

GEOLOGIA Y PARAGENESIS DEL DISTRITO MINERO DE MATEHUALA, SAN LUIS POTOSI, MEXICO

CARLOS GARCÍA GUTIÉRREZ*

INTRODUCCION

LOCALIZACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El Distrito Minero de Matehuala está situado a 8 km al poniente del poblado de Matehuala. Se localiza al norte del Estado de San Luis Potosí en la parte norte central de México. La carretera de México a Piedras Negras pasa por Matehuala. Un camino pavimentado de 8 km une a Matehuala con las minas ubicadas en el poblado de Sta. María de La Paz. Un ramal corto del ferrocarril de México a Laredo sale de la Estación de Vane-gas hasta Matehuala y de la Estación de la Cabra, en este ferrocarril, sale un ramal angosto hasta las minas.

TOPOGRAFÍA

El Distrito Minero de Matehuala se localiza en la base de la parte oriental de una cadena montañosa relativamente pequeña conocida como Sierra de El Fraile. Esta cadena tiene rumbo de norte a sur y forma las estribaciones más orientales de la Sierra de Catorce. El Valle de Matehuala separa esta Sierra de las estribaciones más occidentales de la Sierra Madre Oriental.

* Ingeniero de Minas de la Universidad de Guanajuato. Negociación Minera Sta. Ma. de la Paz, Departamento de la Cruz, La Paz, S.L.P.

CLIMA Y VEGETACIÓN

La región es semiárida y no tiene árboles, excepto por los cultivados. La vegetación natural consiste en cactus, palmas, mezquites, gobernadora, ocotillo y otras plantas características del norte de México y suroeste de los Estados Unidos. Las lluvias en el verano son aproximadamente 300 mm de promedio.

TRABAJO Y AGRADECIMIENTOS

El que escribe se comenzó a familiarizar con el Distrito Minero de Matuhuala cuando trabajó en las minas de la Negociación Minera de Santa María de La Paz de 1946 a 1949. Este estudio no incluye ningún trabajo de campo reciente y se apoyó principalmente en especímenes escogidos por el Ing. José Cerrillo, Superintendente General de la Cía. Santa María de La Paz y Anexas, S. A.

El que escribe agradece profundamente la valiosa ayuda del Ing. Cerrillo durante el tiempo que colaboró bajo sus órdenes, así como por la recolección de las muestras para este estudio.

Las relaciones paragenéticas fueron estudiadas en 10 superficies pulidas de las minas de La Paz y en 5 de la de Dolores. Las alteraciones en las rocas y las relaciones entre los sulfuros y la ganga se estudiaron en 14 secciones delgadas de las minas de La Paz.

Todas las profundidades mencionadas en este trabajo se refieren al brocal del tiro de El Pilar, que es el principal en La Paz: su elevación es de 1,758 m sobre el nivel del mar. Los niveles se nombran de acuerdo con su distancia vertical en metros desde este brocal.

ESTUDIOS PREVIOS

No se han publicado estudios geológicos de las minas de La Paz, pero Spurr y Garrey (1908), estudiaron minuciosamente las minas de Dolores y Cobriza en 1911. Ellos consideraron los depósitos pirometamórficos de Dolores y los mesotermiales de La Paz como debidos a los mismos flúidos mineralizantes. Estos flúidos se originaron desde una fuente magmática común, pero la mineralización tuvo lugar bajo condiciones ambientales diferentes.

PROPÓSITO Y EXTENSIÓN DEL ESTUDIO

Este informe trata de relacionar y comparar los orígenes y las asociaciones paragenéticas entre los depósitos minerales de Dolores y La Paz, en el Distrito Minero de Matehuala. Se necesitarán aún estudios más cuidadosos y detallados para probar las teorías asentadas en este informe, ya que se adolió de la falta de suficiente material de estudio .

Se restringió este estudio a la mineralogía, relaciones estructurales y génesis de las menas. La estratigrafía, estructura, fisiografía, geología histórica y petrología son tratadas brevemente. El metamorfismo ígneo es también descrito con brevedad, porque los depósitos de La Paz sólo se relacionan indirectamente con este fenómeno. En este trabajo, se le da una atención preferente a los depósitos de La Paz.

GEOLOGIA GENERAL

ROCAS SEDIMENTARIAS

Las rocas estratificadas de Matehuala consisten en calizas azules, lutitas y calizas lutíticas del Jurásico y del Cretácico. La sección en el Distrito muestra espesor medible de cuando menos 1,000 m de calizas, subyaciendo a 900 m de lutitas, pero la base de las calizas no ha sido alcanzada todavía.

No se encontraron remanentes orgánicos en las muestras que pudieran ser identificados positivamente, ya que la recristalización oscureció todas las texturas originales.

