

Contribución a la definición de superposición de eventos metalogénicos en el yacimiento de Francisco I. Madero

**Miriam Yta^{1*}, Raúl Moreno-Tovar², Francisco Cardona-Patiño²
y Diego Arturo Córdoba-Méndez²**

¹Consejo de Recursos Minerales, Boulevard Felipe Ángeles S/N, Carretera México-Pachuca Km 93.5, Colonia Venta Prieta, 42080 Pachuca, Hidalgo, México.

²Centro de Estudios Metalúrgicos, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo Km 4.5, 42090 Pachuca, Hidalgo, México.

* Dirección actual: Universidad Tecnológica de Tulancingo, Camino a Ahuehuetitla 301, Colonia Las Presas, 43730 Tulancingo, Hidalgo, México.

* miriam_yta@utec-tgo.edu.mx

RESUMEN

El yacimiento zacatecano Francisco I. Madero, situado a 15 km al oeste de la Ciudad de Zacatecas, pertenece a la provincia metalífera Pb–Zn–Ag–(Cu), conocida informalmente como la Faja de Plata. La litología del área incluye de la base a la cima: un esquistos cuarzosericitico de edad aun no determinada; una secuencia pelítica calcárea de edad no determinada; una secuencia volcanosedimentaria del Cretácico Inferior, cuerpos intrusivos cuarzomonzoníticos–dioríticos y una secuencia riolítica del Eoceno–Mioceno. La mineralización estudiada se encuentra relacionada a la secuencia pelítico–calcárea, y se presenta en forma de lentes sea masivos o como diseminaciones reemplazando a la roca.

El estudio microscópico permitió determinar la existencia de dos asociaciones minerales. La primera corresponde a pirita–pirrotita que presenta evidencias de deformación, situándola en un evento mineralizante no más joven que la deformación Laramide, mientras que la asociación de sulfuros de Zn, Pb, Cu que reemplazan a minerales típicos de skarn cálcico corresponden a un evento tardío postlaramídico superpuesto. Por lo que respecta a la mineralización compleja de sulfuros de Pb, Zn, Cu, telururos y sulfotelururos de Ag y Bi, ésta corresponde a un evento totalmente tardío vetiforme asociado a cuarzo y calcita de estructura brechoide con relleno de cavidades y textura ligeramente cocarda. Es evidente que las texturas y asociaciones minerales muestran claramente dos eventos metalogénicos: uno previo a la deformación Laramide y otro tardíaramídico o postlaramídico, sin embargo aun no es posible adjudicar a la mineralización prelaramídica un origen o una edad precisa.

Palabras clave: superposición, Francisco I. Madero, mineralización, deformación, pirita, pirrotita.

ABSTRACT

The orebody Francisco I. Madero, located 15 km west from Zacatecas city, belongs to the Pb–Zn–Ag–(Cu) metalliferous province, known as the Silver Belt. The lithology of the area includes from bottom to top: a quartz–sericitic schist whose age has not been determined; a calcareous–pelitic sequence of nondetermined age; a Low Cretaceous volcanosedimentary sequence, quartzmonzonitic–dioritic intrusive bodies, and a Eocene–Miocene rhyolitic sequence. The mineralization is related to the calcareous–pelitic sequence, and is found in lens-shaped bodies either massive or disseminated replacing the rock.

Two mineral associations were determined by means of a microscopic study. The first one corresponds to pyrite–pyrrhotite with evidences of deformation, setting locating it in a mineralization event no younger than the Laramide deformation, whereas the Zn, Pb, Cu sulphides association that replace typical minerals of a calcic skarn belong to a overprinted late postlaramidic event. The

complex mineralization of Pb, Zn, Cu sulphides, tellures and sulfotellures of Ag and Bi belong to a latest vetiform event associated to calcite and quartz with brecciated structure, with filled cavities and slightly cockade texture. It is evident that both, associations and textures, show clearly two metallogenic event: the first one previous to the Laramide deformation and the second one late or post-laramidic; however, it is no possible to assign to the pre-laramidic mineralization neither an origin nor a precise age.

Keywords: superposition, Francisco I. Madero, mineralization, deformation, pyrite, pyrrothite

INTRODUCCIÓN

En el Centro de México, varios yacimientos con mineralización en estructuras tabulares han sido clasificados como epitermales (Hayba *et al.*, 1985) relacionados al vulcanismo terciario, como es el caso de los yacimientos de Fresnillo en Zacatecas, Guanaceví en Durango, Pachuca en Hidalgo y Guanajuato en el estado del mismo nombre, entre los más conocidos. Sin embargo, no todos los yacimientos mexicanos pertenecen a un sólo evento metalogénico. Los procesos geodinámicos que han regido la historia geológica en México han provocado el emplazamiento de mineralizaciones sobre sitios con mineralización más antigua, como es el caso de los yacimientos tipo *skarn*, de los cuales la mayoría están relacionados al magmatismo tardí o postlaramídico como es el caso de Zimapán, donde existe un *skarn* cálcico proximal de Zn–Pb–Ag (Cu, W), que es cortado por la mineralización epitermal en estructuras tabulares con relleno de cavidades de San Pascual – Santa Gorgonia (Yta y Moreno-Tovar, 1997) o bien Fresnillo, donde en la zona de Fortuna se observan asociaciones minerales típicas de *skarn* pobremente cálcico de Zn–Pb–Ag, y en la zona de Proañón vetas en relleno de cavidades con estructura de brecha ricas en plata (De Cserna, *et al.*, 1977; Megaw *et al.*, 1988; Yta, 1992). En México, poco ha sido documentado sobre evidencias de superposición de mineralizaciones. A pesar de la dificultad que presenta un estudio de este tipo, la definición de las texturas y asociaciones minerales puede contribuir a la definición de diferentes eventos metalogénicos en un mismo yacimiento.

