



Por: Dr. Eduardo Cerecedo Sáenz  
Universidad Autónoma de Hidalgo, y  
Dr. Abelardo Cantú Chapa  
Instituto Politécnico Nacional  
Revista PetroQuiMex 2013,  
Septiembre-Octubre pp. 13-19

# Transgresión

## La Transgresión Marina del Cretácico Inferior y Génesis de la Mineralización, Subtipo Kupfershiefer, en la Sierra de San Marcos, Cuatro Ciénegas, Coahuila, México

### RESUMEN

Los sedimentos de origen continental de la Arcosa San Marcos, de edad Cretácico Inferior, representan la etapa final de la emersión del ancestral continente localizado en la región noreste de México; sobre esos sedimentos terminales ocurrieron etapas de mineralización de cobre y plata. Esos estratos fueron cubiertos por sedimentos de origen marino del gran ciclo transgresivo, representado por la Formación Cupido de edad Hauteriviano-Aptiano Inferior en la región de Cuatro Ciénegas, Coahuila.

El estudio de estas relaciones discordantes de dos tipos de sedimentos, continentales y marinos, representa una metodología inédita en investigaciones con objetivos mineros en México, donde ese yacimiento tipo Kupfershiefer es aquí caracterizado. Los datos de campo, el estudio en lámina delgada y los análisis instrumentales indican la presencia de un yacimiento sedimentario estratiforme y diagenético de gran extensión geográfica, con mayor contenido de plomo-zinc que de cobre.

Palabras clave: transgresión eocretácica, yacimientos minerales tipo Kupfershiefer, Arcosa San Marcos, Coahuila.

### INTRODUCCIÓN

La mineralización de cobre-plata tipo Kupfershiefer ocurrió en la etapa final de la sedimentación continental, donde está representada por la Formación Arcosa San Marcos en la región de Cuatro Ciénegas, Coah. (Cerecedo, 2003); ese evento paleosedimentológico representa los efectos de la transgresión eocretácica, con el depósito de la Formación Cupido (Cantú, 2001).

Además, ese tipo de mineralización fue producto de eventos tectónicos, relacionados con una prolongación del denominado Rift Molango en la región oriental de México (Cerecedo y Cantú, 2004) Fig. 1.

Es de mencionar que Larson (1997) cartografió una falla de extensión de dirección NW-SE, donde infiere que está relacionada tectónicamente con el Rift continental al noreste de la región correspondiente a la Sierra de San Marcos.

