

METALOGENIA Y GEOQUÍMICA DE LOS FLUIDOS ASOCIADOS A LOS DEPÓSITOS DE TIPO MVT (MISSISSIPPI VALLEY-TYPE DEPOSIT) EN EL CENTRO Y NORTE DE MÉXICO

*J. Tritlla, G. Levresse, E. González-Partida, R. Corona-Esquivel,
C. y Martínez-Ramos,*

Programa de Geofluidos, Centro de Geociencias, Campus Juriquilla-UNAM,
Carr. Qro.-SLP km 15,5,
Santiago de Querétaro, Querétaro.
Instituto de Geología, UNAM, Ciudad Universitaria.
Consulta Independiente. Saltillo, Coahuila.

RESUMEN

En México existen todo un conjunto de mineralizaciones de Pb-Zn-Ba-F que han sido sistemáticamente consideradas como pertenecientes a tipologías diversas (skarns, reemplazamientos de alta temperatura, epitermales, etc) que, bajo una nueva perspectiva, responden a un modelo de circulación de fluidos de cuenca enriquecidos en metales, flúor y bario durante su tránsito por la serie sedimentaria. Estos fluidos han dado lugar a un conjunto de cuerpos mineralizados estratoligados que aparecen encajonados dentro de las series de plataforma carbonatada mesozoicas del centro, N y NE de México. Típicamente, no están asociados genéticamente a magmatismo alguno, no causan una alteración muy acusada en la roca encajonante, suelen estar asociados a la presencia de materia orgánica (hidrocarburos líquidos, bitúmen), presentan una mineralogía muy sencilla, a menudo casi monomineralica (barita, celestita, fluorita, esfalerita, galena) y suelen presentar temperaturas de formación dentro del rango de 90-150° C con salinidades variables. Todo este conjunto de características hacen estos depósitos plenamente comparables con los MVT del subtipo Alpino-Apalachiano.

INTRODUCCIÓN

El término "Mississippi Valley-type" fue inicialmente utilizado en referencia al conjunto de depósitos de Zn-Pb localizados en la cuenca del río Mississippi, en el centro de los Estados Unidos.

Las características básicas que definen a este tipo de depósitos son aspectos químicos y geológicos muy generales, por lo que ha sido posible clasificar numerosos depósitos de Zn-Pb-F y otras sustancias dentro de la tipología MVT. Junto con los depósitos singenéticos de metales base encajados en sedimentos (VMS, Sedex), los depósitos de tipo MVT constituían a finales de los años 80 el 65% de las reservas mundiales de zinc y el 77% de las de plomo (Tikkanen, 1986).

Debido a su importancia económica, estos depósitos han sido el foco de estudio de numerosos investigadores a nivel mundial abarcando tanto aspectos geológicos como geoquímicos, reflejándose en la gran cantidad de literatura científica al respecto. No obstante, existen un conjunto de aspectos básicos sobre su génesis que aun son controversiales, como los mecanismos de flujo de los fluidos mineralizantes, el régimen tectónico al que responden y hasta los procesos de precipitación. Esto es debido a que algunas de dichas características no son extrapolables a la mayoría de los depósitos.

Las mineralizaciones generalmente denominadas como Mississippi Valley-Type (MVT) son epigenéticas, normalmente estratoligadas, y están formadas a partir de soluciones hidrotermales de baja temperatura y presión, con o

sin la presencia de hidrocarburos. Este término se utilizó inicialmente con referencia a los depósitos de Pb-Zn que aparecen en la cuenca del río Mississippi, en los U.S.A.

Debido a que estos depósitos guardan en común un conjunto de características geológicas y geoquímicas muy amplias, se ha podido incluir dentro de esta tipología a un conjunto de mineralizaciones muy similares que aparecen a nivel mundial.

Así, si se tiene en cuenta tanto la paragénesis mineral como el tipo de soluciones que dieron origen a estos depósitos, el espectro de sub-tipologías que aparecen es muy amplio, incluyendo no solo los depósitos estratoligados encajados en rocas carbonatadas, dolomitizadas o no, si no también depósitos estratoligados encajados en rocas siliciclásticas, depósitos de Pb-Zn-Ag-Ba-F en fallas, y un largo etcétera.

DEPÓSITOS DE TIPO MVT EN MÉXICO.

