo de «Alternancias Inferiores» se sitúa estratigráficamente entre los dos antes descritos, a los que se pasa de una forma gradual. Se trata de una secuencia rítmica de pizarras y areniscas en bancos decimétricos y métricos, de colores

gris claro a gris oscuro, que localmente llegan a ser verdaderos paquetes de cuarcitas.

Concordante con la formación anterior, y de forma gradual, pasamos a un paquete de cuarcitas, areniscas y pizarras, que TAMAIN (1972) en Sierra Morena Oriental definió como «Cuarcitas Botella». Este tramo detrítico se compone mayoritariamente de cuarcitas, de color crema, y de alternancias de areniscas claras y pizarras oscuras. Se observan abundantes estructuras de ordenamiento interno en los estratos. Hacia el techo de la serie aparece un tramo cuarcítico, denominado «Cuarcita de Canteras», que corresponde a unas alternancias de cuarcitas blancas y areniscas crema.

Encima del tramo anterior aparecen las «Alternancias Superiores» de SAUPE (1973), y que corresponden a la denominación de «Bancos Mixtos» de TAMAIN (1972). Se trata de alternancias de areniscas y pizarras, con esporádicos niveles cuarcíticos, de color gris oscuro. Los bancos areniscos presentan abundantes estructuras de ordenamiento interno: laminaciones, «ripples» de oscilación, estratificaciones cruzadas y granoclasificación.

A techo de la formación precedente aflora el nivel de «Caliza Urbana» (TAMAIN, 1972). Se trata de un tramo carbonatado que localmente presenta materiales silíceos y volcánicos (PINEDA, 1987). Este tramo se utiliza como nivel guía para separar las «Alternancias Superiores» de las «Pizarras de Muro». Este último tramo se sitúa concordante y por encima del anterior. Está constituido por un paquete pizarroso con algunas pasadas milimétricas a centimétricas de areniscas (SAUPE, 1972), y es correlacionable con los «Esquistos Chavela» de TAMAIN (1972).

Concordante con esas pizarras, y encima de ellas, aflora un tramo, eminentemente cuarcítico, definido por ALMELA et al. (1962) como «Cuarcita de Criadero» y correlacionable con las «Cuarcitas Superiores» de TAMAIN (1972). Se trata de un paquete de 60 metros de potencia, en el que SAUPE (1973) distinguió, de muro a techo, un tramo de cuarcitas muy puras denominado «Cuarcitas Inferiores», de 10 metros de potencia; otro tramo pizarroso de 7-8 metros de potencia, denominado «Pizarras Intermedias»; otro de 30 metros de potencia de alternancias de areniscas y cuarcitas, denominado «Cuarcitas Intermedias»,

y se culmina el paquete con dos bancos de cuarcitas puras, separadas por un nivel de 0,5 metros de pizarras oscuras, que se denominan «Cuarcitas Superiores», con una potencia total de 12 metros.

Suprayacente a las cuarcitas descritas reposa un tramo de pizarras muy negras con abundante fauna de graptolites, denominado «Pizarras Ampelíticas». Esta serie comporta, hacia su parte superior, pasadas de volcanitas básicas, pasando a una auténtica serie volcano-sedimentaria, que culmina el Silúrico del Anticlinal de Almadén.

La base del Devónico está representada por un paquete de cuarcitas de pocos metros de potencia (10 metros), denominado «Cuarcita de las Cuevas». Continúa la serie volcano-sedimentaria por todo el Devónico, apareciendo aportes de productos básicos, también volcanitas intermedias y ácidas, a techo de la misma. La secuencia es pizarrosa-areniscosa, con pasadas de niveles carbonatados e intercalaciones de materiales piroclásticos y de lavas. En la parte intermedia del Devónico Inferior (Siegeniense) se pueden destacar la «Cuarcita de Base», que, junto con las tres barras anteriormente descritas, constituyen los cuatro episodios cuarcíticos destacables en toda la columna estratigráfica.

De manera esporádica aparece en esta secuencia un volcanismo singenético de naturaleza explosiva. Sus primeras manifestaciones se localizan en el Ordovícico Medio-Inferior, entre Alternancias Pochico y Pizarras de Calymene (Zona de El Borracho). Es de composición básica (basáltica), con xenolitos ultrabásicos, y está representado por facies piroclásticas y lavas. Hay un segundo episodio, similar al anterior, a techo del Ordovícico, entre el nivel de Caliza Urbana y Cuarcitas de Criadero. A partir de aquí la serie pasa a ser de naturaleza volcano-sedimentaria, con abundantes aportes volcánicos, hasta el techo del Devónico Superior. Los aparatos volcánicos son bastantes puntuales, tanto en el espacio como en el tiempo, durante el Ordovícico y el Silúrico, con morfología en cráter y con facies piroclásticas, interestratificadas y/o cortadas por coladas, «sills» y diques básicos. A partir del Devónico los materiales volcánicos pierden su carácter puntual, apareciendo distribuidos a lo largo de toda la cuenca.

Los materiales descritos están afectados por la Orogenia Hercínica, cuyo efecto queda registrado por dos fases o direcciones de plegamiento y una tercera de fracturación. La primera (F1) produce un plegamiento relativamente apretado, sinuoso, de tipo cilíndrico y puntualmente cónico (SOLDEVILLA, 1982), de dirección N 120° E, plano axial subvertical y ocasionalmente disarmonico, debido a la gran diferencia de competencia entre materiales cuarcíticos y pizarrosos. Cuando aumenta el grado de apretamiento los pliegues antiformes se rompen por su flanco sur y originan fallas inversas, paralelas a las directrices estructurales, y superficies de cabalgamiento hacia el sur (este último efecto sólo se observa localmente). Esta fase es la responsable de las principales estructuras cartográficas.

La segunda fase de plegamiento (F2), de dirección de máximos esfuerzos E-O, ocasiona un plegamiento muy suave que en interferencia con la anterior forma estructuras en caja de huevos (BENET, 1987), y asimismo produce la inclinación de los ejes de la F1 y la rotación de las primeras estructuras. Se ha sugerido la existencia de una cizalla levógira de dirección NO-SE (ROIZ, 1979), que nosotros pensamos que, efectivamente, está relacionada con esta fase de deformación y que se traduce en esa virgación de los ejes de los pliegues F1, y en estructuras de interferencia a nivel del Hercínico.

Posterior al plegamiento se producen tres juegos de fracturas: uno de dirección N 30-55° E, otro N 80-100° E y el tercero N 140-160° E. Tanto unos como otros producen desplazamientos horizontales y verticales en las estructuras que complican su seguimiento cartográfico. Las direcciones N 30-55° E y N 140-160° E son normales y de desgarre, las primeras dextrógiras y las segundas levógiras. Las de dirección N 80-100° E son inversas.

Todos los yacimientos de mercurio del distrito minero de Almadén se encuentran ligados al volcanismo basáltico desarrollado fundamentalmente durante el Silúrico y Devónico (HERNANDEZ, 1984). Aquí nosotros haremos referencia a los diferentes yacimientos descritos por este autor más otros nuevos, excepto La Nueva Concepción y Las Cuevas. La situación de los yacimientos de mercurio dentro de la columna estratigráfica se muestra en la figura 3.

3. ESTUDIO DE LOS YACIMIENTOS

Los yacimientos e indicios mineros de mercurio de Almadén se pueden agrupar, de acuerdo con la litología de la roca encajante, en dos grandes tipos: 1. Yacimientos encajados en cuarcitas. A su vez, y en función de la edad de los materiales encajantes, se pueden establecer los siguientes subtipos: 1a) Subtipo minas de Almadén y El Entredicho, encajados en Cuarcita de Criadero, silúrica. 1b). Subtipo El Burcio, en Cuarcita de Base, devónica. 2a) Subtipo Guadalperal, en volcanitas devónicas. 2b) Subtipo Corchuelo, en volcanitas del Devónico Superior. En la figura 3 se puede observar la posición relativa de estas mineralizaciones en la columna estratigráfica de la región.

3.1. Yacimientos subtipo Minas de Almadén y El Entredicho

Dentro de esta tipología se incluyen los dos yacimientos más grandes del mundo de mercurio. El primero se localiza bajo el pueblo que lleva su nombre y el otro a unos 3,5 kilómetros al este de Almadenejos.

En los dos casos la mineralización encaja en Cuarcita de Criadero y aparece relacionada con un aparato volcánico tipo cráter. La paragénesis es cinabrio acompañado de pirita.

En la Mina de Almadén se distinguen tres bancos de cuarcitas mineralizados que, de muro a techo, se denominan: San Pedro, situado a techo de las Cuarcitas Inferiores (fig. 4), San Francisco y San Nicolás, ambos en las Cuarcitas Superiores. Los tres están fosilizados por niveles de pizarras.

Como se puede reconocer en la figura 5, la mineralización aparece relacionada con un aparato volcánico en facies de piroclastos y lavas, pero aparece encajada, como hemos referido, en Cuarcitas de Criadero. Sin embargo, la relación entre el aparato volcánico y las cuarcitas es tectónica, de tipo rampas (BUTLER, 1982), y se observa cómo los materiales volcánicos pasan lateralmente a las Pizarras de Muro. Esta es una observación muy importante debido a que nos ayuda bastante en la interpretación de la génesis de estos yacimientos, ya que nos define la cronometría de funcionamiento de los aparatos volcánicos, que

más adelante pasaremos a discutir con más detalle.

La figura 6 muestra otro caso de estructura tipo rampa en la Mina de Almadén, que involucra en este caso a Cuarcita de Criadero, pero no a los materiales piroclásticos.

En El Entredicho se localizan dos bancos de cuarcitas mineralizados. Uno, denominado Banco Inferior, se sitúa a muro de la Cuarcita de Criadero con una potencia media de 1 m., y bastante con-

COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LAS CUARCITAS DE CRIADERO DE LA MINA DE ALMADEN

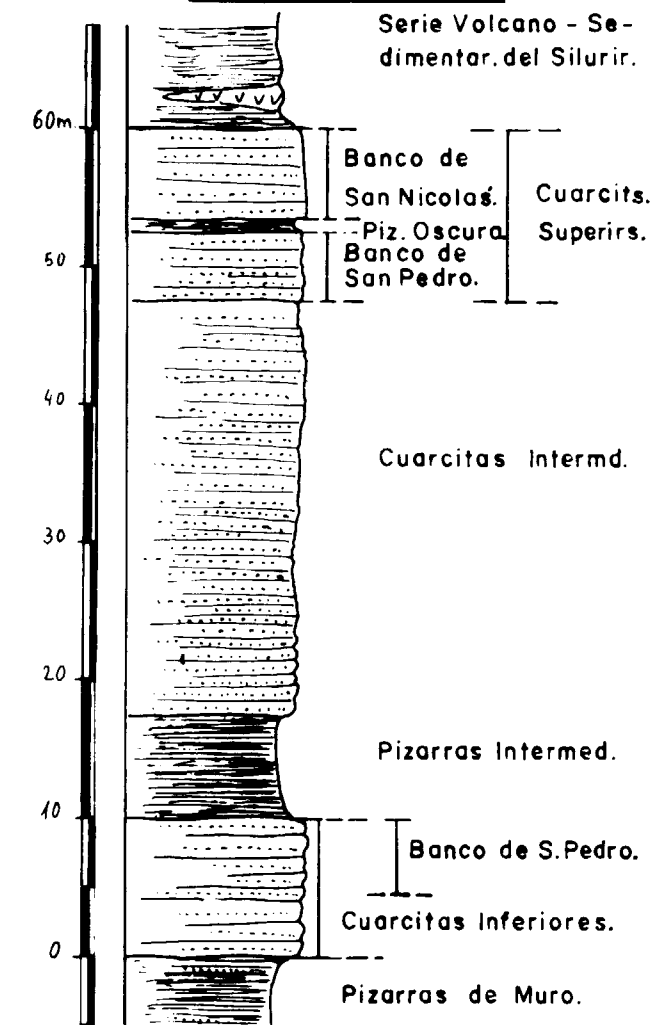


Figura 4.

