

DATOS ISOTOPICOS, MINERALOGICOS, Y MODELO GENETICO PROPUESTO PARA LOS YACIMIENTOS DE PLOMO, ZINC Y PLATA DE FRESNILLO, ZACATECAS

*Zoltan de Cserna*¹
*Maryse H. Delevaux*²
*y Donald C. Harris*³

RESUMEN

En el distrito minero de Fresnillo, en el centro del Estado de Zacatecas, los yacimientos de plomo, zinc y plata se presentan como mantos, chimeneas y vetas. Los datos geológicos procedentes principalmente de la Mina Fresnillo indican que los mantos, alojados en los estratos sedimentarios marinos clásticos del Cretácico Inferior, fueron plegados durante el Eoceno temprano. Uno de los mantos, junto con las rocas sedimentarias sub- y sobreyacentes, fue intrusionado por un pequeño tronco vertical de monzonita cuarcifera, probablemente hacia el final del Eoceno. Sobre el margen meridional del intrusivo se presenta una chimenea de mena, que se extiende a unos 50 m debajo y de unos 50 m arriba del nivel promedio del manto intrusionado. De las numerosas vetas de la Mina Fresnillo una corta al intrusivo, mientras que otras cortan a los mantos plegados, pero ninguna a las rocas riolíticas, consideradas como miocénicas.

Los análisis isotópicos de plomo de las menas del manto y de la veta indican una composición casi idéntica, siendo los plomos de tipo-J.

El estudio mineralógico de algunas menas del manto indica que el bandeamiento sufrió plegamiento y brechamiento. Los minerales de las menas de los mantos y vetas, sus texturas y sus relaciones actuales sugieren un origen común hidrotermal.

Se interpreta que la acumulación original de los componentes de las menas fue sinsedimentaria la que, posteriormente sufrió movilización tectónica y después hidrotermal, siendo ésta última la responsable del desarrollo de las vetas.

El modelo genético propuesto permite visualizar el posible descubrimiento de nuevos cuerpos mineralizados tanto en la vecina área de Plateros, como en el distrito minero de Sombrerete, en el norponiente del Estado de Zacatecas.

ABSTRACT

In the Fresnillo mining district in central Zacatecas State, the lead-zinc-silver deposits are in the form of mantos, ore chimney and veins. The geologic information, available mainly from the Fresnillo mine, indicates that the mantos are within Lower Cretaceous marine clastic sedimentary rocks, which were folded together during the early Eocene. One of the mantos, together with the under- and overlying sedimentary rocks, was intruded by a small vertical quartz monzonite stock, probably toward the end of the Eocene. Along the south margin of this intrusive, there is an ore chimney that extends about 50 m below and about 50 m above the general level of the intruded manto. Of the numerous veins of the Fresnillo mine, one of them crosscuts the intrusive, whereas several others cut the folded mantos, but none of these cut the overlying rhyolitic rocks which are considered to be Miocene in age.

Isotope analyses of lead from the manto and vein ores indicate an almost identical composition and the leads are of the J-type.

Mineralogical study of some manto ore samples indicate distinct banding which was subsequently folded and brecciated. The minerals of the manto and vein ores, their present textures and their relations suggest a common hydrothermal origin.

It is interpreted that the original accumulation of the components was syndimentary which, subsequently underwent tectonic and later hydrothermal mobilization. The hydrothermal phase of mobilization resulted in the development of the veins.

The proposed genetic model allows to foresee the possible discovery of new ore bodies, both in the nearby Plateros area and in the Sombrerete mining district of northwestern Zacatecas.

¹ Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México 20, D. F.

² United States Geological Survey, Federal Center, Denver, Colorado 80225, U.S.A.

³ Department of Energy, Mines and Resources, Mines Branch, Ottawa, Ontario, Canada.

INTRODUCCION

Los datos e interpretaciones que se presentan en este artículo corresponden a los resultados parciales de un proyecto de investigación, llevado a cabo por de Cserna en el distrito minero de Fresnillo, Zacatecas (Figura 1), como parte de un proyecto del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, en colaboración con el entonces Consejo de Recursos Naturales No Renovables del Gobierno Federal y con la Cía. Fresnillo, S. A.

