



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“ESTUDIO DE RECURSOS MINERALES EN LOS MUNICIPIOS
DE SANTIAGO ZACATEPEC Y SAN FRANCISCO
JAYACAXTEPEC MIXE EN EL ESTADO DE OAXACA”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTAN:

ROMERO GUADARRAMA JUAN ARMANDO
SÁNCHEZ VARGAS LILIA INÉS



DIRIGIDA POR: DR. CARLES CANET MIQUEL

CIUDAD UNIVERSITARIA 2009



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
60-1-1162

SRITA. LILIA INÉS SÁNCHEZ VARGAS
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Dr. Carlos Canet Miquel y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

**ESTUDIO DE RECURSOS MINERALES EN LOS MUNICIPIOS DE SANTIAGO ZACATEPEC
Y SAN FRANCISCO JAYACANTEPEC MIXE EN EL ESTADO DE OAXACA**

- I RESUMEN
- II INTRODUCCIÓN
- III MARCO GEOLÓGICO
- IV GENERALIDADES DE LOS SKARN
- V METODOLOGÍA
- VI RESULTADOS
- VII DISCUSIÓN
- VIII CONCLUSIONES
- IX BIBLIOGRAFÍA
- X ANEXOS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

CD. Universitaria, D.F., a 19 de septiembre de 2008

EL DIRECTOR

MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA

JGGZ*BJPYS*srts



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
60-I-1161

SR. JUAN ARMANDO ROMERO GUADARRAMA
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Dr. Carlos Canet Miquel y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

**ESTUDIO DE RECURSOS MINERALES EN LOS MUNICIPIOS DE SANTIAGO ZACATEPEC
Y SAN FRANCISCO JAYACANTEPEC MIXE EN EL ESTADO DE OAXACA**

- I RESUMEN
- II INTRODUCCIÓN
- III MARCO GEOLÓGICO
- IV GENERALIDADES DE LOS SKARN
- V METODOLOGÍA
- VI RESULTADOS
- VII DISCUSIÓN
- VIII CONCLUSIONES
- IX BIBLIOGRAFÍA
- X ANEXOS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

CD. Universitaria, D. F., a 19 de septiembre de 2008

EL DIRECTOR

MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA

JGGZ*BJPYS*srs

En memoria de:

Marilupe Aja J.

Socorro Aguilar O.

David Sánchez

AGRADECIMIENTOS:

Al proyecto interno N-112 y al Dr. Jaime Yamamoto de la Secretaría Académica del Instituto de Geofísica por haber apoyado y financiado esta investigación.

Al proyecto CONACYT (Convocatoria 2008 de apoyo para investigadores nacionales para el fortalecimiento de actividades de tutoría y asesoría de estudiantes de nivel licenciatura) n° 103679 los cuales permitirán la continuidad de este trabajo.

A la Facultad de Ingeniería, División de Ciencias de la Tierra, por ser nuestra alma mater y sembrar las bases de nuestra carrera profesional, así como motivarnos a seguir adelante sin importar lo difícil del inicio de la carrera (anexo), por todo lo que aprendimos durante nuestra estancia en ella, le agradecemos infinitamente.

A la Dra. Elena Centeno García por invitarnos a este proyecto y por todas sus enseñanzas en clase y en campo que dieron un giro inesperado a nuestra carrera y a nuestras vidas.

Al Dr. Carles Canet por recibirnos siempre con agrado y con una sonrisa, lo que nos dio confianza y seguridad para seguir con este trabajo, por todas y cada una de las enseñanzas invaluablees que siempre nos dio sin reticencia, le agradecemos infinitamente todo lo que hizo por nosotros.

Al Comisariado de Bienes Comunales de Santiago Zacatepec Mixe y San Francisco Jayacaxtepec Mixe a través del Mtro. Eloy Nicolas Laureano, por darnos la oportunidad de entrar en sus comunidades y aprender de la calidad humana como de la belleza de la gente Mixe, por apoyarnos siempre en todos los aspectos y enseñarnos que la armonía y la unión entre las personas son posibles en nuestro México.

A las personas de Santiago Zacatepec y San Francisco Jayacaxtepec que nos acompañaron y ayudaron durante el trabajo de campo, que tuvieron que soportar el aburrimento además de abandonar sus actividades cotidianas, por su apoyo y por sus enseñanzas, Don Héctor, a los dos Carlos, Don Proceso, Don Bernardo, Floriberto, y las demás personas por su invaluable ayuda.

A la Lic. Karina Mateos que siendo Mixe, nos fomentó el amor a su gente, por enseñarnos sus

costumbres, por darnos su confianza, ayuda y sobre todo su amistad.

Al Dr. Eduardo González Partida por todas sus enseñanzas en campo y en el medio de las inclusiones fluidas y minería, por su amena plática durante el trayecto a Zacatepec, por recibirnos tan calurosamente en Juriquilla y sobre todo por su apreciable confianza.

Al Dr. Antoni Camprubi i Cano por recibirnos siempre en su cubículo a pesar de su apretada agenda, por sus enseñanzas en minería, en campo, en inclusiones fluidas y en general de la geología, pero sobre todo por su confianza, paciencia y amistad.

A la Dra. Teresa Pi Puig por ayudarnos a la realización de la difracción de rayos X, por su valiosa opinión para el presente trabajo, por sus enseñanzas en el ámbito de la difracción y metodologías en general, y sobre todo por sus consejos como maestra y como persona.

Al Laboratorio de Geoquímica Ambiental, Dr. Francisco Romero y Mtra. Olivia Zamora por las facilidades otorgadas para el estudio de fluorescencia de Rayos X, por su apoyo y enseñanzas.

Al Ing. Alfredo Victoria Morales por permitirnos ser nuestro sinodal, por ser un gran maestro para nosotros en más de 3 materias pero además por su amabilidad, confianza y paciencia.

A la Ing. Guadalupe Contreras Ordaz por el análisis de ICP de nuestras muestras y por toda su ayuda y enseñanzas.

Al Ing. Jesús Castro Mora por sus enseñanzas en campo y de minería, por su confianza, tiempo y por permitirnos ser nuestro sinodal.

A la Dra. Rosa Maria Prol Ledesma por las facilidades otorgadas para el uso del laboratorio y permitirnos participar en una campaña oceanográfica.

Al Dr. Víctor Manuel Malpica Cruz por ser antes que nada nuestro maestro, por todas sus enseñanzas tanto de la carrera como de la vida, por darnos su invaluable confianza, por tomarnos siempre en cuenta y preocuparse por nosotros como un padre, por su amabilidad, cariño, amabilidad, y por ser la excelente persona que es, muchísimas gracias por todo lo que nos dio y nos sigue dando.

Al Dr. Alberto Sánchez González por permitirnos realizar nuestra estancia en el CICIMAR y más que nada por la increíble y única amistad, por su apoyo

incondicional que siempre nos ha dado y por todos sus consejos y enseñanzas, maestro muchas gracias por darnos todo lo que nos has brindado.

Al Ing. Carlos Linares López por ser una persona única, por apoyarnos siempre en todo momento como amigo y como maestro, por todos sus consejos y cariño, por aceptar ser nuestro sinodal lo cual nos llena de orgullo. Te queremos mucho.

A Adán Castro por darnos un lugar en el taller de cartografía para la realización de esta tesis cada vez que esperábamos clase, por su confianza y sobre todo por su amabilidad y su entrañable amistad, te agradecemos todos los consejos y ayuda que nos diste.

Al Ing. José Luis Farfan Panamá de la Universidad de Guerrero por su calurosa bienvenida, por darnos ideas para la realización de esquemas, por sus enseñanzas con respecto a las inclusiones fluidas, por su amable trato y confianza.

Al Ing. Francisco Orozco por recibirnos tan calurosamente en Juriquilla, por su valiosa ayuda para la realización de esta tesis, por su amable trato y más que nada por su confianza y comprensión.

Al Ing. Augusto Antonio Rodríguez Díaz por prestarnos su computadora, por ayudarnos, explicarnos siempre nuestras dudas a pesar de estar ocupado y más que nada por su confianza.

Al Ing. David Blanco Florido por sus regaños y quejas, pero mas que nada por hacernos reír y hacernos un espacio en el cubículo, por explicarnos siempre nuestras dudas y por su amistad.

A la Mtra. Lilia Arana por su apreciable confianza y amistad, por su amabilidad y sus consejos con los cuales llevamos con nosotros siempre.

Al Oc. Alejandro Estradas Romero por su apoyo, consejos y mas que nada por su amistad y amabilidad, por darnos siempre una cara amable y nunca hacernos a un lado, por dejarnos conocerte y permitirnos conocer a una persona ejemplar como tu.

Al Ing. Juan Carlos Cruz Ocampo por prepararnos para nuestro examen profesional, por recibirnos siempre con una cara de alegría, por su confianza y sus enseñanzas, y que a pesar de no haber sido nuestro maestro en una materia, lo consideramos como uno de ellos.

Al M.en C. Enrique Alejandro González Torres por darnos su apoyo para la revisión de esta tesis y por sus aportaciones para la realización de esta tesis.

A todos nuestros profesores de la facultad, del anexo y división de Ciencias de la Tierra, al: Ing. Rosique Naranjo, Ing. Rubén Gutiérrez, Ing. Juan José Medina, Ing. Jose Luis Macías, Dr. Carlos Garza, Ing. Juan José Medina Escutia, Ing. Ruvalcaba, Dr. Aguayo Camargo, Ing. José Luis Arcos, Dra. Blanca Estela Buitrón, Ing. Claudia Mendoza, Ing. Gilberto Silva, Mtra. Guadalupe Villaseñor, Ing. Leovigildo Cepeda, Ing. Germán Arriaga, Ing. Miguel Vera, Dr. Baldomero Carrasco, Dr. Dante Morán, Mtro. Luis Espinoza Arrubarrena, Ing. Javier Arellano Gil, Ing. Irasema Sarai, Ing. Antonio Hernández Espriú, Ing. Rolando de la Llata, Dr. José Padilla y Sánchez, Ing. Arturo Tapia, Ing. Bernardo Martell, Lic. Ana Carrera, Ing. Noé Santillán, Ing. Castrejón, Ing. Vicente Torres, Ing. Maria de la Paz y al Ing. Campos Madrigal a todos ellos por habernos enseñado todo lo que sabemos y por habernos formado como ingenieros.

A todos los de las diferentes bandas Maricela Cornejo, Araceli Guzmán, Neri Bonilla, Angie Verde (Angina), Cristian Martinez (banda), Chabela, Nora, José Unda (Osito), Francisco Mejia (pancho), Raúl Mina (Jalapa), Víctor Tapia (Cactus), Ceci Delgado, Raciél Amos, Caro Rojas, Eloy Eslava, Pris Vargas, Mario Dávila, Gerson (Papirrín) así como los Betos: Alberto Garcia (Betito) y Roberto Maldonado, Sergio Mata, Gabriela Berenice, Julia, Mariam, Mayra, Ricardo Sotelo, René, Gaby Varela, Alma, Gerardo Arrieta (Guaguaras), Juanito, Jesús (Actopan), Jesús (Chiru), Raymundo, Mariana Fierros, Abigail, Andrés (Bombero), Claudia Minera, Carlos Fabian, Chava, Nico, Nelly, Marlene, Daniel López y a todos los demás que de alguna manera convivieron con nosotros, gracias por su apoyo, por las fiestas a las que fuimos, las parrandas (jaja sobre todo), por darnos un consejo, una sonrisa o por hacernos reír. Gracias.

A Diego, Carmen y Carlos Emilio (geobebé) por toda su confianza y los momentos de risa y platicas tan agradables que tenemos, saben que cuentan con nosotros.

AGRADECIMIENTOS LILIA

A mi mamá Maria Inéz Vargas y Amigón por darme la vida, por cuidarme siempre, por luchar en todo momento para darme siempre lo mejor, por cuidarme cuando estaba enferma, por consolarme cuando estaba triste, por corregirme cuando estaba mal, por seguirme en mis locuras, por apoyarme en mis ideales y mis metas, por brindarme una sonrisa todas las mañanas, por tus abrazos y apapachos, por enseñarme la valía de una mujer y todo las cosas que como mujeres debemos de saber y hacer, por darme tu mano en las buenas y en las malas, por escucharme mis problemas, por todo mamita hermosa sin ti yo no sería lo que soy y realmente pienso que el primer regalo que Dios me dio fue tenerte a ti como mamá. Gracias por darme tu vida entera para que hicieras de mí lo mejor. Te Adoro mamita.

A mi papá Manuel Sánchez Díaz por enseñarme la importancia de las cosas y las personas por su interior, por mostrarme que en la vida es fundamental el razonamiento pero también el amor por los que más quieres, por trabajar incansablemente por mí y mis hermanos todos los días para hacer de nosotros personas exitosas, por jugar conmigo, por aguantar todos mis caprichos, por tratar de entenderme siempre, por darme todo su inmenso cariño y mejor aun demostrármelo siempre, por aconsejarme cuando estoy mal, por oírme en mis ideales, por ayudarme en todo lo que no comprendía e investigar conmigo lo que no comprendíamos, por solapar mis locuras, por interminables cosas más papito quiero decirte que no desearía otro papá más que tu así como eres. Te adoro papito.

A mi hermanito mayor Manuel Sánchez Vargas por enseñarme a dibujar desde que era pequeña, a confiar en mi misma y en que todo lo que quiera hacer lo puedo lograr, por ayudarme en mis tareas desde que era muy pequeña, por jugar conmigo siempre, por llevarme al parque y enseñarme a jugar mortal kombat, por darme consejos de las cosas más difíciles para mí, por estar presente en todo momento y hacerme reír mucho, te quiero un chorro hermanito.

A mi hermanito José Luis Sánchez Vargas por enseñarme desde pequeña a defenderme de las travesuras de Manuel jaja, por enseñarme a luchar y a defenderme siempre de las personas que me querían

hacer daño, por llevarme al parque, por enseñarme a jugar basket y futbol americano, por enseñarme las cosas reales que pasan en la vida y abrir mis ojos con respecto a otros problemas, por seguirme enseñando hasta ahorita la importancia de la familia y la importancia y la gracia que es tener unos hermanos como ustedes, por enseñarme que daré todo de mí para mantenernos juntos siempre a pesar de nuestras diferencias y más que nada te agradezco el enseñarme que debo de ser fuerte así como tu me lo has demostrado, tu fortaleza y tus ganas de vivir, te quiero mucho pey.

A mi amor Juan Armando Romero Guadarrama porque desde que llego a mi vida la cambié completamente, me enseñó a ver las cosas más simples de las que la veía, a escucharme cuando estaba triste, a jugar conmigo, por hacerme tan feliz pero tan feliz durante estos años que hemos estado juntos, por enseñarme tantas cosas que no conocía y que gracias a ti fue posible, por la gran persona que eres, por aguantarme mis errores y enojos y por estar conmigo siempre apoyándome en todo momento, por estar conmigo siempre a mi lado y ser mi compañero en todo lo que emprendemos, porque siempre estás ahí apoyándome y sintiendo que si tenemos errores los podemos afrontar juntos, por hacerme sentir como nunca en mi vida me he sentido Te Amo vida mia, mi todo.

A mi abuelita Gudelia Amigón Ríos (Mamá Gude) por cuidarme siempre y consentirme cuando tenía algún antojo, por recibirme siempre con los brazos abiertos en su casa y por todos sus consejos.

A mi abuelita Esperanza Díaz Jaen por consentirme en todo momento, por jugar conmigo, por pensar siempre en mí y recibirme en su casa siempre con los brazos abiertos, por alegrarme el día cada vez que la veía. Te quiero mucho abuelita.

A mi abuelito David Sánchez que mientras esta tesis estaba por terminarse te fuiste con Diosito quiero decirte que aquí esta lo que te prometí, el resultado de nuestro trabajo de mucho tiempo, el resultado de todo lo que te conté y por lo cual confiabas en mí, aquí esta abuelito lo que te había contado y que a pesar de que no estás conmigo, quiero agradecerte todo lo que me enseñaste, tu sonrisa cada vez que me veías, tus abrazos, tu confianza de contarme toda tu vida y lo que sentías, cuando jugabas conmigo, por pensar en

mi en que hacía, por preocuparte por mi siempre y darme tu apoyo incondicional en todo momento, abuelito te extraño, te quiero y siempre que Dios me de vida te tendré en mi mente y en mi corazón. Te quiero mucho abuelito.

A mi amiguita Marilupe que hace ya casi cinco años que no está conmigo, que a pesar de ser pedagoga me ayudaba en mis tareas de la carrera, que siempre que pasaba por algún momento malo estaba ahí cuidándome y apoyándome dándome animo siempre con su sonrisa y bromas, por todo lo que me enseñaste, por preocuparte siempre por mí, por ser como una hermana, chica gracias por haber sido la mejor amiga que la vida me pudo dar, y desde antes y después de que te fuiste siempre te tengo en mi mente y corazón, te quiero mucho.

A todos mis tíos, Arcelia Vargas Amigón, Alberto Vargas Amigón, Alejandro Vargas Amigón, Beatriz Vargas Amigón, Virginia Vargas Amigón, Gloria Sánchez Díaz, Jesús Sánchez Díaz por darme consejos, cuidar de mí y pasar conmigo momentos importantes de mi vida.

A todos mis primos y sobrinos Lupita, Arturo, Carlos, Omar, César, Alejandro, Analí, Bety, Jorge, Erick, Fercito, Carmina, Pame, Quique, Chuchin, Gabi, David, Gloria, Karen y Jorge que formaron una parte muy importante de mi vida con la que compartimos juegos y risas.

A mis amigos de la banda tierna Quique, Iván, Jelica, Janice, Mildred, Toño, Chente, Fernando, Germán por los buenos momentos que pasamos juntos.

A Laura Domínguez, Toni Alcantara (Toniciana), Yoalli, David Minero, José Duran (Pepito), a Daniel (animal), Gamaliel, Hernán que compartieron conmigo momentos divertidos que nunca voy a olvidar y que siempre recordaré.

AGRADECIMIENTOS ARMANDO

Bueno continuando con los agradecimientos, antes que nada, quisiera agradecerle infinitamente a Dios el cual siempre ha cuidado de mí, y ha estado conmigo a cada momento, se que hay algo especial que me cuida, mil gracias por haberme dejado vivir con esta familia y estar en este hermoso país.

Continuando, es momento de agradecer alas personas mas importantes en mi vida, empezando por mis padres, Lucila Guadarrama Aguilar y José Alfredo Romero Hernández, gracias por darme la oportunidad de estar en este hermoso mundo, por soportarme, por cuidarme y lo mas importante, por haber colaborado en la formación de la persona que el día de hoy soy. Porque me enseñaron todo lo que se, porque me corregían cuando me equivocaba y siempre me tenían una muestra de cariño cuando la necesitaba, por enseñarme que no importa el problema siempre se puede salir adelante, si se trabaja duro, por enseñarme que el trabajo es una parte importante en la vida y que esté no siempre es una carga si lo haces con gusto, por demostrarme lo importante que son las responsabilidades y que al preocuparse por tus semejantes te hace una mejor persona, LOS QUIERO MUCHO y mil gracias.

A mis hermanos: Daniel Alfredo y Jesús Eduardo que siempre han estado ahí, ya sea para molestarme jaja, o para que yo los moleste, por ser mis compañeros de juego, de travesuras, por compartir mis gustos de anime, por ayudarme en mis tareas, tanto de la casa como de la escuela. Quiero que sepan que son unos grandes hermanos y personas increíbles, animo crean en ustedes mismos y verán que llegaran muy lejos, los quiero mucho y espero haber sido buen hermano mayor hasta ahora.

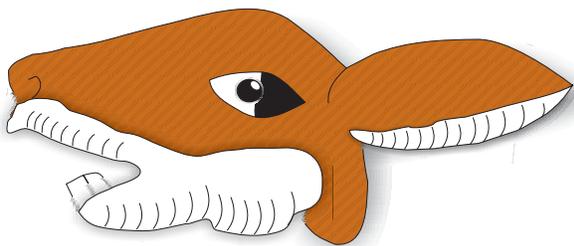
Ahora a una de las tres mujeres que más he querido en mi vida, a mi querida Mamá Socorro Aguilar, que siempre tenía para mi una sonrisa, que me inculcó el amor hacia la naturaleza y la comida, que gracias a ella y a mi mamá, se defenderme en la cocina, porque siempre me apoyo y muchas veces me apoyaba cuando hacia travesuras, muchas gracias por todo lo que me enseñó, por sus consejos, su apoyo, su cariño, en fin nunca terminaría si enumerara todas sus cualidades, por lo que solo me resta decir que esta tesis está dedicada a su memoria y se que estará conmigo el día del examen, la extraño demasiado.

A toda mi familia por brindarme todo su cariño y apoyo, alo largo de mi carrera, en especial a mis abuelitos: Ángel Guadarrama Loperena por parte de mi mamá, gracias por todas sus enseñanzas, por su apoyo, su cariño, por enseñarme que la vida se puede vivir de manera diferente, por enseñarme que la fuerza interior y la determinación es lo mas importante para

enfrentar la vida y los problemas, gracias por ser un gran ejemplo a seguir, lo quiero mucho.

También a mis abuelitos paternos: Teresa Hernández Ávila y Crecenciano Vicente Romero Hernández, gracias por todo su apoyo, cariño, por enseñarme que la vida a veces hay tomarla de manera positiva y sin preocuparnos tanto por lo que pasara, a mi abuelito, por enseñarme a conbeber con responsabilidad, siempre recordando que uno no esta solo, por enseñarme que en la vida no puedes salir adelante, a menos que trabajes duro y que siempre des lo mejor de ti, los quiero mucho.

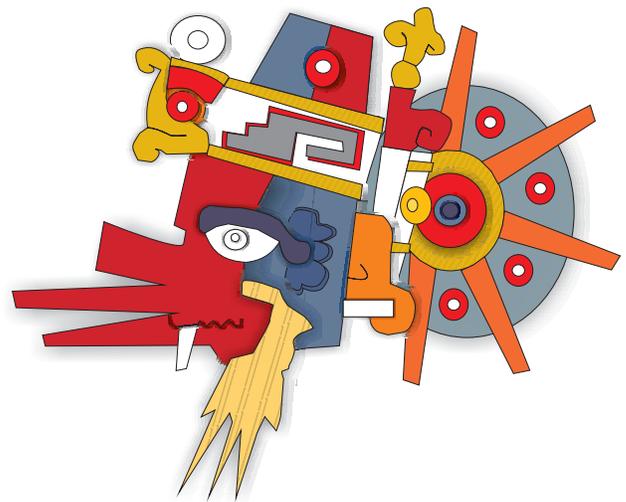
Ahora la persona mas importante en mi vida Lilia Inés, que me ha acompañado alo largo de estos felices tres años de relación, solo quiero que sepas, que desde que llegaste a mi vida, le has dado un cambio importante a mi vida, gracias por apoyarme en los momentos difíciles y alegrarte conmigo en los triunfos, por enseñarme tantas cosas que yo desconocia, porque juntos hemos tenido nuevas experiencias (cuando trate de ser tu maestro), terminar esta increíble carrera, en fin por todo lo que hemos vivido. Por aceptar y llevar acabo a mi lado este hermoso proyecto que tanto nos a enseñado, nuestra tesis, que para mi, es como si fuera una parte importante de nosotros, gracias por tus consejos, por inculcarme, aun mas, el gusto por la lectura, por haber encontrado juntos nuestras maravillosas raíces Mexicas, que son algo increíble.



Por tus maneras de hacerme ver las cosas, cuando me equivocaba, por ser como eres, por hacer mi vida especial, porque siempre has estado a mi lado en los momentos difíciles, porque juntos aprendimos que amar es tan fácil, cuando tienes a tu lado a una persona tan especial como tu, solo me resta decir que has sido lo mas importante que le ha pasado a mi vida, y que eres lo que mas amo en la vida, para terminar, si en solo tres palabras tuviera que resumir lo que eres para mi, esas palabras serian: Eres mi todo. Te amo y quiero compartir mi vida contigo.

A todos mis tíos que me han apoyado durante toda mi vida (y que lo siguen haciendo), por enseñarme con sus actos y su experiencia las diferentes maneras en que uno puede vivir su vida, gracias por ser un gran ejemplo a seguir a: Ing. Jaime Guadarrama Aguilar, José Andrés Guadarrama Aguilar, Ana Isabel Casarín Aparicio, Lourdes Adriana Romero Hernández, Patricia Romero Hernández, Rolando Cabrera (en memoria), Francisco Romualdo Romero Hernández. A todos ellos mil gracias y espero seguir su ejemplo en la nueva vida que esta por empezar para mi.

Al igual que todos mis primos que siempre estaban conmigo, ya sea, como compañeros de juego, de travesuras, o a los que he tenido que cuidar y soportar sus travesuras (jaja), por darme algunos el privilegio de ser tío, por todo mil gracias a: Argemi, Ivan, Mario, Erick, Sebastián, Isabella, Aidee, Yesica, y Daniela.



