



**UNIVERSIDAD DE CHILE.
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS.
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA.**

**RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO EN LA REGIÓN DE SAN DIEGO
CURUCUPATZEO Y TEPETATES, MICHOACÁN, MÉXICO**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS
MENCIÓN GEOLOGÍA.**

POR:

MIGUEL ÁNGEL TAPIA CRUZ.

PROFESOR GUÍA

DR. BRIAN TOWNLEY CALLEJAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN

**DR. ÁLVARO PUIG GODOY
DR. CESAR ARRIAGADA ORTEGA
DR. VÍCTOR MAKSAEV JURCHUC**

**SANTIAGO DE CHILE.
JULIO 2012.**

RESUMEN

El presente estudio se realizó para obtener información geológica, de alteraciones hidrotermales, mineralización y estructuras, bajo la hipótesis de que la zona presenta interés económico para exploración minera del tipo epitermal de metales preciosos.

La región de estudio corresponde a San Diego Curucupatzeo y Tepetates, Michoacán, México, ubicada en los límites de las provincias fisiográficas Eje Neovolcánico Transmexicano y Sierra Madre del Sur, donde se encuentran expuestas litologías de la secuencia metamórfica de edad Jurásico, cubierta discordantemente por una secuencia volcano-sedimentaria de edad Cretácico.

Estas litologías se encuentran cubiertas discordantemente por dos unidades volcánicas distintas, la primera del Terciario de la Sierra Madre del Sur, cuyas unidades fueron afectadas por el emplazamiento de dos episodios de intrusión, de composición granito-granodiorita y de pórfido riolítico. La segunda unidad volcánica es del Plio-cuaternario, asociado con el magmatismo del Eje Neovolcánico Transmexicano.

En la región se realizaron una serie de observaciones en el interior y exterior de algunas minas abandonadas, se colectaron muestras para desarrollar diferentes análisis: mineragráficos, petrográficos, difracción de Rayos X, geoquímica de roca, microscopía electrónica de barrido y de inclusiones fluidas. En las muestras analizadas se encontró que la mineralización hipógena consiste en oro, posiblemente contenido en pirita, además de galena argentífera, esfalerita, calcopirita y escasa tetraedrita, eléctrum, argentita, con una ganga conformada por pirita, arsenopirita, calcita, cuarzo y carbonatos; la mineralización supérgena consiste en limonita, malaquita y chalcantita. La mineralización se encuentra dispuesta en vetas de textura bandeada y crustiforme, en algunos cuerpos de brecha, como relleno de cavidades o porosidades. Hacia superficie se suele tener stockwork y un poco de diseminación, donde la permeabilidad lo permite. Los estudios de inclusiones fluidas definen rangos de temperatura y salinidad de los fluidos hidrotermales asociados que son consistentes con ambientes del tipo epitermal (100° a 300°C, salinidades <10% NaCl eq.), pero con rangos de valores más altos, tanto en temperatura como salinidad, sugerentes de ambientes de vetas de metales base mesotermiales. Estas diferencias definen ambientes distintos para sectores específicos. Los resultados aquí expuestos aportan nuevos datos de la mineralogía de los yacimientos de esta región, y permiten interpretar los yacimientos existentes como de tipo epitermal de baja a intermedia sulfuración o bien sistemas de vetas de metales base mesotermiales.

En base a la correlación de afloramientos, longitudes observadas, espesores promedio y profundidades, se estima el sistema Las Truchas pudiera tener un potencial de recursos por Au y Ag relevante, donde si bien las muestras geoquímicas existentes presentan concentraciones para Au y Ag muy altas (El Zapotito), no es posible realizar una estimación específica por no existir una cantidad suficiente de muestras en una malla regular de muestreo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas y cada una de las personas que a lo largo de este proceso me brindaron su apoyo, afecto y comprensión para la realización de este trabajo.

Al Servicio Geológico Mexicano, agradezco por haberme brindado la oportunidad y apoyo económico para el desarrollo de este postgrado y formar un profesional competitivo.

De manera especial a mi asesor de tesis Dr. Brian Townely Callejas, por su generosidad al brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia científica en un marco de confianza, afecto y amistad, fundamentales para la consumación de este trabajo.

A los miembros de la comisión los Drs. Álvaro Puig Godoy, Cesar Arriagada Ortega y Víctor MaksaeV Jurchuc, por sus valiosas sugerencias y acertados aportes en la revisión de este trabajo.

Al Dr. Eduardo González Partida y los Ings. Ángel Amador Mérida Cruz, José de la Luz Bucio Espinoza, por su invaluable respaldo y ayuda.

A los Ings. Enrique Espinosa Arámburu y Juan A. Caballero Martínez, por estar siempre en el momento en que les solicité su colaboración y orientarme para lograr un mejor trabajo.

A mi esposa Aracely, por ser ese refugio en los ratos de tempestad, por ser la mano dulce que me guía en la penumbra, por ser la compañera que me impulsa con amor y paciencia, gracias por todo tú cariño y constante apoyo.

A mis padres y mi familia, ya que con sus palabras, consejos y aprecio han logrado mover en mí un sentimiento de perseverancia.

A mis grandes amigos que firmemente me auxiliaron en este proyecto, Ings. Uver, Richard.

A Dios por darme la oportunidad de lograr una meta más en mi vida.

Tabla Contenidos

	Pag
I. Introducción	1
I. 1. Objetivo del estudio	3
I. 2. Objetivo específico	3
I. 3. Trabajos previos	4
I. 4. Método de trabajo	6
II. Geografía	9
II. 1. Localización y extensión del área	9
II. 2. Acceso y vías de comunicación	10
II. 3. Fisiografía	10
III. Geología minera regional	12
III. 1. Geología estructural regional	18
III. 2. Evolución tectónica y la relación con la metalogenia regional	20
IV. Estratigrafía del área de estudio	24
IV. 1. Complejo Metamórfico Carácuaro (Jm (?) CM)	24
IV. 2. Terreno Guerrero	25
IV. 2. 1. Arco Amengarícuaro, Andesita-Basalto (Ki A-B)	25
IV. 2. 2. Conglomerado Polimíctico- Arenisca (Ki Cgp-Ar) Conglomerado Acuyo	26
IV. 3. Magmatismo Sierra Madre del Sur	26
IV. 3. 1. Brecha volcánica Andesítica-Andesita (To BvA-A) Volcánico Paránguaro	26
IV. 4. Eje Neovolcánico Transmexicano	27
IV. 4. 1. Andesita-Basalto (Tpl A-B)	28
IV. 5. Depósitos terciarios	28
IV. 5. 1. Conglomerado Polimíctico (Qpt Cgp) Conglomerado La Angostura	28
IV. 6. Rocas ígneas intrusivas	29
IV. 6. 1. Granito Granodiorita (To Gr-Gd) El Hondable	29
IV. 6. 2. Pórfido Riolítico (To PR) La Conquista	30
IV. 7. Geología estructural del área de estudio	33

V. Yacimientos minerales	37
V. 1. Antecedentes históricos	37
V. 1. 2. Minas en explotación	38
V. 1. 3. Infraestructura minera	39
V. 2. Microtermometría de inclusiones fluidas	40
V. 3. Geoquímica de exploración	41
V. 4. Áreas mineralizadas	42
V. 5. Zona de cobre	43
V. 5. 1. Resultados de geoquímica de exploración de la zona de cobre	44
V. 5. 2. Áreas mineralizadas en la zona de cobre	45
V. 5. 2. 1. Prospecto El Tigre	46
V. 5. 2. 2. Prospecto El Cerrito	48
V. 5. 2. 3. Manifestación mineral El Tigre II	49
V. 5. 2. 4. Manifestación mineral El Aguacatito	50
V. 5. 2. 5. Potencial observado en la zona de cobre	52
V. 6. Zona Pb-Zn	53
V. 6. 1. Resultados de microtermometría de Inclusiones fluidas de la zona Pb-Zn	56
V. 6. 2. Resultados de geoquímica de exploración de la zona Pb-Zn	61
V. 6. 3. Áreas mineralizadas de Pb-Zn	62
V. 6. 4. Sistema Indianillas	62
V. 6. 4. 1. Mina abandonada El Bote	62
V. 6. 4. 2. Manifestación mineral Carnicerías II	64
V. 6. 4. 3. Manifestación mineral El Reboso	66
V. 6. 4. 4. Manifestación mineral Carnicerías	66
V. 6. 4. 5 Potencial observado en la zona de Pb-Zn del sistema Indianillas	68
V. 6. 5. Sistema San Juan	68
V. 6. 5. 1. Mina abandonada El Carmen	68
V. 6. 5. 2. Manifestación mineral Los Tubos	70
V. 6. 5. 3. Potencial observado en la zona	

de Pb-Zn del sistema San Juan	71
V. 6. 6. Sistema Tepetates	72
V. 6. 6. 1. Manifestación mineral Tepetates	72
V. 6. 6. 2. Potencial observado en la zona de Pb-Zn del sistema Tepetates	76
V. 7. Zona de Au-Ag	77
V. 7. 1. Resultados de microtermometría de Inclusiones fluidas de la zona Au-Ag	79
V. 7. 2. Resultados de geoquímica de exploración de la zona Au-Ag	81
V. 7. 3. Áreas mineralizadas de Au-Ag	82
V. 7. 4. Sistema Las Truchas	83
V. 7. 4. 1. Mina abandonada El Zapotito	83
V. 7. 4. 2. Mina abandonada La Nevada	87
V. 7. 4. 3. Mina abandonada San Rafael	88
V. 7. 4. 4. Prospecto El Agostadero	89
V. 7. 4. 5. Prospecto La Parota	90
V. 7. 4. 6. Prospecto La Luna	91
V. 7. 4. 7. Prospecto Boca de Leones	93
V. 7. 4. 8. Prospecto El Zopilote	94
V. 7. 4. 9. Potencial observado en la zona de Au-Ag del sistema Las Truchas	96
VI. Discusión y modelo geológico para exploraciones	97
VII. Conclusiones	107
VIII. Bibliografía	109
Anexos	123

I. INTRODUCCIÓN

La dependencia de la civilización moderna respecto de los minerales, hace que la búsqueda de nuevos yacimientos sea continuamente más desafiante y difícil. El geólogo del presente y futuro es el que debe responder a este desafío, darse una amplia y completa educación; debe desarrollar una mezcla de ingenuidad, imaginación y optimismo, que le permitirá hacer frente a muchos problemas que siguen sin resolverse. El motivo del presente estudio es obtener información geológica, alteraciones hidrotermales, mineralización, estructuras, bajo la hipótesis de que la zona presenta interés económico para exploración de yacimientos del tipo epitermal de metales preciosos. El área de estudio se ubica en la región de San Diego Curucupatzeco y Tepetates, Michoacán, México.

La hipótesis de trabajo se sostiene en base a las evidencias de mineralización encontradas en terreno, las que corresponden principalmente a vetas de cuarzo de rumbo NE-SW y NW-SE con evidencias de mineralización. El área de estudio se ubica además en la franjas conocidas por mineralización de este tipo, situados alrededor del margen Circum-Pacífico (Fig.1), asociados al termalismo tardío de los sistemas volcánicos del margen desde el Terciario (White *et al.*, 1995). En su totalidad, los depósitos epitermales están asociados directamente a márgenes de subducción activos en diferentes épocas geológicas (Silberman *et al.*, 1976; Sillitoe, 1977).

En el caso de los depósitos epitermales en México (todos Terciarios), la distribución coincide con la distribución espacial determinada por la evolución del volcanismo de la Sierra Madre Occidental y de la Sierra Madre del Sur (Damon *et al.*, 1981; Clark *et al.*, 1982; Camprubí *et al.*, 2003b). La distribución de depósitos epitermales en México se presenta en la figura 1.

Gran parte de los estudios que comprenden esta tesis fueron iniciados con los resultados del programa cartografía geológica-minera y geoquímica de la carta Villa Madero, clave E14-A33, del Servicio Geológico Mexicano (Tapia-Cruz *et al.*, 2008).

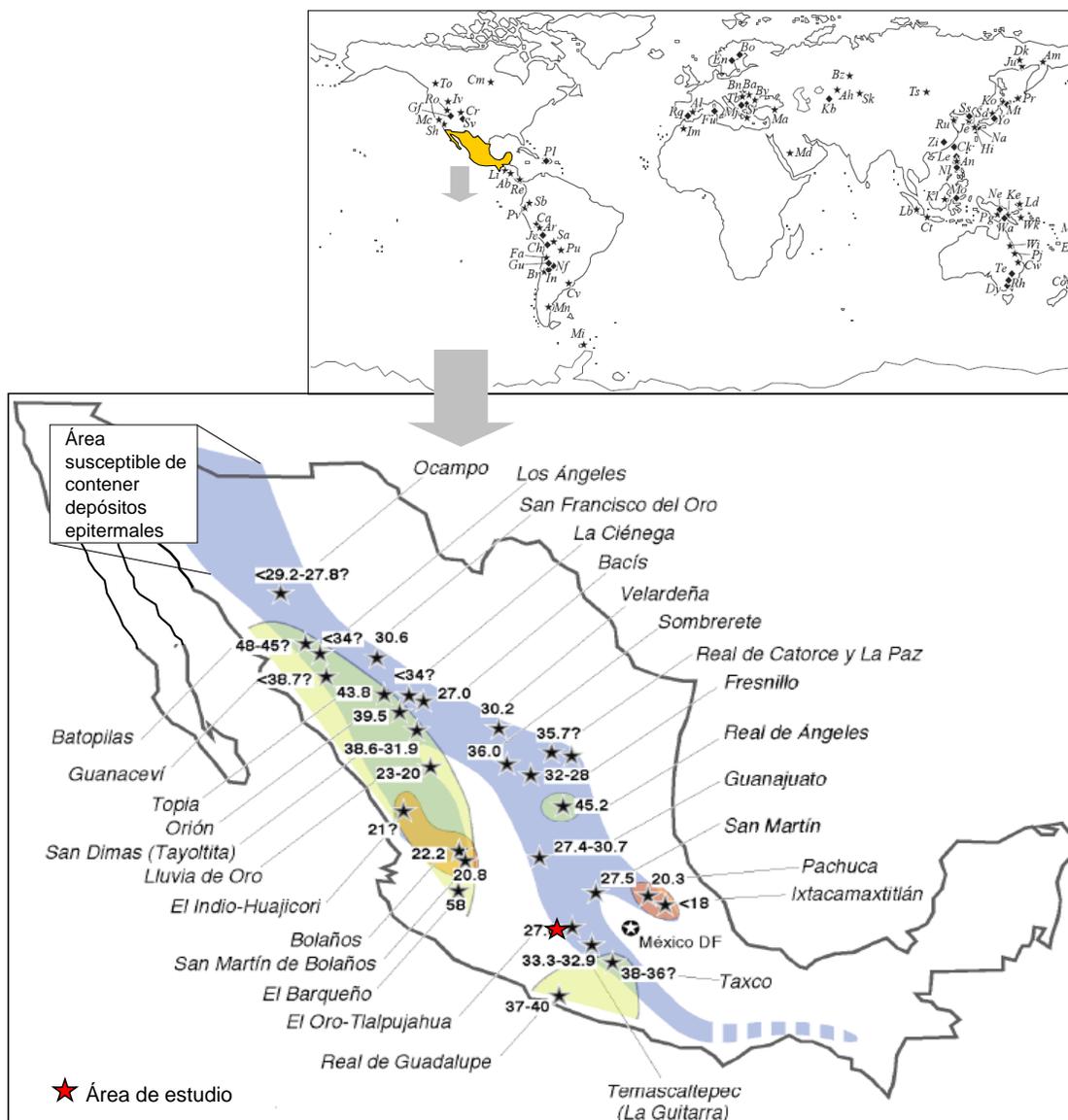


Fig. 1. Distribución geográfica de algunos depósitos ácidos (alta sulfuración) y alcalinos (baja e intermedia sulfuración) en el mundo. En el mapa de México se presenta la distribución de depósitos epitermales, áreas susceptibles de contener depósitos epitermales y la distribución de los yacimientos de este tipo conocidos con sus respectivas edades. Modificado de (Camprubí 1999, Camprubí y Albinson *et al.*, 2006).

Los motivos para llevar a cabo este trabajo obedecen a la necesidad de comprender la geología y establecer el potencial exploratorio de la zona de estudio.

I. 1. OBJETIVO DEL ESTUDIO

Estudiar la geología del área y determinar el potencial exploratorio de la zona de interés, en base a un estudio geológico, geoquímico y de inclusiones fluidas. Estos estudios permitirán definir los tipos de litologías, alteraciones hidrotermales y la distribución de los contenidos de elementos guía en la exploración, para establecer si existen contenidos anómalos de elementos, que pueden representar zonas específicas de potencial exploratorio minero.

I. 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar información geológica de detalle de la zona.
- Estudiar los diferentes tipos de alteración hidrotermal y mineralización existente en el área, con una detallada caracterización mineralógica.
- Estudiar la geoquímica de Cu, Mo, Pb, Zn, As y otros elementos menores en las unidades de alteración que afloran en la zona de estudio.
- Estudiar y determinar la paragénesis de las asociaciones de minerales con alteración hidrotermal y mineralización.
- Determinar, mediante análisis estructural la relación del depósito con los sistemas de fallas regionales descritas en la zona.
- Con base a los datos de microtermometría de inclusiones fluidas, caracterizar los procesos hidrotermales que ocurrieron en esta zona.

I. 3. TRABAJOS PREVIOS

Como parte inicial en el desarrollo de este estudio, se realizó la compilación de la información geológico-minera de la región; esta información consiste en trabajos geológicos realizados con diferentes objetivos y por diversos autores.

En el presente estudio se compilaron un total de 15 trabajos, del área de estudio. Estos se describen en orden cronológico:

- INEGI (1978), realizó la cartografía geológica de la hoja Villa Madero E14-A33, escala 1:50,000, donde se estableció la columna estratigráfica del Jurásico Medio al reciente, y además se identificó una serie de lineamientos importantes del área.
- Campa-Uranga *et al.* (1981), definieron los terrenos tectonoestratigráficos de la Sierra Madre del Sur, región comprendida entre los estados de Guerrero, Michoacán, México y Morelos, que dan como resultado una mejor interpretación de la evolución tectónica de México.
- Bustamante-García *et al.* (1990), efectuaron la visita de reconocimiento al prospecto San Rafael, localidad San Diego Curucupatzeo municipio de Villa Madero; el objetivo fue esclarecer los aspectos geológicos y mineralógicos principales.
- Pasquaré *et al.* (1991), definieron las rocas epiclásticas depositadas sobre las mesas de andesita, definiéndolas como Conglomerados La Angostura, localizados en la mesa de la ranchería Angostura.
- Dante-Moran (1991); Pasquaré y colegas realizaron, un trabajo a nivel regional, cartografiaron alrededor de 40,000 km², abarcando porciones de los estados de Guanajuato, Michoacán, y de la ciudad de México, haciendo énfasis en el reconocimiento de los terrenos volcánicos Terciarios y Cuaternarios, así como en la obtención de sus edades radiométricas.

- Mota-Mota (1992), realizó un estudio geológico minero a detalle de la zona aurífera de Llanitos en el municipio de Villa Madero, Michoacán.
- Mota-Mota *et al.* (1992), efectuaron la visita de reconocimiento al lote ampliación José María Morelos, localidad San Diego Curucupatzeo municipio de Villa Madero, Michoacán.
- Centeno-García *et al.* (1993), concluyeron que el conjunto litológico del Complejo Metamórfico Carácuaro, indica un ambiente de mar profundo, en donde se demuestra que las unidades metamórficas Pre-Cretácicas del subterreno Huetamo-Zihuatanejo tienen una afinidad oceánica.
- Consejo de Recursos Minerales (1995), publicó la monografía del estado de Michoacán, donde se consignan aspectos como la infraestructura de vías de comunicación, aeropuerto y puerto, así como la estratigrafía y el potencial minero existente en la carta.
- Sabanero-Sosa *et al.* (1997), en la carta Acuyo, establecieron la existencia del Arco Amengarícuaro, como una contribución al conocimiento de la geología de la región.
- Montiel-Escobar *et al.* (1998), en el informe final de la carta Morelia E14-1, escala 1:250,000, estableció la columna estratigráfica correspondiente y menciona que los depósitos minerales más importantes de la carta Villa Madero son: El Distrito San Diego Curucupatzeo y Llanitos.
- González-Partida *et al.* (1988), en el estudio evolución tectónica de la porción centro occidental de México y su relación con los yacimientos minerales asociados, proponen dos secuencias: la volcanosedimentaria metamorfozada y volcanosedimentaria no metamórfica asociadas a zonas de post-arco y a la tectónica distensiva, sobre todo la segunda.

- Garduño-Monroy *et al.* (1999), bajo el auspicio de la Universidad Michoacana, elaboraron la carta geológica del estado de Michoacán escala 1:250,000, efectuaron una interpretación geológica con base en la recopilación de información así como un ensayo metalogénico de los depósitos minerales.
- Sociedad Exploradora Minera S.A. de C.V. (1999), bajo contrato con el Consejo de Recursos Minerales (ahora Servicio Geológico Mexicano) realizaron la cartografía geológico-minera y geoquímica de la carta Papatzingan E14-A44, escala 1:50,000.
- Morales (2005), definió el sistema de fallas transcurrentes pos-cretácicas de la región de Tiquicheo, definiendo tres eventos de deformación frágil.

I. 4. MÉTODO DE TRABAJO

En la primera etapa se realizó la compilación de información bibliográfica publicada e inédita, con el propósito de clasificar la información especializada.

Paralelamente se procedió a la interpretación de la imagen de satélite (Landsat TM) y modelo digital del terreno. Posteriormente se efectuó el análisis, síntesis de la información y las interpretaciones, para el establecimiento del marco geológico-minero y de la problemática a resolver.

Los trabajos de terreno incluyeron las siguientes actividades:

- a) Mapeo y descripción de las unidades litológicas en la región de estudio.
- b) Mapeo y levantamiento de datos estructurales (estratificaciones, fracturas, foliaciones, fallas, pliegues, etc.) en la región de estudio.
- c) Determinación de las relaciones estratigráficas y/o tectónicas a partir de trabajos de terreno y compilación de datos.

- d) Para estudios específicos se tomaron durante los trabajos en terreno muestras para los siguientes análisis:

Petrografía

Mineragrafía

Inclusiones fluidas

Difracción de rayos X

Geoquímica de roca

Paralelamente se realizó la ubicación y colecta de datos de los yacimientos minerales, que consiste en lo siguiente:

- a) Describir las características de cada localidad mineralizada, yacimientos metálicos (estatus, obras mineras, sustancia, clave, roca encajonante, forma y dimensiones, mineralogía, etc.).
- b) Medir las estructuras mineralizadas.
- c) Definir el contexto geológico de los yacimientos.
- d) Definir las alteraciones hidrotermales.
- e) Se tomaron fotografías representativas de las principales características de las unidades y estructuras, así como de yacimientos minerales e infraestructura minera.

Todos los datos puntuales como son datos estructurales, localidades de muestreo, ubicación de entidades mineralizadas, puntos de control, etc., se ubican con posicionador (GPS) en DATUM NAD 27-UTM 14 Q.

- Las actividades de gabinete consistieron en: transformar los datos obtenidos del GPS a archivos PCX5, depurarlos y posteriormente convertirlos en EXCEL, como una base de datos.
- Preparación de cortes transparentes y estudios petrográficos.
- Análisis geoquímicos de roca, mediante digestión por 4 ácidos, lectura por ICP-MS.
- Construir la columna estratigráfica en función de las observaciones de campo y datos de laboratorio (edades paleontológicas y/o isotópicas).
- Plasmar los datos obtenidos en los planos correspondientes.
- La última etapa consistió en realizar la síntesis e integración de la información gráfica y el texto explicativo de la misma.

II. GEOGRAFÍA

II. 1. LOCALIZACIÓN Y EXTENSIÓN DEL ÁREA

El área de estudio se ubica en la porción sur de la República Mexicana y al sur del Estado de Michoacán, delimitadas por las coordenadas UTM 2145200 de latitud norte y 268200 longitud oeste. Cubre una superficie de 200 km² (Fig. 2).

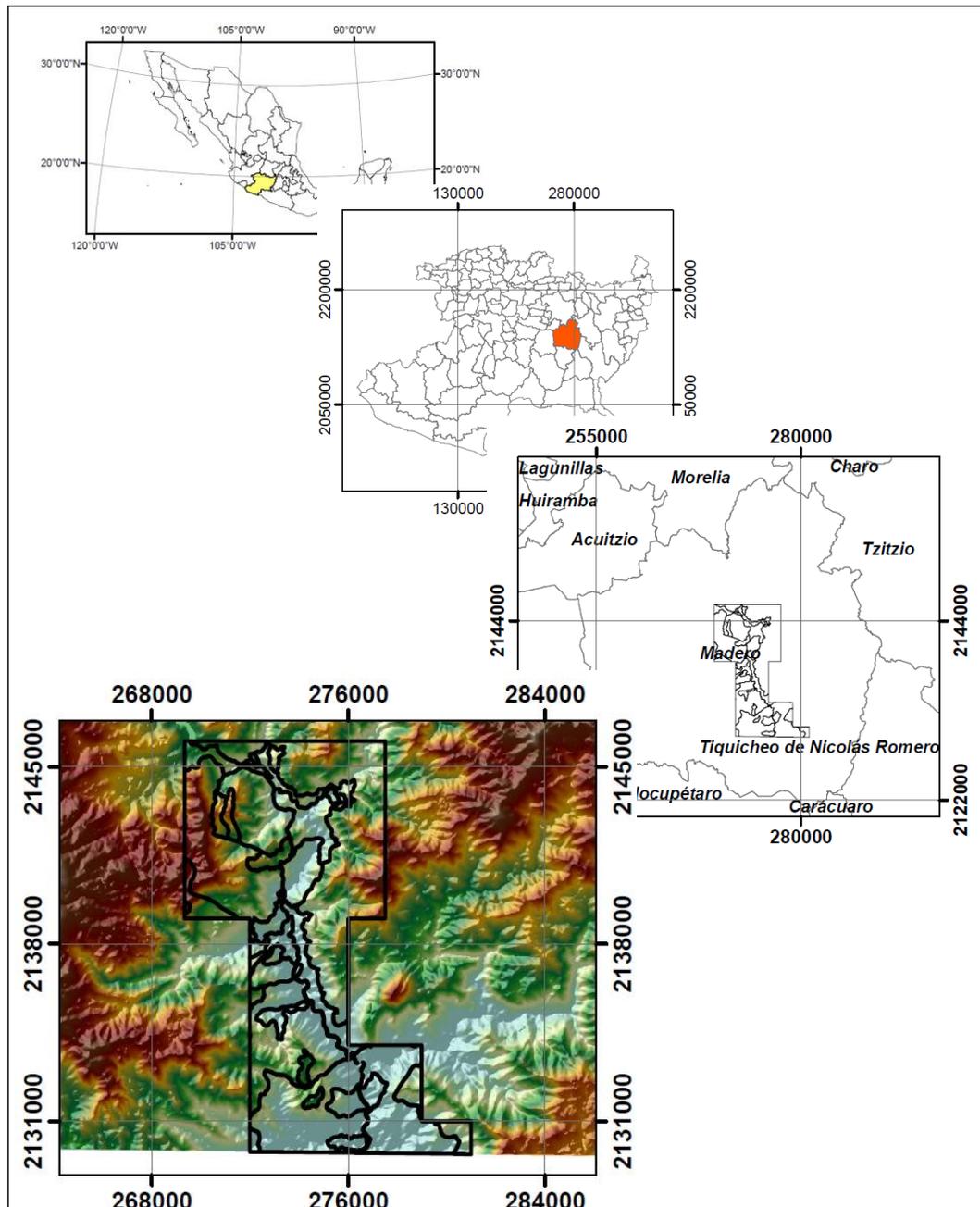


Fig. 2. Localización del área de estudio.

II. 2. ACCESO Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

Los accesos principales son, la autopista Morelia-Lázaro Cárdenas con un recorrido de 22 km, hasta el cruce de Tiripetio, donde se deriva una carretera estatal con rumbo a la población de Villa Madero; de esta localidad, se desprenden caminos de terracería que comunican con las diferentes comunidades enclavadas en la sierra.

II. 3. FISIOGRAFÍA

El área queda comprendida entre las provincias fisiográficas: Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur, dentro de la subprovincia Cuenca Balsas-Mezcala (Raisz, 1964; Fig. 3).

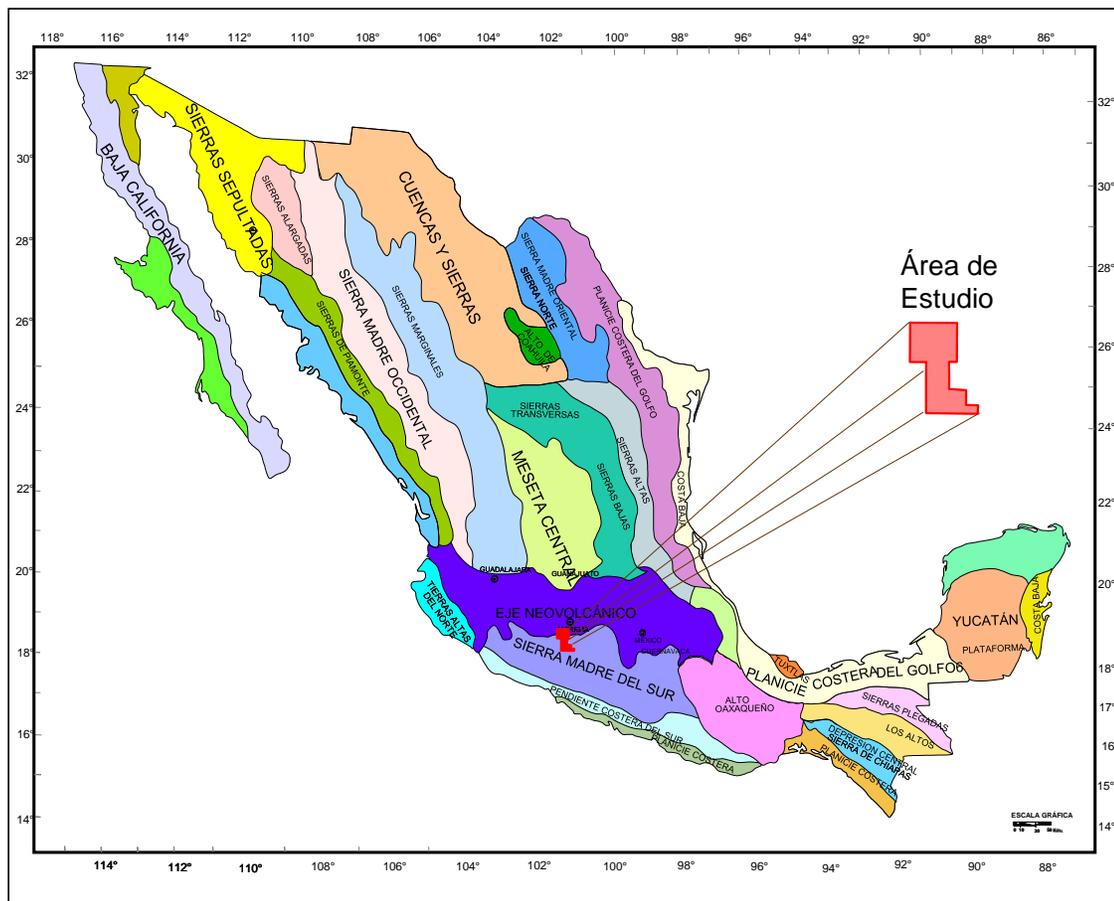


Fig. 3. Provincias fisiográficas de México, Raisz, 1964, en rojo ubica el área de estudio.

En las porciones norte, oriente y poniente, existen las prominencias topográficas más destacadas conformada por los cerros El Pozole y De Tererío, 2,500 msnm, Cerro Blanco, 2,400 msnm, El Pinabete, 2,100 msnm, La Conquista, El Olvido, 2,100 msnm y El Pedregoso, 2,000 msnm. Algunos forman serranías cuyas alturas disminuyen hacia el sur. En la porción poniente se tienen los cerros Verde, 2,100 msnm y El Ahijadero, 1,900 msnm.

La depresión más baja se tiene sobre el río San Diego Curucupatzeo con una elevación de 1,000 msnm y en las localidades de Turio y Llanitos con 1,300 msnm.

El drenaje es del tipo dendrítico y subparalelo marcándose indistintamente tanto en rocas sedimentarias como volcánicas. La mayor parte de los arroyos llevan agua solamente en época de lluvias estando seco la mayor parte del año, excepto algunos arroyos y barrancos que provienen de lo más alto de la sierra manteniéndose perennes todo el año. El drenaje de la zona es profundo a semiprofundo. El río principal es San Diego Curucupatzeo, separándose al norte en los ríos El Aguacate y El Tigre. El río San Diego atraviesa el área de estudio, en su parte central de norte a sur siendo subsidiario del río Balsas. Las corrientes secundarias drenan en dirección hacia el oriente y hacia el oeste, siendo los arroyos principales Etucuario, Monte Grande, Las Sidras, Las Verduras y Las Truchas. Geomorfológicamente el área se encuentra en una etapa de juventud avanzada.

III. GEOLOGÍA-MINERA REGIONAL

La superficie del área de estudio se encuentra incluida en el Terreno Guerrero definido por Campa *et al.* (1981,1983) y Sedlock *et al.* (1993). Dicha provincia está compuesta por bloques corticales distintos, delimitados por fallas principales, y caracterizados por conjuntos litológicos diferentes (Campa y Coney, 1983). Con base en las variaciones litológicas Campa y Coney (1983) y Sedlock *et al.* (1993) subdividieron la SMS en terrenos tectono-estratigráficos (Fig. 4a y 4b), que estarían caracterizados por historias sedimentarias y tectónicas diferentes, para ser amalgamados sucesivamente, durante el Paleozoico y el Mesozoico, mediante acreciones múltiples, a lo largo del margen continental pacifico de Norteamérica.

El Terreno Guerrero compuesto de este a oeste por tres arcos, Teloloapan, Arcelia y Zihuatanejo (Talavera-Mendoza y Guerrero-Suástegui, 2000; Talavera-Mendoza *et al.*, 2007; Centeno-García *et al.*, 2008; Fig. 4f), la cual representa en parte una versión mejorada de las subdivisiones de Campa y Coney (1983) y Talavera-Mendoza y Guerrero-Suástegui (2000).

Las rocas del Arco Teloloapan afloran entre los sistemas de cabalgaduras de Teloloapan y Arcelia, definiendo un cinturón con orientación N-S de ~100 km de ancho y ~300 km de largo (Talavera-Mendoza *et al.*, 1995; Talavera-Mendoza y Guerrero-Suástegui, 2000; Fig. 4e y 4f), consta de una sucesión volcano-sedimentaria marina, desarrollada entre el Titoniano Superior y el Turoniano (Guerrero-Suástegui *et al.*, 1991; Ramírez-Espinoza *et al.*, 1991; Talavera-Mendoza *et al.*, 1995; Talavera-Mendoza y Guerrero-Suástegui, 2000; Guerrero-Suástegui, 2004; Mortensen *et al.*, 2008).

Mortensen *et al.* (2008) han reportado edades U-Pb en zircón entre ~146 y ~138 Ma., para la base de esta secuencia, las que concuerdan con la fauna fósil del Neocomiano documentada por (Guerrero-Suástegui *et al.*, 1991) para las rocas sedimentarias interestratificadas con las lavas.

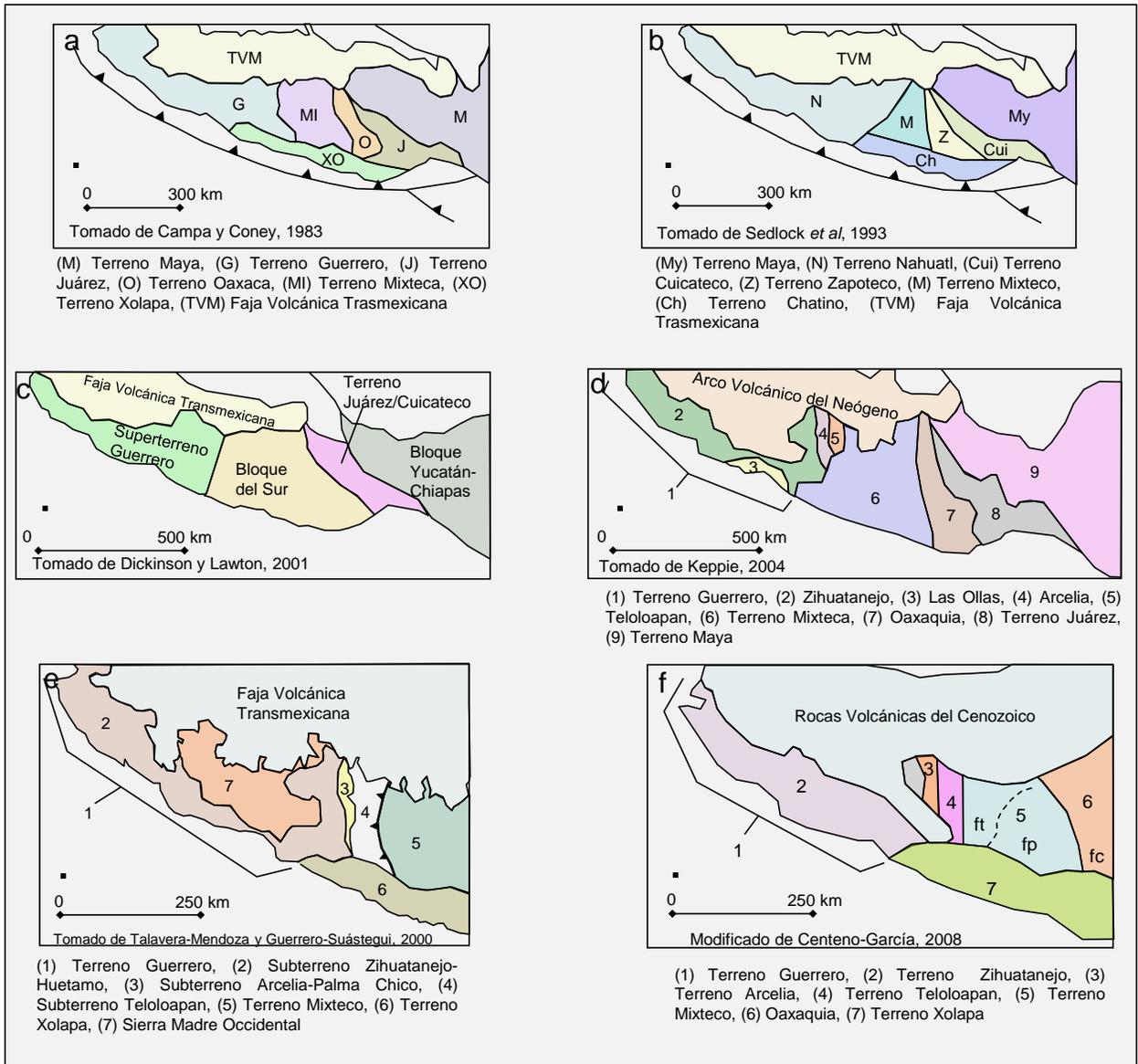
El Terreno Arcelia, aflora al oeste del Terreno Teloloapan, formando un cinturón N-S de ~15 km de ancho por ~250 km de largo, las rocas del Terreno Arcelia subdivididos en dos sucesiones estratigráficas distintas (Talavera-Mendoza *et al.*, 1995; Talavera-Mendoza y Guerrero-Suástegui, 2000; Talavera-Mendoza y Guerrero-Suástegui, 2000; Fig. 4e y 4f).

Una sucesión de trásarco, compuesta por lava almohadillada y masiva, brecha autoclástica, hialoclastita, rocas ultramáficas, diques doleríticos y una cubierta sedimentaria pelágica representada por radiolarita y filita negra (Ortíz-Hernández *et al.*, 1991; Talavera-Mendoza y Guerrero-Suástegui 2000; Elías-Herrera *et al.*, 2000). Los elementos mayores y trazas de las lavas de esta sucesión muestran patrones típicos tanto de rocas del piso oceánico (MORB), como de basaltos de isla oceánica (OIB) (Talavera- Mendoza y Guerrero-Suástegui, 2000; Elías-Herrera *et al.*, 2000).

El Arco Zihuatanejo ocupa la parte más occidental del Terreno Guerrero (Fig. 4f), arco volcánico de afinidad shoshonítica (Talavera, 1993). Por otra parte, Centeno *et al.* (1993), plantean la existencia de dos elementos tectonoestratigráficos que son: un basamento metamórfico de afinidad oceánica, de edad Jurásico Inferior-Medio, que correspondería al Complejo Arteaga, cubierto por el Arco Zihuatanejo de edad Albiano.

El basamento del Terreno Guerrero en el área, es el Complejo Metamórfico Carácuaro, afectado por intrusivos (El Hondable) de composición granito-granodiorita de edad Cretácico Superior (Montiel-Escobar *et al.*, 1998) y un pórfido riolítico (La Conquista). Este intrusivo posiblemente está ligado con el origen de las soluciones hidrotermales, que dieron lugar a los yacimientos minerales que conforman el distrito minero San Diego Curucupatzeo.

El pórfido riolítico La Conquista, un cuerpo subvolcánico, no ha sido documentado regionalmente, por lo que no tiene una correlación con cuerpos similares; sin embargo, se correlaciona con el volcanismo de la fase ácida que conforma la Sierra Madre del Sur.



Figs. 4. Mapas esquemáticos de distribución de los terrenos en el sur de México propuestos por diferentes autores desde 1983 hasta hoy. En la fig. 4f, ft: falla de Teloloapan, fp: falla de Papalutla y fc: falla de Chacalapa. Tomada de Martini (2008).

El Eje Neovolcánico Trasmexicano representa un ambiente que está relacionado con la evolución de un arco volcánico continental y su origen posiblemente con la tectónica convergente activa, entre las Placas de Cocos y de Norteamérica. Sin embargo, puede estar relacionado a una tectónica transtensiva compleja, la cual, a profundidad provocó condiciones propicias para la generación de puntos calientes que se disiparon al ascender y formar el Eje Neovolcánico.

En el Plioceno Tardío en la zona de estudio, se inicia la construcción del Eje Neovolcánico Transmexicano, con depósitos epiclásticos denominados Conglomerado La Angostura, los cuales son producto de la erosión de aparatos volcánicos (Pasquaré *et al.*, 1991).

En el Terciario el origen del magmatismo de SMS, esta relacionado con la evolución de un arco volcánico de tipo continental, producto de la tectónica convergente o subducción de la Placa Farallón bajo la Placa Norteamericana; la cual, dio lugar a intrusiones, cuerpos subvolcánicos y consecuentemente a un extenso volcanismo calcoalcalino al inicio de tipo andesítico y félsico al final.

