GEOLOGIA Y ANALISIS METALOGENICO DE LA SIERRA DE CATORCE, S.L.P.

Pedro F. Zárate del Valle*

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es el estudio de las mineralizaciones antimoníferas (sulfuro y óxidos) estratiformes y fisurales, localizadas en la Sierra de Catorce, en la porción Norte-Central del Estado de San Luis Potosí. Se describen estratigráficamente el basamento metamórfico paleozoico y las rocas triásicas (lechos rojos con facies volcánico-clásticas), jurásicas (calizas), cretácicas (calizas) y terciarias (calizas lacustres). La tectónica de la Sierra es complicada, ya que ha sido afectada por cinco fases de deformación que se sobreponen en espacio y en tiempo. Las rocas ígneas varían en edad y en composición: pre-triásicas (doleritas), triásicas (dacitas), terciarias (pórfido granodiorítico), plio-cuaternarias (basanita y dacitas).

La mena de antimonio se aloja en mantos (caliza oxfordiana recrystalizada) y en fisuras (calizas oxfordiana y cretácica). Se considera a los lechos rojos triásicos como la fuente del antimonio presente en la Sierra. Las nociones metalogenéticas de herencia y permanencia son aplicables a los depósitos antimoníferos estudiados. En este trabajo se propone una nueva etapa de exploración limitada a las calizas cretácicas, siguiendo ciertos patrones de fracturamiento.

ABSTRACT

The present paper refers to the antimony deposits (stratabound and fissure veins) located in Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México. The paleozoic metamorphic basement, the triassic (red beds with volcanic-clastic facies), jurassic, cretacic and tertiary limestone are described.

The tectonic of Sierra de Catorce is complicated; there are field evidences of five deformation phases superposed in time and space. The composition and age of Sierra de Catorce igneous rocks are pretriassic (dolerite), jurassic (dacite), tertiary (granodioritic porphyry) and plio-quaternary (basanites and dacites).

Antimony ore deposits (sulphur and oxydes) morphology is represented by stratabound (mantos: oxfordien limestone strata recrystallized) and fissure veins (in oxfordien and cretacic limestone). The source of the antimony mineralization is triassic red beds. Heritage and persistance notions can be applied to the antimony deposits of Sierra de Catorce. A new program of exploration based on fracturation trend and limited to the cretacic limestones is proposed.

*Consejo de Recursos Minerales

INTRODUCCION

La Sierra de Catorce se conoce, sobre todo, por su historial minero:

- En 1778 se descubrieron las minas argentíferas del distrito de Real de Catorce
- En 1780 se descubrieron los minerales del distrito argentífero de Real de Maroma y de la mina La Zaragoza
- A fines del Siglo XVIII se empezaron a trabajar los minerales de los distritos Tierras Negras (Sb) y Santa María de la Paz (Cu, Ag, Pb, Zn).

Localización Geográfica

La Sierra de Catorce está geográficamente limitada por los meridianos $100^{\circ} 37' 08''$ y 101° de longitud oeste y por los paralelos $23^{\circ} 16' 46''$ y $23^{\circ} 49' 12''$ de latitud norte.

Esta unidad orográfica se localiza en la porción norte del Estado de San Luis Potosí (Figura 1). Está limitada al oeste por el Valle de Wadley (1800 msnm), y al este por el de Matehuala (1600 msnm). Su punto culminante (Cerro del Barco) se localiza a 3060 msnm. La Sierra de Catorce es una región semidesértica, con régimen pluvial de 343.9 mm y temperatura media anual de 17.34°C .

SUCESION LITOESTRATIGRAFICA

En forma breve se describirá la columna litoestratigráfica presente en la Sierra de Catorce, haciendo hincapié en la litología del Paleozoico (basamento), y del Triásico-Jurásico (cubierta sedimentaria) (Figura 2).

Paleozoico superior: Basamento (Pls)

Baker (1922, p. 43), al estudiar el distrito argentífero del Real de Catorce, dividió esta unidad en dos series:

- La más antigua, constituida por esquistos de talco y de sericita, rocas verdes y horizontes delgados de metatobas andesíticas

- La más joven, representada por metasedimentos (filitas) de color verde y morado; su grado de metamorfismo es menos intenso que el de la serie antigua.

Las dos series están afectadas por diques de lavas básicas. Esta unidad aflora en los alrededores de Real de Catorce (Cañón General), La Maroma y al norte de San Bartolo.

Triásico-Jurásico Inferior: Lechos rojos (TR-Ji)

Estos sedimentos, depositados en un ambiente continental, afloran en las porciones noroeste y sur-central de la Sierra, y descansan discordantemente sobre el basamento del Paleozoico superior.

Pantoja (1963) dividió esta unidad en dos series:

- La de la base, formada por el Conglomerado Huizachal; cuyos elementos disminuyen de tamaño hacia la cima
- La superior, constituida por areniscas de grano fino y limolitas, llamada Formación Carretas (Pantoja, *op. cit.*)

El espesor del Conglomerado Huizachal es de 110 m en Real de Catorce, mientras que el de la Formación Carretas varía de 100 a 160 m. La cima de esta unidad, en la ranchería La Alberca, se presenta afectada por un dique de lava básica similar al que se observa en Real de Catorce (Cañón General).

La Formación Carretas presenta esporádicamente lentes constituidos por concreciones calcáreas de 15 mm de diámetro en promedio, y por septarias de diámetro variable; ocasionalmente presenta estratificación cruzada. Se debe mencionar que esta unidad está parcialmente constituida por una facies volcánico-clástica (tobas) y presenta también rocas porfídicas en forma de diques y diquestratos; éstas se han clasificado como dacitas (Norma CIPW).

En ocasiones, las tobas y dacitas mencionadas, muestran cloritización, que se manifiesta por una decoloración de rojo oscuro (óxidos de Fe) a verde claro (cloritización). Esta facies volcánico-clástica es la roca encajonante de la mena (Ag, Pb, Zn) de la Mina Zaragoza.

localización de la Sierra de Catorce

SIMBOLOGIA

- FC "MEXICO-LAREDO"
- CARRETERA
- # POBLADO
- CURVA NIVEL
- CONTACTO GEOLOGICO
- A-B-C SECCION GEOLOGICA
- FALLA FRACTURA
- ANTICLINAL
- SINCLINAL BUZANTE
- ANTICLINAL RECOSTADO
- RUMBO Y ECHADO DE CAPAS
- QI ESTRUCTURA PLIO-CUATERNARIA
- Mc ESTRUCTURA MIOCENICA
- PI ESTRUCTURA PALEOCENICA
- DIQUE

GEOLOGIA

(vease columna estratig.)