INDICE

<i>Resumen</i>	1
-----------------------	----------

I. Introducción

<i>1.1. Presentación</i>	3
---------------------------------	----------

<i>1.2. Objetivos</i>	3
------------------------------	----------

<i>1.2.a. Objetivos Generales</i>	3
-----------------------------------	----------

<i>1.2.b. Objetivos Particulares</i>	3
--------------------------------------	----------

<i>1.3. Antecedentes</i>	3
---------------------------------	----------

<i>1.4. Marco geográfico</i>	3
-------------------------------------	----------

<i>1.4.a. Geografía de la Sierra Madre del Sur</i>	3
--	----------

<i>1.4.b. Municipio</i>	4
-------------------------	----------

<i>1.4.c. Extensión y suelos</i>	5
----------------------------------	----------

<i>1.4.d. Hidrografía, Clima, Flora y Fauna</i>	5
---	----------

<i>1.4.e. Perfil Sociodemográfico</i>	5
---------------------------------------	----------

<i>1.4.f. Infraestructura Social y de Comunicaciones</i>	5
--	----------

<i>1.4.g. Actividad económica</i>	5
-----------------------------------	----------

<i>1.4.h. Gobierno</i>	6
------------------------	----------

II. Marco Geológico

<i>2.1. Contexto Geológico Regional</i>	7
--	----------

<i>2.1.a. Marco tectónico</i>	7
-------------------------------	----------

2.1.b. Complejo Sierra de Juárez	8
2.1.c. Secuencias sedimentarias del Mesozoico	9
2.1.d. Rocas ígneas del Terciario	10
2.2 Metalogenia del Estado de Oaxaca	10
2.2.a. Región minera Sierra de Juárez	10
III. Generalidades de los depósitos de skarn	
3.1. Introducción	13
3.2. Distribución e interés económico de los skarns	14
3.3. Clasificación de los skarns	15
3.4. Mineralogía de los skarns	15
3.5. Génesis de los skarns	19
3.6. Contexto Tectónico de los skarns	21
IV. Metodología	
4.1 Inclusiones fluidas	25
4.1.1 Introducción	25
4.1.2 Inclusiones fluidas en yacimientos hidrotermales	27
4.1.3 Equipo y condiciones de análisis	28
4.2. Petrografía y Mineragrafía	29
4.3. Microscopía Electrónica	30
4.4. Difracción de rayos X	31

4.4.1	<i>Introducción al método</i>	31
4.4.2	<i>Metodología aplicada al presente estudio</i>	32
4.5	<i>Geoquímica de roca total</i>	33
4.5.1	<i>Ensaye al fuego y plasma óptico</i>	33
4.5.2	<i>Fluorescencia de rayos X</i>	33
V.	<i>Resultados</i>	
5.1.	<i>Estructuras del depósito</i>	35
	<i>Morfología del Yacimiento</i>	35
	<i>Mina San Pedro Carretera</i>	36
	<i>Mina San Pedro Río</i>	37
	<i>Mina San Pedro 2</i>	38
	<i>Mina San Pedro 4</i>	38
	<i>San Francisco Jayacaxtepec Carretera</i>	38
5.2.	<i>Secuencia Paragenética</i>	39
5.3.	<i>Asociaciones minerales</i>	39
5.4.	<i>Difracción de Rayos X</i>	43
5.5.	<i>Geoquímica Elemental y Leyes Minerales</i>	44
5.6.	<i>Inclusiones Fluidas</i>	46
VI.	<i>Discusión</i>	
6.1.	<i>Contexto Geológico</i>	49

<i>6.2. Metalogénesis del skarn</i>	<i>49</i>
<i>6.3. Elementos potencialmente tóxicos e impacto ambiental</i>	<i>51</i>
<i>Recomendaciones</i>	<i>51</i>
<i>Recomendaciones específicas para autoridades ejidales y locales.</i>	<i>52</i>
<i>VII. Conclusiones</i>	<i>53</i>
<i>Referencias</i>	<i>55</i>
<i>Anexos</i>	
<i>A.1. Petrografía y Mineragrafía</i>	<i>63</i>
<i>A.2. Microscopía Electrónica</i>	<i>97</i>
<i>A.3. Difracción de Rayos X</i>	<i>119</i>
<i>A.4. Microscopía de las Inclusiones Fluídas</i>	<i>123</i>
<i>A.5. Marco Jurídico del Distrito Mixe.</i>	<i>131</i>
<i>A.6. Concesiones Mineras de Santiago Zacatepec</i>	<i>137</i>

I.- INTRODUCCIÓN

1.1. PRESENTACIÓN

En el mes de Marzo del año 2007, las autoridades del municipio de Santiago Zacatepec Mixe, Oaxaca, a través del Comisariado de Bienes Comunales y el Consejo de vigilancia de este municipio, enviaron al edificio de Rectoría de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) un requerimiento para hacer estudios de exploración minera en esa zona.

El 29 de Junio de 2007 se hizo un reconocimiento de la región con el propósito de conocer la problemática de los municipios de Santiago Zacatepec Mixe y San Francisco Jayacaxtepec con respecto a este tema. Se pudo observar la presencia de mojoneras, túneles y marcas de barrenación en afloramientos mineralizados cercanos a la carretera, lo que indica que ha habido una actividad de explotación o exploración minera. Según los habitantes de la zona, una empresa canadiense ha estado haciendo trabajos de exploración minera en la zona. En lo que respecta a la problemática social de estos municipios, los habitantes, de etnia predominantemente mixe, se encuentran inconformes ante la actividad minera en sus tierras comunales, la cual se ha venido realizando sin previo aviso a la comunidad.

Posteriormente, el 22 de Noviembre del 2007, se realizó la segunda visita a la zona, realizando trabajos geológicos que incluyeron la cartografía de mina y el muestreo sistemático.

La presente tesis pretende dar a conocer a los habitantes de San Francisco Jayacaxtepec Santiago Zacatepec Mixe los recursos de minerales metálicos de sus tierras comunales, así como una estimación de su potencial económico, y contribuir al conocimiento de la geología de la zona.

1.2. OBJETIVOS

1.2.a. *Objetivos generales*

1. Asesorar a los habitantes de los municipios de San Francisco Jayacaxtepec-Santiago Zacatepec Mixe acerca de los recursos minerales de esta zona.

2. Contribuir al conocimiento geológico y metalogenético de la Sierra Norte del Estado de Oaxaca.

1.2.b. *Objetivos Particulares*

1. Realizar una búsqueda bibliográfica de los estudios previos de recursos minerales, así como de la actividad minera en el área de estudio.

2. Realizar un mapa geológico del área de estudio de semidetalle.

3. Caracterizar la estructura y mineralogía, así como las leyes, de los depósitos minerales en el área de estudio.

4. Caracterizar los fluidos mineralizantes a partir del estudio microtermométrico de inclusiones fluidas.

5. Caracterizar con detalle las rocas asociadas a los procesos de mineralización.

6. Determinar las condiciones de formación de los depósitos minerales.

1.3. ANTECEDENTES

En esta sección se muestra la información bibliográfica de la zona de San Francisco Jayacaxtepec-Santiago Zacatepec Mixe.

Se ha encontrado información geográfica-social de la zona, sin embargo, la información geológica acerca de esta zona es muy escasa. Con respecto a vuelos realizados por INEGI, no están disponibles.

1.4 MARCO GEOGRÁFICO

1.4.a *Geografía de la Sierra Madre del Sur*

La Sierra Madre del Sur se localiza hacia el extremo sureste de la Sierra Madre Occidental, la cual se extiende hasta el Istmo de Tehuantepec (Castro Mora et al., 1996).

Con respecto a la orografía, las cimas llegan a alcanzar de 2000 a los 2200 msnm, sin embargo en algunas partes llegan a alcanzar los 3000 msnm.

Esta sierra incluye la subprovincia de las Tierras Altas de Oaxaca, la cual se caracteriza por ser

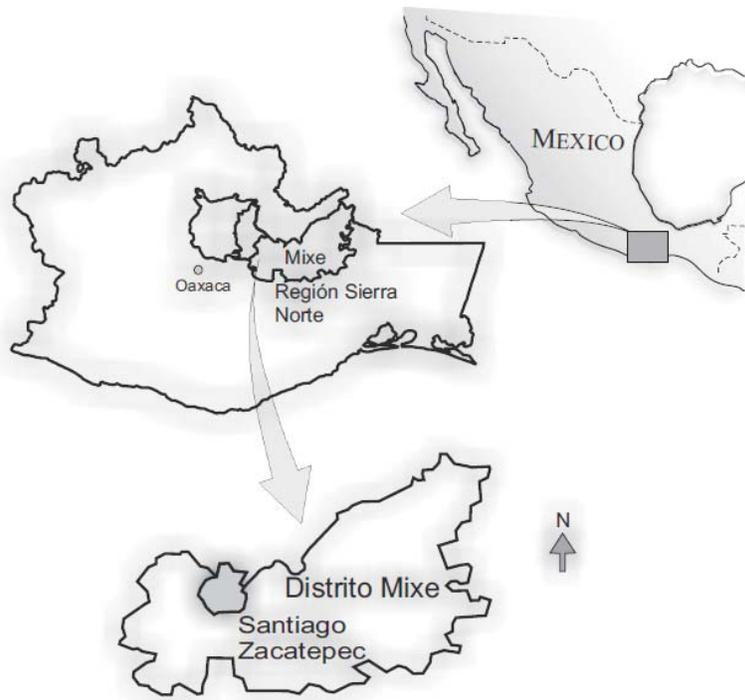


Figura 1.1. Localización del Distrito Mixe dentro del Estado de Oaxaca, y del Municipio de Santiago Zacatepec.

montañosa. Los valles formados por los ríos, Grande (Papaloapan) y Atoyac la dividen en la Sierra Mixteca, en la porción occidental y la Sierra de Juárez, en la porción oriental (Castro Mora *et al.*, 1996).

Por otra parte, existen otros valles denominados Valles Intermontanos, como los de Huajuapán y Cañada de Cuicatlán, donde se encuentran poblaciones como Putla de Guerrero, Huajuapán de León, Tlaxiaco, Tamazulapán, Yanhuitlán, Nochixtlán, etc. Con respecto a los denominados Valles Centrales, destacan los de Etlá, Zaachila, Miahuatlán y Tlacolula-Mitla.

Al Noroeste del Estado de Oaxaca, se encuentra la Sierra Norte, la cual empieza desde el Pico de Orizaba en Veracruz, hasta el Istmo de Tehuantepec. Las dimensiones de esta sierra es de 124 km de ancho, con alturas que oscilan entre 2500 a 3000 msnm. Esta sierra representa una gran importancia para esta tesis debido a

que aloja el área de estudio (Castro Mora *et al.*, 1996).

Otra subprovincia es la denominada Cuesta del Sur, la cual tiene alturas más bajas, entre 500 y 1850 msnm. En algunas zonas la morfología predominante es de lomeríos y cerros aislados en dirección al mar; así poco a poco las pendientes disminuyen paulatinamente hasta formar la costa, donde se pueden apreciar abanicos aluviales, planicies lacustres y algunas veces planicies de inundación (Castro Mora *et al.*, 1996).

1.4.b Municipio

Santiago Zacatepec Mixe se localiza en la región de la Sierra Norte en el estado de Oaxaca, en el distrito Mixe. Su ubicación es N17°09' y W95°55', con una altitud de 1200 msnm .

Al norte colinda con San Juan Comaltepec y Totontepec Villa de Morelos, al sur con Santa María Alotepec, Santiago Atitlán y Santa María Tlahuitoltepec; al oeste con Totontepec Villa de Morelos y Mixistlán de la Reforma y al este con San Juan Cotzocón. La distancia aproximada a la ciudad de Oaxaca es de 181 km.

El municipio de San Francisco Jayacaxtepec se localiza N17°13' y W95°58' (SEGOB 1988) (Fig. 1.1).

1.4.c. Extensión y suelos

La superficie del municipio de Santiago Zacatepec es de 142.89 km², que representan el 0.15% con relación al estado.

Con respecto al tipo de suelo, en esta región se cataloga como luvisol-órtico con enriquecimientos de arcilla en el subsuelo, de fertilidad moderada, frecuentemente rojo o claro, que en ocasiones presenta tonos pardos o grises, sin llegar a ser muy oscuro. (SEGOB 1988)

1.4.d. Hidrografía, clima, flora y fauna

Este municipio se encuentra en la cuenca del Río Papaloapan. A 2.3 km del municipio de Zacatepec, se encuentra el Río Chisme.

El clima que predomina en esta región es templado lluvioso, con abundante niebla. La vegetación es de tipo mesófilo: se encuentran principalmente especies de árboles como encino (*Quercus spp*), y roble (*Quercus rubra L*), el cedro (*Cedrela odorata*), el zapote (*Casimiroa edulis*), la caoba (*Swietenia mahagoni*), el capulín (*Prunus serotina*).

En lo que respecta a la fauna se encuentran: venados (*Odocoileus virginianus*), zorrillo (*Spilogale putorius*), conejo (*Oryctolagus sylvilago*), ardilla (*Eutamias sibiricus*), tejón americano (*Taxidea taxus*), puerco de monte o pécarí (*Dicotyles tajacu*), tigrillo (*Felis wiedii*), tuza (*Geomys bursarius*), puma (*Felis concolor*), mono araña (*Ateles fusciceps*), armadillo (*Dasypus novemcinctus*), zorra

(*Urocyon cinereoargenteus*), mapache (*Procyon lotor*) y tlacuache (*Didelphis virginiana*) (SEGOB 1988).

1.4.e. Perfil sociodemográfico

De acuerdo a los resultados que presentó el II Censo de Población y Vivienda en el 2005, en el municipio habitan un total de 4,378 personas, que hablan lengua Mixe.

En el año 2000, de acuerdo al censo efectuado por el INEGI, la población de 5 años y más que es católica asciende a 3,734 habitantes, mientras que los no católicos en el mismo rango de edades suman 470 personas.

En el caso de San Francisco Jayacaxtepec la religión predominante es la evangelista.

1.4.f. Infraestructura social y de comunicaciones

Cuenta con un centro de castellanización de nombre Niños Héroe. Cuenta con dos Escuelas Primarias de nombres Ignacio Zaragoza y Francisco González Bocanegra. Además cuenta con una escuela Secundaria de nombre José Vasconcelos.

De acuerdo a los resultados que presento el II Censo de Población y Vivienda en el 2005, en el municipio cuentan con un total de 1,106 viviendas de las cuales 1,103 son particulares.

1.4.g. Actividad económica

La actividad principal de la mayoría de la población en Zacatepec es la agricultura que consiste en la siembra de maíz (*Zea mays*), fríjol (*Judíaphaseolus vulgaris*) y frutos, mientras que otra fracción de la población de este municipio se dedica a la elaboración del mezcal de maguey (*Agave potatorum*).

De acuerdo con cifras del año 2000 por el INEGI, la población económicamente activa asciende a 1,988 personas, mientras que la ocupada es de 1,979 y se presenta en la figura 2.2 del anexo I.

1.4.h. Gobierno

Según el Estatuto Comunal de Santiago Zacatepec Mixe, es esencial disfrutar las tierras y recursos naturales en común, respetando posesiones de cada comunero y el uso de las costumbres ante todo es necesario para resolver problemas.

Con respecto a las autoridades en la comunidad estas son las siguientes:

- a) La Asamblea General de Comuneros.
- b) El Comisariado de Bienes Comunales.
- c) Consejo de Vigilancia.
- d) La Junta de Pobladores.

Así mismo se reconocen como autoridades auxiliares de las anteriores;

- e) La Autoridad Municipal.
- f) Comisión Integrada (cómo órgano de consulta).

Para mayores detalles, las leyes comunales han sido extraídas de <http://www.redindigena.net/ser/departamentos/documentos/estatzacatepec.html>, éstas se han incluido en el anexo 1.

Industria Minera en México

La industria minera en México desde épocas muy antiguas ha tenido una importancia muy grande, hasta el punto que, algunas décadas atrás, la industria minera aportaba una parte muy importante en el Producto Interno Bruto. Sin embargo, esta situación ha cambiado. Con el fin de tener un control adecuado de esta industria, el Gobierno Federal creó instancias que pudieran registrar esta industria (figura 1.2).

La secretaría encargada es la Secretaría de Economía que a su vez deriva la Industria Minera a diferentes instancias, entre las que se encuentran la Dirección General de Promoción Minera, organismo que se encarga de la promoción minera en nuestro país de tal forma que propicia la inversión en esta industria. La Dirección General de Minas (DGM) es la encargada de la infraestructura administrativa adecuada para garantizar la oportuna y certera tramitación de los asuntos mineros que establece la ley minera y su reglamento, otorgando, de esta forma,

seguridad jurídica a las resoluciones emitidas. El Servicio Geológico Mexicano (SGM antes Consejo de Recursos Minerales) se encarga de la parte técnica, con el fin de crear informes técnicos con los cuales la Dirección General de Minas se apoya para otorgar las concesiones mineras y demás trámites. El SGM es un organismo que permite, a través de mapas, informes y cartografías, la promoción de los recursos minerales y naturales. Por último, el Fideicomiso de Fomento Minero (FIFOMI) el cual promueve junto con los gobiernos estatales y municipales, el fortalecimiento e integración del sector minero y de sus cadenas productivas. A través de esta entidad paraestatal se puede obtener financiamiento mediante créditos para apoyo a la minería en sus fases extractiva, servicios y proveedurías en torno a ésta, hasta las cadenas productivas relacionadas con el consumo, comercialización e industrialización de minerales. Asimismo permite la competitividad dentro del sector minero, a través de consultorías a los mineros, cursos de capacitación, etc. El FIFOMI y el SGM en conjunto permiten crear esquemas que ayuden a la cuantificación y certificación de mineral en zonas del país con potencial geológico-minero el cual puedan concluir en una exploración y una explotación que genere producción y por lo tanto empleos.

Es importante mencionar que a través de la Dirección General de Minas (DGM) se realizan los trámites de asignación minera y de concesiones, los cuales pueden ser de dos tipos: concesiones para exploración (duración 25 años) y concesiones para explotación (duración 50 años). En algunas ocasiones, los habitantes de las poblaciones son los dueños del mismo denunciado de su comunidad, pero difícilmente pueden hacer una exploración y, por lo tanto, una explotación en forma la cual les permita extraer el mineral. Es por esta razón que se han creado fideicomisos los cuales permitan crear créditos a favor de personas con los casos como el mencionado anteriormente, estos fideicomisos son tanto de agricultura como para minería: el FONAES, el FIRA y el FIRCO, los cuales se describen a continuación.

El Fondo Nacional de Apoyo para las Empresas en Solidaridad (FONAES) se encarga de atender las iniciativas productivas, individuales y colectivas de emprendedores con escasos recursos, mediante el apoyo a proyectos productivos, la constitución y

consolidación de empresas sociales y la participación en esquemas de financiamiento social. Con esto permite la constitución de empresas sociales que potencien su capital social, se desarrollen habilidades y apoyen nuevas tecnologías, se integren equipos y sociedades de trabajo y que se organicen para generar sus propios esquemas de capitalización y financiamiento.

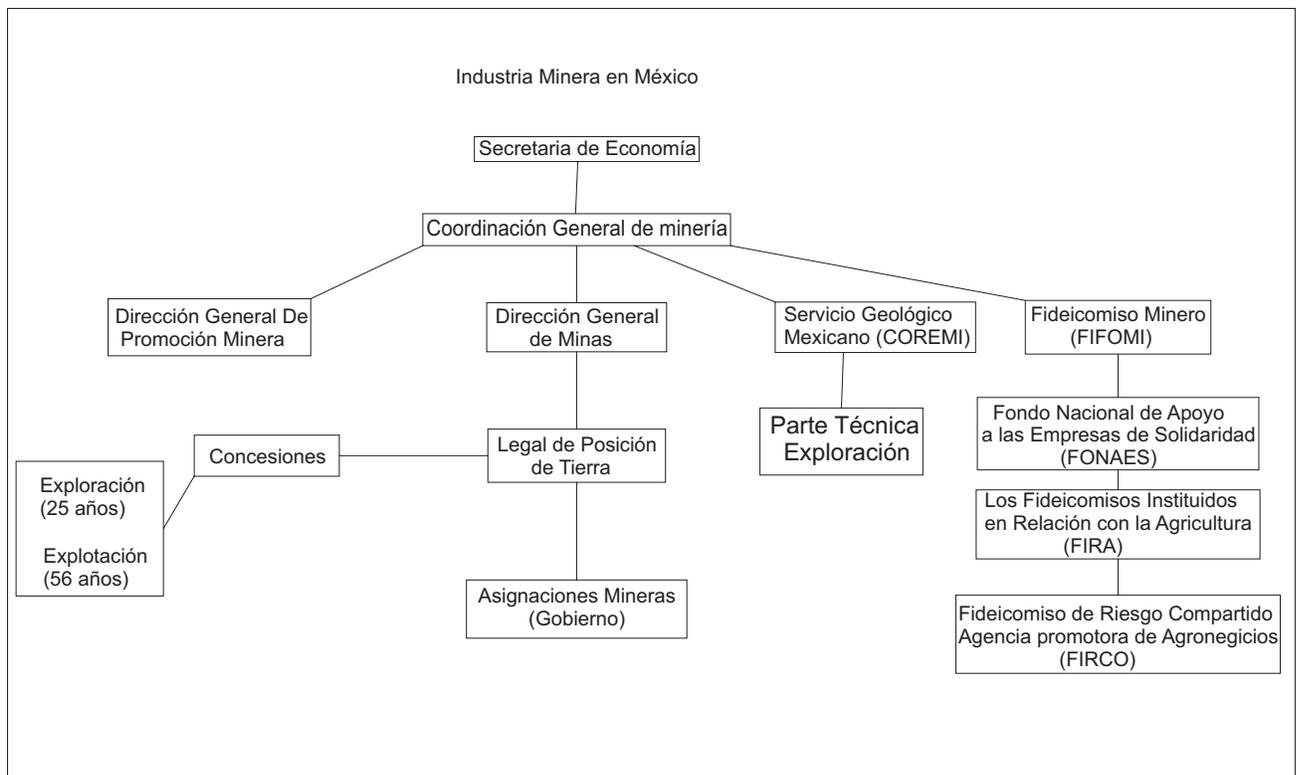
Por otra parte, el Fideicomiso Instituido en Relación con la Agricultura (FIRA), es un organismo de cuatro fideicomisos públicos constituidos por el Gobierno Federal en el Banco de México desde 1954. El FIRA otorga créditos, garantías, capacitación, asistencia técnica y transferencia de tecnología a los sectores agropecuario, rural y pesquero del país. El FIRA brinda alternativas de negocio para propiciar el desarrollo teniendo mejores condiciones de vida en el campo.

El Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), el cual se apoya en la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), la cual fomenta los negocios soportados

en la agricultura a través de otorgar los apoyos temporales de riesgo compartido. Participa en la inserción de productores agropecuarios a las cadenas productiva, fomenta los agronegocios e impulsa la energía renovable.

CONCESIONES MINERAS EN SANTIAGO ZACATEPEC

Los títulos de concesiones mineras se dan por medio de la Dirección General de Minas, la cual otorgó un denuncia a la empresa canadiense Linear Metal Corp México S.A de C.V., con sede en Halifax Canadá, el día 29 de Agosto de 2006 expirando el 28 de Septiembre de 2056, con una extensión del lote de 4900 Has. Debido al número de años por los cuales se dio la concesión minera, ésta es con el fin de explotación (ver anexo).



II.- MARCO GEOLÓGICO

2.1 Contexto geológico regional

Fisiográficamente la zona de estudio forma parte de la Sierra de Juárez, la cual pertenece provincia Sierra Madre del Sur (Raisz et al., 1964).

Nuestro marco de estudio se encuentra delimitado por las siguientes coordenadas: 17°00' a 17°15' latitud norte y 96°06' a 95°53' latitud oeste (Fig. 2.1). Esta área tiene una gran abundancia de litologías y formaciones, las cuales son muy heterogéneas entre sí.

2.1.a Marco tectónico

Se han reconocido dos terrenos tectonoestratigráficos cercanos al área de estudio, el Terreno Cuicateco y el Terreno Maya.

Los trabajos del Servicio Geológico Mexicano en el 2000 reportan que el Complejo Sierra de Juárez se localiza dentro del Terreno Maya, aunque trabajos más detallados como Sedlock y Ortega (1993) lo sitúan dentro del Terreno Cuicateco.

El Terreno Cuicateco limita al norte con el Cinturón Volcánico Transmexicano y el Terreno Maya (figura. 2.2). Al Este limita con el terreno Maya, al Oeste con el terreno Zapoteco y al sur con el Terreno Chatino. Se cree que el Terreno Cuicateco es un terreno compuesto de varios subterrenos asociados a ambientes vulcanosedimentarios (Angeles-Moreno, 2006).