En términos generales, los eventos metalogénicos originadores de mineralización epitermal y *skarn* están bien ubicados en el Terciario para la mayoría de los yacimientos de *skarn* relacionados al magmatismo tardí o postlaramídico como es el caso, entre otros, de Zimapán en Hidalgo, La Negra y San Martín en Querétaro, Xichú en Guanajuato, Pánfilo Natera y Sombrerete en Zacatecas, y para los epitermales ligados al vulcanismo terciario como es el caso de los ya mencionados al principio del capítulo. Este artículo expone los resultados de un estudio sobre relaciones geométricas, análisis de texturas y asociaciones minerales en el yacimiento de Francisco I. Madero para contribuir a la definición de una superposición de eventos metalogénicos.

LOCALIZACIÓN

El yacimiento Francisco I. Madero (FIM) se localiza a 15 km al poniente de la Ciudad de Zacatecas (Figura 1). El área pertenece a la provincia metalífera Pb–Zn–Ag (Cu) (Clark *et al.*, 1982), la cual ha sido llamada de manera informal como Faja de Plata. Desde el punto de vista tectónico, se localiza en el terreno tectonoestratigráfico Guerrero, caracterizado por rocas volcánicas submarinas y rocas sedimentarias del Mesozoico (Campa y Coney, 1983). El basamento es aún desconocido, sin embargo, en los alrededores de la Ciudad de Zacatecas se ha reportado un basamento de rocas metasedimentarias intensamente deformadas de posible edad triásica o paleozoica (Burckhart, 1905; McGehee, 1976). En Francisco I. Madero, a una profundidad de aproximadamente 200 m, se ha detectado por medio de perforación una secuencia altamente deformada de esquistos cuarzosericítico que presenta dos foliaciones, por lo que se considera que no debe ser más joven que el Mesozoico.

ANTECEDENTES

En FIM se localizan varias pequeñas minas antiguas (*e.g.*, El Botecito, La Tuna, El Belén, Tepozán, Los Gringos, El Amanecer) (Figura 2). La mina El Amanecer fue explotada en los años cuarenta. El Consejo de Recursos Minerales realizó exploración directa, barrenación y estudios geofísicos en los años setentas y ochentas (Ocejo-P. *et al.*, 1983). Henry (1982) mostró que el paquete contenedor de la mineralización es de carácter detrítico variando a calcáreo hacia la superficie y le confiere una edad del Cretácico por correlación con la Formación Indidura descrita por Kelly (1936) e Imlay (1936 y 1938) en Coahuila y norte de Zacatecas y posteriormente por Tardy (1980), quien le confiere una edad del Cenomaniano inferior – Turoniano superior. Henry (1982) describe la presencia de un *skarn* en la mina El Amanecer. Por otra parte, Gómez-C. (1986) versatiliza la interpretación, mencionando que este paquete detrítico calcáreo puede pertenecer a una secuencia volcanosedimentaria de postarco metamorfozada, confiriéndole una edad del Jurásico. Es evidente que esta secuencia no cuenta con una datación precisa, sin embargo, la presencia de niveles detríticos calcáreos y algunos de tobas