Los depósitos de tipo MVT no han sido reconocidos como tales durante mucho tiempo en México por diversos motivos, entre los que cabe destacar el que estos esencialmente contienen metales de base (p.e. El Diente cerca de Monterrey, Nuevo León; Sierra Mojada, Coahuila), barita (Muzquiz, Coahuila), celestita (distrito de Cuatrociénegas, Coahuila) y/o fluorita (La Azul, Guerrero, Tritlla et al., 2001; La Encantada-Buenavista, González-Partida et al., 2003), por lo que no han sido tan atractivos como los depósitos que contienen metales preciosos (skarns, epitermales) o altos

tonelajes en metales base (sedex, vulcanogénicos), tanto para la mayoría de las empresas mineras como para el mundo científico en general.

Asimismo, y debido a la omnipresencia de cuerpos intrusivos que cortan toda la serie mesozoica en el centro y NE de México, los depósitos de esta filiación han sido sistemáticamente confundidos con depósitos ligados a fluidos o procesos magmáticos.

A pesar de que algunos autores ya habían propuesto la existencia de esta tipología (De Cserna, 1989), dichas aseveraciones tuvieron muy poco eco tanto en el mundo científico como en el minero.

Solo recientemente se ha reconocido la importancia de este tipo de depósitos en México, hecho que puede resultar muy relevante de cara a la exploración de nuevos recursos minerales en las plataformas carbonatadas mesozoicas del centro y NE de México.

LOCALIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS EN MÉXICO

La mayor parte de los depósitos que pertenecen a esta tipología identificados en México se localizan encajonados en facies de plataforma carbonatada mesozoicas de los Estados de Guerrero, San Luis Potosí, Coahuila y Chihuahua, esencialmente.

La poca atención que se le ha prestado a esta tipología provoca que otros muchos depósitos pudiesen corresponder a esta tipología, por lo que su distribución en suelo mexicano es muy posiblemente mucho más amplia de lo que actualmente se reconoce, abarcando otros estados con presencia de series carbonatadas de plataforma.

DEPÓSITOS ESTRATOLIGADOS DE BARITA

En el Norte del Edo. de Coahuila aparecen un conjunto de depósitos estratoligados de gran extensión y potencia variable (hasta 3 metros), compuestos casi exclusivamente por barita de alta pureza, junto con cantidades accesorias de calcita.

Hasta el momento, tanto por su abundancia relativa como por su importancia económica, los depósitos que más se han estudiado son los de barita, celestita y fluorita del Edo. de Coahuila, por lo que vamos a efectuar un resumen del estado del arte sobre el conocimiento de estos depósitos. Los principales cuerpos mineralizados aparecen en las cercanías de la población de Muzquiz (Coahuila).

Consisten en dos niveles estratoligados de barita (minas “Cocina” y “Potrero”) encajonados en la Fm. Cupido (Cretácico inferior), parcialmente deformados por la tectónica laramídica.

El contacto con la roca encajonante es nítido y está marcado por la alteración de color de la misma. Tanto la roca encajonante como la propia barita son “fétidas” (presencia de H₂S).

Se observa como la disposición de la barita parece guardar relación con la pseudomorfosis de estructuras relictas: impurezas en la barita que marcan una “pseudo-estratificación”; superficies “convolutas”, plegadas o boudinadas; cambios en el tamaño de grano o la disposición de la “pseudo-estratificación” observadas de base a techo del

nivel mineralizado; estructuras bandeadas, texturalmente similares a “ritmitas”, constituidas por la alternancia de bandas “claras” y “oscuras” de barita que, ocasionalmente, forman la totalidad del nivel mineralizado.

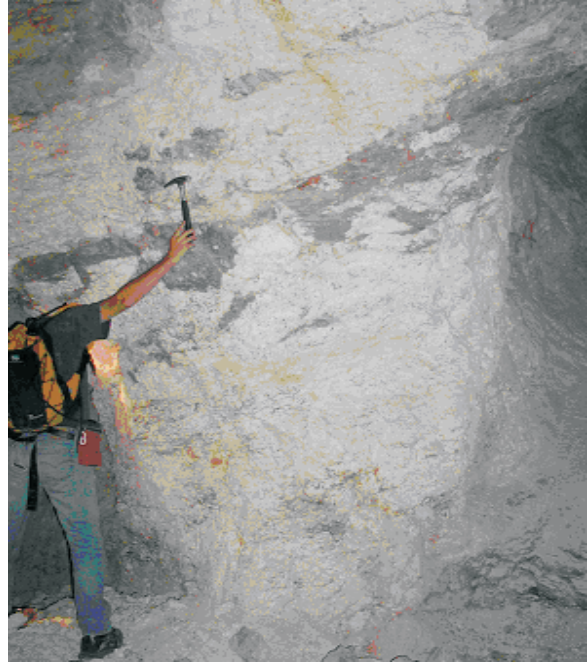


Figura 1 Mina Cocina. Detalle del nivel de barita masivo.