No se conoce su basamento, sin embargo, se piensa que éste puede estar compuesto de rocas gabrómicas y ultrabásicas, lo que supone el origen de un aulacógeno. Las rocas que afloran dentro de esta sierra de Juárez son en su mayoría de edad mesozoica. Angeles-Moreno (2006) menciona la presencia de rocas metamórficas del Paleozoico Tardío

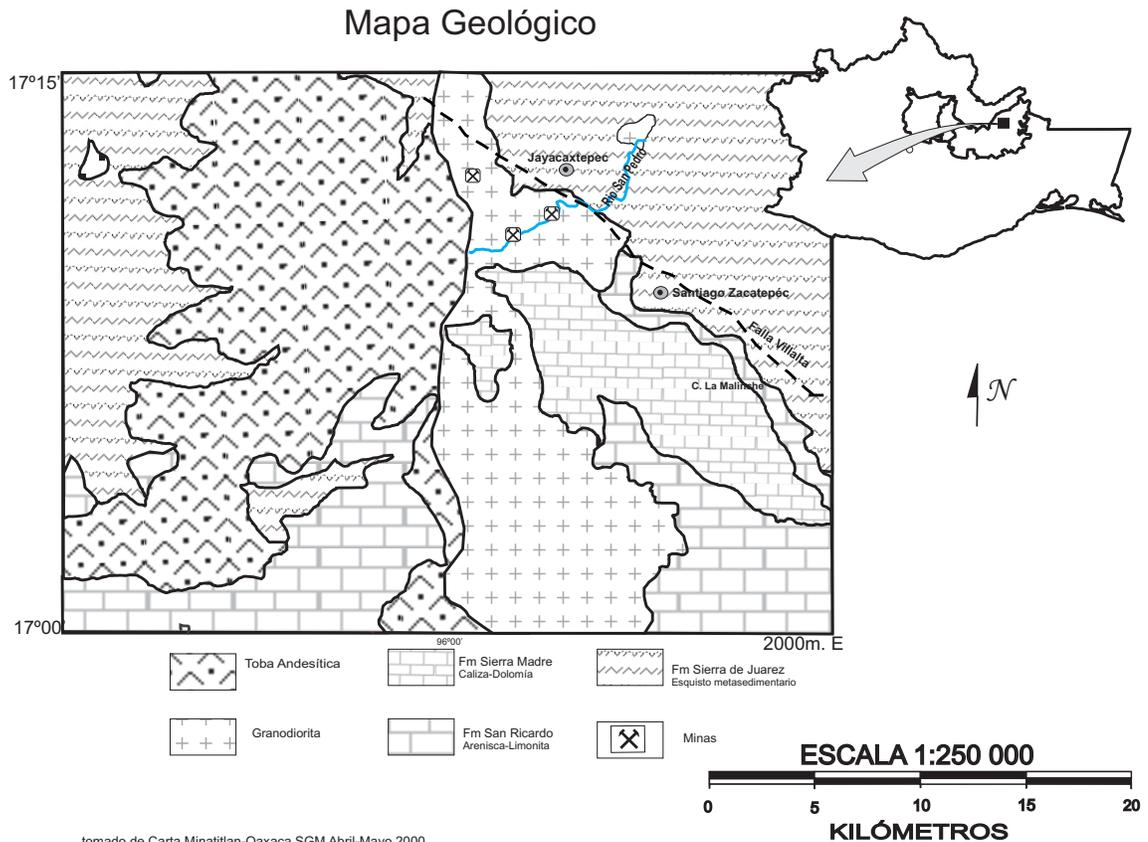


Fig. 2.1. Mapa Geológico del área de estudio.

en la Sierra de Juárez, al sureste de Huautla de Jiménez, y en la Mixtequita. Se han encontrado alforamientos con cuñas tectónicas compuestas de esquistos de clorita y mica blanca con intercalaciones de metaconglomerados con clastos de rocas metamórficas en facies de esquistos verdes (Angeles-Moreno, 2006). En la Fm. Todos Santos se encontraron clastos de esquistos de mica en las capas rojas (Angeles-Moreno, 2006).

En el Terreno Maya se pueden identificar varias secuencias jurásicas, jurásicas-cretácicas (Cuenca de la Sierra de Chiapas) y del Terciario (Quezada et al., 1975). Dentro de este terreno podemos identificar las siguientes formaciones, de base a techo: Fm. de Lechos Rojos de Todos Santos (Jurásico Medio), Fm. San Ricardo (Neocomiano Huateriviano-Barremiano del Cretácico Inferior) y la Fm. Sierra Madre (Albiano-Turoniano).

2.1.b Complejo Sierra de Juárez

El complejo Sierra de Juárez ha sido interpretado como un terreno tectonoestratigráfico, el cual para Campa y Coney (1983) es el Terreno Juárez y para Ortega-Gutiérrez et al. (1990) es el Terreno Cuicateco. El Complejo Sierra de Juárez está constituido por rocas metamórficas en facies de esquistos verdes. Presenta como litología principal esquistos de mica con moscovita, cuarzo y materia carbonosa, llegando a encontrarse localmente afloramientos de gneiss, esquistos cloritizados, esquistos de granate con biotita, oligoclasa y magnetita, mármoles, metaareniscas y metaconglomerados (Aguilera Martínez et al., 2000). Su espesor se desconoce.

La Sierra de Juárez está constituida por rocas que se originaron como depósitos de cuenca del Terreno Cuicateco (Jurásico-Cretácico), y en parte de la

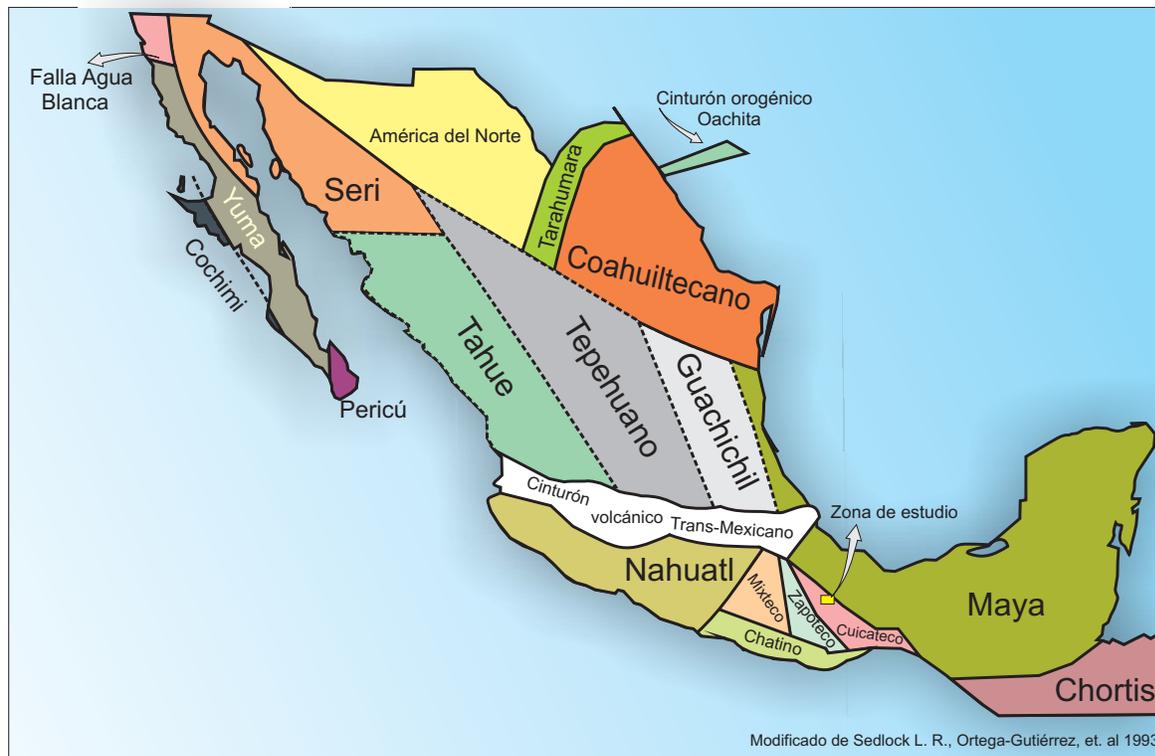


Fig. 2.2. Terrenos tectonoestratigráficos de México. Se muestra en un recuadro amarillo el área de estudio, localizada dentro del Terreno Cuicateco.

plataforma de Córdoba (Barboza Gudino et al., 1999). La serie de cinturones de pliegues y cabalgaduras derivan de diversas orogenias, entre las que destacan la Apalachiana (Paleozoico Superior-Triásico), Nevadiana (Jurásico) y Laramide (Cretácico-Terciario) (Castro-Mora et al., 1996). Este complejo está discordantemente sobreyacido por la Fm. Todos Santos y encajona el intrusivo Arroyo Blanco, de edad Oligoceno-Mioceno. Este complejo formó parte de una antigua secuencia terrígena de depósitos de cuenca cuarzo-feldespáticos y arcillo-arenosos, afectada por metamorfismo regional de bajo grado durante el Paleozoico Superior (Carbonífero Tardío – Pérmico Tardío), debido a la segunda colisión entre Gondwana – Laurentia (Nicolás et al., 1990). Se puede apreciar fracturamiento que sufrió debido al contacto con el intrusivo, el cual originó el emplazamiento de las vetas de cuarzo y zonas de hornfels (corneanas).

Cabe mencionar que la Sierra de Juárez está afectada por la Falla Villalta, con rumbo NW-SE, (fig. 2.1) la cual corre paralelamente a la Falla Río Grande que a su vez constituye la continuación de la Falla Vista Hermosa; ambas fallas constituyen el límite entre el Terreno Cuicateco y el Terreno Maya (Aguilera Martínez et al., 2000).

2.1.c Secuencias sedimentarias del Mesozoico

Los sedimentos de la Cuenca Sierra de Chiapas se depositaron sobre la Fm. Todos Santos y está constituyen dos unidades:

a) En su parte basal, se presenta a la Fm. Uxpanapa, de edad Kimmeridgiano-Tithoniano, formada por calizas y dolomías, y

b) Fm. Edén la cual le sobreyace de manera concordante, de edad Tithoniano-Berriasiano, constituida por calizas arcillosas, margas y lutitas. Por encima podemos encontrar la Fm. San Ricardo, de edad Hauteriviano-Barremiano, la cual está constituida por areniscas y limolitas, y es sobre esta formación que se encuentra una parte del municipio de Santiago Zacatepec Mixe en contacto con el Complejo Sierra de Juárez.

El nombre de San Ricardo fue propuesto por Page et al. (1921) y continuado por Pike et al. (1922), y la localidad tipo se encuentra en la carretera Cristóbal

Colón, entre los Km. 1020 y 1027. El espesor de la Fm. San Ricardo es variable, de 700 a 1500 m (Quezada, 1975). Richards et al. (1963) propusieron el nombre de formación San Ricardo para describir clásticos y carbonatos marinos, incluyendo a la parte superior de la Fm. Todos Santos. Estos mismos autores dividieron a la formación en tres miembros de la base a la cima: lutítico, calcáreo y arenoso. Montes de Oca et al. (1969) determinaron dos facies, una de plataforma externa carbonatada y la otra de plataforma interna o terrígena.

Quezada et al. (1975) cambiaron la localidad tipo proponiéndola en el cauce del río Pueblo Viejo, con base a un mejor control paleontológico y en donde es posible dividirla en un miembro inferior calcáreo, uno intermedio margoso y uno superior arenoso.

Quezada et al. (1975) describen un miembro inferior calcáreo formados por dos unidades con espesores de 10 m de areniscas de grano grueso de cuarzo y fragmentos de roca ígnea en cementante calcáreo, arenas de grano fino arcillosas y calcáreas de color rojizo.

Cartagena et al. (1980) señalan que existe una discordancia erosional entre la Fm. San Ricardo que, basándose en Quezada et al., (1975) es la parte arenosa y el miembro margoso que considera como Fm. El Edén (Nicolás et al., 1990).

Según Hernández et al. (1972) la Fm. San Ricardo consiste en areniscas gris claro a violáceo, de grano medio a grueso, compactas, bien cementadas, con material arcilloso, ferruginoso y silíceo, con estratificación en capas de 10 a 20 cm, e intercalaciones de limolitas rojas a violáceas. Hacia la porción inferior señalan un horizonte de calizas gris oscuro con ostrácodos. La Fm. San Ricardo contiene macrofauna como *Ptychomya stantoni* (Gasterópodo) y *Pleuromya inconstans* (Bivalvo). Concordantemente sobreyace la Fm. Sierra Madre, la cual está constituida por calizas y dolomías, y fue definida por primera vez por Bose et al. (1906), y por distintos autores que realizaron trabajos para PEMEX. Debido a que es una roca generadora de petróleo propició a que se dividiera en tres miembros, que son: Canthelá (calizas de plataforma), Cintalapa (calizas de plataforma no muy profunda) y Jolpabuchil (Nicolás et al., 1990), con edades del Cretácico Superior (Albiano- Cenomaniano-Turoniano-Santoniano)

(Aguilera Martínez et al., 2000). La edad asignada para esta formación va del Albiano al Turoniano, según Nicolás et al. (1990), por la microfauna contenida en los miembros Canthelá (*Cnonodronta sp.*, *Toucasia sp.*, *Nerinea sp.*, *Toucasia cf. t. Texana Roemer*, *Nerinea cf. N. Occidentalis statom*) y Cintalapa (foraminíferos bentónicos, fragmentos de ostrácodos, miliólidos *Cuenolina sp.*, *Textularia sp.* y algas *solenoporáceas*, no teniéndose fósiles índices). La Fm. Sierra Madre se puede correlacionar con las formaciones Teposcolula de la Cuenca de Tlaxiaco, Morelos de la Plataforma Guerrero Morelos, Orizaba de la Cuenca Zongolica y con la caliza El Abra de la Plataforma Valles-San Luis Potosí. Para el presente estudio es una de las más importantes, ya que en San Francisco Jayacaxtepec y Santiago Zacatepec la Fm. Sierra Madre aloja la mineralización metálica.

2.1.d Rocas ígneas del Terciario

En las inmediaciones del área de Santa María Asunción Cacalotepec, Santiago Malacatepec, San Juan Metaltepec y San Juan Río Choapan afloran rocas ígneas intrusivas plutónicas e hipabisales que están formadas por granitos y granodioritas (Ham et al., 1980). Debido a que a este intrusivo le atribuimos la formación de los skarns de Santiago Zacatepec y San Francisco Jayacaxtepec, se ha decidido denominarlo “**Intrusivos Zacatepec**”. Está compuesto por granodioritas de biotita-hornblenda, pórfidos granodioríticos, con fenocristales euhedrales de plagioclasa sódica y ferromagnesianos, y granitos con textura granular, formada por cristales euhedrales y subhedrales de plagioclasa sódica (andesina u oligoclasa), biotita y hornblenda (López et al., 1986).

Además, afloran en la zona de estudio una serie de rocas andesíticas y dacíticas de edad Oligoceno-Mioceno. El vulcanismo en esta zona consiste en un evento piroclástico y derrames a través de fallas y fracturas. Macroscopicamente se puede observar plagioclasa, sin embargo, microscópicamente se pueden observar como componentes principales vidrio, cuarzo y microcristales diseminados que conforman la matriz de la roca (Aguilera Martínez et al., 2000).

2.2 Metalogenia del Estado de Oaxaca

El Estado de Oaxaca se caracteriza por ser uno de los estados con mayor diversidad, tanto geológica como mineral, en toda la República Mexicana. La complicada geología del estado aloja una gran diversidad de minerales y de depósitos minerales económicamente importantes, como el oro, plata, grafito cristalino, titanio, antimonio, tecalli (ónix), y micas, que han hecho de Oaxaca un estado con una amplia historia minera desde épocas muy remotas. Actualmente el potencial minero del estado se cuantifica en los diferentes distritos que desde antaño han sido explorados y explotados (Fig. 2.3). Sin embargo, hoy en día no hay una cultura de exploración sistemática en amplias zonas. Se han realizado trabajos de exploración en zonas muy localizadas, los cuales han arrojado información de la existencia de yacimientos de plomo, zinc, antimonio, grafito, carbón, micas (vermiculitas, flogopita, moscovita y biotita) y, en menor proporción, yacimientos de oro y plata. Oaxaca no solamente es rica en yacimientos de minerales metálicos y no metálicos, sino también en rocas dimensionables como el ónix, mármol, cantera verde y rosa, travertino, yeso, barita, granito y caliza utilizadas para la elaboración del cemento y agregados pétreos.

Las regiones mineras en el Estado de Oaxaca son diversas, sin embargo nos enfocaremos a la Sierra de Juárez por su cercanía y relación con el área de estudio.

En la tabla 2.1 se mencionan las regiones mineras pertenecientes al Estado de Oaxaca.

2.2.a Región minera Sierra de Juárez

Una de las regiones que más destacan debido a su importancia con respecto a la geología económica es la Región Minera de la Sierra de Juárez. Está localizada en la parte centro-septentrional del Estado de Oaxaca, dentro de la Sierra Madre del Sur, en la subprovincia de las Sierras Plegadas del Noroeste (Aguilera Martínez et al., 2000). La sierra se orienta en dirección noroeste-sureste y está cortada por cañones profundos.

La Sierra de Juárez alberga dos distritos mineros, el de Natividad y el de Villa Alta, así como diversas áreas mineralizadas que se muestran como áreas prospectivas por Aguilera Martínez et al. (2000). Estas son: San Andrés Solaga, la Región Mixe, y la Región de Cajones. Esta sierra desde hace muchos años ha tenido una actividad minera intermitente, por ejemplo, en la Mina de Natividad. Southworth (1905) destacó 9 zonas de explotación minera en Oaxaca, siendo la principal La Sierra Juárez, comprendida desde la falda oriente del cerro del Cempoaltepec y que se extendía hasta el Distrito de Teotitlán. Tenía en explotación 50 fundos mineros.

En esta zona destacaba el Distrito de Ixtlán por sus grandes ramales minerales, el primero conformado por las minas de Natividad y sus anexas (La Plomosa y El Poder). En ellas el metal abundante era la plata, pero siempre acompañada de oro, con la particularidad de que cuando aumenta la ley de plata, aumenta en

mayor proporción la ley de oro. La ley mínima de los metales de Natividad era de 60 onzas plata por media onza oro, y la máxima de 1,200 onzas plata y 32 onzas oro por tonelada. Para 1905, la mina de Natividad llevaba 3 años de estar en constante producción sin haber explotado los metales de leyes bajas que mantenía almacenados. En la actualidad, la unidad minera La Natividad se ha mantenido produciendo de manera intermitente, sin embargo otras unidades mineras de Pueblos Mancomunados, Minerales de Oaxaca S.A., Rutilo Mexicano S.A, se encuentran inactivas. Por lo que respecta a minerales no metálicos, destacan la mina Lute por micas en Ejutla de Crespo, Santo Domingo Tonalá por yeso, la región de Magdalena Apasco por cantera, la región de la cañada por Travertino, Mármol de Tequisistlán, la región salinera en la Costa, y el Istmo con varias localidades de agregados pétreos (SGM, 2006).

Regiones mineras de Oaxaca



Fig. 3.3 Mapa de potencial minero del estado de Oaxaca modificado de Riqueza minera del estado de Oaxaca 2000.

Tabla 2.1 Recursos minerales del estado de Oaxaca

Región Minera	Mineralización	Tipo De Yacimiento	Zonas Mineras
1- Natividad	Au,Ag,Pb,Zn	Vetas Y Diseminados	Natividad , Lachatao, Atepec Talea De Castro - Solaga - Cajonos
2- Taviche	Pb, Zn, Au, Ag	Vetas, Mantos, Diseminados	Taviche, Teitipac, Lachigalla, Chimeneas Los Ocotes
3- Telixtlahuaca	Grafito, Pb, Zn, Au, Ag, T I, Fe	Diseminado, Vetas y Mantos	Telixtlahuaca, El Parian, Huitzo, San Juan Del Estado
4- Pochutla	Ti, Fe, Pb, Zn, Au, Ag	Diseminados, Mantos y Vetas	Candelaria Loxicha, Pluma Hidalgo, San Mateo Piñas, La Esperanza- Huatulco
5- San Miguel Peras	Au, Ag, Zn, Hemimorfitas	Mantos, Vetas y Diseminados	San Miguel Peras, Peñoles, Estetla, Yucucundo
6- Teojomulco	Fe, Mn, Pb, Zn, Au, Ag	Mantos, Vetas, Diseminados Irregulares	Teojomulco, Santiago Minas, Zaniza, Textitlán
7- Silacayoapan	Fe, Mn, Pb, Zn, Au, Ag	Vetas, Diseminados	Silacayoapan, Silacayoapilla, San Martín Peras
8- Los Tecojotes	Sb, Hg	Vetas, Mantos, Cuerpo Irregulares	Los Tecojotes, Yucunicoco, Reyes Tepejillo
9- San José De Gracia San	Au, Ag, Zn, Hemimorfitas	Vetas, Diseminados	José De Gracia (Totolapan), Guelavila (Cobre Grande), El Mogote (Albarradas)
10.- Cuicatlán	Asbesto, Pb, Zn, Au, Ag	Vetas, Diseminados y Mantos	Concepción Pápalo, Chiquihuitlán
11.- Tlaxiaco	Carbón	Mantos	Cuenca Carbonífera De La Mixteca Subcuencas: Tlaxiaco- Mixtepec,
12.- Lachiguiri,	Fe, Mn, Pb, Zn, Au, Ag Mármol, Ónix	Mantos, Vetas, Diseminados Estratiformes	Lachiguiri, Guienagati, Lieza, Totolapilla, Jalapa Del Marqués, Tenango, Tequisistlán
13.- La Ventosa	Fe, Mn, Pb, Zn, Au Mármol	Mantos, Vetas, Diseminados Estratiformes	,La Ventosa, Zanatepec, Ejido Mazahua
14.- Tapanatepec	Fe, Mn, Pb, Zn, Au, Ag	Mantos, Vetas, Diseminados	San Pedro Tapanatepec (El Carmen)

Tomado de Servicio Geológico Mexicano. Panorama Minero del Estado de Oaxaca 2006.

III.- GENERALIDADES DE LOS DEPÓSITOS DE SKARN

3.1 Introducción

La palabra skarn proviene de una antigua palabra que los mineros suecos daban a la ganga de alto contenido en silicatos (Geijer y Magnusson, 1952). El término skarn fue introducido en los artículos científicos por medio de trabajos de Zharikou (1970), esto con el objetivo de describir rocas que contienen piroxenos y granates de las minas de Norborg y Langban en Suecia. Posteriormente, en 1911, Goldsmith utilizó el término skarn para un contexto más general, refiriéndose con esta palabra a la roca formada por el reemplazamiento de carbonatos debido a la intrusión de un cuerpo plutónico, obteniendo así mineralización. A partir de este momento, la palabra skarn obtuvo una connotación genética y metalogenética, no solamente como tipo de roca en si. Debido a esta situación, este término skarn produce ciertas confusiones dentro de los términos de la Geología Económica, por eso es importante hacer énfasis en lo que actualmente se refiere a skarn y a sus yacimientos minerales asociados.

Para Einaudi et al. (1981), “Un skarn es un tipo de roca cuya composición es de minerales calcosilicatados que se puede generar ya sea por procesos metamórficos o metasomáticos”. Para Delgado et al. (1997) “Un skarn son aquellas rocas calcosilicatadas, a veces mineralógicamente bandeadas y a menudo de grano grueso que se forma por reacciones metasomáticas sobre protolitos carbonatados, con menor frecuencia evaporitas y rocas ígneas básicas, resultantes de la interacción con un fluido con el que se encuentra en desequilibrio químico y térmico”.

Por otra parte Kwak, (1987) confiere al término skarn a un significado más general, con ciertas consideraciones económicas implícitas: “Un skarn no solo se refiere a una roca calcosilicatada a menudo económicamente insignificante sino también aquellas paragénesis resultantes de la retrogradación de las asociaciones calcosilicatadas de alta temperatura, las cuales suelen contener una mineralización más rentable económicamente asociada”.

Para fines de este trabajo, se considerara que un skarn es aquella roca de composición calcosilicatada, la cual contiene mineralización metálica debido a la interacción de fluidos con un protolito calcáreo, asociados a procesos metasomáticos producidos por la intrusión de magmas ácidos.

Por otra parte es importante hacer énfasis en la diferencia entre el término skarn como roca y el término skarn como yacimiento mineral, para esto citaremos a Einaudi (1981) que propone que el yacimiento de este tipo “Debe de estar libre de toda consideración genética, denominando exclusivamente a este tipo de yacimiento como depósitos de skarn”.