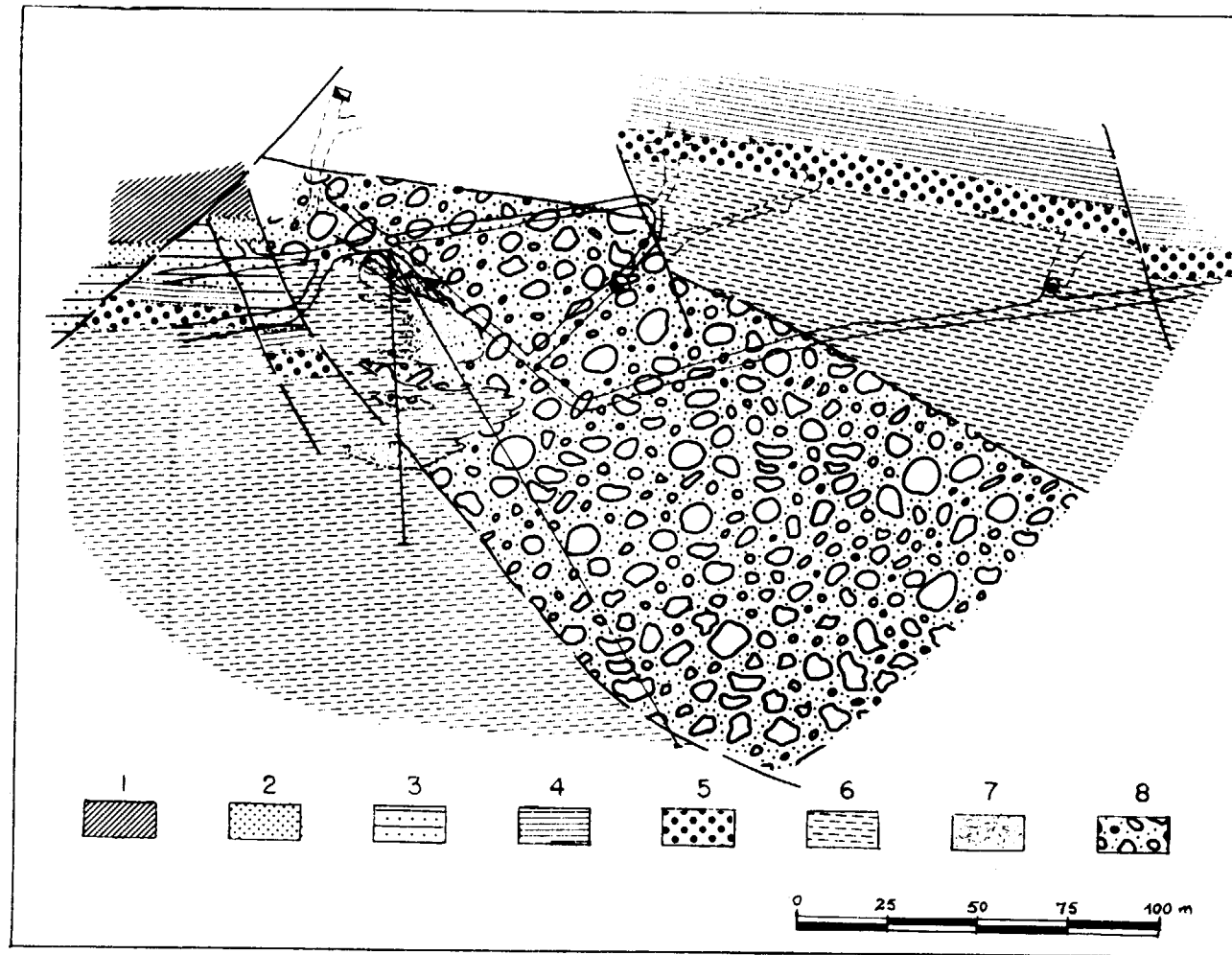


Figura 5.—Esquema geológico en planta novena (Mina de Almadén), del cráter de piroclastos en relación con la mineralización. 1. Serie de techo, lavas y pizarras.—2. Cuarzita superior mineralizada.—3. Cuarzitas intermedias.—4. Pizarras intermedias.—5. Cuarzitas inferiores.—6. Pizarras de muro.—7. Pizarras de muro con influencia volcánica (tobas).—8. Piroclastos.

tinuidad lateral, al menos de 100 metros. El otro es de mayor potencia y situado a techo de la Cuarzita de Criadero, con una menor continuidad lateral, una morfología más masiva y una menor ley (Banco Superior).

En la figura 7 se presenta un plano geológico de El Entredicho y su entorno, donde, aparte de dicha mina, se pueden reconocer las zonas de La Panera y El Cerro Peñarroya, parajes donde existen indicios de mercurio en cuarzitas de la formación «Cuarzita de Criadero» y aparatos volcánicos relacionados con ellos. También se puede reconocer la existencia de una tectónica en pliegues-falla idéntica a la que indicábamos para

la mina de Almadén. El yacimiento de El Entredicho se sitúa en una pequeña estructura sinclinal aislada de la gran estructura denominada como Sinclinal de Almadén; la interpretación estructural del entorno La Panera-El Entredicho se presenta en el esquema de la figura 8.

Como se puede ver en el plano de la figura 7, los dos aparatos volcánicos, cráter de El Entredicho y cráter de La Panera, encajan principalmente en las rocas de las formaciones «Alternancias Superiores» y «Pizarras de Muro». Se han realizado cortes detallados en los bancos de la corta de El Entredicho a través de las «Pizarras de Muro» y los materiales piroclásticos para

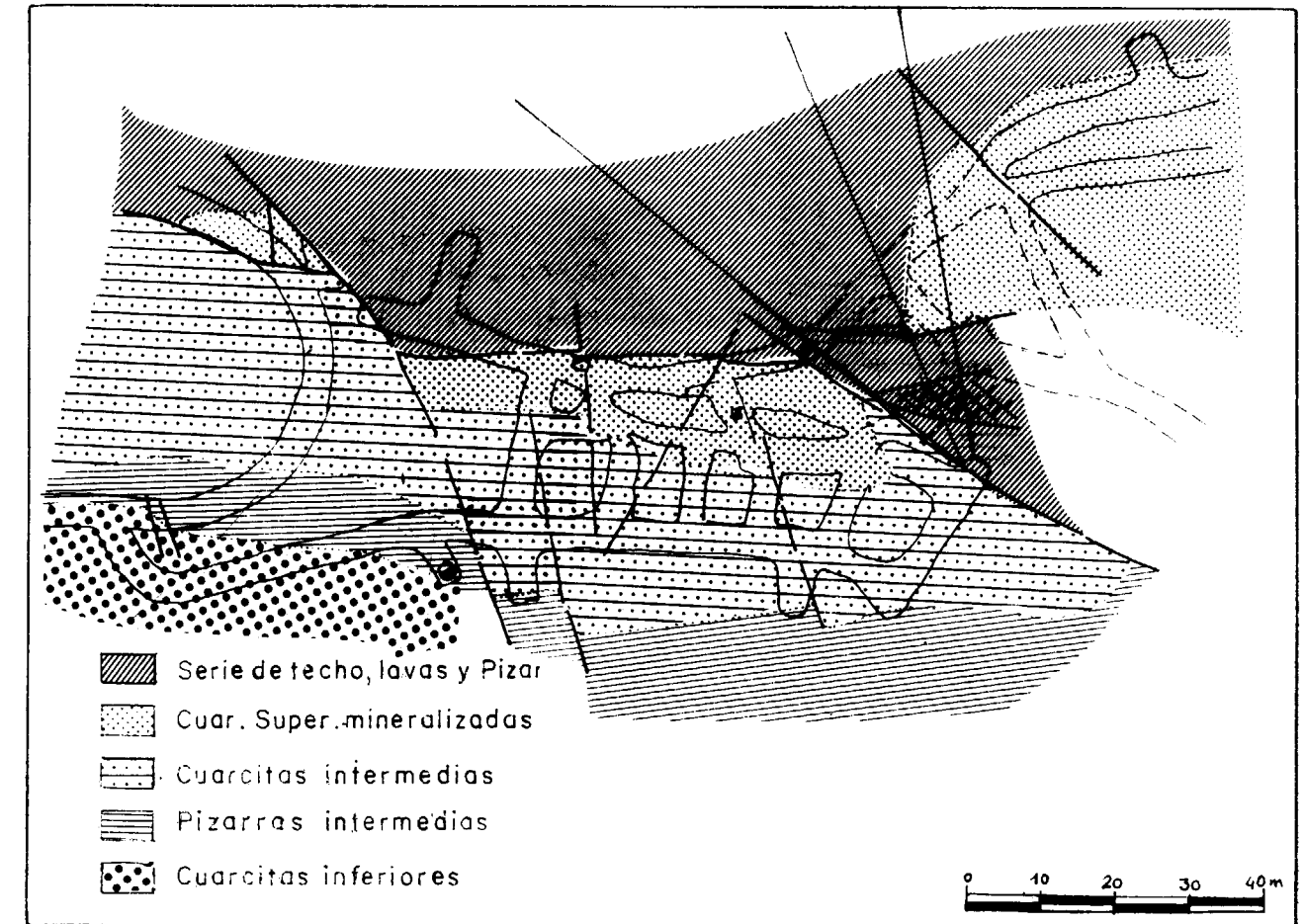


Figura 6.—Esquema geológico de la zona de Poniente en Planta 12 (mina de Almadén), de acuerdo con galerías y sondeos, donde se puede reconocer el tipo de tectónica que ha afectado a la zona.

identificar las facies volcánicas, así como su relación con las pizarras. Se puede destacar que las facies piroclásticas están interestratificadas con las «Pizarras de Muro», pasan lateralmente y de forma gradual a las mismas y solamente cortan a la parte inferior de la «Cuarzita de Criadero». Se han diferenciado cuatro facies que nosotros englobamos en dos pulsaciones volcánicas explosivas:

— La primera la constituyen dos facies: una eminentemente volcánica (foto 1), representada por piroclastos masivos con líticos volcánicos y sedimentarios, frecuentes pumitas, y matriz volcánica, y otra muy bien organizada (foto 2), donde se pueden identificar frecuentes estructuras volcánicas de emplazamiento

y que se localiza a techo de la anterior; en esta segunda facies se identifica perfectamente la estratificación, pudiéndose observar cómo lateralmente pasa a «Pizarras de Muro».