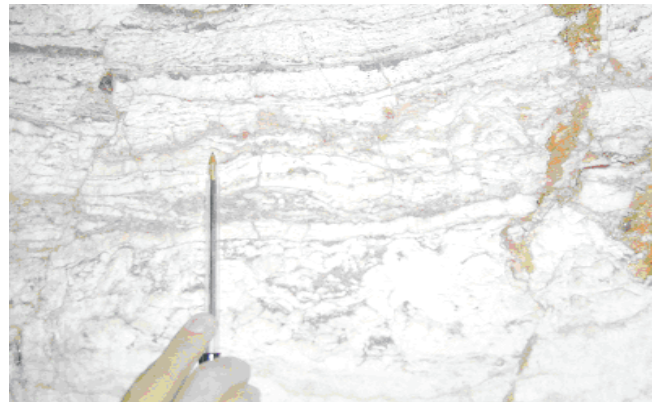


Figura 2 Detalle de la barita, con texturas enterolíticas.

Figura 4. Mina La Víbora. Detalle de la ritmita de celestita hacia el borde del cuerpo.

Los cuerpos mineralizados están compuestos por cristales tabulares de barita de grano fino, que aparentemente se disponen al azar.

Una inspección más profunda del afloramiento permite observar

Las inclusiones fluidas en los niveles de barita son muy escasas, de pequeño tamaño y suelen estar afectadas por procesos de pérdida de fluido (*leakage*) tanto debido a la exfoliación perfecta de la barita como a que estos niveles están afectados por la deformación larámide. No obstante, fue



Figura 3 Mina La Vibora, Coahuila. Vista del cuerpo lenticular de celestita estratoligado.



Figura 5. Mina El Volcán, Cuatro Ciénegas, Coahuila. Ritmita de Celestita.

posible realizar mediciones microtermométricas en escasas inclusiones fluidas claramente primarias.

El estudio previo de dichas inclusiones indica temperaturas de alrededor de 120°C y salinidades de entre el 20-23% en peso de sales totales.

Todo este conjunto de características texturales, de alteración y la presencia de materia orgánica sugiere que estos cuerpos de barita se formaron como consecuencia de la sustitución de niveles de yeso evaporítico, transformados a anhidrita durante la diagénesis, por salmueras de cuenca similares a las aguas de formación encontradas hoy en día en campos petrolíferos.

El origen del Ba resulta incierto, aunque las aguas de formación pueden acumular cantidades importantes de este elemento debido a los procesos diagenéticos de transformación de feldespatos, que pueden contener cantidades apreciables de Ba

DEPÓSITOS ESTRATOLIGADOS DE CELESTITA

Las plataformas carbonatadas mesozoicas de los Edos. de Coahuila, San Luís Potosí y Chihuahua contienen una de las mayores acumulaciones depósitos de celestita conocidos a nivel mundial. No obstante, este distrito ha recibido escasa atención hasta el momento por parte del mundo científico.

Una de las características más sobresalientes de estos depósitos es, en general, su pequeño tamaño, ya que solo algunos llegan a tener tonelajes medianos.

Los antecedentes sobre los depósitos de Sr en el estado de Coahuila son escasos. Salas (1973) hace un primera descripción de los depósitos de Celestita de la Sierra de Paila (Coahuila).

Salas (1973), Rickman (1977) y Kesler y Jones (1981) sugieren que los mantos de celestita de la Sierra de Paila son pigenéticos y se formaron por reemplazamiento de los carbonatos encajonantes.

Kesler y Jones (1981), concluyen, basados en pocos datos isotópicos (13 celestitas), que tanto los depósitos de celestita como de barita probablemente se formaron a partir de elementos derivados de la cuenca sedimentaria durante la diagénesis.

Asimismo, proponen que el Sr en la celestita deriva de las rocas encajonantes carbonatadas, mientras que el Ba y el Sr de la barita muy posiblemente provienen del lavado de rocas clásticas presentes en el basamento.