Por otra parte, existen otros términos relacionados con los skarns, uno de estos es el término skarnoide o corneanas calcosilicatadas (Magnusson, 1960). Un skarnoide es una roca calcosilicatada con una composición química global similar a la de su protolito no metamorfozado; este término se utiliza para designar aquellas rocas formadas por metamorfismo de carbonatos impuros, margas o carbonatos silíceos ricos en metales, con una aportación nula o pequeña de componentes químicos asociados a una intrusión ígnea (Delgado, 1997; Melgarejo, 1997; Fonteilles y Machairas, 1968; Van Marcke, 1983; Cheilletz, 1984)

Como se había mencionado anteriormente, dentro de un skarn se llevan a cabo procesos como el *metasomatismo* el cual consiste en el cambio de composición química a causa de la movilidad de elementos volátiles como H₂O, CO₂, F, Cl. Este proceso puede efectuarse por la infiltración (cuando el fluido se encuentra en desequilibrio y viaja a través de la roca), o por difusión o de reacción (el fluido permanece casi inmóvil) generando un skarn. Los skarns de reacción se encuentran en zonas de contacto entre rocas sedimentarias de distinto tipo y no tienen mucho interés desde un punto de vista metalogenético. Estos dos procesos no siempre ocurren al mismo tiempo, pero luego se encuentran ya que se formaron (Pérez Segura, 2004).

Otros autores han nombrado a los yacimientos de skarns con diferentes nombres, entre los que destacan el de Lindgren (1905) “metamorfismo hidrotermal”, Hess (1919) denominándolo como “tactita”, Lindgren (1933) como “pirometasomáticos”, y Park y McDiarmid (1976) como “metamorfismo ígneo”.

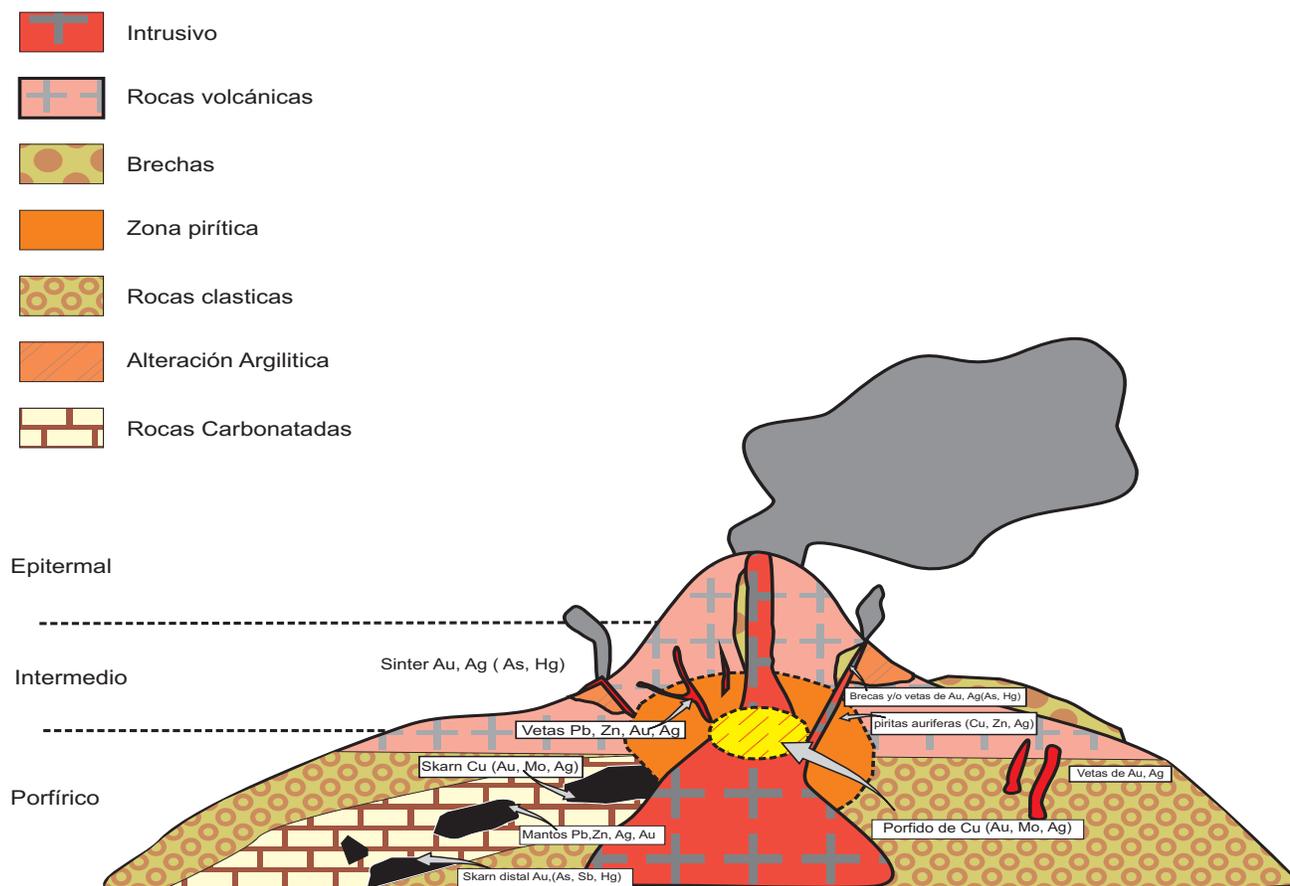


Fig 3.1. Esquema que presenta las partes de un skarn así como los depósitos asociados junto con sus respectivas alteraciones y morfología.

Actualmente los skarns son tema de estudio para diversos autores de geología económica, lo que ha permitido entender más acerca de estos depósitos desde un punto de vista metalogenético. La importancia de los skarns radica en que son depósitos minerales con gran potencial minero, que se pueden encontrar en varias partes del mundo y que además albergan depósitos de, oro, plomo y zinc, entre otros.

Dejando por sentado el significado de cada uno de estos términos, para fines de esta tesis denominaremos el yacimiento en estudio con el nombre de depósito de skarn Zacatepec.

3.2 Distribución e interés económico

Los skarns se pueden encontrar en todo el mundo. En la Cordillera canadiense se han encontrado más de 1000 skarns, de los cuales la mayoría son de Cu (Ray y Dawson, 1998). El yacimiento de Cu-Au más grande en el mundo es el Big Gossan en Irian Jaya, Indonesia, con 37.4 Mt y con 2.69% de Cu y 1.02 gr/ton de Au. Meinert (1998) registra más de 43 skarns de Au en el mundo. Varios depósitos importantes de W en la Columbia Británica y en China ($W_{\pm}Sn$ o sólo Sn) están asociados a skarns. Los skarns de Fe son los más grandes, pues pueden contener hasta

más de 500 millones de toneladas en mena de magnetita ± hematitas (fig. 3.1).

La ocurrencia de skarns en México es muy importante; los skarns mexicanos son de diversas edades y se pueden encontrar en muchas partes del país. Algunos skarns mexicanos están catalogados entre los grandes yacimientos del mundo, como Naica y Santa Eulalia, Chih., Velardeña, Dgo., La Encantada, Coah., Concepción del Oro y San Martín, Zac. Charcas, S.L.P, y Zimapán, Hgo. También en Sonora encontramos skarns de Zn-Cu (Meinert, 1980, 1982). En México también podemos encontrar la mina de wollastonita más grande del mundo cerca de Hermosillo, Son.

3.3 Clasificación de los skarns

La clasificación de los skarns se hace en base a varios criterios, lo que ha generado distintas clasificaciones. Un parámetro que se utiliza es en base al protolito sedimentario y de la mineralogía resultante.

Skarns Cálcicos y Magnesianos: La roca original puede ser una caliza o una dolomía, (Zharikov, 1970).

(a) Caliza: skarn de granate + diopsida → skarn cálcico

(b) Dolomía: skarn de forsterita + diopsida → skarn magnésico

Otro criterio es la distancia que existe entre el intrusivo y las respectivas alteraciones y mineralización:

(a) Skarns, Proximales: Son aquellos skarns de contacto, próximos al cuerpo intrusivo (Kwak, 1987).

(b) Skarns Distales: Son aquellos que están alejados del intrusivo. Se forman por reemplazamiento de estratos de carbonatos. Se han denominado "Carbonate Replacement Deposits" o skarns de Pb-Zn distales (Einaudi et al., 1981; Einaudi y Burt, 1982). Megaw

(1988) los llama *Depósitos de Ag-Pb-Cu* de alta temperatura ($t > 200^\circ\text{C}$) alojados en carbonatos.

Otro criterio de clasificación es en base a su mineralogía y el tiempo de formación (Kwak, 1987; Soler y Ayora, 1991):

(a) Skarn Progradante o progresivo / Facies "Prógrada": Término utilizado para referirse a fases de mayor temperatura, ricas en silicatos cálcicos anhidros, como granates y piroxenos.

(b) Skarn Retrogrado/Facies "Retrógrada": Se refiere a fases tardías, de menor temperatura, rica en calcita, epidota y clorita. A esta etapa de mineralización se suelen asociar a los depósitos de metales.

La clasificación más utilizada toma en cuenta el metal económico predominante, y es la más importante dentro de la geología económica (Einaudi et al., 1981; Kwak y White (1982), (Meinert, 1998) y Ray y Dawson (1988)):

Skarn de Au, skarn de Cu, skarn de Fe, skarns de Pb-Zn

Skarn de Mo, skarn de Sn, skarn de W, skarn de W-Mo-Cu y W-Sn-F

Skarn de Au y W: reducidos (ricos en piroxeno) y oxidados (ricos en granate).

3.4 Mineralogía de los skarns

Los skarn son rocas con una mineralogía muy variada y compleja, ya que desde su formación interactúan diversos factores tales como la variabilidad química de los fluidos, la composición de la roca preexistente, los rangos de temperatura a los cuales está sometido el protolito, etc. Sin embargo, podemos distinguir algunos minerales importantes que los caracterizan, como lo veremos a continuación.

Utilizando la clasificación de Einaudi (1981), que involucra el metal predominante, mencionaremos los minerales de mena, de alteración, así como las rocas y yacimientos que pueden estar asociadas a los diferentes tipos de skarns.

(a) Skarns de Plomo-Zinc

Estos depósitos se pueden extenderse de 100m a 1km. Tienen relación con skarns de Pb-Zn-Ag, de Cu, y con pórfidos cupríferos. También, en algunas ocasiones, se relacionan con skarns de Fe y W (Fig. 3.2) (Gerald et al., 1995).

Sus minerales de mena son: Esfalerita ± galena ± pirrotina ± pirita ± magnetita ± arsenopirita ± calcopirita ± bornita. Otros minerales traza pueden ser scheelita, bismutinina, estannita, casiterita, tetraedrita, molibdenita, fluorita, y oro nativo. El skarn proximal o endoskarn tiende a ser rico en Cu y W, considerando que el skarn distal o exoskarn contiene grandes cantidades de Pb, Ag y Mn (Gerald et al., 1995).

Con respecto a los silicatos, se pueden encontrar la hedenbergita rica en Mn, andradita ± wollastonita ± bustamita ± rodonita. En la fase tardía: actinolita rica en Mn ± epidota ± ilvaíta ± clorita ± dannermorita ± rodocrosita ± axinita. Cabe mencionar que muchos de estos skarns se forman cerca de stocks (Einaudi et al., 1981).

La mineralogía del endoskarn es rica en epidota ± anfíboles ± clorita ± sericita con cantidades menores de rodonita ± granate ± vesuvianita ± piroxenos ± feldespato potásico ± biotita y topacio (Gerald et al., 1995).

Con respecto a la litología asociada, podemos encontrar rocas carbonatadas.

(b) Skarns de Fe

Los skarns de Fe cálcicos contienen: Magnetita ± calcopirita ± pirita ± cobaltita ± pirrotita ± arsenopirita ± esfalerita ± galena ± molibdenita ± bornita ± hematitas ± martita ± oro. En ocasiones pueden contener telurobismutita ± fluorita ± scheelita (Gerald et al., 1995).

Los skarns de Fe magnésicos contienen: Magnetita ± calcopirita ± bornita ± pirita ± pirrotita ± esfalerita ± molibdenita.

Gerald et al. (1995) separa los minerales no metálicos en:

Alteración del Exoskarn, tanto cálcico como magnésico: Diopsida-hedenbergita ± grosularia-andradita ± epidota ± apatita. En la fase retrograda se pueden encontrar anfíboles ± clorita ± ilvaíta ± epidota ± escapolita ± albita ± feldespato potásico Rica en Fe, pobres en Mn,. Los skarns magnésicos pueden contener olivino, espinela, flogopita, brucita, serpentina y, en raras ocasiones, minerales de boro como la ludwigita, szaibelita, fluorborita y kotoíta.

Alteraciones del endoskarn: Skarns de Fe cálcico: Granate ± piroxeno ± epidota ± escapolita. Skarns de Fe Magnésicos: Piroxeno ± granate.

Con respecto a los depósitos asociados, hay pórfidos cupríferos y pequeñas vetas de Pb-Zn (Fig. 3.3)(Gerald et al., 1995).

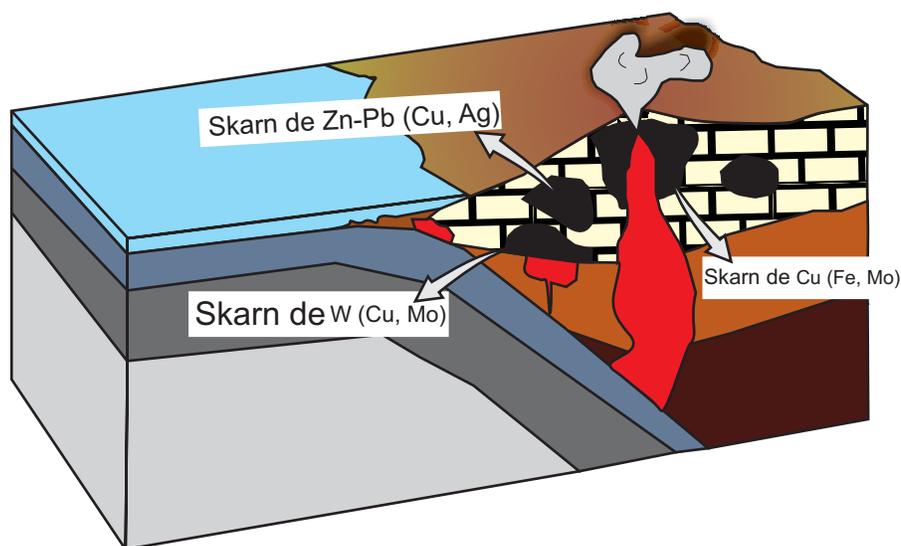


Figura 3. 2 Esquema de un skarn de Pb-Zn, W y Cu. (Modificado de Meiner et al., 2005).

(c) Skarns de Oro

El oro se encuentra normalmente en forma de inclusiones dentro de los sulfuros. Se presentan proporciones de Cu:Au (<2000:1), Zn:Au (<100:1) y Ag/Au (<1:1). La mineralización metálica se asocia a piroxeno y granate. Suele haber teluluros de bismuto (Gerald et al. 1995).

Los skarns magnésicos contienen: oro nativo ± pirrotita ± calcopirita ± pirita ± magnetita ± galena ± tetraedrita (Gerald et al., 1995), mientras que los cálcicos (más ricos en piroxenos y sulfuros) presentan: arsenopirita, oro nativo ± pirrotita ± calcopirita ± bismutina ± bismuto nativo ± pirita ± esfalerita ± maldonita (Gerald et al., 1995).

Los skarns de Au se asocian a skarns de Cu, pórfidos cupríferos y vetas de sulfuros y Au (Gerald et al., 1995).

(d) Skarns de W

Sus minerales de mena son: scheelita ± molibdenita ± calcopirita ± pirrotita ± esfalerita ± arsenopirita ± pirita ± powelita. Normalmente estos skarns contienen, en cantidades subordinadas, wolframita, fluorita, casiterita, galena, marcasita y bornita. Raramente contienen pirrotita, magnetita y bismuto nativo. Hay vetas de cuarzo en stockwork, tanto en el exoskarn como en el endoskarn.

En el exoskarn encontramos diópsida-hedenbergita ± grosularia andradita ± biotita ± vesuvianita, y wollastonita en las partes externas. En etapas retrogradantes podemos encontrar espesartina ± biotita ± plagioclasa ± flogopita ± epidota ± fluorita ± titanita (Gerald et al., 1995).

En el endoskarn hay piroxeno ± granate ± biotita ± epidota ± anfíbol ± muscovita ± plagioclasa ± pirita ± pirrotita ± turmalina ± escapolita.

Los depósitos asociados a estos son los skarns de Sn, Mo y Pb-Zn (Fig. 3.4) (Gerald et al., 1995).

(e) Skarns de Sn

Dentro de los minerales de mena encontramos: casiterita ± scheelita ± arsenopirita ± pirrotita ± calcopirita ± estannita ± magnetita ± bismutita ± esfalerita ± pirita ± ilmenita (Gerald et al., 1995).

El exoskarn contiene granate, hedenbergita ± vesuvianita ± bitota rica en Fe ± titanita estannífera ± rutilo ± ilvaíta rica en Sn ± wollastonita ± adularia. En fases retrogradantes podemos encontrar moscovita ± biotita rica en Fe ± clorita ± turmalina ± fluorita ± psilomelana ± epidota y anfíboles. Los skarns magnésicos pueden contener olivino, serpentina, espinela, talco y brucita.

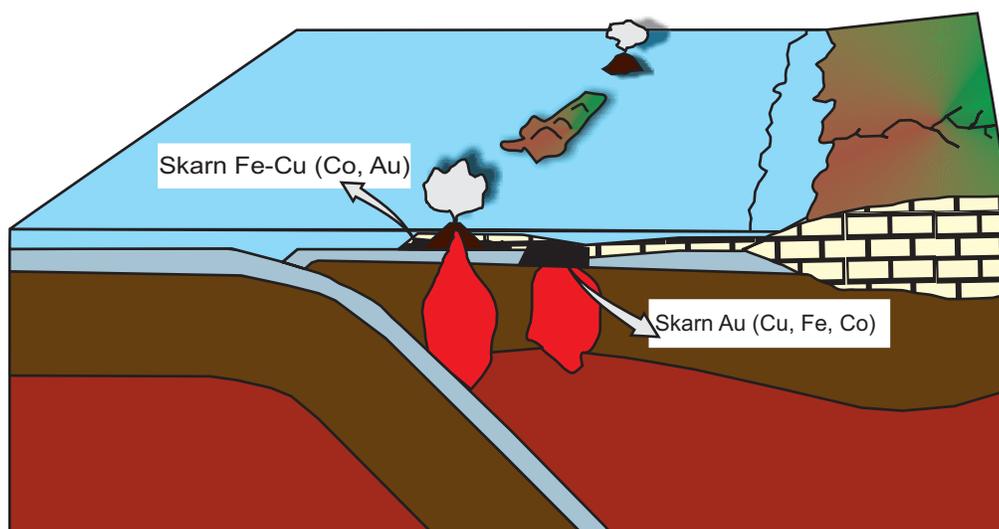


Figura 3.3 Esquema de un skarn de Fe y Au. (Modificado de Meiner et al., 2005).

Como depósitos asociados podemos encontrar skarns de W y vetas, mantos de sulfuros y cuarzo (Fig. 3.5) (Gerald et al., 1995).

(f) Skarns Mo

Contienen los siguiente minerales de mena: molibdenita ± scheelita ± pirrotita ± powellita ± calcopirita ± arsenopirita ± pirita ± pirrotita ± bismutinita ± esfalerita ± fluorita y, en raras ocasiones, galena ± magnetita ± uranita ± casiterita ± cobalita ± estanita ± oro (Gerald et al., 1995).

En el exoskarn contienen: hedenbergita ± grosularia-andradita ± wollastonita ± biotita ± vesubianita, y los skarns magnésicos: olivino ± anfibolita ± epidota ± clorita y moscovita.

En el endoskarn presentan: clinopiroxeno ± feldespato potásico ± hornblenda ± epidota ± cuarzo ± sericita ± molibdenita.

Los depósitos asociados son: pórfidos de molibdeno con vetas de Mo y Zn (Fig. 3.4) (Gerald et al., 1995).

(g) Skarns de Granate

No contienen minerales metálicos en cantidades significativas. Son ricos en: grosularia-andradita ± wollastonita ± magnetita, además de tener

cantidades menores de: clinopiroxeno ± cuarzo ± feldespatos K ± calcita ± titanita ± apatito ± axinita ± vesubianita ± sericita.

En ocasiones se asocian a skarns de Cu, Fe, Au y de wollastonita (Gerald et al., 1995).

(h) Skarns de wollastonita

Presentan los siguientes minerales: wollastonita ± granate ± clinopiroxenos ± calcita ± cuarzo (Simandl et al. 1999).

Se encuentran en menor proporción tremolita-actinolita ± zoicita ± clinozoisita ± anortita ± prehnita ± sulfuros ± grafito ± vesubianita ± titanita (Simandl et al., 1999).

Como depósitos asociados se han reconocido: Skarns de Cu, Pb-Zn, W, Mo, Au, y pórfidos cupríferos (Fig. 3.6) (Simandl et al., 1999).

(i) Skarns de uranio

Predominan la calcopirita ± pirita ± magnetita ± bornita ± calcopirita ± esfalerita ± tennantita. Incluso encontramos hematites ± pirrotita ± magnetita ± scheelita ± molibdenita ± bismutita ± galena ± cosalita ± arsenopirita ± enargita ± tennantita ± cobalto ± tetraedrita.

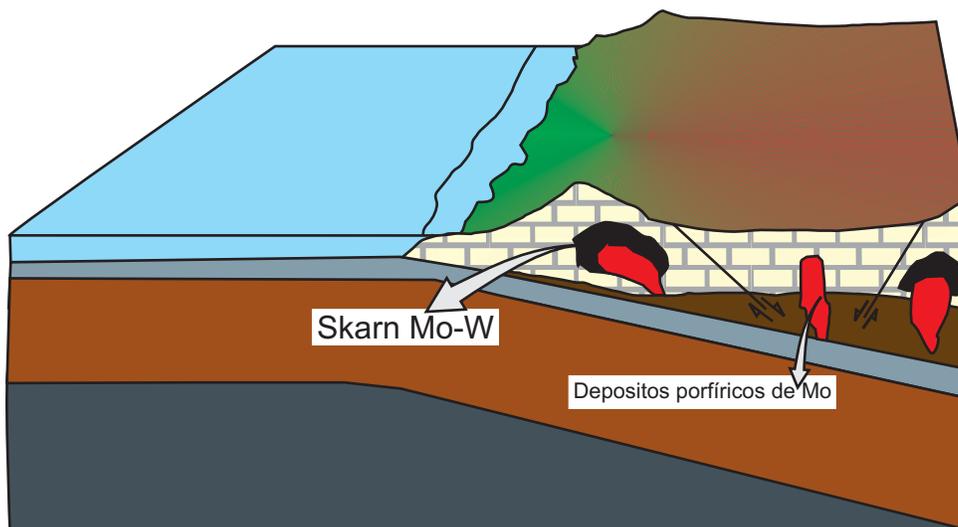


Fig. 3.4. Skarn de Mo-W (Modificado de Meiner et al., 2005).

El Exoskarn contiene: Granates ricos en Fe y bajos en Mn \pm diópsido \pm wollastonita \pm vesuvianita.

El Endoskarn: Presenta feldespato potásico \pm epidota \pm sericita \pm piroxeno \pm granate. Los depósitos asociados a este tipo de skarn son los pórfidos cupríferos, skarns de Au, Fe, Pb-Zn, además de depósitos de reemplazamiento de carbonatos de Pb-Zn-Ag (Fig.3.5) (Gerald et al., 1995).

3.5 Génesis de los skarns

Los skarns se forman a partir de procesos metamórficos y metasomáticos podrecidos por la intrusión de un cuerpo plutónico, típicamente ácido, dentro de una roca carbonatada (calizas ó dolomías). Durante el enfriamiento se produce un intercambio de fluidos entre la roca encajonante y el intrusivo, lo que produce una alteración de ambas rocas. Las rocas resultantes son muy ricas en silicatos de Ca, Mg y Fe, derivados de los protolitos, a los cuales se les ha introducido cantidades grandes de Si, Al, Fe y Mg (Einaudi et al., 1981; Meinert, 1992).

Los minerales calcosilicatados, como por ejemplo wollastonita, andradita, diópsido, granate y actinolita, forman aureolas metamórficas de contacto en torno a los intrusivos (Fig.3.2) (Einaudi et al., 1981; Meinert, 1992).

La parte desarrollada sobre la roca caliza se denomina exoskarn, y la parte correspondiente al intrusivo se denomina endoskarn (Fig.3.7). Las zonas proximales al intrusivo contienen mucho granate, en cambio, las distales contienen piroxenos, y en la zona más externa, formada por mármoles, se puede encontrar vesuvianita (Einaudi et al., 1981; Meinert, 1992).

El proceso de formación de un skarn se resume en tres etapas sucesivas en el tiempo:

(1) **Metamorfismo isoquímico:** Recristalización de los minerales de la caliza. En las partes exteriores del skarn encontramos mármol, corneanas, cuarcitas, skarns de reacción, skarnoides, talco y wollastonita (Einaudi et al., 1981).