— La segunda pulsación está representada por una gran brecha de explosión con fragmentos heterométricos, donde se pueden reconocer clastos de 1 centímetro a 1 metro cúbico de las facies anteriores (foto 3), cementados por una matriz pizarrosa muy oscura idéntica a las «Pizarras de Muro». Entre estas facies y las otras dos anteriores y en tránsito gradual, se identifica una cuarta facies muy pizarrosa, con esporádicos clastos volcánicos principalmente pumíticos (foto 4), que representa el

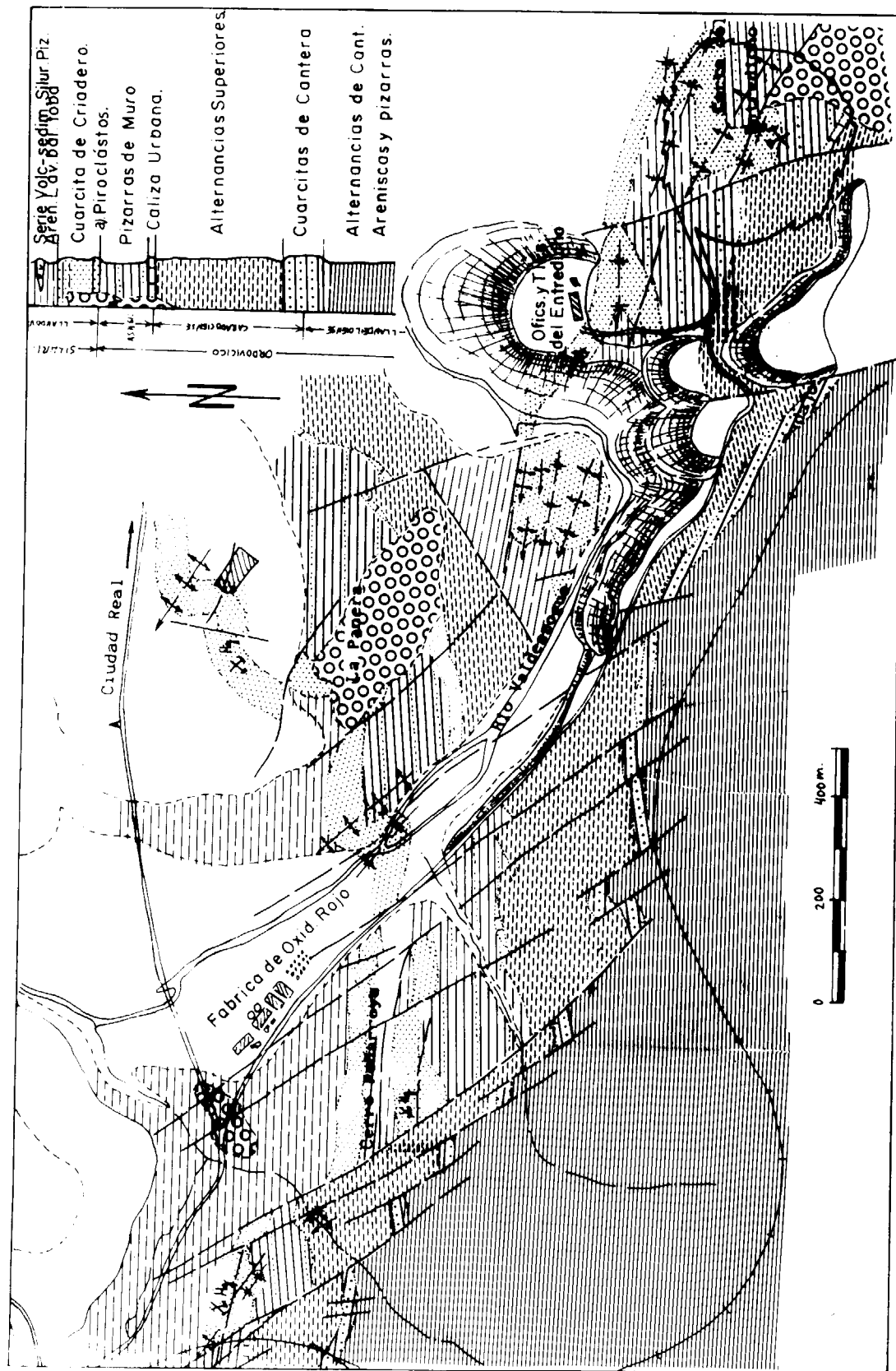


Figura 7.—Plano geológico-minero de la zona El Entredicho La Panera - Cerro Peñarroya.

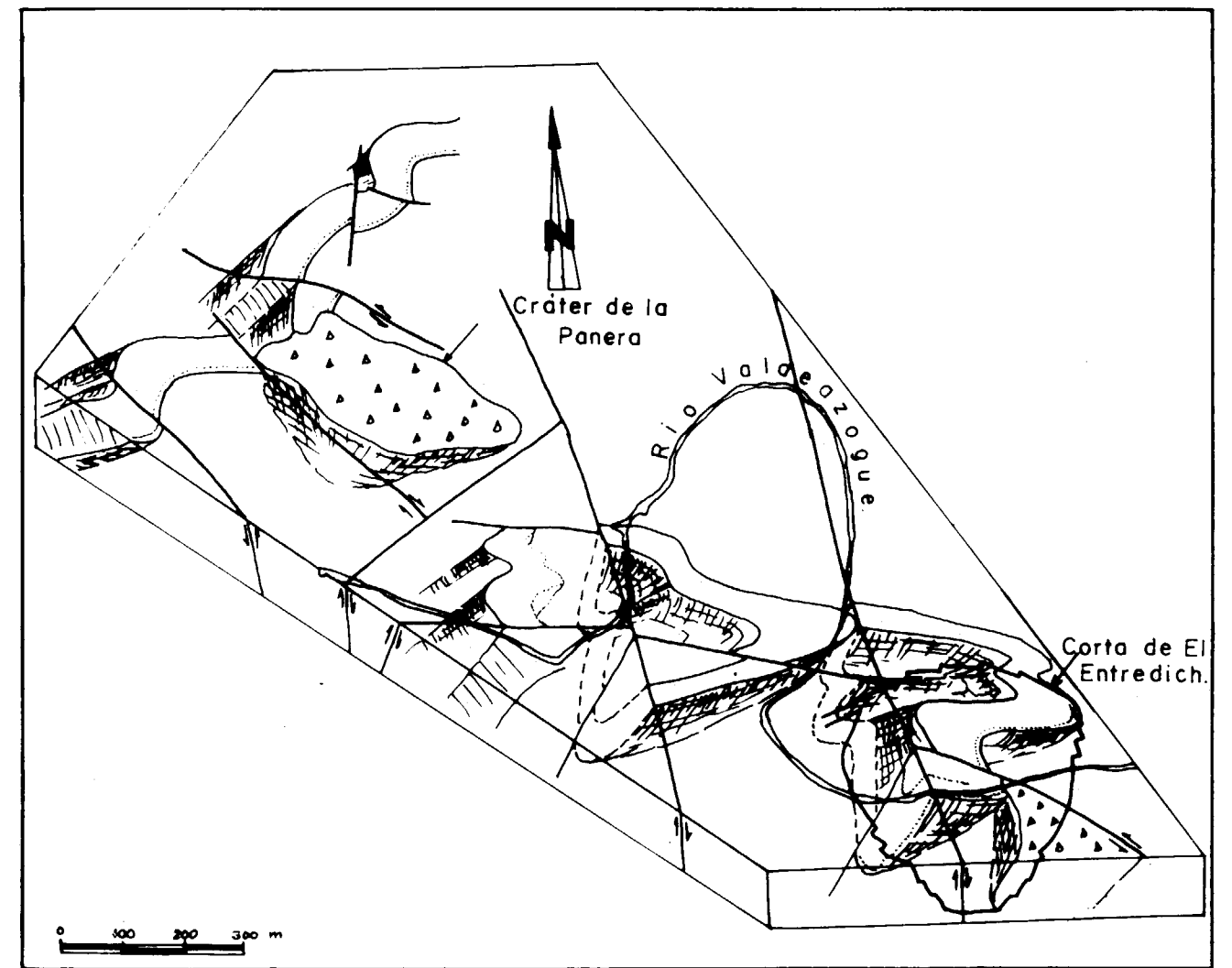


Figura 8.—Esquema geológico-estructural del entorno La Panera - El Entredicho.

período intermedio entre las dos etapas explosivas.

Teniendo en cuenta todos estos datos, nosotros proponemos aquí el esquema genético, para el volcanismo y su relación con la mineralización, que se muestra en la figura 9. En ella se refleja el funcionamiento por etapas del modelo genético propuesto.

En una primera etapa se produce un episodio volcánico explosivo, sincrónico con el depósito de las «Pizarras de Muro». Posteriormente, y tras un período de calma, se ocasiona un segundo evento explosivo que incorpora ya materiales

brechificados del episodio anterior. En este punto la «Cuarcita de Criadero» podría haber comenzado su depósito, que continuaría sincrónicamente con una actividad volcánica lávica, basáltica con xenolitos muy redondeados de rocas ultrabásicas, de origen profundo, ascenso muy rápido y muy rica en fluidos. Es en relación con esta etapa magmática y/o con su actividad hidrotermal tardía cuando se origina el depósito de las mineralizaciones de mercurio que, o bien salen a la cuenca y se depositan conjuntamente con la arenisca, o bien impregnan ésta previamente a su diagénesis.



Foto 1.—Facies masivas de las rocas piroclásticas en la mina de El Entredicho.



Foto 2.—Facies laminadas, donde se observa muy bien la estratificación. Piroclastos de la mina de El Entredicho.

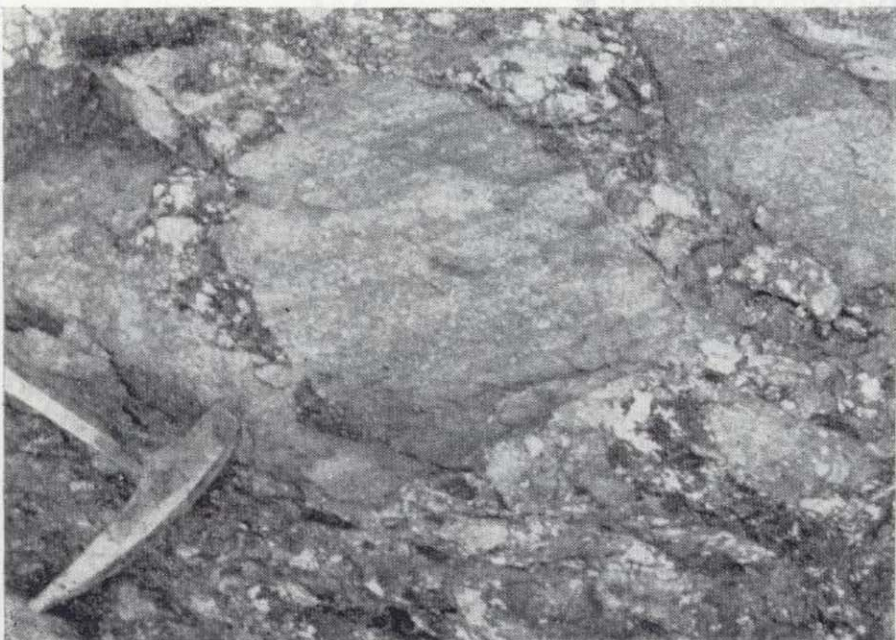


Foto 3.—Facies brechificadas, brecha de explosión. Piroclastos de la mina de El Entredicho.



Foto 4.—Facies pizarrosas, Pizarras de Muro con clastos volcánicos. Mina de El Entredicho.

La hipótesis de que la mineralización está ocasionada por el volcanismo está puesta de manifiesto por el estudio de isótopos de ^{34}S y ^{32}S del cinabrio (CALVO et al., 1974), que demuestra que la mayor parte de éste es de origen ígneo.

3.2. Yacimiento subtipo El Burcio

El único yacimiento conocido, e investigado en detalle, perteneciente a esta tipología, es el de El Burcio - Las Tres Hermanas (HIGUERAS, 1987). Se trata de una serie de pequeñas labores mineras, de edad indeterminada, situadas a unos

1.000 m. al N de la Estación de Almadenejos, y que, al parecer, tenían por objeto investigar una mineralización bastante pobre de cinabrio relacionada con fracturillas en la Cuarcita de Base del Devónico. En esta zona existen varios aparatos volcánicos de material piroclástico, que, a su vez, comportan puntualmente indicios de cinabrio (ver plano geológico figura 10).

Se trata, por tanto, de una mineralización que presenta ciertas semejanzas (encaja en cuarcitas) con la del subtipo Almadén - El Entredicho, de la que se diferencia por la edad de la roca encajante (Devónico en vez de Silúrico), asocia-



Foto 1.—Facies masivas de las rocas piroclásticas en la mina de El Entredicho.



Foto 2.—Facies laminadas, donde se observa muy bien la estratificación. Piroclastos de la mina de El Entredicho.

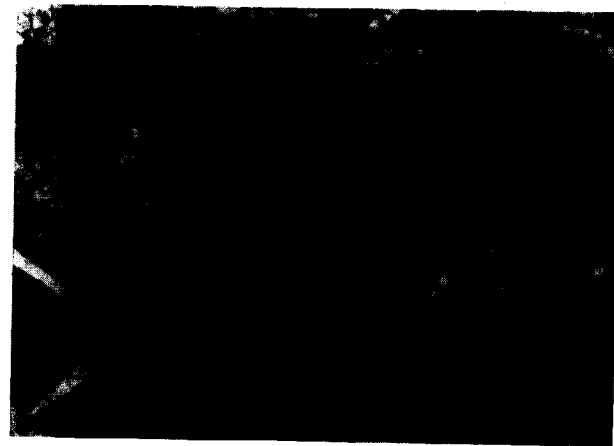


Foto 3.—Facies brechificadas, brecha de explosión. Piroclastos de la mina de El Entredicho.