La metalogénia que involucra al Terreno Guerrero, específicamente en el estado de Michoacán es muy extensa y se caracteriza por la presencia y explotación de minerales de Fe, Cu, Au, Ag, Pb y Zn, asociados a los yacimientos de tipo volcanogénicos (VMS y SEDEX), Skarn de Fe, (IOCG), pórfidos de Cu y epitermales, que se generaron desde el Cretácico hasta el Terciario Medio (Miranda-Gasca, 2000).

Estos yacimientos se les puede observar claramente ciertos lineamientos o franjas, que coinciden con la tectónica tangencial del margen continental activo del Pacífico.

El marco geológico regional descrito ayuda para plantear al menos tres episodios metalogenéticos relacionados directamente con los ambientes geológicos, los cuales se describen de manera breve, y a partir de este contexto regional relacionarlo con la mineralización que aflora en el área de estudio, teniendo en cuenta que los episodios que se describen a continuación se localizan fuera de la zona de este estudio.

La primera época metalogenética está relacionada con los depósitos volcanogénicos tipo Kuroko, SEDEX y VMS que inician su actividad alrededor de Neocomiano-Aptiano relacionados con un ambiente de formación que sugiere la existencia de un arco magmático submarino (Arco de Islas) como consecuencia de una tectónica típica de subducción intraoceánica, (Talavera-Mendoza, 1993). Para la región sur de México estos Arcos de Islas se le conocen como Subterreno Teloloapan y Zihuatanejo (Talavera-Mendoza y Guerrero-Suástegui, 2000; Centeno-García *et al.*, 2008).

La distribución de este tipo de yacimientos en el estado de Michoacán no se pueden considerar como una provincia o franja metalogenética debido a que se

presenta como una zona aislada y únicamente se localizan en el ambiente volcano-sedimentario del Terreno Guerrero (Miranda-Gasca, 1995).

De acuerdo con el trabajo realizado por Miranda-Gasca (1995; 2000) los depósitos volcanogénicos (VMS y SEDEX) que afloran en el Subterreno Zihuatanejo (Formación Tepalcatepec y Arteaga) están representados por los yacimientos denominados grupo Cuale, El Bramador, América, Rubí, Amaltea, La Minita y Arroyo Seco. Se caracterizan por ser depósitos estratiformes de sulfuros masivos y son cuerpos más pequeños que los que afloran en el Subterreno Teloloapan (Campo Morado, Rey de Plata y Tizapa) con excepción del depósito de la Minita; la mineralización más representativa de estos depósitos consiste en pirita, esfalerita, calcopirita y sulfosales (Miranda-Gasca, 2000).

El segundo episodio metalogenético ocurre en el Cretácico Superior-Paleoceno y está asociado con la Orogenia Laramide. Este evento involucra a los depósitos de Fe-Cu, localizados al sur-centro del estado de Michoacán y presenta una posición paralela al margen del Pacífico y se prolonga al norte con los estados de Jalisco y Colima y para el sur con los estados de Guerrero y Oaxaca (Clark, 1982). Las minas más importantes relacionadas con los depósitos de Skarn de Fe y IOCG son: Las Truchas, Aquila y Peña Colorada (Corona-Esquivel *et al.*, 1995). Los depósitos de cobre están representados por los proyectos El Tepal, Rancho Viejo, Inguarán, La Verde y El Bastan.

Estos yacimientos se relacionan con el emplazamiento de rocas intrusivas, granitos, granodioríticas y cuarzomonzonitas de edad Cretácico Tardío, que afectaron a los paquetes volcano-sedimentarios del Subterreno Zihuatanejo-Huetamo (Formación Arteaga, Alberca, Tepalcatepec, Carácuaro y Arco Amengarícuaro), formando ambientes favorables para los yacimientos de tipo metasomáticos de contacto (Skarn de Fe), (IOCG) y pórfidos de cobre. (Damon *et al.*, 1983; González-Partida, 1985; Pantoja-Alor y Estrada-Barraza, 1986).

La forma en la que se presentan los yacimientos de Fe y Cu son lenticular, vetiforme, manto, chimeneas y diseminado con baja ley. Los minerales más comunes que presenta son hematita, magnetita, covelita, bornita, calcopirita, carbonatos de cobre. Como ganga se presenta cuarzo, calcita, wolastonita, granate, tremolita-actinolita, clorita, anfíbol y baritina (Corona-Esquivel *et al.*, 1995; Miranda-Gasca, 2000).

El tercer episodio metalogenético ocurre en el Oligoceno-Mioceno, asociado con actividad volcánica y subvolcánica, en su mayoría silícicas, con evidencias de extensa actividad hidrotermal. Los procesos hidrotermales se relacionan con la efusión de la Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre del Sur. Los eventos de la Orogenia Laramide provocaron las deformaciones tanto dúctiles (pliegues y cabalgaduras) en su primera fase, y en su etapa final las rocas tuvieron un momento de relajamiento, que se manifiestan en rupturas representadas por fallas y fracturas. Posteriormente, el emplazamiento subvolcánico y procesos hidrotermales asociados, crea las condiciones propicias para la generación de yacimientos epitermales y mesotermiales, rellenando las cavidades de fallas y fracturas, que afectaron a las rocas volcano-sedimentarias del Terreno Guerrero, Sierra Madre Occidental y del Sur.

Los depósitos formados durante esta época metalogenética han generado la mayoría de los metales base y preciosos en el Terreno Guerrero, como ejemplo son los depósitos de Fresnillo, Guanajuato y Zacatecas, estos alineados al noreste con el margen del Terreno Guerrero (Miranda–Gasca, 2000). Los depósitos epitermales de Au y Ag, y mesotermiales con minerales base Cu, Pb y Zn, tienen edad de formación determinados entre los 29 a 31 ma (Rubalcaba-Ruiz and Thompson 1988; Stein *et al.*, 1993).

Para el sur los representan los distritos de Taxco, Zacualpan, Temascaltepec, Tlalpujahuá del Oro, Angango, Tzitzio y San Diego Curucupatzeo.

III. 1. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

Un gran número de depósitos epitermales están asociados a estructuras de origen volcánico, (Steven *et al.*, 1977). Asimismo, existe un importante control de este tipo de depósitos por parte de fallas de escala regional en zonas de intenso fracturamiento tensional (Mitchell y Balce, 1990; Nesbitt, 1990; Staude, 1993; Ponce y Glen, 2002; Nieto-Samaniego *et al.*, 2005). Dichas fallas determinan la localización de los depósitos y actúan como guía para el emplazamiento de la fuente de calor magmática necesaria para la subsiguiente actividad hidrotermal (Hedenquist, 1986; Fournier, 1987). Pero aunque las fallas de orden mayor ejercen un control directo sobre el emplazamiento de la mineralización, se ha observado que ésta suele disponerse de forma preferencial en fallas subsidiarias (White y Hedenquist, 1990).

Fournier (1999) encontró que existe una transición frágil-plástica cerca de la isoterma de 400° C. Dicha transición circunda un cuerpo magmático y forma dos sellos: el primero justo en la parte superior donde ocurre el movimiento de fluidos magmáticos y el segundo en un límite en la zona de transición de presión hidrostática (arriba) a presión litostática (abajo). Cuando el movimiento del magma causa la ruptura del primer sello sucede: (a) una descompresión principal en la región justo debajo del sello (la presión cae de litostática a hidrostática), (b) los fluidos magmáticos que se acumularon justo de bajo del sello inmediatamente cambian de fase (a vapor), (c) ocurre la fractura frágil (alta frecuencia) y finalmente, (d) ocurre nuevamente un sellamiento en la zona.

Dicho sellamiento podría ser en cuestión de minutos. El vapor que se formó comienza a fluir dentro de la roca fracturada suprayacente y cuando la presión del vapor que se ha acumulado es lo suficiente grande se produce la ruptura del sello superior (hidrotermal) lo que estaría propiciando las frecuencias más bajas.

De acuerdo con la integración de la información se tiene que a la zona de estudio, la caracterizan dos sistemas de fallas que son E-W y NE-SW, las cuales se relacionan con el sistema de la Falla Acambay-Morelia (Suter *et al.*, 1991; Garduño y Escamilla, 1996; Fig. 5).

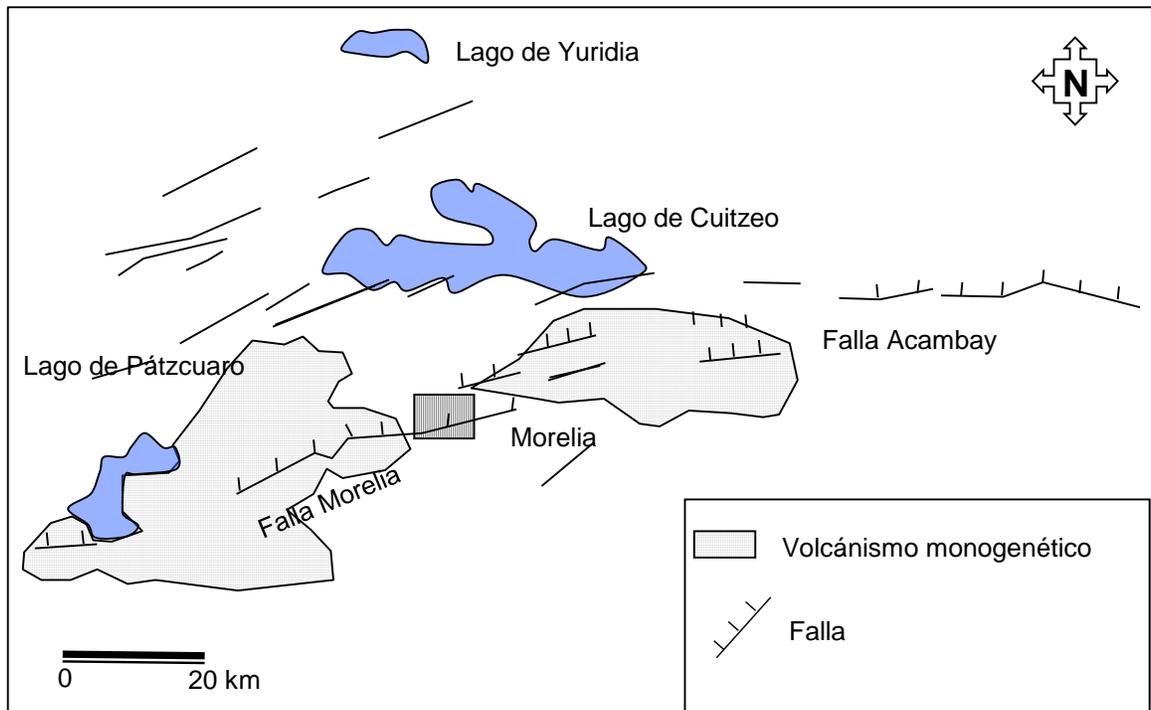


Fig. 5. Localización de la Falla Acambay-Morelia, de orientación NE-SW, Suter *et al.* (1991), Garduño y Escamilla (1996).

Por otra parte Morales (2005), definió en el área Tiquicheo-Eréndira, tres eventos de deformación frágil; el primer evento es de extensión y dio lugar al sistema de fallas normales orientadas NW-SE; el segundo evento es de convergencia transcurrente de rumbo N-S y estructuras formadas en zona de cizalla lateral derecha. Finalmente se tiene un tercer evento asociado con fallas laterales derechas que deforman con dirección NE-SW, las cuales son las más jóvenes.

III. 2. EVOLUCIÓN TECTÓNICA Y LA RELACIÓN CON LA METALOGENIA REGIONAL

El origen y la evolución de los diversos tipos de yacimientos minerales (VMS, skarn de Fe, (IOCG), pórfidos de Cu y epitermales), están ligados directamente con la evolución de los diferentes arcos magmáticos y su evolución en espacio y tiempo (Clark, 1978).

Las provincias metalogenéticas y los eventos geológicos asociados presentan una dirección bien definida NNW, asociada a la migración de los arcos magmáticos por los efectos de cambios en la interacción entre las placas tectónicas (Damon *et al.*, 1981). Se estima que el primer arco se estableció paralelo a la costa del Pacífico. Para el Jurásico-Cretácico Inferior, este arco tuvo un avance en dirección oriente intensificándose su magmatismo. Para el Cretácico Superior los materiales anteriores constituyen un sustrato continental sobre el que continúa la evolución del arco, pero ahora con un magmatismo continental calcoalcalino (Damon *et al.*, 1981). El Terciario esta caracterizado por un avance del magmatismo hacia el este y su rápido regreso al occidente como consecuencia del cambio de ángulo de subducción (Coney y Reynolds, 1977; Fig. 6).

En el pre-Jurásico se estableció un dominio de un volcanismo submarino durante el Triásico Tardío, con depósitos de tipo flysch, sedimentos pelíticos, conglomerados y caliza, alternantes con tobas y lavas almohadilladas submarinas en una secuencia de tipo Arco Insular (Formación Varales, Complejo Carácuaro, Titzio y Arco Amengarícuaro). Este tipo de ambiente geológico iniciado desde el Triásico Superior creó las condiciones propicias para la formación de yacimientos volcanogénicos como por ejemplo: La Minita, Arroyo Seco, Cuale, El Rubí (Michoacán y Jalisco), y otros como Campo Morado, Rey de Plata, Tizapa (Guerrero y Edo. de México.).

La actividad volcánica fue acrecentada desde el Jurásico Superior, teniendo su máximo desarrollo en el Cretácico Inferior. Esta secuencia está formada por lutitas negras carbonosas, lechos rojos, areniscas, calizas arcillosas, tobas y lavas andesíticas (Arco Amengarícuaro), algunos de los cuales se encuentran cortados por intrusivos graníticos y granodioríticos.

En el Cretácico Superior- Terciario Inferior las rocas del Terreno Guerrero que afloran al sur de México fueron afectados por la Orogenia Laramide.

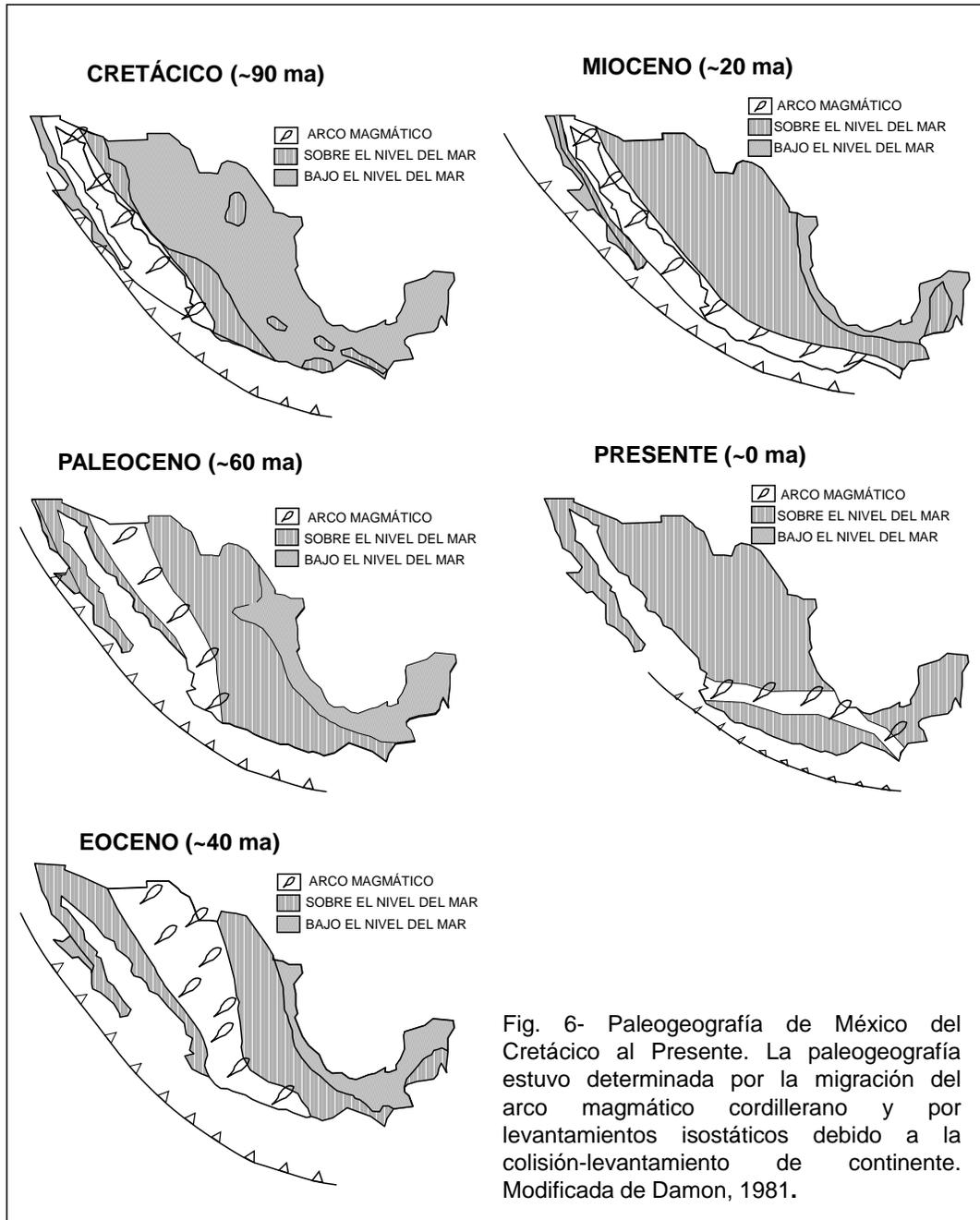


Fig. 6- Paleogeografía de México del Cretácico al Presente. La paleogeografía estuvo determinada por la migración del arco magmático cordillerano y por levantamientos isostáticos debido a la colisión-levantamiento de continente. Modificada de Damon, 1981.

Diversos autores reconocen que, tanto las rocas metamórficas del basamento del Terreno Guerrero, como las sucesiones volcano-sedimentarias, se encuentran desde moderadamente a intensamente deformadas, formando un cinturón de pliegues y cabalgaduras de bajo ángulo con una orientación dominante ~N-S (Elías-Herrera *et al.*, 2000; Salinas-Prieto *et al.*, 2000; Talavera-Mendoza y Guerrero-Suástegui, 2000; Cabral-Cano *et al.*, 2000a, Cerca *et al.*, 2007).

De acuerdo con los datos reportados en la literatura, en el suroeste de México, el patrón de deformación Laramídico representa el resultado de dos eventos de plegamiento mayores, caracterizados por vergencias opuestas (Salinas-Prieto *et al.*, 2000; Talavera-Mendoza y Guerrero-Suástegui, 2000; Cabral-Cano *et al.*, 2000a; Elías-Herrera, 2003; Cerca *et al.*, 2007). Para la región cercana al área de estudio esta deformación está representada por la antiforma Carácuaro y anticlinal Tzitzio.

Esta Orogenia también vino acompañada de levantamiento, erosión, volcanismo andesítico (Volcánico Paránguaro) y depositación de sedimentos marinos y continentales (Formaciones Cutzamala y Balsas). Acompañado con esta serie de eventos se presenta un magmatismo plutónico de origen granítico y diorítico (Fig. 7).

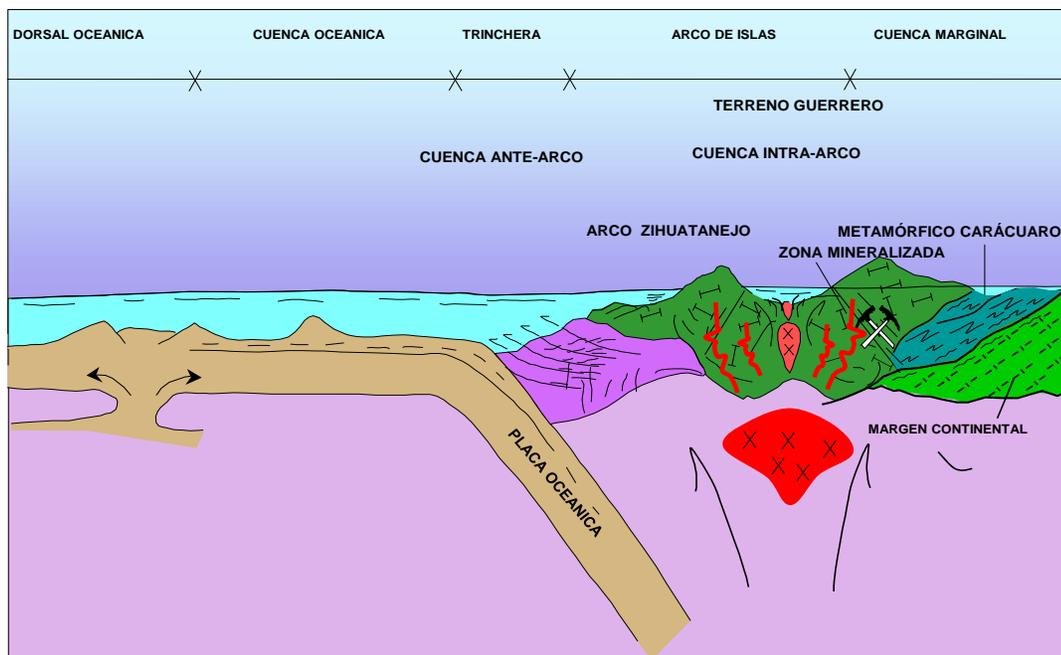


Fig. 7. Modelo tectónico, mostrando el área donde se localizan las zonas mineralizadas, respecto al contexto geológico.

El magmatismo y tectónismo, asociados durante la Orogenia Laramide, dan como resultado la formación de yacimientos del tipo Skarn de Fe, y de segregación magmática [Las Truchas, La Guayabera, Los Pozos, Ordeña Vieja, Aquila (Michoacán), Peña Colorada y Los Encinos (Colima), El Violín y Mezcala (Guerrero), El Encino (Jalisco)]. Otros yacimientos importantes en México relacionados con este evento son los pórfidos de cobre, la mayor parte tienen edades de 74 a 55 Ma (Tittley, 1990). El principal evento metalogenético para estos depósitos ocurrió durante el Laramídico (90-40 Ma, Damon *et al.*, 1983). Para Michoacán estos yacimientos están representados por los depósitos, La Verde, Inguaran, El Tepal y El Bastan.

IV. ESTATRIGRAFÍA DEL AREA DE ESTUDIO

En la región de estudio las rocas volcánicas ácidas-intermedias de la Sierra Madre del Sur (SMS) se encuentran principalmente cubiertas por las rocas del Eje Neovolcánico Transmexicano. La estratigrafía de las rocas presentes en el área se describen a continuación (Figs. 8 y 9). Los resultados de estudios petrográficos de estas rocas son resumidos en la Tabla 1, en el (Anexo A).

IV. 1. Complejo Metamórfico Carácuaro (Jm (?) CM)

Consiste en filitas, pizarras negras, esquisto, metaandesita y metaarenisca principalmente que afloran en la parte central y norte del área de estudio (Fig. 9). Con base a la presencia de niveles volcánicos, en este trabajo se le considera como una secuencia volcano-sedimentaria con metamorfismo de bajo grado. Localmente presenta sulfuros diseminados y en vetillas.

Estas rocas están intruidas por el granito-granodiorita El Hondable y además por una serie de diques de composición andesítica y riolítica principalmente

El conjunto litológico que constituye el Complejo Metamórfico Carácuaro, indica un ambiente de mar profundo, interpretación que es coherente con los trabajos realizados por (Centeno, 1993), en donde demuestra que las unidades metamórficas pre-Cretácicas del Arco Huetamo-Zihuatanejo tienen una afinidad oceánica.

El espesor de la secuencia es difícil de establecer, ya que la base no aflora, además de estar intensamente deformada. Sin embargo, en la carta Acuyo a está misma unidad se le ha considerado más de 800 m de potencia (Sabanero-Sosa *et al.*, 1997).

Por su posición estratigráfica (Fig. 8), el Complejo Metamórfico Carácuaro representa la unidad más antigua reconocida en el área, sobre la cual se apoya el resto de la columna litológica.

Los ambientes geológicos de las rocas descritas son compatibles con aquellos propios para yacimientos del tipo sulfuros masivos volcanogénicos. En la zona de estudio no se localizaron prospectos mineros con características de este tipo, sin embargo se localizaron zonas con alteraciones hidrotermales, como también algunas vetas asociadas a los controles estructurales de fallas y fracturas que afectan a esta unidad, evidencias de procesos hidrotermales.

En el área de Tzitzio, la unidad ha sido datada por el método K/Ar, obteniendo una edad de 157 Ma (Fernández-Becerra, 1986). Tomando en cuenta que el método data el momento de estabilidad cortical y no del protolito, se asume una edad del Jurásico Medio para el Complejo Metamórfico Carácuaro (Sabanero-Sosa *et al.*, 1997).

IV. 2. Terreno Guerrero

IV. 2. 1. Arco Amengarícuaro, Andesita-Basalto (Ki A-B)

Esta unidad representa el macizo de un arco de islas, que durante su evolución dio lugar a las cuencas de trasarco en Huetamo.

Dentro del área de estudio la litología consta de andesita, pillow lavas de composición basáltica y textura porfídica, andesitas de textura fanerítica y porfídica con interdigitación de areniscas de composición volcánica y brechas de composición andesítica. Estas rocas afloran en la zona sur del área de estudio (Fig. 9).

En el área se le considera un espesor de 300 m aproximadamente donde se presentan las siguientes relaciones: sobreyace en discordancia al Complejo Metamórfico Carácuaro y es afectada por un cuerpo intrusivo de composición granito-granodiorita El Hondable (Fig. 8).

El Arco Amengarícuaro estratigráficamente se correlaciona con el Arco Zihuatanejo o correlaciona con los niveles volcánicos de la unidad Arcelia y con algunos niveles de la Formación San Lucas. Por su posición estratigráfica se le considera una edad del Valanginiano al Barremiano. También se puede correlacionar con la Formación Angao de edad Valanginiano-Aptiano, documentada en la región al norte de San Lucas (Vidal-Serratos, 1986, 1992).

IV. 2. 2. Conglomerado Polimíctico-Arenisca (Ki Cgp-Ar) Conglomerado Acuyo

Se denomina Conglomerado Acuyo a un potente paquete de conglomerado polimíctico, con algunos horizontes de limolita calcárea, arenisca, caliza de intermareal, pedernal blanco, depositadas en un ambiente de arco magmático volcánico. En el área de estudio, está constituida por conglomerado polimíctico, un paquete de arenisca y limolita, y aflora en la zona norte (Fig. 9). Se le estimó un espesor de aproximadamente 350 m.

Las características sedimentológicas observadas, indican que estas rocas se depositaron en un ambiente continental con facies de plataforma interna, en el margen de un arco volcánico. La alternancia de limolita con arenisca fina se interpreta como ambientes de planicies de inundación, la arenisca masiva la parte media de abanicos aluviales y los paquetes de conglomerado representarían los rellenos de canal.

Las relaciones estratigráficas observadas fueron las siguientes: El límite inferior de esta unidad es discordante con el Complejo Metamórfico Carácuaro; es afectada por el intrusivo granito-granodiorita el Hondable e intruida por una roca hipabisal de composición riolítica La Conquista (Fig. 8).

Con base a su posición estratigráfica y relación observada, se le asigna tentativamente una edad Cretácico Inferior. Se correlaciona con las capas rojas que afloran en la costa de Michoacán en Caleta de Campos, las que tienen huellas de dinosaurios, así mismo, con las que afloran en la Unión Guerrero. También se correlacionan con las que constituyen el anticlinal de Tzitzio.

IV. 3. Magmatismo Sierra Madre del Sur

IV. 3. 1. Brecha volcánica Andesítica-Andesita (To BvA-A) Volcánico Paránguaro

El origen de este magmatismo esta relacionado con la evolución de un arco volcánico de tipo continental, producto de la tectónica convergente o subducción de la Placa Farallón bajo la Placa Norteamericana. Este proceso dio lugar a magmatismo, con desarrollo de intrusiones, cuerpos subvolcánicos y consecuentemente a un extenso volcanismo calcoalcalino al inicio de la evolución de esta de tipo andesítico y posteriormente de composición félsica.

Se define como Volcánico Paránguaro, a una sucesión potente de brechas y derrames de composición andesítica-dacítica que corresponde a la secuencia volcánica andesítica inferior de la Sierra Madre del Sur de edad Eoceno-Oligoceno. En el área de estudio estas rocas afloran en la zona norte y en menor extensión en la zona sur (Fig. 9).

La unidad Volcánica Paránguaro se puede correlacionar con el volcanismo continental depositado en el noroeste y centro de México, representado por una gran cantidad de lava y flujos piroclásticos de tipo bimodal, llamado Complejo Volcánico Superior (Macdowell *et al.*, 1977). Por su posición fisiográfica se correlaciona con el volcanismo Terciario de la Sierra Madre del Sur; específicamente la unidad félsica se correlaciona con la riolita-brecha riolítica que aflora en las series Characharando, Tilzapotla y Xochiltepec (Pantoja-Alor, 1959).

Por posición estratigráfica (Fig. 8) y por dataciones radiométricas realizadas en la localidad denominada Mesa de Tzitzio (Pasquaré *et al.*, 1991), que reportan edades de la base de esta unidad de 33.4 Ma., se le asigna una edad Oligoceno, con alcance al Mioceno. Esta unidad sobreyace en discordancia angular a las rocas del Cretácico; son afectadas por el cuerpo intrusivo granito-granodiorita El Hondable; también es afectada por un cuerpo hipabisal de composición riolítica La Conquista, que comprende un área de 5600 ha.

IV. 4. Eje Neovolcánico Transmexicano

Su ambiente está relacionado con la evolución de un Arco Volcánico Continental y su origen posiblemente con la tectónica convergente activa, entre las Placas de Cocos y de Norte América. Sin embargo, puede estar relacionado a una tectónica transtensiva compleja, la cual a profundidad provocó condiciones propicias para la generación de puntos calientes que se disiparon al ascender y formar el Eje Neovolcánico.

La diversidad composicional de un arco magmático depende de un gran número de componentes y procesos cuya interacción e importancia relativa es con frecuencia, difícil de reconocer y evaluar. En efecto, las evidencias petrológicas y geológicas con las que contamos en este estudio indican que, en el escenario más complejo, los

magmas emplazados en la superficie pueden representar mezclas entre una gran variedad de materiales geológicos, los cuales se describieron como:

V. 4. 1. Andesita-Basalto (Tpl A-B)

Se describe como andesita-basalto constituido predominantemente por coladas de composición andesítica con variación magmática a basalto. Estas rocas afloran en la zona noroeste (Fig. 9).

La unidad presenta un espesor aproximado de 200 m, que en discordancia angular sobreyacen al Volcánico Paránguaro. Se correlaciona con el volcanismo monogenético de tipo basáltico y andesítico, que conforman parte del Eje Neovolcánico. Estudios radiométricos por K/Ar, realizados por Pasquaré *et al.* (1991), reportan edades de 1.03 a 2 Ma, ubicándolos en el rango del Plioceno Superior-Pleistoceno Inferior (Fig. 8).

Esta unidad representa el inicio del Arco Volcánico Continental que dio origen al Eje Neovolcánico. Pasquaré *et al.* (1991), con base en radiometría, lo considera como parte de las últimas unidades de la Sierra Madre Occidental.

No se observó relación con ningún tipo de yacimientos de minerales metálicos. Sin embargo, existen rocas que son de utilidad como material para la industria de la construcción.

IV. 5. Depósitos Terciarios

IV. 5. 1. Conglomerado Polimíctico (Qpt Cgp) Conglomerado La Angostura

Se define como Conglomerado La Angostura, a un paquete de rocas sedimentarias que forman parte de un abanico aluvial, compuesto de horizontes de conglomerado con clastos de hasta 3 m de diámetro, soportados en una matriz de lodo y arena; los fragmentos constan de basalto, riolita y andesita. Se interdigitan con niveles de limolita y arenisca de grano grueso.

En el área de estudio esta unidad presenta un espesor de 300 m., y sobreyace discordantemente a la secuencia volcanosedimentaria Cretácica y a la unidad Volcánico Paránguaro. Afloran en la zona sur del área de estudio (Fig. 9).

Esta unidad se puede correlacionar con los depósitos sedimentarios y flujos de lahares con ceniza volcánica surgidos de la destrucción de edificios volcánicos por erosión, removilización de material volcánico por corrientes de lodo y depósitos piroclásticos recientes asociados.

El ambiente es continental, formado a partir de la explosión y erosión de un aparato volcánico en las inmediaciones de Villa Madero, dando lugar a una serie de avalanchas que se distribuyen en forma de abanico aluvial. Parte de este material, se puede utilizar para la industria de la construcción.

IV. 6. Rocas ígneas intrusivas

IV. 6. 1. Granito-Granodiorita (To Gr-Gd) El Hondable

Se define en esta unidad a un cuerpo plutónico con diferenciación magmática granito-granodiorita-diorita denominado El Hondable. Las rocas de esta unidad afloran en la zona sur y centro del área de estudio (Fig. 9).

La granodiorita se observa de color gris claro; estructura masiva con micro fracturamiento, textura fanerítica; mineralógicamente constituida por albita; biotita; cuarzo, clasificada como granodiorita de biotita.

El granito se presenta de color beige, textura cristalina porfídica, con presencia de feldespatos; plagioclasa, moscovita, biotita y con pequeños cristales en agujas de ilmenita.

La granodiorita cuenta con dos edades isotópicas, la primera en biotita, por K/Ar con 35.6 ± 0.8 Ma; la segunda en sericita por K/ Ar con edad de 32.1 ± 0.8 Ma; datadas por Damon (1982), ubicándolo en edad Oligoceno. Las muestras datadas se localizan, la primera a 1.5 km al oriente de la población minera de Inguaran y la segunda a 1 km al sur del sitio anterior.

La unidad granito-granodiorita El Hondable intruye al Complejo Metamórfico Carácuaro; a la secuencia volcanosedimentaria del Arco Amengarícuaro, al Conglomerado Acuyo y por último afecta a la unidad Volcánico Paránguaro (Fig.8).

V. 6. 2. Pórfido riolítico (To PR) La Conquista

No ha sido documentado regionalmente, por lo que no tiene una correlación con cuerpos similares; sin embargo, se correlaciona con el volcanismo de la fase ácida que conforma la Sierra Madre del Sur. En el área de estudio corresponden a dos afloramientos principales que ocurren en la zona (Fig. 9).

Pórfido riolítico gris en roca sana e intemperiza a castaño; estructura masiva, con fracturamiento moderado, textura porfídica; presenta microtextura afieltrada; los minerales esenciales son: feldespatos (52%), de tipo anortoclásas-sanidino, formando fenocristales de aspecto terroso y en abundantes cristales formando la mesostásis de la roca. Es notable una moderada alteración sericitica; cuarzo (20%), en fenocristales corroídos, oligoclasa (15%), en fenocristales tabulares con intensa sericita y maclado combinado; el mineral accesorio es fayolita (3%), en escasos cristales rómbicos con inclusiones de cuarzo-calcedonia.

Afecta al Complejo Metamórfico Carácuaro, con alcance a la unidad Volcánico Paránguaro por lo que se le asigna una edad del Oligoceno (Fig.8).

Este cuerpo subvolcánico presenta alteración hidrotermal en su totalidad, la más importante se observan en las inmediaciones de la ranchería Tepetates.

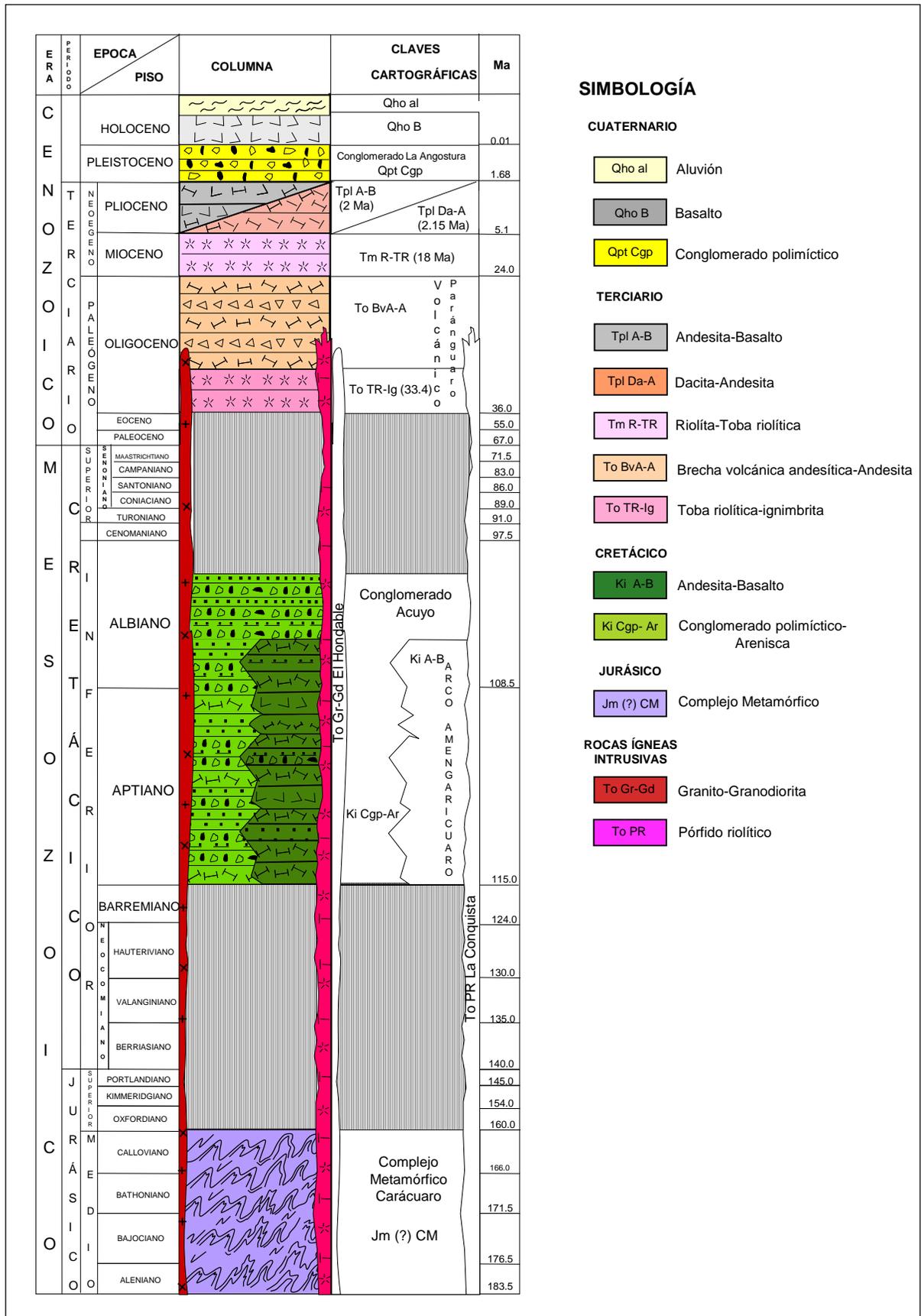
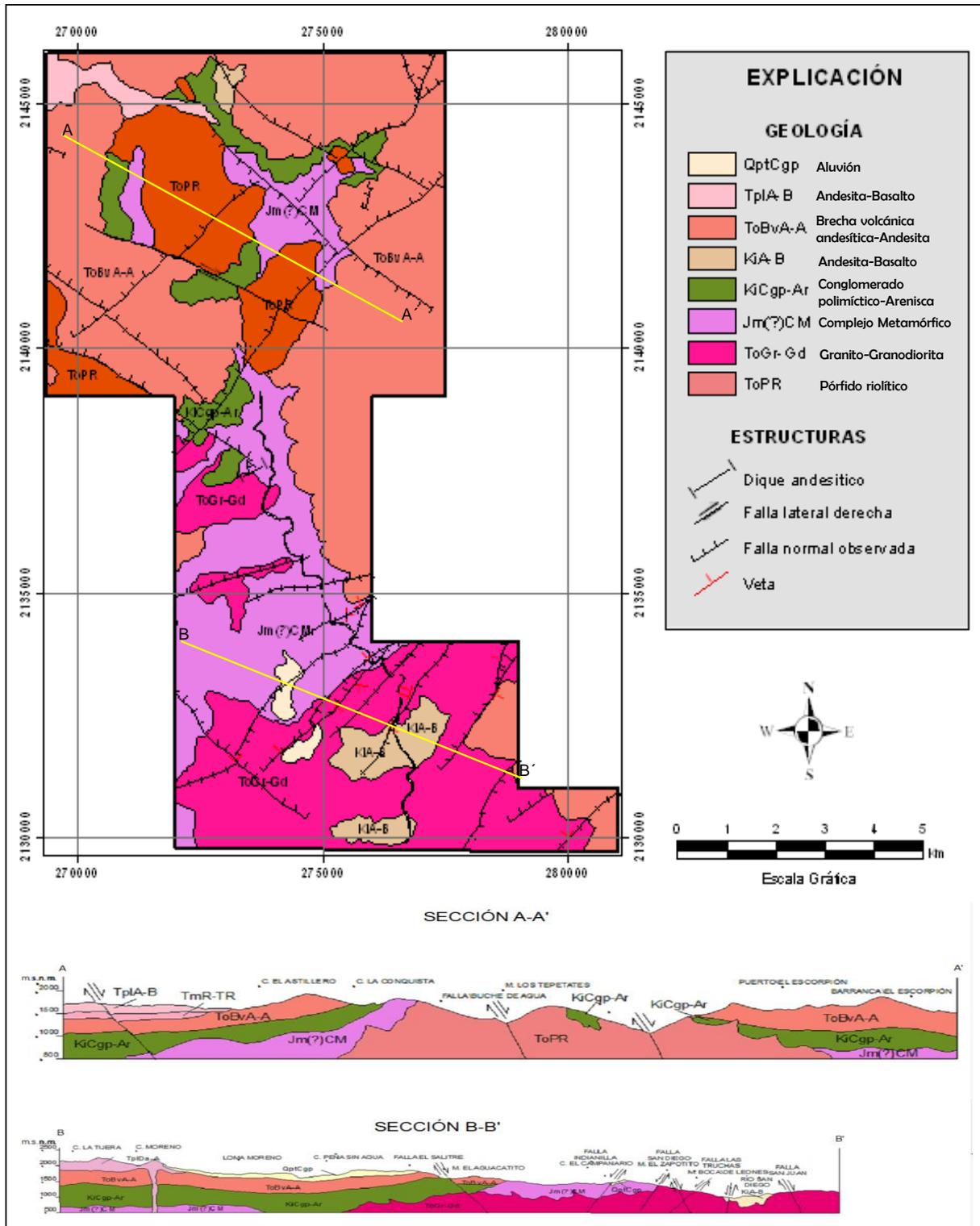


Fig. 8. Columna estratigráfica del área de estudio



IV. 7. Geología estructural del área de estudio.

Para el estudio geológico estructural se interpretó la imagen de satélite, con un análisis de lineamientos. Estos fueron posteriormente verificados en su mayoría en terreno, con determinación de tipo de estructura, y en caso de fallas determinación de características de estas.