Rocas Sedimentarias

- Qal ACTUAL, aluvión.
- Mc MIOCENO, caliza lacustre.
- Ks CRETACICO SUP. secuencia carbonatada.
- Ki CRETACICO INF.
- Kic APTIANO-ALBIANO; deposito arrecifal.
- Jlc Fm. Abra.
- Jz KIMMERIDGIANO TITONIANO; caliza limo lita. Fm. La Caja.
- Rji OXFORDIANO caliza. Fm. Zuloaga.
- Pls TRIASICO-JURASICO INF. lechos c/ta- cie Volcano-clastico.
- Pls PALEOZOICO SUP. basamento metamorfico.

Rocas Igneas

- BA BASANTA DEL PLIO-CUATERNARIO
- Pa DACITA DEL PLIO-CUATERNARIO
- Tr Porfido GRANODIORITICO DEL TER CIARIO.
- dc DACITA PORFIDICA DEL TRIASICO-JURASICO.
- Dp DOLERITA POS-TRIASICO-JURASICO INFERIOR Y ANTE-OXFORDIANO

Nota—Fondo Topografico original dibujado por el autor a partir de las cartas topograficas esc. 1:50 000, F-14-A-24, F-14-A-34 y F-14-A-44 de DETENAL. Trabajos consultados Palacios, 1970; Mtz. y Maldonado, 1975

Figura 1. Geología de la Sierra de Catorce San Luis Potosí, México.

Figura 2. Columna Estratigráfica de la Sierra de Catorce..

Jurásico Superior

Oxfordiano superior: Formación Zuloaga (Jz)

Las rocas de esta edad están representadas por 3 depósitos diferentes:

- a) El inferior, de 175 m de espesor, constituido por:
 - 1) Calizas arcillosas (ej.: La Alberca)
 - 2) Calizas oolíticas con trazas de galena (ej.: La Maroma)
 - 3) Calizas de estratificación delgada (ej.: al norte de la Mina Zaragoza)
 - 4) Facies arcillosa (ej.: Real de Catorce)
- b) El intermedio, de 180 m formado por calcilutitas con niveles arcillosos interestratificados
- c) El superior (facies lagunar), de 44 m, representado por una alternancia de calcarenitas, calcilutitas y horizontes calcáreos recristalizados (mantos) y arcillosos.

Esta unidad está coronada por un horizonte (croûte indurée) constituido por sílice, óxidos de Fe y colófano (ej.: La Tacuba), el cual es testimonio de un período de emersión.

El depósito superior de esta unidad es el más importante desde el punto de vista de los yacimientos minerales, ya que está constituido por estratos de caliza recristalizados ("mantos" de calcita), que se presentan mineralizados con antimonio.

La fauna de esta unidad, fue clasificada por la Dra. B. E. Buitrón (comunicación escrita):

- Depósito inferior: *Gryphaea mexicana* Félix, *Arctica coteri* Castillo y Aguilera
- Depósito medio: *Nerinea godelli* Cragin
- Depósito superior: *Pholodomya* so. ct. *P. nemicardia* Roemer

Kimmeridgiano-Tithoniano: Formación La Caja (Jlc)

Los sedimentos de esta edad, están divididos en dos miembros (Verma y Westermann, 1973, p. 120-139);

- El inferior, llamado El Pastor, constituido sobre todo por calizas en estratos delgados

El superior, llamado El Verde, formado por una interestratificación de caliza en estratos delgados y lutitas

Diferentes autores han considerado distintos espesores de esta unidad. Para Martínez y Maldonado (*op. cit.*) su espesor es de 70 m, para Pesquera (1954) varía de 350 a 400 m y, según McLeroy (1975) es de 220 m. Esta discrepancia en su espesor, se debe a juicio del autor, a que la cima de esta formación fue delimitada litológicamente y no paleontológicamente. Con base en el estudio paleontológico de Verma y Westermann (*op. cit.*) se puede decir que el espesor de esta unidad varía entre 35.55 y 49.85 m.

Los sedimentos jurásicos están cubiertos en transgresión por la potente serie carbonatada del Cretácico. Litológicamente el paso del Jurásico al Cretácico en la Sierra es transicional: de lutitas se pasa a calizas.

Cretácico (Marino: Kia, Ki, Ks), Terciario (Continental. Mc)

Las rocas cretácicas de la Sierra fueron ya descritas. Véanse: Palazuelos (1970), Silva (1978), y Zárate (*op. cit.*). La columna de este período constituye un depósito ininterrumpido carbonatado de 1,450 m de espesor. Su edad varía del Valanginiano superior en la Formación Taraises, con 20 m de espesor, hasta el Maestrichtiano en la Formación Méndez con 200 m de espesor (Figura 2).

Las rocas terciarias (Mioceno) están representadas por depósitos carbonatados continentales de color beige, en parte brechados. El único afloramiento observado se localiza en el poblado de San Juan de Vanegas en el norte de la Sierra de Catorce, en donde presentan parcialmente un metro de potencia. Esta localidad está afectada por derrames basálticos columnares (Figura 1). Como consecuencia de su composición carbonatada, en las partes bajas de la Sierra los sedimentos descritos se encuentran cubiertos por una costra calcárea (caliche).

Cuaternario (Qal)

Los aluviones cuaternarios, producto de la erosión de la columna litoestratigráfica descrita, se encuentran rellenando los valles de la Sierra.

BOSQUEJO PALEOGEOGRAFICO DEL NOROESTE MEXICANO

Los sedimentos mesozoicos, provienen de los paleo-relieves que se ubicaban al norte y al este de la Sierra de Catorce, conocidos como Península de Coahuila y Archipiélago Tamaulipeco (de Cserna, 1956).

En el norte de México la transgresión marina de edad oxfordiana proviene del sureste (Tardy, 1977), y está constituida por el depósito de calizas de aguas someras (facies neríticas), con intercalaciones de evaporitas (formaciones La Gloria y Zuloaga).

a) Distribución de facies en el Jurásico Superior. El Kimmeridgiano-Tithoniano es regresivo con respecto al Oxfordiano, y está representado por las facies siguientes:

- Nerítica (Formación La Casita)
- Profunda (Formación La Caja)

Entre el Oxfordiano y el Kimmeridgiano existe una discordancia, representada por la ausencia de fósiles índices del Kimmeridgiano inferior (Imlay, 1943, p. 1417).

Particularmente en la Sierra de Catorce, la transgresión oxfordiana principia con el depósito de las diferentes facies que constituyen la parte inferior de la Formación Zuloaga: calizas oolíticas interestratificadas con horizontes arcillosos (ej.: La Maroma, La Alberca), y la más detrítica de composición arcillosa que aflora en Real de Catorce.