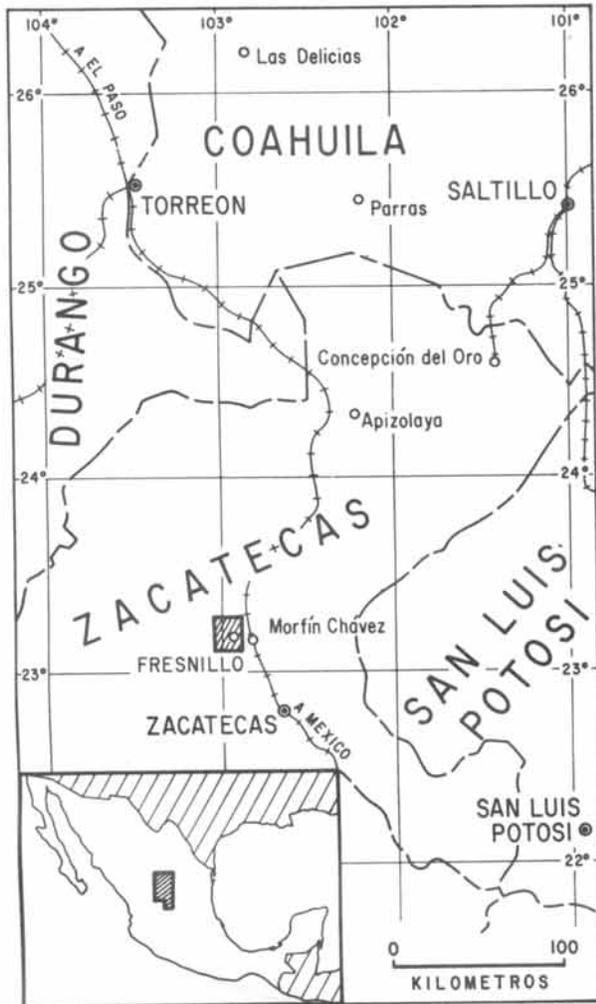


Figura 1.—Mapa índice que muestra la localización del área de Fresnillo, Zacatecas.

En el presente artículo, la contribución de Delevaux corresponde a los análisis isotópicos de plomo de las muestras de galena, colectadas por de Cserna en la Mina Fresnillo, mientras que la de Harris el estudio mineralógico de muestras de mena, colectadas también por de Cserna en la misma mina. La preparación del presente artículo así como las interpretaciones genéticas presentadas forman la

contribución de de Cserna y, obviamente, él mismo se responsabiliza de ellas.

Se agradece al United States Geological Survey y al Mines Branch, Department of Energy, Mines and Resources, del Gobierno del Canadá, las facilidades brindadas para desarrollar los trabajos de laboratorio.

Discusiones sumamente constructivas fueron sostenidas por de Cserna con los Doctores Kenneth G. Lowther, Arthur P. Pierce, W. M. B. Roberts e Ian B. Lambert. Algunos de los puntos de vista de de Cserna sobre el origen de los yacimientos del distrito de Fresnillo se cristalizaron durante las visitas que él hizo a la parte septentrional del Valle del Río Misisipi, a la parte suroriental de Missouri, a Broken Hill, Mount Isa y al Laboratorio Baas Becking de Canberra, con el apoyo económico de la Fundación John Simon Guggenheim.

MOTIVOS DE LAS INVESTIGACIONES

El estudio geológico del distrito minero de Fresnillo se emprendió con objeto de localizar nuevos cuerpos mineralizados, que permitirían aumentar las reservas de éste y así asegurar para un determinado número de años la fuente de trabajo de un elevado número de habitantes de esa ciudad. Como es de esperarse, hubiera sido de suma importancia precisar el origen de los yacimientos en el contexto geológico del distrito, para poder así diseñar una adecuada hipótesis de exploración en busca de otros yacimientos ocultos. Para este propósito, era deseable conocer la edad, por lo menos, de algunos cuerpos mineralizados, y también la mineralogía de las menas, muy especialmente, si ésta reflejaba indicios de su ambiente de acumulación.

Las relaciones cronológicas de los mantos y vetas de la Mina Fresnillo con la secuencia estratigráfica, y con los cuerpos de rocas intrusivas y volcánicas, han sido recientemente presentadas por de Cserna (1976b). De ese estudio se desprende que los dos mantos de esa mina (Cueva Santa y La Fortuna) están alojados en la Formación Valdecañas (Cretácico Inferior) y que éstos están plegados. Uno de estos mantos (La Fortuna) está intrusionado por un pequeño tronco cilíndrico de monzonita cuarcífera. Tanto los mantos como el tronco están cortados por fallas, las cuales, a su vez, están mineralizadas formando vetas. Por último, las vetas no penetran en ningún caso a las rocas volcánicas terciarias (oligoceno-miocénicas?).