Para establecer la cinemática sobre los planos de falla, fueron utilizados algunos criterios de cizalla frágil, que permiten determinar el sentido de movimiento en zona de falla. Es importante considerar en qué nivel de la corteza terrestre se trabaja, ya que de acuerdo con éste, se determina el comportamiento de las rocas, los tipos de rocas de falla, la textura específica y estructuras de deformación (Anexo B).

Existen dos principales zonas estructurales en donde se localizan los sistemas de fallas que albergan a los sitios con presencia de mineralización: San Diego Curucupatzeo y Tepetates (Fig. 10), en la Tabla 2 y 3, se presentan los sitios donde se midieron las fallas.

Fig. 10. Esquema Estructural, Sistemas San Diego Curucupatzeo y Tepetates

33

San Diego Curucupatzeo

El sistema de fallas San Diego Curucupatzeo es una amplia zona de cizallamiento con dirección NE, localizada en el sector sureste del área de estudio, en las inmediaciones del poblado de San Diego Curucupatzeo. Presenta una longitud aproximada de 17 km y un ancho de 10 km, compuesto por diez fallas paralelas, las que forman pilares y fosas, con orientación aproximada de N 40° E y por 4 fallas normales que varían de NW a E-W. Las evidencias en terreno corresponden a planos de falla con brechas de hasta 1 m de espesor, salbanda de falla, estrías verticales con escalones incongruentes en forma de media luna, estructuras sigmoidales de diferente tamaño, separación de horizontes guía y fuerte fracturamiento.

Los principales sistemas de fallas en esta zona son: Indianilla Pb-Zn, Las Truchas Fe-Au-Ag y San Juan Pb-Zn, y se describen a continuación:

Tabla 2.- Sitios de medidas estructurales. Sistema de fallas San Diego Curucupatzeo

NOMBRE	COORDENADAS	RUMBO	MANTEO
El Aguacatito	284829 y 2147850	N 30° W	63° SW
El Pinabete	288979 y 2145542	N 65° W, N 80° W	70° NE, 80° NE
	289957 y 2145135		
Guayabitos	283909 y 2142596	N 70° W	85° SW
La Paloma	284602 y 2154280	N 80° E	75° SE
La Osamenta	283961 y 2152985	N 30° E	82° NW
La Fragua	282560 y 2151158	N 65° E, N 45° E	80° SE, 80° SE
	284455 y 2152522		
La Guacamaya	285086 y 2150445	N 40° E	72° SE
La Huizachera	280900 y 2131150	N 45° E	75° SE
La Soleadita	280337 y 2150839	N 35° W, N 43° W N 48° W, N 52° W	85° SW, 76° SW, 72° SW, 80° SW
	282131 y 2149260		
	282348 y 2149260		
	287415 y 2145331		
Las Piedras	282619 y 2147920	N 38° W	83° NE
Los Duraznos	283086 y 2144455	N 20° W	85° NE
Loma Alta	283786 y 2144643	N 55° W, N 60° W	80° NE, 79° NE
	288503 y 2140259		
San Diego Curucupatzeo	276353 E, 2132247 N, 276756 E, 2132936 N, 276778 E, 2132888 N, 275893 E, 2133635 N, 276651 E, 2133639 N	N 20-40° E	60-85° NW

Sistema de fallas Indianilla

Se localiza en el cuadrante sur del área de estudio, cerca de la ranchería Indianilla, su traza principal tiene 16 km de longitud, con una orientación de N 30° E con manteo 70° al NW; a ésta se asocian dos fallas secundarias P, de rumbo N 65-70° E, con un manteo de 60-80° al NW.

La geometría de la traza de la falla varía en el cerro Torrecillas, donde exhibe una geometría curvilínea con: estrías verticales, sigmoides sub-verticales, salbanda de falla, escalones congruentes. Estos indicadores cinemáticos evidencian un movimiento normal con una terminación en forma de cola de caballo.

El sistema de fallas afecta a las rocas del Complejo Metamórfico Carácuaro del Jurásico Medio, al Arco Amengarícuaro y Conglomerado del Cretácico Inferior, Volcánico Paránguaro del Oligoceno, y al granito-granodiorita El Hondable del Oligoceno.

Sistema de fallas San Juan

Se localiza en el cuadrante sur del área de estudio, su traza principal tiene 7 km de longitud, con un rumbo N 45° E y manteo 75° al SE. La geometría de la traza de la falla varía en el puerto El Perro, donde exhibe una orientación tendiendo al E-W.

En esta zona de falla existe presencia de estrías verticales, sigmoides sub-verticales, salbanda de falla y escalones congruentes, que permiten determinar movimiento de tipo normal. La falla corta a la unidad Volcánico Paránguaro del Oligoceno.

Sistema de fallas Las Truchas

Representada por una estructura lineal en terminación en cola de caballo, paralela a la falla Indianilla, localizada al sur del área de estudio, en las inmediaciones del poblado San Diego Curucupatzeo.

La traza se interpretó en una longitud de 7 km, con rumbo N 20-40° E y manteo de 60-85° al NW. La geometría de la falla está constituida por una serie de pequeñas

fallas discontinuas. El sentido de movimiento normal, se determinó sobre el plano de falla, por la presencia de estrías verticales a sub-verticales con escalones incongruentes, también se analizaron estructuras sigmoidales sub-verticales y verticales con arreglo anastomosado, de tamaños que varían de 1.5 a 4 m desarrollados sobre brecha. La falla afecta a rocas del Complejo Metamórfico Carácuaro del Jurásico Medio, Volcánico Paránguaro del Oligoceno y al granito-granodiorita El Hondable del Oligoceno.

Tepetates

El sistema de fallas Tepetates es una amplia zona de cizallamiento con dirección NE - SW, localizada en el sector norte-centro del área de estudio, con una longitud aproximada de 15 km y un ancho de 10 km. Está compuesto por cuatro fallas principales de rumbo NE y cortadas por cinco fallas de orientación NW, las cuales forman un arreglo enrejado, formando bloques altos y bajos, con orientación aproximada de N 35° E.

Las fallas se identificaron por la presencia, de brechas de hasta 1.5 m de potencia, salbanda de falla, estrías verticales con escalones incongruentes en forma de media luna, estructuras sigmoidales de diferente tamaño, separación de horizontes guía y fuerte fracturamiento.

Tabla 3. Sitios de medidas estructurales. Sistema de fallas Tepetates

NOMBRE	COORDENADAS	RUMBO	MANTEO
Buche de Agua	273191 y 2143198	N 20° E	70° SE
	275837 y 2144254	N 50° E	75° SE
	276789 y 2144738	N 40° E	70° SE
	279879 y 2148529	N 40° E	72° SE
El Aguacate	272981 y 2145598	N 30° W	85° SW
	275402 y 2143740	N 40° W	78° SW
El Viento	271649 y 2138925	N 50° W	88° SW
Las Sidras	273079 y 2143656	N 85° W	25° SW
	272208 y 2145145	N 20° W	65° SW
Tepetates	274173 y 2140790	N 46° W	55° SW
Maravillas	272085 y 2137894	N 47° E	80° SE
	273565 y 2139917	N 38° E	77° SE
	273843 y 2140184	N 40° E	80° SE
	277403 y 2143497	N 38° E	72° SE
	279952 y 2146605	N 43° E	75° SE
	281042 y 2147279	N 50° E	72° SE
Plancitos	270884 y 2140409	N 48° W	68° SW

V. YACIMIENTOS MINERALES

Mediante trabajos de exploración geológica regional y semidetalle se delimitaron zonas anómalas. En el área se reconocieron sistemas de fallas con presencia de estructuras mineralizadas hidrotermales constituidas por cuarzo, calcopirita, arsenopirita, galena, pirita, oro y plata. El rumbo preferencial de estas vetas varía de N 30°-70° E, con potencias entre 0.5 a 3.5 m.

Los yacimientos existentes en la región de estudio se encuentran emplazados en el contacto entre una meta-andesita, la cual se considera como parte del Complejo Metamórfico Carácuaro, de edad Jurásico Medio, y las rocas pertenecientes a una intrusión de tipo stock granítica-granodiorítica El Hondable y de el pórfido riolítico La Conquista, de edad Oligoceno.

V. 1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El distrito minero de San Diego Curucupatzeo debe su actividad a la construcción de una línea de ferrocarril que, en 1883, comunicó a Morelia con el centro y norte del país. Fue entonces cuando a partir de 1880, se desató una amplia especulación a la potencial existencia de recursos minerales metálicos. Entre 1880 a 1884, se denunciaron cerca de cuarenta minas, incluyendo las pertenencias de una antigua hacienda de beneficio abandonada. A pesar de esto sólo siete comenzaron a explotarse con regularidad (Uribe, 2002 vol. 1 U.M.S.N.H.). En 1892 comenzó a operar la empresa inglesa The Progreso Motive Copper Mining Co., explotando un yacimiento ferroso en la mina El Progreso, localizada en el Cerro Blanco. Posteriormente se beneficiaron las minas de oro y plata El Carmen, El Ángel, La Trinidad, Santa Gertrudis, La Restauradora, La Nevada y La Soledad. En junio de 1896 se entregaron títulos de propiedad de las minas de oro y plata La Peralta y Anexas a los extranjeros Eduardo R. Thumber y Enrique Le Page (Uribe, 2002).

En 1897 se formó una sociedad anónima para explotar el fundo Minerva; cuatro meses después se creó otra sociedad para beneficiar las minas La Concepción y Los Arrieros; sin embargo, fue la compañía minera francesa Ángel la que explotaba con excelentes resultados las minas San Diego, Milpillas, El Ángel y otras. La compañía

minera Carmen entró en bonanza explotando antiguas minas abandonadas. Asimismo, en esa época estaban presentes en el mineral de Curucupatzeo las negociaciones El Porvenir y la Antigua Escondida, que después se fusionaron en una sola empresa que pasó a llamarse Negociación Minera Antigua Escondida Porvenir.

Al finalizar el siglo XIX, el mineral de Curucupatzeo entró en bonanza con la compañía San Ángel y Anexas, de capital Francés, quienes tenían en proyecto la explotación de nuevas minas e infraestructura y maquinaria para la hacienda de beneficio en construcción y evitar enviar el mineral a fundiciones de Monterrey, Aguascalientes, Ávalos (Chihuahua) y Matehuala, (S.L.P.) (Uribe, 2002).

Al inicio del siglo XX, se explotaron las minas San Pedro y Luz de Purísima. En mayo de 1903 fueron adjudicados en propiedad los fundos denominados La Natividad y Quince Pasos.

Las fluctuaciones constantes del valor de la plata a nivel nacional e internacional, obligaron a los inversionistas franceses a desistir de sus propósitos. En 1908, las minas de El Real, Santa Gertrudis, Llanitos, El Realito, La Leona, Nueva Alianza y El Granadito eran las más trabajadas y con bonanza ascendente (Uribe, 2002).

A partir del movimiento revolucionario, la actividad minera en el distrito decreció abruptamente hasta su completa desaparición, abandonando las compañías mineras su actividad, dejando miseria y desconcierto entre la población trabajadora. Durante los últimos 80 años la región, que aún guarda un gran potencial minero, ha estado prácticamente inactiva.

En 1990 el Consejo de Recursos Minerales realiza visitas de reconocimiento al lote “San Rafael” y “Vista Hermosa”.

El Consejo de Recursos Minerales en 1995, publicó la monografía geológico-minera del estado de Michoacán.

V. 1. 2. Minas en explotación

En la actualidad no se cuenta con trabajos de explotación minera dentro del área de estudio.

V. 1. 3. Infraestructura minera

En la zona no se cuenta con ninguna planta para beneficiar minerales metálicos. La más cercana se localiza fuera del área de estudio en la población del Bastan (mina El Bastan) localizada en el municipio de Huetamo, entre las poblaciones de Tiquicheo y Huetamo, a una distancia de 50 km en línea recta al sur de la zona de estudio; utiliza el sistema de flotación para obtener concentrados de cobre-oro, con una capacidad instalada de 500 t/d, los cuales, son enviados a la planta de Met-Mex Peñoles de Torreón, Coahuila y pertenece a la Compañía Minera Real del Monte y Pachuca.

V. 2. MICROTERMOMETRÍA DE INCLUSIONES FLUIDAS

La microtermometría es la técnica empleada para determinar los cambios que ocurren dentro de una inclusión fluida en función de la temperatura. Se basa en la medida de las temperaturas a las que se producen los cambios de fases en las inclusiones, cuando éstas se someten a un progresivo aumento de la temperatura entre -180 y $+600^{\circ}\text{C}$, entre ellos la fusión de un líquido solidificado previamente (congelado), la fusión de fases sólidas y la homogenización de sistemas gas-líquido en una sola fase gaseosa o líquida.

La temperatura de homogeneización T_h de una inclusión fluida corresponde a la temperatura en la cual una fase líquida y una vapor homogenizan a una sola fase líquida, vapor o supercrítica. Ésta debe considerarse como la temperatura mínima a la que se atrapó una inclusión fluida (Camprubí, 2010), y representa en muy buena medida la temperatura del fluido al momento de quedar atrapada, por lo tanto, representa la temperatura de formación del mineral entrampante (Roedder, 1984).

La temperatura de fusión se mide congelando las inclusiones con nitrógeno líquido, mucho más allá de la temperatura de solidificación. Posteriormente se calienta gradualmente y en forma controlada, hasta llegar al punto en que el hielo comienza a fundirse. Existen varias fórmulas para calcular la salinidad, en este trabajo se ocupó la propuesta por Bodnar (1993).

Adicionalmente, la distribución espacial de los datos microtermométricos, en conjunto con la distribución de determinados minerales o asociaciones minerales, es particularmente útil para obtener criterios de exploración en un cuerpo mineralizado conocido, o bien en un área en proceso de evaluación (Camprubí 2010).

En el presente estudio se tomaron 19 muestras en vetas mineralizadas, esto con el fin de obtener información geotermométrica y de salinidad de fluidos hidrotermales en diversos yacimientos visitados (anexo C). Los trabajos analíticos fueron realizados en el laboratorio de inclusiones fluidas del SGM. Los resultados son indicados en cada caso, a ser descritos más adelante en este trabajo.

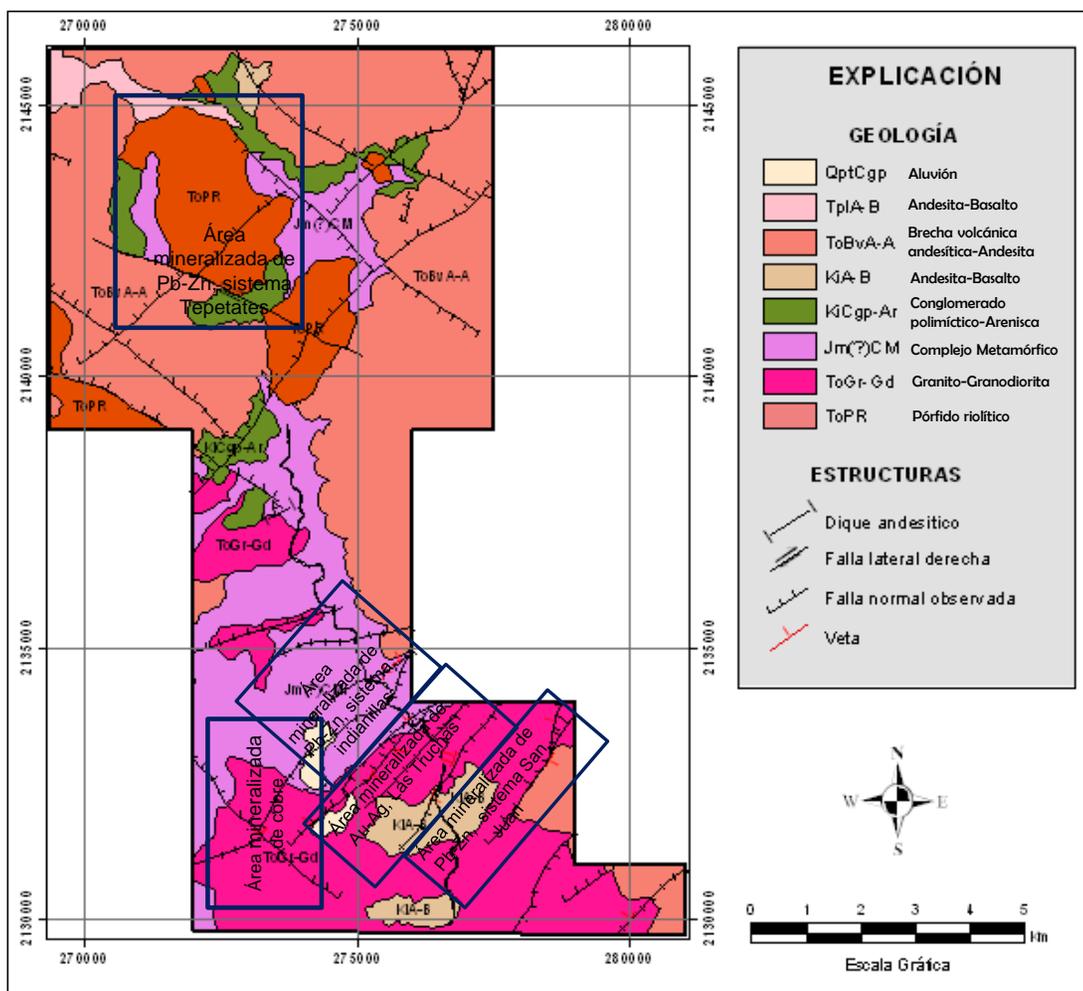
V. 3. GEOQUÍMICA DE EXPLORACIÓN

La zona de estudio presenta una diversidad de litologías y alteraciones, el muestreo apunta a determinar mediante mediciones sistemáticas de la composición química del área, con el objetivo de detectar los valores que se desvían considerablemente de la concentración normal de los elementos en el medio analizado, cuya distribución puede contribuir a la localización de un cuerpo mineral.

En la región de estudio fueron tomadas un total de 54 muestras de 23 sitios, esto para una determinación de concentraciones de metales de áreas específicas de mineralización conocida o nuevas, determinadas en este trabajo. Los resultados se presentan más adelante, caso a caso.

V. 4. ÁREAS MINERALIZADAS

Dentro del área de estudio se reconocieron tres zonas mineralizadas (Cu, Pb-Zn y Au-Ag),(Fig. 11), esto en base a los resultados de trabajos de reconocimiento minero, exploración en terreno, geoquímica de exploración, inclusiones fluidas, barridos electrónicos, geología estructural y estudios mineralógicos de algunas muestras. Estudios a detalle en cada zona de interés permitieron caracterizar las diferentes áreas, resultados que se describen a continuación:



V. 5. ZONA DE COBRE

La mineralización de cobre se localiza en la zona noroeste del área de estudio (Fig. 11), está controlada por fallas normales de rumbo N-E con manteos al NW-SE y rumbos N-W con manteos al SW, así como en una serie de vetillas de cuarzo y calcita formando estructuras en stockwork.

La mineralización hipógena de cobre consiste principalmente en pirita, calcopirita, con cuarzo y calcita; la mineralización supérgena consiste en malaquita, azurita, chalcantita como potencial mena de cobre e hidróxidos de fierro. La ganga consiste principalmente en calcita y cuarzo crustiforme relleno de vetas.

Estos depósitos se encuentran emplazados en una meta-andesita, la cual se considera como parte del Complejo Metamórfico Carácuaro, de edad Jurásico Medio y a su vez también en el stock granítico-granodiorítico El Hondable y en el pórfido riolítico La Conquista, de edad Oligoceno, que intruyen a la unidad metamórfica.

Las alteraciones hidrotermales destacables en esta zona consisten en: silicificación segregada en la matriz de la roca y en forma de vetillas o filones irregulares de cuarzo; propilítica, que se presenta como reemplazo de plagioclasas, biotitas, calcita, clorita y en forma esporádica, epidota. Estas alteraciones afectan principalmente a andesitas, las cuales se caracterizan por presentar las rocas de color verde a verde oscuro, en un halo envolvente irregular en torno a alteración local del tipo cuarzo-sericita y/o cuarzo-caolinita-sericita. Afecta principalmente a rocas meta-andesitas y al intrusivo El Hondable (granito-granodiorita).

La alteración se presenta con diferentes asociaciones mineralógicas, en las distintas áreas dentro de la zona de cobre, descritas en más detalle más adelante en este trabajo.

V. 5. 1. Resultados de geoquímica de exploración de la zona de cobre

Durante los trabajos de terreno, en las visitas a las distintas faenas históricas, a áreas prospectivas y en zonas de alteración hidrotermal, se tomaron muestras de esquirlas de roca para efectos de un reconocimiento exploratorio. En los prospectos El Tigre y El Cerrito y en las manifestaciones minerales El Tigre II y El Aguacatito. Las muestras tomadas tienen por objetivo el determinar la existencia de potenciales elementos metálicos de interés económico. Estas muestras fueron analizadas mediante digestión agua regia y análisis por absorción atómica por los elementos Ag, Au, Cu y Zn. Los resultados se presentan para cada área particular de estudio, descritos a continuación.

V. 5. 2. Áreas mineralizadas en la zona de cobre

Los yacimientos existentes en la zona de cobre corresponden a los prospectos El Tigre, El Cerrito, las manifestaciones minerales El Tigre II y El Aguacatito. Se presenta a continuación una descripción de los estas áreas con evidencia de alteración hidrotermal (Fig. 12).

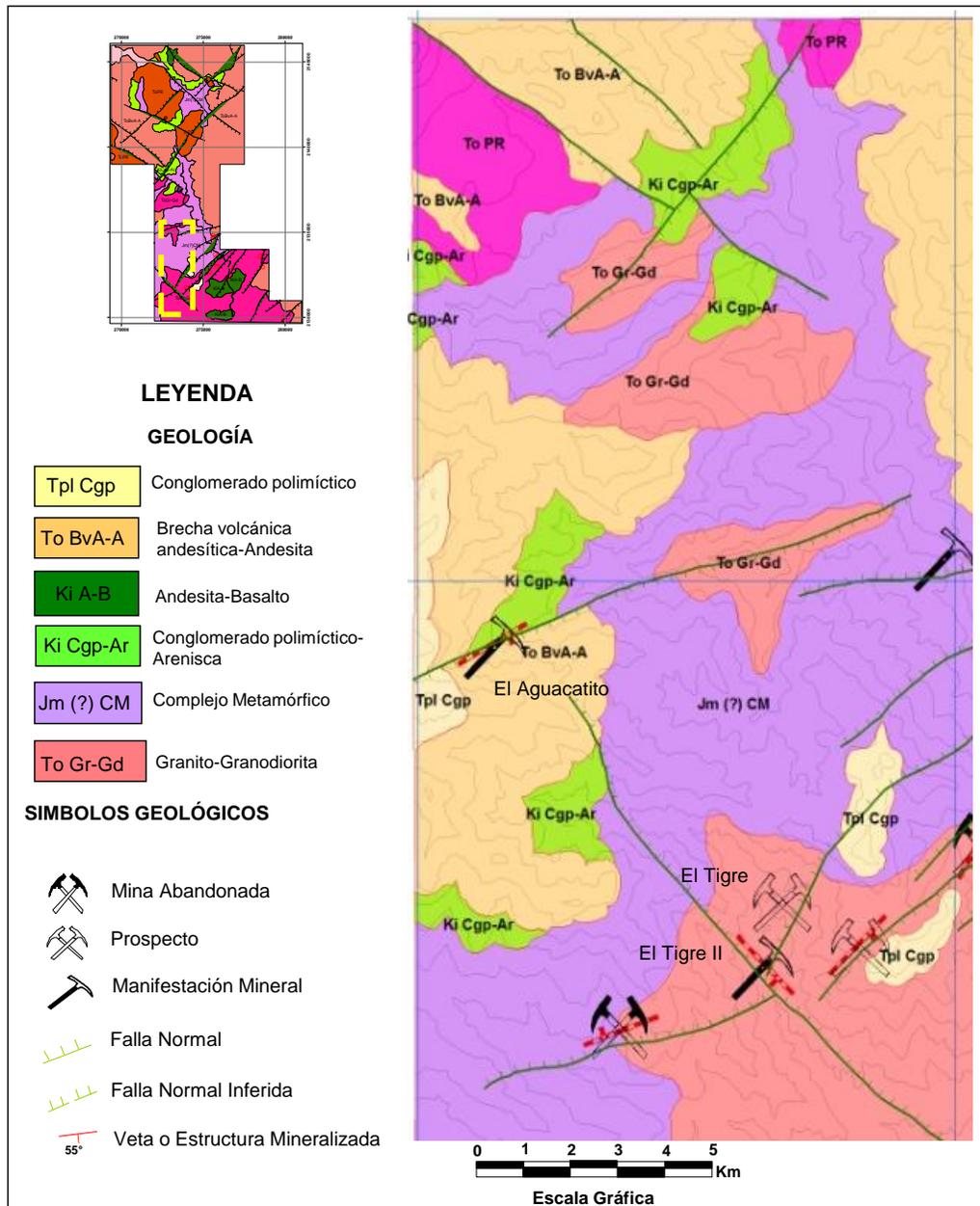


Fig. 12. Mapa de la zona mineralizada de cobre

V. 5. 2. 1. Prospecto El Tigre. Se ubica a 2.5 km al suroeste en línea recta de la comunidad de San Diego Curucupatzeo, en las coordenadas 273394 E, 2132152 N (Fig. 12).

La mineralización está controlada por una falla normal de rumbo N 30° E y manteo 80° al NW. En el entorno de esta estructura se presenta una serie de vetillas formando una estructura en stockwork. Algunas vetillas de cuarzo presentan espesores mayores a los 0.2 cm. En superficie el stockwork se manifiesta en una extensión de 300 m de longitud, por 30 m de ancho, y desnivel de 100 m.

La mineralización hipógena consiste en pirita, calcopirita, cuarzo y calcita; la mineralización supérgena consiste en malaquita, azurita, y chalcantita e hidróxidos de hierro, mena, la ganga mayoritariamente calcita (Fig. 13 y 14).

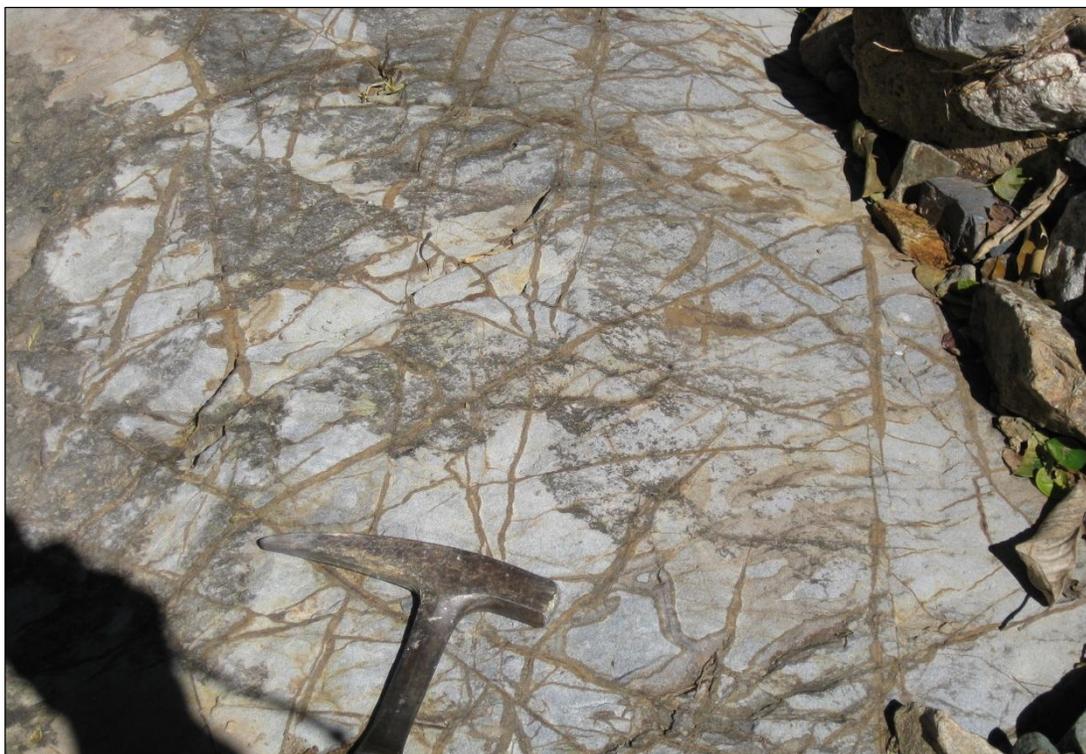


Fig. 13. Prospecto El Tigre. Vetillas de hematita y cuarzo en stockwork. La roca huésped es granito-granodiorita El Hondable de edad Oligoceno.

Las alteraciones hidrotermales corresponden a propilitización caracterizada por la asociación mineral epidota-calcita-actinolita. Afecta principalmente a rocas volcánicas andesítica y rocas intrusivas El Hondable (granito-granodiorita), en el cual la asociación

es clorita-epidota-smectita. La roca huésped es granito-granodiorita El Hondable de edad Oligoceno.

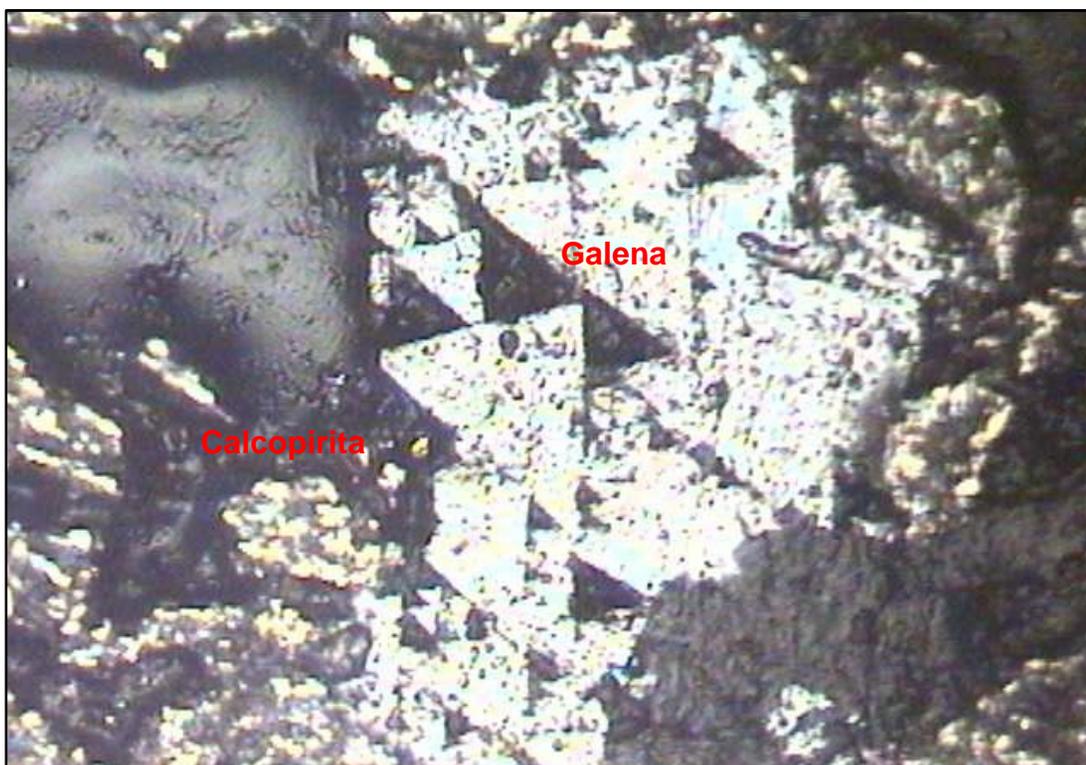


Fig. 14. Cristales de habito triangular o en escalera de galena, asociado a pirita y calcopirita. 1cm=100 micras.

Se colectaron cuatro muestras de esquirla de roca de las vetas para análisis geoquímico, los resultados presentados en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de análisis geoquímicos de muestras de esquirla de roca, prospecto El Tigre

MUESTRA	ESPEJOR Metros	Ag g/t	Au g/t	Cu %	Pb %	Zn %
VM95	1.00	8.00	0.199	0.519	0.017	0.023
VM96	1.00	2.00	0.093	0.602	0.012	0.028
VM97	1.00	2.00	0.499	0.548	0.019	0.021
VM98	1.00	3.00	0.072	1.091	0.013	0.022
PROMEDIO	1.00	3.75	0.216	0.690	0.015	0.024

V. 5. 2. 2. Prospecto El Cerrito. Se localiza en el sitio conocido como Cerro Blanco, en las coordenadas 262066 E, 2133929 N. Este prospecto se localiza a pocos metros fuera del área y se incluyó en este estudio por los altos valores de cobre que se obtuvieron en los resultados geoquímicos.

La mineralización presente en esta zona es supérgena, consistente en impregnaciones de malaquita como relleno de fracturas y en parte en la matriz de la roca; esta mineralización de carbonatos ocurre en la falla normal Cerro Blanco, falla de rumbo N 10° W y manteo de 85° al SW; en superficie se manifiesta en longitud de 100 m y potencia de 7 m. Se ha reconocido en profundidad hasta aproximadamente 40 m.

La mineralización hipógena corresponde a cuarzo, calcita, pirita y calcopirita; la mineralización supérgena de mena potencial es malaquita, azurita y chalcantita, con ganga hematita y calcita. La alteración hidrotermal consiste solamente en escasa cloritización (fig. 15).



Fig. 15. Cristales de calcopirita dentro de un mosaico de pirita.

La roca huésped corresponde a un conglomerado polimíctico de la unidad sedimentaria Conglomerado Acuyo, de tentativa edad Cretácico Inferior. Se colectaron cuatro muestras de esquirlas de roca de las vetas para análisis químico cuantitativo, los resultados en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de análisis geoquímicos de muestras de esquirla de roca, prospecto El Cerrito

MUESTRA	ESPESOR Metros	Ag g/t	Au g/t	Cu %	Pb %	Zn %
VM70	2.00	12.00	N.D.	3.91	0.001	0.01
VM71	2.00	12.00	N.D.	4.19	0.001	0.01
VM72	2.00	12.00	0	4.27	0.001	0.01
VM73	2.00	12.00	N.D.	4.75	0.001	0.01
PROMEDIO	2.00	12.00	N.D.	4.28	0.001	0.01

V. 5. 2. 3. Manifestación mineral El Tigre II. Esta se localiza a 2 km al suroeste en línea recta de la comunidad de San Diego Curucupatzeo, en las coordenadas 273207 E, 2131569 N (Fig. 12).

Consiste de una veta-falla, con textura bandeada, con rumbo de N 45° W y manteo de 62° al SW; en superficie aflora con 20 m de longitud, potencia de 1.2 m y reconocido, 10 m en profundidad.

La mineralización hipógena corresponde a pirita, calcopirita, cuarzo y calcita; la mineralización supérgena de mena potencial está representada por limonita, la ganga primordialmente calcita y cuarzo crustiforme rellenando vetas.

Las alteraciones hidrotermales corresponden a cuarzo-sericita, presenta una asociación mineralógica cuarzo-caolinita-sericita. Afecta principalmente a rocas meta-andesitas y a rocas intrusivas El Hondable (granito-granodiorita). Se traslapa con alteración argílica y silicificación. Sericita se encuentra como alteración de fenocristales de plagioclasa mientras que el cuarzo ocurre como agregados de calcedonia.

La roca de caja corresponde a granito-granodiorita El Hondable de edad Oligoceno. Se colectó tres muestras de esquirlas de roca de las vetas para análisis geoquímico por Au, Ag, Cu, Pb y Zn, los resultados en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados de análisis geoquímicos de muestras de esquirla de roca, manifestación mineral El Tigre II

MUESTRA	ESPEJOR Metros	Ag g/t	Au g/t	Cu %	Pb %	Zn %
VM92	1.20	3.00	0.052	0.327	0.011	0.013
VM93	1.20	1.00	0.072	0.513	0.008	0.005
VM94	1.20	12.00	0.133	0.628	0.019	0.022
PROMEDIO	1.20	5.30	0.086	0.490	0.012	0.013

V. 5. 2. 4. Manifestación mineral El Aguacatito. Esta se localiza 5 km en línea recta al noroeste del poblado de San Diego Curucupatzeo, en las coordenadas 270715 E y 2134415 N (Fig. 12).

Consiste de una veta de cuarzo, de textura bandeada, con rumbo general N 60° E y manto 85° al SE; en superficie se manifiesta en una longitud de 40 m con potencia de 1.5 m y reconocido 20 m en desnivel; la estructura mineralizada está controlada por fallamiento distensivo de rumbo N 60° E con manto de 85° al SE y N 05° W con manto de 77° al SW.

La mineralización hipógena de mena potencial consiste en galena, esfalerita y trazas de calcopirita, la ganga en cuarzo, pirita, arsenopirita; la mineralización supérgena de mena potencial corresponde a incipiente malaquita, limonita, hematita y una ganga de calcita (Fig. 16).



Fig. 16. Manifestación mineral El Aguacatito. La mineralización esta controlada por una falla, se observa malaquita, limonita y hematita; La roca de caja corresponde a andesita de edad Oligoceno de la unidad Volcánica Paránguaro

La alteración hidrotermal corresponde a silicificación segregada en la matriz de la roca y en forma de vetillas o filones irregulares de cuarzo. La roca de caja corresponde a andesita de edad Oligoceno de la unidad Volcánica Paránguaro. Se colectaron cinco muestras de esquirla de roca de las vetas para su análisis geoquímico por Au, Ag, Cu, Pb, Zn, los resultados en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados de análisis geoquímicos de muestras de esquirla de roca, manifestación mineral El Aguacatito

MUESTRA	ESPESOR Metros	Ag g/t	Au g/t	Cu %	Pb %	Zn %
VM80	1.50	3.00	0.099	0.410	0.055	0.029
VM81	1.50	1.00	0.115	0.350	0.006	0.041
VM82	1.50	2.00	0.023	0.393	0.077	0.023
VM83	1.50	3.00	0.999	0.450	0.293	0.177
VM84	1.50	1.00	0.034	0.270	0.198	0.017
PROMEDIO	1.50	2.00	0.254	0.375	0.126	0.057

V. 5. 2. 5. Potencial observado en la zona de cobre

En base a la correlación de afloramientos, longitudes observadas, espesores promedio y profundidades, se calculó el recurso de cobre contenido en las estructuras mineralizadas, ponderadas por el promedio de ley de cobre, obtenida a partir de los ensayos realizados en las vetas (Tabla 8). Debe indicarse que esto es solamente una estimación gruesa en base a datos existentes, y que se requiere en forma posterior una toma de muestras sistemática de los sistemas de vetas, a una densidad de muestreo adecuado, que permita una estimación de recursos más acuciosa.

Tabla 8. Potencial de Cu in situ obtenido en las áreas mineralizadas en la zona de cobre

LOCALIDAD	LONGITUD METROS	PROFUNDIDAD METROS	ESPESOR METROS	P.E	TONELAJE CONSIDERADO	LEY MEDIA DE Cu %	COBRE CONTENIDO in situ (T)
El Tigre	300	100	30	2.7	2 430 000	0.69	16 767
El Cerrito	100	40	7	2.7	75 600	4.28	3 235
Tigre II	20	10	1.2	2.7	648	0.49	317
El Aguacatito	40	20	1.5	2.7	3 240	0.375	1215

V. 6. ZONA Pb-Zn

La mineralización de la zona Pb-Zn, está controlada y caracterizada por tres sistemas de fallas normales, el sistema Indianilla de rumbo N 15°- 50° E y un manteo variable entre 60° y 45° al NW, el sistema San Juan de rumbo N 25°-80° E y un manteo de 80° al SE-NW, y el sistema Tepetates con dirección NE – SW (ver anexo B), así como vetillas delgadas de cuarzo, calcedonia, hematita y calcita formando estructuras en stockwork (Fig. 17 y 18).

La mineralización hipógena de mena potencial es galena, esfalerita, escasa calcopirita y tetraedrita, con una ganga consistente en pirita, arsenopirita y cuarzo; la mineralización supérgena de mena potencial es limonita, la ganga primordialmente calcita.

La alteración hidrotermal es de moderada intensidad y corresponde principalmente a alteración propilítica, cuarzo-sericita y argílica, la alteración propilítica caracterizada por la asociación clorita-epidota que afecta a las unidades de andesitas y al intrusivo El Hondable. Se caracteriza por la asociación mineralógica antes mencionada, la cual afecta tanto a la masa fundamental como a los fenocristales de las andesitas. La asociación mineralógica se caracteriza por casi exclusivamente clorita, pasando por clorita más epidota en micro-vetillas, hasta epidota dominante, con cristales gruesos (1mm).

La alteración cuarzo-sericita, presenta una asociación mineralógica cuarzo-caolinita-sericita. Afecta principalmente a rocas meta-andesitas. Se traslapa con alteración argílica, argílica avanzada y con silicificación. La sericita se encuentra como alteración de fenocristales de plagioclasa mientras que el cuarzo ocurre como agregados de calcedonia.

La roca huésped de la mineralización es el cuerpo intrusivo de composición granito-granodiorítica El Hondable de edad Oligoceno y por un pórfido riolítico La Conquista, que en este sector intruyen al Complejo Metamórfico Carácuaro de edad Jurásico Medio.

