

## EL YACIMIENTO DE METALES BASE EN MOLANGO, HIDALGO, MÉXICO: ESTRUCTURA Y MINERALOGÍA

Eduardo Cerecedo S. <sup>a</sup>, Paola D. Andrade T. <sup>a</sup>, Ventura Rodríguez L. <sup>a</sup>, Diana M. Morales R. <sup>a</sup>, Juan Hernández A. <sup>a</sup> & Eleazar Salinas R. <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, UAEH, Mineral de la Reforma, Hidalgo  
[mardenjazz@yahoo.com.mx](mailto:mardenjazz@yahoo.com.mx)

### RESUMEN

La mineralización de metales base en Molango (Oriente de México) está constituida por dos tipos de mineralización que yacen en la Formación Huayacocotla que data del jurásico inferior: En Molango, la primera mineralización es de tipo estratiforme con Pb - Zn, yace en lutitas y pizarras negras; entre tanto, la segunda mineralización es predominante, y es de tipo filoniana con canales de conducción tipo stockwork en areniscas y alta silicificación con Cu, concordante con las areniscas infrayacentes.

En la mineralización filoniana, por medio de DRX, se logró identificar pirita, calcopirita, pirrotina, pequeñas cantidades de esfalerita y arseniuros de Co-Ni. Además, en el límite de detección del equipo se encontraron pequeñas cantidades de seleniuros y telururos de Bi, Ag y Pb. Entre tanto, la mineralización estratiforme, es más restringida, y existe una estructura zonal, en que es posible observar con lente de mano un predominio de pirita en la base y minerales opacos posiblemente de galena y esfalerita hacia la cima. Por otro lado, cabe mencionar que en el área de estudio, las rocas protojurásicas se encuentran deformadas por cabalgamientos quizá debido a un periodo de reactivación de fallas normales. Así mismo, con base en el contexto geodinámico extensional en que se formaron las series sedimentarias observadas y la mineralización aquí estudiada, se infiere que la asociación de facies estratiformes ensambladas con secuencias sedimentarias ricas en pizarras negras con raíces exhalativas, permite proponer aquí un modelo SEDEX (Sedimentario Exhalativo) para estas mineralizaciones.

### 1. INTRODUCCIÓN

El distrito manganesífero de Molango en la actualidad no ha sido explorado para ubicar yacimientos de metales base. Por lo que el presente trabajo tiene como objetivos exponer las características geológicas y la mineralogía preliminar del yacimiento de metales base en Molango; el cual, conjuntamente con varias manifestaciones minerales de pequeño tamaño, posiblemente forma parte de un campo mineral mayor.

Cabe mencionar que esta región ha sido interpretada como un Rift triásico jurásico por E. Cerecedo y E. Salinas-Rodríguez [1], y E. Cerecedo, A. Cantú [2].

Lo anterior, es importante, porque es ampliamente aceptado que los yacimientos sedimentarios exhalativos (SEDEX) y otros depósitos sedimentarios estratiformes ocurren en ese ambiente, Goodfellow, [3], Maynard [4], Joan Carles Melgarejo [5] mencionan que los yacimientos SEDEX ocurren en secuencias litológicas de características tectónicas muy similares a estos del Rift Molango.

Por otro lado, el área de estudio Figura 1, contiene vestigios estratigráficos y estructurales que permiten inferir una etapa de trasgresión neojurásica, según Cantú-Chapa [6], que se relaciona también con la mineralización SEDEX. A continuación, se describe la columna geológica del área de estudio que proporciona vestigios de un Rift antiguo.

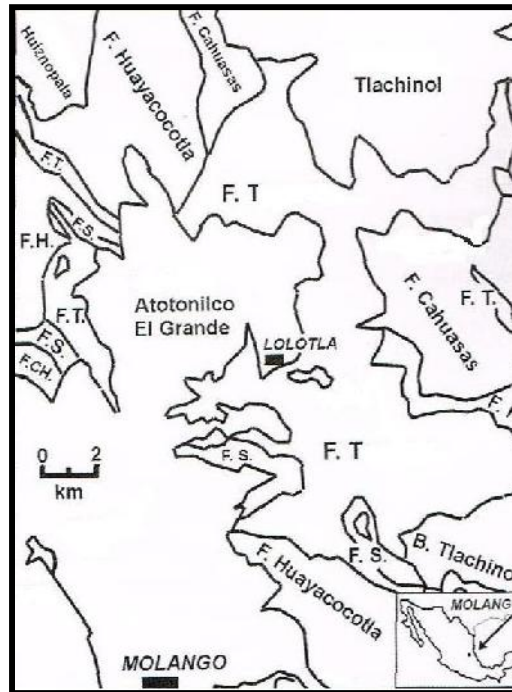


Figura 1. Plano geológico de la región de Molango, Hidalgo. Este de México. GH = Gneis Huiznopala, F.H. = Formación Huayacocotla, F.T. = Formación Tepexic, F.S. = Formación Santiago, F. CH = Formación Chipoco, F.Kti. = Formación Tamaulipas Inferior. Escala gráfica incluida

Basamento de edad Grenviliana, Gneis Huiznopala [7], el cual consiste en ortogneis (granítico y gabrónico) y paragneis (calcáreo, pelítico y psamítico) que son remanentes de pilares tectónicos jurásicos.