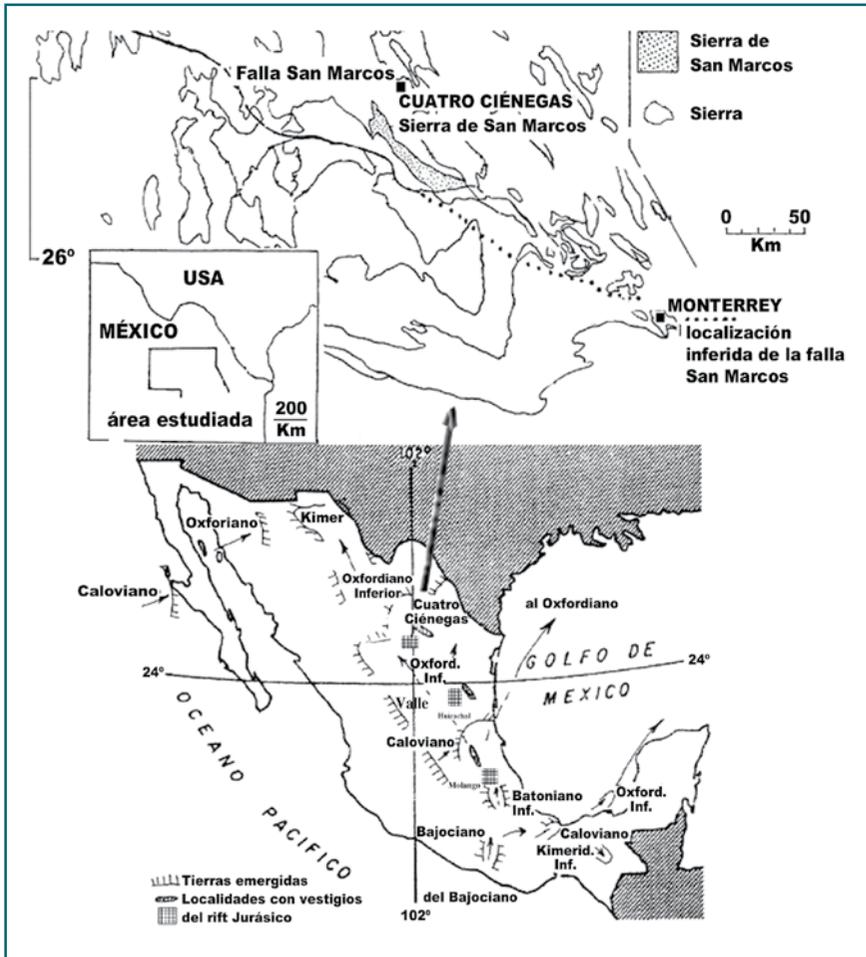


Fig. 1 A. Localidades con vestigios del rift Jurásico y distribución de ciclos transgresivos durante el Jurásico Medio-Superior en México (Cantú Chapa, 2001).  
 B. Localización del área estudiada en la Sierra de San Marcos, Cuatro Ciénegas, Coah.

Esta sierra se localiza entre la denominada Península de Coahuila, correspondiente al principal alto paleogeográfico, localizada al sureste del área estudiada y el llamado Golfo de Sabinas (López Ramos, 1979).

Es de mencionar la presencia e importancia de rocas evaporíticas y diapiros salinos, relacionadas con la lixiviación de los metales ya mencionados en el área estudiada (Anderson II, 1996; Mckee, 1999).

### OBJETIVOS

El presente estudio propone:

- documentar relaciones estratigráficas discordantes de la transgresión marina del Cretácico Inferior, sobre rocas de origen continental en esta área.
- relacionar ese evento geológico y ubicar la importancia de su gran potencial minero, debido a la magnitud del tamaño del yacimiento, que puede ser del orden de millones de toneladas, similares a otros de nivel mundial, y

- mostrar los vestigios susceptibles de contener mineralización, que cubren la Sierra de San Marcos, correspondiente a más de 50 Km de longitud.

### TÉCNICAS DE ANÁLISIS

La mineralización inferida en esa sierra tiene estructura estratiforme, de 0.40 a 4 metros de espesor en promedio. Ese material sobreyace a un cuerpo de lutita y subyace a la arcosa; sus dimensiones son aproximadamente 7 kms de largo por 400 m de ancho y dos metros de espesor; ese cuerpo mineralizado se localiza en el área de San Antonio, en la región de la Sierra de San Marcos.

Al utilizar un factor de arena cuarzosa húmeda de 1,780 Kg/m<sup>3</sup> se calcularían aproximadamente 9'968,000 ton. del mineral, con leyes en promedio de 35 g/t Ag, 2 % de Cu, 1.4 ppm de Pb, 1.39 ppm de Zn y 156 ppb de Au.

Este factor representaría 199,360 toneladas de cobre y 349 toneladas de plata, en términos de yacimiento de los metales mencionados, al procesar los 10 millones de toneladas de roca mineralizada.

Además, el presente estudio define la etapa aquí denominada mineralización eocretácica de cobre-plata, por,

- localizarse en rocas de esta edad,
- ser la etapa más reciente del Rift Jurásico, como continuación a nivel Cretácico Inferior, en el oriente de México, y
- considerarse de tipo Kupferschiefer, cuya denominación procede de un yacimiento sedimentario estratiforme, diagenético, con mayor contenido de plomo-zinc que de cobre y de gran extensión geográfica, que aflora en la porción oriental de Alemania y Polonia.