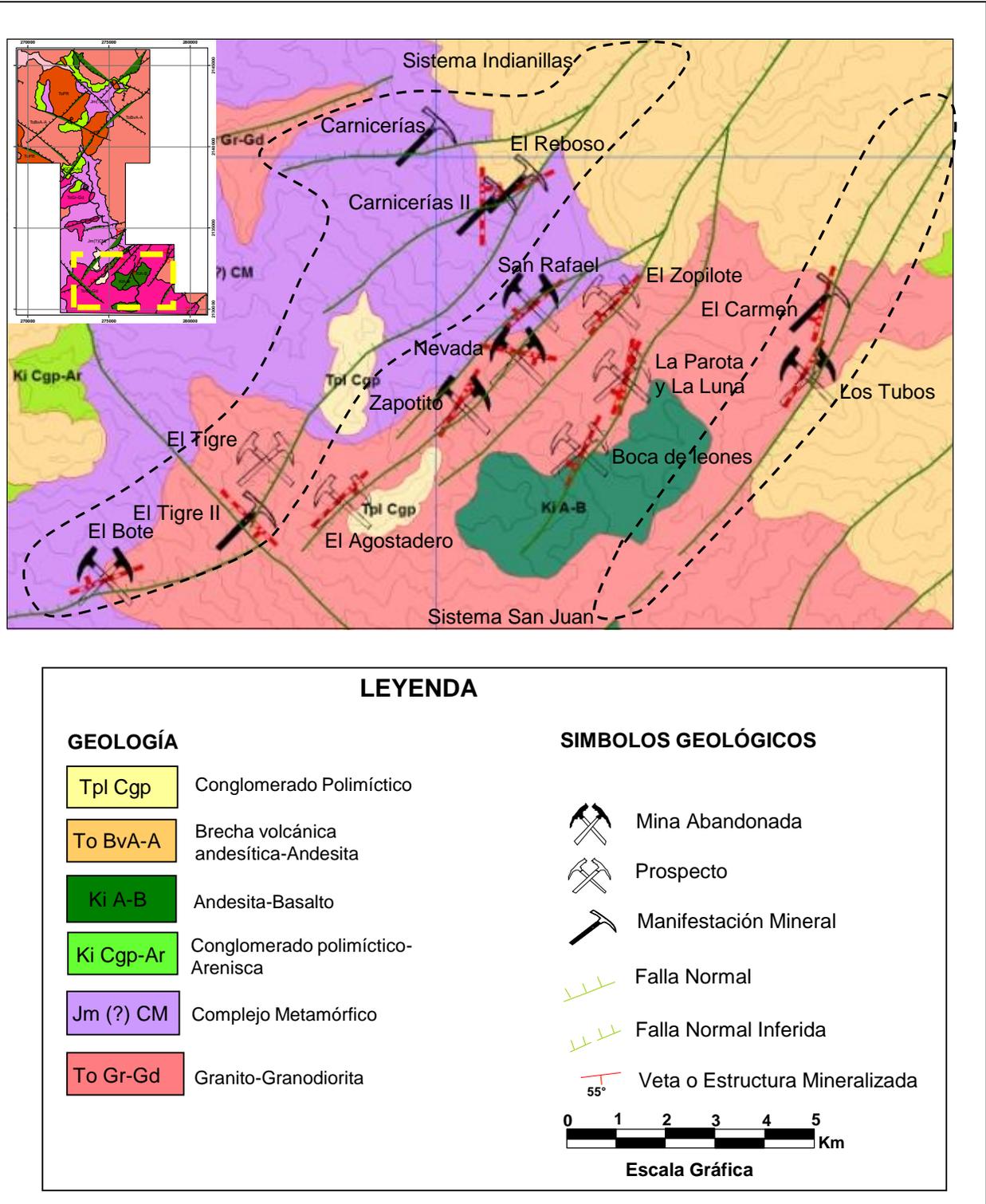


Fig. 17. Los yacimientos existentes de Pb-Zn, asociados al sistema Indianillas corresponden la mina abandonada El Bote, las manifestaciones minerales Carnicerías II, El Rebozo y Carnicerías y al sistema San Juan corresponde la mina abandonada El Carmen y la manifestación mineral Los Tubos.

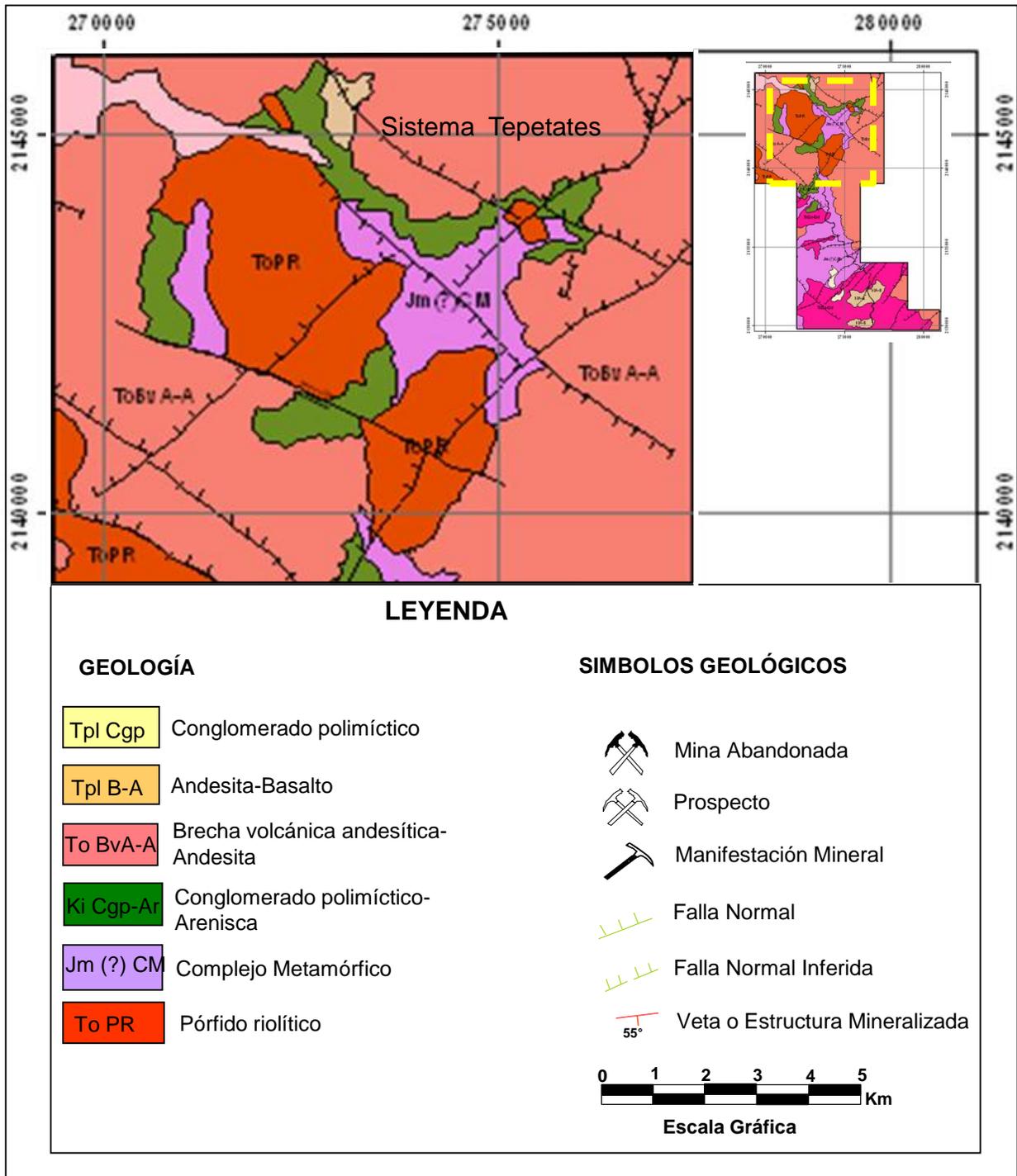


Fig. 18. La manifestación mineral existente de Pb-Zn, asociados al sistema Tepetates.

V. 6. 1. Resultados de microtermometría de inclusiones fluidas de la zona Pb-Zn

Los resultados microtermométricos detallados de cada muestra se presentan en el anexo C, y en la Tabla 9. Se presentan en resumen los datos obtenidos de temperatura de homogenización, temperatura de fusión y salinidad en % NaCl equivalente, caracterizando los tres sistemas de fallas donde se encuentran emplazadas las áreas mineralizadas.

TABLA. 9. Datos promedio de los valores de las inclusiones fluidas

ZONA	No. DE MUESTRA	TEMPERATURA DE HOMOGENIZACIÓN	TEMPERATURA DE FUSIÓN	SALINIDAD % NaCl
Pb-Zn, Sistema Indianillas	14	158.3	-8.4	11.9
Pb-Zn, Sistema San Juan	35	179.7	-8.3	11.9
Pb-Zn, Sistema Tepetates	43	282.1	-9	12.71

Las muestras analizadas de los sistemas Indianillas y San Juan se localizan en el granito-granodiorita El Hondable, y las del sistema Tepetates son en el pórfido riolítico La Conquista.

Los valores de salinidad obtenidos en el sistema Indianillas, varían entre 6 a 18 % NaCl, con la mayor concentración entre los 11 % NaCl; en el sistema San Juan, varían entre 1 a 14 % NaCl, con la mayor concentración entre los 11 a 13 % NaCl y en el sistema Tepetates varían entre 5 a 19 % NaCl, con mayor concentración entre los 11 y 12 % NaCl, como se puede observar en las figuras de salinidad vs frecuencia (Figs. 19, 20 y 21).

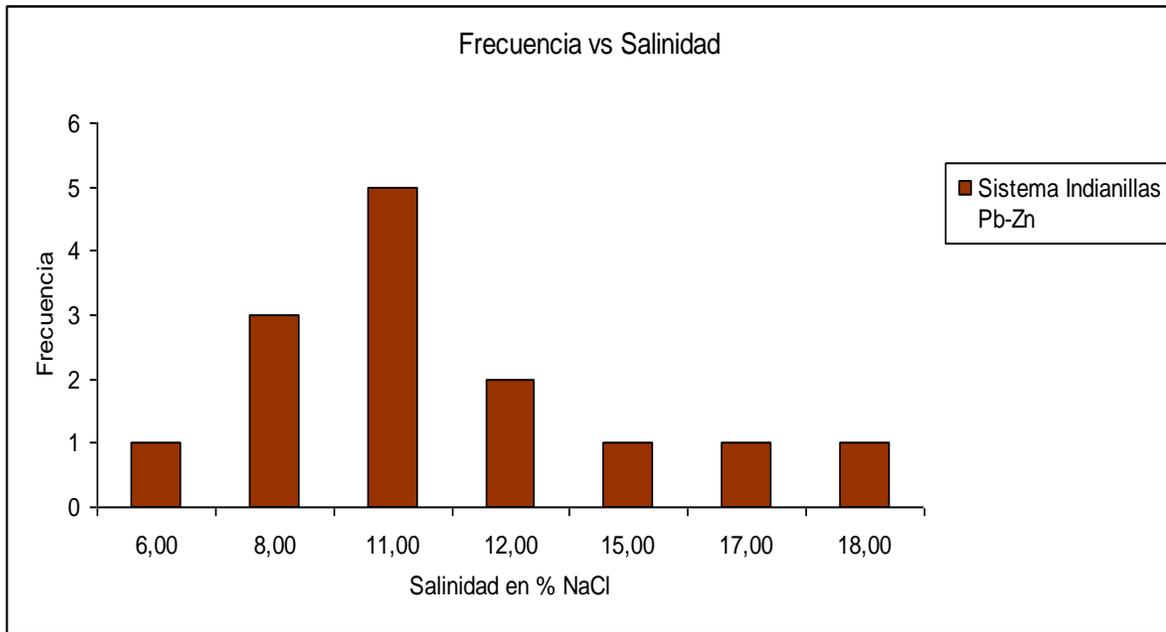


Fig. 19. Los valores de salinidad obtenidos en el sistema Indianillas, donde se localizan la mina abandonada El Bote y las manifestaciones minerales Carnicerías II, El Rebozo y Carnicerías. La salinidad varía entre 6 a 18 % NaCl, con la mayor concentración entre los 11 % NaCl.

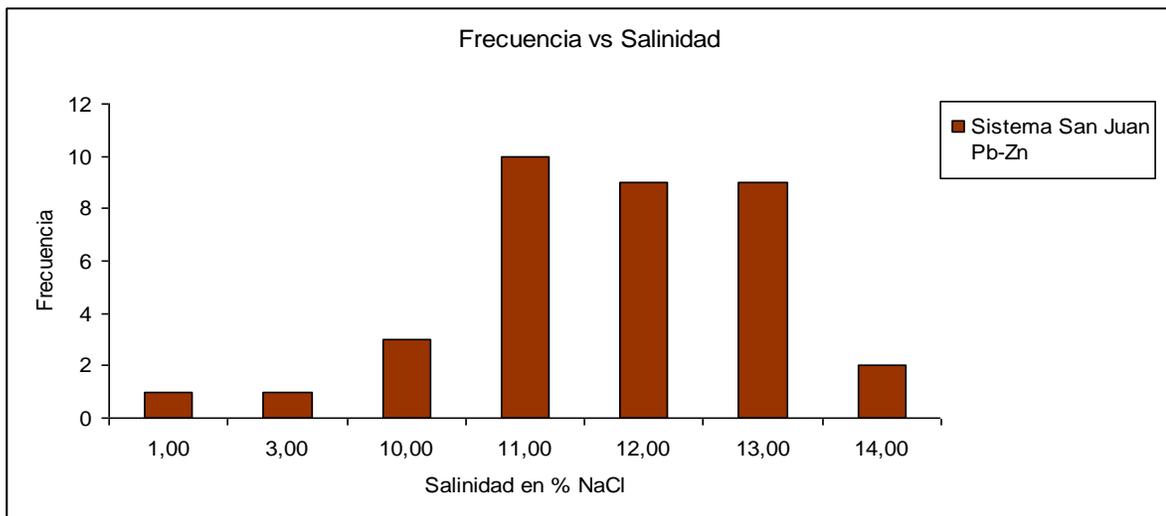


Fig. 20. Los valores de salinidad obtenidos en el sistema San Juan donde se localizan la mina abandonada El Carmen y la manifestación mineral Los Tubos, varía entre 1 a 14 % NaCl, con la mayor concentración entre los 11 a 13 % NaCl.

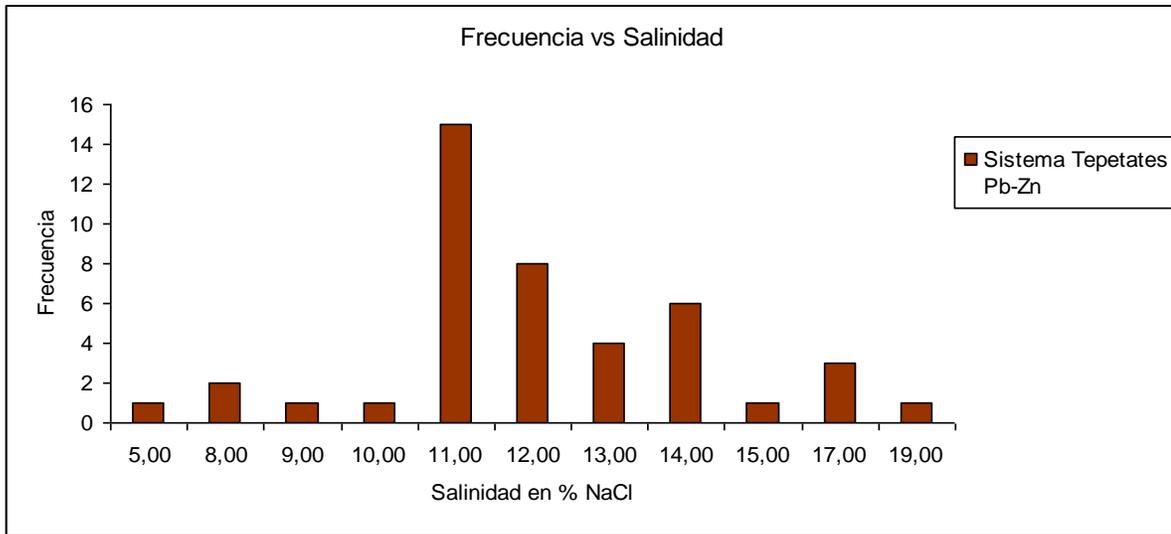


Fig. 21. Los valores de salinidad obtenidos en el sistema Tepetates donde se localiza la manifestación mineral Tepetates, varía entre 5 a 19 % NaCl, con la mayor concentración entre los 11 a 12 % NaCl.

Los valores de temperatura de homogenización obtenidos en el sistema Indianillas varían entre 100° y 250° C, con la mayor concentración en los 170° y 220°C, en el sistema San Juan varían entre 100° y 250° C, con la mayor concentración en los 170° y 220°C y en el sistema Tepetates varían entre 170° a 430°C, con la mayor concentración entre 220° a 280°C como se puede observar en el gráfico de Th vs frecuencia (Figs. 22, 23 y 24).

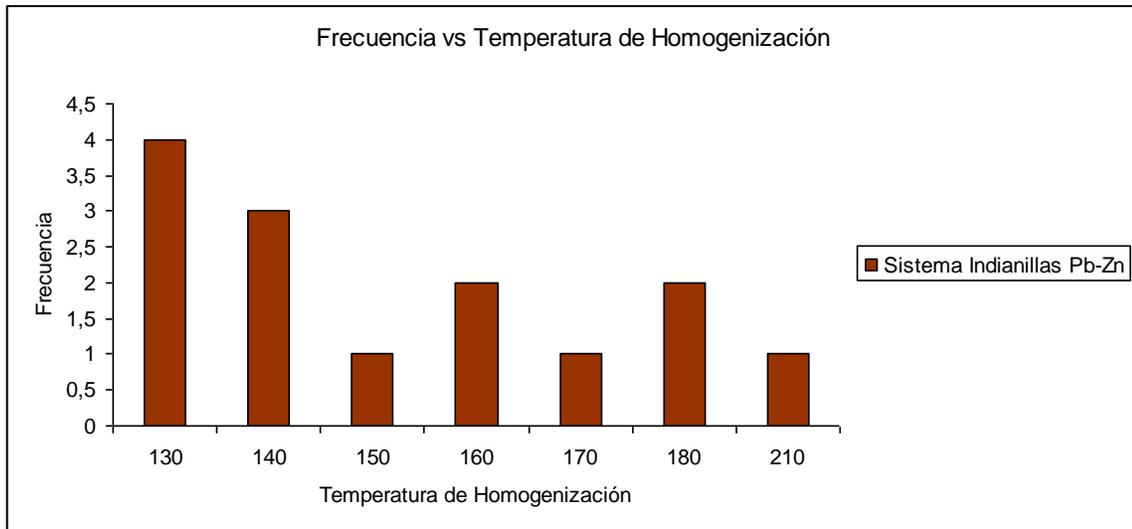


Fig. 22. Los valores de temperatura de homogenización obtenidos en el sistema Indianillas, donde se localizan la mina abandonada El Bote y las manifestaciones minerales Carnicerías II, El Rebozo y Carnicerías. Varía entre 130°C a 210°C, con la mayor concentración entre los 130° a 160°C.

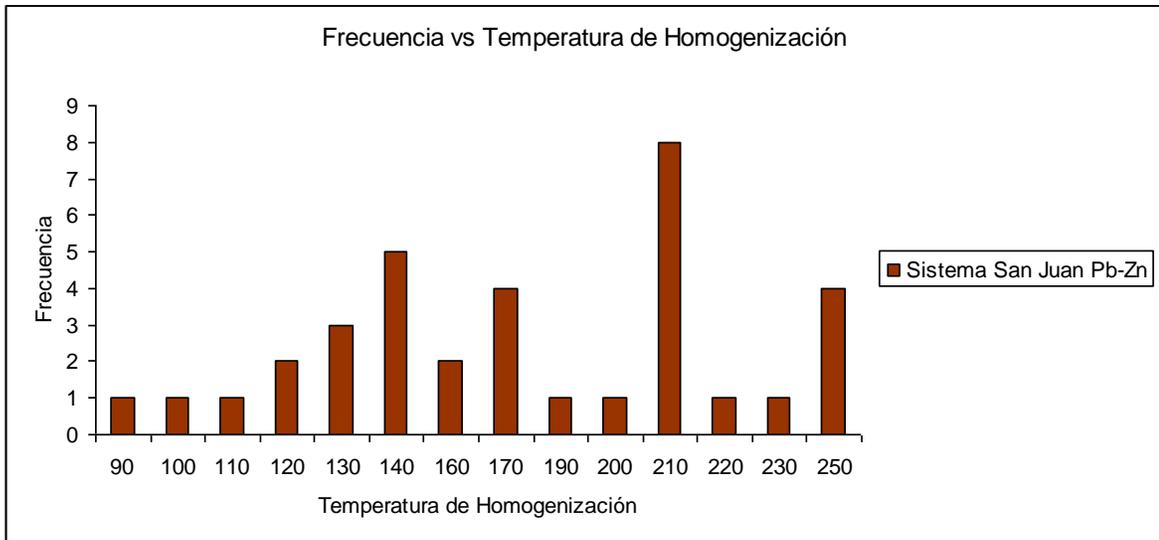


Fig. 23. Los valores de temperatura de homogenización obtenidos en el sistema San Juan donde se localizan la mina abandonada El Carmen y la manifestación mineral Los Tubos, varía entre 90°C a 250°C, con la mayor concentración los 140°C, 170°C y 210°C.

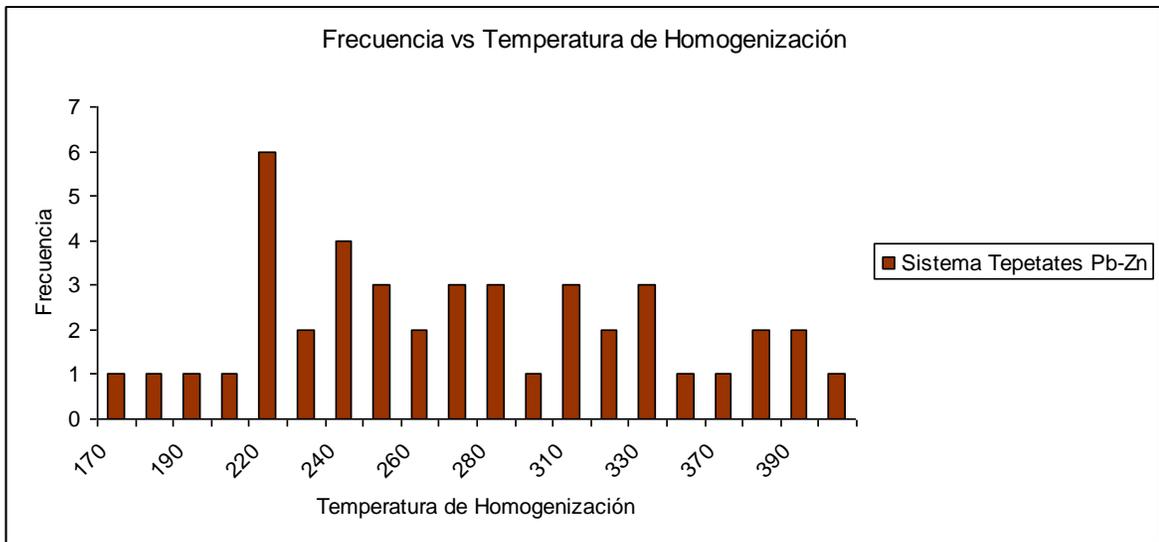


Fig. 24. Los valores de temperatura de homogenización obtenidos en el sistema Tepetates donde se localiza la manifestación mineral Tepetates, varía entre 170°C a 390°C, con la mayor concentración entre los 220° a 280°C.

La temperatura de homogenización versus salinidad para las inclusiones fluidas de los sistemas, muestra que las salinidades para los tres sistemas son muy parecidas, no en cambio la temperatura de homogenización la cual presenta valores más altos en el sistema Tepetates, donde se presenta el pórfido riolítico La Conquista (Fig. 25).

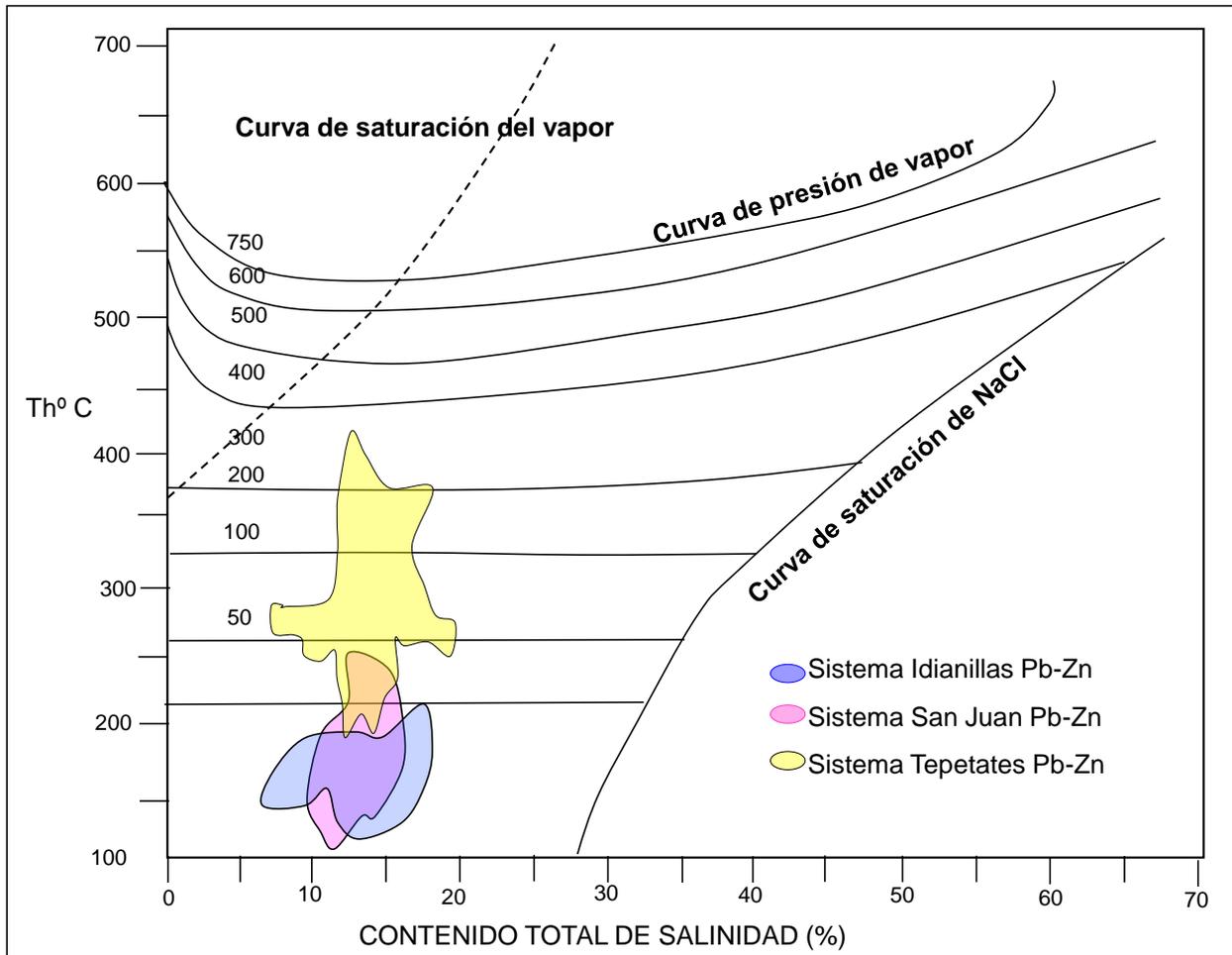


Fig. 25. Temperatura de homogenización vs salinidad de las áreas mineralizadas en los sistemas Indianillas, San Juan y Tepetates.

V. 6. 2. Resultados de geoquímica de exploración de la zona Pb-Zn

Durante los trabajos de terreno, en las visitas a las distintas faenas históricas, a áreas prospectivas y en zonas de alteración hidrotermal, se tomaron muestras de esquirlas de roca para efectos de un reconocimiento exploratorio. Las muestras tomadas tienen por objetivo el determinar la existencia de potenciales elementos metálicos de interés económico. Estas muestras fueron analizadas mediante digestión agua regia y análisis por absorción atómica por los elementos Ag, Au, Cu y Zn. Los resultados se presentan para cada área particular de estudio, descritos a continuación.

V. 6. 3. Áreas mineralizadas Pb-Zn

Los yacimientos existentes de Pb-Zn, asociados al sistema de fallas Indianillas corresponden la mina abandonada El Bote, las manifestaciones minerales Carnicerías II, El Reboso y Carnicerías. Al sistema San Juan corresponde la mina abandonada El Carmen y la manifestación mineral Los Tubos y al sistema Tepetates la manifestación mineral Tepetates (Fig. 17 y 18). Se presenta a continuación una descripción estas áreas con evidencia de alteración hidrotermal mencionadas.

V. 6. 4. Sistema Indianillas

V. 6. 4. 1. Mina abandonada El Bote. Se localiza en las inmediaciones de la rancharía Las Sidras de Turio, en las coordenadas 271878 E, 2131048 N (Fig. 17).

Consiste en una zona de cizalla, donde se emplazan vetillas delgadas de cuarzo de estructura bandeada. La veta principal tiene un rumbo de N 80° W y manto de 80° al SW, la cual se reconoció en superficie por una extensión de 170 m, con potencia de 0.5 m, engrosando hacia la parte superior hasta 1.5 m.

Localmente se reconoció en profundidad hasta los 60 m. En torno a esta veta ocurren seis vetillas de cuarzo gris con hematita y limonita de 1 cm de espesor, unificándose en profundidad a un espesor de 20 cm.

Al norte, a 30 m se tiene otra veta que presenta un rumbo de N 70° E con un manto de 70° al SE. Esta tiene un longitud de aproximadamente 70 m, con una potencia de 0.3 m ensanchándose hacia abajo a 1 m, en un desnivel de 30 m.

La mineralización hipógena de mena potencial corresponde a galena, esfalerita, escasa calcopirita y tetraedrita, con una ganga consistente en pirita, arsenopirita y cuarzo; la mineralización supérgena de mena potencial es limonita, la ganga mayoritariamente calcita.

La alteración hidrotermal es de moderada intensidad y corresponde principalmente a alteración argílica Intermedia, en la zona se caracteriza por la asociación caolinita-cuarzo, y se presenta afectando a rocas del miembro volcánico andesítico, muy ligada espacialmente a la alteración cuarzo-sericita.

Las rocas con este tipo de alteración presentan un color blanco amarillento. Y alteración Argílica Avanzada afecta a intrusivo El Hondable de composición granítico, la distribución de esta alteración es irregular en la zona este tipo de alteración se encuentra representado por asociaciones mineralógicas de cuarzo-alunita, y sílice oqueroso (Fig. 26).



Fig. 26. Mina abandonada El Bote, mineralización hipógena de mena potencial corresponde a galena, esfalerita, escasa calcopirita y tetraedrita. La mineralización se encuentra emplazada en una vetas.

La roca huésped de la mineralización es el cuerpo intrusivo de composición granito-granodiorítica El Hondable de edad Oligoceno, que en este sector intruye al Complejo Metamórfico Carácuaro de edad Jurásico Medio.

En esta mina se colectó la muestra (VM 85), para estudio minerográfico, reportando como componentes principales en un 50% contiene calcopirita en cristales xenomórficos formando un mosaico con pequeñas islas de galena; 20% de galena, en arreglos triangulares y en escalera asociada a la calcopirita; 12% de esfalerita, asociados a la calcopirita y con bordes de hematita; 2% de tetraedrita, en pequeños cristales granulares como inclusiones en la calcopirita.

La paragénesis está representada por pirita-galena-esfalerita-calcopirita-tetraedrita; mena polimetálica, ganga cuarzo y sucesión de cuarzo-pirita-galena-esfalerita-calcopirita-tetraedrita.

En este trabajo se tomaron cuatro muestras de esquirla de roca de las vetas para análisis geoquímicos cuantitativos, los resultados en la Tabla 10.

Tabla 10. Resultados de análisis geoquímicos de muestras de esquirla de roca, mina abandonada El Bote

MUESTRA	ESPESOR Metros	Ag g/t	Au g/t	Cu %	Pb %	Zn %
VM88	1.20	11.00	0.26	0.018	0.162	4.37
VM89	1.20	72.00	0.89	0.063	1.051	17.40
VM90	1.20	11.00	0.08	0.011	0.172	1.78
VM91	1.20	26.00	0.13	0.043	0.245	6.97
PROMEDIO	1.20	30.00	0.27	0.027	0.407	7.63

En este prospecto existen dos obras mineras. Antes de la bocamina se tiene un rebaje de 10 m de altura por 3 m de ancho; la bocamina corresponde con una frente de 6 m de longitud por 1.2 m de sección.

V. 6. 4. 2. Manifestación mineral Carnicerías II. Se localiza a 3 km al noroeste del poblado de San Diego Curucupatzeo, en las coordenadas 275090 E, 2134541 N (Fig. 17).

Consiste en una serie de vetillas de cuarzo y hematita de 1 cm de espesor, las vetillas están alineadas a una falla de rumbo N 70° W y manteo de 45° al NE. Esta tiene una longitud de aproximadamente 120 m con una potencia de 8 m. Localmente se reconoció en profundidad hasta los 40 m.

La mineralización hipógena de mena potencial corresponde a esfalerita, tetraedrita, con una ganga consistente en calcedonia y cuarzo; la mineralización supérgena de mena potencial es hematita y limolita, la ganga mayoritariamente calcita. La alteración hidrotermal es de moderada a intensa y corresponde principalmente a alteración propilítica y escasa sericita (Fig. 27).



Fig. 27. Manifestación mineral Carnicerías II, intensa oxidación y vetillas de cuarzo y hematita en stockwork.

La roca huésped de la mineralización son filitas y metaarenisca del Complejo Metamórfico Carácuaro de edad Jurásico Medio. Se colectaron dos muestras de esquirla de roca de las vetas para análisis geoquímico, los resultados en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultados de análisis geoquímicos de muestras de esquirla de roca, prospecto Carnicerías II

MUESTRA	ESPEJOR Metros	Ag g/t	Au g/t	Cu %	Pb %	Zn %
VM65	2.00	3.00	0.199	0.007	0.029	0.023
VM66	2.00	4.00	0.366	0.002	0.036	0.037
PROMEDIO	2.00	3.50	0.283	0.005	0.032	0.030

V. 6. 4. 3. Manifestación mineral El Reboso. Se localiza a 2.5 km al noroeste del poblado de San Diego Curucupatzeo, en las coordenadas 275761 E, 2134752 N (Fig. 17).

Consiste de una veta falla, de textura bandeada, con rumbo N 65° E y manteo de 80° al NW, la cual se reconoció en superficie por una extensión de 40 m con potencia de 1.5 m y localmente se reconoció en profundidad hasta los 30 m.

La mineralización hipógena de mena potencial corresponde a esfalerita, con una ganga consistente en cuarzo y calcita; la mineralización supérgena de mena potencial es hematita y limonita, la ganga mayoritariamente calcita. Las alteraciones hidrotermales son de moderada intensidad y corresponden principalmente a alteración propilítica.

La roca huésped de la mineralización es una metaandesita del Complejo Metamórfico Carácuaro de edad Jurásico Medio. En este trabajo se tomaron dos muestras de esquirla de roca de las vetas para análisis geoquímico cuantitativo, los resultados en la Tabla 12.

Tabla 12. Resultados de análisis geoquímicos de muestras de esquirla de roca, prospecto El Reboso

MUESTRA	ESPEJOR Metros	Ag g/t	Au g/t	Cu %	Pb %	Zn %
VM115	1.3	3.00	0.011	0.014	0.155	0.231
VM116	1.3	8.00	0.036	0.013	0.130	0.639
PROMEDIO	1.3	5.50	0.024	0.014	0.142	0.435

V. 6. 4. 4. Manifestación mineral Carnicerías. Se localiza a 2 km al noroeste del poblado San Diego Curucupatzeo, en las coordenadas 279134 E, 2136767 N (Fig. 17).

Consiste en una estructura conformando un stockwork, con dimensiones de 200 m de largo por 10 m de ancho y una profundidad aproximadamente de 60 m. El stockwork está controlado por fallamiento lateral, de rumbo N 80° E y manteo 85° al NW.

La mineralización hipógena de mena potencial corresponde a esfalerita, con una ganga consistente en cuarzo y calcita; la mineralización supérgena de mena es

hematita y limonita, con ganga conformada de calcita. En el área se presenta una moderada silicificación propilitización (Fig.28).



Fig. 28. Manifestación mineral Carnicerías, presenta silicificación y oxidación de la roca huésped.

La roca huésped de la mineralización es una metaandesita del Complejo Metamórfico Carácuaro de edad Jurásico Medio. Se tomaron cinco muestras de esquirla de roca de las vetas para análisis geoquímico cuantitativo, los resultados en la Tabla 13.

Tabla 13. Resultados de análisis geoquímicos de muestras de esquirla de roca, prospecto Carnicerías

MUESTRA	ESPEJOR Metros	Ag g/t	Au g/t	Cu %	Pb %	Zn %
VM102	2.00	2.00	0.009	0.014	N.D.	0.440
VM103	2.00	16.00	1.099	0.013	0.139	0.410
VM110	2.00	9.00	N.D.	0.047	0.192	0.821
VM111	2.00	8.00	0.433	0.020	0.202	0.565
VM112	2.00	9.00	0.333	0.020	0.846	7.060
PROMEDIO	2.00	8.80	0.375	0.023	0.276	1.860

V. 6. 4. 5. Potencial observado en la zona de Pb-Zn del sistema Indianillas

En base a la correlación de afloramientos, longitudes observadas, espesores promedio y profundidades, se calculó el recurso de Pb y Zn, contenido en las estructuras mineralizadas del sistema Indianillas, ponderadas por el promedio de ley de Pb y Zn, obtenida a partir de los ensayos realizados en las vetas (Tabla 14). Debe indicarse que esto es solamente una estimación gruesa en base a datos existentes, y que se requiere en forma posterior una toma de muestras sistemática de los sistemas de vetas, a una densidad de muestreo adecuado, que permita una estimación de recursos más acuciosa.

Tabla 14. Potencial de Pb- Zn in situ obtenido en las áreas mineralizadas del sistema Indianillas

LOCALIDAD	LONGITUD METROS	PROFUNDIDAD METROS	ESPESOR METROS	P.E	TONELAJE CONSIDERADO	LEY MEDIA DE PLOMO %	LEY MEDIA DE ZINC %	PLOMO CONTENIDO in situ (T)	ZINC CONTENIDO in situ (T)
El Bote	170	60	1.5	2.7	41 310	0.407	7.63	168	3 152
Carnicerías II	120	40	8	2.7	103 680	0.032	0.03	33	31
El Reboso	40	30	1.5	2.7	4 860	0.142	0.45	7	21
Carnicerías	200	60	10	2.7	324 000	0.276	1.86	894	6 026

V. 6. 5. Sistema San Juan

V. 6. 5. 1. Mina abandonada El Carmen. Se localiza en las coordenadas 278504 E, 2132941 N, a 2 km al este de la comunidad de San Diego Curucupatzeo (Fig. 17).

Consiste de una veta de cuarzo de textura bandeada, con un rumbo de N 30° E y manteo 80° al SE. En superficie se manifiesta en una longitud de 100 m, con una potencia 1 m, y estimada en profundidad a lo menos con 40 m.

La mineralización hipógena de mena potencial en superficie es escasa y/o errática, galena, blenda y trazas de calcopirita, con una ganga consistente en cuarzo y pirita; la mineralización supérgena es predominante, solamente ganga, representada por limonita y calcita (Fig. 29).



Fig. 29. Mina abandonada El Carmen, veta de cuarzo de textura bandeada, con mineralización hipógena de mena potencial en superficie es escasa y/o errática, galena, blenda y trazas de calcopirita.

La alteración hidrotermal consiste en silicificación, superpuesta por oxidación supérgena. Se caracteriza por la asociación cuarzo-sericita, su desarrollo es pervasivo y produjo la destrucción general de minerales de otras asociaciones de alteración como la alteración potásica y propilítica, la profusión de agregados microcristalinos de cuarzo-sericita destruye la textura de la roca y la convierte en una masa blanca, la textura la roca huésped se reconoce por la preservación de cristales de cuarzo, además presenta fuerte diseminado de sulfuros y alteración a sericita.

La roca de caja es un intrusivo granito-granodiorítico El Hondable de edad Oligoceno.

De acuerdo con antecedentes históricos, esta mina estuvo activa en 1895, a cargo de la compañía inglesa The Progreso Motive Copper Mining Co, extrayendo valores importantes de oro y plata. En antiguos informes se menciona que el yacimiento es vetiforme. En superficie, se colectaron dos muestras de esquirlas de roca de las vetas para análisis geoquímico, los resultados en la Tabla 15.

Tabla 15. Resultados de análisis geoquímicos de muestras de esquirla de roca, mina abandonada El Carmen

MUESTRA	ESPESOR Metros	Ag g/t	Au g/t	Cu %	Pb %	Zn %
VM136	1.00	2.00	N.D.	0.005	0.231	0.361
VM137	1.00	3.00	N.D.	0.003	0.318	0.284
PROMEDIO	1.00	2.50	N.D.	0.027	0.275	0.322

En este yacimiento existe un socavón actualmente aterrado. La bocamina esta labrada con un rumbo de N 20° E. Se desconocen sus dimensiones.

V. 6. 5. 2. Manifestación mineral Los Tubos. Se localiza a 2 km al noreste de la comunidad de San Diego Curucupatzeo, en las coordenadas 278617 E, 2133630 N (Fig. 17).

Consta de una veta de cuarzo, con estructura bandeada, con rumbo N 15° E y manteo de 85° al NW; en superficie presenta una longitud de 60 m, con una potencia variable entre 0.2 a 0.7 m y un desnivel de 25 m. La mineralización presenta una asociación espacial con una falla normal.

La mineralización hipógena de mena potencial consiste en galena y esfalerita con una ganga consistente en pirita y cuarzo; la mineralización supérgena de mena potencial está representada por limonita, con una ganga principal de calcita.

La alteración hidrotermal consiste en silicificación limitada a la zona de debilidad. Se caracteriza por la asociación cuarzo-sericita, su desarrollo es penetrativo y produjo la destrucción general de minerales de otras asociaciones de alteración como la alteración potásica y propilítica, la profusión de agregados microcristalinos de cuarzo-sericita destruye la textura de la roca y la convierte en una masa blanca, la textura la roca huésped se reconoce por la preservación de los ojos de cuarzo, además presenta fuerte diseminado de sulfuros y alteración a sericita.

La roca de caja es granito-granodiorita El Hondable de edad Oligoceno. En este prospecto se colectaron cuatro muestras de esquirlas de roca de las vetas para análisis geoquímico, los resultados en la Tabla 16.

Tabla 16. Resultados de análisis geoquímicos de muestras de esquirla de roca, manifestación mineral Los Tubos

MUESTRA	ESPEJOR Metros	Ag g/t	Au g/t	Cu %	Pb %	Zn %
VM138	0.70	5.00	0.266	0.004	0.558	1.481
VM139	0.70	17.00	0.433	0.012	0.485	1.571
VM140	0.70	1.00	0.021	0.003	0.211	0.111
VM141	0.70	2.00	0.031	0.004	0.113	0.226
PROMEDIO	0.70	6.25	0.188	0.006	0.341	0.847

V. 6. 5. 3. Potencial observado en la zona de Pb-Zn del sistema San Juan

En base a la correlación de afloramientos, longitudes observadas, espesores promedio y profundidades, se calculó el recurso de Pb y Zn, contenido en las estructuras mineralizadas del sistema San Juan, ponderadas por el promedio de ley de Pb y Zn, obtenida a partir de los ensayos realizados en las vetas (Tabla 17). Debe indicarse que esto es solamente una estimación gruesa en base a datos existentes, y que se requiere en forma posterior una toma de muestras sistemática de los sistemas de vetas, a una densidad de muestreo adecuado, que permita una estimación de recursos más acuciosa.