La topografía está regida por el rumbo general de los sedimentos y su erosión diferencial. La región se caracteriza por cadenas montañosas alargadas de norte a sur formadas por calizas y valles paralelos constituídos por las lutitas y las calizas lutíticas.

En los niveles inferiores de La Paz, las calizas son casi horizontales y no parecen haber sido cambiados de su posición original por las intrusiones cuarzomonzónicas y subsecuentes fracturamientos y fallamientos.

ROCAS INTRUSIVAS

Todas las rocas intrusivas en el área pertenecen a una misma intrusión, la que corresponde a una cuarzomonzonita. Sin embargo, la segregación

magmática ha producido rocas que van desde diorita hasta granito. Las condiciones variables existentes durante el enfriamiento dieron lugar a texturas desde graníticas hasta porfiríticas.

Bajo condiciones normales de cristalización probablemente las primeras porciones del magma fueron dioríticas. La composición del fluido remanente fue cambiando hasta que la mayor parte cristalizó como cuarzomonzonita

Las principales porciones de la intrusión son graníticas en textura, mientras que sus bordes, diques y diquestratos, son de grano fino y porfiríticos.

El único espécimen estudiado bajo el microscopio es representativo del bloque intrusivo del lado oriental y fue colectado del nivel 800 de las minas de La Paz. Este espécimen (R-9) tiene textura porfirítica y muestra algo de alteración hidrotermal, probablemente relacionada con las vetas de fisuras cercanas. La mayor parte de los fenocristales son de plagioclasa euhedral, los cuales han sido parcialmente epidotizados, pero aún muestran zonamiento entre andesina en sus centros, hasta oligoclasa en sus exteriores. Tiene también grandes cristales de cuarzo redondeados con inclusiones frescas de hornblenda y biotita. La hornblenda y la biotita también se presentan como fenocristales, pero están casi completamente alterados a clorita. Los granos de pirita son abundantes en este espécimen. No se le encontró esfeno a la muestra, pero Spurr, Garrey y Ferner (1912) lo identificaron en la parte más importante del intrusivo.

El intrusivo cuarzomonzonítico en La Paz, consiste en cuerpos menores que emanan de la parte superior del intrusivo principal. Su alteración a clorita y a epidota sugiere un grado avanzado de alteración durante la mineralización.

La cuarzomonzonita fue probablemente emplazada durante el Mesozoico Superior o el Terciario Inferior.

ROCAS METAMÓRFICAS

El metamorfismo está bien representado en la parte occidental de la Gran Falla, siendo sus diferentes clases y grados ampliamente descritos por Spurr, Garrey y Ferner (1912). Ellos mencionan el hecho de que el metamorfismo por adición y aún por reemplazamiento total, ocurren cerca del intrusivo y lejos de él predomina el metamorfismo por regeneración. En el lado oriental de la falla también se encuentra algo de metamorfismo, como se evidencia por la presencia de granates y wollastonita en partes de

los sedimentos intrusionados. De dos de los especímenes estudiados se encontró que tenían textura y composiciones similares, pero provenían de dos rocas originalmente diferentes. El espécimen R-7 era probablemente una lutita cambiada a calcita y cuarzo criptocristalino a microcristalino, con abundantes óxidos de hierro probablemente derivados de pirita. Cuando menos dos generaciones de calcita vetean este ejemplar. La muestra fue colectada de la zona de oxidación, 117 m abajo de la superficie. El otro espécimen C-4, fue colectado de la zona de los sulfuros, los cuales se presentan en la roca como pirita. La calcita se presenta aquí en cristales más largos que en la muestra R-7; el cuarzo es microcristalino. El ejemplar R-4 fue probablemente una caliza en su origen.

Las áreas de silicatos calcáreos ocurren en el lado este de la Gran Falla, pero no tan bien desarrollados como los del bloque occidental. Un espécimen (R-10) tomado del Nivel 476 muestra la formación de granates verdes euhedrales (grosularita) y wollastonita en una matriz de calcita (Lámina 1, fotografía 2). La pirita se presenta abundantemente. La roca original era probablemente caliza.

Los ferromagnesianos de la cuarzomonzonita en las minas de La Paz han sido alterados a clorita en donde el intrusivo ha sido cortado por vetas de fisura.

DIQUES BASÁLTICOS

Los diques básicos mencionados abajo en estructuras, están constituidos por basalto de olivino fresco. El olivino ha sido localmente reemplazado por clorofeita en el espécimen estudiado. Un fragmento notablemente grande de magnetita (10 mm) con los bordes redondeados fue visto en el ejemplar de mano, el cual fue colectado en la intersección de uno de estos diques con una veta de fisura en el Nivel 800.

Aun cuando los diques basálticos son claramente posteriores a la mineralización, muestra alguna alteración por soluciones tardías, las que depositaron calcita a lo largo de venillas y como cristales diseminados.