Para obtener datos radiométricos referentes a la cronología arriba esbozada, de Cserna colectó dos muestras de galena de mena; una de éstas proviene del Manto La Fortuna y la otra de la Veta Cueva Santa, la cual corta al Manto Cueva Santa. Con estas dos muestras se esperaba obtener dos edades isotópicas modelo de plomo; para la muestra del Manto La Fortuna una edad cretácica temprana, semejante a la de las rocas encajonantes establecida por datos paleontológicos, mientras que para la muestra de la Veta Cueva Santa una edad terciaria temprana, en vista de que la veta corta a las estructuras plegadas que se formaron durante el Eoceno temprano.

La colección de muestras de mena para estudio mineralógico fue motivada por las siguientes razones. Stone y McCarthy (1942, p. 7-8) señalaron la presencia de un mineral no identificado, con un contenido relativamente alto de Ag, en los niveles inferior de la Mina Fresnillo. El Dr. Kenneth G. Lowther, de la Cía. Fresnillo, S. A., llamó la atención de Cserna sobre la conveniencia de la identificación de este mineral que, hasta ahora, ha sido considerado en México como "galena argentífera" y que se presentaba asociado con la axinita, mineral que se considera generalmente de origen fumarólico (Winchell y Winchell, 1951, p. 506). Otro motivo, igualmente importante, ha sido la necesidad de obtener datos sobre la textura mineral de las menas, sobre todo el detectar diferencias texturales entre las menas de los mantos y de las vetas.

COMPOSICION ISOTOPICA DE LAS GALENAS

Dos muestras de mena, muy ricas en galena, fueron colectadas en octubre de 1971 en la Mina Fresnillo. La primera de estas (Cs-17-71) proviene de la Veta Cueva Santa, nivel 470, rebaje 1980, mientras que la segunda (Cs-18-71) del Manto La Fortuna (conocido en la mina como "manto inferior"), nivel 935, rebaje 2989. La composición isotópica de las galenas de estas dos muestras se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1.—Relaciones isotópicas de plomo en galenas de la Mina Fresnillo.^{1,2}

Muestra	206/204	207/204	208/204	206/204	206/208
CS-17-71	18.840	15.646	38.778	1.2041	0.48582
CS-18-71	18.832	15.641	38.771	1.2039	0.48570

¹ Los análisis fueron hechos por Maryse H. Delevaux, en los laboratorios del U. S. Geological Survey.

² Los valores de plomo están corregidos a valores absolutos empleando como referencia el patrón de plomo común núm. 981, del National Bureau of Standards. Los valores corresponden, en promedio a dos análisis.

Los resultados de los análisis isotópicos fueron entregados al Profesor César Rincón-Orta, de la Facultad de Ciencias Químicas de la U.N.A.M., para que hiciera los cálculos de edades modelos. Estos cálculos, resultaron en edades "futuras" o negativas, que indican que el plomo de las galenas corresponde a "plomo-J" (Dr. A. P. Pierce, comunicación personal; Houtermans, 1953; Begemann *et al.*, 1954).

Desafortunadamente, tratándose de plomos-J en las galenas de Fresnillo, no es posible calcular una edad modelo, que pudiera fortalecer las relaciones cronológicas de la mineralización establecidas por las relaciones estratigráficas y estructurales presentes en el distrito (de Cserna, 1976b, p. 1197-1198). Sin embargo, la presencia de plomo-J permite sugerir la hipótesis en el sentido de que originalmente las menas se precipitaron de soluciones las cuales durante su migración disolvieron el plomo de roca (*rock-lead*), ya sea de rocas sedimentarias o de las rocas cristalinas de basamento subyacentes (Cannon

y Pierce, 1967, p. 432). Además, las relaciones isotópicas de plomo de Fresnillo parecen pertenecer a la provincia isotópica de plomo, designada por Zartman (1974, p. 800) como "Area III-type lead", que corresponde a una faja de 100-300 km de ancho, paralela a la costa del Océano Pacífico, caracterizada por la presencia de grandes volúmenes de rocas plutónicas así como de rocas volcánicas andesíticas y grauvacas relacionadas.