(2) **Etapas múltiples de metasomatismo progradante:** En este proceso se lleva a cabo durante el enfriamiento y cristalización del magma; esto ocasiona que los fluidos hidrotermales se liberen produciendo minerales anhidros a temperaturas de entre 400°C a 800° C. Normalmente en esta etapa inicia la mineralización metálica (Einaudi et al., 1981).

(3) **Alteración retrógrada:** Esta etapa acompaña al enfriamiento del intrusivo y se caracteriza por la circulación de agua de temperatura de más bajo rango, lo que ocasiona una alteración retrógrada de los minerales calcosilicatados formados anteriormente. Así se forman epidota, actinolita, clorita, entre otros minerales silicatados. En muchas ocasiones la

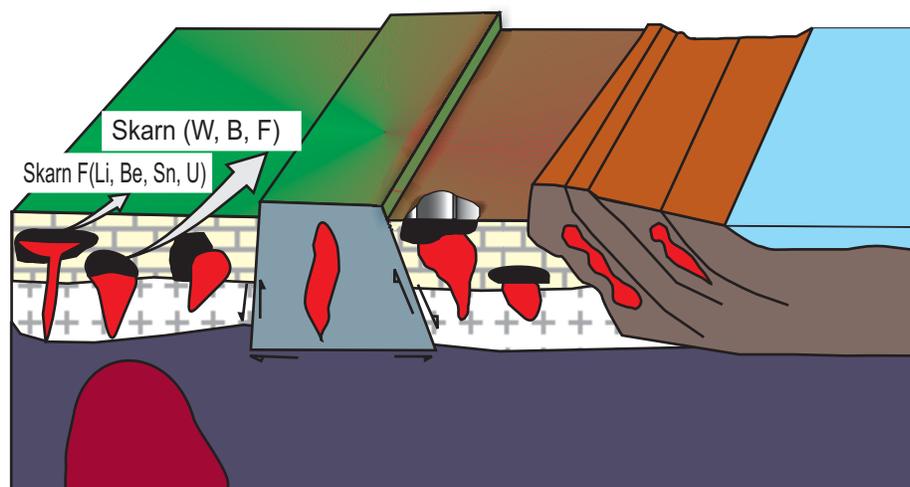


Fig. 3.5 Skarn de Estaño y tungsteno (Modificado de Meiner et al., 2005).

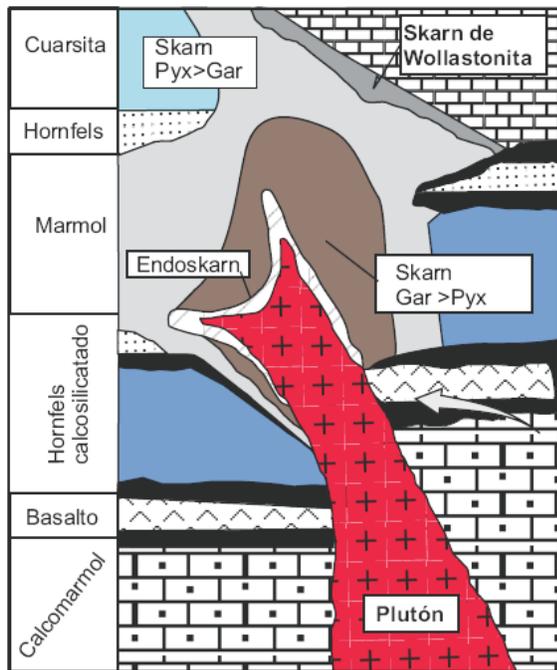


Fig. 3.6 Skarn de wollastonita (Modificado de Meiner et al., 2005).

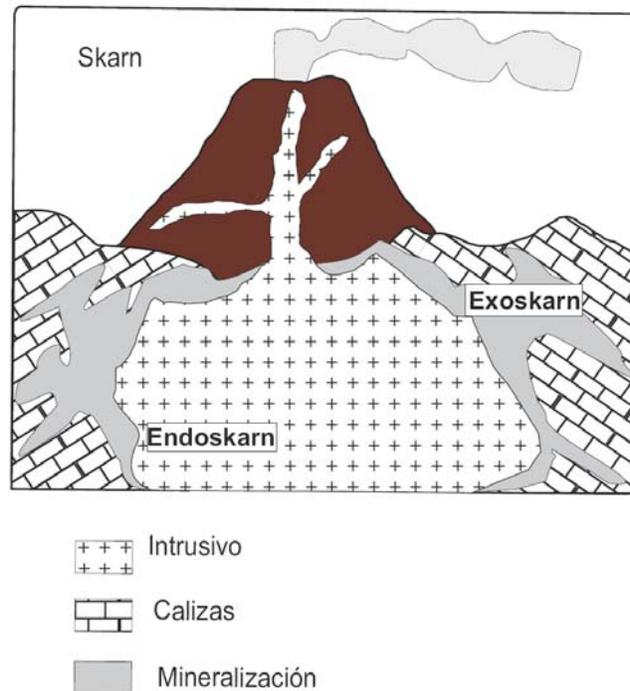


Fig. 3.7. Partes de un skarn, dependiendo de su distancia del intrusivo así como las diferentes alteraciones que están presentes.

mineralización metálica se asocia a la alteración retrograda. Para el caso de los skarns distales, el metamorfismo isoquímico y las etapas de metasomatismo dan lugar a depósitos de Zn Pb, formados en un rango de temperatura de entre 210° y 350°C (fig. 3.8) (Einaudi et al., 1981).

Los skarns, pueden tener forma de lengua o manto, ya que la mineralización tiende a extenderse a lo largo de estructuras previas a la roca, como la estratificación, fracturas o fallas. En algunas ocasiones también pueden formar vetas (Einaudi et al., 1981).

Normalmente los skarns ocurren en el Mesozoico en el Terciario, sin embargo, existen unos cuantos que son del Paleozoico, típicamente de W y Sn, formados a mayores profundidades (Einaudi et al., 1981).

Existe una relación entre el contenido metálico de un skarn y la roca ígnea, a su vez, éstas están relacionadas con el contexto tectónico. Las rocas

máficas, asociadas a arcos oceánicos, únicamente producen skarns de Fe, ricos en magnetita, con contenidos altos de Co, Cu y Au (Einaudi et al., 1981).

Los magmas con composición intermedia a silícica calci-alcalina, son propios de arcos continentales y producen skarns de W y en menor escala skarns de Zn en las zonas de profundidad intermedia.

Los estudios de inclusiones fluídas y de isótopos estables permiten determinar las condiciones de presión-temperatura en la formación del skarn. Los magmas graníticos de zonas postorogénicas forman skarns de Sn, W, Mo, Zn, Be y Fe. (Einaudi et al., 1981).

En la etapa progradante las condiciones son de 400° a 650°C y de 1 a 3 kb, para ambientes profundos, y entre 0.3 a 1 kb, para profundidades más someras. La salinidad varía entre 10 y 45% equivalente de NaCl (Einaudi et al., 1981).

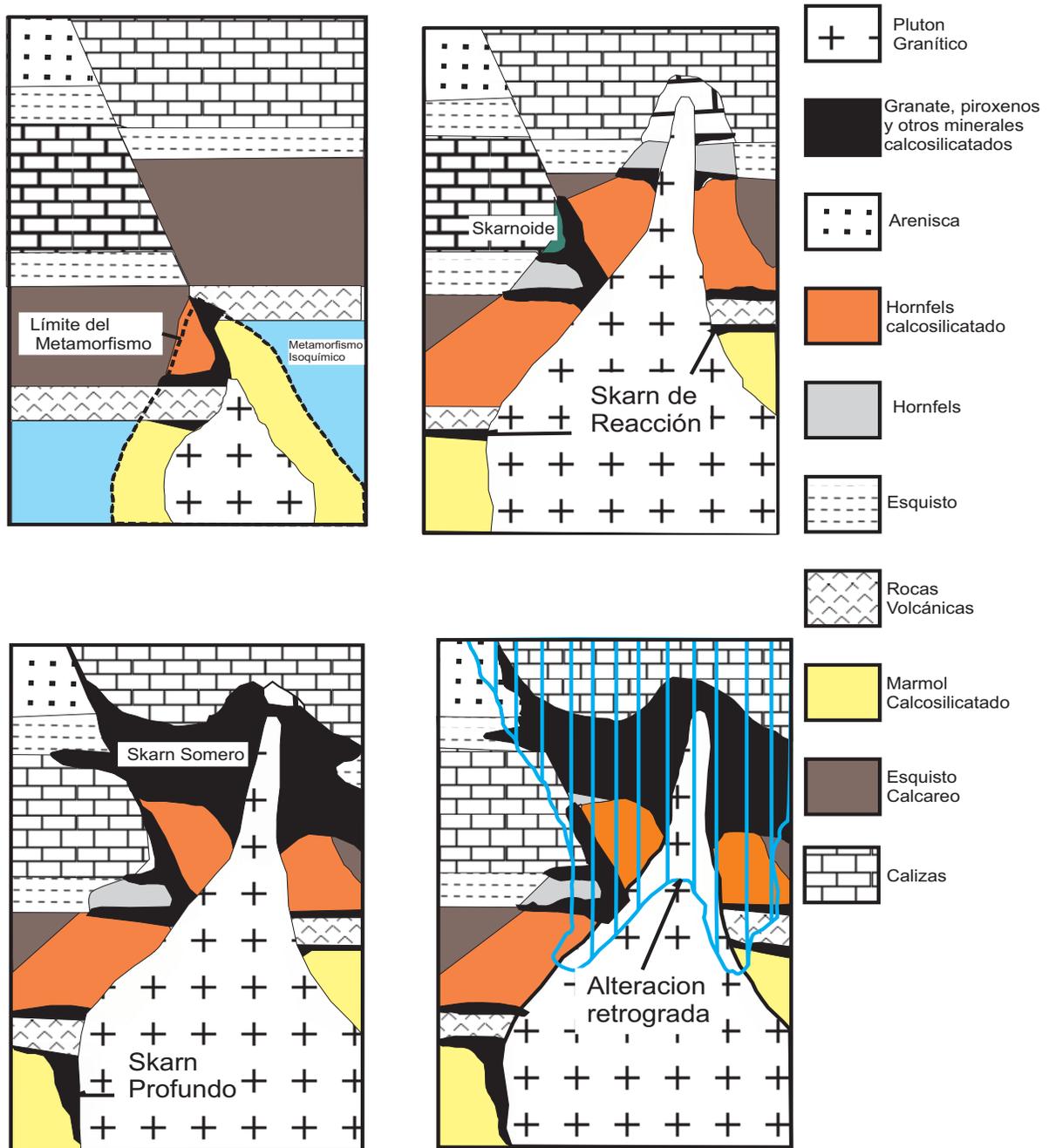


Figura 3.8. Formación de un skarn. (Modificado de Meiner et al., 2005).

3.6 Contexto tectónico de los skarns

Los skarns están asociados intrínsecamente a procesos tectónicos relacionados con subducción, zonas de arco y mas raramente, rifts continentales.

Según Einaudi et al. (1981) cada tipo skarn está asociado a distintos procesos tectónicos.

Las características de los skarns, en relación a su contexto tectónico, se muestra en la tabla 3.1. Las leyes y tamaño dependen mucho también del tipo de roca, del tipo de intrusivo y del contexto tectónico en el cual fueron formados.

Tipo	Fe (Calcico)	Fe (magnésico)	W (Calcico)	Cu (calcico)	Zn-Pb (calcico)	Mo (calcico)	Sn (calcico)	Sn (magnésico)
Abundancia relativa	Abundante	Abundante	Abundante	Abundante	Abundante	Muy raro	Raro	Raro
Tamaño típico	5-200 tm	5-100 tm	0.1-2 tm	1-100 tm	0.2-3 tm	0.1-2 tm	0.1-3 tm	1 tm
Grado típico	40% Fe	40% Fe	0.7% WO ₃	1- 2%Cu,	9% Zn, 6% Pb, 5oz/ton Ag	---	---	---
Asociación metálica (metales menores)	Fe (Cu, Co,Au)	Fe (Cu, Zn)	W, Mo, Cu(Zn, Bi)	Cu, Mo(W, Zn)	Zn, Pb, Ag(Cu, W)	Mo, W(Cu, Bi, Zn)	Sn, F(Be, W)	Sn, F(Be, B)
Escenario tectónico	Arcos de isla oceánicas, margenes de rift continental	Márgenes continentales, sinorogenicos	Márgenes continentales, sinorogenicos con orogenia posterior y posorogenia	Márgenes continentales, sinorogenicos con orogenia posterior y posorogenia				
Rocas igneas asociadas	Gabro a Sienitas, con mayora de Diorita con algo de Dibasas	Granodiorita a Granitos	Cuarzo Diorita a Cuarzo Monzonita	Granodiorita a cuarzo monzonita, rara la Monzonita	Granodiorita a Granito, Diorita a sienita	Cuarzomonzonita a granito	Granito	Granito
Vulcanismo Cogenético	Común: Basalto-andesita	Ausente	Ausente	Común Andesita	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Textura	Equigranular, grano medio a	Equigranular, grano medio a fino	Porfídica, granos gruesos a medios	Porfídica, granos medios a afanítica	Porfídica, grano grueso a afanítica	Ganos gruesos a finos, equigranular a	Ganos gruesos a finos, equigranular	Ganos gruesos a finos, equigranular

intrusiva	fino					porfídica	a porfídica	a porfídica
Morfología del intrusivo	Stocks Pequeños y grandes, diques	Stocks, Pequeños, diques y sills	Plutones batolíticos grandes	Stocks, diques	Stocks grandes y diques.	Stocks	Stocks, Batolitos	Stocks, Batolitos
Alteración del intrusivo	Silicatos de Na amplios en el endoskarn	Propilítica baja en el endoskarn	En el endoskarn, localmente micas, calcita y pirita	En el endoskarn, silicatos K y sericita	Extensiva en el endoskarn	Venas de cuarzo y silicatos K	Greisen	Greisen
Mineralogía: Progresiva	Epidota, magnetita,	Forsterita, calcita, espinela, diopsida, magnetita	Almandino (granate), hedenbergita (piroxeno), idocrasa, wollastonita	Granate Andradita, Piroxenoas Salíticos, Wollastonita localmente	Piroxeno Johansenítico, Granate Andradita, bustamita, idocrasa localmente	Piroxeno Hedembergita, Granate Grandita, Cuarzo	Malayaite, Danburitas, Datolitas, Granditas, Idocrasa	Espinela, Fasaita, Forsterita, Flogopita, Magnetita, Humita
Retrograda	Anfiboles, Clorita	Anfiboles, Humita, Serpentina, Flogopita	Horblenda, Biotita, Plagioclasas, Epidotas	Actinolitas, Cloritas, Monmorilonitas	Actinolita Mn, Ilvaita, Epidotas, Cloritas, Danemoritas	Anfibolitas, Cloritas	Anfiboles, Micas, Cloritas, Turmalinas, Fluoritas	Casiteritas, Magnetita, Micas, Fluoritas
Mineral	Magnetita (Calcopirita, Covalita, Pirrotita)	Magnetita (Pirita, Calcopirita, Esfalerita, Pirrotita)	Schelita, Molibdenita, Calcopirita, Pirrotita, Pirita	Calcopirita, Bornita, Pirita, Hematina, Magnetita	Esfalerita, Galena, Calcopirita, Arsenopirita	Molibdenita, Schelita, Bismutita, Pirita, Calcopirita	Casiterita, Arsenopirita, Estantita, Pirrotita	Casiterita, Poca Arsenopirita, Pirrotita, Estantita, Esfalerita

Tm= toneladas metricas

Modificado de Einaudi et al 1981

IV.- METODOLOGÍA

La metodología de la tesis consistió en tres etapas, las cuales se explican a continuación:

1. Búsqueda bibliográfica de trabajos previos en general de la zona Mixe, así como la búsqueda de investigaciones con fines geológicos que abarquen las formaciones de interés.

2. Reconocimiento del área de estudio, que involucra la visita a los municipios de San Francisco Jayacaxtepec-Santiago Zacatepec Mixe, Oax. así como entrevistas con los habitantes de la zona para escuchar su problemática e inquietudes. En la zona de Santiago Zacatepec se realizó un mapeo de cada una de las minas, así como de las litologías que afloran y sus correspondientes muestras. Para la zona de San Francisco Jayacaxtepec, se mapeó una sección geológica la cual corresponde a un corte de carretera de San Francisco Jayacaxtepec. En esta parte del trabajo de campo se colectaron un total de 115 muestras, las cuales fueron analizadas mediante diversas técnicas de laboratorio como se detalla en el siguiente apartado.

3. Análisis de laboratorio. En el siguiente esquema se ilustra el tratamiento que se le dio a las muestras, tomando en cuenta que a las 115 muestras colectadas se les hizo una descripción macroscópica.

En el siguiente esquema (Fig. 4.1.) se muestra el

tratamiento que se le hicieron a las muestras así como las localidades en donde fueron tomadas.

4.1. Inclusiones Fluidas

4.1.1. Introducción

Durante los últimos años el estudio de inclusiones fluidas ha tenido mucha importancia dentro de los estudios de recursos minerales. Desde el siglo XI se tienen referencias de las inclusiones fluidas hechas por Abu Reikhan Albiruni. Posteriormente naturalistas como Dewey (1818) y Dwight (1820) mostraron gran interés por las inclusiones de gran tamaño.

A mediados del siglo XIX, Sorby (1858) y por Zirkel (1867) llevaron a cabo observaciones de inclusiones fluidas y vítreas en el laboratorio, concluyendo que, cuando un mineral se forma a partir de un fluido a alta temperatura y se enfría, se produce una contracción mayor en el líquido que en el mineral encajonante, creando un vacío que es ocupado por el vapor saturado de la solución atrapada. Así una burbuja va formándose desde la temperatura de atrapamiento hasta la temperatura ambiental. Posteriormente Sorby (1858) planteó que *se podría calcular la temperatura de atrapamiento de una burbuja*, calentando la inclusión y viendo cuando ésta desaparece.

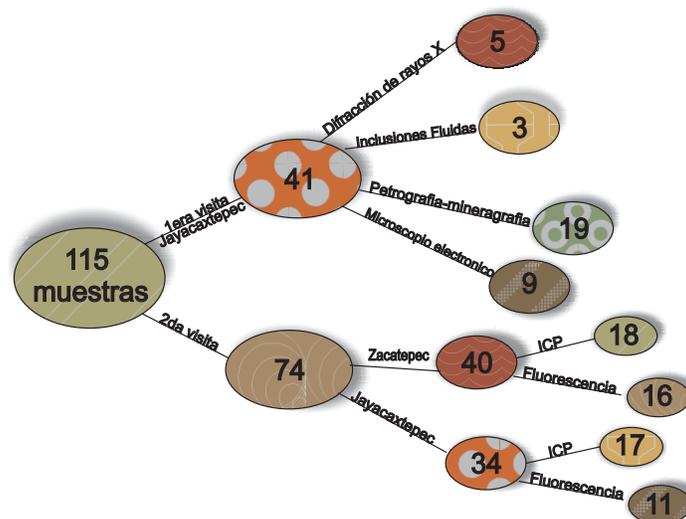


Fig.4.1. Esquema de Metodología.

Basándose en estos trabajos, el estudio de las inclusiones fluidas es una importante herramienta para el estudio de yacimientos minerales.

Las inclusiones fluidas son pequeñas porciones de gas o líquido que se encuentran atrapadas dentro del mineral en cavidades o lagunas de cristalización. Con el estudio de éstas podemos determinar la temperatura y presión de los fluidos presentes durante la formación de un yacimiento, así como la composición y densidad del fluido a partir del cual se formaron los cristales. Con esto podemos tener una idea de cómo fue que se formó el yacimiento mineral. La mayoría de las inclusiones tienen medidas inferiores a 100 μm . En algunas inclusiones se han visto materiales sólidos dentro de estos fluidos, que suelen ser NaCl, sulfatos o carbonatos, a los que se les denomina cristales hijos si han precipitado dentro de la inclusión. El volumen de estos cristales hijos es tan pequeño que no siempre pueden ser vistos a través del microscopio petrográfico.

Las inclusiones pueden producirse tanto en minerales translúcidos como el cuarzo, la calcita o la esfalerita, como en minerales opacos como la calcopirita, la pirita, la magnetita, etc. Los minerales transparentes son los más fáciles de estudiar en el microscopio, sin embargo, hoy en día ya se pueden medir inclusiones en minerales opacos a través de rayos infrarrojos.

Las inclusiones fluidas se dividen en tres grupos a partir de sus características petrográficas y genéticas:

1. Inclusiones primarias: Son aquellas atrapadas durante el crecimiento de un cristal a partir de un fluido. Estas inclusiones se encuentran aisladas dentro de un cristal, sin tener una relación aparente con otra estructura que permita el escape o entrada de cualquier fluido.

2. Inclusiones secundarias: Estas inclusiones se forman posteriormente al crecimiento del cristal. Se pueden dar en fracturas o en alguna estructura similar del cristal. Las inclusiones secundarias están en planos ya sea abiertos o cerrados, donde la fuga del fluido se pudo llevar a cabo y representan fluidos atrapados después de la formación del cristal.

3. Inclusiones pseudosecundarias: Éstas se atrapan cuando el cristal se está formando y esto es

posible a través de microfisuras selladas por zonas de crecimiento del cristal. Se consideran, al igual que las primarias, representativas del fluido mineralizante.

En caso dado de que no se pueda establecer el origen de una inclusión, es imposible determinar que significan los resultados derivados de esa inclusión.

Se han propuesto otros sistemas de clasificación en base a las fases presentes en las inclusiones fluidas a la temperatura de laboratorio:

Tipo L: Homogenizan en fase líquida; no suelen llevar sólidos significativos; a veces no tienen fase vapor

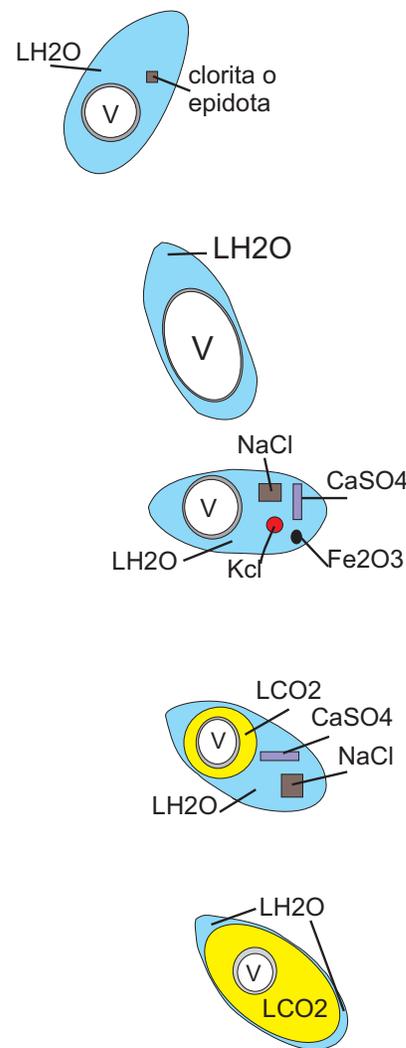


Figura 4.2. Ejemplos de inclusiones fluidas con distintas fases. Modificado de Nash and Theodore (1971).

(monofásicas a temperatura de laboratorio); tienen mayor densidad y son las más abundantes.

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

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

Tipo S: Este tipo contiene por lo menos un sólido a temperatura ambiente. La fase líquida suele ser mucho mayor que la fase vapor. El sólido puede ser precipitado (hijo) 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, nahcolita y carbonatos de Ca y Mg. Los minerales atrapados mecánicamente son sólidos que estaban en equilibrio con el medio; pueden ser cualquier mineral presente en la paragénesis del depósito.

Tipo G: Vidrio más fluido y fases sólidas, son más frecuentes en rocas volcánicas, subvolcánicas, meteoritos y muestras lunares. Presentan una o varias burbujas inmóviles, debido a su alta viscosidad (Fig. 4.2).

Nash (1976) estableció una clasificación de las inclusiones fluidas a partir de las fases observables a temperatura ambiente, las cuales están relacionadas con la génesis de las inclusiones:

Tipo I: Son inclusiones líquidas con una pequeña burbuja en fase de vapor, sin minerales hijos, formadas a partir de un fluido acuoso con <26% en peso de NaCl (subsaturado). Al momento de calentarlas homogenizan a líquido.

Tipo II: Están en fase líquida con una burbuja de vapor grande, sin minerales hijos, son formadas por un fluido original rico en vapor. Al momento de calentarlas la burbuja se expande y homogenizan a vapor.

Tipo III: Llamadas polifásicas (líquido + vapor + sólidos), contienen uno o más minerales hijos y se forman a partir de un fluido acuoso saturado, con >26% de NaCl. Contienen fases sólidas como halita o silvita a temperatura ambiente. Se derivan dos subtipos:

Fluido subsaturado al atrapamiento: Al calentarlas desaparece primero el cristal de NaCl y luego la burbuja.

Fluido saturado al atrapamiento: Al calentarlas desaparece primero la burbuja y luego el cristal de NaCl.