ALUVIONES

Las rocas sedimentarias están cubiertas por una capa de conglomerado cementado por carbonato de calcio. Los guijarros están constituidos por

cuarzomonzonita, caliza, lutita y todas las rocas más o menos metamórficas del área. El espesor de esta cubierta es variable: es delgada en la base de la Sierra del Fraile y se vuelve más gruesa hacia el Valle de Matehuala. Este conglomerado aluvial es llamado almendrilla (guijarros en forma de almendra) y se intemperiza a un suelo alto en calcio.

ESTRUCTURA

La Sierra del Fraile es un bloque de falla constituido por calizas en forma de estructura de medio domo (ver Figura 1). El lado oeste de la falla es el lado del bajo, mientras que el lado este está delimitado por una falla normal de rumbo norte-sur con un echado promedio de unos 75° al oriente.

Una sección longitudinal, hecha aproximadamente siguiendo la falla, mostraría una estructura anticlinal de 6 a 7 km de largo. Este domo muestra una serie de pliegues complicados, empujados y recostados hacia el este, con sus ejes con rumbo al noroeste. En el lado oriental de la falla se ven abundantes pliegues menores con echados al oeste en las lutitas. Estos plegamientos están probablemente relacionados con las intrusiones magmáticas, siendo así anteriores a la Gran Falla Normal que levantó el bloque montañoso.

Los mantos de caliza buzan abruptamente contra las lutitas del valle en el lado norte y contra colinas bajas también lutíticas en el lado sur. Esta serie de lutitas y de calizas lutíticas puede verse subyaciendo a las calizas en la base del reliz del bajo de la Gran Falla, así como en el lado del alto de la misma. De las posiciones relativas entre estas dos secciones lutíticas puede deducirse que el desplazamiento vertical fue de cuando menos 1,500 m en la parte central de esta Gran Falla Normal. Este desplazamiento máximo disminuye rápidamente hacia el norte y hacia el sur, hasta que las lutitas coinciden en los dos lados de la falla. El fallamiento se produjo durante el levantamiento del domo. Las fuerzas tectónicas arquearon los sedimentos, los que fueron separados de los correspondientes en el lado oriental de la Gran Falla. El levantamiento fue así circunscrito al lado poniente de la falla.

La Gran Falla fue posterior a la mineralización, desplazando a los depósitos minerales.

En la montaña de bloque de falla y como a un kilómetro de distancia uno de otro en una línea norte sur, hay dos cuerpos de cuarzomonzonita.

El del norte es el intrusivo de La Cobriza, el del sur el de Dolores. Ambos dieron lugar a depósitos de contacto metamórfico.

La intrusión de Dolores es en general vertical, en parte maciza y en parte ramificada en diques; su rumbo es aproximadamente al noroeste, hacia donde se adelgaza y se acaba. Hacia el sureste es cortado por la Gran Falla. La intrusión de La Cobriza es menor y consiste en una gran zona de diques con algunos cuerpos intrusivos algo mayores. La tendencia general de estos cuerpos es también vertical, pero hay muchos diquestratos inyectados a lo largo de planos de sedimentación. Varios cuerpos cuarzomonzoníticos ocurren en la región, pero los más grandes están confinados a la montaña de bloque de falla. En el lado oriental de la falla hay varios intrusivos menores, los cuales son de pórfido cuarzomonzonítico.

Hay varias vetas de fisura con rumbo general de este a oeste y echados grandes hacia el sur en el lado del alto de la falla. Estas vetas cortan oblicuamente a los cuerpos intrusivos y se extienden por aproximadamente 3 km hacia el Valle de Matehuala. Las partes más orientales de estas vetas fueron explotadas por la American Smelting and Refining Co., (Mina de Kildún) hasta 1945.

Algunos diques basálticos de poco espesor y rumbo general al noroeste se presentan en los bloques occidental y oriental de la falla. Estos diques cortan a los cuerpos mineralizados, pero no los perturban.

ORIGEN DE LA ESTRUCTURA

La localización de las principales porciones del intrusivo en la parte central de la estructura dómica sugiere una relación genética entre el intrusivo y la estructura. De las relaciones de campo puede concluirse que la Gran Falla se formó no sólo después de la intrusión, sino también después del metamorfismo y mineralización que trajo consigo. Este hecho puede tal vez explicarse considerando que el tronco ya solidificado de monzonita fue sujeto a subsecuente presión hacia arriba, empujado desde abajo por partes más profundas de la columna magmática ascendente.

DEPOSITOS MINERALES

MINERALOGÍA

Los depósitos minerales del Distrito Minero de Matehuala pueden ser

agrupados en dos tipos estructurales: los pirometasomáticos en calizas y las vetas hidrotermales de fisura atravesando todas las rocas.

La mineralogía será descrita como perteneciente a un solo depósito ya que probablemente todos fueron formados por las mismas soluciones mineralizantes bajo diferentes condiciones ambientales.