El depósito de la parte intermedia fue más tranquilo y monótono, y tuvo como resultado la formación de calcilitas. El medio de depósito de la parte superior fue lagunar, más agitado, y permitió el depósito de 44 m de calcarenitas (éstas son las rocas encajonantes de la mineralización de antimonio de morfología estratiforme y fisural).

El fin de la sedimentación oxfordiana está marcado por una corta emersión. Los sedimentos de la Formación La Caja son regresivos respecto a los de la Formación Zuloaga.

b) Distribución de facies en el Cretácico y Terciario. Como se mencionó, el Cretácico está representado por rocas carbonatadas. La sedimentación

del Tithoniano al Berriasiano fue continua: de limolitas tithonianas se pasa a calizas berriasianas. Para Tardy (*op. cit.*) en el Aptiano ocurre una nueva transgresión que cubre la Península de Coahuila y al Archipiélago de Tamaulipas. Sobre ellos se depositan sedimentos neríticos de plataforma: calcarenitas, calizas y biostromas. Al sureste de la Sierra de Catorce, Palazuelos menciona la presencia de sedimentos del Aptiano-Albiano de tipo arrecifal de la Formación El Abra. Del Cenomaniano superior al Paleoceno inferior se depositan sedimentos tipo *flysch* en la cuenca de sedimentación de la Sierra Madre Oriental.

Del Eoceno al Mioceno, ocurre el depósito en cuencas endorréicas, a lo largo de la Sierra Madre Oriental (ya emergida), de molasas continentales, producto de la erosión de las estructuras laramídicas.

Del Plioceno al Reciente, se depositan molasas en fosas tectónicas (Tardy, *op. cit.*).

TECTONICA Y MAGMATISMO

A continuación, se bosquejará la tectónica de la Sierra Madre Oriental para ubicar en ella la tectónica de la Sierra de Catorce.

Bosquejo Tectónico Regional

En la Sierra Madre Oriental se pueden distinguir diversas fases tectónicas del Mesozoico y Cenozoico, que se superponen en espacio y en tiempo:

- Discordancia entre el Triásico continental y el Jurásico marino
- La fase paleocénica de la Orogenia Laramide, que ha formado pliegues orientados E–W y ESE–WNW, y cabalgaduras hacia el NNE
- La fase miocénica (?), de la Orogenia Laramide, se manifiesta como una tectónica de compresión, originando pliegues con dirección de eje NNW–SSE, oblicuos en comparación a los de la fase anterior (E–W) (Tardy, *op. cit.*). El emplazamiento de macizos granodioríticos que afloran en el núcleo de anticlinales (Huizachal, Peregrina, Sierra de Catorce), está asociado a esta fase (de Cserna, *op. cit.*).
- En el Plio-Cuaternario, ocurre una tectónica

caracterizada por fallas de extensión, que fracturan las estructuras formadas durante la Orogenia Laramide, constituyendo pilares y fosas tectónicas. Esta fase está acompañada de derrames volcánicos, sobre todo basálticos.

Tectónica Local

Los efectos tectónicos observables en la Sierra de Catorce, se describirán, partiendo de lo anteriormente mencionado:

1) Discordancia del Triásico-Jurásico sobre el Paleozoico superior. El conglomerado basal de los lechos rojos descansa discordantemente sobre la segunda serie del basamento paleozoico (Ej. en Real de Catorce: Cañón General).

2) Discordancia del Jurásico superior sobre el Triásico-Jurásico inferior. En las localidades de La Alberca, Real de Catorce, y sobre la vereda que lleva a El Cerro del Barco desde el poblado La Maroma, se observa que la Formación Zuloaga reposa en discordancia sobre los lechos rojos.

El equivalente en la Sierra de Catorce al nivel evaporítico descrito regionalmente por de Cserna (*op. cit.*), y Tardy *et al.* (1974), es el horizonte de la Formación Zuloaga constituido por anhidrita y yeso aflorante en el distrito minero de San José—Tierras Negras (a 500 m al este del poblado de San Antonio Coronados, existe una colina llamada Cerro del Yeso, la cual es una capa de yeso interestratificaba en calizas del Cretácico Inferior).

3) Fase del Paleoceno (dirección de pliegues E—W y ESE—WNW). En la zona estudiada sólo se encontraron dos afloramientos de la Formación Zuloaga afectados por esta fase: la primera en la confluencia del Río Chiquito y del arroyo La Calavera donde aflora esta formación plegada en un anticlinal de dirección NW—SE, y la segunda en la localidad El Quipín, en el prospecto de Sb mina Don Chelo, donde aflora en un anticlinal buzante al NNW (Figura 1). Ocasionalmente, los dedimentos plegados de la Formación La Caja muestran una orientación E—W debido a esta fase (Ej. La Tacuba).

Al estudiar el plano 1:150,000 (Figura 1), se observa que los lechos rojos afloran en una ventana orientada NE—SW que para el autor de este trabajo,

forman parte de un pliegue erosionado de la misma orientación.

4) Fase miocénica (?) (dirección de pliegues NNW—SSE). La Sierra de Catorce es un anticlinorium de orientación N—S volcado al este, producto de los pliegues originados en esta fase.

5) Neotectónica. Esta tectónica desarrollada en el Plio-Cuaternario corresponde a un sistema de fallas y fracturas de dirección general NW—SE. Las fallas más espectaculares son las que limitan al flanco este de la Sierra con el Valle de Wadley (Figura 1).

Magmatismo

La actividad ígnea en la Sierra se ha manifestado en el Mesozoico, Cenozoico y Cuaternario variando de intrusiva a extrusiva. En esta sección se describirá la litología ígnea que aflora en la Sierra de Catorce, excluyendo la facies volcano-clástica (dacitas triásico Superior (Oxfordiano).

- 1) Dolerita 4 de octubre
- 2) Granodiorita porfídica La Maroma
- 3) Dacita Potrero de Catorce
- 4) Basanita San Juan de Vanegas

1) Dolerita 4 de octubre. Esta lava aflora en Real de Catorce, Cañón General y en La Alberca. En el prospecto amiantífero 4 de octubre (Cañón General), aflora en una superficie de aproximadamente 42 has presentándose también en forma de diques. Esta roca aloja vetillas de asbesto (actinolita) e intrusión al basamento del Paleozoico superior. En La Alberca, un dique de esta roca intrusión a los lechos rojos. Esta lava se ha clasificado como basalto con cuarzo (Norma CIPW) y con base en sus relaciones de campo, se concluye que su edad es posterior al Triásico y anterior al Jurásico Superior (Oxfordiano).