Tipo IV: Conformada por dos líquidos y minerales hijos; son inclusiones con CO₂ las cuales presentan doble burbuja, porque contienen mucha agua y líquido rico en CO₂ y un gas rico en vapor + CO₂. También contienen fases sólidas.

Tipo V: Tienen CO₂ líquido con vapor, sin minerales hijos. Tienen agua líquida, CO₂ líquido y una burbuja pequeña de vapor. Pertenecen a un fluido subsaturado en sales y rico en CO₂.

4.1.2. Inclusiones fluidas en yacimientos hidrotermales

En este tipo de yacimientos las inclusiones primarias son muy abundantes, ricas en líquido y en algunas ocasiones presentan inclusiones ricas en vapor (atrapamiento heterogéneo, resultado de una ebullición). Las temperaturas de homogenización

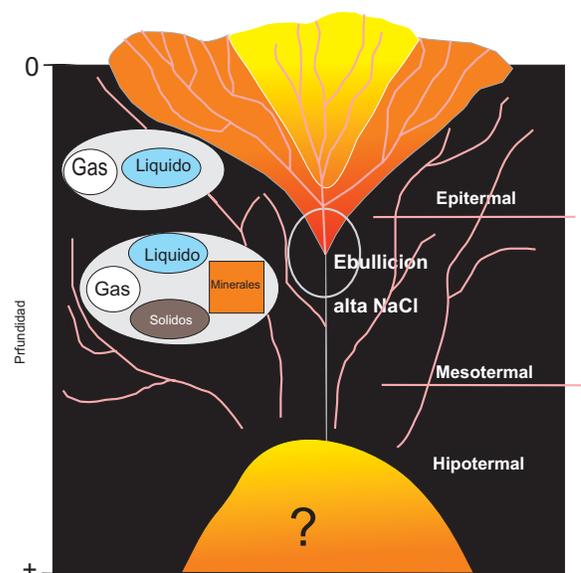


Figura 4.3. Inclusiones fluidas en yacimientos

suelen ser $<300^{\circ}\text{C}$ y las salinidades variables $<12\%$ NaCl (Fig. 4.3).

En los yacimientos epitermales, podemos encontrar inclusiones bifásicas de gas y líquido, en cambio en la parte mesotermal podemos encontrar inclusiones con composiciones variables de sólidos, líquidos y gases, con algunos sólidos atrapados.

4.1.3 Equipo y condiciones de análisis

Las láminas para inclusiones fluidas se realizaron en el Centro de Geociencias, campus Juriquilla de la UNAM y se midieron en un equipo Linkam THMS 600, cuya calibración muestra una precisión en las medidas de $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ en ensayos de baja temperatura y de $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ en ensayos de alta

temperatura. La microtermometría de inclusiones fluidas es una técnica que se basa en medir las temperaturas a las que se producen los cambios de fase en las inclusiones cuando éstas se someten a un aumento de la temperatura que va del rango de -180°C hasta 600°C . Las láminas de inclusiones fluidas deben tener un espesor máximo de 3mm, con esto se puede observar fácilmente la fusión de un líquido solidificado previamente, en fusión de fases sólidas (sales, hidratos, etc.) y la homogeneización de los sistemas gas-líquido a una sola fase, gaseosa o líquida. El contenido de la inclusión y las condiciones termobarométricas son función de la temperatura a la que se llevan a cabo los cambios de fase. Para el estudio de inclusiones fluidas se requiere de un equipo microtermométrico, el cual consta de las siguientes partes (Fig. 4.4):

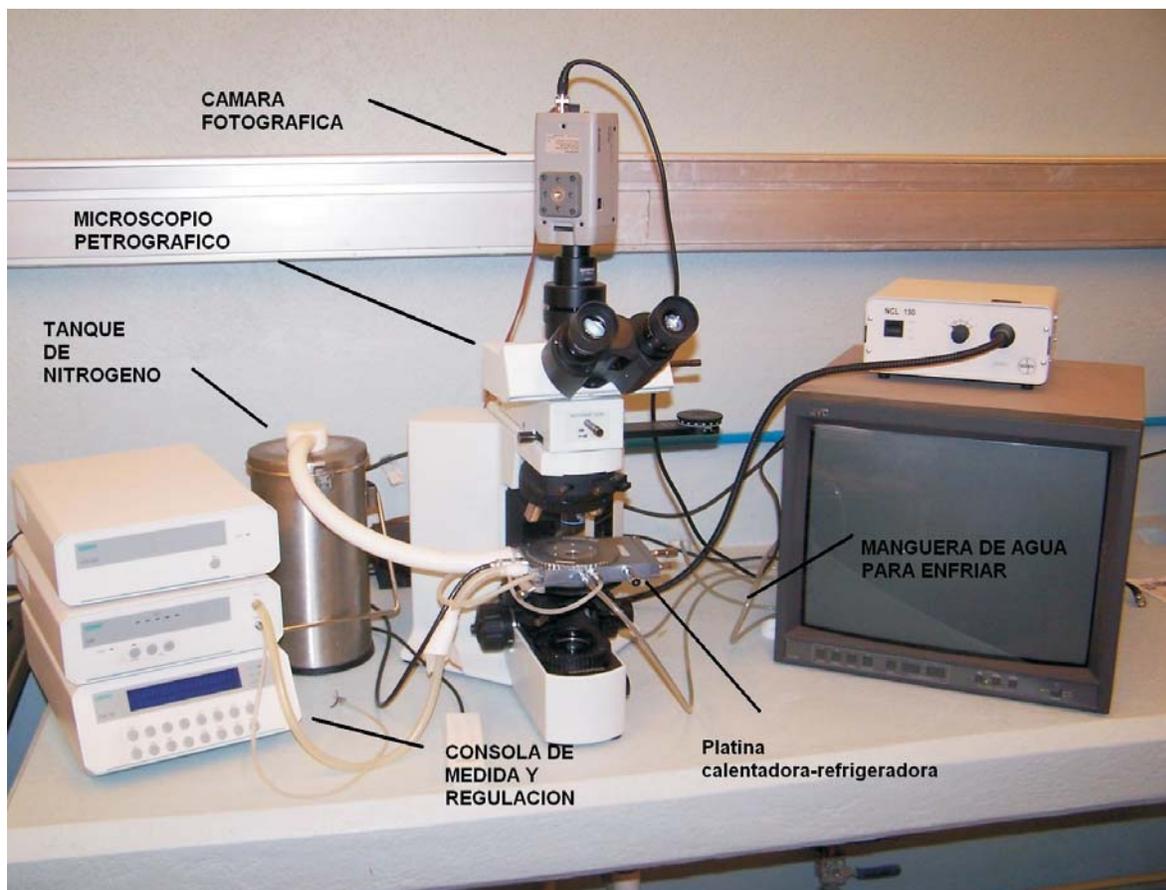


Figura 4.4 Equipo para la medición de inclusiones fluidas y sus partes (Centro de Geociencias, UNAM).

Platina calentadora-refrigeradora.
Consola de medida y regulación.
Microscopio petrográfico.
Televisión.
Tanque de nitrógeno.

La platina se instala sobre la del microscopio petrográfico. Sin mover la muestra y con la misma instalación, se puede conseguir un rango de temperaturas entre -180°C y 600°C .

Las variaciones de temperatura son controladas automática o manualmente con la ayuda de un dispositivo de medida y regulación electrónico. En el interior de la platina se encuentra un sensor de platino conectado al regulador que mide instantánea y continuamente la temperatura de la muestra. Ésta aparece en un tablero digital.

La platina dispone de dos componentes ópticos importantes: el filtro de rayos infrarrojos y las dos lentes condensadoras. El primero evita el calentamiento que la fuente luminosa puede producir sobre la muestra, mientras que las segundas mejoran la visión al aumentar el contraste entre las inclusiones y el mineral que las alberga.

El calentamiento ($+25^{\circ}\text{C}$ a 600°C) se lleva a cabo por medio de una resistencia eléctrica incorporada a la platina, controlándose la temperatura con un reóstato situado en la consola. La muestra está aislada de la atmósfera por una cubierta metálica y una lente de silicio pulida u otro material, la cual encierra una cámara con gradientes de temperatura verticales y horizontales mínimos. Para que el objetivo no se caliente con el calor desprendido de la cámara, se le puede insertar un serpentín de refrigeración por el que pasa una corriente de agua. Es necesario un calentamiento lento para que no se produzcan equilibrios metaestables en el interior de las inclusiones. El enfriamiento inicial va de 25°C a -192°C , y se provoca por una circulación de nitrógeno-gas proveniente de un recipiente lleno de nitrógeno líquido (-192°C), en el cual se introduce una resistencia eléctrica controlada por un autotransformador de regulación continua.

La muestra y el objetivo están aislados de la atmósfera por la cubierta metálica y un tubo de plástico que enlaza el objetivo de la platina. Para lograr un cierre hermético se coloca un aislante

plástico alrededor del objetivo, y para evitar la condensación del agua sobre la preparación se ponen varios granos de gel de sílice a su alrededor.

4.2. Petrografía y Minerografía

Se mandaron hacer láminas delgadas pulidas sin cubre objetos, tanto para análisis de petrografía como de minerografía, asimismo se elaboraron briquetas en 19 muestras tomadas de la zona de San Francisco Jayacaxtepec. Se utilizó un microscopio Carl Zeiss bimodal modelo Axioplan 2 Imaging con los siguientes objetivos: $20\times/0.50\text{pd}$, $40\times/0.85\text{pd}$, $50\times/0.80\text{pd}$, $100\times/1.25\text{ oil}$, $2.5\times/0.075\text{ pd}$, $10\times/0.30\text{pd}$, el cual nos permitió hacer el análisis de las láminas delgadas tanto con luz transmitida como reflejada en el Instituto de Geofísica de la UNAM (Fig. 4.5).

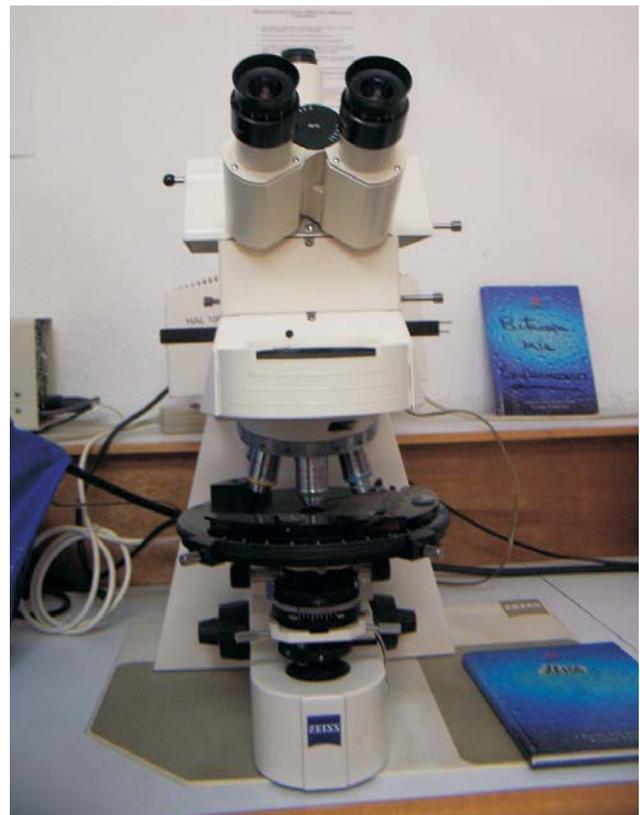


Fig. 4.5. Microscopio petrográfico-minerográfico Carl Zeiss Instituto de Geofísica, UNAM).

Para las fotografías de los minerales en distintos aumentos, se utilizó una cámara digital Sony Exwave Had, modelo 55C-DC54A, la cual permitió fotografiar las láminas delgadas en los dos tipos de iluminación.

4.3. Microscopía Electrónica

Este método se utilizó como un apoyo para la identificación de minerales posterior a la petrografía y minerografía, ya que en algunas ocasiones los minerales eran difíciles de identificar por el tamaño de grano del mineral, etc.

El microscopio electrónico que se utilizó es de gabinete modelo TABLE TOP TM-1000 marca

Hitachi con espectrómetro de energía dispersada de rayos X (EDS) por sus siglas en inglés, en el Instituto de Geofísica de la UNAM, para la observación de las fases que componen las muestras y análisis semicuantitativo de la composición química de las mismas (fig. 4.6). Este microscopio nos proporcionó muchas ventajas, como la facilidad de analizar muestras tanto en láminas delgadas como en fragmentos separados de muestras de mano.

El análisis es muy rápido, en este caso el tiempo de adquisición fue de 45 segundos por cada punto de interés, lo que permitió una fácil identificación de los minerales gracias al EDS.

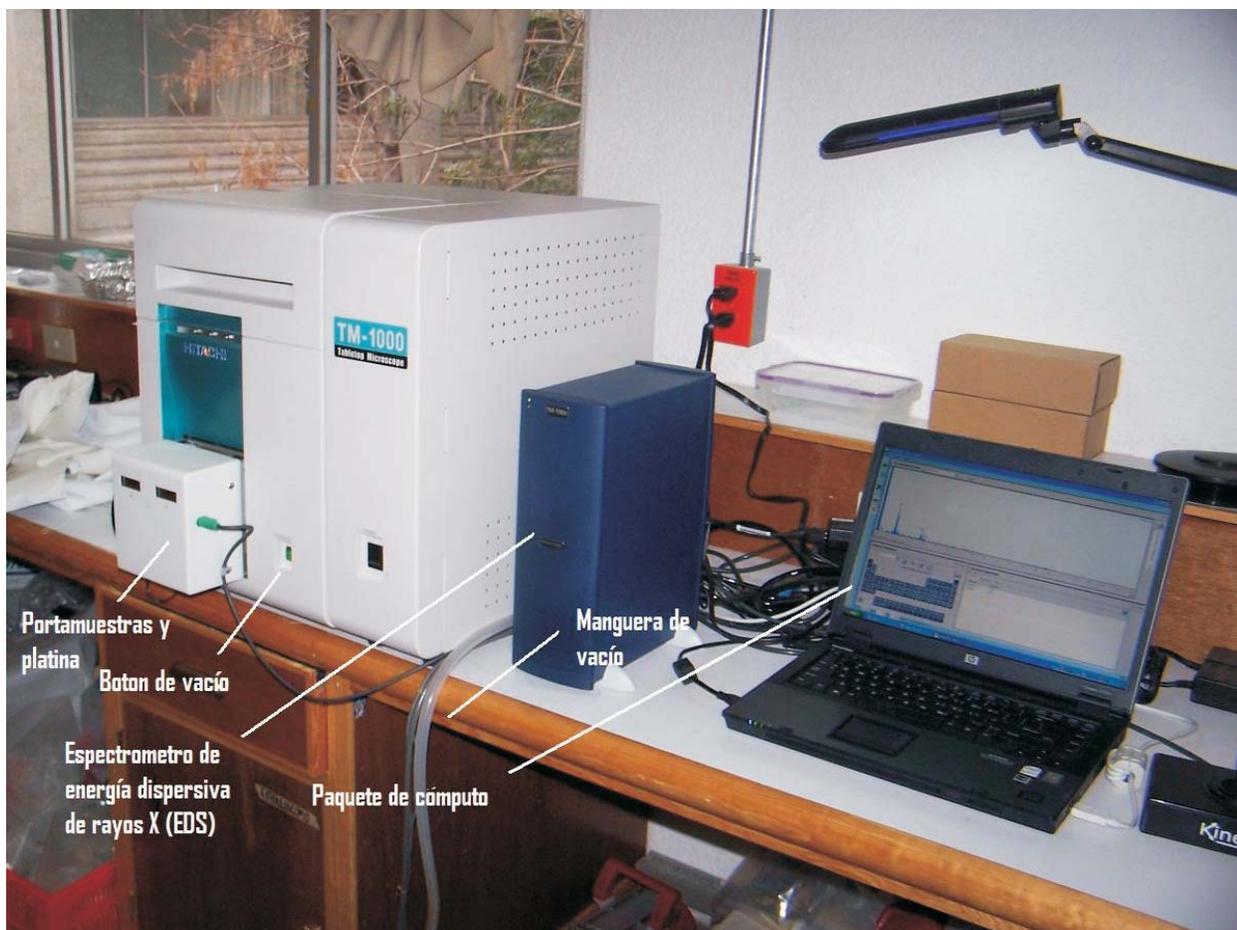


Fig. 4.6. Microscopio electrónico de barrido (Departamento de Recursos Naturales, Instituto de Geofísica, UNAM).

El EDS permite realizar una medición puntual, dándonos una composición semicuantitativa de la abundancia de los elementos de la muestra.

Ya con los porcentajes aproximados obtenidos, se buscó en la páginas de Internet www.mindat.com, www.webmineral.com y en el libro de Atlas de Asociaciones Minerales en Lámina Delgada (Melgarejo, 1997), a qué mineral correspondía cada análisis.

4.4. Difracción de rayos X

4.4.1. Introducción al método

Debido a la dificultad para determinar la mineralogía por medio de petrografía y minerografía, fue necesario recurrir al análisis de 5 muestras por difracción de rayos X (DRX), en el Instituto de Geología de la UNAM.

La DRX permite medir las distancias interplanares “d” de cada mineral, lo que nos permite en buena medida identificar el mineral y conocer su estructura cristalina.

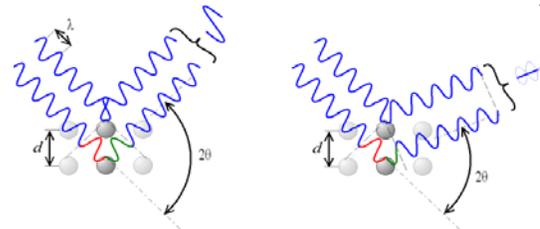
Los métodos de difracción incluyen la técnica de monocristal y el método del polvo, el cual se utilizó para la medición de las muestras. Este último consiste en que una muestra pulverizada es irradiada por un fino haz de rayos X monocromático, con un ángulo de incidencia que varía progresivamente en un rango típicamente de 2θ de 4° a 70° y a velocidades de 2° /minuto. Este método es muy usado en mineralogía como técnica de identificación para muestras criptocristalinas, arcillosas o muy alteradas, como es el caso de nuestras muestras.

El procedimiento para la preparación de las muestras consistió en tomar la parte más representativa de la muestra, posteriormente se pulverizó por medio de un mortero de ágata reduciéndola a polvo muy fino y poniéndola con un adhesivo especial en un portaobjetos, colocándole en un goniómetro que permite la incidencia controlada de los rayos X, registrando la difracción (reflexión) de éstos cuando se cumple la ley de Bragg:

$$n\lambda = 2d \sin(\theta)$$

donde:

- n es un número entero,
- λ es la longitud de onda de los rayos X,
- d es la distancia entre los planos de la red cristalina y,
- θ es el ángulo entre los rayos incidentes y los planos de dispersión.



Cuando el ángulo de desviación es 2θ , el cambio de fase de las ondas produce interferencia

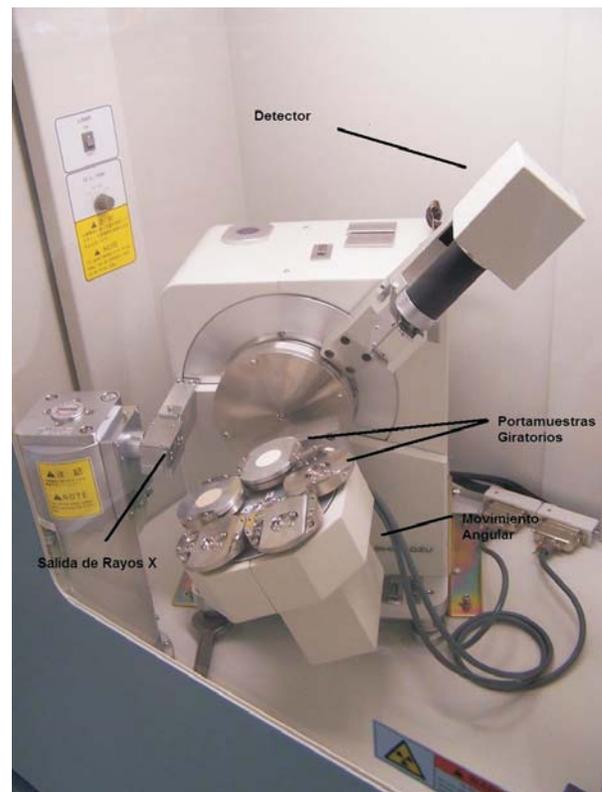


Fig. 4.7. Equipo de Difracción de Rayos X (Instituto de Geología, UNAM).



Fig. 4.8. Equipo de Difracción de Rayos X (Instituto de Geología, UNAM).

constructiva (figura izquierda) o destructiva (figura derecha) (Tomado de Wikipedia, 2008).

En la muestra las partículas minerales están orientadas al azar, y cuando el aparato gira registra todas las posibles reflexiones, a distintas posiciones angulares, correspondientes a cada plano cristalino del mineral (Fig 4.7, 4.8).

4.4.2. Metodología aplicada al presente estudio

En base a esto se hicieron análisis de DRX, los cuales fueron realizados para cuatro muestras criptocristalinas.

La DRX se llevó a cabo en un difractómetro automático Smimadzu XRD-6000, utilizando radiación Cu K α . En el caso de la muestra E14-a, la cual presentaba altos niveles de Fe, se analizó por medio del difractómetro Philips Mod. 1130/96 (generador) y PW 1050/25 (goniómetro) con registro digital de los datos, utilizando radiación Cu K α . El análisis se llevó a cabo en un portamuestras de aluminio (fracciones no orientadas), en un intervalo angular de 2θ de 4° a 70° y a velocidades de $2^\circ/\text{minuto}$. Para el caso de la muestra E14-a, se determinaron los filosilicatos que había en la muestra. Esta condición requería de una preparación como la que se describe a continuación: Una

cantidad de muestra se mezcló con agua destilada en un tubo de ensayo, posteriormente esta mezcla se agitó 30 veces girando el tubo manualmente. Posteriormente se procedió a la preparación de tres fracciones orientadas, en distintos soportes de vidrio, del material de suspensión por medio de un gotero.

1ª Fracción: Esta fracción se analizó sin tratamiento, en el intervalo angular de 4 a 70°.

2ª Fracción: A esta segunda fracción orientada se aplicó etilenglicol, el cual es una sustancia viscosa, incolora e inolora con un elevado punto de ebullición y un punto de fusión de aproximadamente -12° C. Este se utiliza como anticongelante, disolvente, etc. Este procedimiento se realiza para discriminar la presencia de esmectita, analizándose en un intervalo angular de 4 a 20°C.

3ª Fracción: Esta fracción orientada se utilizó para test de calentamiento, analizándose de igual manera que la 2ª fracción, en un intervalo angular de 4 a 20°C.

4.5. Geoquímica de roca total

4.5.1 Ensaye al fuego y plasma óptico

Para el análisis de leyes metálicas en roca total, se realizaron análisis por medio de dos métodos destructivos, ensaye al fuego y plasma óptico. Este análisis fue realizado con el fin de conocer las leyes minerales de las muestras de roca, sin embargo las especificaciones del equipo no fueron proporcionadas en las oficinas del Servicio Geológico Mexicano en Oaxaca.

4.5.2 Fluorescencia de rayos X

Se utilizó un equipo portátil EPA 6200 del Instituto de Geología (UNAM) para la determinación de las concentraciones de elementos mayores y trazas en roca total por la técnica de fluorescencia de rayos X. Para el tratamiento de las muestras se necesita moler la muestra y pasarla por un tamiz de malla 250; posteriormente la muestra se deposita en bolsas de plástico sin ningún tipo de adhesivo. Por medio del lector de rayos X



Fig. 4.9 Espectrómetro de Fluorescencia Portátil de Rayos X (FPXRF) (Instituto de Geología, UNAM).

(Fig. 4.9) ponemos la bolsa de plástico con la muestra molida para ser analizada. Las ventajas del FPXRF (Field Portable X-Ray Fluorescence Spectrometry) son muchas; la bolsa de plástico no tiene influencia sobre la lectura del equipo, además de que hay diversos tiempos de medición de la muestra; para este caso fueron 45 segundos.

Por otra parte el FPXRF tiene dos programas de medición uno que mide en base a porcentajes (elementos mayores) y el otro en partes por millón (elementos traza) de cantidad de elemento en la muestra. Cualquiera de estas modalidades tiene limitaciones. En el caso de la medición con porcentajes, el aparato es capaz de medir 31 elementos, sin embargo, para el caso de la modalidad de partes por millón, se pueden medir únicamente 17 elementos.