MINEROLOGIA

Con objeto de identificar al mineral "desconocido" reportado por Stone y McCarthy (1942, p. 7-8), se colectaron unas muestras representativas de éste del Manto La Fortuna ("manto inferior"), nivel 920, rebaje 3085, que fueron estudiadas por Harris. Se encontró que este mineral consiste de un intercrecimiento complejo de dos sulfosales — galena y matildita. El intercrecimiento no se puede distinguir ni ópticamente ni por la microsonda electrónica; sin embargo, cuando se le graba ligeramente con ácido (HCl + Cr₂O₃), el intercrecimiento es claramente visible (Figuras 2 y 3). La galena constituye la matriz grabada, mientras que la matildita se presenta como inclusiones de tamaño de micrones, a lo largo de los planos de cruceo de la galena. Dentro de este intercrecimiento se encuentran inclusiones de una fase no grabada que proporcionó el patrón de polvos de rayos-X de pavonita. La fase de galena-matildita se presenta intersticialmente contra los cristales de cuarzo y axinita y constituye el sulfuro principal en las muestras. Los demás minerales que se identificaron en estas muestras son la pirita, la marcasita, la pirrotita, la esfalerita, la calcopirita, el grafito, la siderita y la scheelita.

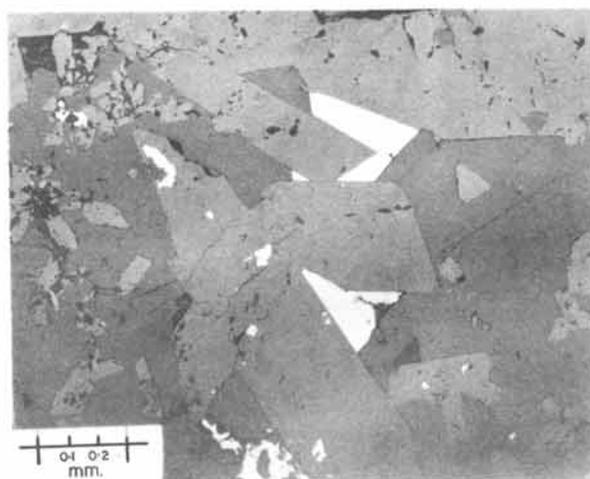


Figura 2.—Fotomicrografía, que muestra la fase galena-matildita intersticialmente entre la axinita y el cuarzo. No grabada.

Para obtener información mineralógica sobre la mena de los mantos y las vetas del distrito, se colectaron dos muestras del Manto La Fortuna y dos de la Veta 2137. La muestra Cs-3-73 proviene del Manto La Fortuna ("manto inferior"), nivel

935, y corresponde a la cresta del pliegue (de Cserna, 1976b, fig. 8), mientras que la muestra Cs-4-73, del nivel 830 de este mismo manto, que corresponde al flanco del pliegue con mena bandeadada. Las muestras provenientes de la Veta 2137 fueron colectadas en los niveles 425 (Cs-2-73) y 695 (Cs-1-73).

Harris encontró que la mineralogía y las secuencias paragenéticas de las cuatro muestras son similares, y las diferencias menores se deben a las proporciones de los sulfuros que contienen. Las muestras del Manto La Fortuna megascópicamente muestran bandeamiento rítmico definido de esfalerita y pirita, con plegamiento y brechamiento menor subsiguientes. El bandeamiento es discernible en las superficies pulidas como se muestra en la Figura 4.

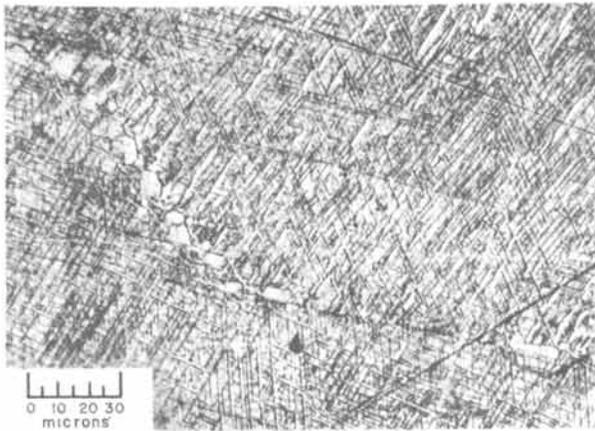


Figura 3.—Fotomicrografía, grabada, que muestra el intercrecimiento de galena-matildita.

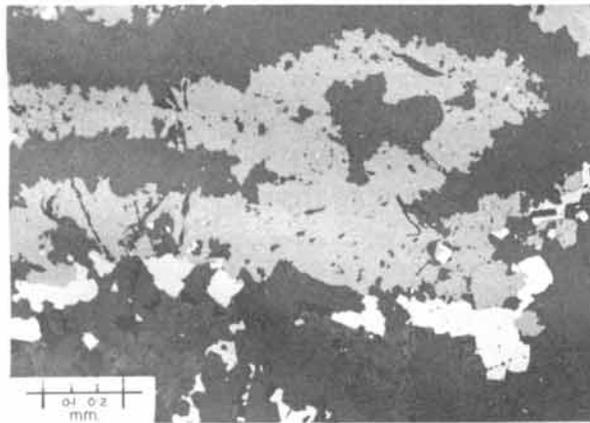


Figura 4.—Fotomicrografía de la mena del Manto La Fortuna (Cs-4-73), que muestra la textura bandeadada de esfalerita (gris), conteniendo calcopirita exsuelta, con pirita (blanco) en la matriz.