2) Granodiorita Porfídica La Marmoma. Los afloramientos más importantes de esta roca visitados por el autor son (Figura 1):

- Al sur del poblado de La Maroma, que es donde está mejor representada
- A 2.5 km al noreste de Potrero de Catorce (cantera)

- En el interior de la mina argentífera La Luz 3.5 km al este de Real de Catorce
- En el distrito minero Santa María de la Paz
- En el lecho del Río El Jordán, al norte de su confluencia con el arroyo Las Huertitas

Este intrusivo se presenta también en forma de diques intemperizados, por ejemplo:

- Las Venas, donde afecta a la Formación Zuloaga
- La Tacuba, donde intrusión a la Formación La Caja

Se le ha clasificado como pórfido granodiorítico con cuarzo (Norma CIPW). En la cantera localizada a 2.5 km al noreste de Potrero de Catorce (Figura 1) intrusión sedimentos cretácicos. Por lo anterior se considera que su emplazamiento se efectuó durante el Terciario.

3) Dacita Potrero de Catorce. El único afloramiento observado de esta lava forma parte de una pequeña colina al norte del poblado de Potrero de Catorce, donde está cubierta por una colada de basanita. Sin embargo, existen pequeños afloramientos de esta roca al norte del distrito antimonífero de San José—Tierras Negras (comunicación oral de R. Chiapa, geólogo de la mina).

Durante su emisión, esta lava fracturó y cementó parcialmente los sedimentos carbonatados del Cretácico Inferior, que afloran al norte de Potrero de Catorce (Figura 1). Esta roca se ha clasificado como dacita (Norma CIPW) y se ha datado del Plio-Cuaternario, ya que está cubierta por una basanita que, en el poblado de San Juan de Vanegas, 6 km aproximadamente al noroeste de Potrero de Catorce, afecta a sedimentos carbonatados continentales del Mioceno (?).

4) Basanita San Juan de Vanegas. Los afloramientos de esta lava son los siguientes (Figura 1):

- Inmediatamente al noreste del poblado de San Juan de Vanegas, donde se ha consolidado en forma columnar
- La pequeña colina al norte de Potrero de Catorce, donde cubre parcialmente una brecha con elementos carbonatados cretácicos

- En la porción sur de la Sierra de Catorce (Martínez y Maldonado, *op. cit.*)
- En la pequeña Sierra del Cerro del Fraile (Cajero, 1975)
- Al norte del poblado de Real de Catorce

Según la Norma CIPW, se ha clasificado como basanita (basalto con feldespatoideos, se determinó la presencia de nefelina con rayos X). Como esta lava afecta a rocas carbonatadas del Mioceno (?), se considera que su emplazamiento ocurrió en el Plio-Cuaternario.

YACIMIENTOS MINERALES

En la Tabla 1 se presentan los diferentes yacimientos y prospectos mineros presentes en la Sierra (Figura 3).

Yacimientos Antimoníferos de la Sierra de Catorce

Como se comentó al principio, (Martínez y Maldonado, *op. cit.*) el proyecto Antimonio-Sierra de Catorce dio como resultado la selección de nueve zonas en las cuales es notable la presencia de cuerpos mineralizados, estratiformes y filonianos, con antimonio bajo la forma de óxidos y sulfuros (Zárate, *op. cit.*, pp. 75-130).

Con base en lo observado en el campo, los yacimientos antimoníferos en la Sierra de Catorce han sido divididos por el autor de este trabajo en dos grupos, A y B, según la edad de la roca encajonante (Zárate, *op. cit.*, p. 86):

- El grupo A incluye depósitos cuya roca encajonante es la parte superior de la Formación Zuloaga; en ellos los cuerpos mineralizados adoptan una morfología estratiforme (A-1) o de relleno de fisuras (A-2)
- El grupo B abarca los depósitos cuya roca encajonante es cretácica y su morfología es de relleno de fisuras.

El grupo A incluye los siguientes depósitos visitados:

A-1 (estratiforme):

- San José
- Tierras Negras
- Jesús María

Tabla 1. Bosquejo de los Depósitos Minerales de la Sierra de Catorce

NOMBRE	UBICACION	ROCA ENCAJONANTE	FORMA	MENA	GANGA
DTO. REAL DE CATORCE	SW. POBLADO REAL DE CATORCE	PRINCIPALMENTE CALIZAS (OXFORDIANAS, VALANGINIANAS Y BARREMIANAS).	VETA Y MANTOS	Au, Ag, ARGENTITA; PROUSTITA; CERARGIRITA, BROMARGIRITA	CALCITA, CUARZO, MINERALES ARCILLOSOS
DTO. REAL DE MAROMA	4 Km. SW. SAN BARTOLO	GRANODIORITA PORFIDICA TERCIARIA.	VETA	ARGENTITA, PIRITA	CUARZO
MINA ZARAGOZA	1 Km. N SAN BARTOLO	NIVEL VOLCANO CLASTICO, LECHOS ROJOS - DEL TRIASICO-JURASICO. FORMAC. HUIZACHAL.	VETA Y SINGENETICO	GALENA, CALCOPIRITA Y PIRITA	CUARZO
DTO. SANTA MARIA DE LA PAZ	8 Km. NW MATEHUALA	CALIZA CENOMANIANO-TURONIANA Y GRANODIORITA PORFIDICA TERCIARIA.	VETA	CALCOPIRITA, - BLENDAS; Au, Ag, ARGENTITA, - PROUSTITA, GALENA	CALCITA, FLUORITA
PROSPECTO 4 DE OCTUBRE	3 Km. NW REAL DE CATORCE	DOLERITA POST-TRIASICO Y PRE-JURASICO SUP.	VETA	ACTINOLITA, PIRITA	CUARZO
MINA LA ASUNCION	2.6 Km. al S EL QUIPIN	LIMOLITAS KIMMERIDGIANO-TITHONIANAS.	RELLENO DE FISURAS	CINABRIO	CALCITA
PROSPECTO EL PILAR	CAUCE ARROYO EL JORDAN	ARENISCAS TRIASICO-JURASICO.	DISEMINADO	CALCOPIRITA	CUARZO
DTO. SAN JOSE TIERRAS NEGRAS	11 Km. al E. de - EST. F.C. WADLEY	CALIZA OXFORDIANA SUP.	RELLENO DE FISURAS Y ESTRATIFORME.	ESTIBINITA, CERVANTITA, CINABRIO	CALCITA, CUARZO

Figura 3. Localización de los Distritos Mineros y Minas en la Sierra de Catorce

- El Quipín
- Fundo El Quijote
- El Hormiguero

A-2 (relleno de fisuras):

- El Capulín
- Las Auroras
- La Blanca
- Santa Eulalia

El grupo B, (relleno de fisuras) incluye las localidades siguientes:

- San Pedro
- La Ventura
- Santa Juanita
- La Colorada
- La Flor

A continuación se describirán las localidades, más representativas, de cada uno de los grupos mencionados:

Grupo A-1. El prospecto El Quipín presenta gran similitud estratigráfica y estructural con el distrito San José-Tierras Negras. Se ubica sobre un anticlinal recostado hacia el este, su eje está orientado NNW-SSE y buza hacia el NNW (Figura 4). Las rocas aflorantes están representadas por las siguientes formaciones: Zuloaga, La Caja y Taraises. En la localidad El Quipín existen dos series de mantos. El manto número 1 está constituido parcialmente por una brecha con fragmentos de caliza cementados por calcita y cuarzo (Figura 5). Estos

mantos están limitados por calcarenitas constituidas por oolitas, coprolitos, pellets y gasterópodos.