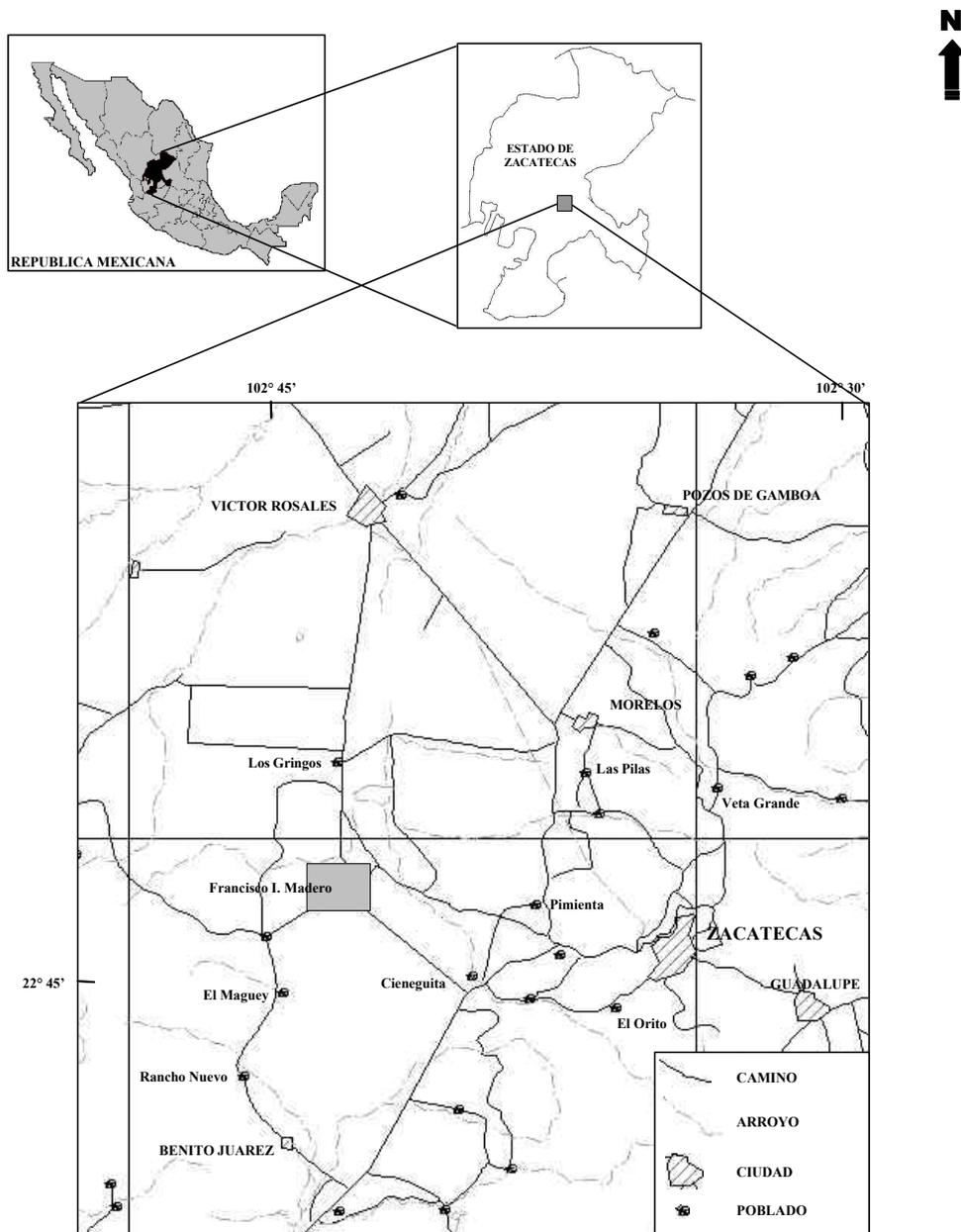


Figura 1. Mapa de localización del área Francisco I. Madero, estado de Zacatecas, México.

metamorfizadas, permite apoyar la hipótesis de un origen volcanosedimentario. Por lo que respecta a la mineralización, Gómez-C. (1986), presenta la primera investigación de tipo metalogénico, donde diferencia más claramente la mineralización en lentes y vetiforme. La mineralización lenticular, la describe como más rica en Fe a la base y más rica en Zn a la cima asociada a *skarn*. La mineralización vetiforme como rica en Pb y Zn

Como se puede apreciar, los trabajos de base de Henry (1982) y Gómez-C. (1986), uno evaluativo y el otro metalogénico han sido la base para este estudio textural y mineralógico.

GEOLOGÍA

Regionalmente, y desde el punto litológico, en la zona de Francisco I. Madero se han puesto en evidencia cinco unidades litológicas (Figuras 2 y 3): 1) un esquistos cuarzosericítico que representa el basamento de probable edad paleozoica (Burckhart, 1905; McGhee, 1976) detectado en los núcleos de barrenación a una profundidad promedio de 210 m y aflorante en el arroyo de la Pimienta al oeste de la Ciudad de Zacatecas; 2) una secuencia pelítica cálcarea mesozoica deformada durante la Orogenia Laramide (Campaniano

superior – Eoceno) (Coney, 1976); 3) una secuencia volcanosedimentaria de composición básica; 4) cuerpos intrusivos tardilaramídicos de composición cuarzo-monzonítico–diorítica; 5) rocas volcánicas andesíticas a la base no presentes en la zona y riolíticas a la cima con diques asociados. En algunas zonas se presentan niveles de conglomerado continental a la base del paquete volcánico, correspondiente al conglomerado rojo de Zacatecas

aflorente sobre todo alrededor de la Ciudad de Zacatecas.

La columna estratigráfica no ha sido aún definida, sin embargo, la columna litoestructural en el yacimiento fue definida en este trabajo por medio de la descripción de los núcleos de barrenación realizados por Ocejo-P. *et al.* (1983), y se describe a continuación de la base a la cima (Figura 3).