Hay que hacer énfasis en que el aparato es de reciente adquisición, las muestras que se han medido hasta ahora con mayor frecuencia han sido muestras de suelos y de jales. Sin embargo, para muestras

de roca, aún no se cuenta con el suficiente número de estándares que nos permitan conocer con mayor exactitud el alcance de este equipo en base a muestras mineralizadas. Por esta situación es de gran importancia hacer notar que según la experiencia de medición con este equipo se han presentando dificultades de análisis. En algunas ocasiones, el aparato tiene confusiones de un elemento con otro, y otros no los puede medir con mucha precisión y confiabilidad. En base a esto se han considerado los siguientes elementos como los más confiables: para el caso de la modalidad de partes por millón el Zr, Sr, Pb, As, Zn, Cu, Ni y Co. En el caso de la modalidad en porcentaje tenemos una buena lectura para los elementos Fe, Mn, Sb, Cd, Ti, K y S.



Dr . Carles Canet

V.- RESULTADOS

En este capítulo se describen los resultados obtenidos de todos los estudios mencionados en el capítulo de metodología.

5.1. Estructura del depósito

Morfología del Yacimiento

El cuerpo mineralizado de Santiago Zacatepec se infiere que tiene una extensión de hasta 1 Km, con espesores promedio de 5 m, el cual presenta una capa de alteración considerable. Para la zona de San Francisco Jayacaxtepec, se muestran zonas con vetillas y estructuras de mineralización a lo largo de 1.5 km, sin embargo, es necesaria una exploración geofísica (polarización inducida) para

sustentar una campaña de barrenación para precisar la longitud y potencia de cada mineralización. En la figura 5.1 se pueden apreciar los afloramientos de calizas localizados de forma aislada en contacto con la granodiorita, así como la disposición de los calcosilicatos en forma de aureola, envolviendo al intrusivo. El intrusivo granodiorítico se extiende hacia el poblado de San Francisco Jayacaxtepec. Las calizas de estos afloramientos no presentan estratificación.

La estructura de los yacimientos se pudo inferir gracias a la información colectada en los socavones de San Pedro en Zacatepec y en el corte de carretera de San Francisco Jayacaxtepec. Con toda esta información se realizó una sección geológica representada en la figura 5.2.

Las rocas encajonantes consisten en secuencias de carbonatos del Mesozoico, en contacto con una intrusión de un batolito del Terciario, asociado al cual se encuentra un sistema de diques que afloran

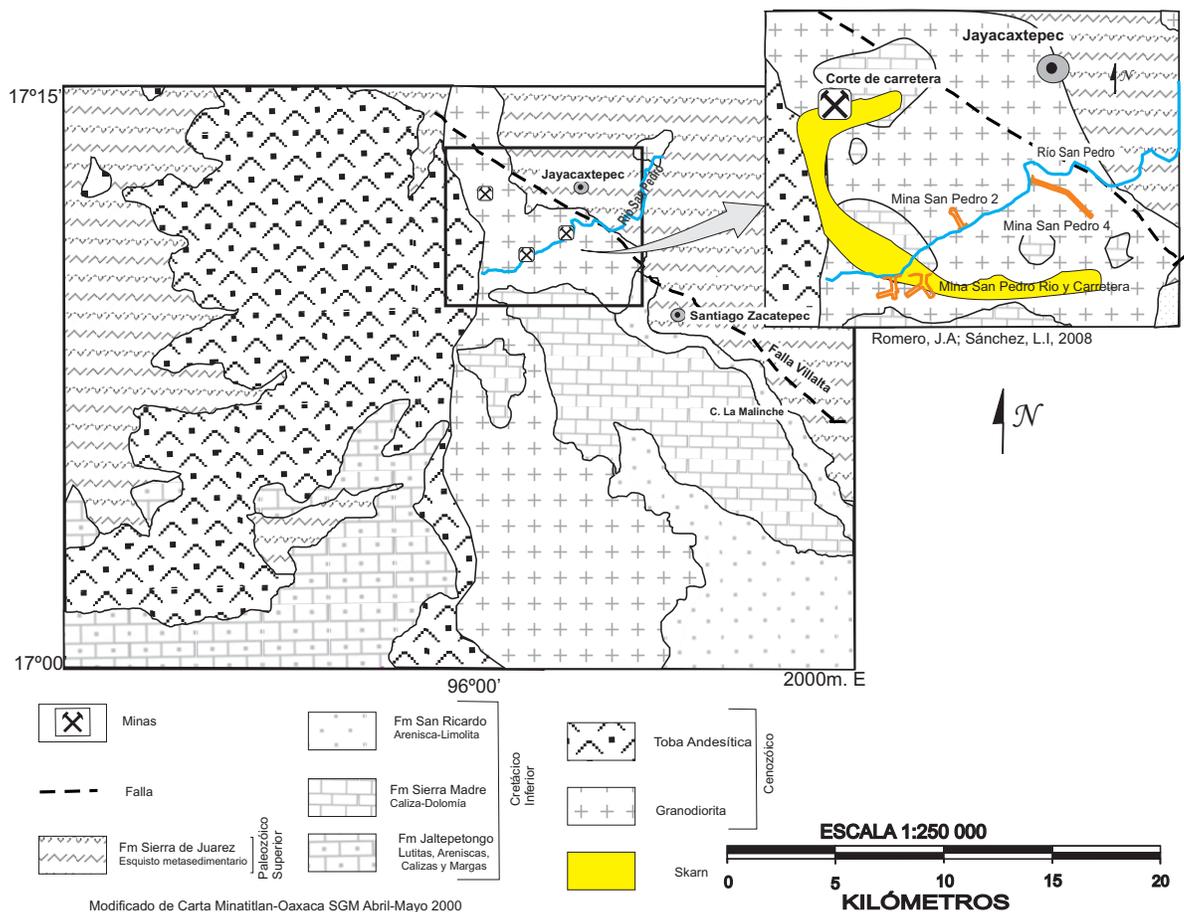


Fig. 5.1. Mapa geológico esquemático. Se muestra en el recuadro (superior, derecha), la disposición de los indicios mineralizados y obras mineras abandonadas.

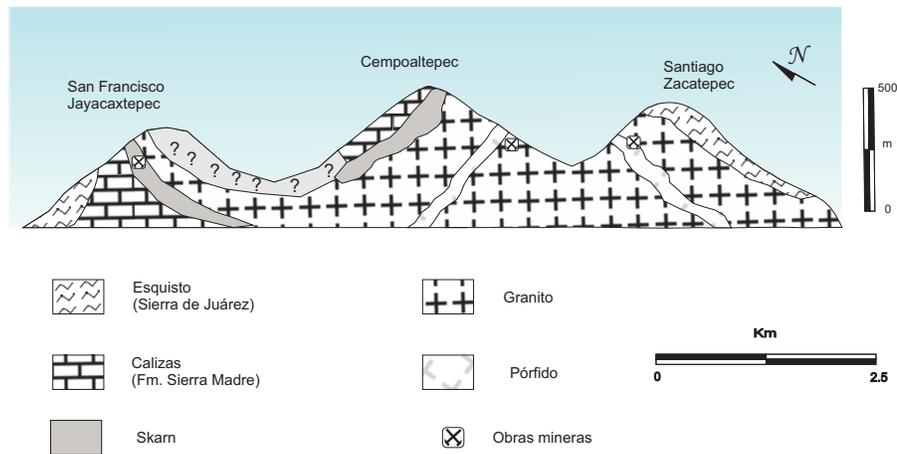


Fig. 5.2. Sección Geológica esquemática (escalas aproximadas).

tanto en Santiago Zacatepec como en San Francisco Jayacaxtepec. A escala de afloramiento la mineralización consiste en cuerpos de pocos metros de espesor, que se encuentran entre los planos de falla y en mayor medida en el contacto de los carbonatos con las rocas magmáticas. La mineralización consiste en un sistema polimetálico, en el cual los sulfuros de Pb-Zn son los más importantes (con un 30 a 70 % modal), enriquecidos con cobre y plata. Localmente se encuentran valores importantes de Cu-Ag, aunado a trazas de tungsteno, principalmente detectadas en las zonas de oxidación.

La zona mineralizada es rica en calcosilicatos, que presentan los siguientes minerales: epidota, clorita, granate cálcico, cuarzo y piroxeno cálcico, el cual en algunas muestras se observa totalmente reemplazado y alterado. Las menas metálicas forman cristales de tamaño variable, desde 0.1 hasta 0.8 mm, de esfalerita (50%), pirita (20%), galena (10%), calcopirita (5%) y hematitas (5%). También se pudo determinar la presencia de sulfosales de Ag, Bi y Pb como la matildita. Por otro lado se encontró bismuto nativo, además de wolframatos como la schelita y stolzita y silicatos de Ti como la titanita. Como alteraciones supergénicas se encontró una asociación de: goethita, azurita, auricalcita, malaquita, hemimorfita y cerusita.

Mina San Pedro Carretera

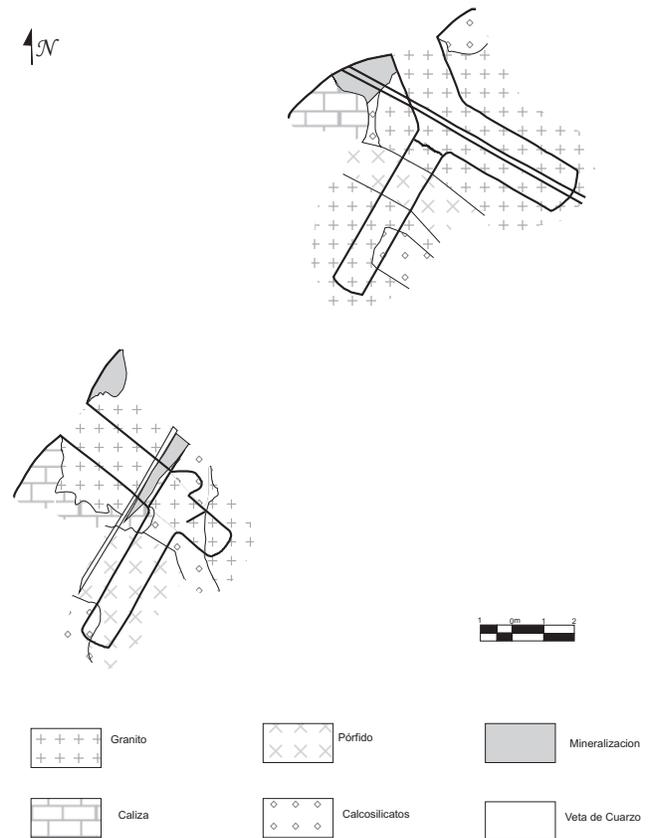


Fig. 5.3. Mapa geológico de mina de los socavones de

Mina San Pedro "2"

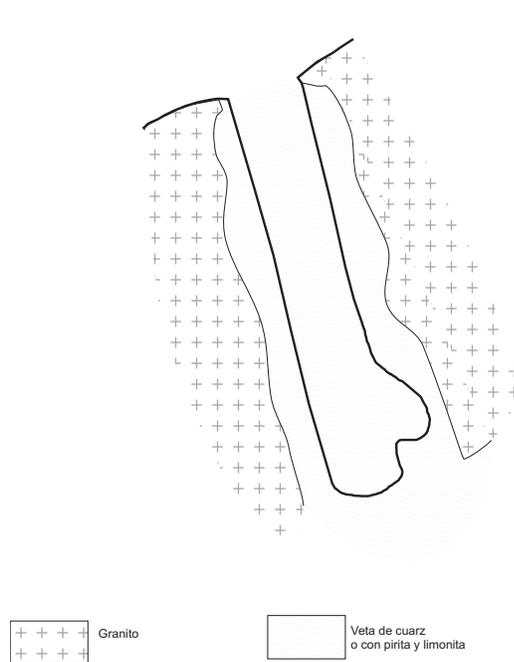


Fig. 5.4. Esquema del Socavon Mina San Pedro 2

Se localiza en las coordenadas $96^{\circ}06'W$, $17^{\circ}10'N$ (Fig. 5.3); según la conformación de su desarrollo, ésta forma una Y, con dimensiones de 17 m de longitud por 3 m de ancho, con dos ramales, el principal y más largo con rumbo $210^{\circ}N$ y el otro con rumbo de $120^{\circ}N$. En esta obra minera se puede encontrar un cuerpo intrusivo con feldespatos rosas alterados (endoskarn), cortado por un dique de pórfido granítico de cinco metros de espesor y un rumbo de $300^{\circ}N$. Se puede apreciar una veta tardía de cuarzo con galena y un rumbo de $120^{\circ}N$, que es paralela al ramal principal de la excavación. Se presenta, además, una roca verde calcosilicatada en el contacto entre las calizas y en granito. Ésta contiene esfalerita con granates cálcicos en la entrada de la mina, por lo que pudo haber dado la pauta para el inicio de los trabajos de exploración con obra directa.

Mina San Pedro Rio

Se encuentra muy cercana a la Mina San Pedro Carretera. La forma de este socavón es también de Y, con 18 m de profundidad por 2.5 m de altura y 4 m de ancho. Tiene una parte recta de 12 m con rumbo $130^{\circ}N$ y un ramal a los 8 m con dirección $210^{\circ}N$

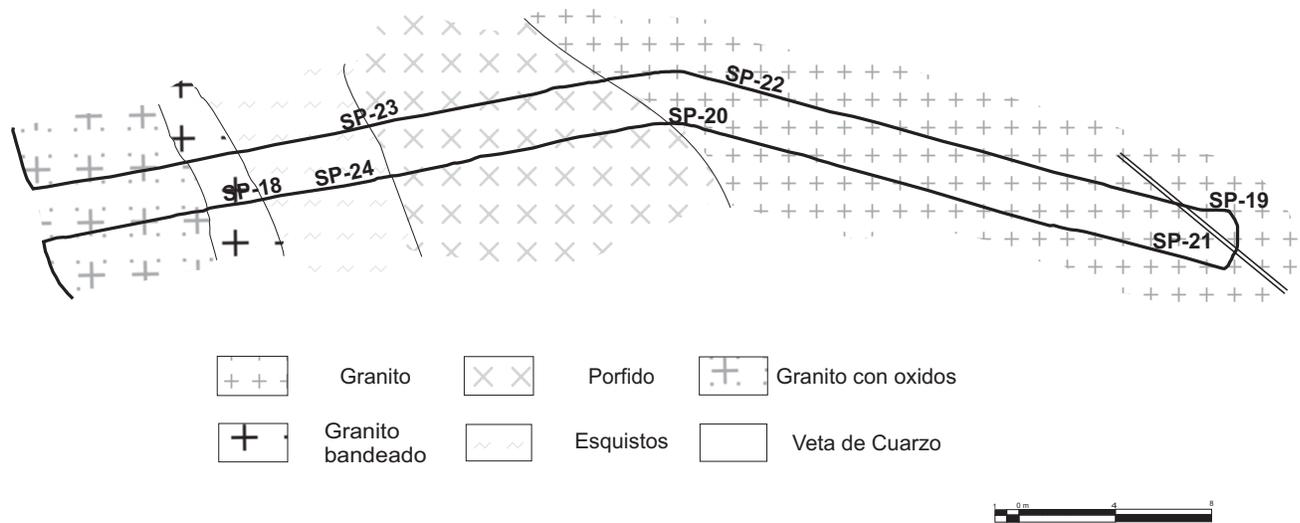


Fig. 5.5 Mapa geológico del socavón San Pedro 4

(Fig. 5.3). En el interior de este socavón es posible encontrar un cuerpo granítico, afectado por una falla que se muestra en la bifurcación, con rumbo de 210° N. Paralela a esta falla se observa una veta de cuarzo. Este socavón permitió muestrear el skarn proximal, porque expone el contacto del intrusivo con los carbonatos y los calcosilicatos asociados con la mineralización metálica.

Mina San Pedro 2

Este socavón de rumbo N-S, con coordenadas 96°07'W, 17°10'N y dimensiones de 12 m de largo y 2 m de ancho, presenta cuarzo “vuggy” asociado con abundante pirita diseminada observable en todas las paredes del socavón; ésta se encuentra parcialmente alterada a limonita (Fig. 5.4.). En este socavón no se observan más minerales metálicos que la pirita, motivo por el cual seguramente fue abandonada para el posterior inicio de la excavación del cuarto socavón.

Mina San Pedro 4 (Sp4)

Este socavón se ubica en las coordenadas 96°08'W, 17°11'N y es el más grande de todos; tiene una longitud de 58 m por 3 m de ancho, con un rumbo de 260° N (Fig. 5.5). Aún conserva los rieles con un carrito minero pero está inundada. Este socavón está excavado principalmente en granito, el cual es cortado por un dique de pórfido paralelo al rumbo de socavón con un espesor de 4.4 m. Una característica especial es que se encontraron rocas metasedimentarias bandeadas por intercalaciones de cuarzo y pelíticos.

En el frente del socavon se encuentra un sistema de vetas de cuarzo con un rumbo de 310° N de pocos centímetros de espesor, que cortan al granito pero sin afectar al pórfido.

San Francisco Jayacaxtepec Carretera

En San Francisco Jayacaxtepec es posible observar una serie de diques de 2 a 4 m de

Tabla 5.1. Secuencia paragénética de los skarns de Zacatepec.

	Skarn		Vetas	Alteración supergénica
	Progradante	Retrogrado		
Diopsido-hedenbergita				
Grosularia-andradita				
Apatito				
Vesuvianita				
Scheelita				
Hematites				
Titanita				
Epidota				
Pirita				
Esfalerita				
Calcopirita				
Galena				
Bismuto				
Matildita				
Cuarzo				
Calcita				
Clorita				
Sericita				
Hemimorfita				
Stolzita				
Covelita				
Coronadita				
Auricalcita				
Malaquita				
Azurita				
Cerusita				
Goethita				

espesor que cortan a los carbonatos de igual forma que en Santiago Zacatepec. En esta zona es donde se obtuvieron los valores mas altos de elementos económicos, como la plata y el cobre, además de que los espesores de los sulfuros son los mayores, lo que la hace más atractiva, tanto mineralógica como económicamente.

Por otra parte, se encontró una aureola de metamorfismo en el contacto del intrusivo con las calizas, dando lugar al mármol, el cual presentó sulfuros diseminados (esfalerita, pirita, calcopirita, galena) y vesubianita, por lo que es posible asegurar la existencia de una zona de skarn.

En la figura 5.6 se observa el corte de carretera de San Francisco Jayacaxtepec, en el cual afloran las siguientes litologías: granito, pórfido dolerítico, calizas, mármoles, calcosilicatos y zona de meteorización.

En general el skarn muestra escaso desarrollo de alteraciones supergénicas, además de que hubo una explotación muy incipiente, lo que permite encontrar el skarn casi intacto. Esta condición es poco común en los skarns, por lo que es muy interesante para su estudio. Cabe mencionar que los sulfuros están expuestos en varios afloramientos a lo largo de la carretera.

5.2. Secuencia paragenética

La mineralización de los skarns Zacatepec fue causada por una serie de eventos pirometasmáticos con actividad hidrotermal consecuente relacionados con un evento magmático. A partir de las relaciones texturales entre los minerales, tanto observadas macroscópicamente y a nivel de afloramiento como a escala microscópica, se identificaron cuatro etapas: primero fue posible identificar la sedimentación de la secuencia de carbonatos-pelíticos en la Cuenca Cuicateca, dando lugar a las formaciones Sierra Madre y San Ricardo. Posteriormente ocurrió una intrusión que afectó a la secuencia de carbonatos y pelíticos, generando un intercambio de fluidos, que ocasionó la formación de la mineralización y los mármoles. Posteriormente tuvo lugar un evento de alteración supergénica y finalmente la erosión parcial del cuerpo.

La mineralización metálica ocurrió encajonada en rocas de la secuencia de carbonatos del Cretácico Superior, debido a un evento epigenético metasomático que formó una secuencia compleja de asociaciones minerales y que se puede dividir en tres etapas: la primera es la etapa progradante, seguida de la fase

retrógrada y finalmente la depositación en vetas. Durante la fase progradante se formaron principalmente piroxeno cálcico y granate cálcico proximalmente con respecto al contacto.

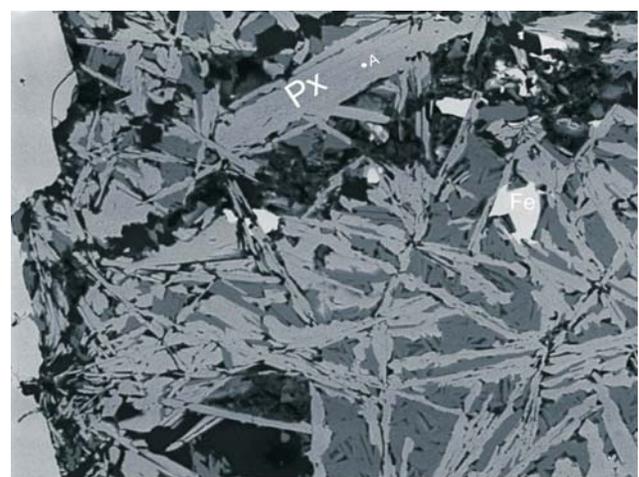
Durante la fase retrógrada se formaron silicatos hidratados (principalmente epidota y clorita), acompañados por sulfuros y cuarzo. Estas asociaciones aparecen principalmente en los intersticios de los cristales preexistentes de los piroxenos y pseudomorfizando a los granates, también se presentan rellenando cavidades y en fracturas, junto con la presencia de sulfosales y wolframatos (scheelita) y la alteración de ilmenita a titanita que se llama leucoxeno. La última fase hidrotermal produce vetas con cuarzo “vuggy” y carbonatos, acompañados de clorita, las cuales cortan todas las asociaciones minerales anteriores.

Por último, las asociaciones supergénicas consisten en carbonatos de Cu como la malaquita, azurita y auricalcita, carbonatos de Pb como la cerusita, alteraciones de Zn como la hemimorfita, aparte de oxihidróxidos como la goethita que se encuentra localmente. Por otra parte se tiene también la alteración de la scheelita: la stolzita.

5.3. Asociaciones Minerales

a) Piroxenos cálcicos

En las muestras colectadas se encontraron cristales de piroxenos de la serie diópsida ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ -hedenbergita $\text{CaFe}^{++}\text{Si}_2\text{O}_6$), con



TM-1000_0076

2008/07/24

19:52

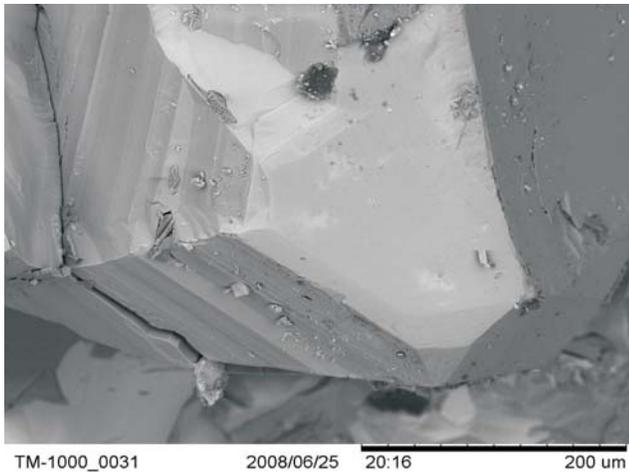
L

100 um

contenidos de Mg del 11 al 26% en peso de MgO y trazas de Mn presentan tamaños y texturas variados, desde 50 μm hasta 6 mm, y desde euedrales con la sección tipo, hasta cristales pseudomorfos totalmente reemplazados por cuarzo, calcita y sulfuros, principalmente esfalerita, pirita o galena. Muestran fracturas rellenas de calcita y cuarzo, y pátinas de alteración de limonita.

b) Granates cálcicos

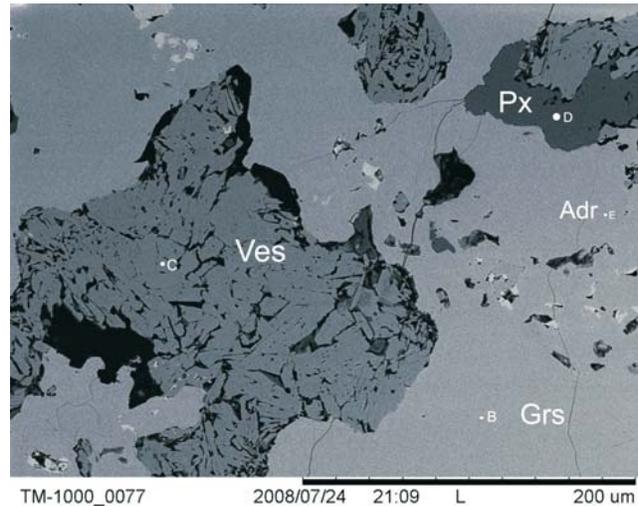
Para el caso de los granates, éstos se encuentran en texturas y tamaños variados, en cristales euedrales que presentan zonación concéntrica, fracturados y parcialmente reemplazados por calcita, cuarzo, sulfuros y clorita, con tamaños de 25 μm a 5 mm. Su composición química es variada, ya que en análisis semi-cuantitativos resultó que predomina el componente grosularia $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ pero que en parte están enriquecidos en andradita $\text{Ca}_3\text{Fe}^{+++}_2(\text{SiO}_4)_3$.



c) Epidota

La epidota $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{+++}, \text{Al})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$ es uno de los minerales más comunes, y se encuentra en microcristales asociados con clorita, dándole a las rocas una coloración verde, con cuarzo y calcita y, en menor proporción, granates, esfalerita, pirita,

calcopirita y galena. La epidota es microcristalina, con tamaños máximos de 5 a 10 μm .