Los datos de campo y los estudios en láminas delgadas sirven de apoyo, para indicar que se trata del yacimiento cuyas características mineralógicas fueron mencionadas en párrafos anteriores. Además, para determinar la presencia de la etapa de mineralización de cobre-plata, en

# GATES DE MÉXICO



## POTENCIALIZAMOS LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

Contribuimos en mejorar la calidad de vida de nuestra sociedad con la innovación y el desempeño de todos nuestros productos.



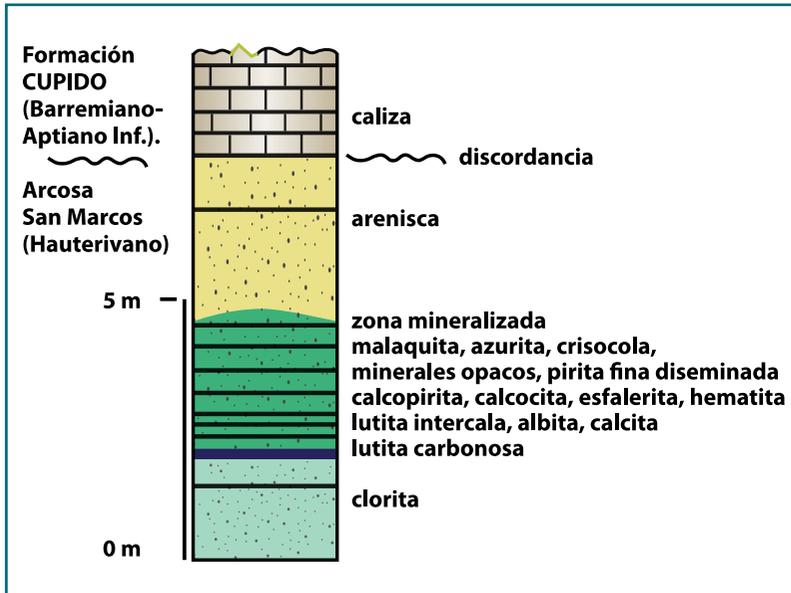


Fig. 2. Sección estratigráfica de rocas de origen continental, Arcosa San Marcos de edad pre-Hauteriviano, en contacto discordante con la Formación Cupido del Hauteriviano; Sierra de San Marcos, Cuatro Ciénegas, Coah. Muestra la localización de minerales en la arcosa.

rocas sedimentarias estratiformes del tipo mencionado, en Cuatro Ciénegas, Coah., se procesaron las muestras colectadas por medio de dos tipos de análisis, de campo y de laboratorio. Los análisis y resultados son los siguientes:

**1.- Análisis de laboratorios.** Para determinar las características físicas de los minerales de interés económico se utilizaron las siguientes herramientas, óptica descriptiva, microscopía óptica de polarización, Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), microanálisis por dispersión de energías de rayos X (EDS), Espectrometría de Plasma por Inducción Acoplada (ICP) y Difracción de Rayos X (XRD).

**2. - Estudios de campo.** Con el fin de conocer la estructura del yacimiento se levantaron diferentes secuencias estratigráficas del Cretácico Inferior, como se observa en un ejemplo típico en la secuencia de la Figura 2, donde la mineralización se encuentra emplazada en la cima de la Arcosa San Marcos, cerca del contacto con la Caliza Cupido.

Los horizontes mineralizados se localizan en los estratos de arcosa, intercalados con lutita, esto permite explicar el medio de sedimentación de ese material, cuyos procesos diagenéticos de oxidación (arcosa) y reducción (lutita) inciden en la formación del depósito del subtipo Kupferschiefer, correspondiente a este tipo de mineralización.

El análisis petrográfico y el ejemplar de mano permiten identificar la presencia de pirita fi-

namente diseminada, así como minerales de cobre, calcopirita, malaquita, azurita, crisocola, calcantita, esfalerita, y minerales opacos. Todos ellos representan la evidencia de la mineralización del subtipo Kupferschiefer (Kirkham, 1986), en esa región de Coahuila.

Aproximadamente a tres metros por encima de los estratos portadores de esos minerales está el contacto con la Formación Cupido; se trata de una caliza micrítica de origen sedimentario y de plataforma marina; representa la base del ciclo transgresivo eocretácico sobre aquella área emergida.