La esfalerita es el sulfuro principal y contiene numerosas inclusiones exseltas de calcopirita (Figura 5). Algunas de las inclusiones están orientadas a lo largo de los planos cristalográficos, presentán-

dose la mayoría de ellas como cúmulos en el centro de los granos, o como inclusiones intersticiales irregulares sobre los límites de los granos. La cantidad máxima de los glóbulos de calcopirita exsueltos en la esfalerita corresponde al 14.6 por ciento por volumen, que fue determinado por medio de un analizador de imagen Quantimet. El análisis por la microsonda electrónica muestra que la esfalerita contiene 9.7 por ciento de Fe en la muestra Cs-3-73 y 5.3 por ciento de Fe en la muestra Cs-4-73. La galena se presenta como el constituyente principal en la muestra Cs-3-73, y las relaciones texturales indican que éste reemplaza la esfalerita (Figura 6). La polibasita, la terahedrita argéntifera y la pirargirita se presentan como inclusiones menores en la galena.

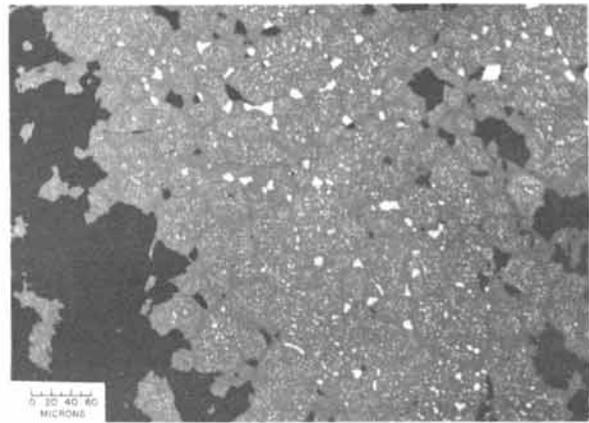


Figura 5.—Fotomicrografía de la mena del Manto La Fortuna (Cs-4-73), que muestra calcopirita exsuelta en esfalerita.

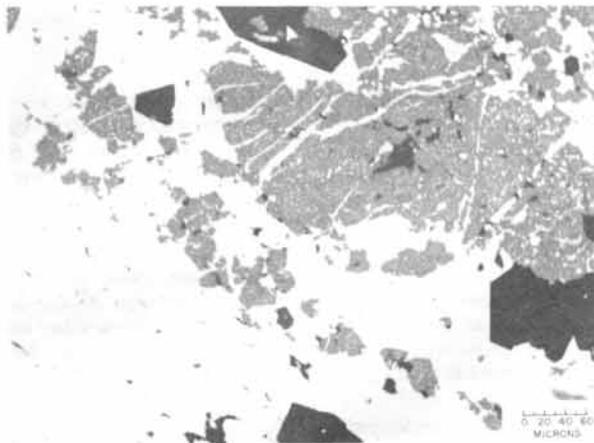


Figura 6.—Fotomicrografía de la mena del Manto La Fortuna (Cs-3-73), que muestra esfalerita (gris) con calcopirita exsuelta reemplazada por galena (blanco). Los cristales euhedrales parcialmente reemplazados son pirita. Las áreas negras corresponden a cuarzo.

Las muestras de la Veta 2137 consisten de esferita de grano grueso, que contiene 9.2 por ciento de Fe, que está asociada a la calcopirita, a la pirita, y a menores cantidades de galena, pirrotita y a trazas de grafito. La calcopirita se presenta como inclusiones exseltas o como granos intersticiales en la esferita.

Del examen microscópico de las muestras se desprende que los minerales, sus texturas y sus relaciones actuales indican un origen hidrotermal de tipo de veta para las menas. La presencia de las inclusiones de calcopirita en la parte central de los granos de esferita y sobre los límites de los granos, como se muestra en la Figura 5, es más difícil explicar mediante la difusión hacia adentro que hacia afuera de los granos, particularmente a temperaturas bajas.