Grupo A-2. La mina La Blanca se localiza a 3.3 km al suroeste del prospecto El Quipín y ha sido labrada en el contacto de las Formaciones Zuloaga y La Caja. La mena de esta mina está alojada en una brecha rica en cristales de cuarzo bien formados que miden en promedio 1.5 cm, con calcita como cementante.

Grupo B. De las localidades visitadas, sólo se describirán dos: La Colorada y La Flor. La mina La Colorada se localiza a 750 m al sureste del prospecto El Quipín. Ha sido labrada a lo largo de una falla orientada NW 70° SE, con echado de 70° al NE, que afecta a las calizas de la Formación La Peña. La mineralización está limitada a las zonas donde la caliza ha sido silicificada y recrystalizada. La mena está formada por estibiconita constituyendo pseudoformas de estibinita. Se debe resaltar que en las cavidades de disolución de la caliza es posible constatar una neo-removilización de la mena, ya que dichas cavidades están rapizadas por calcita variedad diente de perro, cristalizada en pequeñas columnas que alojan los minerales siguientes: cervantita, estibiconita y un poco de cinabrio (Figura 6).

La localidad La Flor agrupa varias minas que se localizan a 3 km al SSE del prospecto El Quipín y están labradas en rocas de la Formación Cuesta del Cura. La mena es densa, de aspecto terroso y está constituida por una mezcla de estibiconita, calcita y cuarzo. El análisis químico (fluorescencia de Rayos X) efectuado sobre la mena, muestra la siguiente composición:

Tabla 2. Contenido

Minas	o/o SiO ₂	o/o Al ₂ O ₃	o/o Fe ₂ O ₃	o/o CaO	o/o MgO	o/o K ₂ O	o/o Sb
Arroyo La Flor (ganga)	13.40	1.85	0.70	27.3	—	0.42	11.0
Porvenir	11.00	2.25	2.8	12.10	—	0.18	21.6
Arroyo La Flor (mena)	24.70	2.20	5.20	5.0	0.3	0.19	29.5
Dolores	15.00	1.72	5.60	11.30	0.15	0.13	24.0
Dolores	4.80	0.85	1.36	12.50	0.55	0.03	34.8
Potosí	24.20	1.55	4.00	5.20	—	0.1	35.8
Nuevo Porvenir	2.40	0.75	0.13	30.10	—	—	17.8

Figura 5. Nivel Superior de la Caliza Zuloaga que aloja los "mantos" en la localidad El Quipín.

PLANTA

DETALLE 1

DETALLE 2

Figura 6. Geología de la Mina La Colorada..

La mena se presenta alojada en fisuras y rellenando cavidades, constituyendo lo que se conoce como "choyitas". Se debe mencionar que en estas minas, no fue posible observar ningún indicio de estibinita, que pudiera apoyar la idea de que la cervantita y la estibiconita presentes provienen de la oxidación del sulfuro mencionado. La mena siempre está constituida por un material terroso y denso que fácilmente se confunde con material arcilloso.

Génesis de los depósitos de antimonio

Se considera que los lechos rojos del Triásico-Jurásico Inferior, son el punto de partida de las diferentes mineralizaciones de antimonio estudiadas, o sea, la fuente del antimonio (elemento). Lo anterior se basa en el siguiente hecho:

Los análisis de fluorescencia de rayos X muestran que los lechos rojos de la Sierra de Catorce tienen un contenido anormal en antimonio:

- limolitas 700 ppm
 - diorita 1,800 ppm
 - facies volcánico-clástica 750 ppm
 - facies volcánico-clástica cloritizada 1000 ppm
- El contenido normal de estas rocas es el siguiente:
- limolitas 1 ppm (Preuss, 1940 *in* Wedepoh, 1969)
 - dioritas 0.2 ppm (Omishi y Sandell *in* Wedepoh, *op. cit.*)

Para explicar la formación de los depósitos de antimonio estudiados, se proponen las siguientes etapas en la historia de la formación de dichos yacimientos (Figura 7):

Etapas I. Lixiviación del antimonio a partir de los lechos rojos del Triásico-Jurásico inferior durante el depósito de la Formación Zuloaga y fijación en ésta, gracias a las condiciones de depósito (facies lagunar). En efecto, se encontraron contenidos anormales de antimonio en la Formación Zuloaga (incluyendo a los mantos):

Tabla 3. Localidad El Quipín

Muestra	Ubicación	Contenido (ppm)
calcarenita	cima del manto no. 1	55
calcita	manto no. 1	140
calcarenita	base del manto no. 1 y cima del manto no. 2	20
calcita	manto no. 2	no se determinó
calcarenita	base del manto no. 2 y cima del manto no. 3	6
calcita	manto no. 3	no se determinó
calcarenita	base del manto no. 3 y cima del manto no. 4	35
calcita	manto no. 4	80
calcarenita	base manto no. 4 y cima del manto no. 5	60
calcita	manto no. 5	40
calcilutita	base manto no. 5 y cima manto no. 6	35
calcita	manto no. 6	2100
calcarenita	base manto no. 6 y cima del manto (?) no. 7 nivel bandedado	35
calcarenita	manto (?) no. 7 (nivel bandedado)	62
calcarenita	manto (?) no. 7 base (nivel bandedado)	85

Figura 7. Ejemplo de Permanencia y Herencia del Sb en Sierra de Catorce..

El contenido normal en antimonio de la caliza es de 0.3 ppm (Omishi y Sandell, *in* Wedepoh, *op. cit.*)

Etapas II. Formación de los mantos a partir de la recristalización parcial de la Formación Zuloaga, debido a la migración limitada de fluidos acuosos, bajo los sedimentos en parte impermeables de la Formación La Caja. Todo esto durante la fase tectónica del Paleoceno.