Otros afloramientos muy similares al que se muestra en la Fig. 2, están en el área vecina de San Antonio, en su porción meridional y a unos tres km al SE del sitio conocido como Ojo de Agua. En todos los afloramientos estudiados de la Sierra de San Marcos se observa también, hacia la base de esa arcosa, la presencia de minerales de cobre y clorita, material al cual le sobreyacen estratos y algunos lentes de lutita carbonosa de aproximadamente 30 cm de espesor.

Hacia la cima de este material litológico se aprecia una secuencia de 3.5 m de arcosa intercalada con lutita carbonosa. Es precisamente esta última unidad la que contiene pirita finamente diseminada, así como malaquita, azurita, crisocola, calcantita, calcopirita, esfalerita, y minerales opacos. Lo anterior corresponde a material que permite inferir la presencia de la mineralización mencionada.

**3.- Microscopía óptica de polarización.** Con el apoyo de esta técnica se analiza una muestra representativa, de textura clástica (B1, lámina ECKS), colectada cinco metros debajo de la zona con mayor alteración de minerales de cobre; contiene cuarzo, plagioclase, feldespato potásico, calcita, sericita, microclina, clorita, turmalina, hematita y minerales opacos.

En ella se observan fragmentos subangulosos a subredondeados de cuarzo con extensión ondulante, así como andesita-oligoclasa y microclina de forma subangulosa y cristales de turmalina. La plagioclase está parcialmente reemplazada por calcita; en cambio, algunos ferromagnesianos están completamente reemplazados por clorita.

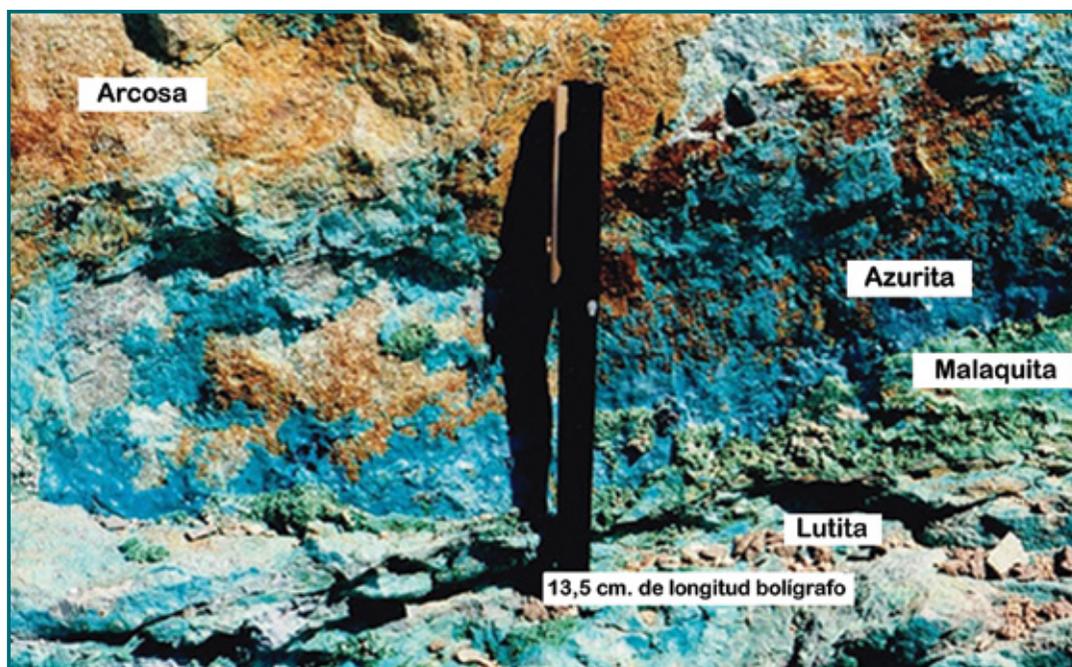


Fig. 3. Afloramiento con mineralización tipo Kupferschiefer en la Sierra de San Marcos, Cuatro Ciénegas, Coah.