No se conoce el número total de cuerpos de celestita que existen entre los estados de Coahuila, San Luís Potosí y Chihuahua debido a la gran abundancia de pequeñas lentes mineralizadas. Resulta muy común que junto con algún cuerpo mineralizado de importancia económica aparezcan cuerpos “satélite” que tanto pueden estar situados en el mismo

nivel o ligeramente por encima o abajo del principal.

Estos cuerpos aparecen interestratificados con los carbonatos de la formación Cupido (Aptiense). Se presentan a la forma de lentes de entre pocos cm y unos 5 m de potencia, con una extensión lateral muy variable, a veces de más de 500 m.

Están compuestos por cristales de celestita tabulares, ocasionalmente prismáticos, euhedrales a subhedrales, de color blanco, azul a negro, de hasta 20 cm de longitud y 10 cm de grosor como máximo. Estos depósitos presentan cantidades variables y menores de yeso selenítico ocupando las cavidades finales dejadas por la celestita, junto con calcita y escaso azufre nativo. Ocasionalmente se observa la presencia de una última generación de celestita no tabular precipitada junto con el yeso selenítico.

Esto indicaría un exceso de sulfato o un cese en el aporte de Sr por parte de la solución mineralizante. El tamaño de los cristales se incrementa desde los extremos del cuerpo (celestita microcristalina) hasta el centro del mismo, que suele estar constituido por grandes cristales euhedrales de celestita. Las diferentes generaciones de cristales crecen desde las paredes del cuerpo hacia el interior, disponiéndose bajo la forma de ritmitas compuestas por la alternancia de bandas cristales de celestita oscuros a negros, debido a la presencia de abundante materia orgánica sólida (bitumen) en su interior, con bandas de cristales de color azul, mucho más pobres en inclusiones de bitumen.

Tanto los cristales que se disponen en las bandas oscuras como las claras son fétidos debido a la presencia de H₂S muy posiblemente atrapado en las inclusiones fluidas.

Las inclusiones fluidas son medianamente abundantes, aunque la mayoría presenta fenómenos de estrangulamiento y/o pérdida de fluido debido a la exfoliación perfecta de la celestita. Las inclusiones fluidas primarias son generalmente bifásicas, constituidas por un fluido acuoso y una burbuja de vapor, y presentan un grado de relleno estimado visualmente de entre 0.9 y 0.95.

Las temperaturas de homogeneización son muy constantes y varían entre 80 y 110°C, con salinidades calculadas de entre 9 y 13wt% eq. en NaCl.

Los datos sobre la composición en halógenos (Br, Cl, F) y Na de estas inclusiones, representados en un diagrama de relaciones molares Cl/Br vs Na/Br, se sitúan por debajo de la línea de evaporación de agua marina, a clorinidades menores, pero paralelos a dicha trayectoria y en la zona de precipitación de halita.

Este comportamiento sugiere que la salinidad de los fluidos proviene de la evolución de agua de origen marino, modificada mediante evaporación.

Un ejemplo atípico lo constituye el depósito de El Tule, al N de Muzquiz (Coahuila). Este está constituido por un cuerpo estratoligado de celestita y fluorita de potencia muy variable (hasta 2 m de espesor), encajonado en una superficie de corrimiento sub-horizontal a la estratificación (“layer-parallel slip”), que afecta a los carbonatos de la Fm Buda (Washita Group).

Los cristales de celestita son en general similares a los

descritos en los depósitos anteriores, aunque de color blanco, presentando las mismas texturas en “ritmita”.

La primera diferencia que se observa es que los cristales de las generaciones más tempranas están fuertemente deformados, mientras que las generaciones subsiguientes ya no presentan signos de deformación, sugiriendo que la formación de la superficie estructural, el flujo de fluido y la formación de la porosidad que ocupa la mineralización están en íntima relación con los últimos episodios de la deformación laramídica.

La última fase de mineralización está formada por fluorita, bastante minoritaria que aparece herráticamente en bolsadas, ocupando la porosidad dejada por la celestita.

Tanto las celestitas como las fluoritas presentan abundantes inclusiones fluidas. Lo más destacable es un cambio importante tanto en la Temperatura como en la composición de los fluidos mineralizantes desde la precipitación de la celestita a la de fluorita.