Etapas III. Concentración local del antimonio en los anticlinales, producidos durante la fase miocénica (trampa estructural). Esta concentración se originó por los cambios físico-químicos impuestos durante el emplazamiento del pórfido granodiorítico La Maroma.

Etapas IV. Removilización tardía y concentración económicamente explotable, en las fisuras producidas en las calizas de la Formación Zuloaga y del Cretácico: La removilización se debió al traslado de los mantos acuíferos y/o fuentes termales.

Etapas V. Neo-removilización debido a procesos cársticos, por ejemplo: en la mina La Colorada y el Fundo El Quijote.

Aplicación de los conceptos de herencia y permanencia

¿Es factible que los conceptos de *permanencia* y *herencia*, desde el punto de vista de los yacimientos minerales, se apliquen al tema que nos ocupa?

Existe permanencia cuando en una región, el depósito de uno o varios elementos metálicos o no, se repite en varias etapas (Pavillón, 1975). Si se analiza el sector estudiado, desde el punto de vista, se obtiene lo siguiente:

- El sector mineralizado se limita a la Sierra de Catorce
- El depósito que se repite es el de antimonio (elemento)
- Las etapas del depósito son las siguientes:

- a) Depósito del antimonio lixiviado de los lechos rojos en la Caliza Zuloaga
- b) Removilización y depósito en los anticlinales producto de la fase tectónica del Mioceno (?)

c) Removilización y depósito en las fallas cuaternarias

d) Neo-removilización y depósito en las minas (actual).

Por otra parte, el concepto de *herencia* exige que el contenido mineral en estudio, sea heredado de concentraciones ya existentes (Pavillón, *op. cit.*). Según los análisis químicos las mineralizaciones de antimonio estudiadas, han sido heredadas del contenido anormal en antimonio de los lechos rojos del Triásico-Jurásico Inferior.

Por lo anterior se concluye, que los conceptos de *permanencia* y *herencia* se pueden aplicar a la mineralización antimonífera de la Sierra de Catorce (Figura 7).

Crítica al zoneamiento propuesto para los depósitos minerales de la Sierra de Catorce

Se ha indicado (Martínez y Maldonado, *op. cit.*) que los depósitos minerales de la Sierra de Catorce constituyen un buen ejemplo de zoneamiento con lo que el autor de este artículo está en desacuerdo, ya que no se toma en cuenta la relación espacial que guardan la mineralización y el intrusivo.

En la Sierra de Catorce existen las siguientes características:

a) Mineralizaciones de:

Cu	Sta. María de la Paz
Pb-Zn	Sta. María de la Paz, Real de Catorce y Zaragoza
Au, Ag	Real de Catorce, La Maroma
Sb, Hg	Tierras Negras

b) Un centro de actividad ígnea (pórfido granodiorítico).

La relación que se pretende que exista entre la mineralización y el cuerpo ígneo, es válida sólo para el distrito de Santa María de la Paz, donde existen depósitos pirometasomáticos e hidrotermales relacionados íntimamente con el pórfido granodiorítico.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La edad de la dolerita Real de Catorce es post-Triásico y pre-Oxfordiano.

La dacita de la facies volcánico-clástica de los lechos rojos es de edad Triásico-Jurásico Inferior.

La Formación Zuloaga está constituida por tres depósitos diferentes que son el producto de la evolución de la cuenca de sedimentación:

- a) inferior, compuesto de facies diversas: calizas arcillosas, calizas oolíticas, calizas en estratificación delgada y facies arcillosa
- b) medio, formado por calcilitas con intercalaciones de horizontes arcillosos
- c) superior, constituido por calcarenitas, calcilitas horizontes de caliza recristalizados y horizontes arcillosos

El contacto Oxfordiano-Kimmeridgiense está marcado por una corta emersión (*croûte indurée*).

El espesor de la Formación La Caja es menor de 50 m.

Las rocas que constituyen la Sierra de Catorce fueron afectadas por cinco fases de deformación, manifestándose éstas por:

- a) La discordancia del Triásico-Jurásico Inferior sobre el Paleozoico inferior
- b) La discordancia del Jurásico Superior sobre el Triásico-Jurásico Inferior.
- c) Los pliegues orientados E-W, producto de la Orogenia Laramide (Paleoceno)
- d) Los pliegues orientados N-S, originados por la fase tectónica del Mioceno (?)
- e) El sistema de fallas y fracturas de orientación general, NW-SE, producto de la neotectónica del Plio-Cuaternario

El zoneamiento de los depósitos minerales de la

Sierra existente sólo en el distrito de Santa María de la Paz

Se está de acuerdo cuando se dice que, en el caso de la Formación Zuloaga, las guías de exploración las constituyen los anticlinales fallados (Martínez y Maldonado, *op. cit.*)

La mena alojada en fisuras está constituida, en general, por el depósito primario de óxidos de antimonio, fenómeno debido a la removilización de concentraciones antimoníferas anteriores.

Recomendaciones

Se propone efectuar una nueva etapa de exploración en rocas cretácicas, siguiendo ciertas direcciones de fracturación, por ejemplo

NE 80° SE y NE 55° SW (mina La flor) y
NE 60°, 65°, 80°SW (mina La Ventura)

Los métodos de exploración geofísica se deben limitar a la búsqueda de estructuras (fallas y fracturas).

AGRADECIMIENTOS

A partir de 1971, el Consejo de Recursos Minerales (CRM) ha trabajado en la Sierra de Catorce (Lee, 1971). En 1975 (Martínez y Maldonado), se seleccionaron nueve zonas mineralizadas con antimonio dentro de la Sierra. Con esta base, el CRM quiso conocer más a fondo los depósitos de antimonio, lo cual permitió al autor del presente escrito desarrollar ese tema como tesis (Zárate, 1979) para obtener el grado de Docteur-Ingenieur en ciencias de materias minerales y energéticas en la Universidad Pierre et Marie Curie de París, Francia.

Quiero agradecer el apoyo económico, material y moral que me brindaron las autoridades y personal del CRM: el Director General Ing. Guillermo P. Salas, el Gerente de Exploración Geológica Ing. E. Salvador Zamora M., el ex-Subdirector General Ing. J. López A., el Gerente de Estudios Especiales Dr. J. Lee Moreno; el personal del Proyecto Antimonio Sierra de Catorce: Ingenieros R. Maldonado,

S. Silva, G. Torres y A. Valencia; al Dr. L. De Pablo y la Qca. L. Baños por los análisis químicos efectuados. En especial quiero agradecer al Sr. E. Franco del Departamento de Cartografía, CRM, por la ayuda desinteresada que me prestó. Así como la cooperación de los Doctores: B. Buitrón, J. Glacon, A. Zizerman, R. Turc, E. Katosky, J. Thibieroz, J. P. Sagun y G. Rogers, durante la etapa de investigación.