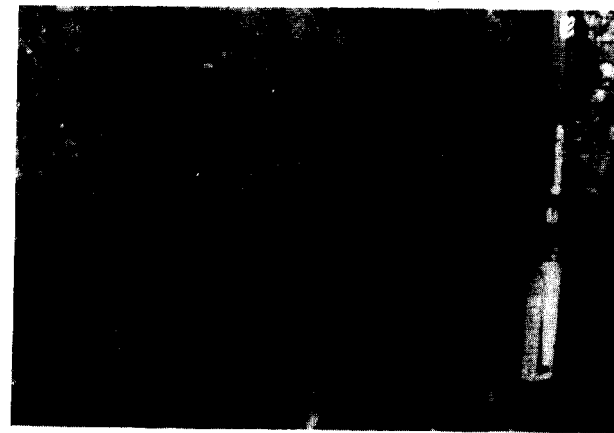


Foto 4.—Facies pizarrosas, Pizarras de Muro con clastos volcánicos. Mina de El Entredicho.

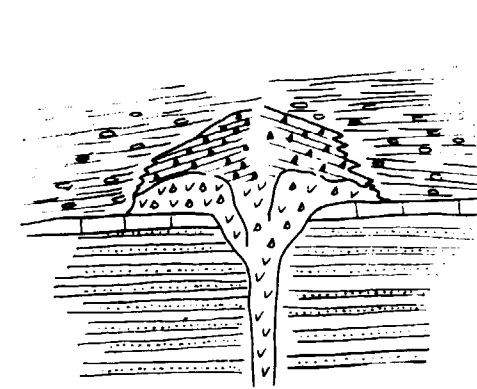
La hipótesis de que la mineralización está ocasionada por el volcanismo está puesta de manifiesto por el estudio de isótopos de ³⁴S y ³²S del cinabrio (CALVO et al., 1974), que demuestra que la mayor parte de éste es de origen ígneo.

3.2. Yacimiento subtipo El Burcio

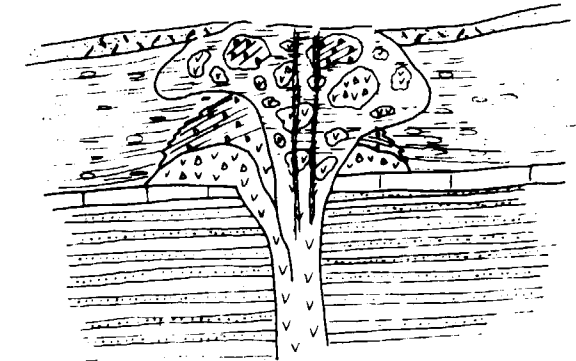
El único yacimiento conocido, e investigado en detalle, perteneciente a esta tipología, es el de El Burcio - Las Tres Hermanas (HIGUERAS, 1987). Se trata de una serie de pequeñas labores mineras, de edad indeterminada, situadas a unos

1.000 m. al N de la Estación de Almadenejos, y que, al parecer, tenían por objeto investigar una mineralización bastante pobre de cinabrio relacionada con fracturillas en la Cuarcita de Base del Devónico. En esta zona existen varios aparatos volcánicos de material piroclástico, que, a su vez, comportan puntualmente indicios de cinabrio (ver plano geológico figura 10).

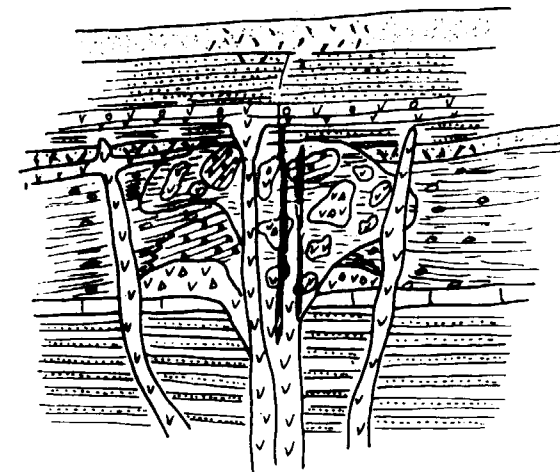
Se trata, por tanto, de una mineralización que presenta ciertas semejanzas (encaja en cuarcitas) con la del subtipo Almadén - El Entredicho, de la que se diferencia por la edad de la roca encajante (Devónico en vez de Silúrico), asocia-



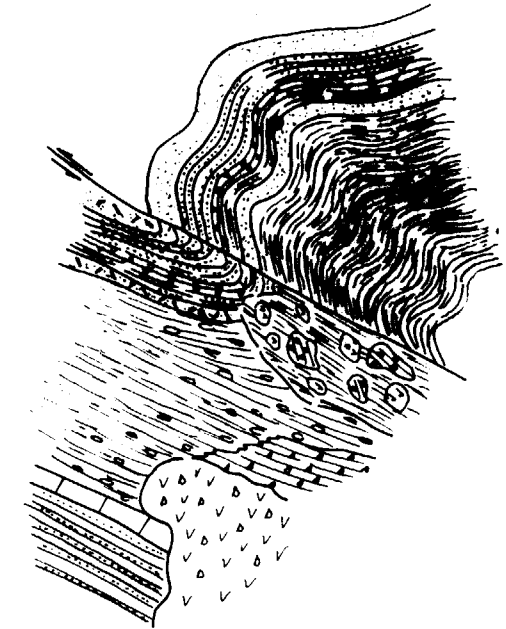
Etapa I.- Primera pulsación Volcánica.



Etapa II.- Segunda pulsación Volcánica y depósito del Banco Inferior - mineralizado.



Etapa III.- Intrusión y/o depósito de coladas y sills de lavas basálticas y Banco Superior mineralizado.



Etapa IV.- Plegamiento. Estado actual de la corta del Entredicho.

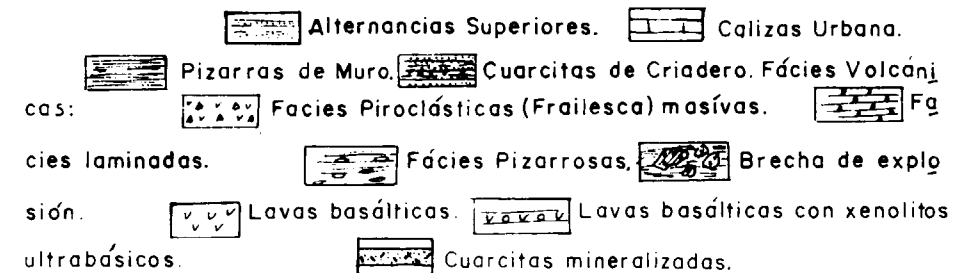


Figura 9.—Modelo genético para los yacimientos de Hg tipo Almarén - El Entredicho.

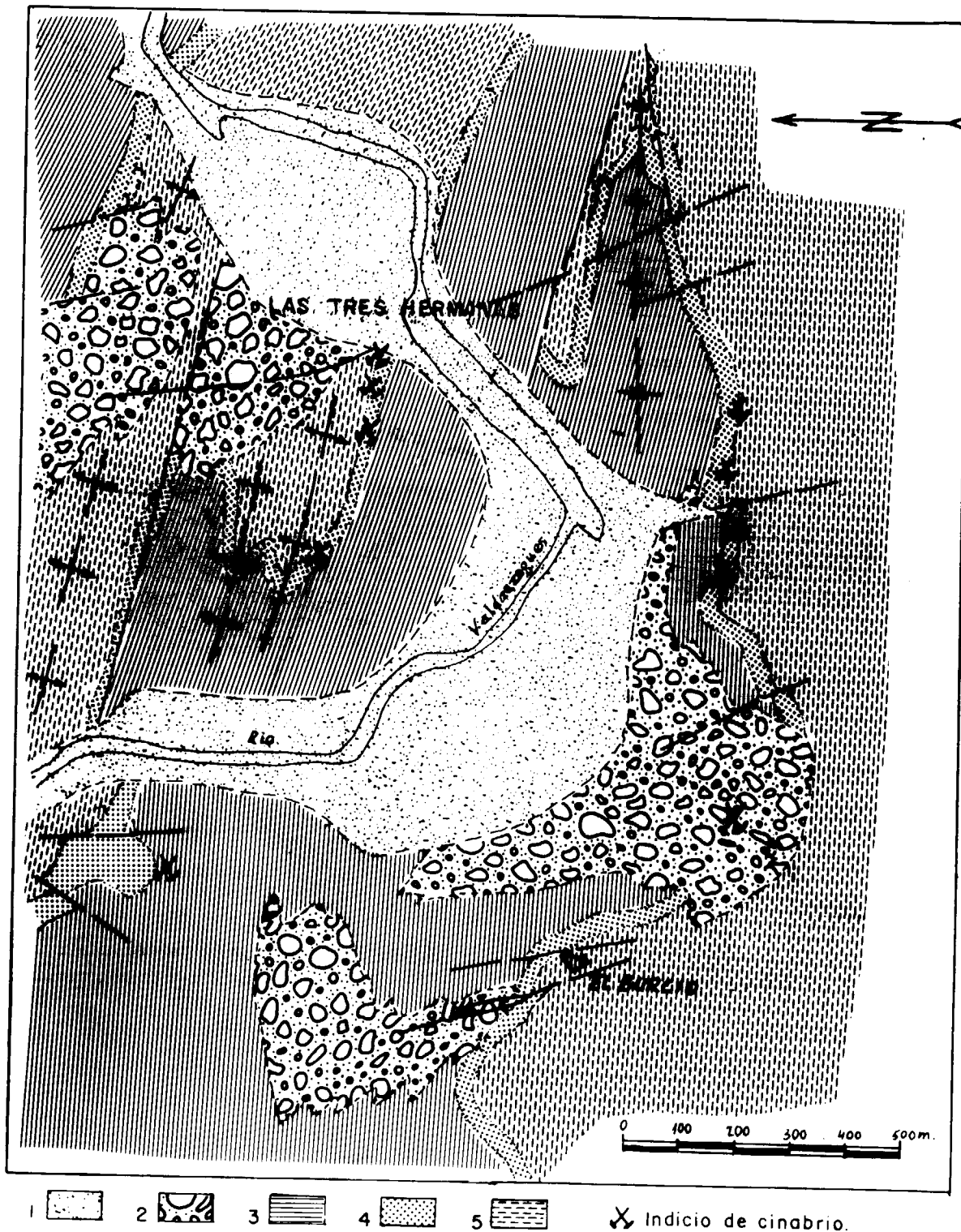


Figura 10. Plano geológico-minero del sector El Burcio-Las Tres Hermanas. 1. Materiales aluviales. 2. Piroclastos tipo trapesca. 3. Devónico, volcanosedimentario. 4. Cuarzita de Base del Devónico. 5. Silúrico, volcano-sedimentario.

ción paragenética (cinabrio, pirita, barita), por volumen y por el hecho de relacionarse exclusivamente con fracturas, sin que se haya detectado, hasta la fecha, mineralización singenética diseminada en la Cuarzita, como es característico en el referido subtipo Almadén.

Los materiales piroclásticos presentes en el área son, como hemos referido, similares a los de Almadén y El Entredicho, cortando claramente a la Cuarzita de Base al menos al S del área de estudio.

Es en este área, y en proximidad de la «Cuarzita de Base», donde se han reconocido pintas de cinabrio en los piroclastos, aparentemente relacionadas con la alteración tardi a postmagmática de la roca, que comporta carbonatación (ferrodolomita, fundamentalmente), cloritización y silicificación (foto 5).