Los únicos minerales descritos son aquellos encontrados en los especímenes disponibles para el estudio. Muchos otros minerales importantes de origen supergenético no fueron obtenibles, ya que los especímenes fueron colectados de la zona no oxidada de los depósitos minerales.

El período durante el que se depositó el cobre descrito por Spurr, Garrey y Ferner (1912), fue la primera etapa de mineralización. La pirita cuprífera fue el primer mineral formado. La proporción de cobre a hierro aumentó continuamente produciendo piritas con alto contenido de cobre. El cuarzo y la fluorita fueron las gangas características durante esta etapa. Este período de depósito de cobre se presentó solamente en la mina de Dolores ya que no se encuentra en el lado oriental de la Gran Falla.

ARSENOPIRITA

La arsenopirita es abundante en ambos yacimientos: pirometasomáticos e hidrotermales. Se encontró que fue uno de los primeros sulfuros en depositarse. Se formó como pequeños cristales euhedrales y en agregados cristalinos en los especímenes de la mina de Dolores, los cuales fueron parcialmente reemplazados por los sulfuros tardíos.

Texturas. La principal textura observada en uno de los especímenes de La Paz consiste en lo que Bastin (1950) ha llamado textura de tubérculos: cristales pequeños de arsenopirita arreglados de manera radial, formando cuerpos parecidos a tubérculos en matriz de calcita y cuarzo. La forma de estos tubérculos no es lo que podría esperarse cuando el depósito se produce en lugares abiertos. Estos han sido interpretados como reemplazamientos automórficos de la matriz de calcita y cuarzo por la arsenopirita, con la ayuda de soluciones que penetran a la calcita en forma difusa y a partir de varios centros de alimentación. El reemplazamiento de los cristales de arsenopirita no es frecuente y la corrosión por otros sulfuros es raramente vista.

La prueba de oro fue positiva para el espécimen C-7 del Nivel 850. Los valores de oro se encuentran principalmente en la arsenopirita en las minas

de La Paz, lo cual también coincide con los resultados obtenidos en Dolores por Spurr, Garrey y Ferner (1912).

PIRITA

La pirita es el sulfuro más diseminado en el área, así como el primero en formarse. Se depositó durante varias etapas del proceso mineralizante. Se le encuentra como masas amorfas, granos aislados, cristales euhedrales pequeños a grandes, vetillas, vetas y masas globulares y botrioidales de todos tamaños (Láminas 4, 5, 6 y 8, Fotos 7, 8, 9, 10, 11 y 16). Reemplaza a todos los sulfuros posteriores debido a las múltiples etapas en que se depositó. Se le encuentra más abundantemente en los depósitos pirometasomáticos de Dolores que en los de La Paz, en donde es más abundantes la arsenopirita.

Texturas. Hay muchas diferentes texturas comunes a la pirita. Probablemente aparece con más frecuencia como gránulos pequeños en las proximidades de las vetas. Es también abundante en la mina de Dolores como agregados macizos de cristales en vetas. Los cristales euhedrales son raros y cuando se los encuentra, éstos son pequeños. En uno de los especímenes de la mina de Dolores se advirtieron agregados pequeños de pirita con forma globular (Lámina 4, Foto 8). Estos glóbulos muestran fracturas concéntricas debidas probablemente a encogimiento (sinéresis) durante la pérdida de agua de la pirita depositada en forma coloidal. Hermosos especímenes de pirita botrioidal (Lámina 5, Fotos 9 y 10) fueron obtenidos de los niveles inferiores. Esta pirita se depositó probablemente como coloide en espacios abiertos por soluciones mucho más frías que el resto de los sulfuros porque se le encontró depositada en cristales de calcita con textura de peine (Lámina 6, Foto 11). La pirita fue también probablemente el último sulfuro hipogénico depositado.

CALCOPIRITA

La calcopirita es un mineral abundante en los depósitos de la mina de Dolores, mientras que en los de La Paz se presenta raramente. De acuerdo con Spurr, Garrey y Ferner (1912) el depósito de la calcopirita comenzó muy poco después que la primera pirita se había depositado. La cantidad

de cobre fue aumentando hasta que llegó a formar depósitos económicos. Después, la cantidad de cobre en la pirita fue disminuyendo hasta que se acabó completamente. Los últimos remanentes de calcopirita en Dolores se encuentran como inclusiones en la esfalerita. Esta etapa de depósito de cobre no se presenta en las minas de La Paz, donde la calcopirita se encuentra sólo como minúsculas inclusiones y como agregados pequeños alrededor de la pirita. La calcopirita en La Paz corresponde a una etapa diferente que la etapa cuprífera inicial de Dolores.