EVALUACION DE LOS DATOS EN EL CONTEXTO GEOLOGICO

Los datos arriba presentados se pueden resumir como sigue:

1.—Las relaciones isotópicas de plomo de las menas del Manto La Fortuna y de la Veta Cueva Santa son prácticamente idénticas. Por tanto, se puede inferir que el plomo de las menas provino de la misma o prácticamente de la misma fuente.

2.—Las relaciones isotópicas de plomo indican que las menas contienen plomo-J, que puede resultar mediante: (a) la evolución de plomo acumulando incrementos de plomo radiogénico; o (b) la mezcla geoquímica de plomo radiogénico con otro plomo (*i. e.* ordinario), instantáneamente o durante un lapso de tiempo geológico corto (Cannon *et al.*, 1961, p. 26).

3.—La mena argentífera previamente no identificada, que se presenta asociada con la axinita y cuarzo, consiste de un intercrecimiento de galena y matildita. Tanto la galena como la matildita han sido reconocidas previamente por separado en la Mina Fresnillo, donde están ampliamente distribuidas en la zona de sulfuros (Stone y McCarthy, 1942, p. 6-7).

4.—Los minerales, sus texturas y sus relaciones actuales sugieren un origen hidrotermal común para las menas. No obstante, la mena de varias partes del Manto La Fortuna muestra un distintivo bandeamiento rítmico de esferita y pirita, que posteriormente ha sido plegado y brechado a menor grado.

Con objeto de poder utilizar los datos geoquímicos y mineralógicos, para formular una hipótesis referente al origen de las menas de Fresnillo, es necesario subrayar que ninguno de los puntos del 1 al 3 permite proponer una conclusión inequívoca al respecto.

El bandeamiento plegado de la mena del Manto La Fortuna tiende a estar en armonía con las relaciones geológicas observadas; es decir, el Manto La Fortuna es una estructura plegada, semejante al Manto Cueva Santa de la misma mina. La textura de esta mena bandeada no es de reemplazamiento o de relleno de espacios abiertos, no obstante, que en

algunas partes de este manto sí se observan menas de grano grueso sin bandeamiento alguno. La textura bandeada observada en las menas del manto, tampoco corresponde estrictamente a la de una mena netamente sedimentaria. Se considera que la textura actual de las menas del manto es secundaria (Lambert, 1973) y que refleja esencialmente las huellas de la actividad hidrotermal que produjo la mena de las vetas, la cual todavía está activa en algunas partes de la mina con una temperatura promedio de 57° C (Stone, 1956, p. 132). En favor del origen sinsedimentario de la mena de los mantos apunta la presencia de numerosos horizontes de lutitas carbonosas, pertenecientes a la Formación Plateros (de Cserna, 1976b, p. 1194), que es la unidad estratigráfica que sobreyace a la Formación Valdecañas en donde se presentan los mantos. Estas lutitas carbonosas contienen sulfuros (pirita, galena y esferita) de grano fino, con estructuras primarias sinsedimentarias, parecidas en muchos aspectos a las descritas por Croxford y Jephcott (1972).

Es inevitable reconocer que los datos geológicos, geoquímicos y mineralógicos actualmente disponibles para el distrito minero de Fresnillo apenas representan los resultados del inicio de las investigaciones modernas de un distrito minero. Para poder realmente entender el origen de los cuerpos mineralizados, se considera de suma importancia llevar a cabo estudios estratigráficos detallados de los horizontes que contienen los mantos y seguir éstos lateralmente hacia la zona donde la mineralización de grado económico se desvanece. Estos estudios deben estar apoyados por investigaciones petrográficas y mineralógicas, muy especialmente en lo que se refiere a los aspectos texturales, seguidas por investigaciones isotópicas semejantes a las llevadas a cabo por Doe y Delevaux (1972). En las investigaciones isotópicas se deben incluir las rocas volcánicas andesíticas de la Formación Chilitos (de Cserna, 1976b, p. 1191), que subyacen a las rocas sedimentarias cretácicas que contienen los mantos, tanto en lo que se refiere al plomo, como al rubidio y estroncio, para poder establecer o descartar la relación genética entre estas rocas volcánicas y las menas, tal como lo habían señalado Doe y Stacey (1974).

MODELO GENETICO DE LOS YACIMIENTOS

En base de los datos actualmente disponibles, los yacimientos de plomo, zinc y plata del distrito de Fresnillo acusan tres etapas de mineralización. A la primera etapa pertenecen las menas de los mantos; posiblemente a la segunda las menas de la chimenea, y a la tercera las vetas.