El esquema genético podría ser, por tanto, similar al establecido para los yacimientos de Almadén y El Entredicho, si bien al producirse la actividad volcánica con posterioridad a la sedimentación, y posiblemente litificación de la Cuarzita de Base, las soluciones mineralizadoras ligadas al volcanismo explosivo, con toda probabilidad, también menos abundantes que en el Silúrico, se introducirían en la cuarzita a través de fracturas, produciendo el depósito de la mineralización que conocemos, en la que es característica la asociación paragenética cinabrio-pirita-barita (foto 6).



Foto 5.—Piroclastos de El Burcio, mineralizados. Cinabrio.

3.3. Yacimientos subtipo Guadalperal

El indicio que da nombre a este subtipo se sitúa en el paraje denominado de Guadalperal, a unos 8 kilómetros al este de Almadén y 4 kilómetros al norte de Almanedijos. Lo constituye una pequeña labor minera que fue explotada en época romana como lo demuestran los restos arqueológicos encontrados por ALMELA et al. (1962). Encaja en la serie volcano-sedimentaria del Devónico Superior (fig. 3), y concretamente en su horizonte de lavas basálticas (HERNANDEZ, 1984).

En el plano de la figura 11 se presenta la geología del entorno de la mineralización, junto con una pequeña columna estratigráfica con la localización del yacimiento, que se sitúa en el flanco Norte de una pequeña estructura anticlinal de arrastre de la gran estructura que es el Sinclinal de Almadén.

La mineralización está relacionada con un paquete de volcanitas básicas. Dos facies pueden distinguirse: lavas y piroclastos (epiclásticas) de coloración de rojo oscuro a morado debido a los óxidos de Fe (hematites) producto de alteración, en la etapa postmagmática, de la magnetita primaria de la roca. La metalización se ha ocasionado en la etapa tardimagmática y queda registrada en la roca por una alteración hidrotermal ocasionada por los fluidos residuales, que depositarían cinabrio, sílice (en forma de jaspe), clorita y carbonatos (foto 7).

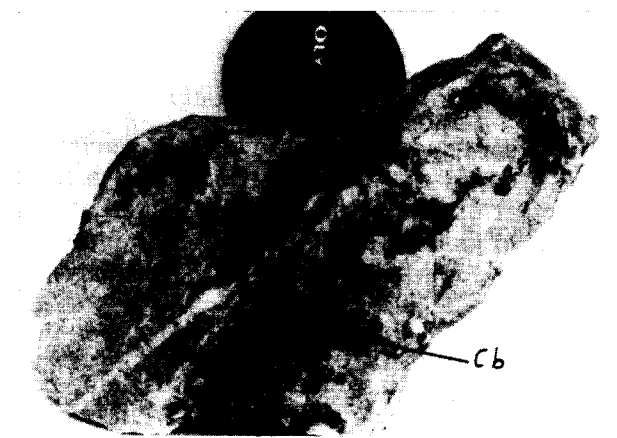


Foto 6.—Cuarzita de Base mineralizada. Fracturas rellenas de cinabrio y barita. El Burcio - Las Tres Hermanas.

ción paragenética (cinabrio, pirita, barita), por volumen y por el hecho de relacionarse exclusivamente con fracturas, sin que se haya detectado, hasta la fecha, mineralización singenética diseminada en la Cuarcita, como es característico en el referido subtipo Almadén.

Los materiales piroclásticos presentes en el área son, como hemos referido, similares a los de Almadén y El Entredicho, cortando claramente a la Cuarcita de Base al menos al S del área de estudio.

Es en este área, y en proximidad de la «Cuarcita de Base», donde se han reconocido pintas de cinabrio en los piroclastos, aparentemente relacionadas con la alteración tardi a postmagmática de la roca, que comporta carbonatación (ferrodolomita, fundamentalmente), cloritización y silicificación (foto 5).

El esquema genético podría ser, por tanto, similar al establecido para los yacimientos de Almadén y El Entredicho, si bien al producirse la actividad volcánica con posterioridad a la sedimentación, y posiblemente litificación de la Cuarcita de Base, las soluciones mineralizadoras ligadas al volcanismo explosivo, con toda probabilidad, también menos abundantes que en el Silúrico, se introducirían en la cuarcita a través de fracturas, produciendo el depósito de la mineralización que conocemos, en la que es característica la asociación paragenética cinabrio-pirita-barita (foto 6).

3.3. Yacimientos subtipo Guadalperal

El indicio que da nombre a este subtipo se sitúa en el paraje denominado de Guadalperal, a unos 8 kilómetros al este de Almadén y 4 kilómetros al norte de Almanedijos. Lo constituye una pequeña labor minera que fue explotada en época romana como lo demuestran los restos arqueológicos encontrados por ALMELA et al. (1962). Encaja en la serie volcano-sedimentaria del Devónico Superior (fig. 3), y concretamente en su horizonte de lavas basálticas (HERNANDEZ, 1984).

En el plano de la figura 11 se presenta la geología del entorno de la mineralización, junto con una pequeña columna estratigráfica con la localización del yacimiento, que se sitúa en el flanco Norte de una pequeña estructura anticlinal de arrastre de la gran estructura que es el Sinclinal de Almadén.

La mineralización está relacionada con un paquete de volcanitas básicas. Dos facies pueden distinguirse: lavas y piroclastos (epiclásticas) de coloración de rojo oscuro a morado debido a los óxidos de Fe (hematites) producto de alteración, en la etapa postmagmática, de la magnetita primaria de la roca. La metalización se ha ocasionado en la etapa tardimagmática y queda registrada en la roca por una alteración hidrotermal ocasionada por los fluidos residuales, que depositarían cinabrio, sílice (en forma de jaspe), clorita y carbonatos (foto 7).

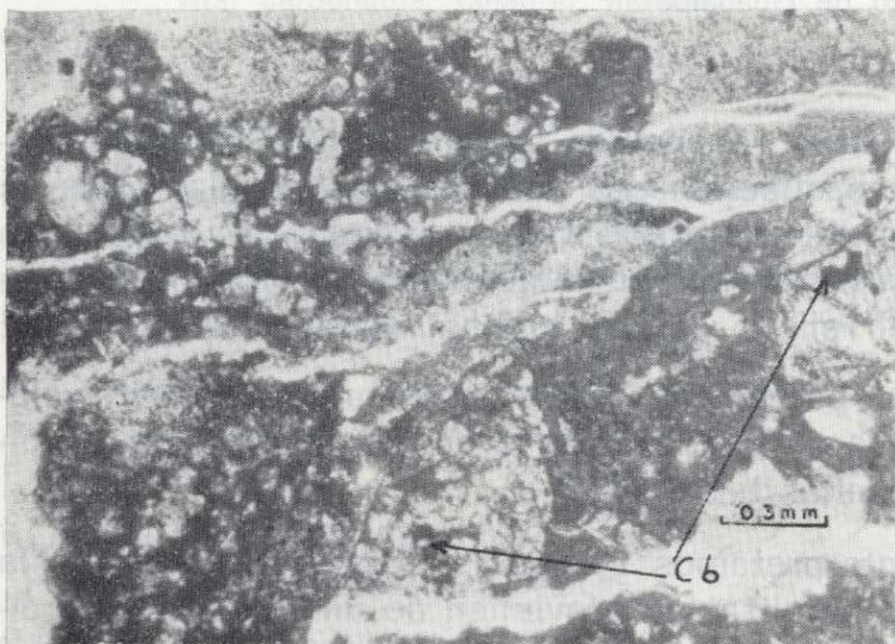


Foto 5.—Piroclastos de El Burcio, mineralizados. Cinabrio.

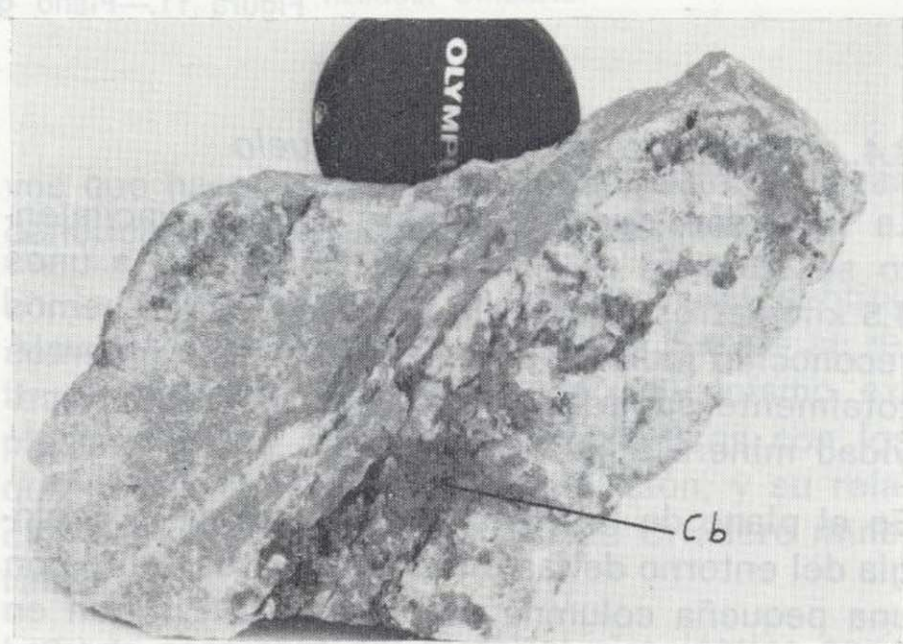


Foto 6.—Cuarcita de Base mineralizada. Fracturas rellenas de cinabrio y barita. El Burcio - Las Tres Hermanas.

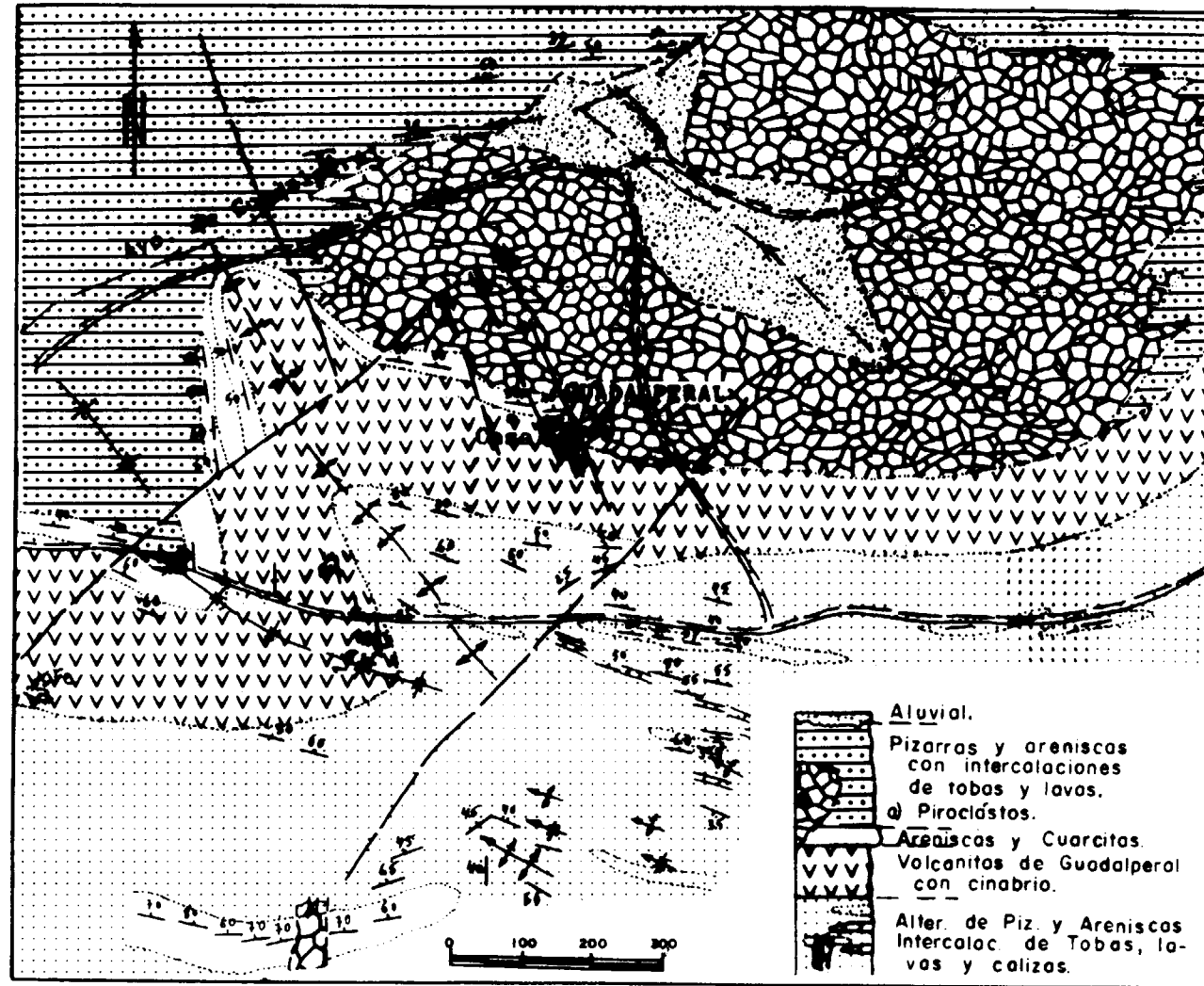


Figura 11.—Plano geológico de Guadalperal.