REFERENCIAS CITADAS

- Baker, C., 1922, *General geology of Catorce mining district*: Am. Inst. Min. Mat. Eng. Trans., v. 66, p. 42-48.
- Imlay, R., 1943, *Jurassic Formations of the Gulf region*: Amm. Ass. Petr. Geol. Bull., v. 27, pp. 1407-1533.
- Martínez, R. y Maldonado, R., 1975, *Exploración geológica-minera por antimonio en la Sierra de Catorce, Estado de San Luis Potosí*: 3er. Seminario Interno: Consejo de Recursos Minerales, México.
- Palazuelos, C. 1970, *Exploración geológica del área; Laguna Seca-Real de Catorce, S.L.P., Hoja México, J-8 y J-9*: Informe técnico I.G. ZN-534, PeMex, inédito.
- Pantoja, J., 1963, *Informe geológico del yacimiento de asbeto 4 de Octubre, ubicado en los Catorce, S.L.P.*: UNAM, Inst. de Geología, inédito.
- Pesquera, V., 1954, *Posibilidades del Mineral de Catorce, Estado de San Luis Potosí*: INRM inédito. (actual CRM)
- Pavillon, M.J., 1976, *Les notions de permanence et d'héritage en métallogénie. Essai de clarification, France*: Mém. hors Serie No. 7, Soc. Geol.
- Silva, S. 1977, *Estudio geológico-minero por antimonio, del extremo nor-central de la Sierra de Catorce, Estado de San Luis Potosí*: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, inédito.
- Tardy, M., 1977, *Essai sur la reconstitution de l'évolution paléogéographique et structurale de la partie septentrionale du Mexique au cours du Mésozoïque, France*: Bull. Soc. Géol., (7), t 19, n. 6, ps. 1297-1308.
- Tardy, M. y Ruiz, B., 1974, *Sobre la observación directa del "decollement" de la cobertura mesozoica del sector transversal de Parras, sobre el Flanco oriental del anticlinal de San Julián, Sierra Madre Oriental, Estado de Zacatecas, México*: UNAM, Inst. de Geología, Serie no. 2, divulgación, pp. 31-41.
- Verma, H. y Westermann, G., 1973, *The Tithonian (Jurassic) ammonite fauna and stratigraphy of Sierra Catorce, San Luis Potosí, México*: Bull. of Am. Paleontology, v. 63, no. 277, ps. 109-312.
- Wedepoh, K., 1969, *Handbook of Geochemistry*, New York: Ed. Springer Verlag., Berlin-Heidelberg.

Zárate del Valle, 1979, *Etude des gisements et indices d'antimoine stratiformes et fissuraux du Mésozoïque de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí (Sierra Madre Orientale, Mexique)*: tesis doctoral, Francia, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI.

BIBLIOGRAFIA

- American Geological Institute, 1962, *Dictionary of Geological terms*: E.U.A., Dolphin Book, Doubleday & Co., Inc.
- Aubouin, J., Brousse, R., Lehman, J.P., 1975, *Précis de Géologie, t. I Pétrologie*: Francia Ed. Dunod Université.
- Bariland, P., Cesbron, F., Geffroy, J., 1978, *Les Minéraux: leurs gisements, leur associations*: Francia, Ed. Minéraux et Fossiles, t. III, pp. 334-339.
- Bayly, B., 1976, *Introduction à la Pétrologie*: Francia, Ed. Masson.
- Burckhardt, C., 1930, *Etude synthétique sur le mésozoïque mexicain*: Suiza, Soc. Paléont. Suisse, Mém. v. 49-50 p. 1-280, v. 49 p. 76-81.
- Cajero, M., 1975, *Estudio geológico del Distrito minero de la Paz, S.L.P. México*: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, inédito.
- Cardona, J., 1971, *Controles de la mineralización en el distrito de San José, Wadley, S.L.P. México*: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, inédito.
- Carrillo, B., 1961, *Geología del Anticlinorio Huizachal-Peregrina al NW de Ciudad Victoria, Tamps., México*: Bol. Asoc. Mex. Geol. Petr., v. XIII, no 1 y 2 p. 1-98.
- Cifuentes, D., 1977, *Estudio geofísico de orientación para la localización de antimonio en la Sierra de Catorce Estado de San Luis Potosí, México*: Consejo de Recursos Minerales, inédito.
- Cserna, Zoltan de, 1956, *Tectónica de la Sierra Madre Oriental de México, entre Torreón y Monterrey, México*: XX Congr. Geol. Int.
- Cserna, Zoltan de, 1960, *Orogenesis in time and space in Mexico*: Geol. Runoschau, v. 50, p. 545-596.
- Cserna, Zoltan de, 1976, *Mexico-Geotectonics and mineral deposits*: New Mex. Geol. Soc. Sp. Pub. memb., Kelly volume, p. 18-25.
- Del Castillo, A. y Aguilera, J., 1895, *Fauna fósil de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México*: Instituto Geológico de México, Bol. 1, p. 55.
- De los Santos, B., 1976, *Estudio geológico detallado del distrito minero de Real de Catorce, San Luis Potosí, México*: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, inédito.
- Dercourt, J., et Paquet, J., 1978, *Géologie, objets et méthodes*: Francia, Ed. Dunod Université.
- Dui-Yin, W., and Saukov A., 1961, *Physico-chemical factors in the genesis of antimony deposits*: Geochemistry, v. 6, p. 510-516.
- Eguiluz de, A., 1976, *Estudio Geológico de la Sierra del Oratorio, Edo. de Coahuila, México*: UNAM, inédito Fac. de Ingeniería.