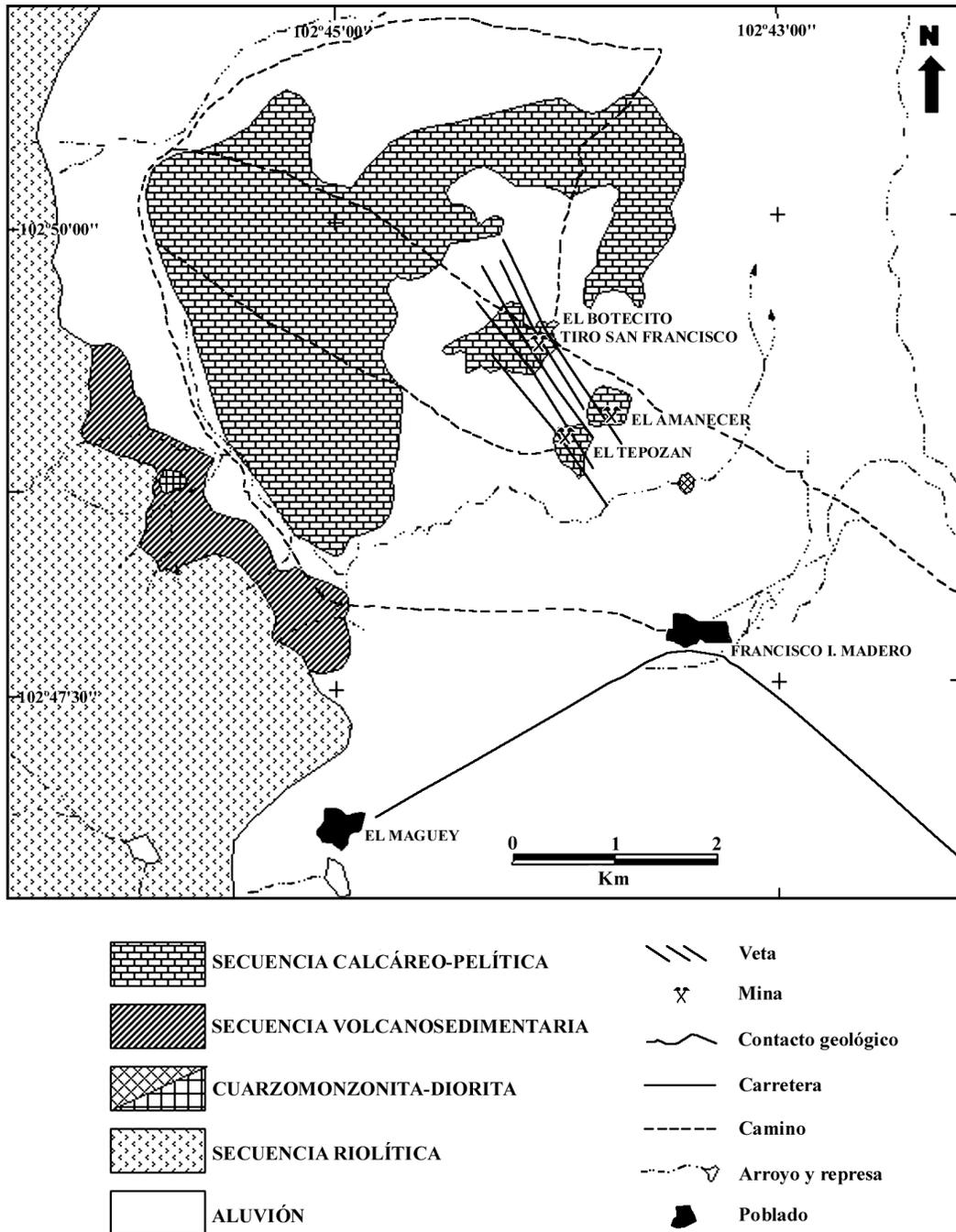


Figura 2. Mapa geológico simplificado del área Francisco I. Madero (modificado de Ocejo-P. *et al.*, 1983).

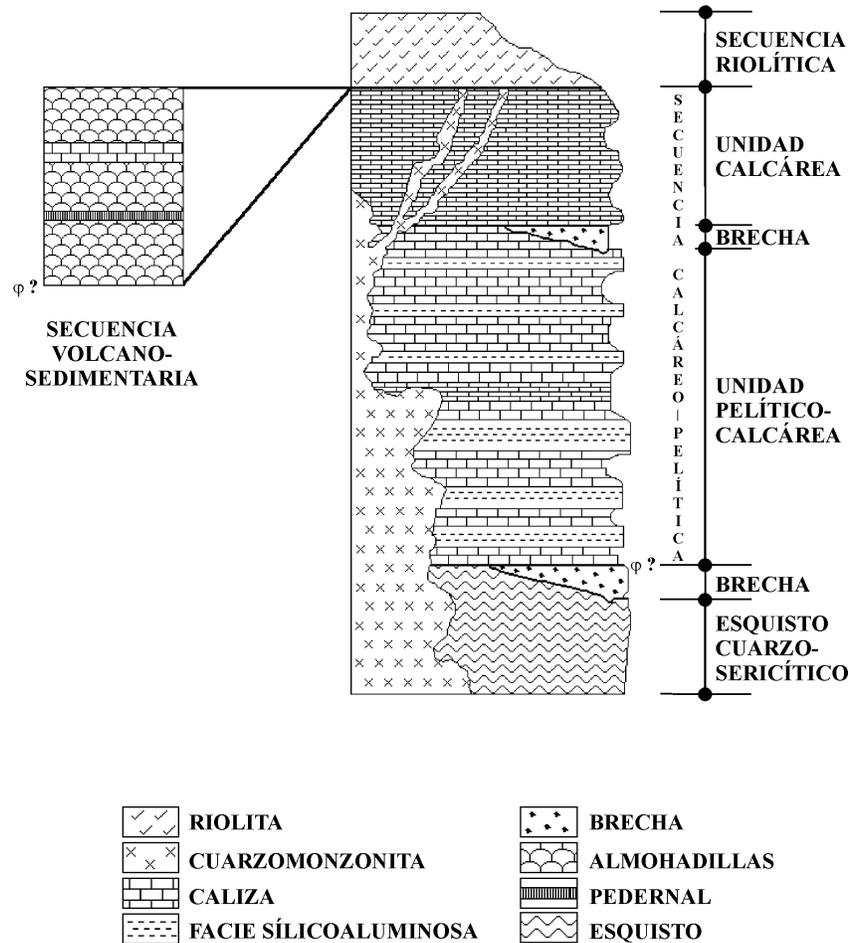


Figura 3. Columna litoestructural del área Francisco I. Madero, estado de Zacatecas, México.

Esquisto cuarzosericítico

Corresponde a la unidad más profunda alcanzada por la barrenación, de color verde claro con textura homogénea, contiene niveles de cuarcita, filita de bituminosa a grafitica. Se le observa una foliación muy marcada, en ocasiones se detecta una foliación superpuesta, que podría representar una deformación más antigua (Permo–Triásico?). Presenta diseminación de pirita sobre los planos de esquistosidad, lo que en parte le da una coloración rojiza, presenta fracturamiento con relleno de pirita, cuarzo y calcita. Esta unidad litológica no contiene otros sulfuros.

Secuencia pelítica calcárea

Aflora en casi todo el sector, compuesta por dos unidades: una pelítica a la base y otra calcárea a la cima. Presenta plegamiento intenso de tipo isoclinal, recostado al NE, deformación más evidente en la unidad calcárea.

Esta secuencia es la más importante ya que es la contenedora de mineralización.

Unidad pelítica

Está representada por una alternancia de dos facies. La primera de color verde (sílico–carbonatada), compuesta principalmente por piroxeno, anfíbol, granate, clorita y calcita, minerales que obliteran la foliación. La otra facie es de color negro (sílico–aluminosa), compuesta por pelita, en ocasiones grafitica, la cual han conservado las marcas de la deformación. Se observan algunos niveles de cuarcita, ciertos niveles se encuentran cloritizados y silicificados, sobre todo a profundidad. A una profundidad promedio de 125 m la potencia de los niveles negros aumenta a la inversa de los verdes. Desde el punto de vista petrográfico, la facie sílico–aluminosa podría corresponder a una limolita, por el tamaño de grano, con intercalaciones francamente esquistosas. El paso a la unidad calcárea es generalmente

transicional, sin embargo, en ocasiones está marcado por brechas tectónicas.