3.4. Yacimientos subtipo Corchuelo

La localidad que da nombre a este yacimiento se sitúa en el Arroyo de Corchuelo, a unos 4,5 kilómetros al este de Almadén, donde hemos reconocido indicios de cinabrio en afloramientos totalmente superficiales, que no presentan actividad minera alguna.

En el plano de la figura 12 se muestra la geología del entorno de las mineralizaciones, junto con una pequeña columna estratigráfica. Encajan en el techo de la Serie volcano-sedimentaria del Devónico Superior, justo en el núcleo del Sinclinal de Almadén.

Hemos reconocido tres formas de mineralizaciones: diseminadas y relleno de vacuolas en lavas basálticas (fotos 8 y 9), diseminada y relleno de vacuolas en piroclastos (foto 10) y constituyendo el relleno de una brecha tectónica (foto 11).

La paragénesis incluye cinabrio, carbonato, clorita y sílice, encajando en todos los casos en volcanitas básicas.

Interpretamos que los fluidos portadores de la mineralización provienen de un remanente tardimagmático que rellena las cavidades intergranulares y vacuolas, a la vez que ocasiona una autoalteración en la roca.



Foto 7.—Volcanitas de Guadalperal mineralizadas.



Foto 8.—Lavas basálticas con cinabrio diseminado y relleno de vacuolas. Corchuelo.



Foto 9.—Vacuola en volcanita de Corchuelo rellena de clorita, carbonatos, cinabrio y sílice.



Foto 10.—Piroclastos de Corchuelo, vesiculados y mineralizados. Cinabrio.

El cinabrio que rellena fracturillas, acompañado de sílice y carbonatos, se puede deber a removilización tectónica de la mineralización primaria.

IV. SINTESIS Y DISCUSION DE LOS DATOS APORTADOS

La investigación reciente de yacimientos de mercurio en el distrito minero de Almadén ha permitido poner de manifiesto una serie de datos nue-

vos que hacen cambiar en buena parte las ideas genéticas anteriores sobre los mismos.

En lo referente a los yacimientos del subtipo Almadén - El Entredicho, los datos nuevos se refieren a la caracterización del volcanismo explosivo de los materiales piroclásticos con los que se relacionaría la mineralización, y su relación temporal con la Cuarcita de Criadero mineralizada.

La roca encajante del material piroclástico sería fundamentalmente la serie de pizarras de muro. Sólo en algún punto este episodio explosivo pue-

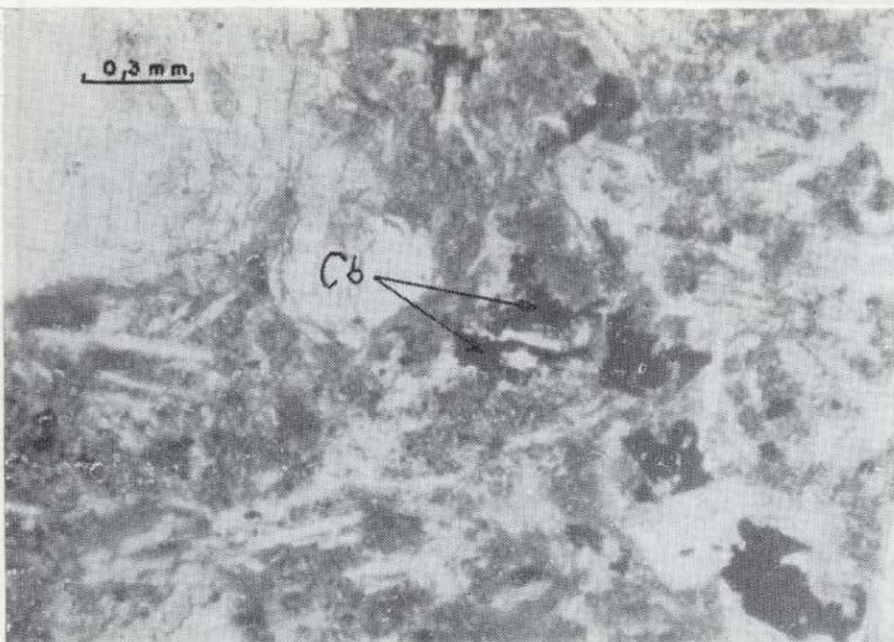


Foto 7.—Volcanitas de Guadalperal mineralizadas.

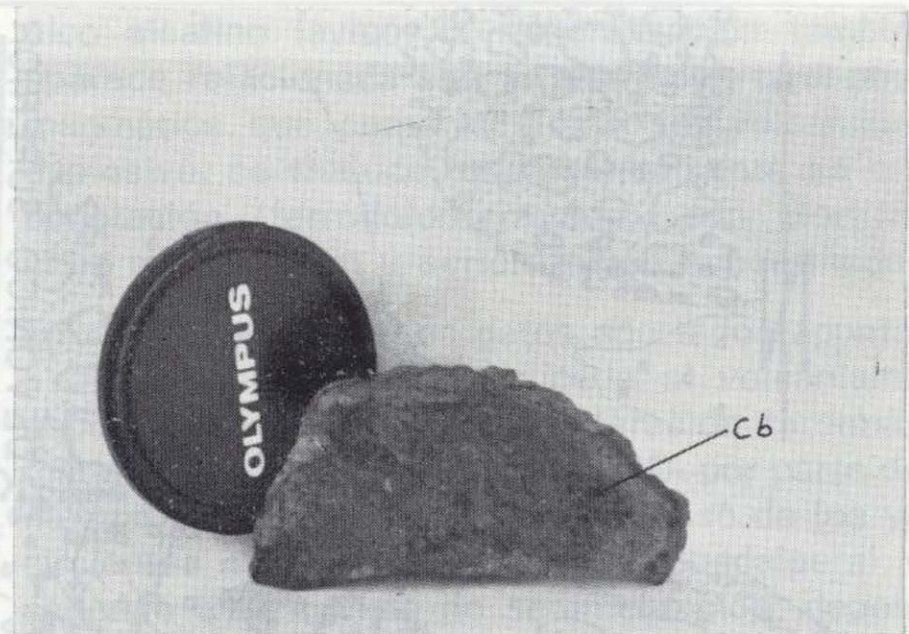


Foto 8.—Lavas basálticas con cinabrio diseminado y rellenando vacuolas. Corchuelo.

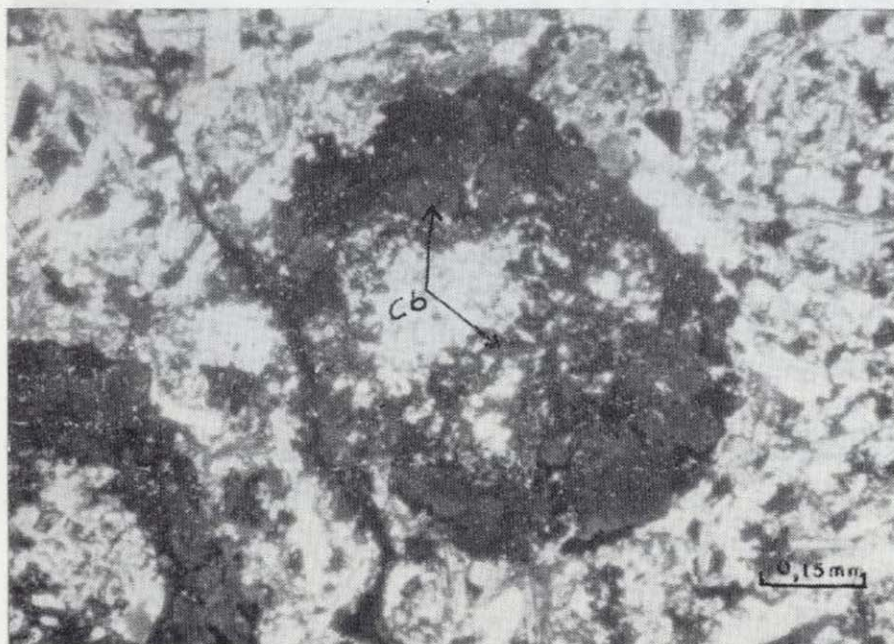


Foto 9.—Vacuola en volcanita de Corchuelo rellena de clorita, carbonatos, cinabrio y sílice.

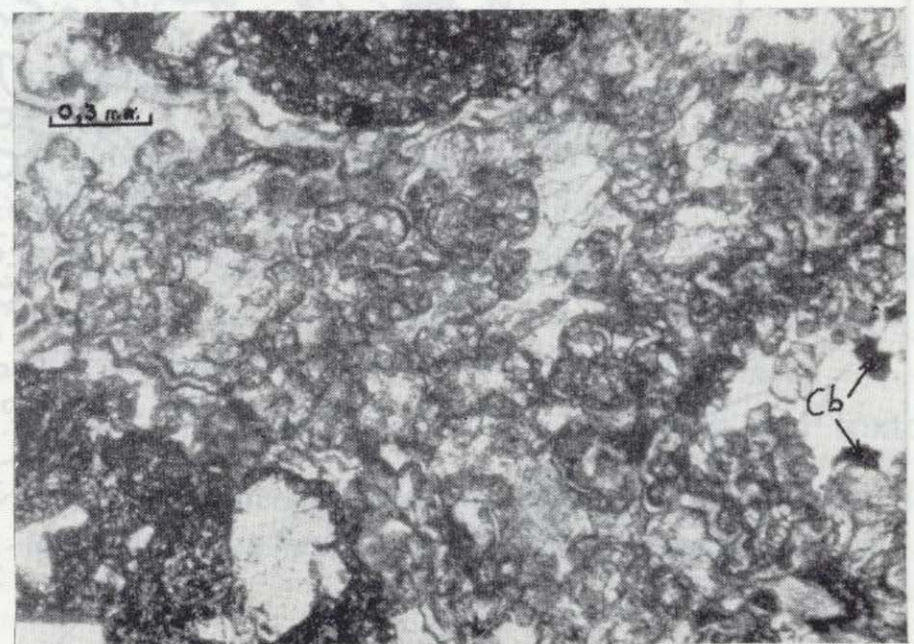


Foto 10.—Piroclastos de Corchuelo, vesiculados y mineralizados. Cinabrio.

El cinabrio que rellena fracturillas, acompañado de sílice y carbonatos, se puede deber a removilización tectónica de la mineralización primaria.

IV. SINTESIS Y DISCUSION DE LOS DATOS APORTADOS

La investigación reciente de yacimientos de mercurio en el distrito minero de Almadén ha permitido poner de manifiesto una serie de datos nue-

vos que hacen cambiar en buena parte las ideas genéticas anteriores sobre los mismos.