- García, G., H., 1973, *Mineral de la Paz, San Luis Potosí, S.L.P. en algunos yacimientos minerales de la República Mexicana*: A.J.M.M.P.E. Sección México, Comité de Tecnología.
- Gillou, J., 1969, *Contribution à l'étude des minéralisations ordoviciennes en antimoine de la Sierra de Caurel (Provinces de Lugo et d'Orense, Espagne)*: Sci. Terre, 14 (1): 5-26.
- Gillou, J., 1971, *Quelques régularités dans la distribution de minéralisations sulfurées (en particulier en Sb) dans les niveaux carbonatés du Paléozoïque du Géosynclinal asturien, Liège*: Ann. Soc. Géol. Belg. 94, p. 21-37.
- Gillou, J., 1979, *Histoire d'un sol ferrifère et de la succession des apports métallifères qui en proviennent: fer, plomb, antimoine (zinc), vanadium-arsenic*: Francia, 7è Réunion annuelle des Sciences de la Terre, Lyon, Soc. Géol.
- Gonzalez, R., White, D., 1947, *Los yacimientos de antimonio de San José, Sierra de Catorce, Estado de San Luis Potosí, México*: Comité Directivo para la Investigación de los Recursos Minerales de México, (actual: Consejo de Recursos Minerales, México).
- Guiza, R., White, D., 1947, *Los yacimientos de antimonio de la región de los Tejocotes, Estado de Oaxaca, México*: Comité Directivo para la Investigación de los Recursos Minerales de México (actual: Consejo de Recursos Minerales, México), Bol. no. 15.
- Guiza, R., White, D., 1949, *Los yacimientos antimoniales de la región de El Antimonio, Estado de Sonora*: México, Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales de México (actual: Consejo de Recursos Minerales, México), Bol. no. 23.
- Hernández, H., 1974, *Estudio Geológico del extremo noroccidental de la Sierra de Catorce, S.L.P., México*: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, inédito.
- Ibarguengoitia, P.G., 1975, *Estudio geológico-geoquímico de la zona Ojo de Agua, en la porción sur-oriental de la Sierra de Catorce S.L.P.*: México, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Imlay, R., 1936, *Geology of the western part of the Sierra de Parras*: E.U.A., Geol. Soc. Ann. Bol., p. v. 47, p. 1091-1152.
- Imlay, R., 1938, *Studies of the Mexican geosyncline*: Geol. Soc. Ann. Bull., v. 49, p. 1651-1694.
- Imlay, R., 1943, *Evidence for upper jurassic landmass in eastern Mexico: Tulsa, Okla.*, Amer. Ass. Petr. Geol. Bull., 27, p. 524-529.
- Imlay, R., et al., 1948, *Stratigraphic relations of certain jurassic formations in eastern Mexico. Tulsa, Okla.* Amer. Ass. Petr. Geol. Bull., v. 32, p. 1750-1761.
- Imlay, R., 1953, *Las formaciones jurásicas de México*: México, Soc. Geol. Mex. Bol., v. 16, no. 1, p. 65.
- Jung, J., 1969, *Précis de Pétrographie*: Francia, Ed. Masson.
- Kerr, P., 1959, *Optical Mineralogy*: Japan McGraw-Hill Book, Co.
- Lee, M., 1971, *Informe de actividades durante 1971 de la Residencia de San Luis Potosí*: México, 2o. seminario interno del Consejo de Recursos Minerales.
- Martínez, R., 1969, *Estudio geológico del extremo septentrional de la Sierra de Catorce, Edo. de S.L.P., México*: Revista del Instituto de Geología y Met. de la U.A.S.L.P., t. 4, no. 30, p. 49-79.
- Mattauer, M., 1973, *Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre*: Francia, Ed. Hermann.
- Morvan, R.G., (éditeur), *Encyclopédie Internationale des Sciences et des Techniques*: Francia, Groupe des Presses de la Cité.
- Oelsner, O., 1965, *Atlas des principales paragenèses minérales vues au microscope*: Francia, Ed. Gauthier-Villars.
- Onishi, H., 1955, *Notes on the Geochemistry of antimony*: Geoch. et Cosmoch. Acta, v. 8, p. 213-221.
- Palache, R., 1966, *Dana's system of mineralogy*: E.U.A., Ed. John Wiley & Sons, Inc., pp. 269, 547, 595, 544.
- Parent, C., y Rogers, G., 1968, *Le gîte d'antimoine de Buzéins*: Francia, Bol. Bureau de Recherches Géologiques et Minières, se. 2, no. 4, p. 1-42.
- Querol, S., 1973, *The genesis of the antimony deposits at Wadley, San Luis Potosí, México: fields investigations and stibinite solubility studies*: E.U.A., Stanford University, inédito.
- Ramovic, M., 1968, *Principles of metallogeny*: Checoslovaquia, Geogr. Inst. Nat. Sec. Fac. Universidad de Sarajevo.
- Roger, G., 1966, *Quelques observations sur les repports des filons d'antimoine des environs du Collet de Dèze (Lozère) avec leur environnement géologique*: Francia, Bull. Soc. Geol. (7), v. 7, p. 577-584.
- Rogers, L.C., de Cserna Z., Ojeda, R.J., Tavera, A.E., Van Vloten R., 1961, *Reconocimiento geológico y depósitos de fosfatos del Norte de Zacatecas y áreas adyacentes en Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí, México*: C.R.N.N.R. (actual: Consejo de Recursos Minerales) Bol. no. 56.
- Roubault, M., 1963, *Détermination des minéraux des roches au microscope polarisant*: Francia, Ed. Lamarre Poinat.
- Routhier, P., 1963, *Les gisements métallifères (Géologie et principes de recherche)*: Francia, Ed. Masson et Cie. dos vol.
- Routhier, P., 1969, *Essai critique sur les méthodes de la Géologie*: Francia, Géologie Ed. Masson.
- Routhier, P., 1969, *Sur trois principes généraux de la Métallogénie et de la recherche minérale*: Mineralium Deposita, v. 4, no. 2, p. 213-218.
- Rulz, E., 1950, *Sedimentos del jurásico de México*: Assoc. Mex. Geol. Petr. Bol., v. 2, p. 3-54.
- Samama, J., 1970, *Description et interprétation d'une concentration d'antimoine en milieu lagunaire. L'indice de Charmes sur Rhône (Ardèche)*: Francia, Bol. B.R.G.M., v. 2, no. 2, p. 1-11.
- Tardy, M., 1972, *Stratigraphie et tectonique de la Sierra Madre Oriental au niveau du secteur transversal de Parras (Etat de Coahuila, Mexique)*: Francia, Bol. S.G. Fr., 7è série, t. 15, p. 66 a 76.
- Tardy, M., 1973, *Les phases tectoniques du secteur transversal de Parras, Sierra Madre Oriental (Mexique)*: Francia, Bol. Soc. Geol. de France (7), XV, no. 3, p. 363-366.
- Wei Dieu-Yin, Saukov, A.A., 1961, *Physico-Chemical factors in the genesis of antimony deposits*: Geochemistry, no. 6, p. 510-516.

White, D., Cárdenas, S., 1949, *Los yacimientos de antimonio de la región de Soyatal, Estado de Querétaro, México*. Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales (actual: Consejo de Recursos Minerales, México), Bol. no. 21.

Ziserman, A., Serment, 1976, *Classification typologique des grands gîtes d'antimoine*. Francia, Soc. Géol. Fr., Mém. hors. série, p. 285-294.