Se considera que la primera etapa de mineralización consistió de procesos sinsedimentarios durante los principios del Cretácico, probablemente en una bahía costera de circulación algo restringida en la parte occidental del Geosinclinal Mexicano (Imlay, 1938, 1944). Los sedimentos acumulados consisten de grauvacas y lutita carbonosa, y de unos cuantos estratos de carbonatos parcialmente dolomitizados. Los componentes clásticos de esta secuencia basal cretácica provinieron desde el poniente de

terrenos principalmente volcánicos (de Cserna, 1976a, figs. 5 y 6). En vista de que, hasta ahora, no hay evidencia alguna en el registro estratigráfico del Cretácico Inferior de la parte centroseptentrional de México de una actividad volcánica penecontemporánea, directamente relacionada con la sedimentación en el llamado Geosinclinal Mexicano, no es posible relacionar ni directa ni indirectamente la presencia de metales en las aguas marinas con un vulcanismo penecontemporáneo. Ni siquiera la presencia actual de la axinita requiere, necesariamente, esta actividad, ya que el boro pudo haber estado en el agua del mar de donde se precipitó, como sucede en el caso de las turmalinas que señaló tanto Krynina (1946) como recientemente Roberts (1973, p. 45-46). Bajo estas circunstancias, se considera que los metales fueron acarreados conjuntamente con los clásticos y las aguas de esa bahía de circulación algo restringida propiciaron la acumulación de los metales.

La concentración sedimentaria primaria de los componentes de las menas bandeadas probablemente sufrió modificación durante los procesos diagenéticos, que fueron responsables de la dolomitización parcial de los carbonatos presentes en la secuencia.

Durante el plegamiento eocénico los intervalos metalíferos entre las grauvacas más macizas se prestaron para el desarrollo de una gran multitud de pliegues de arrastre o disarmónicos. Esta deformación propició el movimiento de los fluidos intersticiales, de acuerdo con los gradientes de presión establecidos por la geometría de los pliegues. Es obvio, por lo tanto, que las partes cretales de los pliegues, donde fracturas de tensión de diversos tamaños se desarrollaron siguiendo la geometría de los planos axiales, se convirtieron en los sitios de mineralización francamente "discordante" con la estratificación, formando menas epigenéticas en el sentido de Snyder (1967). Tanto estas menas epigenéticas, como las menas bandedadas sinsedimentarias son las que actualmente forman las menas de los mantos. En vista de que tanto los procesos sedimentarios como los diagenéticos fueron los responsables de la concentración de los componentes de las menas, siguiendo la observación de Roberts (1973), se puede afirmar que los mantos del distrito de Fresnillo tuvieron un origen sedimentario y que, posteriormente, sufrieron movilización tectónica en grados variables. La intensidad del plegamiento, no obstante que permitió el desarrollo de pliegues de arrastre o disarmónicos, no fue grande y menos de tipo penetrante. La secuencia sedimentaria no muestra huellas de metamorfismo, contiene fósiles y, por consiguiente, a las menas de los mantos no se les puede comparar con las de distritos de historia tectónica compleja, como por ejemplo, la de New Brunswick, Canadá (Davis, 1972).

Después del plegamiento eocénico, un pequeño tronco de monzonita cuarcífera intrusión a la secuencia sedimentaria, cortando uno de los mantos. Se cree que el emplazamiento de este cuerpo ígneo impuso nuevas condiciones de temperatura y presión, que resultaron en el desarrollo de la axinita, la diopsida y de la hedenbergita, presentes en las par-

tes más profundas de la Mina Fresnillo. Asimismo, propició también otro período de movilización, la cual, aunada a los procesos hidrotermales, resultó en el desarrollo del yacimiento de la chimenea. Se cree que los componentes de la mena de esta chimenea se originaron de las menas del manto, y de horizontes metalíferos sub- y sobreyacentes, ya que esta chimenea tiene una altura de unos 100 m, extendiéndose a unos 50 m debajo y de unos 50 m arriba del nivel promedio de este manto.

La deformación tectónica extensional posterior al emplazamiento del tronco intrusivo y probablemente de la chimenea, permitió el desarrollo de numerosas fallas. Estas fallas quedaron mineralizadas por procesos hidrotermales, siendo la composición isotópica del plomo de las menas tanto del manto como de las vetas muy semejante si no idéntica. Cabe mencionar que una de las fallas-veta corta al tronco intrusivo, señalando las relaciones cronológicas existentes con toda claridad. La fuente de los componentes de las menas de las vetas probablemente fueron los mantos y los horizontes metalíferos sinsedimentarios de los cuales la acción hidrotermal acarreo los componentes para depositarlos a lo largo de las fallas formando las vetas.