Las rocas de posible edad paleozoica están ausentes en esta área; no obstante, hay evidencias de una secuencia de arenisca y lutita (Formación Otlamalacatla), además, de una secuencia volcanosedimentaria (Formación Tuzancoa) [8], que podrían ser de esa edad.

El Jurásico inferior:

(Formación Huayacocotla) [9] consta de tres miembros, el inferior formado por conglomerado, el miembro intermedio contiene conglomerado, arenisca y lutita. El miembro superior, consta de arenisca, lutita y en menor proporción, conglomerado, además, en esta formación yace la mineralización SEDEX de metales base; debido a la naturaleza siliciclástica del afloramiento mineralizado puede clasificarse como yacimiento SEDEX del subtipo Selwyn.

El Jurásico medio está representado por:

- Capas rojas (Formación Cahuasas) con un espesor de 0 a 300 m; en la localidad tipo tiene 2000 m de espesor y,

- Por caliza arenosa, marga y lutita de ambiente marino somero (Formación Tepéxic) con espesores de 40 a 350 m. Ambas formaciones, están en discordancia angular sobre las rocas de edad Jurásico inferior,

El Jurásico superior. Está formado por lutita, y caliza negra con lutita (Formación Santiago [6] y Formación Chipoco [8], respectivamente); estas formaciones yacen concordantemente sobre el Jurásico medio. El espesor de la Formación Santiago es de 40 a 160 m y el de la Formación Chipoco de 40 a 240 m.

El Jurásico superior – Cretácico. Está constituido por caliza negra con pedernal (Formación Pimienta) y descansa concordantemente sobre la Formación Chipoco, el espesor promedio de la Formación Pimienta es de 280 m.

La cubierta mesozoica está truncada por una superficie de erosión sobre la que se depositaron conglomerados terciarios (Grupo el Morro) seguida por una serie de derrames de lava alcalina, basáltica (Formación Tlanchinol) y finalmente, una secuencia bimodal de basaltos y riolitas de la Formación Atotonilco el Grande.

Por otro lado, en lo referente a la tectónica en el área del Rift Molango [1,2] se observan tres eventos tectónicos principales, que se describen como sigue:

1. Evento de extensión, durante el jurásico inferior que concluyo hacia el jurásico medio, originando horst y grabens de orientación NNW - SSE y S – E, se infiere que este evento es el que está directamente relacionado con el emplazamiento de la mineralización de metales base.
2. Evento compresivo, las rocas sedimentarias jurásicas cretácicas fueron plegadas durante el Cretácico superior al Eoceno superior (Orogenia Laramide), y formaron un conjunto complejo de pliegues y cabalgaduras, en esta zona es posible observar la reactivación como fallas inversas de las fallas normales jurásicas, que permiten inferir en las cercanías un horst jurásico, quizá debido a un acortamiento relativo local.
3. Evento de extensión posplioceno, evidenciado por fallas normales de rumbo NW – SE que originaron el graben Molango.

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En la zona de estudio se extrajo una muestra de núcleo, en la que es posible observar la mineralogía del yacimiento filoniano con los típicos canales de conducción tipo stockwork, y en los alrededores del afloramiento una continua sección estratigráfica que permite obtener una relación preliminar de la geología, estratigrafía y tectónica del lugar para ubicar a la mineralización estudiada en una edad relativa del jurásico inferior.

Por otro lado, las muestras de material mineralizado así obtenidas, fueron estudiadas por diferentes métodos analíticos para establecer un análisis sistemático preliminar del yacimiento objeto de estudio, por lo que los esfuerzos se concentraron en los primeros cuatro metros de la principal zona mineralizada observándose en análisis mesoscópico; pirita fina diseminada y predominio de alta silicificación.

Por otro lado, la microscopia electrónica de barrido fue empleada para estudiar texturas y distribución cualitativa de los elementos en las muestras de núcleo.

Por ello las muestras para determinar la composición por medio de EDS fueron cuarteadas y finamente pulverizadas (a malla +200 o más de 35  $\mu\text{m}$  molidas con mortero de ágata, se montaron en papel de aluminio adhesivo y sin recubrimiento; posteriormente las muestras colectadas de núcleo fueron cortadas y recubiertas con oro para ser analizadas en un microscopio JEOL JSM-6300 y equipado con un detector EDS.