Unidad calcárea

Está compuesta de caliza recristalizada con intercalaciones rítmicas de delgados horizontes detríticos de limolita. Hacia la superficie los horizontes detríticos de limolita desaparecen quedando sólo una caliza recristalizada. Hacia la Mina El Amanecer (Figura 2), al contacto con la cuarzomonzonita, se observa un *skarn* de granate con un halo de mármol. Los barrenos han cortado a profundidad niveles calcáreos altamente recristalizados con silicificación que enmascara el plegamiento y la foliación. Localmente, en el barreno 126, el grado de metamorfismo es lo suficientemente débil por lo que las rocas calcáreas observadas son similares a las detectadas en superficie. En general, esta secuencia presenta fracturas rellenas de sulfuros, calcita y cuarzo. La observación con lupa muestra que este relleno también se emplaza en algunos planos de foliación.

Secuencia volcanosedimentaria

Esta secuencia no fue detectada en la barrenación, sin embargo aflora al oeste del yacimiento y está compuesta por niveles de lavas masivas o vesiculares y volcanoclastitas; presenta horizontes de micrita, limolita, sílex y radiolarita (arroyo El Molino). Los niveles de lavas se caracterizan por ser altamente alumínicos ($Al_2O_3 = 16.91\%$), y muy potásicos ($K_2O = 3.58\%$), lo que se refleja en la abundancia de glauconita secundaria. Su afinidad magmática parece ser tipo calcoalcalino de arco, la cual ha sido modificada grandemente por los efectos del metamorfismo regional (facies de esquistos verdes), además del hidrotermalismo, lo que es reflejado en una alta pérdida por calcinación (3.9%) y elevado contenido en CO_2 (0.70%) (Yta, 1992). Se le confiere por correlación una edad del Cretácico Inferior, ya que los niveles de radiolarita presentan fósiles mal conservados similares a los dados en la región de Saucito, Zacatecas (± 40 km al oeste, en el mismo tipo de secuencia (Yta *et al.*, 1990; Yta, 1992).

Cuerpos intrusivos

Estos intrusivos son de composición cuarzomonzonita-diorita, los afloramientos de estos cuerpos son muy reducidos, no rebasando los 20 m de diámetro. La cuarzomonzonita aflora al SE del yacimiento en la mina El Amanecer; al centro de la zona, el barreno 104 cortó cuarzomonzonita que se encuentra en contacto con la unidad calcárea y origina un *skarn* de granate con un halo de mármol. La diorita aflora al oeste en el arroyo El Molino cortando a la secuencia volcanosedimentaria.

Secuencia riolítica

Aflora al Oeste del yacimiento. Se trata de riolita compuesta por niveles de tobáceos, ignimbríticos, vitrófidos y brechas volcánicas con diques asociados.

MINERALOGÍA Y TEXTURAS

La mineralización estudiada en Francisco I. Madero presenta una morfología lenticular. Existe otra mineralización vetiforme totalmente tardía ya que corta de manera secante tanto a la mineralización lenticular como a la secuencia pelítica calcárea.

Por su parte, la mineralización lenticular presenta dos tipos de asociación mineral y rasgos texturales que han permitido separarlas en dos tipos: la primera, como una mineralización predeformación y el segunda postdeformación típica de *skarn* pobremente cálcico Zn, Pb, Cu (Ag).

Mineralización lenticular

Los cuerpos lenticulares se encuentran encajonados en la secuencia pelítica calcárea. El espesor total de estos cuerpos varía en promedio de 120 a 130 m, detectándose a partir de los 60 a 80 m de profundidad. Estos cuerpos se componen de dos asociaciones minerales: pirita-pirrotita a la base y esfalerita dominante-galena-pirita y escasa calcopirita hacia la cima.

La asociación pirita-pirrotita se relaciona a la unidad pelítica, donde la mineralización se dispone conforme a $S_{0.1}$. Se encuentra finamente diseminada en la roca, concentrándose en finas capas que van de uno a varios mm o bien bajo la forma de niveles masivos que llegan a rebasar los 50 cm.

La asociación esfalerita dominante-galena-pirita y escasa calcopirita es característica de los niveles más someros y se liga preferentemente a los niveles más carbonatados, donde se asocian a piroxeno (hedenbergita, diopsida), anfíbol (ferroactinolita-actinolita), granate, actinolita-tremolita, pistachita y clorita, los cuales representan una asociación mineral típica de *skarn*.

Ambas asociaciones minerales cambian de la base a la cima de manera transicional al igual que la secuencia pelítica que se torna más calcárea.

El análisis microscópico de los barrenos mostró que, hacia la cima del cuerpo, la mineralización predominante está compuesta por esfalerita abundante, galena, pirita y escasa calcopirita. Esta mineralización se asocia a los horizontes sílico-carbonatados sumando un espesor promedio de 100 a 150 m. La mineralización compuesta de pirita y pirrotita predomina a profundidad, siguiendo preferencialmente los horizontes sílico-aluminosos con algunos horizontes de esquistos negro y donde la esfalerita, galena y pirita son las fases minoritarias. El espesor de este nivel es variable yendo de 100 a 200 m. En

resumen, se constató que la distribución de las asociaciones minerales está ligada a la litología encajonante; la mineralización de sulfuros de Fe se asocia a los niveles sílico-aluminosos con presencia de carbón, mientras que los sulfuros de Zn,Pb,Cu, (Ag) se asocian a los niveles sílico-carbonatados.