Tabla 17. Potencial de Pb-Zn in situ obtenido en las áreas mineralizadas del sistema San Juan

LOCALIDAD	LONGITUD METROS	PROFUNDIDAD METROS	ESPEJOR METROS	P.E	TONELAJE CONSIDERADO	LEY MEDIA DE PLOMO %	LEY MEDIA DE ZINC %	PLOMO CONTENIDO in situ (T)	ZINC CONTENIDO in situ (T)
El Carmen	100	40	1	2.7	10 800	0.275	0.322	30	34
Los Tubos	60	25	0.7	2.7	2 835	0.341	0.847	9	24

V. 6. 6. Sistema Tepetates

V. 6. 6. 1. Manifestación mineral Tepetates. Se localiza a 12.5 km al sureste de la comunidad de Villa Madero, en el sector centro norte del área de estudio, en las inmediaciones de la ranchería Las Sidras (Fig. 18).

La mineralización y alteración ocurre en el pórfido riolítico La Conquista, con disseminación de sulfuros de hierro. Presenta una forma irregular con estructura en stockwork; la alteración hidrotermal tiene una extensión de 5 km² aproximadamente (Fig. 30).



Fig. 30. Vetillas de tipo stockwork muy oxidas en pórfido riolítico, localizada en el cerro la Conquista.

En vetas existe presencia de calcita hojosa, lo que nos indica que ha ocurrido ebullición, como resultado de la pérdida de CO₂ y la subsiguiente saturación en calcita (Fig. 31).



Fig. 31. Calcita hojosa, la cual se le considera como evidencia textural indicativa de presencia de ebullición.

La mineralización y alteraciones varían en sentido vertical y horizontal. En la parte externa superior del pórfido La Conquista, presenta una alteración hidrotermal argílica avanzada una incipiente alteración sericítica y silicificación con escasa pirita. En esta localidad se obtuvieron cinco muestras de esquirla de roca de las vetas para análisis geoquímicas cuantitativos, los resultados en la Tabla 18.

Tabla 18. Resultados de análisis geoquímicos de muestras de esquirla de roca, prospecto Tepetates

MUESTRA	ESPEJOR Metros	Ag g/t	Au g/t	Cu %	Pb %	Zn %
VM33	1.00	1.00	0.021	0.003	0.004	0.011
VM34	1.00	1.00	N.D.	0.005	0.003	0.014
VM36	1.00	1.00	0.021	0.006	0.003	0.012
VM37	1.00	2.00	0.014	0.006	0.011	0.047
VM38	1.00	1.00	0.011	0.003	0.004	0.008
PROMEDIO	1.00	1.00	0.013	0.004	0.004	0.033

En su parte externa inferior, al oriente sobre el arroyo San Diego, presenta una moderada alteración sericítica, con hidróxidos de fierro dispuestos en forma de stockwork y escasa disseminación de sulfuros de Fe (pirita) y esfalerita. Se obtuvieron tres muestras de esquirla de roca de las vetas para análisis geoquímico, los resultados en la Tabla 19.

Tabla 19. Resultados de análisis geoquímicos de muestras de esquirla de roca, prospecto Tepetates

MUESTRA	ESPEJOR Metros	Ag g/t	Au g/t	Cu %	Pb %	Zn %
VM39	1.00	2.00	0.031	0.003	0.005	0.014
VM40	1.00	5.00	0.009	0.003	0.006	0.018
VM32	1.00	2.00	0.009	0.009	0.005	0.022
PROMEDIO	1.00	3.00	0.016	0.004	0.006	0.018

En el extremo sureste en el rancho Las Sidras, presenta una moderada alteración argílica y sericítica, mostrando mayor silicificación y disseminación de sulfuros de fierro. En esta localidad se obtuvieron cuatro muestras de esquirla de roca de las vetas para análisis geoquímicos, los resultados en la Tabla 20.

Tabla 20. Resultados de análisis geoquímicos de muestras de esquirla de roca, prospecto Tepetates

MUESTRA	ESPEJOR Metros	Ag g/t	Au g/t	Cu %	Pb %	Zn %
VM42	1.00	1.00	0.014	0.006	0.002	0.022
VM43	1.00	2.00	0.047	0.005	0.007	0.028
VM44	1.00	1.00	0.017	0.004	0.002	0.024
VM45	1.00	3.00	0.048	0.008	0.022	0.264
PROMEDIO	1.00	1.80	0.020	0.003	0.013	0.084

En la Tabla. 21, se presentan en forma resumida los resultados obtenidos de los estudios minerográficos a algunas muestras de la zona, en la que tienen, esfalerita, galena, tetrahedrita, calcopirita, especies de sulfuros claves para caracterizar los tipos de depósitos epitermales de sulfuración intermedia y/o basa sulfuración.

Tabla 21. Resultados obtenidos de los estudios mineragráficos

Resultados Mineragráfico					
ÁREA Pb-Zn	PARAGENESIS	GANGA	SUCESIÓN	ORIGEN	MINERALES
EL BOTE-A	Hematita	Calcita	Calcita-Hematita	Hidrotermal	Hematita 100%
EL BOTE-B	Pirita- Esfalerita	Calcita- Cuarzo	Calcita-Cuarzo- Pirita-Cobre- Plomo-Zinc	Hidrotermal	Pirita 70% Esfalerita 20% Calcopirita 5% Galena 5%
EL BOTE-C	Pirita-Galena- Esfalerita- Calcopirita- Tetrahedrita	Cuarzo	Cuarzo, Pirita, Galena, Esfalerita, Calcopirita, Tetrahedrita	Hidrotermal	Calcopirita 50% Galena 20% Esfalerita 12% Tetrahedrita 2%
CARNICERIAS-B	Goethita	Cuarzo-Sericita	Cuarzo-Goethita	Gossan	Goethita 100%
CARNICERIAS-C	Goethita	Cuarzo	Cuarzo-Goethita	Gossan	Goethita 100%
AL NORTE DE CARNICERIAS	Cuarzo-Pirita	Cuarzo- Plagioclasa	Cuarzo, Plagioclasa,Pirita	Posiblemente hidrotermal	Pirita 100%

En la Tabla. 22, se presentan el resultado de dos muestras a las que se les realizó un estudio de difracción de rayos X, en la que se tienen la composición mineralógica, de alteraciones hidrotermales, caracterizándose la alteración propilítica y la argílica.

Tabla 22. resultados obtenidos de difracción de rayos x, en tres muestras.

Difracción de rayos x	
SITIO	ELEMENTO
EL BOTE	ANDESINA
	LABRADORITA
	CLORITA
	CALCITA
	CAOLÍN
	ALUNITA
AL SUR DE TEPETATES	CUARZO
	ORTOCLASA
	OLIGOCLASA
	CALCITA
	ANTOFILITA
	ALUNITA
CARNICERÍAS	TREMOLITA
	ACTINOLITA
	OLIGOCLASA
	ANDESINA
	CALCITA
	CAOLÍN
	CLORITA
PIRITA	

V. 6. 6. 2. Potencial observado en la zona de Pb-Zn del sistema Tepetates

En base a la correlación de afloramientos, longitudes observadas, espesores promedio y profundidades, se calculó el recurso de Pb y Zn, contenido en las estructuras mineralizadas del sistema Tepetates, ponderadas por el promedio de ley de Pb y Zn, obtenida a partir de los ensayos realizados en las vetas (Tabla 23). Debe indicarse que esto es solamente una estimación gruesa en base a datos existentes, y que se requiere en forma posterior una toma de muestras sistemática de los sistemas de vetas, a una densidad de muestreo adecuado, que permita una estimación de recursos más acuciosa.

Tabla 23. Potencial de Pb-Zn in situ obtenido en las áreas mineralizadas del sistema Tepetates

LOCALIDAD	LONGITUD METROS	PROFUNDIDAD METROS	ESPESOR METROS	P.E	TONELAJE CONSIDERADO	LEY MEDIA DE PLOMO %	LEY MEDIA DE ZINC %	PLOMO CONTENIDO in situ (T)	ZINC CONTENIDO in situ (T)
Tepetates	5000	300	3000	2.7	1 215 000 000	0.007	0.045	85 050	546 750

V. 7. ZONA Au-Ag

La mineralización Au-Ag de la zona está controlada por el sistema de fallas Las Truchas de rumbo N 40°-80° E con manteos 50°-80° NW y rumbos N 70° W con manteos al 45° NE. Estas fallas presentan potencias de 0.5 m a 4 m, con desarrollo de vetillas de cuarzo y calcita formando estructuras en stockwork (Fig. 32).

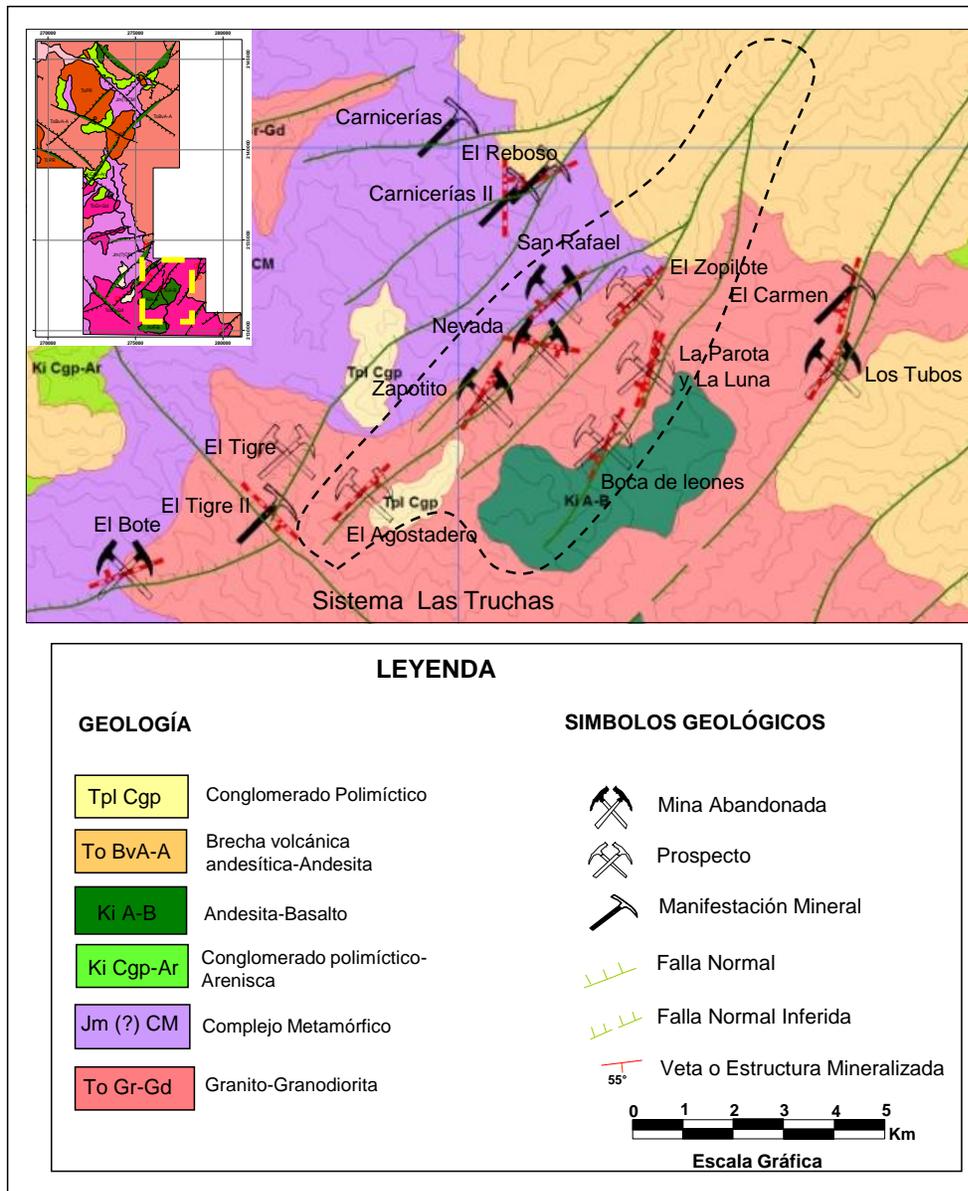


Fig. 32. Los yacimientos de Au-Ag existentes se encuentran asociados al sistema Las Truchas y corresponden a las minas abandonadas El Zapotito, La Nevada, San Rafael y los prospectos El Agustadero, La Parota, La Luna, Boca de Leones y El Zopilote.

La mineralización hipógena consiste en oro posiblemente contenido en la pirita, galena argentífera, esfalerita, calcopirita y escasa tetraedrita, la ganga es pirita, arsenopirita, calcita y cuarzo; la mineralización supérgena consiste en limonita con oro libre, malaquita y chalcantita, la ganga consiste principalmente en calcita, cuarzo y sucesión de cuarzo-pirita, cuarzo-gohetita.

La alteración hidrotermal es de intensidad moderada a alta y corresponde principalmente a argílica y propilítica. La alteración argílica se caracteriza por la asociación caolinita-cuarzo, cuarzo-alunita y sílice oquerosa, que afecta a un stock granítico-granodiorítico El Hondable y a rocas del miembro volcánico andesítico del Complejo Metamórfico Carácuaro, de edad Jurásico. Las rocas con este tipo de alteración presentan un color blanco amarillento. La alteración propilítica se caracteriza por la asociación clorita-epidota y afecta a las unidades de andesitas y al intrusivo El Hondable. Se caracteriza por afectar tanto a la masa fundamental como a los fenocristales de las andesitas.

La roca huésped de la mineralización es el cuerpo intrusivo de composición granito-granodiorítica El Hondable de edad Oligoceno, que en este sector intruye al Complejo Metamórfico Carácuaro de edad Jurásico Medio.

V. 7. 1. Resultados de microtermometría de inclusiones fluidas de la zona Au-Ag

Los resultados microtermométricos detallados de cada muestra se presentan en el anexo C. En la Tabla 24 se presentan en resumen los datos obtenidos de temperatura de homogenización, temperatura de fusión y salinidad en % NaCl equivalente de la mineralización presente en el sistema Las Truchas.

TABLA. 24. Datos promedio de los valores de las inclusiones fluidas

ZONA	No. DE MUESTRA	TEMPERATURA DE HOMOGENIZACIÓN	TEMPERATURA DE FUSIÓN	SALINIDAD % NaCl
Au-Ag	102	186.8	-10.5	14

Los valores de salinidad obtenidos, varían entre 6 a 24% NaCl, con la mayor concentración entre los 10 a 14% NaCl eq (Fig. 33).

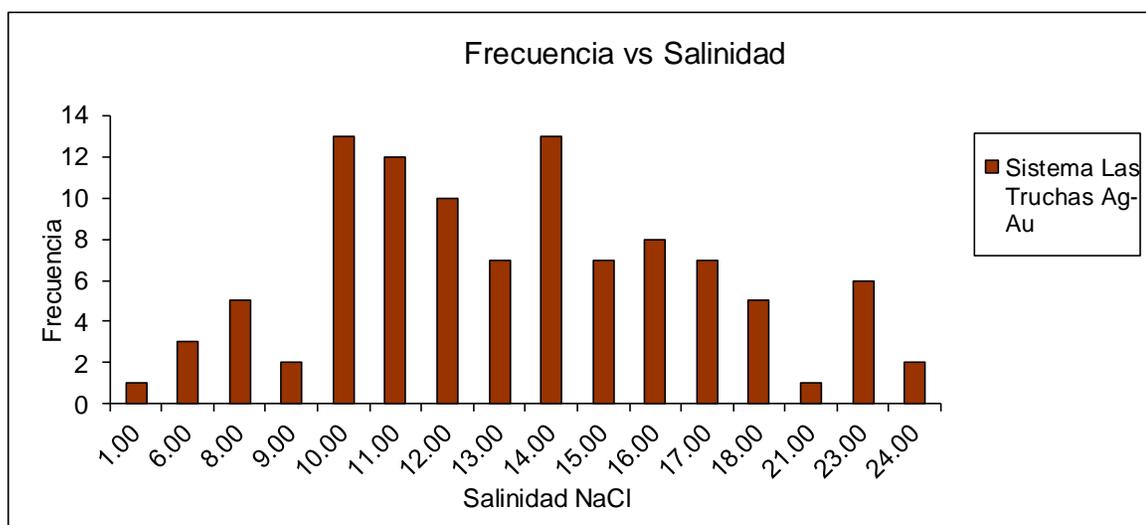


Fig. 33. Los valores de salinidad obtenidos en el sistema Las Truchas, donde se localizan las minas abandonadas El Zapotito, La Nevada, San Rafael y los prospectos El Agostadero, La Parota, La Luna, Boca de Leones y El Zopilote. La salinidad varía entre 6 a 24 % NaCl, con la mayor concentración entre los 10 a 14 % NaCl.

Los valores de temperatura de homogenización obtenidos varían entre 130° y 370° C, con la mayor concentración en los 140° y 180°C, se puede observar en el gráfico de Th Vs frecuencia (Fig. 34).

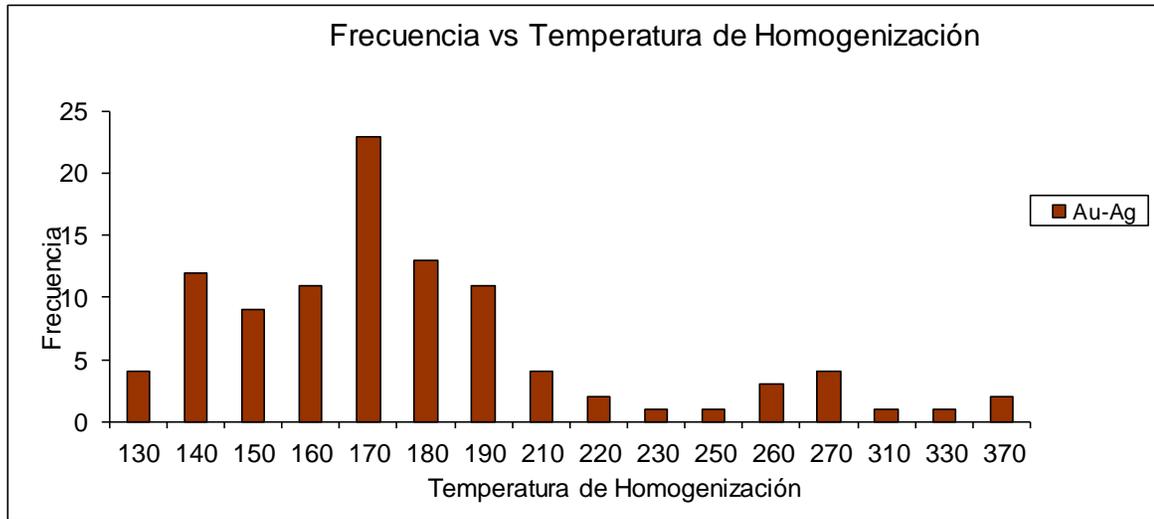


Fig. 34. Los valores de temperatura de homogenización obtenidos en el sistema Las Truchas, donde se localizan las minas abandonadas El Zapotito, La Nevada, San Rafael y los prospectos El Agostadero, La Parota, La Luna, Boca de Leones y El Zopilote. La Th varía entre 130° a 370°C, con la mayor concentración entre los 170° a 190°C.

La temperatura de homogenización versus salinidad para las inclusiones fluidas se observa en la (Fig. 35).

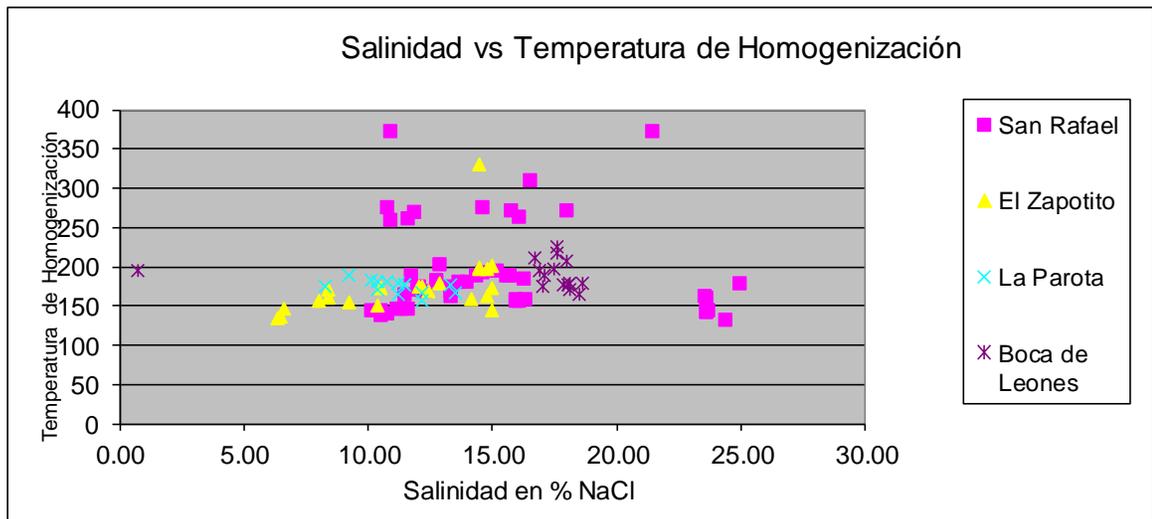


Fig. 35. Los valores de temperatura de homogenización versus salinidad de las áreas mineralizadas del sistema Las Truchas (Au-Ag), donde se localizan las minas abandonadas El Zapotito, La Nevada, San Rafael y los prospectos El Agostadero, La Parota, La Luna, Boca de Leones y El Zopilote.

V. 7. 2. Resultados de geoquímica de exploración de la zona Au-Ag

Durante los trabajos de terreno, en las visitas a las distintas faenas históricas, a áreas prospectivas y en zonas de alteración hidrotermal, se tomaron muestras de esquirlas de roca para efectos de un reconocimiento exploratorio, en las minas abandonadas El Zapotito, La Nevada y San Rafael y en los prospectos El Agostadero, La Parota, La Luna, Boca de Leones y El Zopilote. Las muestras tomadas tienen por objetivo el determinar la existencia de potenciales elementos metálicos de interés económico. Estas muestras fueron analizadas mediante digestión agua regia y análisis por absorción atómica por los elementos Ag, Au, Cu y Zn. Los resultados se presentan para cada área particular de estudio, descritos a continuación.

V. 7. 3. Áreas mineralizadas de Au-Ag

Los yacimientos de Au-Ag existentes se encuentran asociados al sistema de fallas Las Truchas y corresponden a las minas abandonadas El Zapotito, La Nevada, San Rafael y los prospectos El Agostadero, La Parota, La Luna, Boca de Leones y El Zopilote (Fig. 32).

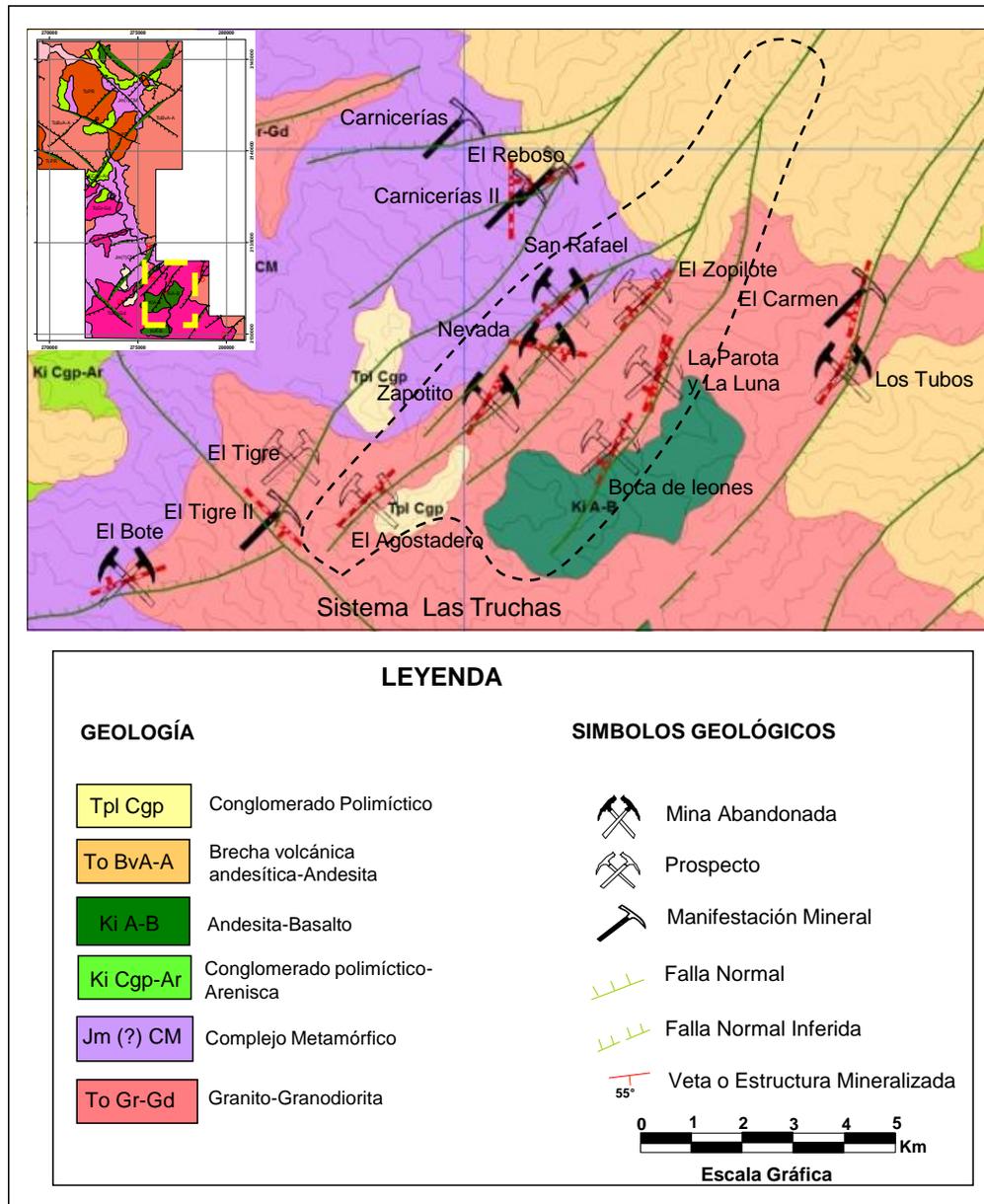


Fig. 32. Los yacimientos de Au-Ag existentes se encuentran asociados al sistema Las Truchas y corresponden a las minas abandonadas El Zapotito, La Nevada, San Rafael y los prospectos El Agostadero, La Parota, La Luna, Boca de Leones y El Zopilote.

V. 7. 4. Sistema Las Truchas

V. 7. 4. 1. Mina abandonada El Zapotito. Se ubica en las coordenadas 275248 E, 2132666 N, a 1 km al suroeste de la comunidad de San Diego Curucupatzeo (Fig. 32).

Consiste de dos vetas de cuarzo con sulfuros emplazados en fallas normales; la veta principal presenta un estructura bandeada, con rumbo N 30° E y manto 45° al NW. Tiene una longitud de 300 m con potencia de 0.4 m a 1.5 m y reconocido 60 m en desnivel; la segunda veta podría ser un ramal de la principal, tiene un rumbo de N 80° W y manto 85° al SE. Tiene una longitud de aproximadamente 60 m, con una potencia de 0.8 m.

La mineralización hipógena de mena potencial corresponde a oro contenido en la pirita, galena argentífera, esfalerita, calcopirita y escasa tetraedrita, con una ganga consistente en pirita, arsenopirita y cuarzo; la mineralización supérgena de mena potencial es limonita con oro libre, malaquita y chalcantita, la ganga mayoritariamente calcita. La alteración hidrotermal corresponde principalmente a alteración argílica y se caracteriza por la asociación caolinita-cuarzo, ligada espacialmente a la alteración cuarzo-sericita, cuarzo-alunita, y sílice oqueroso (Fig. 36).

La roca huésped de la mineralización es el cuerpo intrusivo de composición granito-granodiorítica El Hondable, de edad Oligoceno.

En esta mina se tomó la muestra (VM104), para estudio minerográfico, reportando como minerales sulfuros principales son: pirita 98%, que se presenta en secciones cuadradas, rectangulares fracturados y carcomidos, rellenando oquedades en el cuarzo. Se determinó como paragénesis pirita, la ganga cuarzo y sucesión de cuarzo-pirita. La mineralización ocurre en vetas. En este trabajo se tomaron cinco muestras de esquirlas de roca de las vetas para análisis geoquímicos cuantitativos, los resultados en la Tabla 25.



Fig. 36. Mina abandonada El Zapotito, vetas de cuarzo con sulfuros emplazados con potencia de 0.4 m a 0.8 (a). Detalle de la veta, la mineralización hipógena de mena potencial corresponde a oro posiblemente contenido en la pirita galena argentífera, esfalerita, calcopirita y escasa tetraedrita (b).

Tabla 25. Resultados de análisis geoquímicos de muestras de esquirla de roca, prospecto El Zapotito

MUESTRA	ESPEJOR Metros	Ag g/t	Au g/t	Cu %	Pb %	Zn %
VM105	1.50	748.00	1444.00	0.156	1.301	1.641
VM106	1.50	21.00	12.80	0.015	0.056	0.035
VM107	1.50	170.00	322.80	0.042	0.405	0.055
VM108	1.50	182.00	40.50	0.221	0.172	0.174
VM109	1.50	671.00	33.70	0.639	0.358	0.117
PROMEDIO	1.50	358.40	370.76	0.215	0.458	0.404

Mediante análisis microscopia de barrido electrónico y en conjunto con estudios petrográficos, se confirmó la existencia de eléctrum (Au, Ag) y tetraedrita (Cu, Sb); Anexo D (Fig. 37).

En la localidad existen dos obras mineras, la primera es un socavón de 40 m de longitud, iniciando con un rumbo N 15° E y cambiando de rumbo N 80° W a los 10 m; el segundo socavón es de una longitud de 30 m con un rumbo de N 30° E.

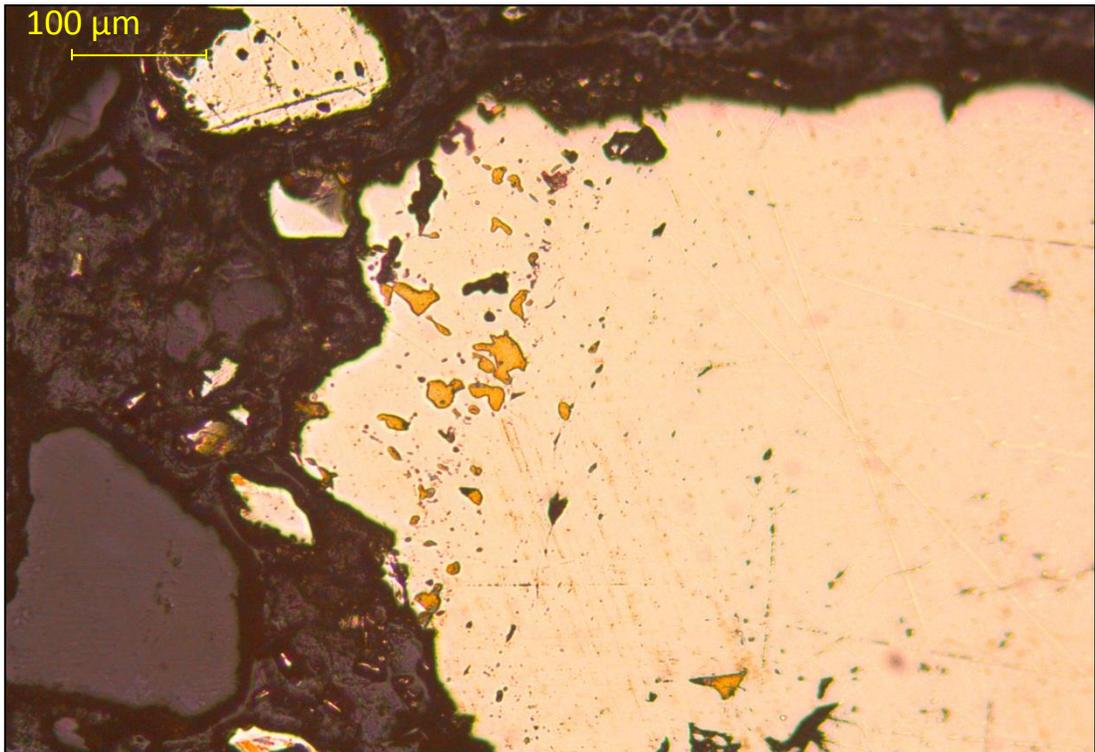
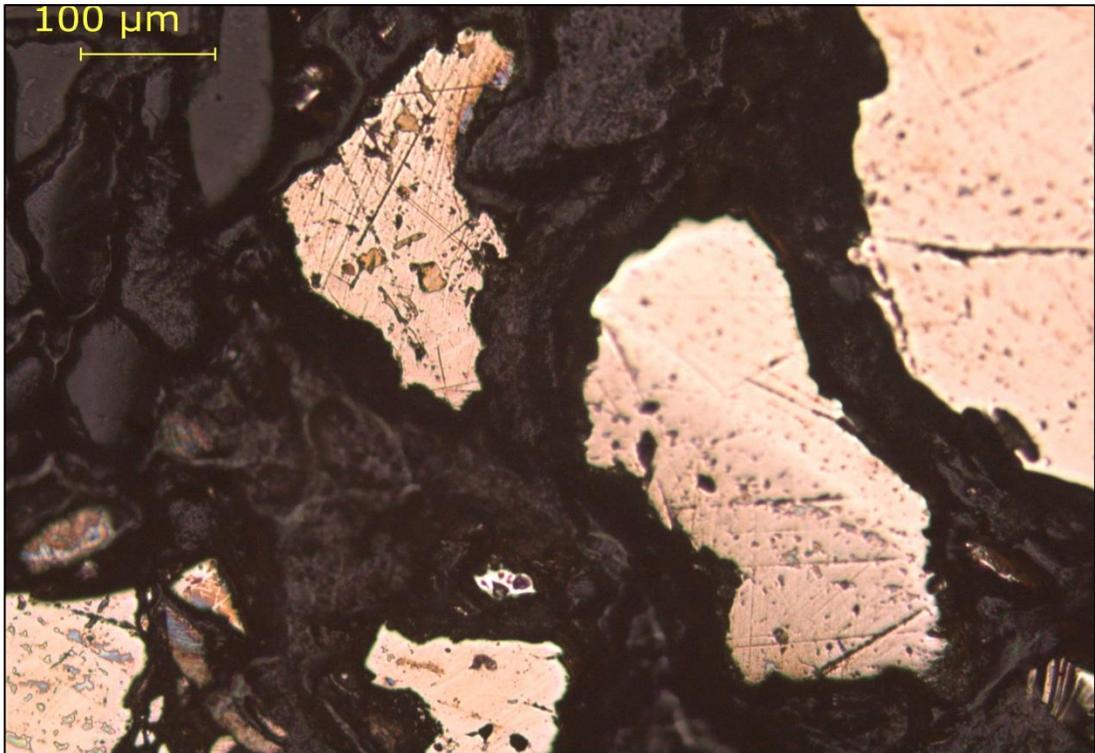


Fig. 37. Mina abandonada El Zapotito, la mineralización hipógena de mena potencial corresponde a oro contenido en fracturas en la pirita.

V. 7. 4. 2. Mina abandonada La Nevada. Se localiza en los alrededores de la comunidad de San Diego Curucupatzeo, en las coordenadas 275768 E, 2133124 N (Fig. 32).

El yacimiento consiste de una veta de forma irregular, textura bandeada y diseminada, emplazada en una falla de rumbo N 80° W y un manteo de 80° al SW; en superficie se manifiesta en una longitud mayor a 80 m, con potencia media de 0.4 a 1 m y reconocido a profundidad de 40 m.

La mineralización hipógena de mena potencial es oro contenido en la pirita, argentita, galena y esfalerita, así como sulfosales de plata y plomo, con una ganga consistente en pirita, arsenopirita y cuarzo; la mineralización supérgena de mena potencial es limonita, la ganga mayoritariamente calcita. Existe azufre nativo.

La alteración hidrotermal observada en la mina se caracteriza por la asociación caolinita-cuarzo, y se presenta afectando a rocas del miembro volcánico andesítico, muy ligada espacialmente con alteración cuarzo-sericita. Se interpreta una superposición de eventos tanto hipógenos como supérgenos. Este tipo de alteración es selectivo, afectando a plagioclasas, y en vetillas de caolinita. Las rocas con este tipo de alteración presentan un color blanco amarillento.

La roca huésped corresponde a andesita, brecha y toba andesítica de la secuencia del Arco Amengarícuaro, de edad Cretácico Inferior. Estas rocas están localmente intruidas por granito-granodiorita El Hondable de edad Oligoceno. Se colectaron en superficie dos muestras de esquirlas de roca de las vetas para análisis geoquímico cuantitativo, los resultados en la Tabla 26.

Tabla 26. Resultados de análisis geoquímicos de muestras de esquirla de roca, mina abandonada La Nevada

MUESTRA	ESPESOR Metros	Ag g/t	Au g/t	Cu %	Pb %	Zn %
VM113	0.70	14.00	0.466	0.004	0.143	0.178
VM114	0.70	185.00	1.499	0.012	2.731	0.231
PROMEDIO	0.70	99.50	0.982	0.008	1.437	0.205

En la localidad existe un socavón actualmente derrumbado, lo cual, impidió tomar datos de la estructura mineralizada dentro de la obra.

V. 7. 4. 3. Mina abandonada San Rafael. Esta se localiza en las inmediaciones del poblado de San Diego Curucupatzeo, en las coordenadas 275893 E, 2133635 N, área conocida como el Brinco del Diablo (Fig. 32).

La mineralización está controlada por una falla normal, donde se emplaza una veta de cuarzo de forma irregular, con textura masiva y diseminada. La veta principal tiene un rumbo de N 40° E y manteo de 80° al NW, con una extensión reconocida de 150 m con potencia de 0.5 m, engrosando en la parte superior hasta 2 m. Localmente se reconoció en profundidad de hasta los 70 m.

La mineralización hipógena de mena potencial corresponde a oro contenido en la pirita, escasa calcopirita, galena y esfalerita, con una ganga consistente en pirita, arsenopirita y cuarzo; la mineralización supérgena de mena potencial es limonita, la ganga mayoritariamente calcita (Fig. 38).



Fig. 38. Mina abandonada San Rafael, mineralización controlada por una falla normal, donde se emplaza una veta de cuarzo de forma irregular, con textura masiva y diseminada.

La alteración hidrotermal es moderada a intensa y corresponde principalmente a alteración filica y argílica. Se colectaron al interior de la obra, cinco muestras de esquirla de roca de las vetas para análisis geoquímico, los resultados en la Tabla 27.

Tabla 27. Resultados de análisis geoquímicos de muestras de esquirla de roca, prospecto San Rafael

MUESTRA	ESPEJOR Metros	Ag g/t	Au g/t	Cu %	Pb %	Zn %
VM118	1.00 m	3.00	0.551	0.008	0.008	0.031
VM119	1.00 m	3.00	0.441	0.006	0.011	0.031
VM120	1.00 m	6.00	2.001	0.012	0.016	0.035
VM121	1.00 m	3.00	0.701	0.003	0.009	0.011
VM122	1.00 m	1.00	0.415	0.005	0.003	0.021
PROMEDIO	1.00 m	3.20	0.821	0.007	0.009	0.026

En este yacimiento existe un socavón con dimensiones de 100 m de longitud y un rumbo de S 25° W.

V. 7. 4. 4. Prospecto El Agostadero. Se localiza a 3 km al suroeste del poblado San Diego Curucupatzeo, en las coordenadas 274121 E, 2131749 N (Fig. 32).

Consiste en una veta de cuarzo, estructura bandeada, con rumbo N 45° E, y manteo 40° al SE; en superficie se manifiesta en una longitud de 120 m con potencia de 1 m y reconocido 50 m en desnivel. La estructura mineralizada está controlada por una zona de cizalla, con rumbo de N 70° E y manteo 60° al NW.

La mineralización hipógena de mena potencial no se observa, la ganga consistente en pirita, cuarzo y calcita; la mineralización supérgena de mena potencial corresponde a hematita y limonita y una ganga de calcita. La alteración hidrotermal corresponde a escasa cloritización y propilitización.

La roca huésped corresponde a un conglomerado polimíctico, correspondiente al Conglomerado Acuyo de edad Cretácico Inferior. Se colectaron tres muestras de esquirla de roca de las vetas para análisis geoquímico en superficie, los resultados en la Tabla 28.

Tabla 28. Resultados de análisis geoquímicos de muestras de esquirla de roca, prospecto El Agostadero

MUESTRA	ESPEJOR Metros	Ag g/t	Au g/t	Cu %	Pb %	Zn %
VM 99	1.00	1.00	0.190	0.003	0.005	0.027
VM100	1.00	1.00	0.170	0.014	0.002	0.008
VM101	1.00	12.00	2.133	0.245	0.563	2.181
PROMEDIO	1.00	4.60	0.831	0.087	0.190	0.730

V. 7. 4. 5. Prospecto La Parota. Se localiza en las inmediaciones del poblado de San Diego Curucupatzeo, en las coordenadas 276756 E, 2132936 N (Fig. 32).

Consiste de una veta de cuarzo de textura bandeada y crustiforme, con rumbo N 10° E, y un manteo de 55° al NW; en superficie se manifiesta en una longitud mayor a 60, con una potencia media de 1 m y reconocido en profundidad hasta los 20 m. La mineralización está asociada con estructuras de fallamiento distensivo.

La mineralización hipógena consiste de argentita, galena, esfalerita y tetraedrita, la ganga es pirita, arsenopirita y cuarzo; la mineralización supérgena de mena potencial corresponde a hematita y limolita y una ganga de calcita (Fig. 39).



Fig. 39. Prospecto La Parota, veta de cuarzo de textura bandeada y crustiforme.

Las alteraciones hidrotermales corresponden a propilitización e incipiente sericita.

La roca huésped corresponde a un paquete volcánico de andesita verde y basalto, correspondiente al Arco Amengaricuario de edad Cretácico Inferior, la cual está afectada por el cuerpo intrusivo de composición granítica El Hondable, de edad Oligoceno.