El cambio composicional se detecta mediante la aparición de inclusiones fluidas con hidrocarburos, de cantidades importantes de CO₂ en la burbuja de las inclusiones fluidas acuosas con presencia de una doble burbuja de CO₂ (líquido + gas) indicando una alta presión de este gas, así como un decremento en la salinidad de las soluciones.

Así, el depósito de celestita-fluorita de El Tule representaría un raro ejemplo de la transición entre los “mantos celestíticos” que aparecen al S del edo. de Coahuila (Sierra de la Paila) y los “mantos fluoríticos” que aparecen en el N de Coahuila. Asimismo, es la prueba de un cambio brusco en las condiciones de generación de fluidos en la cuenca.

DEPÓSITOS DE FLUORITA

El distrito de fluorita más característico es el de La Encantada-Buenavista. Se localiza al N del Edo. De Coahuila, en la Sierra de La Encantada.

Consiste en varios mantos de fluorita con una extensión de varios kilómetros cuadrados. La mineralización aparece distribuida a favor de los diferentes niveles carbonatados que aparecen en la Sierra de la Encantada, llegando a su máximo desarrollo en los carbonatos arrecifales, muy porosos, de la Fm Aurora, en donde encajonan los principales mantos explotados hasta el momento (Gonzalez-Partida et al., 2003).

La distribución de los cuerpos de fluorita presenta un fuerte control estructural (S. Baca, com. per.). Se encuentran en la intersección entre barreras de baja permeabilidad con fallas de muy bajo ángulo (Tritlla et al., 2004), a veces con superficies onduladas, recordando pequeñas “rampas” de despegue. Estas superficies se desarrollan aprovechando las superficies de estratificación y, en donde se presenta la mineralización, suelen abundar los materiales arcillosos, parcialmente como producto del mismo tectonismo. La precipitación de la fluorita viene precedida por un gran aumento en la permeabilidad de la roca debido a la fracturación hidráulica de la misma.

Los cuerpos mineralizados son prácticamente monominerálicos. La fluorita aparece mayoritariamente bajo la forma de cristales blancos a incoloros, sin trazas de

corrosión indicando la existencia de una sucesión pasiva en la formación del depósito.

Ocasionalmente se observan cavidades finales tapizadas por cristales idiomórficos, cúbicos de fluorita zonada con las últimas bandas de color púrpura, calcita y muy escasa Barita. La fluorita contiene inclusiones fluidas de gran tamaño, aisladas o distribuidas según las bandas de crecimiento, con caracteres claramente primarios. Suelen aparecer tres familias de inclusiones: (1) inclusiones acuosas bifásicas formadas por una solución salina y una burbuja de vapor; (2) inclusiones no acuosas, de color café a café oscuro, constituidas por un hidrocarburo líquido, una burbuja de gas y ocasionalmente, bitumen sólido; y (3) inclusiones trifásicas a polifásicas mixtas formadas por una solución salina, un hidrocarburo líquido no miscible, una burbuja de gas y cantidades variables de bitumen sólido. Las temperaturas de homogeneización reportadas para estos depósitos (González-Partida et al., 2003) varían entre 75 a 120°C, con salinidades comprendidas entre 10.5 y 14.9 wt% eq. NaCl. La reconstrucción de las condiciones P-T a partir del cruce de isocoras calculadas a partir de dichas inclusiones permitió determinar tres condiciones presión-temperatura de atrapamiento de las inclusiones: (1) 108 bar and 100°C; (2) 160 bar and 120°C; y (3) 300 bar and 105°C.

Esta variación en las condiciones de presión puede muy bien reflejar los cambios que ocurrieron debido a la apertura del sistema hidrotermal durante los episodios de fracturación hidráulica.

Tanto los datos microtermométricos como la composición en halógenos de las inclusiones (Tritlla et al., 2004) indican que los fluidos involucrados en la génesis de estos depósitos son de origen meteórico, muy probablemente agua marina con cierto grado de evaporación, muy modificada debido a su circulación a través de la serie sedimentaria. Estos datos invalidan el posible papel que habría jugado el magmatismo riolítico terciario en la zona.

Asimismo, ambos conjuntos de datos indican que los fluidos atrapados en la fluorita son el producto de una mezcla, ya que las salinidades calculadas son demasiado bajas para las relaciones de halógenos determinadas, indicando una más que posible mezcla con un fluido de baja salinidad.