La asociación mineral pirita-pirrotita, materia orgánica carbonosa y clorita corresponde a la mineralización deformada y se caracteriza por el alto contenido de pirita-pirrotita. La pirita contiene inclusiones de pirrotita y escasa calcopirita, se emplaza en horizontes paralelos a la foliación en espesores que varían de algunos mm a una decena de cm. Cuando los niveles de pirita son delgados, en promedio tres mm, se presenta bajo la forma de sigmoides. Cualquiera que sea el espesor del horizonte, la pirita presenta fracturas marcadas por óxidos de Fe (Figura 4a). La pirrotita es tan abundante como la pirita, bajo la forma de horizontes masivos de algunos centímetros o bien bajo la forma de lentes milimétricas. La pirrotita se presenta frecuentemente en forma de sigmoides

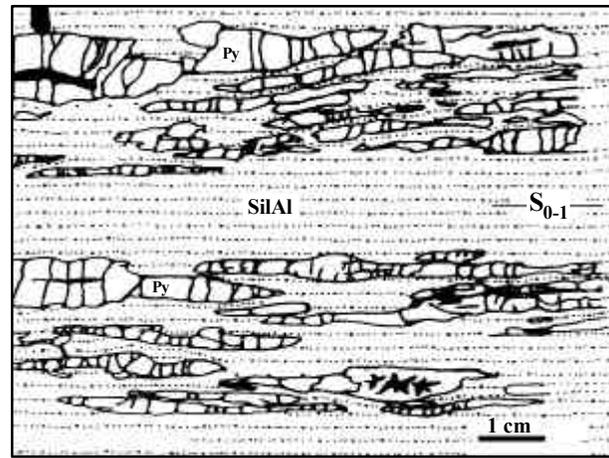
Se han distinguido tres texturas de deformación en pirita y pirrotita: pirita granoblástica, pirita fracturada y desmoronada, y pirrotita sigmoidal.

La pirita granoblástica es automorfa, en ocasiones muestra sombras de presión rellenas de calcopirita (Figura 4b) dentro de las cuales flotan fragmentos de pirita automorfa (Figura 4c) sugiriendo una deformación con componente de cizalla.

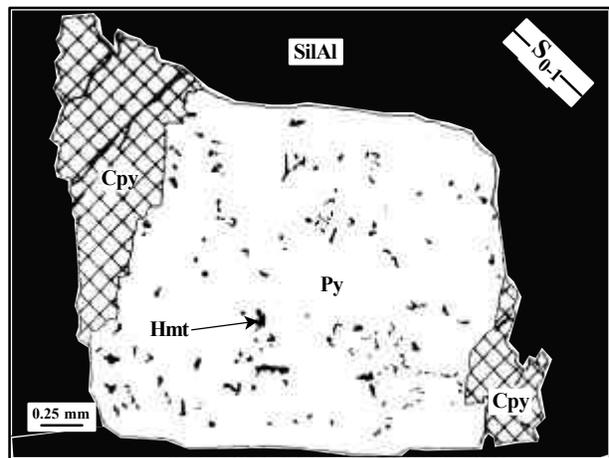
La pirita fracturada y desmoronada presenta una red de fracturamiento conjugado en un ángulo de 20°-40° con respecto a S_{0-1} (Figura 5a). Dentro de las fracturas principales (axiales a S_{0-1}) se desarrolla un desmoronamiento de la pirita.

La pirrotita sigmoidal presenta formas alargadas sobre S_{0-1} , siempre asociadas a materia carbonosa y óxidos de Fe tardíos. La formación de estos sigmoides es típica de una deformación no coaxial similar a la deformación observada en la roca encajonante. Presenta casos muy espectaculares de microplegamiento muy cerrado y no fracturado, dentro los cuales se desarrolla un clivaje tectónico subrayado por un relleno de minerales secundarios (clorita, calcita y cuarzo). Este clivaje atraviesa tanto los cristales de pirrotita como a la roca (Figura 5b y 5c) y es paralela a S_{0-1} .

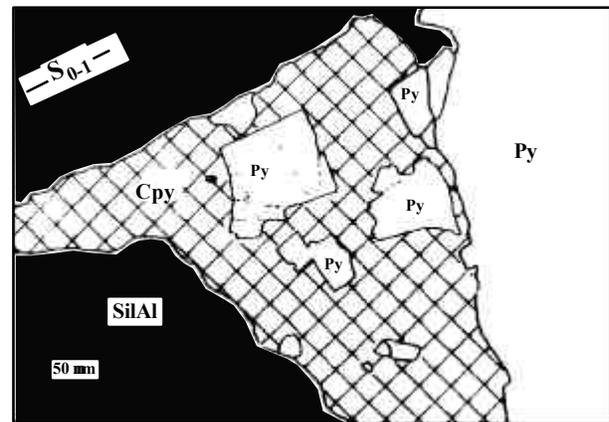
La asociación esfalerita dominante, galena y calcopirita escasa corresponde a una mineralización post-deformación asociada a *skarn* ligado al magmatismo tardío o postlaramídico. Esta asociación mineral encontrada dentro de los niveles sílico-carbonatados reemplaza a piroxenos altamente calcitizados y cloritizados; los relictos de piroxeno son muy similares a los de tipo hedenbergita encontrados en Fresnillo (Yta, 1992), lo que sugiere que en sus inicios el *skarn* en FIM era de tipo hedenbergítico, otros más presentan características ópticas de diopsida. Los anfíboles detectados se encuentran cloritizados con rasgos de ser originados por uralitización de piroxenos así como de una recrystalización



a



b



c

Figura 4. a) Nivel estratiforme de pirita (Py) fracturada, emplazada en el nivel sílico-aluminoso (SilAl). Esquema a partir de muestra de mano. b) Nivel estratiforme de pirita granoblástica (Py) con oxidación (Hmt), mostrando sombras de presión de calcopirita (Cpy), emplazada en el nivel sílico-aluminoso (SilAl). Esquema a partir de fotomicrografía al microscopio óptico con luz reflejada. c) Detalle de una sombra de presión de calcopirita (Cpy) embebiendo fragmentos deformados de pirita (Py), emplazada en el nivel sílico-aluminoso (SilAl). Esquema a partir de fotomicrografía al microscopio óptico con luz reflejada.