La matriz de la roca está formada por sericita, clorita, minerales opacos, hematita y arcosa, cuyo origen son rocas graníticas; la extinción ondulante de cuarzo sugiere que la roca estuvo sujeta a esfuerzos compresivos.

Además de la alteración mineralógica mencionada, observada en la lámina delgada, es posible inferir dos eventos,

- a) la disolución de silicatos, lixiviación de biotita y conversión de hematita en magnetita y
- b) el reemplazamiento de feldespatos y minerales arcillosos por carbonato; esto se finaliza con el proceso de albitización de la matriz de los minerales arcillosos.

Lo antes señalado permite inferir que la alteración de reemplazamiento estudiada no es tan penetrante y generalizada (pervasiva), como la de disolución ya señalada; por minerales contenidos, ese material es menos interesante en cuanto al interés económico, como lo señalaron Walker (1989) y Melgarejo (1997).

Un dato suplementario a señalar es el proceso denominado catarsis de cobre-plata, originado por factores tectónicos (Falla San Marcos); este caso es reconocido por las fracturas observadas en el material estudiado, con rellenos subsecuentes del material mineralizado. Por su parte, los minerales opacos principales se localizan en la zona de oxidación, donde se tiene hematita, crisocola, brookita, pirita fina diseminada, cal-

copirita, galena y esfalerita. La mayoría de los sulfuros reconocidos en las muestras, al parecer se relacionan con materia orgánica; así mismo, en las maclas se observa principalmente sílice y algo de titanio.

El análisis anterior contribuye a inferir que las características mencionadas de mineralización, están relacionadas con la litología de naturaleza impermeable de la lutita y la porosa correspondiente a la arcosa.

En cuanto a la granulometría del yacimiento de la Arcosa San Marcos, aquí es clasificada como material de origen tectónico, por las deformaciones verticales y el afallamiento en bloques que producen altos del basamento; Folk (1969) postula que la erosión fue probablemente rápida, por originar estructuras de tipo abanicos aluviales, que pasan a llanuras fluviales de inundación, cerca de la fuente, origen de esos sedimentos. Los depósitos consisten en capas alternadas de arcosas maduras, bien clasificadas.

A su vez, la caracterización de arcosas tectónicas se establece por la presencia de una mezcla de feldespatos y el remanente de la roca de cuarzo, donde las arcillas son abundantes y los minerales pesados son inestables, como horblendas, granate y piroxeno.

Espectrometría de plasma por inducción acoplada. Esta técnica de análisis instrumental



consiste en reconocer los valores siguientes: concentración de elementos metálicos en ppm. En la muestra B1 (ECSK05) se observan valores de oro de 117 ppb, 1.10 g/ton Ag, 0.003 % de Cu, 0.585 ppm Pb, 0.895 ppm Zn, 4.59 ppm Ti.

**4.- Difracción de Rayos X.** Con esta técnica de análisis instrumental las muestras se prepararon a 35  $\mu\text{m}$ , bajo las condiciones siguientes,

- ángulo de inicio 10.010,
- fin de lectura del ángulo 69.990,
- máximo valor de  $d=8.82 \text{ \AA}$ ,
- mínimo valor de  $d=1.34311 \text{ \AA}$ ,
- máximo número de conteos 3844, el material del ánodo es cobre, con longitud de onda  $\lambda_1 [\text{ \AA}]$ : 1.54056, y  $\lambda_2 [\text{ \AA}]$ : 1.54439. nPDF 33-1161.

La muestra B1 obtenida del lugar antes señalado proporcionó valores donde la alteración de minerales de cobre, con el patrón de referencia, corresponden a cuarzo con PDF=33-1161, calcita con PDF=05-0586 y albita con PDF 09-0466.

Los minerales reconocidos por esta técnica fueron cuarzo, calcita, albita, ortoclasa, que son concordantes y confirman la presencia de los minerales observados por medio de análisis de microscopía óptica.