En lo referente a los yacimientos del subtipo Almadén - El Entredicho, los datos nuevos se refieren a la caracterización del volcanismo explosivo de los materiales piroclásticos con los que se relacionaría la mineralización, y su relación temporal con la Cuarcita de Criadero mineralizada.

La roca encajante del material piroclástico sería fundamentalmente la serie de pizarras de muro. Sólo en algún punto este episodio explosivo pue-

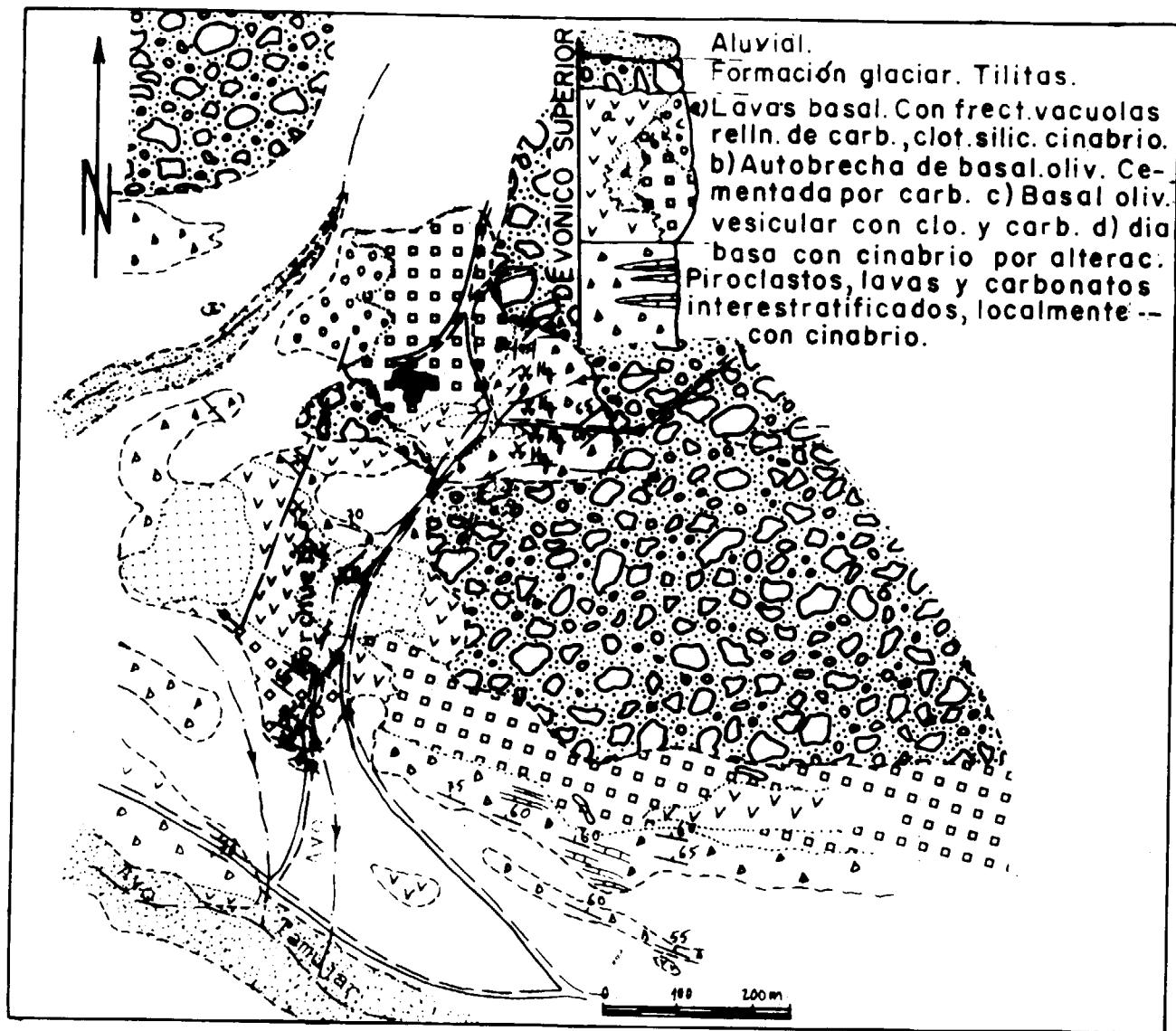


Figura 12.—Plano geológico-minero del sector de Corchuelo.

de llegar a cortar a las Cuarcitas de Criadero, ya que, cuando aparentemente esto ocurre (Mina de Almadén), los contactos son mecánicos.

La roca piroclástica está afectada, con carácter general, por un proceso de alteración que incluye carbonatación (con ferrodolomita como carbonato mayoritario, casi exclusivo), cloritización, silicificación y sericitización, siendo el proceso más extendido, con diferencia, el primero. Esta alteración sería tardi-postmagmática e indicaría un contenido del magma en CO_2 muy elevado,

que se combinaría con Mg y Fe de la propia roca volcánica básica para formar la ferrodolomita. Los datos isotópicos de EICHMANN et al. (1977), referidos a C y O de estos carbonatos, indicarían un origen hipogénico para los mismos, apoyando esta interpretación.

El volcanismo explosivo incluye facies masivas, laminadas y retrabajadas, que se podrían haber formado como consecuencia de dos tipos de procesos diferentes: hidromagmático o liberación súbita de CO_2 en el proceso de ascensión del



Foto 11.—Lavas basálticas brechificadas y mineralizadas. Carbonatos, cuarzo y cinabrio.

magma. Los datos anteriores, referentes a la mineralogía del proceso de alteración, apuntan en favor de la segunda posibilidad.

En los yacimientos del subtipo El Burcio se ha puesto de manifiesto que la mineralización actualmente reconocible encaja en fracturas en la «Cuarcita de Base» del Devónico, en la proximidad de cráteres de materiales piroclásticos que en este caso sí cortan a la cuarcita. No podemos saber si los fluidos mineralizadores que suceden al volcanismo explosivo serían más pobres en cinabrio que en el caso de los yacimientos subtipo Almadén - El Entredicho, o si los fluidos que llegasen a la cuenca, en un medio más profundo que el representado por la Cuarcita de Criadero, se perderían en la misma.

En los yacimientos de los subtipos Guadalperal y Corchuelo, relacionados con un volcanismo bá-

sico alcalino lávico, la mineralización también aparece relacionada con la alteración tardi-postmagmática, que, como en el caso del volcanismo explosivo, se traduce fundamentalmente en carbonatación (ferrodolomitización), con cloritización, silicificación y sericitización subordinadas.

En definitiva, todos los datos aportados apuntan a que la mineralización sucede al volcanismo, asociándose al proceso de alteración tardimagmático ligado a la liberación de CO_2 por parte del magma originario basáltico en el caso de los yacimientos subtipos Corchuelo y Guadalperal, o saliendo a la cuenca de sedimentación, depositándose junto con materiales detríticos, arenosos, o impregnando estos materiales aún no litificados, en el caso de los de subtipo Almadén El Entredicho.

V. AGRADECIMIENTOS

A Minas de Almadén y Arrayanes, S. A., por su permiso para publicar estos datos.

A Phil Westerhof, por su aliento en la publicación de este artículo, por su lectura y crítica, y por su amable traducción del resumen.

A Julia Montes, por la mecanografía del texto.

A Carlos Ferrera Moreno, por la delineación de los dibujos y esquemas geológicos.

REFERENCIAS

- ALMELA, A.; ALVARADO, M.; COMA, E.; FELGUEROSO, C., y QUINTERO, I. (1962): *Estudio geológico de la región de Almadén*. Bol. Inst. Geol. Min. Esp., t. 73, pp. 193-327.
- AGUILAR TOMAS, M. J.; BABIANO GONZALEZ, F.; COLLAUT SAENZ DE SICILIA, J. L.; VILLOTA LACORT, J.; GARCIA SANSEGUNDO, J.; LORENZO ALVAREZ, S.; MARTINEZ RIUS, S., y VERGES MASSIP, J. (1985): *Hoja MAGNA de Almadén*.
- BARRANCO SERRANO, E.; GARCIA SANSEGUNDO, J.; LORENZO ALVAREZ, S.; MARTINEZ RIUS, A.; SOLDEVILLA BARTOLI, J.; VAZQUEZ DE LA TORRE CASINELO, J.; VERGES MASSIP, J., y VIDAL FUNEZ, A. (1983): *Hoja MAGNA de Siruela*.
- BENET, R., in MAYASA (1986): *Proyecto de exploración sistemática coordinada de las Zonas de Reserva «Hespérica», «Valdelacasa», «Alcudia» y «Guadalupe»*.
- BLANCHERE, H. (1978): *Etude Geologique et Miniere de la région de Chillón - El Borracho (Synclinal d'Almadén). Ciudad Real/Espagne*. These Universitaire de Paris-Sud.

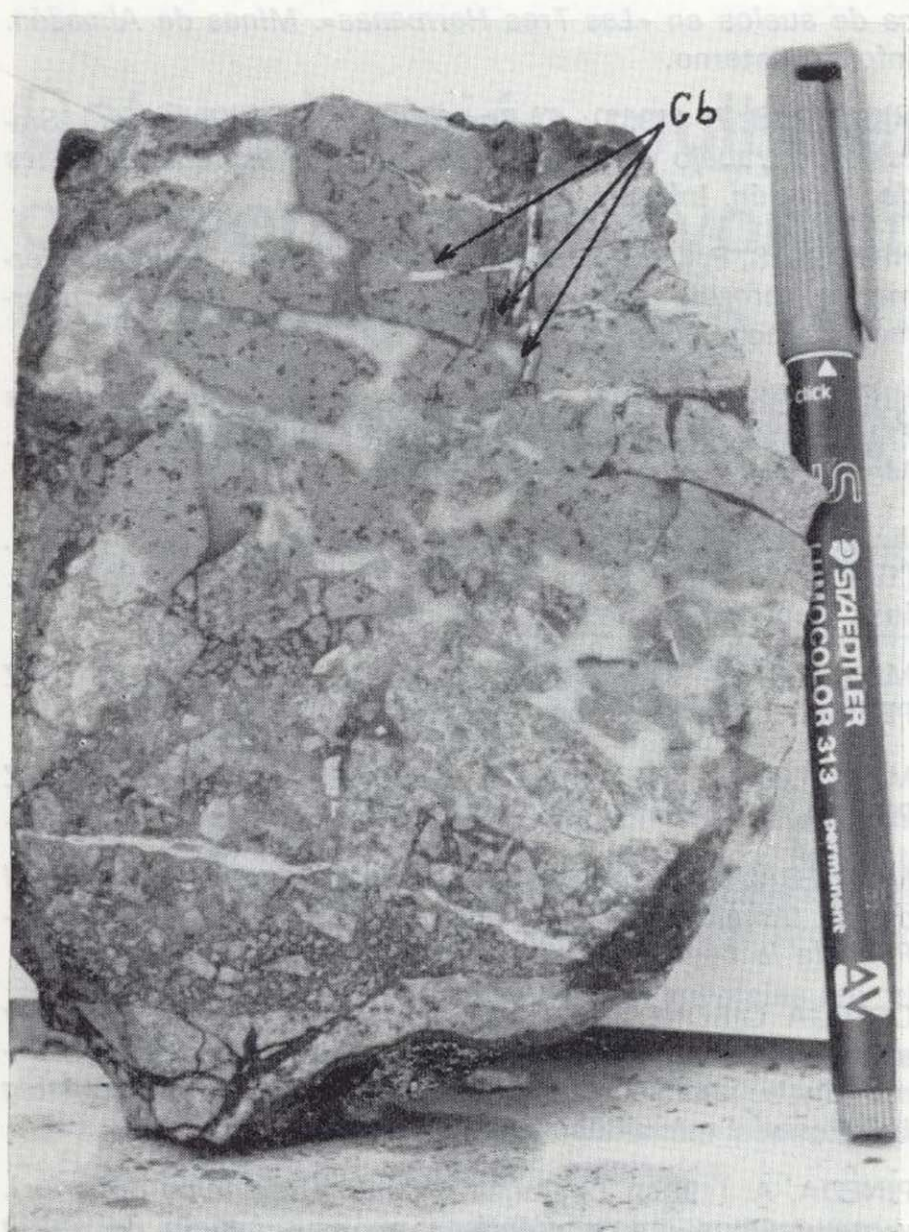


Foto 11.—Lavas basálticas brechificadas y mineralizadas. Carbonatos, cuarzo y cinabrio.

magma. Los datos anteriores, referentes a la mineralogía del proceso de alteración, apuntan en favor de la segunda posibilidad.