El modelo genético arriba esbozado para las menas de la Mina Fresnillo, puede ser válido para el área de Plateros, que forma parte del distrito minero de Fresnillo.

Rocas sedimentarias correlacionables con las de Fresnillo y con litologías semejantes se encuentran en las cercanías de Sombrerete, Zacatecas, a unos 100 km al norponiente de Fresnillo. No sería remoto pensar que la región de Sombrerete corresponde también a una paleobahía cretácica temprana, donde la mineralización de plomo, zinc y plata podrá encajar en el modelo genético aquí esbozado. De ser así, fuertes perspectivas de auge en la minería podrá tener esa región económicamente tan necesitada.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Begemann, F., Geiss, Johannes, Houtermans, F. G., y Buser, W., 1954, Isotopenzusammensetzung und Radioaktivität von rezentem Vesuvbläi: Nuovo Cimento, ser. 9, v. 11, p. 663-673.
- Cannon, R. S., Jr., Pierce, A. P., Antweiler, J. C., y Buck, K. L., 1961, The data of lead isotope geology related to problems of ore genesis: Econ. Geology, v. 56, p. 1-38.
- Cannon, R. S., y Pierce, A. P., 1967, Isotopic varieties of lead in stratiform deposits: Econ. Geology Monogr. 3, p. 427-433.
- Croxford, N. J. W., y Jephcott, S., 1972, The McArthur lead-zinc-silver deposit, N. T.: Australasian Inst. Min. Metallurgy, Proc. 243, 26 p.
- Cserna, Zoltan de, 1976a, Mexico — geotectonics and mineral deposits: New Mex. Geol. Society, Spec. Publ. 6, p. 18-25.
- 1976b, Geology of the Fresnillo area, Zacatecas, Mexico: Geol. Soc. America Bull., v. 87, p. 1191-1199.

- Davis, G. H., 1972, Deformational history of the Caribou stratabound sulphide deposit, Bathurst, New Brunswick, Canada: *Econ. Geology*, v. 67, p. 634-655.
- Doe, B. R., y Delevaux, M. H., 1972, Source of lead in southeast Missouri galena ores: *Econ. Geology*, v. 67, p. 409-435.
- Doe, B. M. y Stacey, J., 1974, The application of lead isotopes to the problems of ore genesis and ore prospect evaluation; a review: *Econ. Geology*, v. 69, p. 757-776.
- Houtermans, F. G., 1953, Determination of the age of the earth from isotopic composition of meteoritic lead: *Nuovo Cimento*, v. 10, p. 1623-1633.
- Imlay, R. W., 1938, Studies of the Mexican geosyncline: *Geol. Soc. America Bull.*, v. 49, p. 1651-1694.
- 1944, Cretaceous formations of Central America and Mexico: *Am. Assoc. Petroleum Geologists, Bull.*, v. 28, p. 1077-1195.
- Lambert, I. B., 1973, Post-depositional availability of sulphur and metals and formation of secondary textures and structures in stratiform sedimentary sulphide deposits: *Geol. Soc. Australia Jour.*, v. 20, pte. 2, p. 205-215.
- Krynine, P. D., 1946, The tourmaline group in sediments: *Jour. Geology*, v. 54, p. 65-87.
- Roberts, W. M. E., 1973, Dolomitization and the genesis of the Woodcutters lead-zinc prospect, Northern Territory, Australia: *Mineral. Deposita (Berlin)*, v. 8, p. 35-56.
- Snyder, F. G., 1967, Criteria for origin of stratiform ore bodies with application to southeast Missouri: *Econ. Geology Monogr.* 3, p. 1-13.
- Stone, J. B., 1956, Notas sobre el distrito minero de Fresnillo, Zacatecas: *Congr. Geol. Internal.*, 20, México, D. F., *Libro-guía de las excursiones A-2 y A-5*, p. 131-132.
- Stone, J. B., y McCarthy, J. C., 1942, Mineral and metal variations in the veins of Fresnillo, Zacatecas, Mexico: *Am. Inst. Mining and Metall. Engineers, Tech. Publ.* 1500, 16 p.
- Winchell, A. N., y Winchell, Horace, 1951, *Elements of optical mineralogy*: New York, Wiley & Sons, pte. 2, 551 p.
- Zartman, R. E., 1974, Lead isotopic provinces in the Cordillera of the western United States and their geologic significance: *Econ. Geology*, v. 69, p. 792-805.