Otros análisis corresponden a la Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) y Microanálisis de Dispersión de Energías de Rayos X (EDS); con estos últimos se determinaron carbón, titanio, oxígeno, hierro, magnesio, aluminio, sílice, niobio, paladio, calcio y adicionalmente vanadio. También fue detectado oro, con tamaño de partículas de 1  $\mu$  aproximadamente; esto fue analizado en probeta recubierta con grafito.

En cuanto al difractograma obtenido por EDS de la fase dendrítica, donota cantidades de Ti de 2200, cobre 2200, plomo 1300 y zinc 200. Las maclas encontradas y el análisis EDS muestra,

- en el eje de las abscisas, la energía de 0 a 20 keV, y
- en el eje de las coordenadas tiene contenidos de 0 a 2200; así como carbon con 0.45 keV y 300; titanio 0.5 keV con 850, magnesio 1.3 keV y 500, aluminio 1.5 keV

con 100, sílice 1.8 keV y 1100, calcio de 3.7 keV con 400, titanio de 4.5 keV y 2200, hierro de 6.3 keV y contenido de 300. Las maclas en la zona mineralizada contienen carbono, aluminio, hierro, sílice, zircón, azufre, uranio calcio.

#### **ORIGEN DE LA MINERALIZACIÓN TIPO KUPFERSHIEFER**

El término aplicado a la mineralización de grandes longitudes, emplazada en forma estratiforme y naturaleza oxidante, a la que infrayace litología de tipo reductor, deriva del término denominado "Kupferschiefer", literalmente, "lutita cuprífera" (Kirkham, 1986; Jowet, 1986; Glennie, 1986). Con ello se define ese tipo de mineralización de cobre con un mayor contenido de plomo y zinc.

Es de señalar que en la porción septentrional del Rift, como se localiza en la Sierra de San Marcos, se tuvieron condiciones favorables para el emplazamiento de la mineralización eocretácica, del subtipo Kupferschiefer. Esta mineralización comporta muchas similitudes con el emplazamiento de cobre en lechos rojos; además, estos tipos de mineralizaciones tienen relación con el desarrollo de la extensión del Rift que originó en parte el Golfo de México y las transgresiones meso, neojurásicas y eocretácicas postuladas por Cantú Chapa (2001, 2009); esta última está localizada en la Sierra de San Marcos.

El presente estudio engloba dos eventos geológicos de tipo metodológico, que permiten ubicar los yacimientos sedimentarios de cobre del tipo Kupferschiefer, por el ambiente tectónico y principalmente por la transgresión eocretácica.

En el primer caso y en un estudio megascópico se puede observar la falla de San Marcos relacionada con el Rift del oriente de México que quizá originaron esfuerzos corticales al formar intrusiones, y a nivel microscópico derivado del estudio petrográfico es posible inferir la presencia de detritos deformados, derivados de una intrusión granodiorítica que aflora en el lugar conocido como Valle del Jabalí, en la parte septentrional de la Sierra de San Marcos.



Estas intrusiones graníticas abastecieron de material terrígeno erosionado, que originaron secuencias continentales de edades indefinidas, Paleozoico - Cretácico Inferior; asimismo, puede inferirse que la conformación de la estructura tectónica reconocida por la presencia del Rift en la porción meridional, ocurrió antes del depósito de rocas de origen continental heterocrónicas, correspondientes a los denominados lechos o capas rocas (Cantú, 1991, 2006).

El segundo evento que incidió de manera directa con el emplazamiento de mineralización de cobre y oro, es el resultado de la transgresión marina que tuvo lugar durante el Cretácico inferior, con el depósito de una potente secuencia de plataforma, correspondiente a la caliza masiva de la Formación Cupido (Cantú, 2006). Esta etapa está

representada por depósitos de sedimentos de ambiente reductor, como son las evaporitas, seguidas por secuencias carbonatadas; todo ello sobreyaciendo a los lechos rojos de naturaleza oxidante.