En este trabajo se colectaron cinco muestras de esquirla de roca de las vetas para análisis geoquímico, los resultados en la Tabla 29.

Tabla 29. Resultados de análisis geoquímicos de muestras de esquirla de roca, prospecto La Parota

MUESTRA	ESPESOR Metros	Ag g/t	Au g/t	Cu %	Pb %	Zn %
VM131	1.00	6.00	2.600	0.022	0.007	0.034
VM132	1.00	3.00	0.833	0.016	0.012	0.014
VM133	1.00	4.00	0.241	0.007	0.006	0.006
VM134	1.00	10.00	0.466	0.008	0.015	0.381
VM135	1.00	3.00	0.233	0.017	0.006	0.004
PROMEDIO	1.00	5.20	0.875	0.014	0.009	0.088

V. 7. 4. 6. Prospecto La Luna. Se localiza a 25 m de la mina La Parota, en las coordenadas 276778 E, 2132888 N (Fig. 32).

Consiste de una veta de cuarzo, textura bandeada, con rumbo de N 20° E y un manto variable entre 60° y 40° al NW; en superficie se manifiesta en una longitud de 180 m, con potencia variable entre 0.3 a 0.8 m y un desnivel de 50 m.

La mineralización hipógena de mena potencial consiste en galena, esfalerita, y trazas de calcopirita, con una ganga consistente en pirita, arsenopirita y cuarzo; la mineralización supérgena de mena potencial consiste en hematita y limolita, junto con una ganga mayoritaria de calcita (Fig. 40).

Las alteraciones hidrotermales son: silicificación y propilitización. Esta asociación está muy restringida, especialmente en el área de estudio, afectando a la roca huésped. Se caracteriza por clorita como alteración de máficos, principalmente biotita, y

sericita como alteración de fenocristales de plagioclasa. La roca encajonante es granito-granodiorita El Hondable, de edad Oligoceno.



Fig. 40. Prospecto La Luna, consiste de una veta de cuarzo, textura bandeada, con rumbo de N 20° E y un manteo variable entre 60° y 40° al NW.

Se colectaron dos muestras de esquirla de roca de las vetas para análisis químico, los resultados en la Tabla 30.

Tabla 30. Resultados de análisis geoquímicos de muestras de esquirla de roca, prospecto La Luna

MUESTRA	ESPEJOR Metros	Ag g/t	Au g/t	Cu %	Pb %	Zn %
VM129	0.50	112.00	0.466	0.014	1.181	3.701
VM130	0.50	30.00	0.433	0.012	0.738	5.031
PROMEDIO	0.50	71.00	0.444	0.013	0.959	4.366

V. 7. 4. 7. Prospecto Boca de Leones. Se localiza en las coordenadas 276353 E, 2132249 N, a 1 km al sur de la comunidad de San Diego Curucupatzeo en los alrededores de la ranchería Tepeguaje (Fig. 32).

Consiste de una veta de cuarzo, de textura bandeada. Localmente presenta un rumbo de N 25° E y manteo de 75° al NW; en superficie se manifiesta en una longitud de 60 m con una potencia de 0.8 m y desnivel de 40 m. Existen vestigios de la existencia de un tajo de 1.5 m de ancho por 1. 8 m de alto.

La mineralización hipógena consiste de esfalerita, escasa galena y trazas de calcopirita, con una ganga consistente en pirita, cuarzo y calcita; la mineralización supérgena consiste en trazas de malaquita y limolita, con una ganga de calcita.

La alteración hidrotermal observada se caracteriza por la asociación caolinita-cuarzo, se presenta afectando en un área muy restringida a la roca huésped del miembro volcánico andesítico y al granito-granodiorita El Hondable.

La roca huésped es el granito-granodiorita El Hondable del Oligoceno que en este sector intruye al Complejo Metamórfico Carácuaro de edad Jurásico Medio.

Se colectaron dos muestras de esquirla de roca de las vetas para análisis químico cuantitativo, los resultados en la Tabla 31.

Tabla 31. Resultados de análisis geoquímicos de muestras de esquirla de roca, prospecto Boca de Leones

MUESTRA	ESPEJOR Metros	Ag g/t	Au g/t	Cu %	Pb %	Zn %
VM123	0.80	5.00	0.159	0.012	0.044	0.091
VM124	0.80	9.00	0.333	0.015	0.089	0.177
PROMEDIO	0.80	7.00	0.246	0.014	0.133	0.134

V. 7. 4. 8. Prospecto El Zopilote. Se localiza en las coordenadas 276651 E, 2133639 N, en las inmediaciones del poblado de San Diego Curucupatzeo (Fig. 32).

Consiste en una veta de cuarzo de textura bandeada. En un crestón fuera de la mina, presenta un rumbo de N 40° E y manteo de 85° al NW; en superficie se manifiesta en una longitud de 80 m, con una potencia variable entre 0.4 a 0.8 m y una profundidad aproximada de 20 m. La mineralización presenta una clara asociación espacial con fallas distensivas.

La mineralización hipógena de mena potencial consiste en esfalerita, escasa galena y calcopirita, con una ganga consistente en pirita, arsenopirita y cuarzo; la mineralización supérgena de mena es limonita, con una ganga conformada por calcita.

La alteración hidrotermal presente es la propilítica de asociación clorita-epidota que se presenta en micro-vetillas afectando tanto a la matriz de la roca como a los fenocristales de las unidades de andesitas y al intrusivo El Hondable.

La roca de caja es una andesita de textura afanítica de la unidad Volcánica Paránguaro, intruido por un cuerpo de granito-granodiorita El Hondable, ambas del Oligoceno.

En la parte superficial de la veta se tomaron dos muestras de esquirlas de roca de las vetas para análisis químico cuantitativo, los resultados en la Tabla 32.

Tabla 32. Resultados de análisis geoquímicos de muestras de esquirla de roca, prospecto El Zopilote

MUESTRA	ESPEJOR Metros	Ag g/t	Au g/t	Cu %	Pb %	Zn %
VM127	0.60	6.00	0.121	0.001	0.055	0.296
VM128	0.60	4.00	0.118	0.015	0.086	0.355
PROMEDIO	0.40	5.00	0.120	0.008	0.071	0.326

En la Tabla 33, se presentan en forma resumida los resultados obtenidos de los estudios mineragráficos a algunas muestras de la zona, en la que tienen, pirita-calcopirita, especies de sulfuros que se suelen encontrar en depósitos epitermales de sulfuración intermedia y/o basa sulfuración.

Tabla 33. Resultados obtenidos de los estudios mineragráficos.

Resultados Mineragráfico					
ÁREA Au-Ag	PARAGENESIS	GANGA	SUCESIÓN	ORIGEN	MINERALES EN %
EL ZAPOTITO-A	Pirita	Calcio	Cuarzo-Pirita	Hidrotermal	Pirita 100%
EL ZAPOTITO-B	Pirita-Calcopirita	Calcita	Calcita-Pirita-Calcopirita	Hidrotermal	Pirita 85%
					Calcopirita 10%
					Goethita 5%
EL ZAPOTITO-C	Pirita	Cuarzo	Cuarzo-Pirita	Hidrotermal	Pirita 98%
LA PAROTA	Hematita-Goethita	Calcita	Calcita-Hematita-Goethita	Gossan	Goethita 60%
					Hematita 40%
BOCA DE LEONES	Hematita-Goethita	Cuarzo	Cuarzo-Hematita-Goethita	Gossan	Goethita 60%
					Hematita 40%

En la Tabla 34 se presentan el resultado de dos muestras a las que se les realizó un estudio de difracción de rayos X, en la que se tienen la composición mineralógica, de alteraciones hidrotermales, caracterizándose la alteración propilítica y la argílica.

Tabla 34. Resultados obtenidos de difracción de

Difracción de rayos x	
SITIO	ELEMENTO
SAN RAFAEL	CUARZO CAOLIN HALOISITA GOETHITA
EL ZAPOTITO	ORTOCLASA HIALOFANO OLIGOCLASA ALUNITA GOETHITA

V. 7. 4. 9. Potencial observado en la zona de Au-Ag del sistema Las Truchas

En base a la correlación de afloramientos, longitudes observadas, espesores promedio y profundidades, se calculó el recurso de Au y Ag, contenido en las estructuras mineralizadas del sistema Las Truchas, ponderadas por el promedio de ley de Au y Ag, obtenida a partir de los ensayos realizados en las vetas (Tabla 35). Debe indicarse que esto es solamente una estimación gruesa en base a datos existentes, y que se requiere en forma posterior una toma de muestras sistemática de los sistemas de vetas, a una densidad de muestreo adecuado, que permita una estimación de recursos más acuciosa.

En el caso particular del yacimiento El Zapotito se cuenta solamente con cinco muestras, en los cuales las muy altas concentraciones de oro determinadas pudieran obedecer a efectos pepita, y donde se desconoce la continuidad de distribución de la mineralización. En base a esto, ésta primera aproximación a una estimación debe considerarse con extrema cautela, pero indica un potencial que merece una revisión más detallada y toma de muestras en malla regular y sistemática que permita verificar o descartar continuidad de mineralización de alta concentración de oro.

Tabla 35. Potencial de Au-Ag in situ obtenido en las áreas mineralizadas del sistema Las Truchas

LOCALIDAD	LONGITUD METROS	PROFUNDIDAD METROS	ESPESOR METROS	P.E	TONELAJE CONSIDERADO	LEY MEDIA DE PLATA g/t	LEY MEDIA DE ORO g/t	PLATA CONTENIDO in situ (T)	ORO CONTENIDO in situ (T)
El Zapotito	260	60	1	2.7	42 120	358.4*	370.76*	150 958	156 164**
La Nevada	80	40	1	2.7	8 640	99.5	0.982	8 597	85
San Rafael	150	70	2	2.7	56 700	3.2	0.821	1 814	465
El Agostadero	120	50	1	2.7	16 200	4.6	0.831	745	134
La Parota	60	20	1	2.7	3 240	5.2	0.875	168	28
La Luna	180	50	0.8	2.7	19 440	71	0.444	13 802	86
Boca de Leones	60	40	0.8	2.7	5 184	7	0.246	363	12
El Zopilote	80	20	0.8	2.7	3 456	5	0.12	173	4

* Valor promedio de leyes de oro y plata presentan potenciales problemas de efecto pepita.

** Estimación gruesa en base a datos existentes (solamente 5 muestras).

VI. DISCUSIÓN Y MODELOS GEOLÓGICOS PARA EXPLORACIONES

Dentro del área de estudio se reconocieron tres zonas mineralizadas (Cu, Pb-Zn y Au-Ag), relacionadas a sistemas de fallas en la región, que se discuten a continuación.

Interpretación de la zona de cobre

Las áreas mineralizadas existentes en la zona de cobre corresponden a dos prospectos y dos manifestaciones:

En los prospectos, la mineralización está controlada por fallas normales de rumbo preferencial N-E y N-W con manteos al NW-SW. La mineralización hipógena consiste en pirita, calcopirita, cuarzo y calcita; la mineralización supérgena consiste en malaquita, azurita y chalcantita e hidróxidos de fierro como potencial mena, la ganga mayoritariamente calcita. Las alteraciones hidrotermales corresponden a propilitización y cloritización. La roca huésped corresponde a un conglomerado polimíctico de la unidad sedimentaria Conglomerado Acuyo, de tentativa edad Cretácico Inferior y al granito-granodiorita El Hondable de edad Oligoceno.

La mineralización en las manifestaciones, consiste de vetas de cuarzo con rumbos de N-W y NE y manteos SW y SE. La mineralización hipógena corresponde a pirita, cuarzo, galena, esfalerita, calcopirita y trazas de arsenopirita; la mineralización supérgena de mena potencial está representada por incipiente malaquita, limonita y hematita, la ganga primordialmente calcita y cuarzo crustiforme relleno de vetas. Las alteraciones hidrotermales corresponden a cuarzo-sericita. La roca de caja corresponde a granito-granodiorita El Hondable y a andesitas de la unidad Volcánico Paránguaro, ambas de edad Oligoceno.

En la zona de cobre no se pudo obtener datos de inclusiones fluidas, por el tamaño tan pequeño de estas. Dadas las asociaciones minerales y de alteración, estos sistemas de vetas pudieran representar ambientes de vetas de cobre (o metales base) mesotermales, derivadas de procesos hidrotermales magmáticos proximales a intermedios.

Interpretación de la zona Pb-Zn

Los yacimientos existentes en la zona de Pb-Zn, se encuentran asociados a los sistemas de fallas Indianilla, San Juan y Tepetates.

En el Sistema Indianilla se ubica la mina abandonada El Bote, y las manifestaciones minerales Carnicerías II, El Rebozo y Carnicerías. Estudios de microtermometría de inclusiones fluidas obtuvieron los siguientes datos promedio: temperatura de homogenización 158,3°C, temperatura de fusión -8,4 y salinidad en % NaCl de 11,9 equivalente.

En el Sistema San Juan ocurre la mina abandonada El Carmen y la manifestación mineral Los Tubos. Estudios de microtermometría de inclusiones fluidas obtuvieron los siguientes datos promedio: temperatura de homogenización 179,7°C, temperatura de fusión -8,3 y salinidad en % NaCl de 11,9 equivalente.

En el Sistema Tepetates ocurre la manifestación mineral Tepetates. En este yacimiento se obtuvieron de un estudio de microtermometría de inclusiones fluidas los siguientes datos promedio: temperatura de homogenización 282,1°C, temperatura de fusión -9 y salinidad en % NaCl de 12,71 equivalente.

La temperatura de homogenización versus salinidad para las inclusiones fluidas de los sistemas, muestra que las salinidades para los tres sistemas son muy parecidas, no en cambio la temperatura de homogenización la cual evidencia temperaturas más altas en el sistema Tepetates donde se presenta el pórfido La Conquista.

La mineralización en las minas abandonadas ocurre en vetas de textura bandeadas con rumbo general de N 80° W y manteo de 80° al SW. La mineralización hipógena de mena potencial corresponde a galena, esfalerita, escasa calcopirita y tetraedrita, con una ganga consistente en pirita, arsenopirita y cuarzo; la mineralización supérgena de mena potencial es limonita, la ganga mayoritariamente calcita. La alteración hidrotermal es de moderada intensidad y corresponde principalmente a alteración argílica Intermedia, que en la zona se caracteriza por la asociación caolinita-cuarzo. La roca huésped de la mineralización es el cuerpo intrusivo de composición granito-granodiorítica El Hondable de edad Oligoceno.

La mineralización en los prospectos ocurre principalmente en vetas de cuarzo, de textura bandeada, con rumbo de N-E y manteo NW. La mineralización hipógena de mena potencial consiste en galena, esfalerita, y trazas de calcopirita, con una ganga consistente en pirita, arsenopirita, cuarzo y calcita; la mineralización supérgena de mena potencial consiste en hematita y limolita, con una ganga mayoritaria de calcita. Las alteraciones hidrotermales son: silicificación y propilitización. caolinita-cuarzo, clorita-epidota. La roca huésped es el granito-granodiorita El Hondable, de edad Oligoceno.

Las manifestaciones minerales presentan diferentes características en las rocas ígneas; en el intrusivo El Hondable consiste de una veta de cuarzo, con estructura bandeada, con rumbo N 15° E y manteo de 85° al NW; presenta una potencia entre 0.2 a 0.7 m. La mineralización hipógena de mena potencial consiste en galena y esfalerita con una ganga consistente en pirita y cuarzo; la mineralización supérgena de mena potencial está representada por limonita, con una ganga principal de calcita. La alteración hidrotermal consiste en silicificación cuarzo-sericita. La roca de caja es granito-granodiorita El Hondable de edad Oligoceno. En el pórfido riolítico La Conquista, se presenta como stockwork, con diseminación de sulfuros de fierro. La Presencia de sulfuros y alteraciones varían en sentido vertical y horizontal. Con la mineralización ocurre alteración hidrotermal argílica, sericita y mayor silicificación.

En el caso del sistema Tepetates en el pórfido riolítico La Conquista, es probable que la mineralización haya sido producto de la removilización por parte del mismo pórfido riolítico, precedida de un segundo evento hidrotermal a través de una zona de cizalla con rumbo NW-SE, el cual, ocasionó un segundo fallamiento distensivo de rumbo NNW-SSE y NE-SW. En esta área se observaron evidencias mineralógicas y texturales, indicativas de presencia de ebullición como son la calcita hojosa y la calcedonia.

Los resultados de los estudios realizados sugieren estos sistemas de vetas de metales base pudieran corresponder a ambientes de vetas mesotermales, ya sea de cuarzo-metales base o vetas carbonatadas de metales base.

Interpretación de la zona Au-Ag

Los yacimientos de Au-Ag existentes se encuentran asociados al sistema de fallas Las Truchas y corresponden a las minas abandonadas El Zapotito, La Nevada, San Rafael y los prospectos El Agostadero, La Parota, La Luna, Boca de Leones y El Zopilote (Fig. 32).

Los resultados microtermométricos indican salinidades entre 6 a 24% NaCl eq., con la mayor concentración entre los 10 a 14% NaCl eq.; la temperatura de homogenización ocurre entre 130° y 370° C, con la mayor concentración en los 140° y 180°C.

La mineralización en las minas abandonadas se presenta una asociación espacial con fallas normales, donde se emplazan vetas de cuarzo de forma irregular, con textura masiva y diseminada, con rumbos generales de NE y manteo al NW, con potencia de 0.5 a 2 m. La mineralización hipógena de mena potencial corresponde a oro contenido en la pirita, escasa calcopirita, galena y esfalerita, con una ganga consistente en pirita, arsenopirita y cuarzo; la mineralización supérgena de mena potencial es limonita con posible oro libre, la ganga mayoritariamente calcita. La alteración hidrotermal es de moderada a intensa y corresponde principalmente a alteración fílica, argílica, caolinita-cuarzo, cuarzo-sericita, cuarzo-alunita y sílice oqueroso. La roca huésped de la mineralización es el cuerpo intrusivo de composición granito-granodiorítica El Hondable, de edad Oligoceno.

La mineralización en los prospectos ocurre en vetas de cuarzo, con estructura bandeada, con rumbos generales de N-E, y manteo al SE; con potencia de 0.5 m a 0.7 m. La mineralización hipógena de mena potencial consiste de argentita, galena, esfalerita y tetraedrita, la ganga es pirita, arsenopirita, cuarzo y calcita; la mineralización supérgena de mena potencial corresponde a hematita y limonita con oro libre, y una ganga de calcita. La alteración hidrotermal corresponde a escasa cloritización y propilitización e incipiente sericita. La roca huésped corresponde a un conglomerado polimíctico, correspondiente al Conglomerado Acuyo de edad Cretácico Inferior y la

roca huésped corresponde a un paquete volcánico de andesita verde y basalto, correspondiente al Arco Amengarícuaro de edad Cretácico Inferior.

La mineralización en las manifestaciones minerales ocurren en vetas con rumbo N -E y manto al NW, y en un stockwork. La mineralización hipógena de mena potencial corresponde a esfalerita, tetraedrita, con una ganga consistente en calcedonia y cuarzo; la mineralización supérgena de mena potencial es hematita y limolita con posible oro libre, la ganga mayoritariamente calcita. Las alteraciones hidrotermales presentes son la propilítica y escasa sericita. La roca huésped de la mineralización son filitas y metaarenisca del Complejo Metamórfico Carácuaro de edad Jurásico Medio.

Modelo Geológico

El área de estudio se ubica en la porción sur de la República Mexicana y al sur del Estado de Michoacán, queda comprendida entre las provincias fisiográficas: Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur, dentro de la subprovincia Cuenca Balsas-Mezcala (Raisz, 1964; Fig. 3).

La mayoría de los depósitos epitermales conocidos hoy en día están situados alrededor del margen Circum-Pacífico (Fig. 1), asociados al termalismo tardío de los sistemas volcánicos del margen desde el terciario (White *et al.*, 1995). En su totalidad, los depósitos epitermales están asociados directamente a márgenes de subducción activos en diferentes épocas geológicas (Silberman *et al.*, 1976; Sillitoe, 1977).

Se considera que las condiciones de formación de la mayoría de yacimientos epitermales comprenden temperaturas entre <150 y ~ 300°C (eventualmente mayores) y a profundidades de hasta 2 km (Heald *et al.*, 1987; Sillitoe, 1988; Reyes, 1990, 1991).

Los depósitos de baja salinidad se originarían a partir de fluidos reducidos y de pH aproximadamente neutro (en los que el azufre se presenta con su estado de oxidación -2, esto es, “baja sulfuración”, como los hallados en sistemas geotérmicos más o menos distales a la fuente de calor principal).

En el caso de los depósitos epitermales en México (todos Terciarios), la distribución coincide con la distribución espacial determinada por la evolución del volcanismo de la Sierra Madre Occidental y de la Sierra Madre del Sur (Damon *et al.*,

1981; Clark *et al.*, 1982; Camprubí *et al.*, 2003b). La distribución de depósitos epitermales en México se presenta en la figura 1.

Un gran número de depósitos epitermales están asociados a estructuras de origen volcánico (Steven *et al.*, 1977). Asimismo, existe un importante control de este tipo de depósitos por parte de fallas de escala regional en zonas de intensa fracturación tensional (Mitchell y Balce, 1990; Nesbitt, 1990; Staude, 1993; Ponce y Glen, 2002; Nieto-Samaniego *et al.*, 2005). Dichas fallas determinan la localización de los depósitos. Pero aunque las fallas de orden mayor ejercen un control directo sobre el emplazamiento de la mineralización, se ha observado que ésta suele disponerse de forma preferencial en fallas subsidiarias (White y Hedenquist, 1990).

Los depósitos del subtipo de sulfuración intermedia son estructuralmente muy similares a los de baja sulfuración (Sillitoe, 1977), aunque las características geoquímicas de los fluidos mineralizantes asociados y de las mineralizaciones metálicas en sulfuración intermedia suele guardar una mayor afinidad con los depósitos de alta sulfuración.

En la gran mayoría de los depósitos epitermales de SI y BS en México, los cuerpos mineralizados están dispuestos en vetas y/o cuerpos de brecha de hasta varios kilómetros de extensión lateral, aunque en vertical los horizontes mineralizados con metales preciosos raramente superan los 700 m (Albinson *et al.*, 2001).

Haciendo un comparativo de algunas características de los depósitos en México con la zona de estudio y de acuerdo con los datos obtenidos en este trabajo se tienen las siguientes características:

El área estudiada se localizan dentro de la distribución de depósitos epitermales en México (Fig. 1), y a su vez en la zona de distribución de la mayoría de los depósitos epitermales de sulfuración intermedia (SI) o baja (BS), ya que sólo se ha descrito algunos depósitos de alta sulfuración en la parte noroccidental del país, los cuales se encuentran muy retirados de esta zona.

La edad estimada Oligoceno Mioceno (Terciario) para los depósitos estudiados, es asignada con respecto a los cuerpos que intruyen y generan la mineralización.

La roca huésped de la mineralización es el cuerpo intrusivo de composición granito-granodiorítica El Hondable de edad Oligoceno y el pórfido riolítico La Conquista,

que en este sector intruyen a la secuencia metamórfica de edad Jurásico denominada Complejo metamórfico Carácuaro, cubierto discordantemente por una secuencia volcano-sedimentaria de edad cretácica, que se conoce en esta región como el arco Amengarícuaro, constituida por piroclastos y lavas de composición andesítica-basáltica con interdigitaciones de sedimentos terrígenos conocidos en la región como Conglomerado Acuyo.

Un gran número de depósitos epitermales están asociados a fallas de escala regional, pero aunque estas estructuras ejercen un control directo sobre el emplazamiento de la mineralización se ha observado que ésta suele disponerse en fallas secundarias. En la zona de estudio existen dos sistemas de fallas regionales que son NE-SW, W-E, las cuales se relacionan con el sistema de Falla Acambay-Morelia (Suter *et al.*, 1991; Garduño y Escamilla, 1996; Fig. 5). La mineralización en la zona se encuentra en fallas subsidiarias de este sistema.

Las temperaturas de homogenización y salinidad de inclusiones fluidas en muestras de yacimientos de la zona ocurren mayormente en los rangos de yacimientos del tipo epitermal (Fig. 41), pero con rangos de temperatura y salinidad que son

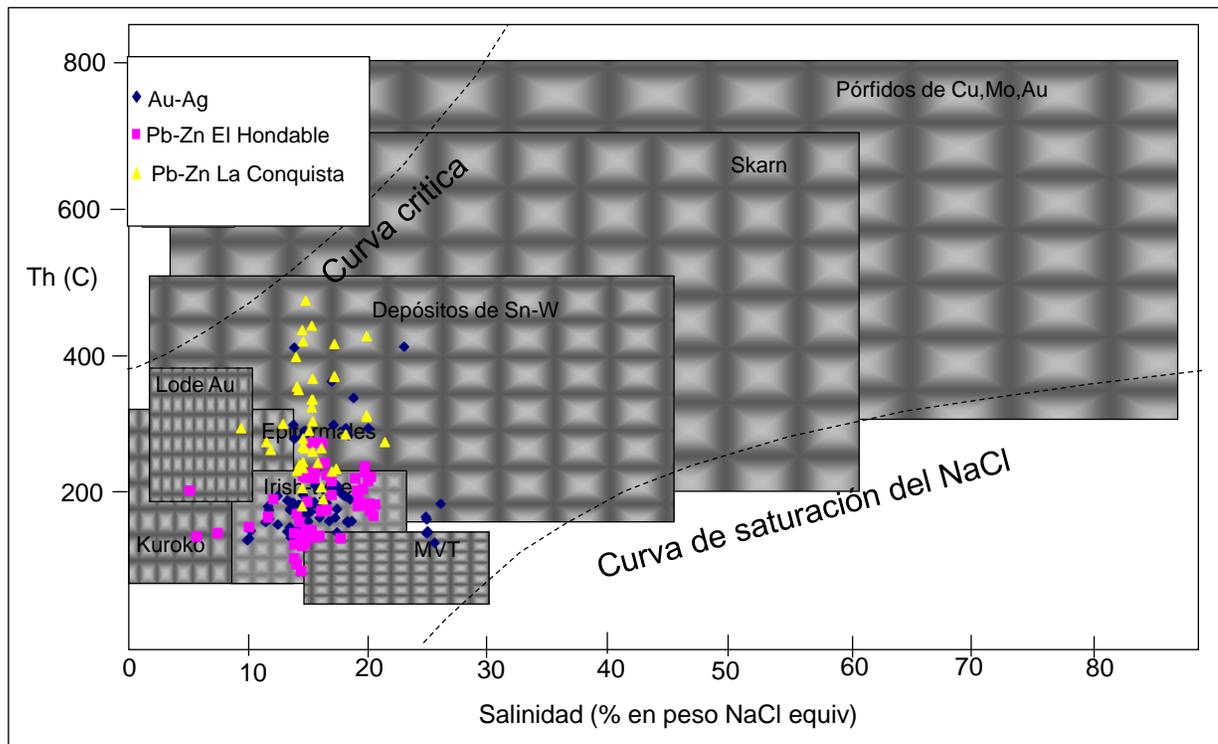


Fig. 41. Resumen de temperatura de homogenización y salinidad, de la zona de Au-Ag (sistema Las Truchas) y la zona Pb-Zn, separando las inclusiones que se encuentran dentro del intrusivo granito-granodiorita el Hondable (sistemas indianillas y San Juan) y el pórfido riolítico La Conquista (sistema Tepetates); diagrama de los rangos por inclusiones de los diferentes tipos de depósito. Wilkinson 2001.

consistentes con ambientes del tipo vetas de metales base mesotermales, también zonas de transición.

En estos yacimientos la mineralización se encuentra dispuesta en vetas de textura bandeada y crustiforme, en algunos cuerpos de brecha, como relleno de cavidades o porosidades. Hacia la superficie suele ocurrir mineralización en stockwork y menor diseminación.

En superficie se reconoció alteración argílica avanzada (caolinita-alunita), la alunita calentada por vapor (steam-heated) se desarrolla en ambientes superficiales, como una posible expresión de ebullición en profundidad. Este tipo de alteración se presenta tanto en depósitos de Alta sulfuración (AS) como sulfuración intermedia (SI) o baja sulfuración (BS), ello debido a que el H_2S liberado en la ebullición migra con la fase vapor hacia la superficie, oxidándose para producir H_2SO_4 (ácido sulfúrico). Esto es posible en depósitos que hayan experimentado poca erosión con preservación de los niveles someros.

Se interpreta los yacimientos se originaron por el ascenso y deposición de soluciones hidrotermales. Estas soluciones aprovecharon los espacios abiertos a lo largo de fallas y fracturas, las cuales se manifiestan como vetas tabulares, irregulares y zonas de stockwork, en algunos casos con valores económicos altos de oro y plata, también mineralización base de cobre- plomo- zinc.

Con base a sus características geológico-mineralógicas observadas en terreno, y a los datos obtenidos, la zona presenta características de un yacimiento de tipo epitermal de sulfuración baja e intermedia. Se propone en este trabajo tomar como modelo de exploración el realizado por Buchanan (1981; Fig. 42), exhibiendo mineralización característica de tipo BS con raíces de tipo SI, con una distribución vertical de solo algunas vetas o cuerpos mineralizados, en posible transición a ambientes mesotermales de vetas de metales base más profundos.

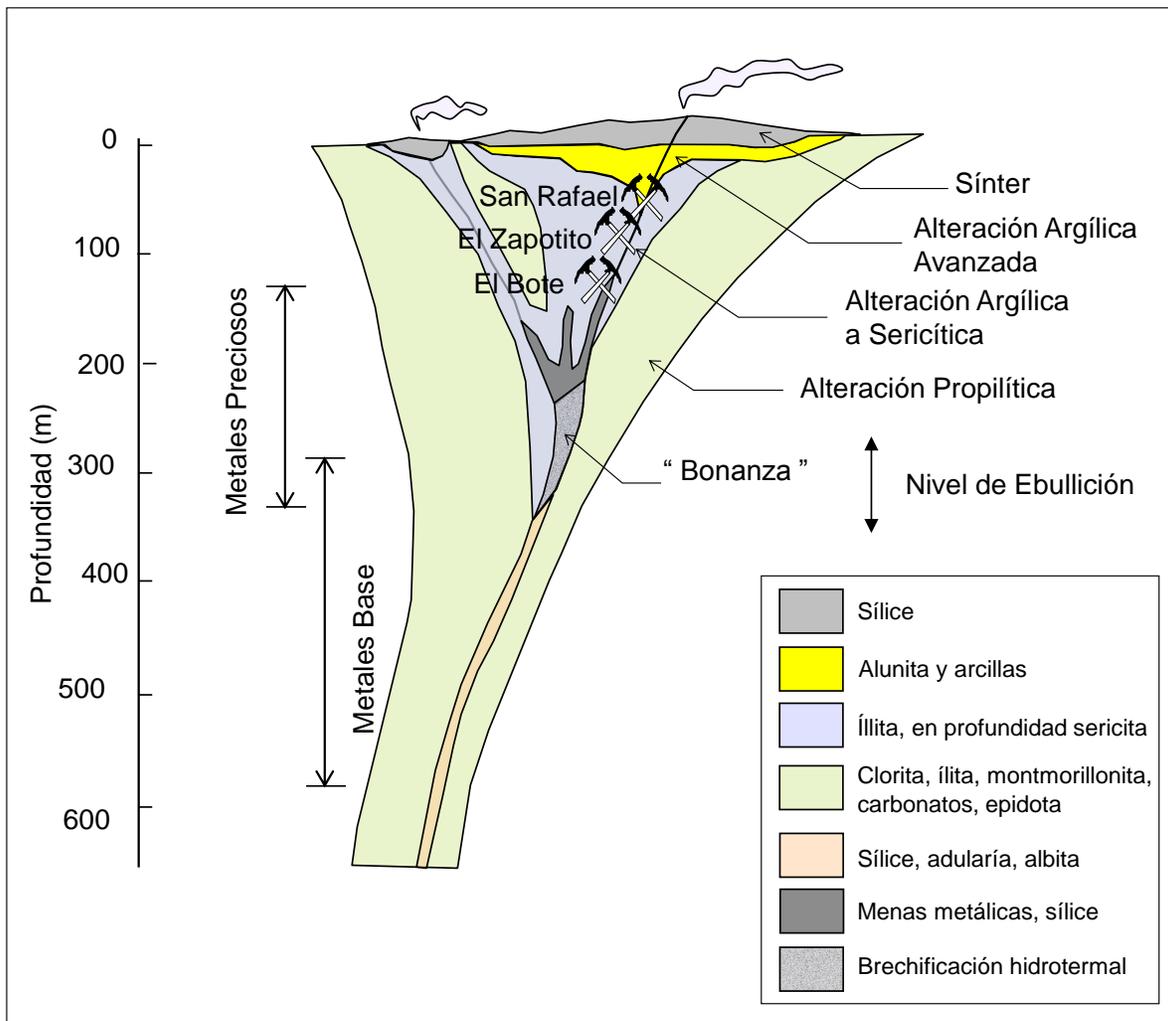


Fig. 42. Esquema general de los depósitos alcalinos (baja e intermedia sulfuración), modificado de Buchanan (1981), indicando la mineralogía de ganga, la generación de los patrones de alteración típicos, y la variación en la mineralogía de mena típica en profundidad y en la morfología de la mineralización.

Dichas raíces son ricas en metales preciosos, con la posibilidad de resguardar mineralizaciones polimetálicas a mayor profundidad de la conocida actualmente, las principales características se encuentran resumidas en la Tabla 36.

Pero también se tienen algunas características de depósitos mesotermiales, como son cuerpos vetiformes, donde muestran zonación vertical en la mineralogía hipógena de mena, ganga y alteración.

Ganga rica en calcita en conjunto con epidota y clorita esto ocurre en las zonas más superficiales.

Tabla 36. Características principales observadas en este trabajo, para determinar el tipo de ocurrencia de baja sulfuración e intermedia de la zona de estudio.

Reconocimiento macro a mesoscópio		Baja sulfuración	Intermedia sulfuración
Rocas volcánicas relacionadas		Andesitas, brechas andesíticas	Andesitas, brechas andesíticas
Control de emplazamiento		Vetas	Vetas
Alteración Asociada		Capas de alunita	Predominante illita cambiando a sericita en profundidad y a propilitización lateralmente
Minerales clave de alteración proximal		illita/smectita-adularia; Roscoelita-illita-adularia	Sericita, adularia poco común
Ganga de sílice		Cuarzo y calcedonia crustiforme rellenando vetas; remplazamientos de carbonatos	Cuarzo crustiforme rellenando vetas y en peine
Ganga de carbonatos		Abundantes	Común, típicamente incluyendo variedades de Mn
Especie de sulfuros clave		Arsenopirita, esfalerita, galena, calcopirita	Esfalerita, galena, tetraedrita-tennantita, calcopirita
Metales principales		Au más/menos Ag	Au-Ag, Zn, Pb, Cu
Metales menores		Zn, Pb, Cu, Mo, As, Sb, Hg	Mo, As, Sb
Temperatura de los fluidos		<240°C con salidades máximas de 3.5 wt.% NaCl equiv. Y los depósitos se formaron a profundidades generalmente < 300 m.	Elevadas dentro de un rango de 230° a 300°C con salidades de > 7.5 wt.% NaCl equiv. Y los depósitos se formaron a profundidades de hasta >1 km.
Abundancia y tipo de sulfuros		contenido de sulfuros < 10%, predominancia de pirita, arsenopirita, sulfosales de plata, acantita y eléctrum	contenidos en sulfuros >20 %, predomina la esfalerita, galena, pirita, calcopirita, tetraedrita y sulfosales de plata
En función de la profundidad de formación	Somero 0-300 m	1.-Vetas, enjambres de vetas, stockwork, disseminaciones	1.- Vetas, cuerpos brechificados, disseminaciones
	Profundo 300-800 (muy raro > 1000 m)	1.- Estibinita, marcasita-arsenopirita. 2.-Como alteracion se tiene alunita-kaolinita y arcillas	1.-Pirita-sulfuros/ sulfosales Au+/- esfalerita, galena, calcopirita, tetraedrita/tenantita. 2.-Alteracion de illita- sericita y carbonatos, la propilisacion se tiene hacia las periferias

VII. CONCLUSIONES

Los yacimientos estudiados en la región se localizan dentro de la distribución de depósitos epitermales en México y en la zona metalogénica en donde se encuentran la mayoría de los depósitos epitermales de sulfuración intermedia (SI) y baja (BS).

La edad estimada Oligoceno Mioceno (Terciario) para los depósitos estudiados, es asignada con respecto a los cuerpos que intruyen y generan de la mineralización.

En la zona de estudio ocurren dos sistemas de fallas regionales de orientación NE-SW y NW-SE. La mineralización en la zona se encuentra espacialmente asociada con fallas subsidiarias de estos sistemas.

La roca huésped de la mineralización es de origen ígnea intrusiva. La mineralización se encuentra dispuesta en vetas de textura bandeada y crustiforme, en algunos cuerpos de brecha, como relleno de cavidades o porosidades. Hacia la superficie suele ocurrir mineralización en stockwork y menor diseminación.

La mineralización hipógena consiste en oro posiblemente contenido en la pirita, galena argentífera, esfalerita, calcopirita y escasa tetraedrita, eléctrum, argentita; la ganga es pirita, arsenopirita, calcita, cuarzo y carbonatos; la mineralización supérgena consiste en limonita con oro libre, malaquita y chalcantita.

En superficie se reconoció alteración argílica avanzada (caolinita-alunita), la alunita calentada por vapor (steam-heated) se desarrolla en ambientes superficiales, como una posible expresión de ebullición en profundidad, ello debido a que el H₂S liberado en la ebullición migra con la fase vapor hacia la superficie, oxidándose para producir H₂SO₄ (ácido sulfúrico).

Las temperaturas y salinidades reportadas de los estudios de microtermometría de inclusiones fluidas en los diversos yacimientos, se encuentran dentro de los rangos

de las formación de yacimientos epitermales y comprenden temperaturas entre <100 y ~ 300°C (eventualmente mayores), y salinidades entre los 0 a 15% NaCl eq.

Los sistemas de baja sulfuración tienden a ser más ricos en Zn y Pb, más bajos en cobre y con razones de Au/Ag más altas, lo que fue corroborado con la exploración geoquímica en la zona.

Con base a sus características geológico-mineralógicas observadas en terreno, y a los datos obtenidos, la zona presenta vetas epitermales de sulfuración baja e intermedia, exhibiendo mineralización característica de tipo baja sulfuración (BS) con raíces de tipo sulfuración intermedia (SI), con una distribución vertical en solo algunas vetas o cuerpos mineralizados.

Las raíces son ricas en metales preciosos, con la posibilidad de resguardar mineralizaciones polimetálicas a mayor profundidad de la conocida actualmente.

En base a la correlación de afloramientos, longitudes observadas, espesores promedio y profundidades, se realizaron estimaciones gruesas de posibles recursos minerales, la más destacable para el yacimiento El Zapotito. Se indica eso sí que el bajo número total de muestras geoquímicas, poca densidad de muestreo, ausencia de toma de muestras en malla regular y sistemática y no existencia de control de calidad, no permiten plantear, en esta etapa de exploración, una estimación de recurso razonable. Se menciona entonces solamente un potencial exploratorio a modo de definición de prioridades para la realización de estudios y exploración de seguimiento.

VIII.- BIBLIOGRAFÍA

Alaníz-Álvarez, S. A., Nieto-Samaniego, A. F., Morán-Zenteno, D. J., Alba-Aldave, L., 2002. Rhyolitic volcanism in extension zone associated with strike-slip tectonics in the Taxco region, southern Mexico: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 118, p. 1-14.

Bodnar, R. J., 2003b. Introduction to aqueous-electrolyte fluid inclusions. In I. Samson, A. Anderson, & D. Marshall, eds. *Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation*. Mineralogical Association of Canada, short Course Series v. 32, p. 81-100.

Bodnar, R. J., 2003a. Introduction to fluid inclusions. In I. Samson, A. Anderson, & D. Marshall, eds. *Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation*. Mineralogical Association of Canada, short Course Series v. 32, p. 1-8.

Bodnar, R. J., 2003c. Reequilibration of fluid inclusions. In I. Samson, A. Anderson, & D. Marshall, eds. *Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation*. Mineralogical Association of Canada, short Course Series v. 32, p. 213-231.

Bogie, I., Lawless, J. V., 1987. Controls on the hydrology of large volcanically hosted geothermal systems: implications for exploration for epithermal mineral deposits, en *Proceedings Pacific Rim Congress 87: Parkville, Victoria, Australia*, Australasian Institution of Mining and Metallurgy, 57-60.

Boyle, R., 1672. *Essay about the origine and virtues of gems*, William Godbid, London, p. 185.

Breislak, S., 1818. *Institutions géologiques*, (traducido del francés por P. J. L Campmas) *Instituions geologiques*, Milan, v. 1, p. 468.

Brewster, D., 1823a. On the existence of two new fluids in the cavities of minerals, which are immiscible, and which possess remarkable physical properties, *Edinburgh Philos*, 9, p. 94-107.

Bustamante-García, J., Mota-Mota, S., 1990. Visita de reconocimiento al Lote San Rafael, en el municipio de Villa Madero, Michoacán.

Cabral-Cano, E., Draper, G., Lang, H. R., y Harrison, C. G. A., 2000a. Constraining the Late Mesozoic and Early Tertiary tectonic evolution of southern Mexico: structure and deformation history of the Tierra Caliente region: *The Journal of Geology*, v. 108, p. 427-446.

Campa-Uranga, M. F., Ramírez-Espinosa, E. J., Coney, J. P., 1981. Conjuntos Estratotectónicos de la Sierra Madre del Sur, región comprendida entre los estados de Guerrero, Michoacán, México y Morelos. *Boletín S.G.M.* p. 48-67.

Campa-Uranga, M. F., Coney, P. J., 1983. Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico. *Can. Jour. Of Earth Sci.*, v. 20, p. 1040-1051.

Camprubí, A., Albinson, T., 2006. Depósitos Epitermales en México, actualización de su conocimiento y reclasificación empírica, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Volumen Conmemorativo del Centenario, Revisión de algunas tipologías de depósitos minerales en México, Tomo LVIII, No. 4, p. 27-81.

Camprubí, A., Albinson, T., 2007. Epithermal deposits in México – an update of current knowledge, and an empirical reclassification, in Alaniz-Álvarez, S. A., Nieto-Samaniego, A. F. (eds.), *Geology of Mexico: Celebrating the Centenary of the Geological Society of Mexico: Geological Society of America Special Paper*, 422, p. 377-415.

Camprubí, A., 2010. Criterios para la exploración minera mediante microtermometría de inclusiones fluidas. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana.*, v. 62, No. 1, p. 25-42.