Texturas. En los especímenes de Dolores se encontró a la calcopirita como agregados informes pequeños, parcialmente reemplazados por covellita. También se le vio en varios especímenes de Dolores y La Paz como puntos y rayas redondeados y pequeños alineados a lo largo de los ejes cristalográficos de la esfalerita (Láminas 6 y 7, Fotos 12 y 13). Estas inclusiones fueron interpretadas como la exsolución de una fase homogénea de solución sólida. La presencia de inclusiones de pirrotita muy pequeñas dentro de las inclusiones de calcopirita en algunos especímenes de Dolores (Lámina 7, Foto 13), sugiere el mismo proceso de exsolución entre la calcopirita y la pirrotita en estos depósitos (Láminas 1 y 10, Fotos 2, 20). En algunos casos las inclusiones de calcopirita son más abundantes en el centro de los cristales de esfalerita y a veces abundan más en los bordes (Lámina 7, Foto 14). La presencia de mayores manchones de calcopirita alrededor de otros minerales, parece indicar un período más largo de depósito para la calcopirita que para la esfalerita (Lámina 8, Foto 15). Algo de calcopirita se estaba todavía depositando cuando la esfalerita se formó.

PIRROTITA

Este es un mineral encontrado solamente en los depósitos de Dolores, en donde abunda. Está completamente ausente en las minas de La Paz. Son comunes los reemplazamientos de pirita por pirrotita (Lámina 12, Foto 23). La marcasita reemplaza selectivamente a la pirrotita.

Texturas. La pirrotita no presenta ninguna textura en particular, ya que se le encuentra como agregados grandes y macizos con bordes irregulares.

ESFALERITA

La esfalerita es un mineral abundante en las minas de La Paz; también se presenta en Dolores, aunque en menores cantidades. Es siempre de color oscuro y con reflexión interna roja parduzca oscura. Esta coloración oscura se debe al alto contenido de fierro y corresponde a la variedad llamada marmatita. Su estrecha relación con la calcopirita fue mencionada al describir este último mineral.

Texturas. La principal textura mostrada por la esfalerita fue mencionada con la calcopirita y como debido a exsolución al descender la temperatura durante su depósito. Las inclusiones de tetrahedrita son grandes y probablemente debidas a reemplazamientos de manchones de calcopirita más pequeños.

TETRAHEDRITA

La tetrahedrita fue identificada en los depósitos de Dolores y La Paz, aunque siempre en cantidades pequeñas. Está asociada íntimamente con la galena y la esfalerita. El depósito de la tetrahedrita comenzó al final de la esfalerita y duró hasta que principió a depositarse la galena.

Texturas. La tetrahedrita se encuentra como inclusiones en la esfalerita. Estas inclusiones parecen deberse al reemplazamiento de las inclusiones de calcopirita y pirrotita, pero también se deben tal vez al reemplazamiento de la esfalerita, a lo largo de contactos de cristales de ésta, en los que también forma vetillas. Cuando se asocia con la galena aparece como manchones de formas variadas.

GALENA

Este mineral constituye una parte importante de las menas de La Paz, aunque también ha sido encontrada como mineral de menor importancia en Dolores. La galena fue depositada después de la esfalerita y en parte simultáneamente con la tetrahedrita. Se le encuentra asociada con la boulangierita y con la freiclebenita (?), con las que forma masas compactas, difíciles de discernir separadamente, a menos que se les ataque con ácido.

Texturas. La galena se presenta como grandes masas con crucero prominente, que reemplazan a los sulfuros anteriores y son reemplazadas por los posteriores. Estas masas fueron a veces también reemplazadas por el depósito de calcita (Lámina 9, Foto 17). Las texturas de la boulangerita y la freieslebenita (?) sólo pueden discernirse atacándolas con ácido (Lámina 9, Foto 18). Agregados finos de galena, tetrahedrita, boulangerita y pirargirita fueron encontrados en especímenes de La Paz (Lámina 10, Fotos 19 y 20).

BOULANGERITA Y FREIESLEBENITA (?)

Estos dos sulfuros se encuentran en estrecha asociación con la galena y se supone que fueron depositados al mismo tiempo. Constituyen sólo una proporción menor de la mineralización de sulfuros.

Texturas. La boulangerita se encuentra como cristales largos y pequeños del mismo color que la galena, de la que se distingue con la luz polarizada y por medio de microreacciones. La freieslebenita (?) se presenta como manchas pequeñas en la galena y de la que sólo se distingue por microreacciones.

PROUSTITA, PIRARGIRITA Y POLIBASITA

Estos tres sulfuros se encuentran reemplazando a la galena y fueron probablemente los últimos depositados hipogénicamente. Sólo pueden distinguirse entre ellos por reflexiones internas diferenciales y por ligeras diferencias en coloración.

Texturas. Se les distingue como hilillos delgados que reemplazan a la galena a lo largo de las fracturas de crucero (Lámina 11, Foto 21). También se les encuentra en la galena como manchas más o menos redondeadas relacionadas o no con las fracturas de crucero.