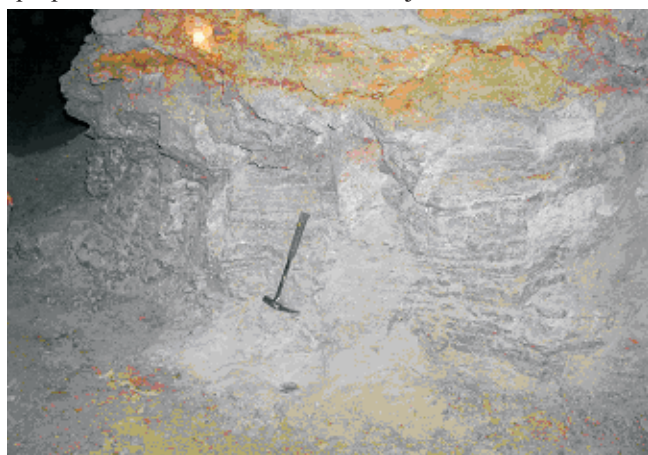


Figura 6. La Encantada-Buenavista. Detalle de las ritmitas de fluorita



Figura 7. Mineral de Reforma (Pb-Zn), Sierra de la Purísima y San Marcos. Coahuila. Detalle del mineral oxidado.

DEPÓSITOS DE METALES BASE

Los depósitos de metales base de baja temperatura encajonados en las plataformas carbonatadas de México hasta el momento han recibido escasa atención por parte del mundo académico.

La mayoría de estos depósitos presentan una alteración supergénica muy avanzada, por lo que la paragénesis primaria está completamente substituida por "calaminas", carbonatos de zinc hidratados (hidrocincita) o anhidros (smithsonita) como en el caso de los depósitos de Sierra Mojada, de la Sierra de la Purísima y San Marcos en el Edo. De Coahuila. El distrito de Sierra Mojada se localiza en el borde sur de la Cuenca de Sabinas.

Este distrito presenta dos cuerpos mineralizados principales, separados por la falla de Sierra Mojada, de dirección E-W. Al norte de la falla, la mineralización está distribuida en la Formación Ménchaca y se presenta bajo la forma de mantos diseminados estratoligados, masivos mineralizados en esfalerita y galena, con valores de Cu y Ag. Al S de la falla, la mineralización consiste en mantos de óxidos de Zn y Pb (www.metallin.com, 2005).

Estas dos mineralizaciones aparecen en una columna de unos 100 metros de espesor, si bien los límites no se han podido determinar con precisión. En 1879 se descubrió en esta zona un depósito de carbonato de plomo (cerusita) con

altos contenidos en Ag, que se conoció como el *Manto de Plomo*.

Este manto es subhorizontal, de morfología tabular y ha sido minado en dirección E-W de forma continua durante 3 km y discontinua durante 2 km más.

Fue el único cuerpo productivo en el distrito hasta 1905, cuando se descubrieron los cuerpos ricos en Cu y Ag de la mina San José, al N de la falla de Sierra Mojada. En la década de 1920, la Corporación Peñoles descubrió un manto rico en óxidos y silicatos de Zn (hemimorfita) en una formación dolomitizada con altos contenidos en Fe, que fue denominado Manto Rojo de Zinc. Este manto también es subhorizontal y ha sido minado por unos 2 km (minas San Salvador, Encantada, Fronteriza y Oriental).

En la mina San Salvador se descubrió un nuevo cuerpo constituido casi exclusivamente por smithsonita situado por encima del nivel dolomítico que contiene el Manto Rojo de Zinc, conocido como Manto Blanco de Zinc. Este aparece Formación Aurora y tiene continuidad hacia la Formación La Peña, con una potencia reconocida de 70 metros.

Este manto solo fue explotado en la mina San Salvador por una longitud de 400 metros, y presenta leyes superiores en Zn al Manto Rojo, además de que contiene menos óxidos de Fe. Estas dos mineralizaciones se encuentran en contacto debido a la falla post-mineral de Sierra Mojada, que pone en contacto las Formaciones San Marcos y Menchaca con la Aurora.

Es de destacar que las alteraciones asociadas a la formación de estas mineralizaciones, aparte de la dolomitización del Manto Rojo, son inexistentes por lo que, junto con sus características morfológicas, texturales y mineralógicas se pueden clasificar como pertenecientes a la tipología MVT.