Centeno-García, E., Coney P. J., Ruiz, J., Patchett, J., Ortega, G. F., 1993. Tectonic significance of the sediments of the Guerrero Terrane from petrographic, trace element, and Nd-isotopic studies. *Proceedings First Circum-Pacific and Circum- Atlantic Terrane Conference*, Guanajuato, Mexico.

Centeno-García, E., Corona-Chávez, P., Talavera-Mendoza, O., Iriondo, A., 2003. Geology and tectonic evolution of the western Guerrero terrane—a transect from Puerto Vallarta to Zihuatanejo, Mexico. In: Geological transects across cordilleran Mexico. Guidebook for the field trips of the 99th Geological of America Cordilleran Section Annual Meeting. Alcayde, M., Gómez-Caballero, A. (ed). Instituto de Geología, Centro de Geociencias, UNAM. México D. F. Publicación Especial 1, p.1-228.

Centeno-García., Guerrero Suastegui M., y Talavera-Mendoza O., 2008. The Guerrero Composite Terrane of West Mexico: collision and subsequent rifting in a suprasubduction zone: Geological Society of America Special Paper.

Cerca, M., Ferrari, L., Bonini, M., Corti, G., Manetti P., 2004. The role of crustal heterogeneity in controlling vertical coupling during Laramide shortening and the development of the Caribbean-North America transform boundary in southern Mexico: insights from analogue models, en Grocott, J., Taylor G., Tikoff, B., eds., Vertical coupling and decoupling in the Lithosphere: Geological Society, Special Publication 227, p. 117-140.

Cerca, M., Ferrari, L., López-Martínez, M., Martiny, B., Iriondo, A., 2007. A Late Cretaceous shortening and early Tertiary shearing in the central Sierra Madre del Sur, northern Mexico: Insights into the evolution of the Caribbean-North American plate interaction: *Tectonics*, v. 26, doi: 10.1029/2006TC001981.

Cerca, M., Ferrari, L., Corti, G., Bonini, M., Tolson, G., Manetti, P., 2008. Geological evolution of the southern margin of Mexico (Xolapa complex) during the Early Tertiary: a discussion based on analogue models. en: James, K.H., M.A., Lorente y J., Pindell (eds.), *Geology of the area between North and South America, with focus on the origin of the Caribbean Plate*: Geological Society, London, Special Publication.

Clark, K. F., y Fuente, L., 1978. Distribution of mineralization in time and space in Chihuahua, Mexico: *Mineral. Deposita*, v. 13, p. 27-49.

Clark, K. F., Foster, C. T., and Damon, P. E., 1982. Cenozoic mineral deposits and subduction-related magmatic arcs Mexico. Geol. Soc. of America. Bull. v. 93. p. 533-544.

Coney, P. J., 1976. Plate tectonics and the Laramide orogeny: New Mexico Geol. Soc. Special Publ. 6, p. 5-10.

Coney, P. J., Reynolds, S. J., 1977. Cordilleran Benioff zones: Nature, v. 270, p. 403-406.

Corona-Esquivel., Miranda-Gasca, M. A., Ortega-Gutiérrez, F., Morales I, A., 1995. Influencia del basamento en el contenido aurífero de los skarns de hierro del Sur de Mexico. Reunión de la Unión Geofísica Mexicana (Puerto Vallarta, Jalisco, México).

Damon, P. E., Mauger, R. L., y Bikerman, M., 1964. K-Ar dating of Laramide plutonic and volcanic rocks within the Basin and Range Province of southeastern Arizona and Sonora: Nueva Delhi, Cong. Geol. Internal., 22, Proc., pte. 3, sec. 3, p. 45-55.

Damon, P. E., Muhammad, S., y Kenneth. F., 1981. Evolución de los arcos magmáticos en México y su relación con la metalogénesis. Instituto de Geología de la UNAM.

Damon, P. E., Muhammad, S., Clark, K. F., 1983. Evolución de los arcos magmáticos en México y su relación con la metalogénesis. Instituto de Geología de la UNAM.

Dante-Moran, 1991. Realiza trabajos de cartografía regional, abarcando parte de los Estados de Guanajuato, Michoacán y Ciudad de México.

Davy, H., 1822. On the state of water and aeriform matter in cavities found in certain crustals, Royal Soc. London Philos, Trans., 2, p. 367-376.

De La Teja-Segura, M. A., 1997. Informe final de la Carta Geológica Minera y Geoquímica Acuyo, Escala 1:50,000. Conv. U.A.G.-C.R.M.

Díaz-Bravo, B. A., 2008. Estratigrafía, petrología y estilo eruptivo del centro volcánico silíceo de La Goleta-Sultepec, Estados de México y Guerrero: (Tesis de Maestría), Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Elías-Herrera, M., Sánchez-Zavala, J. L., Macias-Romo, C., 2000. Geologic and geochronologic data from the Guerrero Terrane in the Tejupilco area, southern Mexico: new constraints on its tectonic interpretation: *Journal of South America Science*, v. 13, p. 355-373.

Fernández-Becerra, S., 1986. Prospecto Oropeo-Hoja Acuyo Informe Final 1GPR-2 Coordinación Regional de Exploración Z.C. Distrito Vertiente del Pacífico. Pémex.

Ferrari, L., Valencia-Moreno, M., Scout Bryan., 2005. Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución del margen occidental de Norteamérica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, v. conmemorativo. T. LVII, No. 3, p. 343-378.

Fournier, R. O., 1987, Conceptual models of brine evolution in magmatic-hydrothermal systems, en Decker, R. W., Wright, T. L., Stauffer, P. H. (eds.), *Volcanism in Hawaii*, v. 2: U. S. Geological Survey Professional Paper, 1350, p. 1487-1506.

Gamond, J. F., 1987. Bridge structures as a sense of displacement criteria in brittle fault zones. *J. Struct. Geol.* p. 609-620.

Garduño-M., V. H., Escamilla, R. J., 1996. Revisión histórica de la sismicidad en Michoacán, México, *Ciencia Nicolaíta*, v. 11, p. 57- 82.

Garduño-Monroy, V. H., Corona-Chávez, P., Israde-Alcantara, I., Mennella, L., Arreygue, E., Bigioggero, B. y Chiesa, S., 1999. Carta Geológica de Michoacán Escala 1:250,000.

Garduño-Monroy, V. H., Arreygue-Rocha, E., Israde-Alcántara, I., Rodríguez-Torres, G. M., 2001. Efectos de las fallas asociadas a sobreexplotación de acuíferos y la presencia

de fallas potencialmente sísmicas en Morelia, Michoacán, México, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 18 (1), p. 37-54.

Goldstein, R. H., Reynolds, T. J., 1994. Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals: Tulsa, EUA, SEPM Short Course 31, p. 199.

Goldstein R. H., 2003. Petrographic analysis of fluid inclusions. In I. Samson, A. Anderson, & D. Marshall, eds. *Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation*. Mineralogical Association of Canada, short Course Series v. 32, p. 9-49.

González, P. E., Torres, R. V., 1988. Evolución tectónica de la porción Centro Occidental de México y su relación con los yacimientos minerales asociados. *Geofísica Internacional*, v. 274, p. 543-581.

González-Cervantes, N., 2007. Evolución del centro silíceo de la Sierra de Nanchititla, Estados de México y Michoacán: (Tesis de Maestría), Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Geociencias Campus Juriquilla, Querétaro.

Guerrero-Suástegui, M., Talavera-Mendoza, O., Ramírez-Espinosa, J., 1991. Facies sedimentarias y composición petrográfica de la secuencia de Huetamo, Michoacán. II Convención sobre La Evolución Geológica de México.

Guerrero-Suástegui, M., 2004. Depositional and Tectonic History of the Guerrero Terrane, Sierra Madre del Sur; with Emphasis on Sedimentary Successions of the Teloloapan Area, southwestern Mexico: (Tesis de Doctorado), Department of Earth Sciences, Memorial University, Newfoundland, Canadá, p. 600.

Hedenquist, J. W., 1986, Geothermal systems in the Taupo volcanic zone: their characteristics and relation to volcanism and mineralization, en Smith, I. E. M. (ed.), *Late Cenozoic volcanism in New Zealand: Royal Society of New Zealand Bulletin*, 23, p. 134-168.

INEGI., 1978. Carta Geológica Villa Madero E13-A33, Escala 1:50,000.

Kaiser, H. F., 1958. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika* 23, p. 187–200.

Lemlein, G. G., 1956. Russian literature on liquid inclusions in minerals and on geological thermometry, Supplement to russian translation of F. G. Smith, Historical development of inclusion thermometry. *Inostrannaya literature*, Moscow, p. 123-166 (una traducción al inglés del suplemento hecha por E., Roedder, ed., está disponible en la biblioteca de U. S. Geological Survey).

Mangas, J., Sierra, J., 1991. Las inclusiones fluidas: Método de análisis e interpretación: en Lunar R. y Oyarzun R., p. 79-146.

McDowell, F. W., Keizer R. P., 1977. Timing of mid-Tertiary volcanism in the Sierra Madre Occidental between Durango City and Mazatlan, Mexico, *Geological Society of America Bulletin*, 88, p. 1479-1487.

Miranda-Gasca, M. A., 1995. The Volcanogenic massive sulfide and sedimentary exhalative deposits of the Guerrero Terrane, Mexico. PhD dissertation, The University of Arizona, Tucson, p. 294.

Miranda-Gasca, M. A., 2000. The metallic ore-deposits of the Guerrero Terrane, western Mexico: an overview.

Mitchell, A. H. G., Balce, G. R., 1990, An overview of epithermal gold mineralization in the Philippines: *Journal of Geochemical Exploration*, 35, p. 241-296.

Monografía Geológico Minera del Estado de Michoacán, 1995. Consejo de Recursos Minerales.

Montiel-Escobar, J. E., Librado-Flores, J., Salazar-Reyes, J., Bustamante-García, J., Sánchez-Garrido, E., 1998. Carta Geológico-Minera Morelia E14-1, Escala, 1:250,000, Michoacán, Estado de México y Guanajuato, Servicio Geológico Mexicano.

Morales-Gómez, M., 2005. Geología estructural del sistema de fallas transcurrentes pos-cretácicas de la región de Tiquicheo, Michoacán Sur de México. Tesis de maestría en geología. UNAM.

Morán-Zenteno, D. J., Corona-Chávez, P., y Tolson, G., 1996. Uplift and subduction erosion in southwestern Mexico since the Oligocene: pluton geobarometry constraints: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 141, p. 51-65.

Morán-Zenteno, D. J., Alba-Aldave, L. A., Solé, J., y Iriando, A., 2004. A major resurgent caldera in southern Mexico: the source of the late Eocene Tilzapotla ignimbrite: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 136, p. 97-119.

Mortensen, J. K., Hall, B. V., Bissig, T., Friedman, R. M., Danielson, T., Oliver, J., Rhys, D. A., Ross, K. V., Gabites J. E., 2008. Age and paleotectonic setting of volcanogenic massive sulphide deposits in the Guerrero terrane of Central Mexico: constraints from U-Pb age and Pb isotope studies: *Economic Geology*, v. 103.

Mota-Mota, S., 1992. Estudio Geológico Minero de la zona aurífera de Llanitos en el Mpio. de Villa Madero, Michoacán: Consejo de Recursos Minerales.

Nesbitt, B. E., 1990, Fluid flow and chemical evolution in the genesis of hydrothermal ore deposits, en Nesbitt, B. E. (ed.), *MAC Short Course on fluids in tectonically active regimes of the continental crust*: Mineralogical Association of Canada, p. 261-297.

Nichol, W., 1828. Observations on the fluids contained in crystallised minerals: *Edinburgh New Philos, J.*, v. 5, p. 94-96.

Nieto-Samaniego, A. F., Alaníz-Álvarez, S. A., Silva-Romero, G., Eguiza-Castro, M.H., y Mendoza-Rosales, C. C., 2006. Latest Cretaceous to Miocene deformation events in the eastern Sierra Madre del Sur, Mexico, inferred from the geometry and age of mayor structures: GSA Bulletin, v. 118, N. ½. p. 1868-1882.

Nieto-Samaniego, A. F., Alaniz-Álvarez, S. A., Camprubí, A., 2005, La Mesa Central de México: estratigrafía, estructura y evolución tectónica cenozoica: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 57, p. 285-317.

Ortíz-Hernández, E., Yta, M., Talavera-Mendoza, O., Lapierre, H., Monod, O., Tardy, M., 1991. Origine intra-pacifique des formations pluto-volcaniques d'arc du Jurassique supérieur-Crétacé inférieur du Mexique centro-méridional: C. R. Acad. Sci., v. 312, p. 399-406.

Pantoja-Alor, J., 1959. Estudio geológico de reconocimiento de la región de Huetamo, Estado de Michoacán: Consejo de Recursos Naturales no Renovables, Boletín, v. 50, p. 3-33.

Pantoja-Alor, J., Estrada-Barraza, S., 1986. Estratigrafía de los alrededores de la mina de fierro de El Encino, Jalisco. Sociedad Geológica Mexicana, Boletín 47 (1), 1-5.

Pasquaré, G., Ferrarí, L., Garduño, V. H., Tibaldi, A. And Vezzoll, 1991. Geologic Map of the Central Sector of the Mexican Volcanic Belt, States of Guanajuato and Michoacan, Mexico, The Geological Society of America.

Ponce, D. A., Glen, J. M. G., 2002, Relationship of epithermal gold deposits to large-scale fractures in Northern Nevada: Economic Geology, 97, p. 3-9.

Ráisz, E., 1959. Landforms of Mexico: Cambridge, Massachusetts, Geography branch of the Office of Naval Research, 1 map with text, scale 1:3,000,000.

Ráisz, E., 1964. Landforms of Mexico. Cambridge, Mass., Second Edition, mapa con texto, escala aprox. 1:3,000,000.

Ramírez-Espinoza, J., Campa-Uranga, M. F., Talavera-Mendoza, O., Guerrero-Suástegui, M., 1991. Caracterización de los arcos insulares de la Sierra Madre del Sur y sus implicaciones tectónicas: Congreso Evolución Geológica de México, Soc. Mex. Miner., Instituto de Geología, UNAM, Memorias, p. 163-166.

Roedder, E., 1972. Composition of fluid inclusion. Geol. Surv. Prof. Paper 440 States Government Printing Office Washington.

Roedder, E., 1976. Fluid inclusion evidence on the genesis of ore in sedimentary and volcanic rocks. In: Wolf, K. H. ZEd. Handbook of Strata-Bound and Stratiform Ore Deposits; I. Principles and general studies, Geochemical Studies, v. 2, Elsevier, New York, p. 67-110.

Roedder, E., 1979. Fluid inclusions as samples of ore fluids: En Barnes, H. L. (Ed) Geochemistry of hydrothermal ore deposits, 2° Ed. Wiley, New York, p. 684-737.

Roedder, E., 1984. Fluid inclusions: Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy, 12, p. 644.

Rubalcaba-Ruiz, D. C., Thompson, T. B., 1988. Ore deposits at the Fresnillo mine, Zacatecas, Mexico. Economic Geology 83, p.1583-1596.

Sabanero-Sosa, M. H., Campa-Uranga, M. F., Chacón-Sotelo, J. E., Montiel-Escobar, J. E., De La Teja-Segura, M. A., 1997. Informe de la Carta Geológico-Minera y Geoquímica de Acuyo, Convenio Consejo de Recursos Minerales-Escuela Regional de Ciencias de la Tierra-UAG.

Sedlock, L. R., 1993. Tectonostratigraphics Terranes and Evolución of Mexico San Jose State University, Universidad Nacional Autónoma de México.

Shepherd, T. J., Rankin, A. H., Alderton, D. H. M., 1985. A practical guide to fluid inclusion studies: Blackie, Glasgow, London, p. 239.

Sibson, R. H., 1990. Faulting and fluid flow, in Nesbitt, B. E., ed., Short course on fluids in tectonically active regimes of the continental crust: Mineralogical Association of Canada, p. 93-132.

Silberman, M. L., Stewart, J. H., McKeen, E. H., 1976, Igneous activity, tectonics and hydrothermal precious-metal mineralization in the Great Basin during Cenozoic time: AIME Transactions, 260, p. 253-263.

Sillitoe, R. H., 1993. Epithermal models: Genetic types geometrical controls and Shallow features, Geological Association of Canada, Special paper 40, p. 403-417.

Sillitoe, R. H., Hedenquist, J., 2003. Linkages between Volcanotectonic Settings, Ore-Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposits Society of Economic Geologist, Special Publication Series, 10, p. 314-343.

Smith, F. G., 1953. Historical development of inclusion thermometry, Univ. Toronto Press, Toronto, Canada, p. 149.

Sociedad Exploradora Minera, S. A. de C. V., 1999. Informe de la Carta Geológico-Minera y Geoquímica Papatzingán E14-A44, Escala 1:50,000, elaborada bajo convenio del CRM.

Sorby, H. C., 1858. On the microscopic structure of crustal, indicating the origin of mineral and rocks, Geol. Soc. London Quart. Journal, 14, pt.1, p. 453-500.

Staude, J. M., 1993, Gold, silver, and base metal epithermal mineral deposits around the Gulf of California, México: relationship between mineralization and mayor structures, en Scott, R. W. Jr., Detra, P. S., Berger, B. S. (eds.) Advances related to United States and international mineral resources: developing frameworks and exploration technologies: U. S. Geological Survey Bulletin, 2039, p. 69-78.

Stein, G., Lapierre, H., Monod, O., Zimmerman, J. L., Vidal, R., 1993. Petrology of some Mexican Mesozoic plutons: sources and tectonic environments. *Journal of South American Earth Sciences* 7 (1), 1-17.

Steven, T. A., Lipman, P. W., Fisher, F. S., Blenlewski, C. L., Meeves, H. C., 1977, Mineral resources of study areas contiguous to the Uncompahgre Primitive area, San Juan Mountains, southwestern Colorado: U. S. Geological Survey Bulletin, 1391-E, p. 126.

Suter, M., Aguirre, G., Siebe, C., Quintero, O., y Komorowski, J. C., 1991. Volcanism and active faulting in the central part of the trans-Mexican Volcanic Belt, Mexico, M. J. and Hanan, B. B., eds., *Geological excursions in southern California and Mexico*, Guidebook Boulder, Geological Society of America, Annual Meeting, p. 224-243.

Talavera-Mendoza, O., 1993. Les formations orogéniques mésozoïques du Guerrero (Mexique meridional). Contribution a la canaissance de evolution geoginamique des cordilleres mexicaines (Ph. D Thesis) Univ. Joseph Fourier, Grenoble, France, p. 462.

Talavera-Mendoza, O., Ramírez-Espinoza, J., y Guerrero-Suastegui, M., 1995. Petrology and geochemistry of the Teloloapan Subtarrane: A lower Cretaceous evolved intra-oceanic island arc: *Geofísica Internacional*, v. 34, p. 3-22.

Talavera-Mendoza, O., Ramírez-Espinosa, J., Guerrero-Suástegui, M., 2000. Geochemical evolution of the Guerrero Terrane-example of a late Mesozoic, Multi-arc Sistem First Circum-Pacific and Circum-Atlantic Terrane Conference p. 150-151.

Talavera-Mendoza, O., Ruiz, J., Gehrels, G. E., Valencia, V. A., y Centeno- García, E., 2007. Dentrital zircón U/Pb geochronology of southern Guerrero and western Mixteca arc successions (southern Mexico): New insights for the tectonic evolution of the southwestern North America during the late Mesozoic: *GSA Bulletin*, v. 119. p. 1052-1065.

Tapia Cruz, M. A., Rosales Díaz, U., 2008. Carta Geológico Minera y Geoquímica Villa Madero, E14-A33, Michoacán, 1:50,000 Servicio Geológico Mexicano.

Titley, S. R., 1990. Contrasting metallogenesis and regional settings of Circumpacific Cu-Au porphyry systems: Pacific Rim 90 Congress, Proceedings, v. II, p. 127-133.

Tolson-Jones, G., 1998. Deformación, exhumación y geotectónica de la margen de Oaxaca: datos estructurales, petrológicos y geotermobarométricos: (Ph.D. Thesis), Universidad Nacional Autónoma de México, Colegio de Ciencias y Humanidades, Unidad Académica de los Ciclos Profesionales y de Postgrado, Postgrado en Geofísica, México D.F., p. 98.

Uribe-Salas, J. A., 2002. Historia de la Minería en Michoacán. v. 1. Colección Historia y Procesos/2 U.M.S.N.H.

Van den Kerkhof, F. y Hein, U., 2001. Fluid inclusión petrography. Lithos, v. 55, p. 27-47.

Vidal-Serratos, R., 1986. Tectónica de la Región de Zihuatanejo, Guerrero, Sierra Madre del Sur, México: IPN.

Vidal-Serratos, R., Campa-Uranga, M. F., Buitrón, B., Alencaster, G., 1992. El Conjunto Petrotectónico de Zihuatanejo, Guerrero Coalcomán, Michoacán: Conv. Evolución Geológica Mexicana, Primer Congreso Mexicano de Mineralogía.

White, N. C., Hedenquist, J. W., 1990, Epithermal environments and styles of mineralization: variations and their causes, and guidelines for exploration: Journal of Geochemical Exploration, 36, p. 445-474.

White, N. C., Leake, M. J., McCaughey, S. N., Parris, B. W., 1995. Epithermal gold deposits of the southwest Pacific: Journal of Geochemical Exploration, v. 54, 87-136.

Wilkinson, J. J., 2000. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits: *Lithos*, v. 55, p. 229-272.

Zirker, F., 1870. Mikromineralogische mittheilungen: *Nevues Jarrb, Mineralogy, Geologie und Paläontologie*, p. 801-832.

ANEXO A

CRITERIOS DE CIZALLA FRÁGIL Y GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL ÁREA

Para establecer la cinemática sobre los planos de falla, fueron utilizados algunos criterios de cizalla frágil, que permiten determinar el sentido de movimiento en zona de falla (Fig. 43).

Clastos rotados. Los clastos rotados o fragmentos en depósitos volcanosedimentarios o flujos de bloques y cenizas, pueden rotar durante el movimiento de una falla, de tal forma, que el eje mayor del clásto rotado y los labios de la falla indican el sentido de movimiento del bloque faltante (Garduño- Monrroy *et al.*, 2001).

Fracturamiento conjugado. En una zona de cizalla las paredes de los bloques de la roca involucrada se deforma formando fracturas conjugadas. El ángulo agudo formado por el sistema conjugado apunta en dirección del movimiento del bloque en que se encuentra contenido.

Lentes de deformación. En la deformación frágil, durante las fases iniciales de movimiento sobre una zona de falla, las fracturas R y P presentan un arreglo en echelón, debido a que la intersección entre ambos tipos de fracturas, forman lentes de cizallamiento o estructuras sigmoides que son de suma importancia para determinar el sentido de movimiento, ya que los extremos de los sigmoides apuntan en la dirección de cizallamiento. En muchas ocasiones la zona de cizalla es acompañada por un arreglo anastomosado de estructuras sigmoides.

Sobre los planos es posible identificar rasgos de la deformación como: estrías, escalones y mineralización.

Estrías. Son líneas finas sobre un plano de falla, que se forman durante el desplazamiento y sentido de movimiento de los bloques.

Escalones congruentes e incongruentes. Las superficies pulidas con estrías generalmente contienen pequeños escalones perpendiculares a la dirección de movimiento sobre el plano de falla. Existen dos tipos de escalones: los escalones congruentes, son aquellos que presentan minerales fibrosos y los escalones

incongruentes son aquellos que encaran el sentido contrario al movimiento, por lo tanto no contienen minerales fibrosos.

Clivaje de fractura. Es una serie de fracturas planas y paralelas que delimitan de manera tabular a fragmentos de roca y en las cuales existe un pequeño desplazamiento, originado por el fenómeno de cizallamiento. El ángulo que forma con respecto al labio de la falla determina el sentido de movimiento del plano en que está contenido.

Zona de relevo. Las fallas con curvatura o en arreglo en echelón, presenta zonas en las cuales la roca permanece intacta; sin embargo, al ser cortadas por una segunda generación de fracturas generan dos tipos de zonas de relevo. Las zonas de relevo compresivo generan estructuras como estilolitas, clivaje de fractura, fallas inversas o plegamientos. Las zonas de relevo tensional generan las cuencas pull apart (Gamond, 1987).

Con base a estos indicadores, fue posible establecer la cinemática que actúa sobre los planos de falla, permitiendo, la identificación del sentido de desplazamiento de las zonas de cizalla.

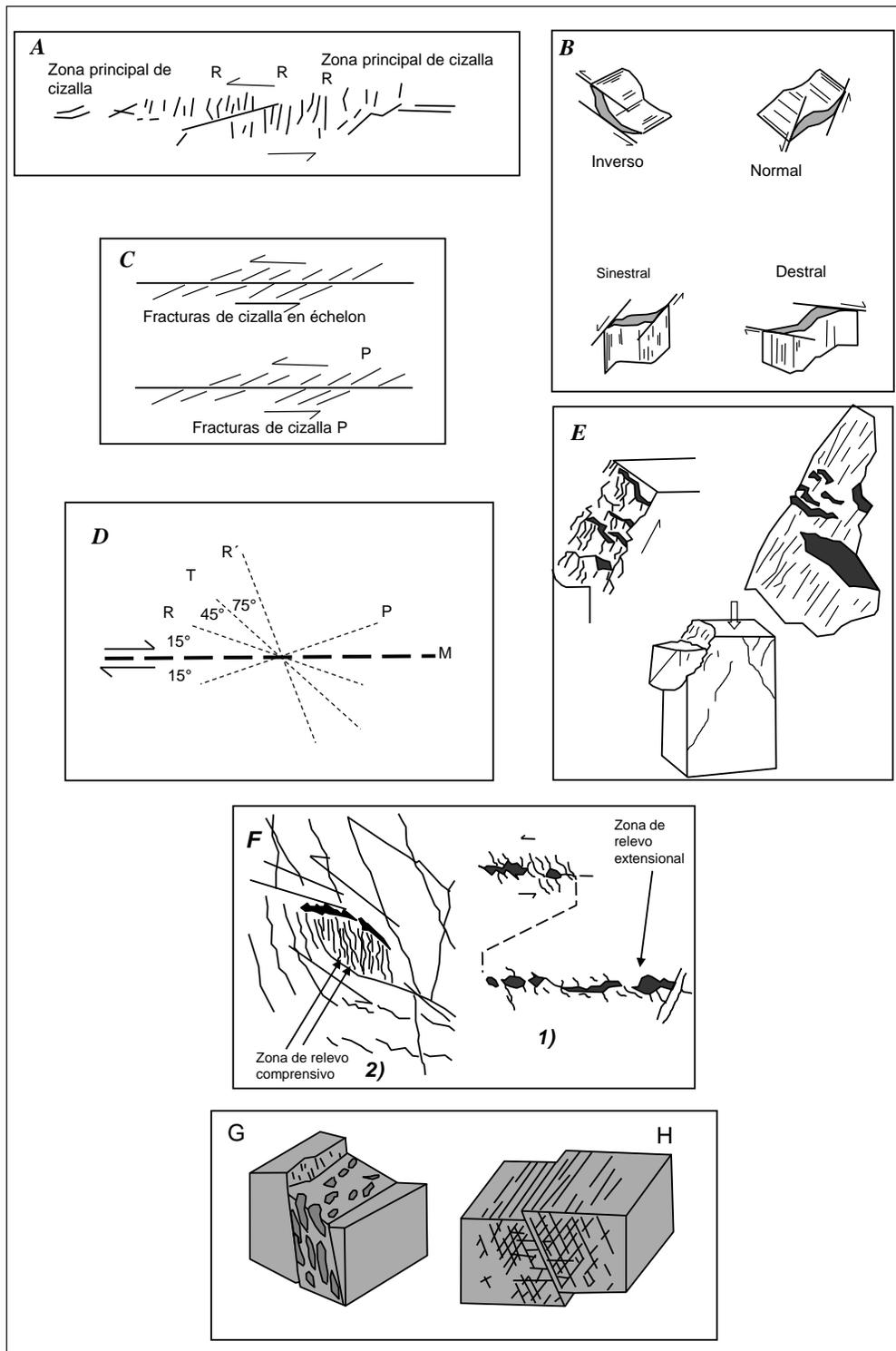


Fig. 43. A) Zona de cizalla; B) Sigmoides; C) Arreglos en échelon; D) Fracturas R y P; E) Formación de estrías y escalones Hobb (1976); F) Diagrama que muestra el origen de la zona de relevo Gamond (1987), 1) compresionales 2) extencionales; G) Alineación de clastos dentro de la zona de falla y H) Fracturamiento conjugado Garduño-Monrroy *et al.* (2001).

Deformación dúctil. Estructuralmente la expresión de la deformación dúctil en la roca metamórfica en el área, está dada por el desarrollo de anisotropía plana penetrativa correspondiente a una sola fase de deformación progresiva, como se explica a continuación. Esta deformación se desarrolló en condiciones de baja temperatura y baja presión como lo demuestra la presencia de minerales de las facies metamórficas de esquistos verdes.

La deformación dúctil se presenta, con desarrollo de dos superficies de anisotropía S_1 ; plegada y desarrollo de clivaje de crenulación S_2 ; paralela a la superficie S_1 ; se observan zonas de cizalla de escala decamétrica con desarrollo de budines de hasta 5 m de diámetro y pliegues curvilineales. En general se presentan con una deformación penetrativa bien definida y por zonas de cizalla dúctil con poco desarrollo.

En las rocas con deformación dúctil la alineación mineral está poco desarrollada, en su lugar existe un predominio de estructuras planares y estructuras de estiramiento que de tipo sigmoidales, “fish” en cuyo plano XY se muestra lineación mecánica, rods de cuarzo y boudines de todos los tamaños. Estas estructuras son típicas de zonas de cizalla dúctil regional. También asociadas a esta deformación se observaron pliegues abiertos regionales, pliegues tipo chevron, con desarrollo de clivaje de plano axial, y desarrollo de kink bands, sin embargo, a nivel cartográfico no fue posible establecer los límites no deformados, ya que quizás no afloran o porque la región trabajada fue pequeña en relación a la dimensión de esta zona.

Esta deformación en general está asociada con anticlinales de ejes orientados N-S, como el caso de la secuencia volcanosedimentaria de Carácuaro (Montiel-Escobar *et al.*, 1998) y el anticlinal de Tzitzio. Este tipo de deformaciones son los resultados de la Orogenia Laramide en el Cretácico Superior-Paleoceno.

Deformación frágil. En la región se reconocieron dos sistemas de fallas normales. El primero con orientación NW-SE, el segundo tiene una orientación NE-SW. Para referir datos puntuales, de las fallas medidas, se registraron coordenadas DATUM NAD 27-UTM 14 Q.

ANEXO B

RESULTADOS PETROGRÁFICOS

Tabla 1.- Resultados Petrográficos

MUESTRA	X	Y	TEXTURA	ESENCIALES	SECUNDARIOS	ACCESORIOS	ALTERACIÓN	CLASIFICACIÓN	ORIGEN	UNIDAD
VM126	276449	2132969	Fanerítica	Albita 40%, Biotita 25%, Cuarzo 20%, Microlina 15%	–	–	Sericitización	Granodiorita de biotita	Ígneo intrusivo con ligero metamorfismo	Ki A-B
TT01E	274865	2135208	Decusada	Anfibol 55%, Proxeno 15%, Arcilla 10%, Plagioclasa 10%	Tremolita 10%	–	Cloritización	Metanfibolita	Ígneo ultrabásico	Jm (?) CM
TT02B	275881	2133696	Criptocristalina	Cuarzo 42%, Arcilla 10%, Muscovita 10%	Cuarzo 25%, Muscovita 5%	Feldespatos 8%	Sericitización	Cuarzoarenita	Sedimentario	Jm (?) CM
VM55	272140	2138085	Porfídica	Plagioclasa 65 %	Cuarzo 25%, feldespatos 5%, minerales opacos 1%	Augita 4%	Sericitización, oxidación	Andesita porfídica alterada	Ígneo extrusivo	Jm (?) CM
VM117	275893	2133635	Afanítica	Vidrio 12%	Sericita 55%, Cuarzo 25%, Óxidos 5%	Biotita 3%	Oxidación	Meta andesita	Ígneo extrusivo con metamorfismo	Jm (?) CM
VM118	275893	2133635	Afanítica	Vidrio 12%	Sericita 55%, Cuarzo 25%, Oxidos 5%	Biotita 3%	Oxidación	Meta Andesita	Ígneo extrusivo con metamorfismo	Jm (?) CM
TT03D	271851	2131033	microporfídica-afieltrada	Plagioclasa 35%, Proxeno 25%, Cuarzo 10%, Olivino 5%	Calcita 10%, Óxidos 10%, Clorita 5%	–	Carbonatación, Cloritización	Andesita microporfídica	Ígnea volcánica	To Gr-Gd
TT04A1 VETA	276799	2132845	Microgranuda fluidal	Plagioclasa 45%, Cuarzo 20%	Calcita 15%, Cuarzo 10%, Óxidos 8%	–	Sericitización	Dacita fuertemente alterada	Ígneo extrusiva. Con metamorfismo	To Gr-Gd

Tabla 1.- Resultados Petrográficos

MUESTRA	X	Y	TEXTURA	ESENCIALES	SECUNDARIOS	ACCESORIOS	ALTERACIÓN	CLASIFICACIÓN	ORIGEN	UNIDAD
TT04C VETA	276799	2132845	Afanítica	Plagioclasa 42%, Cuarzo 20%	Calcita 15%, Cuarzo 15%, Óxidos 10%, Muscovita 1%	–	Sericitización	Dacita fuertemente alterada	Ígneo extrusivo. Metamorfismo cataclástico	To Gr-Gd
TT05D	275252	2132655	Holocristalina- granular en mosaico	Cuazo 45%, Feldespato 30%, Muscovita 15%, Plagioclasa 10%	–	–	Sericitización	Granito	Ígneo intrusivo	To Gr-Gd
TT09A VETA	278483	2132961	Afanítica	Feldespato 38%, Plagioclasa 25%, Óxidos 15%, Cuarzo 12%	Cuarzo 10%	–	Argilitización y Sericitización	Riolita silicificada óxidada	Ígneo extrusivo con metamorfismo cataclástico	To Gr-Gd
TT10B	271443	2140428	Hialoclástica	Fragmento de roca 30%, Vidrio 20%, Plagioclasa 15%, Cuarzo 12%	Calcita 10%, Cuarzo 3%	Óxidos 10%	Oxidación	Toba vitrolítica	Ígnea volcánica	To Gr-Gd
VM58	272358	2137972	Fanerítica	Plagioclasa 70%, Hornblenda 5%	Cuarzo 15%, clorita 10%	–	silicificación, clorotización	Microdiorita	Ígneo intrusivo	To Gr-Gd
VM64	273489	2135233	Glomeroporfídica	Plagioclasa 60%,	Cuarzo 25%, minerales opacos 5%	Augita 5%, Biotita 5%	Sericitización	Andesita porfídica silicificada	Ígneo extrusivo con alteración	To Gr-Gd
VM87	271878	2131048	Pilotaxítica	Plagioclasa 54%	Minerales Opacos 20%, Calcita 15%, Cuarzo 6%, Clorita 5%	–	Carbonatación	Andesita Alterada	Ígneo extrusivo	To Gr-Gd
VM125	276449	2132969	Fanerítica	Albita 40%, Biotita 25%, Cuarzo 20%, Microclina 15%,	–	–	Sericitización	Granodiorita de biotita	Ígneo extrusivo con ligero metamorfismo	To Gr-Gd

Tabla 1.- Resultados Petrográficos

MUESTRA	X	Y	TEXTURA	ESENCIALES	SECUNDARIOS	ACCESORIOS	ALTERACIÓN	CLASIFICACIÓN	ORIGEN	UNIDAD
VM127	276543	2131781	Fanerítica	Hornblenda 80%, Piroxeno 12%,	Cuarzo 3%, Feldespato 3%, Calcita 2%	-	Cloritización	Hornblendita	Ígneo intrusivo	To Gr-Gd
TT10A VETA	271443	2140428	Afanítica	Plagioclasa 45, Vidrio 25%, Cuarzo 10%	Hematita 10%, Óxidos 10%	-	Argilitización	Dacita silicificada óxidada	Ígneo extrusivo	To PR
TT11A VETA	275056	2141951	Afanítica	Feldespato 40%, Cuarzo 20%, Plagioclasa 20%	Cuarzo 10%, Hematita 10%	-	Argilitización y Sericitización	Riolita óxidada silicificada	Ígneo extrusivo	To PR
TT87B VETA	273030	2143591	Microgranuda	Feldespato 40%, Plagioclasa 25%, Cuarzo 20	Cuarzo 5%, Hematita 5%, Muscovita 5%	-	Argilitización y Sericitización	Riolita con alteración argílica avanzada	Ígneo extrusivo	To PR
TT90A VETA	273648	2140028	Microgranuda con partes esferulíticas	Feldespatos 42%, Cuarzo 20%, Plagioclasa 20%	Óxidos 5%, Calcita 3%	-	Sericitación, Argilitización	Riolita argilizada	Ígneo extrusivo	To PR
TT92A VETA	273562	2139729	Microgranuda con escasos fenocristales	Feldespato 45%, Plagioclasa 30%, Cuarzo 20%	Óxidos 3%, Calcita 2%	-	Argilitización, Sericitización	Riolita argilizada	Ígneo extrusivo	To PR
VM35	272964	2141666	Porfídica	Feldespato 52%, Cuarzo 20%, Oligoclasa 15%,	Muscovita 8%, Minerales opacos 2%	Fayalita 3%	Sericitización, oxidación	Pórfido riolítico	Ígneo hipabisal	To PR
VM41	274754	2142000	Porfídica	Feldespato 30%, plagioclasa 30 %, cuarzo 20 %	Muscovita 15 %, oxidos 5 %	N.A	Argilización y Sericitización	Pórfido riocácitico alterado	Hipabisal	To PR
VM54	270919	2138582	Pórfido vesicular	Feldespato 55%, Cuarzo 35 %	Biotita 5%	Oxidos 2%	Silicificación- carbonatación, oxidación	Pórfido riolítico silicificado	Ígneo Hipabisal	To PR

ANEXO C

INCLUSIONES FLUIDAS

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LAS INCLUSIONES FLUIDAS

Las inclusiones fluidas pueden ser usadas, previo análisis petrográfico, para reconstruir las condiciones ambientales del crecimiento cristalino, así como para caracterizar químicamente los fluidos a partir de los que se formaron los minerales que las contienen (Roedder, 1984; Goldstein y Reynolds, 1994; Van de Kerkhof y Hein, 2001).

El estudio de inclusiones fluidas y una correcta interpretación de resultados proporciona información sobre temperatura y salinidades de formación de los fluidos hidrotermales formadores de yacimientos (Van den Kerkhof y Hein, 2001).

Inclusiones Fluidas

Las inclusiones fluidas son interrupciones o defectos en la estructura cristalina de un mineral que han atrapado algún tipo de fluido durante el crecimiento del mismo. Éstas representan porciones atrapadas de los líquidos y gases, fundidos a partir de los cuales se produjo el crecimiento cristalino.

Una inclusión fluida se forma cuando en una cavidad o laguna de crecimiento de un mineral, se atrapa uno o varios fluidos, en los cuales, puede además haber uno o más minerales sólidos. De esta manera, las inclusiones fluidas son trazas microscópicas de fluidos que quedan atrapados en los minerales formadores de roca (Dubessy, 1984). Los tamaños de las inclusiones normalmente son inferiores a las 100 μm , pero en su mayoría están entre 5 y 30 μm , aunque se conocen ejemplares con tamaños de varios centímetros.

Los fluidos atrapados pueden ser líquido, vapor o fluidos supercríticos y su composición puede incluir esencialmente agua pura, salmueras de varias salinidades, gas o líquidos gaseosos y silicatos, sulfuros o mezclas de carbonatos entre otros (Bodnar, 2003a).

Clasificación de las Inclusiones Fluidas

El criterio más utilizado se basa en el origen. Roedder (1976, 1981, 1984) y Mangas y Sierra (1991) establecen ciertos parámetros geométricos y morfológicos para distinguir la cronología de las inclusiones fluidas y así distinguir tres tipos genéticos de inclusiones: primarias, secundarias y pseudosecundarias.

a) Inclusiones Primarias.

Cuando los cristales crecen o recristalizan en un medio fluido de naturaleza homogénea se forman irregularidades de crecimiento capaces de atrapar pequeñas porciones del fluido. El sellado de tales irregularidades da lugar a la formación de inclusiones fluidas primarias, las cuales, se localizan en el avance de las caras, aristas y vértices del cristal. Estas inclusiones son las más representativas de las condiciones termodinámicas presentes en el momento del atrapamiento.

Al ser accidentes en el proceso de crecimiento, se distribuyen al azar. Roedder (1979a y b, 1981, 1984) ha definido los mecanismos de captura de fluidos más comunes que se pueden presentar durante el crecimiento cristalino, los cuales se indican a continuación.

Cuando las capas de crecimiento de un cristal no son completamente planas se forman cavidades o vacíos en el que se atrapa el fluido (Fig.44a).

La disolución parcial de un mineral precoz produce numerosos entrantes en la superficie cristalina. Cuando continúa el crecimiento, se pueden formar inclusiones grandes, o bandas de inclusiones pequeñas, en las irregularidades de la superficie (Fig. 44b).

Cuando algún objeto sólido se fija a la superficie de un cristal en vías de crecimiento, puede quedar englobado como inclusión sólida y capturar al mismo tiempo alguna inclusión fluida (Fig. 44c).

El crecimiento rápido de un mineral puede dar lugar a la formación de un cristal con bordes esqueléticos o dendríticos. Si a este episodio sucede otro de crecimiento más lento, pueden quedar atrapadas en el cristal inclusiones de tamaño variado (Fig. 44d).

b) Inclusiones secundarias.

Se incluyen aquí todas las inclusiones que se originan con posterioridad a la formación del cristal. Así pues, si un cristal se fractura en presencia de un fluido de solubilidad finita, el fluido penetra en la fractura y comienza una acción de disolución y recristalización del mineral, reduciendo la superficie y atrapando un conjunto de inclusiones secundarias. Como el cristal donde se encuentra la fractura sigue cristalizando al tiempo que entra el fluido, el término inclusión secundaria es relativo (Fig. 44e).

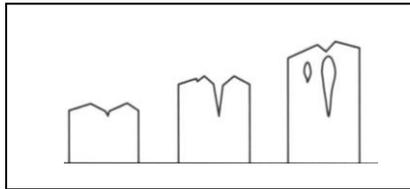


Fig. 44a. Tomada de Roedder (1979a y b, 1981,1984).

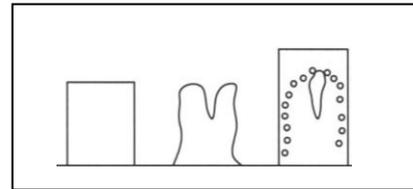


Fig. 44b. Tomada de Roedder (1979a y b, 1981,1984).