MARCASITA

La marcasita se halla en las minas de Dolores y La Paz solamente cerca de la zona de transición entre los sulfuros y los óxidos, por lo que se supone que la marcasita se depositó por soluciones supergénicas y es, por lo tanto, posterior a los sulfuros previamente descritos.

Texturas. Se le encuentra reemplazando a la pirrotita como agregados alargados pequeños en las minas de Dolores (Lámina 12, Foto 23). En las minas de La Paz la marcasita se encontró como hilillos delgados reemplazando una matriz de calcita (Lámina 11, Foto 22) y como vetillas también muy delgadas reemplazando vetillas de pirita de grano más grueso. En este último caso la marcasita también está asociada con calcita (Lámina 4, Foto 7).

COVELLITA

La covellita fue encontrada en uno de los especímenes de Dolores (26, 324), como un probable mineral supergénico que reemplaza a la calcopirita. No se le encontró en ningún otro espécimen, pero debe ser abundante en las menas de Dolores.

Texturas. Bajo un gran poder amplificador se vió a la covellita como agregados capilares en la calcopirita.

ANGLESITA Y CERUSITA

La anglesita y la cerusita fueron identificadas en uno de los especímenes tomados de la zona de transición entre los sulfuros y los óxidos y fueron formadas a partir de galena por soluciones supergénicas descendentes. Llegan a constituir menas importantes en la zona de oxidación.

Texturas. La anglesita ocurre como agregados dendríticos reemplazando a la galena a lo largo de las fracturas de crucero (Lámina 12, Foto 24). También se le encuentra como un material opaco bandeado y como costras alrededor de masas de galena. La cerusita fue encontrada como material granular suelto y como producto de alteración de la anglesita en capas delgadas, cubriendo masas de galena y anglesita; también como cristales gemelados en formas estrelladas en cavidades abiertas.

CELESTITA

Se han encontrado cantidades comerciales de celestita en vetas de calcita con rumbos al noroeste, en el lado oriental y cerca de la Gran Falla.

Texturas. La celestita se presenta con agregados cristalinos gruesos y compactos en vetas de fisura. En algunos lugares estas vetas fueron reabiertas, siendo rellenadas con calcita.

OTROS MINERALES SECUNDARIOS

Muchos otros minerales secundarios han sido explotados y se sabe que aún existen en las porciones oxidadas de estos depósitos. Entre los minerales supergénicos de la zona de transición de los sulfuros a los óxidos se encuentran la cerargirita, la argentita y al plata nativa, habiendo sido encontrados en grandes cantidades en La Paz. La bornita, la malaquita, la azurita y muchos otros compuestos secundarios de cobre, son también abundantes en la zona oxidada de Dolores. También se encontraron abundantes óxidos de fierro en esta zona.

SECUENCIA DE METAMORFISMO Y MINERALIZACION

La secuencia del depósito de minerales a partir de flúidos mineralizantes descrita por Spurr, Garrey y Ferner (1912) para los depósitos de Dolores, puede resumirse como sigue:

- A. Piroxeno aluminoso, de color verde pálido.
- B. Granate aluminoso (grosularita), de color rojizo pálido y vesubianita.
- C. Wollastonita.
- D. Piroxeno de calcio y fierro (hedenbergita), de color verde obscuro.
- E. Granate de calcio y fierro (andradita), de color pardo amarillento y verde obscuro.
- F. Fluorita, cuarzo y sulfuros metálicos (con hornblenda actinolítica).
- G. Sulfuros metálicos (con cuarzo y fluorita).
- H. Calcita.

La Figura 2 muestra la secuencia del depósito de sulfuros y ganga en las etapas G y H.

La etapa inicial de depósito abundante de cobre en el lado oeste de la Gran Falla no se encuentra en La Paz. Los sulfuros de cobre constituyen una cantidad menor de las menas de La Paz y no son de importancia. El plomo, el zinc, la plata y el oro forman el grueso de las menas en el bloque oriental.

SECUENCIA DE LA MINERALIZACIÓN: SULFUROS Y GANGA

<i>Ganga</i>	<i>Cuarzo y fluorita</i>	<i>Calcita</i>
Pirita	---	---
Calcopirita	---	---
Arsenopirita	---	---
Pirrotita	---	---
Esfalerita	---	---
Tetrahedrita	---	---
Galena	---	---
Boulangerita	---	---
Freieslebenita	---	---
Pirarginita	---	---
Polibasita	---	---
Proustita	---	---

Fig. 2

En La Paz los minerales que constituyen la ganga son el cuarzo la calcita y la fluorita (Láminas 2 y 3, Fotos 4 y 5). Se advirtieron también cantidades pequeñas de feldespato de potasio, apatita y sericita en la ganga (Lámina 2, Foto 3). El cuarzo y la fluorita son contemporáneos con las primeras etapas de mineralización con sulfuros, mientras que la calcita es característica de las últimas etapas mineralizantes. El feldespato de potasio, la apatita y la sericita, son minerales reliquia de las rocas encajonantes parcialmente alteradas. La sericita se encuentra asociada siempre con el feldespato de potasio (Lámina 2, Foto 3).