En la Sierra de la Purísima y San Marcos, el distrito de Mineral de Reforma (minas Reforma, Ojo de Agua y Juárez) fueron minados en el siglo XIX y principios del XX. Los cuerpos mineralizados son mantos estratoligados que se encuentran confinados y controlados por las facies de calizas oolíticas y arrecifales de la Formación Cupido (González-Ramos, 1984). Están esencialmente constituidos por galena, esfalerita, barita y siderita, con trazas de pirita y calcopirita como minerales hipogénicos, aunque los sulfuros están casi siempre como relictos rodeados por los productos de alteración supergénica (smithsonita, hidrocincita, limonita, cerusita, etc).

Los fluidos que originaron la formación de estos cuerpos mineralizados, a diferencia de los de fluorita o barita anteriormente mencionados, alteran los carbonatos arrecifales mediante la formación de un halo de intensa dolomitización que resalta en el paisaje.

Las escasas inclusiones fluidas encontradas en los minerales hipogénicos indican temperaturas de formación de entre 100 a 150°C con salinidades de alrededor entre 7.5 y 20% NaCl eq..

CONCLUSIONES

La presencia de cuerpos mineralizados con características

similares a los MVT son comunes en las plataformas carbonatadas mesozicas Mexicanas.

La revisión cuidadosa de las características geológicas y geoquímicas de estos depósitos nos está permitiendo diferenciar cuatro grupos de mineralizaciones: (1) cuerpos estratiformes de barita de gran pureza que substituyen niveles evaporíticos y se localizan en las partes bajas de la serie estratigráfica; (2) lentes estratoligadas de celestita mayoritaria encajonados en la Fm. Cupido y equivalentes; (3) mantos estratoligados de fluorita controlados por fallas de bajo ángulo en los carbonatos arrecifales de la Fm. Aurora; y (4) cuerpos estratoligados, poco estudiados, de Zn-Pb-(Ba) a menudo alterados en superficie a "calaminas".

Todos estos depósitos se caracterizan por presentarse asociados a la presencia de materia orgánica, tanto bajo la forma de inclusiones fluidas de hidrocarburos líquidos, de bitumen o por la presencia de H₂S (carbonatos o minerales Féetido).

En todos los casos, estos depósitos están genéticamente desligados de cualquier actividad magmática, aunque es común que estén afectados por episodios magmáticos posteriores (La Azul, Guerrero; La Encantada-Buenavista, Coahuila).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el financiamiento prestado a este estudio a través de los proyectos PAPIIT de la UNAM números IN114002 y In107203.

BIBLIOGRAFÍA.

- ✍ De Cserna, Z., 1989, An outline of the geology of Mexico.
- ✍ In Bally, A.W. And Palmer, A. R. (Eds.): "The Geology of North America-An Overview" Vol. A., Geological Society of America, pp 233-264.
- ✍ Gonzalez-Partida, E.; Carillo-Chavez, A.; Grimmer, J.O.W.; Pironon, J.; Mutterer, J. y Levresse, G., 2003, Fluorite deposits at Encantada-Buenavista, Mexico: products of Mississippi Valley type processes". *Ore Geology Reviews*, 23 (3-4), 107-124.
- ✍ González-Ramos, A., 1984, Estudio geológico -geoquímico regional de la Sierra La Purísima y San Marcos, en el Mpio. de Cuatro Ciénegas, Coahuila. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM, 128 Pp.
- ✍ Kesler, S.E. y Jones, L.M., 1981, Sulfur and strontium-isotopic geochemistry of celestite, barite and gypsum from the Mesozoic basins of North Eastern Mexico". *Chemical Geology*, 31, 211-224.
- ✍ Rickman, D. L., 1977, Origin of celestite (strontium sulfate) ores in the Southwestern United States and northern Mexico", Tesis de Maestría, New Mexico Institute of Mining and Technology, Socorro, NM, Estados Unidos. 79 pp.
- ✍ Salas, G.A., 1973, Geología de los depósitos de celestita de la Sierra de la Paila, Coahuila. Convención Nacional de la AIMMG, 10, 287 - 294.
- ✍ Tikkanen, G.D., 1986, World resources and supply of lead and zinc. In: W.R. Bush (Ed.): Economics of internationally traded minerals. Society of Mining Engineers, 242-250.
- ✍ Tritilla, J.; Camprubí, A. y Corona-Esquivel, R., 2001, The Taxco fluorite deposit (Mexico): a new pseudo-chromatographic mechanism for rhythmite formation. In Piestrzynski et al. (Eds.). *Mineral Deposits at the Beginning of the 21 st Century*, Balkema, pp