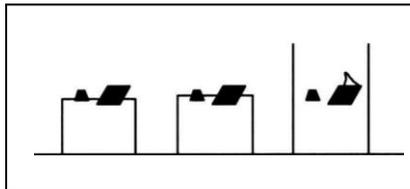


Fig. 44c. Tomada de Roedder (1979a y b, 1981,1984).

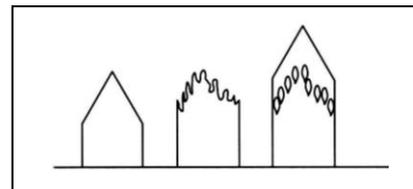


Fig. 44d. Tomada de Roedder (1979a y b, 1981,1984).

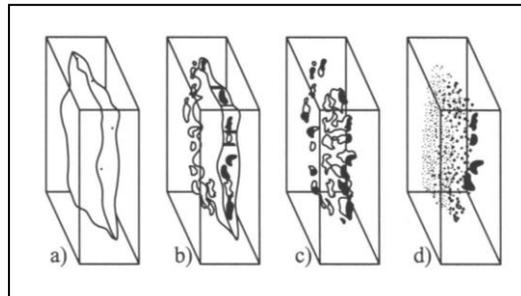


Fig. 44e. Tomada de Roedder (1979a y b, 1981,1984).

c) Inclusiones pseudosecuendarias.

Si un cristal se fractura durante su crecimiento, los fluidos nutrientes entran en la fractura y quedan atrapados dentro del cristal. Representan el estado intermedio entre inclusiones primarias y secundarias, para poder definir exactamente estas inclusiones, es necesario que estén bien delimitadas las fracturas dentro del cristal.

En la actualidad, otro intento de clasificación muy extendido es el de indicar con letras los diferentes tipos de inclusiones en función de las fases principales presentes a temperatura de laboratorio (Roedder, 1984; Shepherd *et al.* 1985; Goldstein, 2003; Van den Kerkhof y Hein, 2001), (Fig. 45), así, tenemos:

Tipo L. Homogenizan en fase líquida; no suelen llevar sólidos significativos; a veces no tienen fase vapor (monofásicas a temperatura de laboratorio); tienen mayor densidad y son las más abundantes.

Tipo V. Homogenizan en fase vapor; no suelen presentar sólidos significativos; la fase vapor ocupa un 50% y tienen menor densidad.

Tipo C. A temperaturas de 20°C, presentan 3 fases: L1 (líquido fundamentalmente acuoso), L2 (líquido fundamentalmente carbónico con CO₂, CH₄,....) y V (vapor carbónico: CO₂, CH₄, N₂).

Tipo S. Este tipo contiene, por lo menos, un sólido. La fase líquida suele ser mucho mayor que la fase vapor. El sólido puede ser precipitado o atrapado mecánicamente. En el primer caso nos indica que el fluido está saturado en ese compuesto. Los sólidos más comunes son NaCl, KCl, anhidrita, nacolita, carbonatos de Ca y Mg. Los minerales atrapados mecánicamente son sólidos que estaban en equilibrio con el medio.

Tipo G. Vidrio, más fluido y/o fases sólidas, son frecuentes en rocas volcánicas, subvolcánicas, meteoritos y muestras lunares, presentan una o varias burbujas inmóviles debido a su elevada densidad.

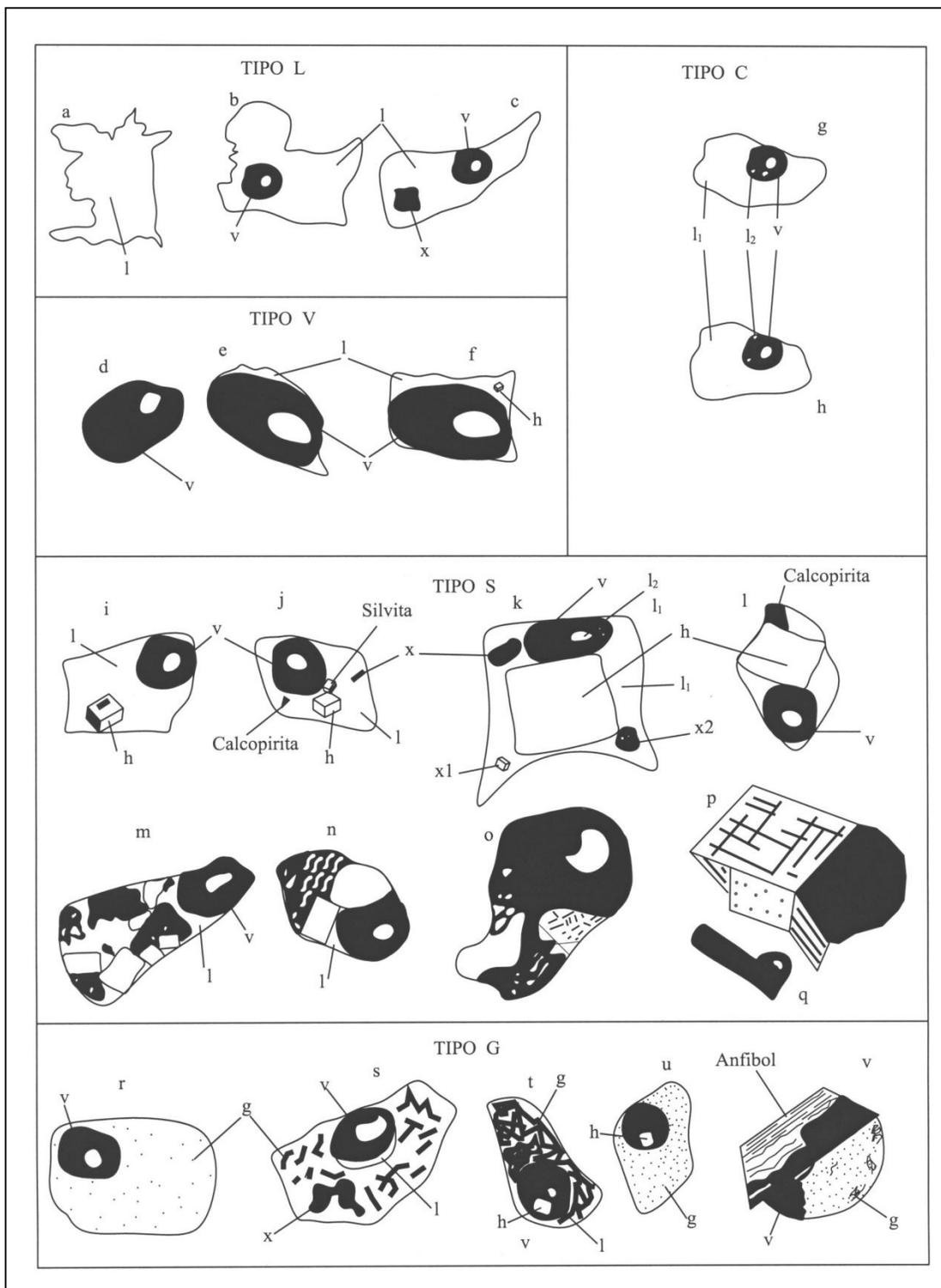


Fig. 45.- Tipos de inclusiones: l. líquido; v, vapor; h, halita; x, varios cristales a menudo no identificados; g, vidrio. Tomada de Roedder E. (1984), Shepherd *et al.* (1985).

Microtermometría de inclusiones fluidas

La microtermometría es la técnica empleada para determinar los cambios que ocurren dentro de una inclusión fluida en función de la temperatura. Se basa en la medida de las temperaturas a las que se producen los cambios de fases en las inclusiones, cuando éstas se someten a un progresivo aumento de la temperatura entre -180 y $+600^{\circ}\text{C}$, entre ellos la fusión de un líquido solidificado previamente (congelado), la fusión de fases sólidas y la homogenización de sistemas gas-líquido en una sola fase gaseosa o líquida.

La temperatura de homogeneización T_h de una inclusión fluida corresponde a la temperatura en la cual una fase líquida y una vapor se homogenizan a una sola fase líquida, vapor o supercrítica. Ésta debe considerarse como la temperatura mínima a la que se atrapó una inclusión fluida (Camprubí, 2010), y representa en muy buena medida la temperatura del fluido al momento de quedar atrapada, por lo tanto, representa la temperatura de formación del mineral entrampante (Roedder, 1984).

La temperatura de fusión se mide congelando las inclusiones con nitrógeno líquido, mucho más allá de la temperatura de solidificación. Posteriormente se calienta gradualmente y en forma controlada, hasta llegar al punto en que el hielo comienza a fundirse. Existen varias fórmulas para calcular la salinidad.

Adicionalmente, la distribución espacial de los datos microtermométricos, en conjunto con la distribución de determinados minerales o asociaciones minerales, es particularmente útil para obtener criterios de exploración en un cuerpo mineralizado conocido, o bien en un área en proceso de evaluación (Camprubí 2010).

Resultados de microtermometría de inclusiones fluidas

Los resultados microtermométricos de temperatura de homogenización, temperatura de fusión y salinidad en % NaCl equivalente, en el área de Fe-Au-Ag, de 102 mediciones, se presentan en la Tabla 32; los resultados de 92 mediciones de la zona de Pb-Zn, por separado las muestras por sistemas, en las Tablas 37, 38 y 39.

Tabla 37. Resultados de todas las muestras inclusiones fluidas de la zona de Ag-Au. Sistema Las Truchas		
TEMPERATURA DE HOMOGENIZACIÓN	TEMPERATURA DE FUSIÓN	SALINIDAD
146.5	-7.7	11.34
147	-7.9	11.58
163	-9.4	13.29
175	-9.4	13.29
181	-9.7	13.62
182.2	-8.9	12.73
190	-8	11.70
190.2	-10.4	14.36
202.5	-9	12.85
147	-7.5	11.10
170	-9.4	13.29
172	-8.2	11.93
175	-8.3	12.05
170	-8.5	12.28
277.1	-7.2	10.73
372.7	-7.3	10.86
259.6	-7.3	10.86
262	-7.9	11.58
269.4	-8.1	11.81
132	-23.1	24.40
138	-7	10.49
143	-21.9	23.63
143.5	-21.9	23.63
141	-7.2	10.73
145	-6.7	10.11

Tabla 37. Resultados de todas las muestras inclusiones fluidas de la zona de Ag-Au. Sistema Las Truchas		
TEMPERATURA DE HOMOGENIZACIÓN	TEMPERATURA DE FUSIÓN	SALINIDAD
145	-7	10.49
145	-22	23.70
156	-12.1	16.05
157.7	-12	15.96
158.4	-12.4	16.34
160.2	-21.9	23.63
163.7	-21.8	23.57
164.6	-7.8	11.46
179.7	-24	24.96
181	-10	13.94
185.4	-12.3	16.24
189.2	-11.7	15.67
189.5	-11.7	15.67
190.2	-11.6	15.57
192.7	-10.6	14.57
195	-11.2	15.17
264	-12.1	16.05
373.6	-18.6	21.40
145	-22	23.70
158	-12	15.96
272.5	-11.8	15.76
272.5	-14.2	17.96
277	-10.6	14.57
310	-12.6	16.53
137	-4	6.45

Tabla 37. Resultados de todas las muestras inclusiones fluidas de la zona de Ag-Au. Sistema Las Truchas

TEMPERATURA DE HOMOGENIZACIÓN	TEMPERATURA DE FUSIÓN	SALINIDAD
144	-11	14.97
147	-4.1	6.59
154	-6	9.21
157	-5.1	8.00
158	-10.2	14.15
160	-5.4	8.41
161	-5.4	8.41
162	-10.8	14.77
172	-5.4	8.41
135	-3.9	6.30
197	-10.8	14.77
198	-10.5	14.46
198.5	-10.5	14.46
202	-11	14.97
202	-11	14.97
331	-10.5	14.46
150.7	-6.9	10.36
170	-8.6	12.39
173	-11	14.97
175	-8.4	12.16
180	-9	12.85
175	-8.3	12.05
174	-7	10.49
157.9	-8.4	12.16
166	-7.6	11.22
167.4	-8.4	12.16

Tabla 37. Resultados de todas las muestras inclusiones fluidas de la zona de Ag-Au. Sistema Las Truchas

TEMPERATURA DE HOMOGENIZACIÓN	TEMPERATURA DE FUSIÓN	SALINIDAD
168	-9.6	13.51
172	-6.9	10.36
176	-5.3	8.28
177	-7.8	11.46
178	-7.8	11.46
178	-9.4	13.29
179	-7.6	11.22
181	-7.2	10.73
182	-6.9	10.36
184	-6.7	10.11
189	-6	9.21
165	-14.8	18.47
170.9	-14.4	18.13
176	-13.1	16.99
177	-14.1	17.87
178	-14.3	18.04
178.8	-15	18.63
180	-14.4	18.13
189.6	-13.2	17.08
196	-13	16.89
198	-13.6	17.43
196	-0.4	0.70
208	-14.2	17.96
211	-12.8	16.71
218	-13.8	17.61
226	-13.8	17.61

Tabla 38. Resultados de todas las muestras inclusiones fluidas de la zona de Pb-Zn, en el Sistema Indianillas

TEMPERATURA DE HOMOGENIZACIÓN	TEMPERATURA DE FUSIÓN	SALINIDAD
135.5	-7.8	11.46
136.6	-11.3	15.27
137.9	-8.9	12.73
178.8	-14	17.79
182.2	-8.3	12.05
185.4	-5.7	8.81
213	-14.5	18.22
137	-8.1	11.81
141	-8	11.70
144	-8.2	11.93
148	-8.2	11.93
151.2	-4	6.45
162	-5.3	8.28
164	-5.3	8.28

Tabla 38. Resultados de todas las muestras inclusiones fluidas de la zona de Pb-Zn, en el Sistema San Juan		
TEMPERATURA DE HOMOGENIZACIÓN	TEMPERATURA DE FUSIÓN	SALINIDAD
96	-7.8	11.46
105	-7.5	11.10
112.6	-7.3	10.86
127	-7.9	11.58
129.5	-7.3	10.86
130	-8.2	11.93
139	-0.8	1.40
139.4	-7.9	11.58
140	-9.4	13.29
143	-2	3.39
143.6	-7.3	10.86
146	-8.7	12.51
147.5	-8.4	12.16
157.5	-7.7	11.34
167.2	-7.5	11.10
212	-8.2	11.93
214	-8	11.70
215	-8.9	12.73

Tabla 38. Resultados de todas las muestras inclusiones fluidas de la zona de Pb-Zn, en el Sistema San Juan		
TEMPERATURA DE HOMOGENIZACIÓN	TEMPERATURA DE FUSIÓN	SALINIDAD
216	-8.1	11.81
217	-8.8	12.62
217	-8.8	12.62
220	-9	12.85
170	-9.5	13.40
171	-9.6	13.51
190	-10.5	14.46
207	-10.5	14.46
210.5	-8.9	12.73
230	-9.8	13.72
254.5	-8.7	12.51
255.3	-9.2	13.07
255	-9.6	13.51
255	-9	12.85
172	-10	13.94
170	-9.5	13.40
215	-10	13.94

Tabla 39. Resultados de todas las muestras inclusiones fluidas de la zona de Pb-Zn, en el Sistema Tepetates

TEMPERATURA DE HOMOGENIZACIÓN	TEMPERATURA DE FUSIÓN	SALINIDAD
219	-10.5	14.46
223	-10.9	14.87
223	-10.9	14.87
224	-8	11.70
231	-8	11.70
256	-16.2	19.60
273	-3.5	5.71
287	-14	17.79
289	-14	17.79
308	-8.8	12.62
336	-10.7	14.67
337	-10.7	14.67
377	-10.7	14.67
380	-8	11.70
386	-14	17.79
430	-8.2	11.93
361.1	-7.4	10.98
393.3	-7.9	11.58
399.1	-8.7	12.51
255.7	-5.2	8.14
278.3	-6.4	9.73
176	-7.9	11.58

Tabla 39. Resultados de todas las muestras inclusiones fluidas de la zona de Pb-Zn, en el Sistema Tepetates

TEMPERATURA DE HOMOGENIZACIÓN	TEMPERATURA DE FUSIÓN	SALINIDAD
199.3	-7.9	11.58
220.3	-7.5	11.10
228	-7.7	11.34
246.4	-5.5	8.55
247.7	-8.1	11.81
250	-8	11.70
260	-8	11.70
265	-11.8	15.76
270	-8.5	12.28
281	-8.8	12.62
200	-9.5	13.40
185	-9.7	13.62
230	-9.2	13.07
244	-8.8	12.62
248.2	-9.5	13.40
299	-8.7	12.51
308	-8.7	12.51
334	-8.8	12.62
319.4	-7.6	11.22
324.2	-7.5	11.10
329.8	-7.7	11.34

ANEXO D

BARRIDO ELECTRÓNICO

MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO

El Microscopio Electrónico de Barrido es un microscopio que utiliza electrones, como fuente luminosa, el cual es generado en el cañón electrónico, el haz electrónico es enfocado por lentes electromagnéticas.

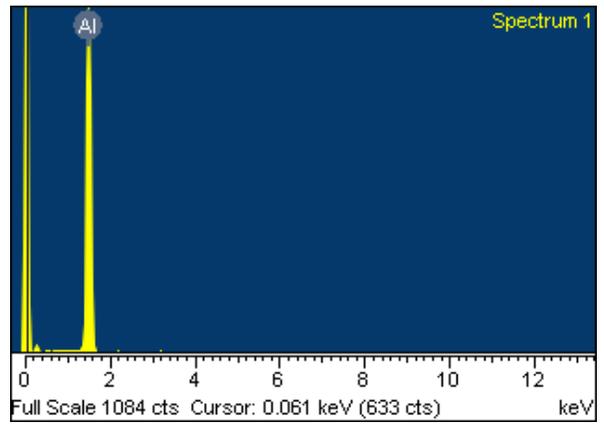
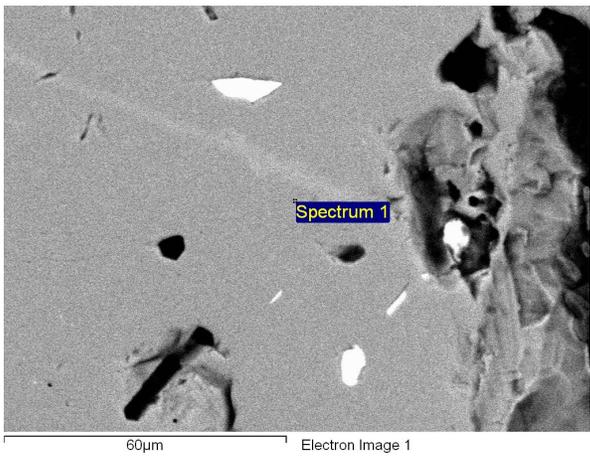
- Está constituido principalmente por un cañón electrónico, una lente condensadora y una lente objetiva.
- La lente objetiva cuenta con 2 pares de bobinas, electromagnéticas que permite mover el haz electrónico de un lado a otro y de arriba abajo este movimiento permite barrer toda la superficie de la muestra, de aquí el nombre de la técnica.
- En particular este microscopio cuenta con un detector de electrones secundarios y uno de electrones retrodispersores (Tipo Shadow Pat. Jeol.) En ambos casos las imágenes son generadas por un programa de computadora.

INTERACCIÓN DEL HAZ CON LA MUESTRA

El haz electrónico al incidir sobre un material genera diferentes tipos de reacción. Cada reacción puede ser captada por un detector específico.

Los electrones secundarios son producidos por choques de electrones incidentes y la banda de conducción de átomos de la muestra. Tienen muy baja energía 3 a 5 eV y proporcionan información topográfica.

Electrones retrodispersados son electrones del haz incidente que son dispersados fuera de la muestra. Son electrones de alta energía, el grado de dispersión es directamente proporcional al número atómico de los átomos del material, por lo que pueden ser utilizados para distinguir elementos ligeros de pesados.



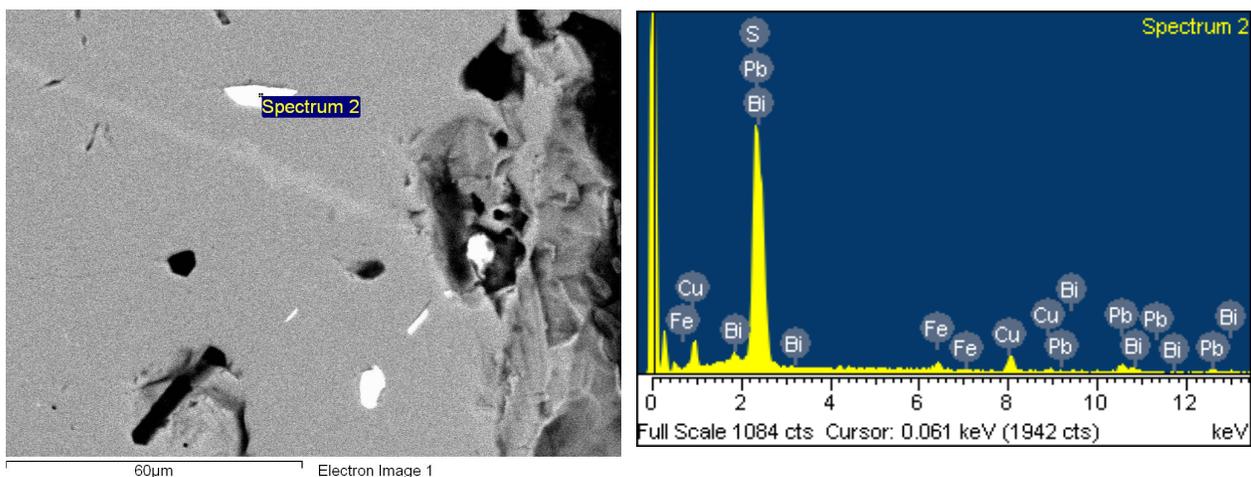
Muestra del sistema Las Truchas, en la mina abandonada San Rafael.

Spectrum processing:
 Peak possibly omitted: 0.268 keV

Processing option: All elements analyzed (Normalised)
 Number of iterations = 1

Standard:
 Al Al₂O₃ 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	App Conc.	Intensity Corr.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
Al K	84.56	1.3576	100.00	0.00	100.00
Totals			100.00		



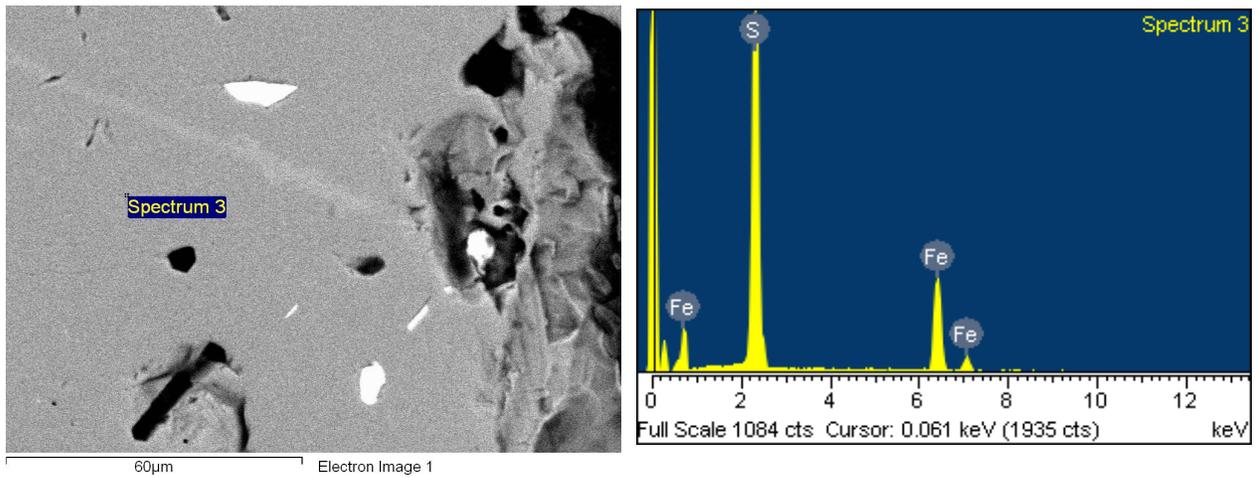
Muestra del sistema Las Truchas, en la mina abandonada San Rafael.

Spectrum processing:
Peak possibly omitted: 0.263 keV

Processing option: All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 3

Standard:
S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM
Pb PbF2 1-Jun-1999 12:00 AM
Bi Bi 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	App Conc.	Intensity Corr.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
S K	12.95	1.0629	17.12	1.34	48.88
Fe K	2.27	1.0425	3.06	0.69	5.02
Cu K	8.38	1.0745	10.97	1.26	15.80
Pb M	26.39	0.9635	38.49	2.70	17.01
Bi M	20.47	0.9479	30.36	2.77	13.30
Totals			100.00		



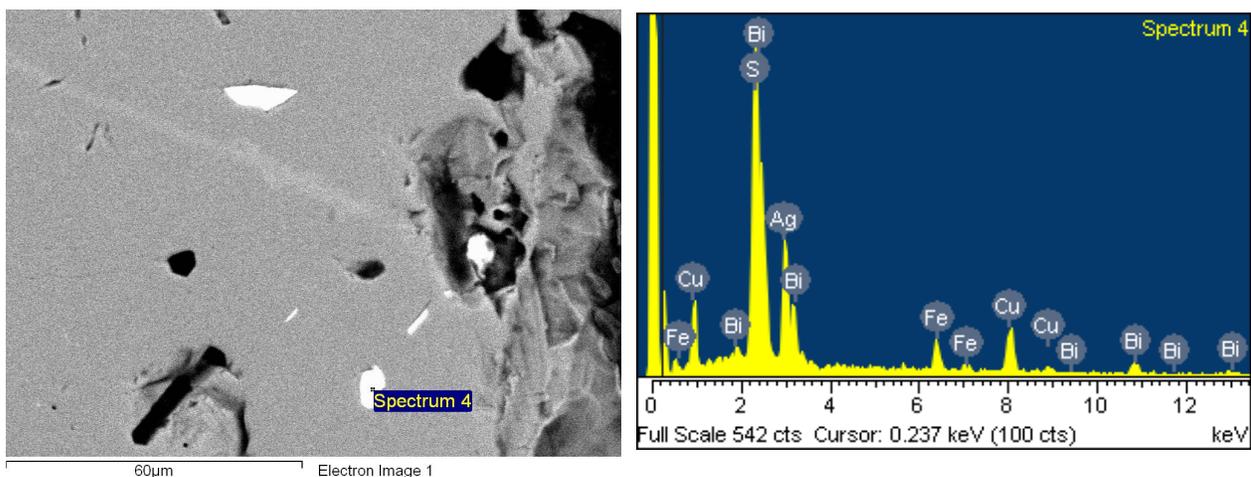
Muestra del sistema Las Truchas, en la mina abandonada San Rafael.

Spectrum processing:
Peak possibly omitted: 0.262 keV

Processing option: All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 2

Standard:
S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	App Conc.	Intensity Corrn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
S K	48.78	0.9829	54.30	1.03	67.42
Fe K	37.71	0.9029	45.70	1.03	32.58
Totals			100.00		



Muestra del sistema Las Truchas, en la mina abandonada San Rafael.

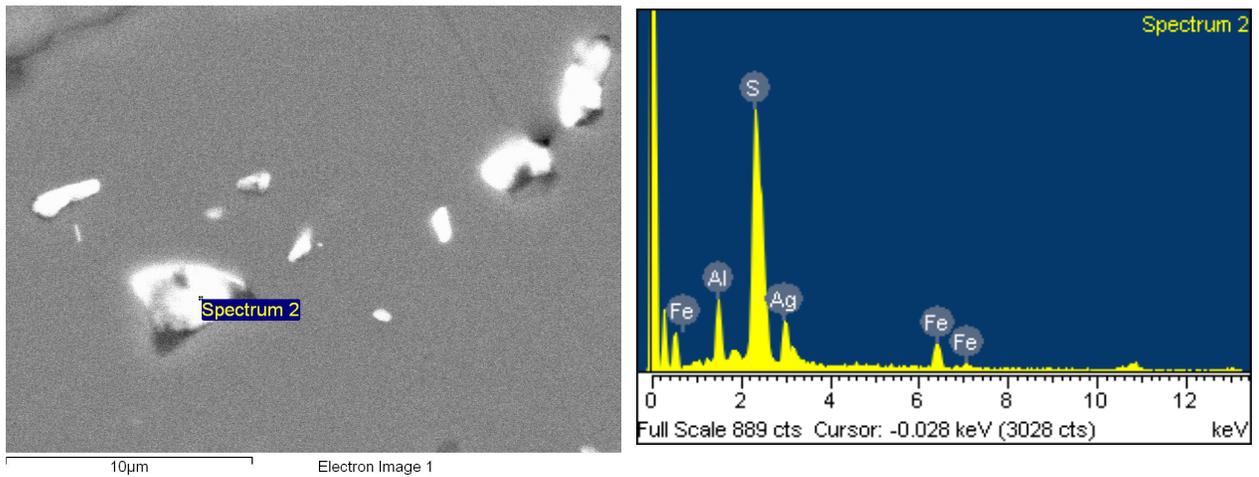
Spectrum processing:
No peaks omitted

Processing option: All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 3

Standard:

S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM
 Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
 Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM
 Ag Ag 1-Jun-1999 12:00 AM
 Bi Bi 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	App Conc.	Intensity Corrn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
S K	16.16	0.9973	18.72	1.12	42.94
Fe K	5.11	0.9993	5.90	0.74	7.77
Cu K	15.27	1.0072	17.51	1.37	20.27
Ag L	16.36	0.7199	26.25	1.71	17.90
Bi M	24.32	0.8882	31.62	2.41	11.13
Totals			100.00		



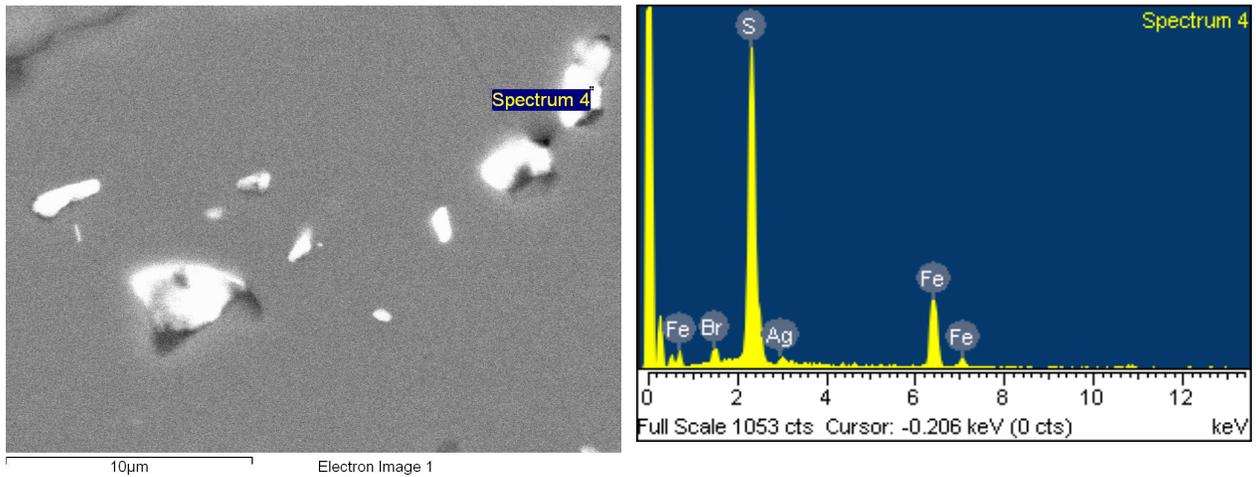
Muestra del sistema Las Truchas, en la mina abandonada El Zapotito.

Spectrum processing:
 Peak possibly omitted: 10.780 keV

Processing option: All elements analyzed (Normalised)
 Number of iterations = 2

Standard:
 Al Al₂O₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
 S FeS₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
 Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
 Ag Ag 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	App Conc.	Intensity Corrn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
Al K	3.86	0.7846	12.85	1.07	21.22
S K	13.31	0.9577	36.24	1.90	50.38
Fe K	6.66	0.9075	19.15	1.68	15.28
Ag L	8.98	0.7378	31.76	2.26	13.12
Totals			100.00		



Muestra del sistema Las Truchas, en la mina abandonada El Zapotito.

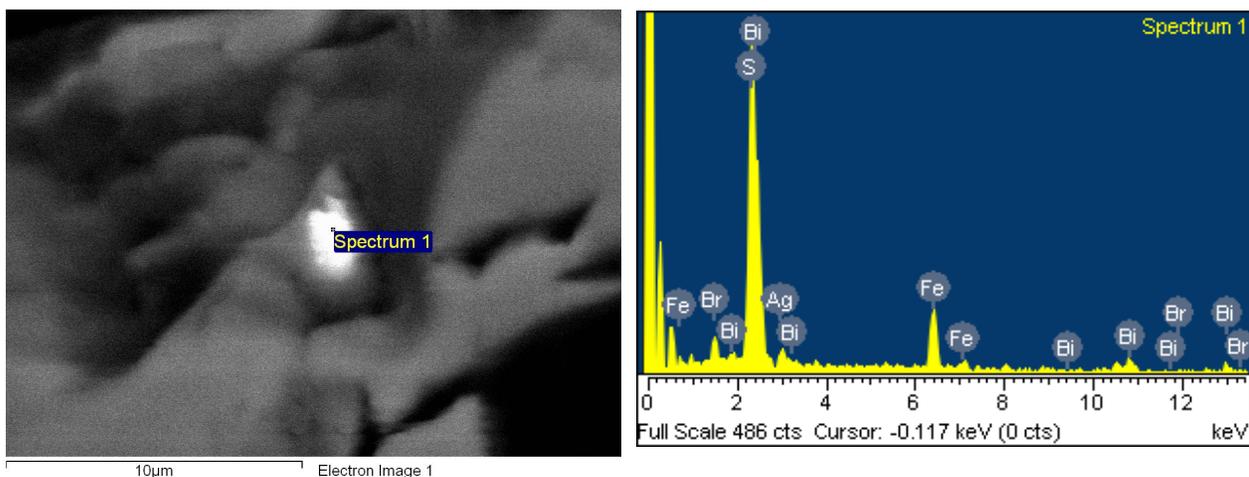
Spectrum processing:
No peaks omitted

Processing option: All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 3

Standard:

S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Br KBr 1-Jun-1999 12:00 AM
Ag Ag 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	App Conc.	Intensity Corrn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
S K	33.92	0.9466	48.43	1.36	63.91
Fe K	27.91	0.9130	41.31	1.35	31.30
Br L	2.74	0.6585	5.62	0.94	2.98
Ag L	2.34	0.6819	4.64	1.16	1.82
Totals			100.00		



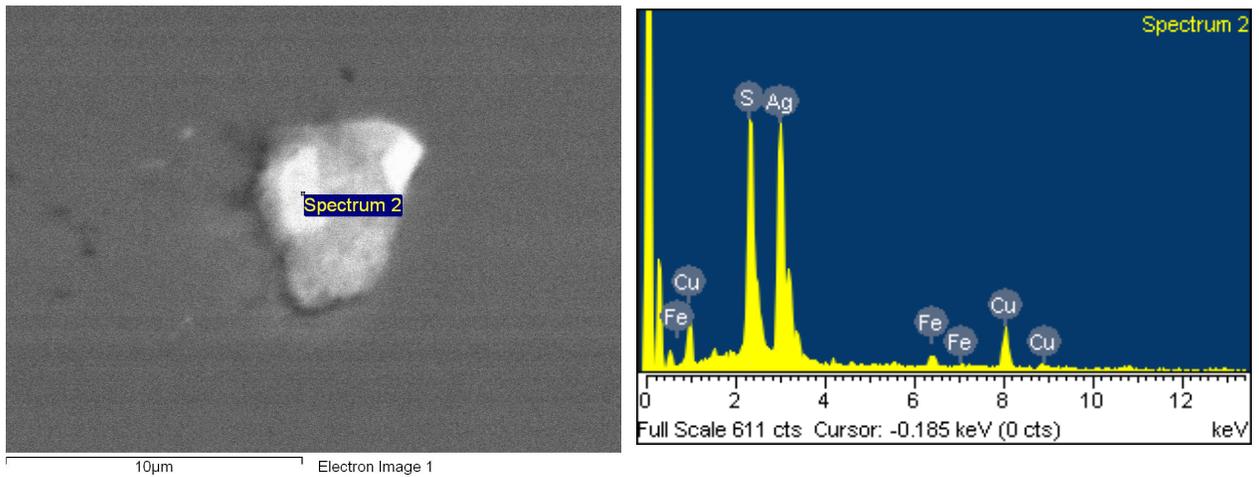
Muestra del sistema Las Truchas, en la mina abandonada El Zapotito.

Spectrum processing:
Peak possibly omitted: 8.000 keV

Processing option: All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 3

Standard:
S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Br KBr 1-Jun-1999 12:00 AM
Ag Ag 1-Jun-1999 12:00 AM
Bi Bi 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	App Conc.	Intensity Corn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
S K	17.05	0.9925	27.70	1.98	54.73
Fe K	13.68	0.9739	22.64	1.83	25.69
Br L	2.48	0.7026	5.69	1.20	4.51
Ag L	2.51	0.6604	6.12	1.64	3.60
Bi M	20.75	0.8838	37.85	3.35	11.48
Totals			100.00		



Muestra del sistema Las Truchas, en la mina abandonada El Zapotito.

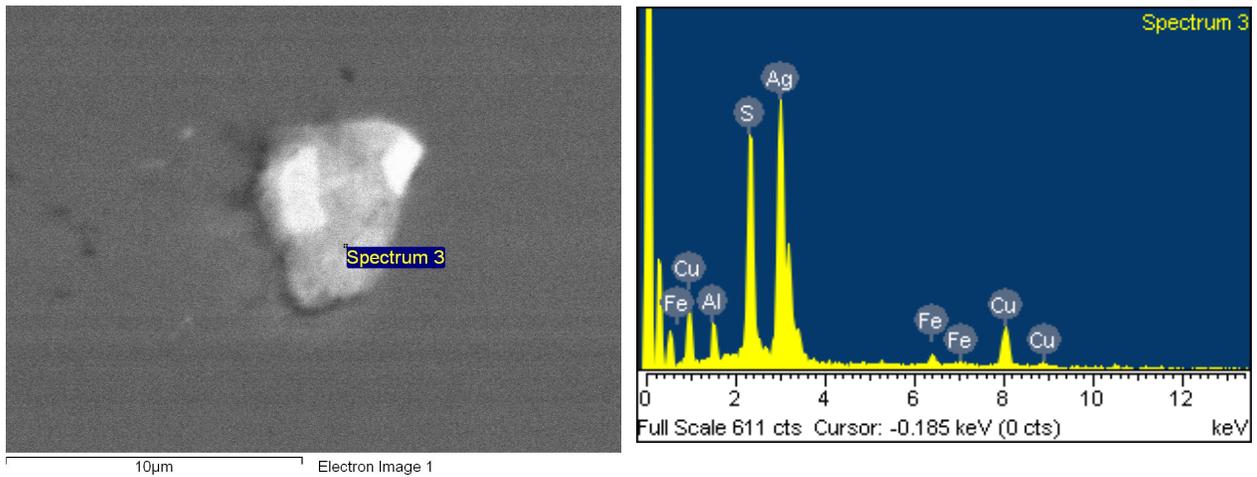
Spectrum processing:
No peaks omitted

Processing option: All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 3

Standard:

S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM
Ag Ag 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	App Conc.	Intensity Corn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
S K	11.92	0.9813	16.85	0.96	36.34
Fe K	2.35	0.9712	3.35	0.77	4.15
Cu K	13.15	0.9781	18.64	1.46	20.29
Ag L	37.73	0.8557	61.16	1.62	39.21
Totals			100.00		



Muestra del sistema Las Truchas, en la mina abandonada El Zapotito.

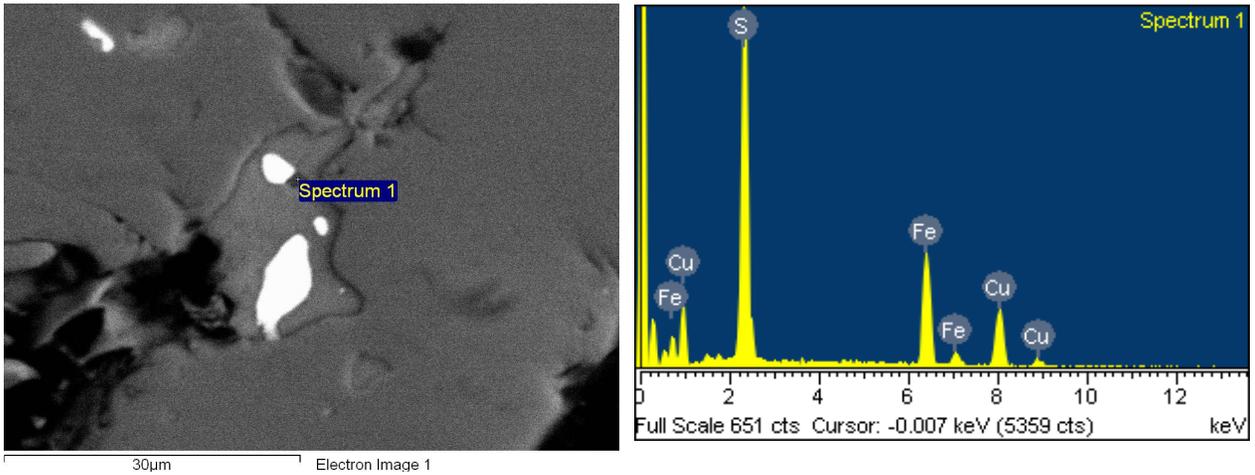
Spectrum processing:
No peaks omitted

Processing option: All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 3

Standard:

Al Al₂O₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
S FeS₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM
Ag Ag 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	App Conc.	Intensity Corn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
Al K	1.93	0.6474	3.62	0.49	8.65
S K	13.81	0.9657	17.32	0.86	34.86
Fe K	2.41	0.9655	3.02	0.67	3.49
Cu K	14.44	0.9704	18.03	1.41	18.30
Ag L	40.39	0.8431	58.01	1.57	34.70
Totals			100.00		



Spectrum processing:
Peak possibly omitted: 0.261 keV

Processing option: All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 3

Standard:
S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	App Conc.	Intensity Corn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
S K	30.30	0.8802	33.76	1.11	48.60
Fe K	32.95	0.9840	32.85	1.21	27.15
Cu K	30.28	0.8894	33.39	1.46	24.26
Totals			100.00		

Muestra del sistema Las Truchas, en la mina abandonada El Zapotito.