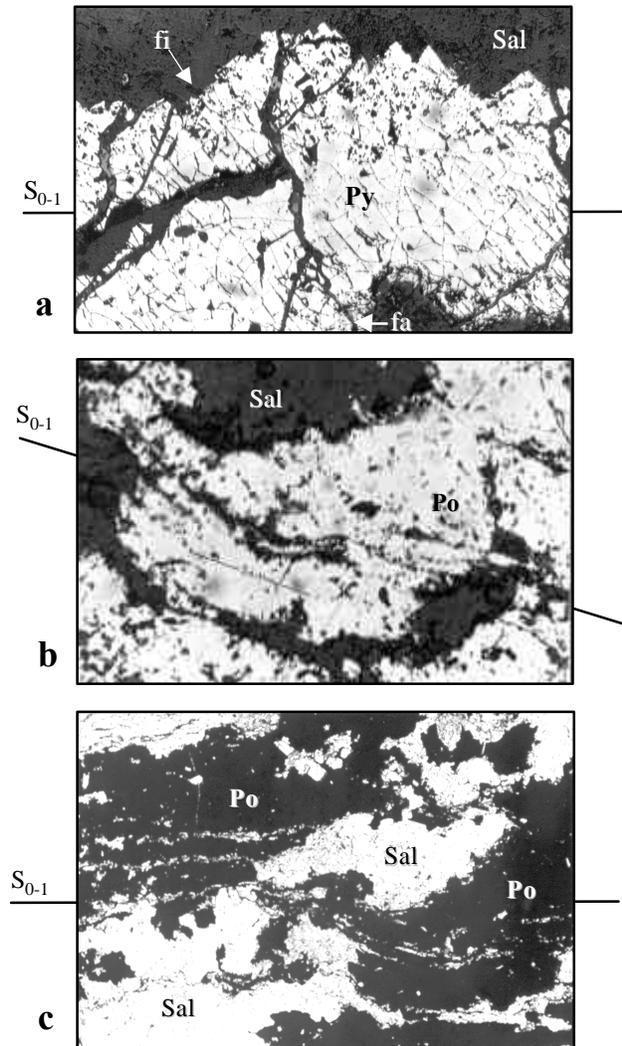


Figura 5. a) Pirita (Py) mostrando un sistema de fracturamiento axial (fa) e inclinado (fi) con respecto a S_{0-1} en fase transparente de silicoaluminatos (Sal). Microscopio óptico de polarización, luz reflejada, nicoles paralelos, objetivo 10x, campo horizontal de la fotografía 0.98 mm. b) Pirrotita (Po) deformada mostrando un clivaje de deformación paralelo a S_{0-1} en fase transparente de silicoaluminatos (Sal). Microscopio óptico de polarización, luz reflejada, nicoles paralelos, objetivo 10x, campo horizontal de la fotografía 0.98 mm. c) Pirrotita (Po) deformada mostrando un clivaje de deformación paralelo a S_{0-1} en fase transparente de silicoaluminatos (Sal). Microscopio óptico de polarización, luz transmitida, nicoles paralelos, objetivo 10x, campo horizontal de la fotografía 0.98 mm.

directa. El análisis puntual de anfíboles da una composición de ferroactinolita–actinolita con una relación $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ variable de 0.01–0.89 (Yta, 1992). Los minerales citados se asocian a granate de composición grosularítica. También se observa andradita en cristales aislados y reemplazados por esfalerita. La asociación mineral descrita se asocia a esfena y pistachita. La relación de contacto entre minerales muestra que la galena y la calcopirita son posteriores a la esfalerita, ya que se emplazan en sus fracturas. La esfalerita es ferrífera y

contiene inclusiones de calcopirita que en ocasiones se asocia a covelita.

Ligado al evento vetiforme se observó una asociación mineral compuesta por cuarzo, calcita, clorita, pirita, esfalerita, galena, calcopirita, bornita, telururos, sulfotelururos de plata y bismuto (hessita, matildita, tetradimita, galenobismutinita, bismutinita, tsumoita, aikinita, emplectita, wittichenita), en vetillas de estructura brechada con relleno de cavidades y textura ligeramente cocarda.

CONCLUSIONES

El estudio de textura y asociaciones minerales permitió evidenciar dos diferentes eventos metalogénicos. Uno deformado, de asociación mineral simple pirita–pirrotita que por las evidencias de deformación en ambos minerales corresponde a un evento no más joven que la deformación relacionada a la Orogenia Laramide. La deformación es evidenciada en la pirita por el fracturamiento ortogonal conjugado con un fracturamiento oblicuo con respecto a S_{0-1} , y en la pirrotita por el clivaje tectónico que la afecta al igual que a los niveles sílico–aluminosos.

El otro evento superpuesto es de tipo *skarn*, desarrollado en relación al evento mágnico tardi o postlaramídico, el cual presenta una asociación mineral y texturas típicas de *skarn* pobremente cálcico, como son la presencia de piroxeno cloritizado (diopsida), anfíbol (ferroactinolita–actinolita), granate (grossularita–andradita) y epidota, minerales reemplazados sobre todo por esfalerita y galena. Se le adjudica un carácter pobremente cálcico ya que el desarrollo de *skarn* es preferencialmente desarrollado en los niveles sílico–carbonatados, similar al *skarn* de la zona de Fortuna en Fresnillo (Megaw, 1988).