Entre tanto, los análisis de difracción de rayos X (XRD) en muestras de núcleo fueron preparadas pulverizando la muestra en un mortero de ágata a un tamaño de partícula aproximado de  $-10 \mu\text{m}$ , luego, se compactó en un porta muestras de aluminio de aproximadamente 1 cm de diámetro, con el apoyo de un pistón de Al de 2.54 cm de longitud.

La muestra así montada; se colocó en un difractómetro Marca Inel, modelo Equinox 2000 provisto de un detector curvo operable con mezcla de gas Etano-Argón de alta pureza 99.9 %. Este tipo de análisis efectuado es de la zona mineralizada, y cuyos datos obtenidos del difractograma se compararon y evaluaron con el software de difracción Match 3.0.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para reconocer las características físicas de los minerales se realizó un análisis mesoscópico, además, se ubicó los minerales; rocas, alteraciones o anomalías geoquímicas y cartografió su disposición en el afloramiento para así poder relacionar tales anomalías entre diversos afloramientos.

#### Mineralogía

La secuencia estratigráfica en donde se extrajo el núcleo de barrenación, corresponde al jurásico inferior, y la composición de la columna estratigráfica obtenida por medio de MEB-EDS se muestra en la tabla 1, que permite inferir la existencia de dos pulsos exhalativos por la presencia de minerales de alta temperatura obtenidos también por medio de DRX y con mayor concentración de minerales exhalativos del tipo  $(\text{Mg,Fe})\text{Fe}_2\text{O}_4$ , en contraste con minerales de mediana a baja temperatura que indican el final del pulso en este caso del mineral de albita  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ .

Tabla 1. Composición de la columna estratigráfica obtenida por medio de MEB-EDS

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (ppm)</b>	<b>MgO (ppm)</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (ppm)</b>	<b>SiO<sub>2</sub> (ppm)</b>	<b>CaO (ppm)</b>
-50	0.14	0.12	1.67	97.31	0.19
-75	0	0	6.18	97.45	0.07
-100	0.17	0.21	1.55	91.84	0
-125	0	0	2.82	97.89	0
-250	0	0.18	5.82	96.64	0
-275	0.18	0.24	4.23	92.55	0.05
-300	2.64	0.55	0.99	90.8	0
-325	0.29	0	1.41	97.37	0
-350	0.02	0	4.7	98.04	0.03
-375	0.11	0.11	3.33	93.96	0.05
-400	0	0	0.44	96.02	0.02
-425	0	0	2.78	98.99	0
-450	0	0.08	0.03	96.61	0.03

Por otro lado, es evidente que los minerales de hematites son amorfos a mayor profundidad como puede observarse en la Figura 2, en donde se presenta una anomalía de hematites de tipo botroidal típica de emanaciones exhalativas al que podría atribuirse el cambio en la cristalinidad de forma cúbica y tetragonal a una de tipo amorfo.

Así mismo, por medio de DRX se logró identificar la relativa abundancia de al menos 4 minerales predominantes en el yacimiento estudiado a través de toda la columna litológica.

Estos son: Cuarzo (PDF: 00-046-1045), albita (00-003-0508), carbonato de calcio (01-087-1863), óxido de aluminio (00-050-1496), y pirita (01-076-0964).

Los minerales que se observan en menor proporción son: Calcopirita (00-037-0471), Pirrotita (00-002-1241) y esfalerita (00-036-1450), en adición de pequeñas cantidades de orcelita de Co – Ni arseniato [orcelita  $(\text{Ni,Fe,Cu})_{4.2}(\text{As,S})_2$ ].