DEPOSITOS PIROMETASOMATICOS

Los depósitos de Dolores y Cobriza son considerados como de mineralización pirometasomática característica, apoyándose en su mineralogía y proximidad con las rocas ígneas intrusivas. Como en todos los depósitos pirometasomáticos característicos (Knopf, 1933) los sulfuros de fierro son parcialmente más viejos y parcialmente más jóvenes que los silicatos de las tactitas. La temperatura de formación de estos depósitos debe haber sido superior a los 573°C, porque a esta temperatura es a la que la sílice y la calcita reaccionan para formar la wollastonit. El granate se vuelve isotrópico a los 800°C, por lo que la temperatura de formación de estos depósitos debe haber estado entre los 500° y los 800°C.

Las menas de estos depósitos constituyen una proporción muy pequeña de las enormes masas de silicatos asociados. Los sulfuros se depositaron preferencialmente en la caliza aún no alterada, cerca de los contactos con las tactitas, como puede verse en el espécimen 26, 285 de Dolores. Esto puede explicarse por el hecho de que los sulfuros parecen ser el resultado de la rápida neutralización del ácido formado por las reacciones reversibles entre el vapor y los cloruros, tal como: $ZnCl + H_2S \rightarrow ZnS + 2HCl$ ya que los silicatos son reacios a reaccionar con el ácido, los flúidos se moverán hacia afuera hasta encontrarse con la caliza donde como resultado de la neutralización del ácido, la reacción puede proceder hacia la derecha. La competencia en los flúidos para penetrar aberturas pequeñísimas se indica por el hecho de que estos depósitos no se relacionan con fisuras reconocibles. Esto sugiere que las soluciones fueron parcialmente gases Emmons (1940).

DEPOSITOS MESOTERMALES

El tipo de minerales, así como la posición relativa de los depósitos minerales en el bloque oriental de la Gran Falla con respecto al principal cuerpo intrusivo, indica que éstos pertenecen al grupo mesotermal de Lindgren (1900).

Las vetas de fisura con rumbo oriente-poniente en el bloque del valle se caracterizan por tener rumbos y echados grandes muy regulares. Estas vetas cortan a los sedimentos intrusionados, a la vez que atraviesan los cuerpos intrusivos pequeños. Este hecho indica que dichos cuerpos ya estaban solidificados a temperaturas mesotermas cuando se produjo la mineralización.

Los relieves de las fisuras son generalmente lisos y tienden a ser regulares por distancias grandes, pero en varios lugares puede verse evidencia de reemplazamiento de las rocas encajonantes. La alteración de las rocas encajonantes consiste en silicificación, piritización y sericitización. El espécimen R-2 muestra minerales reliquias del cuerpo intrusivo mismo, después de haber sido parcialmente cambiado a material de veta (Lámina 2, Foto 3). La presencia de huecos y drusas con cristales individuales y piritita botrioidal sugieren que no prevalecieron las presiones altas. Las fuentes termales encontradas en los niveles 600 y 750 también indican la presencia de grandes cavidades de solución y fisuras abiertas en las calizas, las cuales suministran canales para el flujo de aguas localizadas a mucha profundidad.

OXIDACION

La profundidad de la oxidación está estrechamente relacionada con la topografía. En la base del bloque del oeste los sulfuros pueden verse en la superficie, mientras que en La Paz se encuentran hasta el Nivel 400 y se ven hasta el Nivel 650 en las minas de Kildún, que se localizan más al oriente, hacia el Valle de Matehuala (Figura 1). El nivel freático ha sido abatido por el bombeo de las minas, pero es originalmente mucho más alto que el contacto entre las zonas de oxidación y los sulfuros.

RELACION ENTRE LOS DEPOSITOS

De las relaciones estructurales entre los depósitos de los bloques oeste y este, puede deducirse que antes de que el gran fallamiento ocurriera, los

depósitos de La Paz estaban arriba de los de Dolores. La petrología del intrusivo y las asociaciones minerales indican la certidumbre de esta idea.

ORIGEN

Todos los depósitos descritos muestran relación espacial con los cuerpos de cuarzomonzonita. Su arreglo zonal alrededor de los cuerpos intrusivos deja pocas dudas acerca de su relación genética, ya sea con la cuarzomonzonita o con cuerpos ígneos más profundos abajo de las rocas monzoníticas. La intensa alteración del intrusivo monzonítico en las áreas mineralizadas sugiere que el origen de los flúidos mineralizantes fue una masa ígnea más profunda. Como las vetas de fisura fueron formadas después de la consolidación de la porción superior de la columna magmática, la mineralización de estas vetas debe relacionarse con fuentes más profundas que las mismas rocas monzoníticas. Su origen puede haber sido el mismo que produjo el levantamiento del bloque occidental de la Gran Falla, posterior a la mineralización.