En los yacimientos del subtipo El Burcio se ha puesto de manifiesto que la mineralización actualmente reconocible encaja en fracturas en la «Cuarcita de Base» del Devónico, en la proximidad de cráteres de materiales piroclásticos que en este caso sí cortan a la cuarcita. No podemos saber si los fluidos mineralizadores que suceden al vulcanismo explosivo serían más pobres en cinabrio que en el caso de los yacimientos subtipo Almadén - El Entredicho, o si los fluidos que llegasen a la cuenca, en un medio más profundo que el representado por la Cuarcita de Criadero, se perderían en la misma.

En los yacimientos de los subtipos Guadalperal y Corchuelo, relacionados con un vulcanismo bá-

sico alcalino lávico, la mineralización también aparece relacionada con la alteración tardi-post-magmática, que, como en el caso del vulcanismo explosivo, se traduce fundamentalmente en carbonatación (ferrodolomitización), con cloritización, silicificación y sericitización subordinadas.

En definitiva, todos los datos aportados apuntan a que la mineralización sucede al vulcanismo, asociándose al proceso de alteración tardimagmático ligado a la liberación de CO₂ por parte del magma originario basáltico en el caso de los yacimientos subtipos Corchuelo y Guadalperal, o saliendo a la cuenca de sedimentación, depositándose junto con materiales detríticos, arenosos, o impregnando estos materiales aún no litificados, en el caso de los de subtipo Almadén El Entredicho.

V. AGRADECIMIENTOS

A Minas de Almadén y Arrayanes, S. A., por su permiso para publicar estos datos.

A Phil Westerhof, por su aliento en la publicación de este artículo, por su lectura y crítica, y por su amable traducción del resumen.

A Julia Montes, por la mecanografía del texto.

A Carlos Ferrera Moreno, por la delineación de los dibujos y esquemas geológicos.

REFERENCIAS

ALMELA, A.; ALVARADO, M.; COMA, E.; FELGUEROSO, C., y QUINTERO, I. (1962): *Estudio geológico de la región de Almadén*. Bol. Inst. Geol. Min. Esp., t. 73, pp. 193-327.

AGUILAR TOMAS, M. J.; BABIANO GONZALEZ, F.; COLLAUT SAENZ DE SICILIA, J. L.; VILLOTA LACORT, J.; GARCIA SANSEGUNDO, J.; LORENZO ALVAREZ, S.; MARTINEZ RIUS, S., y VERGES MASSIP, J. (1985): *Hoja MAGNA de Almadén*.

BARRANCO SERRANO, E.; GARCIA SANSEGUNDO, J.; LORENZO ALVAREZ, S.; MARTINEZ RIUS, A.; SOLDEVILLA BARTOLI, J.; VAZQUEZ DE LA TORRE CASINELO, J.; VERGES MASSIP, J., y VIDAL FUNEZ, A. (1983): *Hoja MAGNA de Siruela*.

BENET, R., in MAYASA (1986): *Proyecto de exploración sistemática coordinada de las Zonas de Reserva «Hespérica», «Valdelacasa», «Alcudia» y «Guadalupe»*.

BLANCHERE, H. (1978): *Etude Geologique et Minière de la région de Chillón - El Borracho (Synclinal d'Almadén)*. Ciudad Real/Espagne. These Universitaire de Paris-Sud.

BORRERO, J. (1985): *Informe geológico-minero del sector Arroyo de la Canaleja - Charco-Hondo, Minas de Almadén*. Informe interno.

BORRERO, J., y MONTEERRUBIO, S. (1986): *Propuesta de realización de trabajos para investigación de mercurio en el Sinclinal de Almadén, Minas de Almadén*. Informe interno.

BORRERO, J. (1986): *Propuesta de realización de Campaña de Sondeos Mecánicos en Guadalperal, Minas de Almadén*. Informe interno.

BORRERO, J. (1987): *Propuesta de investigación mediante sondeos mecánicos de la zona «Cerro Peñarroya - La Pañera»*. Minas de Almadén. Informe interno.

BORRERO, J. (1988): *Continuación occidental del Sinclinal de Almadén. Reconocimiento geológico-minero en busca de zonas de interés para mercurio, Minas de Almadén*. Informe interno.

BORRERO, J. (1988): *Informe geológico-minero de las mineralizaciones de Hg de Corchuelo. Propuesta de continuación de trabajos, Minas de Almadén*. Informe interno.

BUTLER, R. W. H. (1982): *The terminology of structures in thrust belts*. Journal of Structural Geology, vol. 4, n. 3, pp. 239-245.

CALVO, F. A., y GUILMANY, J. M. (1974): *Mineralogénesis del mineral de mercurio de Almadén*. I Congr. Int. de Merc., t. I, pp. 189-200.

CRESPO, J. L.; BORRERO, J., y HIGUERAS, P. (1987): *Investigación mediante sondeos mecánicos de la zona de Poniente de la mina de Almadén, Minas de Almadén*. Informe interno.

CRESPO, J. L.; BORRERO, J., y HIGUERAS, P. (1987): *Trabajos realizados en la mina de Almadén, Minas de Almadén*. Informe interno.

EICHMANN, R.; SAUPE, F., y SCHIDLOWSKI, M. (1977): *Carbon and Oxygen Isotope Studies in Rocks of the Vicinity of the Almadén Mercury Deposit (Province of Ciudad Real, Spain)*. In: KLEMM, D. D., and SCHNEIDER, H. J.: *Time and strata bound Ore deposits*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.

FERNANDEZ CARRASCO, J.; MARTINEZ RIUS, A.; MOLINA CAMARA, J. M.; VERGES MASSIP, J., y VIDAL FUNES, A. (1983): *Hoja MAGNA de Valdemanco del Esteras*.

HERNANDEZ SOBRINO, A. M. (1984): *Estructura y génesis de los yacimientos de mercurio de la zona de Almadén*. Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca.

HIGUERAS, P. (1987): *Propuesta de trabajos de geoquímica*

de suelos en «Las Tres Hermanas». Minas de Almadén. Informe interno.

HIGUERAS, P. (1987): *El Burcio - Las Tres Hermanas. Síntesis de trabajo y propuesta de sondeos mecánicos, Minas de Almadén*. Informe interno.

HIGUERAS, P. (1987): *Sondeos en El Burcio - Las Tres Hermanas. Informe de Resultados, Minas de Almadén*. Informe interno.

HIGUERAS, P. (1987): *Sondeos mecánicos realizados en las Plantas 12 y 9, Minas de Almadén. Informe de resultados, Minas de Almadén*. Informe interno.

JULIVERT, M.; FONTBOTE, J. M.; RIBEIRO, A., y CONDE, L. (1974): *Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares*. Inst. Geol. y Min. de Esp., 113 pp.

MIRA LOPEZ, M.; ORTEGA GIRONES, E., y RODRIGUEZ PEVIDA, L. (1983): *Hoja MAGNA de San Benito*.

MIRA LOPEZ, M.; ORTEGA GIRONES, E., y RODRIGUEZ PEVIDA, L. (1984): *Hoja MAGNA de Hinojosa del Duque*.

MONTEERRUBIO, S. (1987): *Informe sobre el estado actual de los trabajos en el Proyecto de investigación Almadén - Pilar de la Legua, Minas de Almadén*. Informe interno.

ORTEGA GIRONES, E. (1986): *Introduction to the Geology and metallogeny of the Almadén Area, Centro-Iberian Zone, Spain. 2nd European Workshop on remote sensing in Mineral Exploration*. EEC, Brussels.

PINEDA, A. (1987): *La Caliza Urbana (Ordovícico Superior), y sus tramos volcánoclasticos en el subsuelo del norte de El Centenillo (Jaén)*. Bol. Geol. Minero, t. 98-VI, pp. 54-67.

ROIZ, J. M. (1979): *La estructura y sedimentación hercínica, en especial del Precámbrico Superior, en la región de Ciudad Real - Puertollano*. Tesis Univ. Compl. de Madrid, 236 pp.

SAUPE, F. (1973): *La géologie du gisement du mercure d'Almadén (Province de Ciudad Real, Espagne)*. These Sci. de La Terre. Mem., 342 pp.

SOLDEVILLA, J. (1982): *Estudio geológico estructural de la terminación occidental del Sinclinal de Almadén*. Tesis de Licenciatura. Univ. Autónoma. Barcelona.

TAMAIN, G. (1973): *Recherches géologiques et minières en Sierra Morena Oriental*. Thesis Univ. Paris-Sud, 648 pp.

VERGES, J. (1980): *Estudio del Complejo volcano-sedimentario del Devónico Superior y de la estructura de la Terminación Oriental del Sinclinal de Almadén*. Tesis de Licenciatura. Univ. Autónoma Barcelona, 139 pp.

Original recibido: Abril de 1989.

Original aceptado: Julio de 1990.

Determinación multielemental simultánea de componentes mayoritarios en suelos y sedimentos por espectrometría de plasma de acoplamiento inductivo *

Por S. DEL BARRIO MARTIN (1) y F. J. VALLE FUENTES (2)

RESUMEN

Se propone una metodología por espectrometría de plasma acoplado por inducción (ICP-AES), que permite el análisis de elementos mayoritarios en suelos y sedimentos. Por tratarse de materiales silicatados su puesta en solución se realiza mediante ataque con HF y agua regia en reactores de teflón herméticamente cerrados. La experimentación llevada a cabo en un espectrómetro multicanal (ICAP-61 de la firma Jarrell-Ash) comprende:

- La optimización de parámetros experimentales en el espectrómetro.
- La preparación de patrones de calibrado multielementales a partir de soluciones estándar de concentración conocida y de blanco de reactivos.
- La corrección de fondos e interferencias espectrales.
- El estudio de precisión de los resultados.

Palabras clave: Análisis químico, ICP-AES, Elementos mayoritarios, Suelos, Sedimentos.

ABSTRACT

An inductively coupled plasma spectrometry (ICP-AES) analysis procedure has been developed for determination of major elements in soils and sediments. Sample decomposition is achieved for attack by hydrochloric acid and aqua regia in PTFE-lined pressure vessel. A multichannel spectrometer (Jarrell-Ash ICAP-61). Was used. A study of the optimization of the experimental parameters, background corrections, spectral interferences has been made. The multielemental standards calibration used are prepared with standards stocks solutions. The accuracy of the method is described.

Key words: Chemical analysis, ICP-AES, Major elements, Soils, Sediments.

1. INTRODUCCION

La exploración minera ha experimentado en las últimas décadas una profunda transformación, pasándose, de la búsqueda de *indicios directos* de mineralización, a la localización de *indicios indirectos* (anomalías geofísicas y geoquímicas) (1). La ubicación de estos últimos comporta la realización de varias etapas de trabajo, entre las que destaca, por su extensión territorial y

por el número de análisis químicos que es preciso realizar, la primera (exploración estratégica).

El análisis químico a desarrollar en esta etapa no se debe circunscribir al conjunto de los elementos que constituyen las anomalías, sino que debe extenderse a los componentes mayoritarios de la muestra por la información que éstos aportan a la geología del área estudiada.

La necesidad de analizar simultáneamente elementos mayoritarios y minoritarios en un mismo material obligará a utilizar técnicas que dispongan de una precisión suficiente para los prime-

(*) Trabajo presentado en la XXIII Bienal de Química (Salamanca, 23-28 de septiembre de 1990).

(1) Instituto Tecnológico GeoMinero de España (ITGE).

(2) Instituto de Cerámica y Vidrio (CSIC).