Por lo anterior es de suma importancia establecer con exactitud la transgresión marina del Cretácico inferior para poder ubicar y reconstruir la génesis de la mineralización del subtipo Kupferschiefer en la Sierra de San Marcos.

## CONCLUSIONES

El presente estudio aporta la metodología necesaria para determinar y ubicar mineralización en etapas pre-discordantes, como resultado de dos eventos paleogeográficos, de rocas de origen continental en contacto con sedimentos marinos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson II., Brooks D. Aguilera V. M. 1986. Push Faults, a Conceptual Model for ground water Exploration in the Sierra Madre Oriental Foreland, México. *Zbl Geol. Palaont. Teil 1*, 1985 (9/10), p 1149-1160; Stuttgart.
- Brown, A. C. 1986. Sediment-Hosted Stratiform Copper Deposits: Deposit-type name and related terminology. *Geological Association of Canada Special Paper*; 36, p. 39-52.
- Cantú Chapa, A. 1991. La Paleogeografía, los lechos rojos y la exploración petrolera, en el Jurásico del Este de México. *Revista Mexicana del Petróleo*, mayo junio 1991, número 326, p. 29-36.
- Cantú Chapa, A. 2001. México as the western margin of Pangea based on biogeographic evidence from the Permian to the Lower Jurassic. *American Association of Petroleum Geologists, Memoir 75*, p 1-27.
- Cantú Chapa, A. 2006. Las barreras continentales en etapas transgresivas del mar jurásico en México. *Revista Mexicana del Petróleo*, noviembre-diciembre, p. 24-29.
- Cerecedo Sáenz E. 2003. La Mineralización de cobre-plata del Rift Triásico-Jurásico del oriente de México. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. Unidad Ticomán, tesis de maestría p. 284.
- Cerecedo-Sáenz E. & Salinas Rodríguez, E. 2013. Guía rápida de Exploración Geológica Minera, 73 p.
- Cerecedo Sáenz, E. & Cantú Chapa, A. 2004. 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. *Revista Petroquímex*, Julio – Agosto, p. 38-44.
- Cerecedo Sáenz, E. & Cantú Chapa, A. 2004. Mineralización de cobre-plata en rocas sedimentarias de origen continental del Jurásico en Molango, Estado de Hidalgo, México. Parte 2, Geología Económica. *Revista Petroquímex* Noviembre-Diciembre, p. 30-33.
- Folk, R. L. 1969. *Petrología de las Rocas Sedimentarias*. 405 p.
- Glennie, K. W. 1986. A summary of tropical desert sedimentary environments, present and past. *Geological Association of Canada Special Paper 36*, p. 67-84.
- Jowet E. C. 1986. Effects of continental rifting on the location and genesis of stratiform copper-silver deposits. *Geological Association of Canada Special Paper 36*, p. 53-66.
- Kirkham R.V. 1986. Distribution, Settings, and Genesis of Sediment-hosted stratiform copper deposits. *Geological Association of Canada Special Paper*; 36, páginas 3-38.
- Larson E. J. 1997. Geology and Exploration of the Coahuila Copper-Silver District, Northeastern México. *Extend Abstract*, Universidad de Sonora, Ciclo de Conferencias, Generación 1986.
- López Ramos, E. 1979. *Geología de México, T. II*. Edición de autor. 455 p.
- Mckee J. W., Jones N. W. & Anderson, T. H. 1999. Late Paleozoic and Early Mesozoic history of the Delicias Terrane, Coahuila, México, in Bartolini, C. Wilson, J. L. Lawton T.F. eds, *Mesozoic Sedimentary and Tectonic History of North-Central Mexico*: Boulder, Colorado. *Geological Society of America, Special Paper*, p. 340.
- Melgarejo J. C., et. al. 1997. *Atlas de Asociaciones Minerales en Lámina Delgada*. Ediciones Universitat de Barcelona, 1075 p.
- Walker, T.R. 1989. Application of diagenetic alterations in redbeds to the origin of copper deposits. In Boyle, R. W., et al. Eds. *Sediment-hosted stratiform copper deposits*, *Geological Association of Canada Special Paper 36*, p. 85-97.