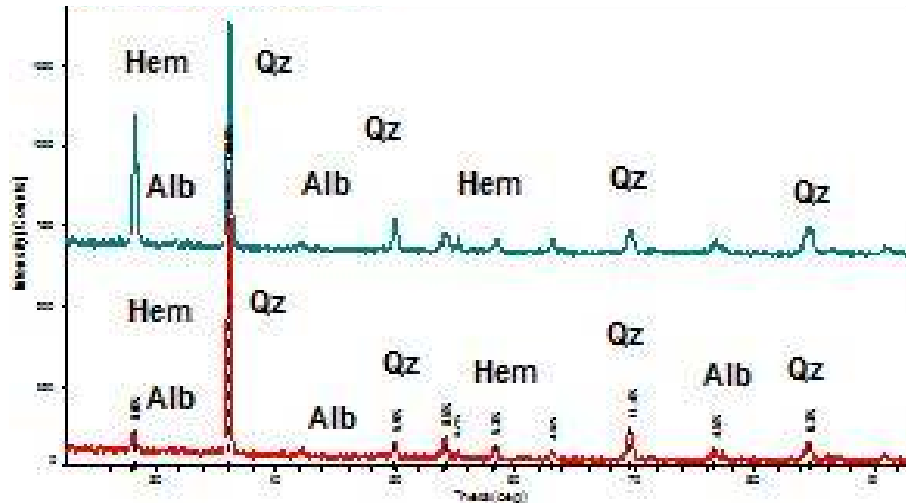


Figura 2. Obsérvese en el difractograma inferior la relativa tendencia amorfa que puede atribuirse a una anomalía de hematitas de tipo botroidal típica de emanaciones exhalativas.

Hem = Hematita, Alb = Albita, Qz = Cuarzo.

## CONCLUSIONES

Las relaciones tectónicas observadas indican un evento que favoreció la mineralización de metales base durante el jurásico inferior; tal evento está representado por una fase de extensión que abarcó hasta una edad pre - oxfordiana, que afectó a la mineralización.

El área posee vestigios de un posible Rift jurásico, megaestructura que favoreció el emplazamiento de la mineralización de metales base en esa región del este de México.

Los valores de metales base en el afloramientos pueden considerarse típicos; así mismo, el afloramiento estudiado puede clasificarse como yacimiento SEDEX de metales base dentro del subtipo Selwyn.

La columna estratigráfica obtenida por medio de MEB-EDS muestra la existencia de dos pulsos exhalativos que pueden inferirse por la presencia de minerales de alta temperatura obtenidos también por medio de DRX, minerales exhalativos del tipo  $(\text{Mg,Fe})\text{Fe}_2\text{O}_4$ , en contraste con minerales de menor temperatura que indican el final del pulso, del tipo de albita  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ .

Además, el cuerpo mineralizado muestra claramente un zoneamiento mineralógico, que se refleja en los análisis de los minerales principales.

**AGRADECIMIENTO:** Los autores agradecen al CONACyT – Gobierno del Estado de Hidalgo, por el apoyo financiero para llevar a cabo el proyecto número 0193180 22. También, agradecemos ampliamente por el apoyo recibido a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

### BIBLIOGRAFÍA

1. E. Cerecedo, E. Salinas “Guía rápida de Exploración Geológica Minera”, Editorial Académica Española, Saarbrücken, Alemania. 2013, pp. 73
2. E. Cerecedo, A. Cantú “La mineralización mesojurásica de cobre – plata en rocas sedimentarias de origen continental del subtipo cobre en el Rift Molango, Estado de Hidalgo, México. Parte I, Geología. Rev. Petroquímex. Julio – Agosto 2004, pp. 38-40
3. W. D. Goodfellow, “Geology and genesis of stratiform sediment-hosted (SEDEX) Zn-Pb-Ag sulphide deposits”, in *Kirkham et.al, eds.*, (Mineral Deposit Modeling, Geological Association of Canada, Special Paper 40), 1993, pp. 201-251.
4. B. J. Maynard, “Tectonic Subsidence Analysis in the Characterization of Sedimentary Ore Deposits: Examples From the Witwatersrand (Au), White Pine (Cu), and Molango (Mn)”. *Economic Geology* , 1993, pp. 37-50.
5. J. C. Melgarejo, “Atlas de Asociaciones Minerales en Lámina Delgada”, Ediciones Universitat de Barcelona, 1997, pp. 1075.
6. A. Cantú “Las Transgresiones en México del jurásico Medio (noroeste y sureste) Superior (centro y Norte)”, *Revista Mexicana del Petróleo*, Año XXXIV noviembre-diciembre, Núm. 342,1993, pp. 54-58.
7. M. Mendoza, M. Ramírez, E. Cerecedo “Petrografía y evolución de las rocas del Precámbrico en el Noreste del Estado de Hidalgo (Gneis Huiznopala)\_Revista de avances en la investigación científica de metalurgia extractiva, materiales y geología del CIMMMYSH A.C. 2009, pp. 1-26
8. H. R. Ochoa, “Geología del Anticlinorio de Huayacocotla” Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo e Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, ED., *II Convención Sobre la Evolución Geológica de México y Recursos Asociados: Libro-guía de las excursiones geológicas*, Excursión 1: Pachuca, Hidalgo, 1996, pp. 19-25.
9. H. K. Erben. “El Jurásico Inferior de Mexico y sus amonitas”. *Congreso Geológico Internacional Mexico*, D.F: Monografía 1956, pp. 393.
10. M. P. Okita, “Manganese Carbonate Mineralization in the Molango District, Mexico”, *Economic Geology*, Vol. 87, 1992, pp.1345-1366.