Como en muchos otros distritos, los silicatos salieron de la fuente de origen antes que los sulfuros. Hay cuando menos dos principales posibilidades para explicar este fenómeno común: 1) aumento de la presión del vapor de los líquidos residuales mineralizantes en la parte superior del cuerpo intrusivo durante el enfriamiento, por lo que los primeros y más abundantes componentes serán los que tengan las más altas presiones de vapor. Esta destilación fraccional puede formarse rápidamente al subir la temperatura; por lo tanto, la secuencia silicatos-sulfuros indicaría que los sulfuros fueron transportados solamente a temperaturas más altas de las que se necesitarían para transportar los silicatos. La forma en que se produciría esta destilación fraccional con presiones de vapor en aumento durante la cristalización del magma no es aún clara. 2) La otra posibilidad sería la disponibilidad progresiva de las varias sustancias mineralizantes. Según esto, los sulfuros estarían concentrados a mayor profundidad en la fuente y, por lo tanto, serían emitidos más tardíamente. En esta forma la secuencia sería más o menos independiente de las condiciones cambiantes de temperatura y presión, e indicaría solamente que los sulfuros tendrían que viajar desde más lejos llegando, necesariamente, después al sitio de depósito.

CONCLUSIONES

De la posición estructural de las menas del Distrito Minero de Matehuala se sugiere que hay muchas posibilidades de encontrar nuevos depósitos minerales alrededor del cuerpo intrusivo principal. No hay razón para pensar que las fisuras se hayan formado solamente en el lado oriental del tronco cuarzomonzónico.

El estudio geológico detallado de La Paz daría muchos datos de los cambios mineralógicos con la profundidad, para comprobar la relación exacta entre el intrusivo y la mineralización.

De la persistencia de los mismos tipos de minerales a la profundidad en las minas de La Paz (Nivel 900), es de esperarse que el cambio de tipo metasomático se producirá después de encontrarse una etapa intermedia. No puede hacerse ninguna predicción en cuanto a la profundidad a la que este cambio comenzará, ya que algunos depósitos mesotermales son notablemente persistentes a la profundidad. La zona correspondiente a la Gran Falla será probablemente alcanzada antes de que algún cambio se produzca.

BIBLIOGRAFIA

- BASTIN, E. S. 1950. *Interpretation of the ore textures*. Geol. Soc. America. Mem. 45.
- EMMONS, W. H. 1940. *The principles of economic geology* McGraw-Hill.
- FARNHAM, C. M. 1931. *Determination of the opaque minerals*. McGraw-Hill.
- GONZÁLEZ-REYNA, J. 1949. *Geología de los yacimientos de plomo y zinc*. Bol. 26. Inst. Nal. Invest. Rec. Min. México.
- GRATON, L. C. 1940. *Nature of the ore forming fluids*. Econ. Geol., v. 35.
- HARVEY, R. D. 1931. *The geometrical pattern of contacts in determinative paragenesis*. Econ. Geol., v. 26.
- KNOPF, A. 1933. *Pirometasomatic deposits in ore deposits of the western states*. American Inst. Min. Eng.
- LINDGREN, W. 1900. *Metasomatic processes in fissure veins*. Trans. American Inst. Mining Eng., v. 30.
- , 1933. *Mineral deposits*. McGraw-Hill.
- NEWHOUSE, H. W. 1925. *Paragenesis of marcasite*. Econ. Geol., v. 20.
- SCHÖUTEN, C. 1934. *Structures and textures of synthetic replacements in "open spaces"*. Econ. Geol., v. 29.
- SCHWARTZ, G. M. 1931. *Textures due to unmixing of solid solutions*. Econ. Geol., v. 26.
- SHORT, M. N. 1940. *Microscopic determination of the ore minerals*. United States Geol. Surv., Bull. 914.
- SIMONS, F. S. 1951. *Geology and ore deposits of the Zimapan Mining District, Mexico*. Ph. D. Dissert Univ. Stanford, California.

- SPURR, J. E. 1912. *Theory of ore deposition*. Econ. Geol., v. 7.
- , and GARREY, C. H. 1908. *Ore deposits of the Velardeña District, Mexico*. Econ. Geol., v. 3.
- , GARREY, G. H. and FERNER C. N. 1912. *Study of a contact metamorphic ore deposit. The Dolores Mine at Matehuala, S.L.P., Mexico*. Econ. Geol., v. 7.
- UYTENBOGAARDT, W. 1951. *Tables for microscopic identification of ore minerals*. Princeton Univ. Press.
- VAN DER VEEN R. W. 1925. *Mineragraphy of ore deposition*. G. Naeff, La Haya.