Finalmente, el evento vetiforme de mineralogía muy compleja relacionada a sulfuros de Pb, Zn, Cu, telururos y sulfotelururos muestra claramente relaciones geométricas que evidencian una depositación tardía, ya que corta a los cuerpos mineralizados en forma de fallas con estructura brechoide y textura ligeramente cocarda con relleno de cavidades.

En resumen, es evidente que las asociaciones minerales demuestran diferentes eventos mineralizantes, sin embargo, adjudicar una edad y un origen preciso a la mineralización predeformación aun no es posible.

AGRADECIMIENTOS

Los autores hacen patente su agradecimiento al Laboratorio de Metalogía de la Universidad de Orléans, Francia, ya que allí se realizaron la mayoría de los análisis al microscopio óptico de polarización, microscopio electrónico de barrido y microsonda electrónica. También, se agradece al Consejo de Recursos

Minerales su apoyo a través de los años para poder realizar diferentes investigaciones, dentro de ellas ésta presentada aquí. Por último se agradece a la Ing. Carmen Esquivel Miranda su apoyo y empeño en la edición del presente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burckhardt, C., 1905, La faune marine du Trias superieur de Zacatecas, Mexico: Boletín del Instituto Geológico de México, 21, 44 p.
- Campa, M.F., Coney, P.J., 1983, Tectono-stratigraphic terrains and mineral resource distribution in Mexico: Canadian Journal Earth Sciences, 20, 1040-1051.
- Clark, K.F., Foster, C.T., Damon, P.E., 1982, Cenozoic mineral deposits and subduction-related magmatic arcs in Mexico: Geological Society of America Bulletin, 93, 533-544.
- Coney, P.J., 1976, Plate tectonic and the Laramide orogeny: New Mexico Geological Society, Special Paper, 6, 5-10.
- De Cserna, Z., Delevaux, M.H., Harris, D.C., 1977, Datos isotópicos, mineralógicos y modelo genético propuesto para los yacimientos de plomo, zinc y plata de Fresnillo, Zacatecas: , México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 1 (1), 110-116.
- Gómez-C., A., 1986, Análisis geológico-metalogénico preliminar del depósito polimetálico de vetas y mantos de Francisco I. Madero, municipios de Zacatecas y Morelos, estado de Zacatecas: México, Consejo de Recursos Minerales, Gerencia de Estudios Especiales, 37 p. (inédito)
- Hayba, D.O., Bethke, P.M., Heald, P., Foley, N.K., 1985, Geologic, mineralogic and geochemical characteristic of volcanic-hosted epithermal precious-metal deposits, in Geology and Geochemistry of Epithermal Systems: Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology, 2, 129-168.
- Henry, B., 1982, Informe general, proyecto minero Francisco I. Madero, estado de Zacatecas, México: México, Central de Servicios para el Desarrollo del Estado de México (SEDEME, S. A.), 18 p. (inédito)
- Imlay, R.W., 1936, Evolution of the Coahuila Peninsula, México; Part 4, Geology of the western part of the Sierra de Parras: Bulletin of the Geological Society of America, 47 (7), 1091-1152.
- Imlay, R.W., 1938, Studies of Mexican geosyncline: Bulletin of the Geological Society of America, 49, 1651-1694.
- Kelly, W.A., 1936, Evolution of the Coahuila Peninsula, Mexico; Part 2, Geology of mountains bordering the valleys of Acatita and Las Delicias: Bulletin of the Geological Society of America, 47, 1009-1038.
- McGehee, R.V., 1976, Las rocas metamórficas del arroyo Pimienta, Zacatecas, Zac.: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 38 (1), 1-10.
- Megaw, P.K.M., Ruiz, J., Titley, S.R., 1988; High-temperature, carbonated hosted Ag-Pb-Zn (Cu) deposits of northern Mexico: Economic Geology, 83, 1856-1885.
- Ocejo-P., T., Herrera-M., I., Ortiz-V., J., 1983, Geología y evaluación de los depósitos minerales en las áreas de Francisco I. Madero, El Tepozan y Los Gringos, municipios de Zacatecas y Morelos, Zacatecas: Consejo de Recursos Minerales, Gerencia de Exploración, Residencia Zacatecas, 45 p. (Inédito)
- Tardy, M., 1980, Contribution à l'étude géologique de la Sierra Madre Orientale du Mexique: Paris, Université Pierre et Marie Curie, Tesis de doctorado, 459 p. (Inédita)
- Yta, M., 1992, Etude géodynamique et métallogénique d'un secteur de la "Faja de Plata", Mexique: la zone de Zacatecas - Francisco I. Madero - Saucito: Orleans, Université d'Orleans, Tesis de doctorado, 287 p. (Inédita)
- Yta, M., Moreno-Tovar, R., 1997, Las mineralizaciones en los distritos mineros Pachuca-Real del Monte y Zimapán; su papel en la evolución metalogénica del estado de Hidalgo, en II Convención sobre la Evolución de México y Recursos Asociados, Libro-guía de las excursiones geológicas. Excursión 3: Pachuca: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra; Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 73-87.
- Yta, M., Lapierre, H., Monod, O., Wever, P., 1990, Magmatic and structural characteristics of the Lower Cretaceous arc-volcano-sedimentary sequences of Saucito-Zacatecas-Fresnillo (Central Mexico); Geodynamic implications: München, Geowissenschaftliches Lateinamerika Kolloquium, Ludwig-Maximilians-Universität, Mémoire, 85.

Manuscrito recibido: Septiembre 7, 2001

Manuscrito corregido recibido: Enero 18, 2003

Manuscrito aceptado: Mayo 12, 2003