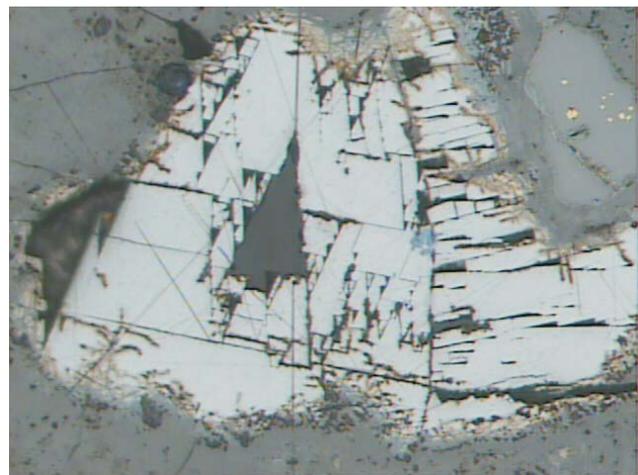


d) Menas Metálicas

La esfalerita $(\text{Fe}, \text{Zn})\text{S}$ es el sulfuro más común en la mineralización, la encontramos asociada a granate y cuarzo, y reemplazando a la pirita, con tamaños desde 25 μm hasta 5 mm. Estos cristales de esfalerita son muy ricos en Zn y pobres de Fe.

La pirita es el segundo sulfuro en abundancia y se observa con una variedad de texturas y tamaños desde 25 μm hasta 4 mm, Principalmente de forma euedral, pero también con engolfamientos rellenos de calcita, cuarzo o esfalerita, fracturada y alterada a limonita.

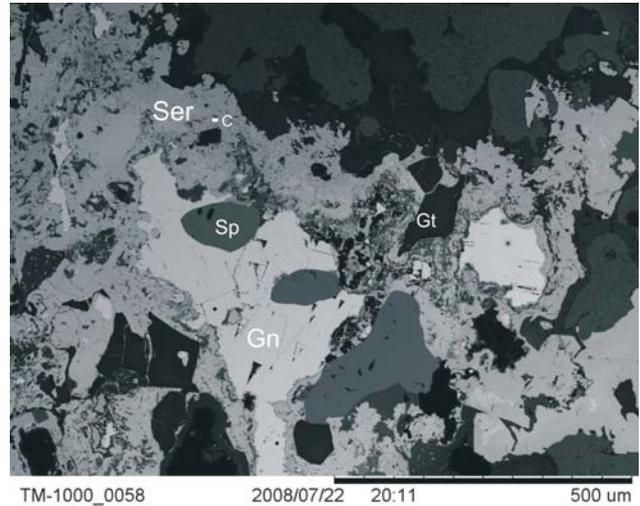
Encontramos lo que comúnmente se llama “enfermedad de la esfalerita”, donde la calcopirita (CuFeS_2) aparece como pequeñas inclusiones o blebs en una matriz de esfalerita.



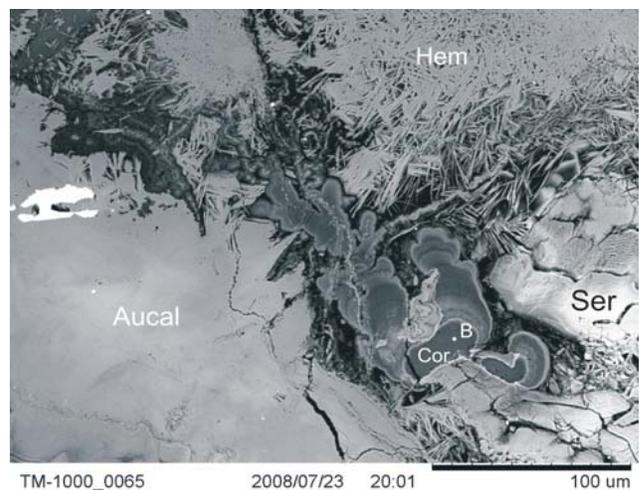
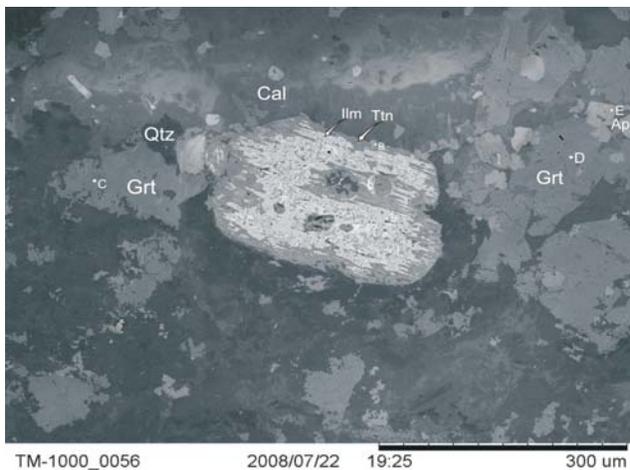
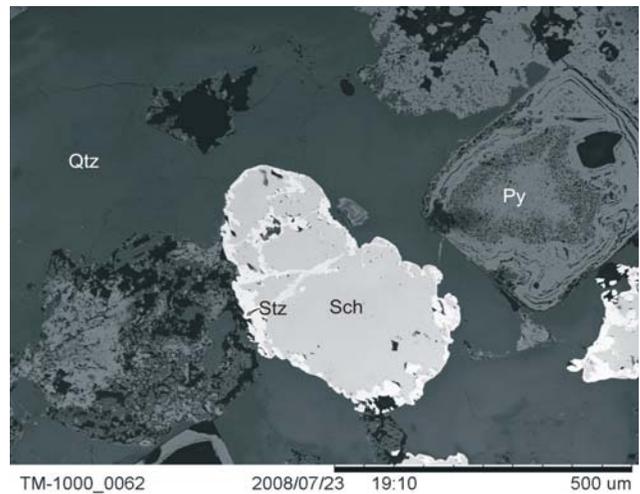
Resultados

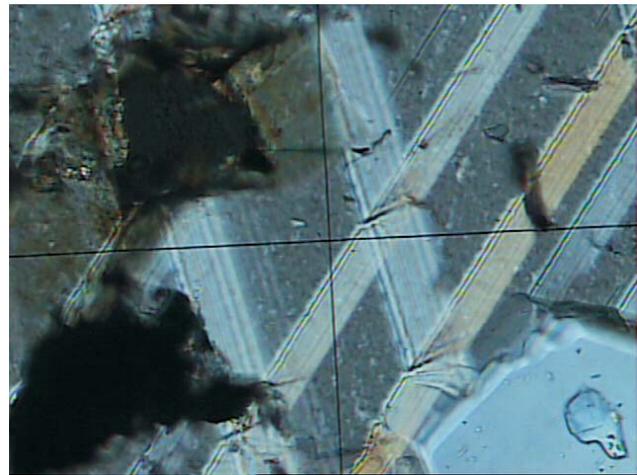
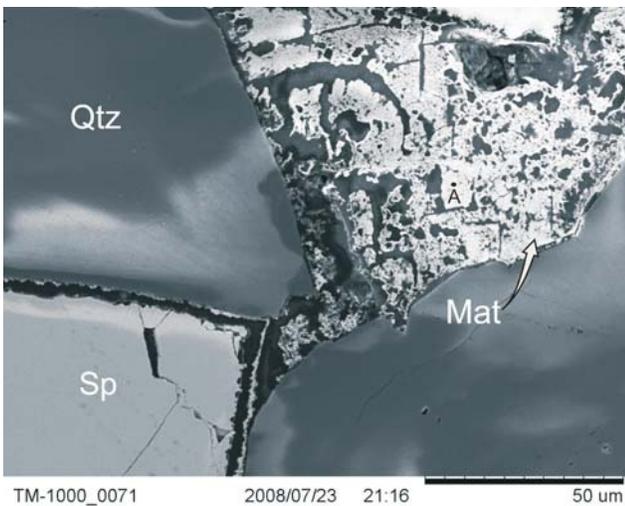
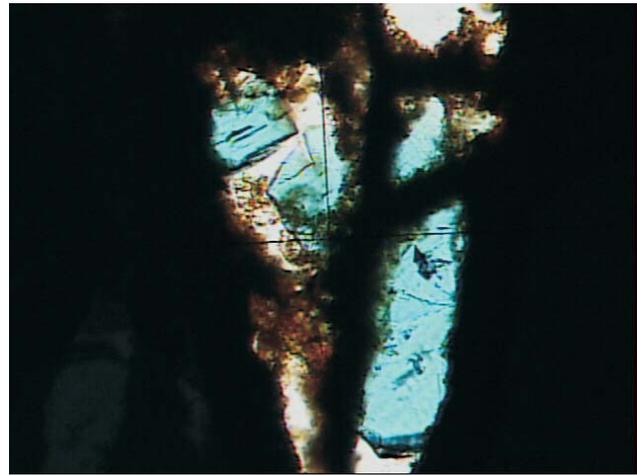
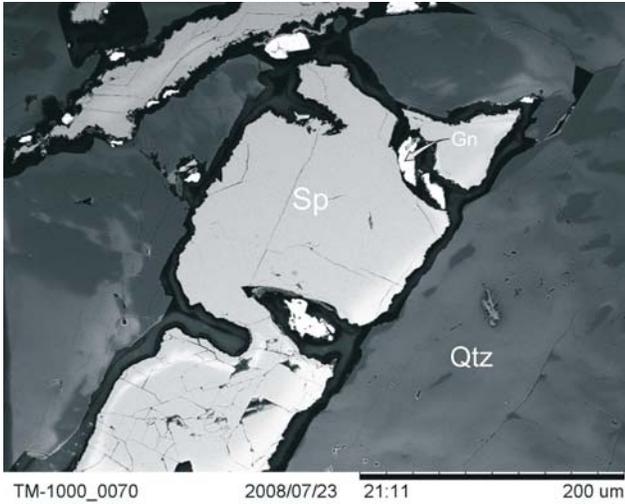
La calcopirita ocurre en menor proporción asociada con la pirita, y alterada a carbonatos de Cu como la malaquita $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$ y la azurita $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$.

La galena PbS es el sulfuro menos abundante pero uno de los más importantes, ya que parte de ellas son galenas argentíferas. se presenta en forma eudral mostrando sus "pits" y en forma anedral alterada, con tamaños de 50 μm a 2 mm.



Asociados con la galena existen sulfosales, como la matildita AgBiS_2 , se localiza en vetillas, que rellenan intersticios en asociación con bismuto nativo, esfalerita y cuarzo. Además, se encuentran wolframatos (scheelita CaWO_4), en forma anedral con alteración a stolzita (PbWO_4), y silicatos de Ti (titanita CaTiSiO_5), se localiza alterando a la ilmenita (leucoxeno), con tamaños de 5 μm a 2 mm.





f) Carbonatos

Los carbonatos que existen en la zona de estudio son principalmente dos: la principal es una calcita recrystalizada que se encuentra en la mayoría de las rocas con una variedad de texturas y tamaños desde 100 μm hasta 10 mm, mientras que la otra clase es calcita que rellena fracturas. Estos carbonatos se asocian con cuarzo, clorita y limonita. Es importante mencionar la existencia de carbonatos de Cu (azurita y malaquita), y de plomo (cerusita) en las zonas de oxidación supergénica.

g) Cuarzo

El cuarzo se presenta desde anedral a subedral, ya sea relleno de fracturas, formando cristales en drusas, primario en el intrusivo o como cuarzo “vuggy”, con tamaños inferiores a 5mm, principalmente asociado a clorita y calcita.

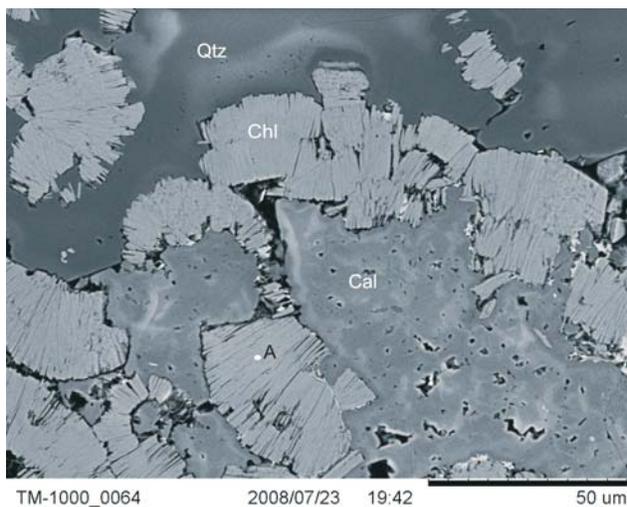
h) Filosilicatos

Existe sericita microcristalina siempre formando una capa alterando a piroxenos y feldespatos.

En las muestras ocurre clorita rica en Fe (chamosita) asociada a cuarzo, calcita y epidota. Se presenta en forma de “hojas” agregadas paralelamente al eje c en forma de “gusanos”, así como cryptocristalina.

Tabla 5.2. Difracción de Rayos X en filosilicatos.

MUESTRA	FASES IDENTIFICADAS	FÓRMULA QUÍMICA	PDF	OBSERVACIONES
E15-a	Calcita	(CaCO ₃)	[5-0586]	La calcita es el mineral mas abundante.
	Granate cálcicos	Ca ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂	[33-260]	
		Ca ₃ Fe ₂ Si ₃ O ₁₂	[10-288]	
		Ca ₁₉ Mg ₄ Al ₁₁ 0Si ₁₇ O ₆₈ (OH) ₈	[27-81]	
	Vesubianita	Ca ₁₉ Mg ₄ Al ₁₁ 0Si ₁₇ O ₆₈ (OH) ₈	[27-81]	
	Crisótilo	Mg ₃ Si ₃ O ₅ (OH) ₄	[25-0645]	
Trazas de Piroxeno	CaMg(SiO ₃) ₂	[11-654]		
E5b-Ig	Cuarzo	SiO ₂	[46-1045]	Predomina el cuarzo
	Plagioclasa	Ca ₂ Na(SiAl) ₄ O ₈	[18-1202]	
	Piroxeno cálcico	Ca(Mg,Fe)(SiO ₃) ₂	[11-654]	
	Vesubianita	Ca ₁₉ Mg ₄ Al ₁₁ 0Si ₁₇ O ₆₈ (OH) ₈	[27-81]	
	Trazas de clorita			
U5b-1	Piroxeno cálcico	Ca(Mg, Fe)(SiO ₃) ₂	[11-654]	Es probable que queden alguna/s fases minoritarias por identificar
	Vesubianita	Ca ₁₉ Mg ₄ Al ₁₁ 0Si ₁₇ O ₆₈ (OH) ₈	[27-81]	
	Granate cálcico	Ca ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂	[33-260]	
	Trazas de micas (?)	Ca ₃ Fe ₂ Si ₃ O ₁₂	[10-288]	
E14-a	Cuarzo	SiO ₂	[46-1045]	El difractograma es complejo pues coexisten muchas fases.
	Calcita	(CaCO ₃)	[5-0586]	
	Plagioclasa	Ca ₂ Na(SiAl) ₄ O ₈	[18-1202]	
	Clorita trioctáedrica	(FeAlMg) ₆ (SiAl) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	[21-1227]	
	Trazas de mica (?)			
	Hematita	Fe ₂ O ₃	[33-664]	
Muestra E14a	SIN TRATAMIENTO	ETILENGLICOL		
	~ 14.5 Å	~ 14.5 Å	~ 14.5 Å	Clorita s.l
	~ 7 Å	~ 7 Å	~ 7 Å	



5.4. Difracción de Rayos X

La difracción de rayos X permitió conocer la mineralogía de las rocas criptocristalinas, así como de rocas muy fuertemente alteradas, que incluso en petrografía y SEM resultó difícil de identificar. Como se muestra en la tabla 5.2, existen minerales propios de skarn cálcicos, tales como la vesubianita, la grosularia-andradita y los piroxenos cálcicos.

La fase retrograda está representada en los difractogramas por la clorita, esfalerita y galena. Con respecto a los filosilicatos (tabla. 5.9), podemos encontrar mayor abundancia de éstos en la muestra E14-a, la cual confirma la presencia de clorita la cual se atribuye a la fase retrogradante de la formación del skarn

Tabla 5.3. Datos de geoquímica obtenidos en el Servicio Geológico Mexicano

	6	6	8	8	8	8	8	8	8	
	Ag g/t	Au ppb	Cd ppm	Cu %	Cu ppm	Pb %	Pb ppm	Zn %	Zn ppm	
límites de detección	1 g/t	1 ppb	0.1 ppm	0.4 ppm	0.4 ppm	2 ppm	2 ppm	0.1 ppm	0.1 ppm	
clave de la muestra										Litología
Sp-03	7	4	ND	0.11	.....	.....	89	.....	148	Mineralización
Sp-04	ND	2	ND	.....	72	.....	14	.....	64	Mármol
Sp-05	3	ND	14	.....	143	.....	384	.....	688	Roca calcosilicatada
Sp-06	ND	ND	ND	.....	63	.....	16	.....	122	Roca calcosilicatada
Sp-07	ND	6	ND	.....	32	.....	22	.....	78	Roca calcosilicatada
Sp-08	ND	ND	0.8	.....	98	.....	400	.....	253	Veta de Cuarzo
Sp-09	ND	ND	ND	.....	27	.....	22	.....	110	Intrusivo
Sp-10	15	ND	4.5	.....	30	0.14	.....	.....	680	Roca calcosilicatada
Sp-12	ND	2	ND	.....	22	.....	21	.....	41	Intrusivo
Sp-13	ND	ND	5	.....	16	.....	17	0.13	.....	Roca calcosilicatada
Sp-16	ND	ND	1.4	.....	22	.....	25	.....	134	Intrusivo
Sp-16 dpl	ND	ND	1.1	.....	20	.....	22	.....	131	Intrusivo
Sp18	ND	ND	ND	.....	27	.....	7	.....	79	Roca metasedimentaria
Sp19	5	12	14	.....	166	.....	202	.....	669	Veta de Cuarzo
Sp20	ND	ND	ND	.....	17	.....	9	.....	39	Intrusivo
Sp21	ND	2	ND	.....	33	.....	ND	.....	52	Intrusivo
Sp22	ND	4	ND	.....	16	.....	8	.....	40	Intrusivo
Sp23	ND	ND	ND	.....	36	.....	18	.....	90	Intrusivo
Sp24	ND	ND	ND	.....	59	.....	22	.....	82	Intrusivo
Syx-22-Dpl	ND	ND	ND	.....	55	.....	54	.....	131	Intrusivo
Syx-01	ND	ND	0.3	.....	9	.....	30	.....	80	Mineralización
Syx-02	ND	ND	2	.....	7	.....	220	.....	273	Intrusivo
Syx-03	ND	ND	0.3	.....	28	.....	39	.....	166	Intrusivo
Syx-04	ND	2	7	.....	76	.....	885	0.1	.....	Mármol
Syx-13	3	ND	8	.....	394	0.15	.....	0.12	.....	Mármol
Syx-16	ND	ND	3	.....	14	.....	179	.....	72	Caliza
Syx-17	595	21	110	29.5	.....	9.94	.....	3.27	.....	Mineralización
Syx-19	4	ND	0.4	0.2	.....	.....	679	.....	470	Intrusivo
Syx-20	ND	3	ND	.....	96	.....	46	.....	56	Intrusivo
Syx-22	ND	ND	ND	.....	51	.....	57	.....	137	Intrusivo
Syx-22A	ND	ND	0.6	.....	15	.....	31	.....	56	Intrusivo
Syx-23	ND	ND	1	.....	56	.....	19	.....	261	Intrusivo
Syx-27	ND	ND	8	.....	23	.....	35	.....	515	Mineralización
Syx-29	ND	ND	ND	.....	28	.....	41	.....	130	Intrusivo
Syx-30	5	4	5316	2.34	.....	0.39	.....	54.4	.....	Mineralización
Syx-31	77	30	162	0.86	.....	9.38	.....	11.25	.....	Mineralización
Syx-32	14	6	486	5.51	.....	6.53	.....	7.91	.....	Mineralización
%precisión por duplicados	.....	.....	.....	.....	92.7	.....	94.7	.....	95.6	
Metodos utilizados	6 ensaye	al fuego		8	plasma	optico				

5.5. Geoquímica Elemental y Leyes Minerales

Dentro del capítulo de metodología se explicarán los métodos de medición utilizados para la estimación de las leyes minerales; en este capítulo se abordarán los resultados obtenidos. Con respecto a las leyes minerales, en la tabla 5.3 se muestran los valores correspondientes a los análisis realizados por el Servicio Geológico Mexicano.

Los metales económicos que se presentan dominantes dentro del yacimiento son el zinc-plomo y, de manera complementaria, el cobre y la plata. Las mayores anomalías de cobre y plata

se han detectado principalmente en la zona de San Francisco Jayacaxtepec, la cual se encuentra en la porción poniente del yacimiento, en la roca mineralizada (Fig. 5.6). Por medio de SEM-EDS se encontraron minerales de tungsteno y titanio, así como bismuto nativo. Esta condición permite tener un yacimiento con metales estratégicos. Por otra parte, Santiago Zacatepec no presenta valores altos de plata ni cobre, sin embargo, presenta valores más altos de zinc y plomo que San Francisco Jayacaxtepec. Con respecto a los metales potencialmente contaminantes, sólo el cadmio se presenta en esta tabla. Por otra parte, el arsénico se buscó por medio de FRX. El cadmio presenta

Tabla 5.4. Tabla de fluorescencia

Unidad	Muestra	Zr	Sr	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co
ppm	ZC 17	287.38	95.24	28.57	20.94	126.92	37.44	< LOD	< LOD
ppm	SYX 10	193.11	24.09	85.97	< LOD	695.64	69.88	72.71	< LOD
ppm	SYX 8	222.03	364.46	22.13	< LOD	61.88	31.43	< LOD	< LOD
ppm	SYX 7	98.19	277.72	50.8	38.04	49.1	< LOD	< LOD	< LOD
ppm	SP 3	62.55	34.85	160.2	< LOD	279.3	666.86	237.21	< LOD
ppm	SP 5	< LOD	< LOD	1038.36	159.14	1558.65	433.29	350.73	< LOD
ppm	SP 16	201.4	241.75	30.71	< LOD	232.55	< LOD	< LOD	< LOD
ppm	SP 2	< LOD	10.18	47.57	52.79	76.41	176.28	< LOD	< LOD
ppm	MSP 1	66.86	290.32	3048.07	< LOD	7979.33	2140.38	< LOD	< LOD
ppm	SP 1	302.5	10.72	833.38	< LOD	183.1	275.35	< LOD	< LOD
ppm	SYX 3	209.9	131.21	63.72	< LOD	134.75	30.17	77.8	217.23
ppm	SYX 5	62.55	275.86	107.37	< LOD	65.09	< LOD	< LOD	< LOD
ppm	SYX 6	106.44	176.06	22.93	20.11	29.38	48.85	< LOD	< LOD
ppm	SYX 12	88.48	93.79	131.96	< LOD	436.92	98.24	< LOD	< LOD
ppm	SYX 14	76.11	35.26	118.13	24.17	211.74	< LOD	< LOD	< LOD
ppm	SYX 24	105.73	157.88	465.53	< LOD	435.23	44.33	< LOD	< LOD

Unidad	Muestra	Fe	Mn	Sb	Cd	Ti	K	S
%	ZC 17	8.304	0.165	< LOD	< LOD	0.693	3.525	< LOD
%	SYX 10	5.353	0.428	< LOD	< LOD	0.517	1.653	< LOD
%	SYX 8	5.055	0.101	< LOD	< LOD	0.498	2.575	< LOD
%	SYX 7	0.99	0.066	< LOD	< LOD	0.073	< LOD	< LOD
%	SP 3	37.946	< LOD	< LOD	< LOD	0.105	0.551	< LOD
%	SP 5	22.771	1.428	< LOD	0.003	0.041	< LOD	< LOD
%	SP 16	3.082	0.075	< LOD	< LOD	0.266	2.792	< LOD
%	SP 2	21.886	< LOD	< LOD	< LOD	0.053	0.297	7.494
%	MSP 1	4.584	1.319	< LOD	0.005	0.082	< LOD	< LOD
%	SP 1	7.528	< LOD	< LOD	< LOD	0.902	3.102	< LOD
%	SYX 3	5.181	0.129	< LOD	< LOD	0.468	1.357	< LOD
%	SYX 5	1.443	0.057	< LOD	< LOD	0.129	< LOD	< LOD
%	SYX 6	0.395	0.032	< LOD	< LOD	0.063	< LOD	< LOD
%	SYX 12	1.159	0.019	< LOD	< LOD	0.095	< LOD	< LOD
%	SYX 14	1.563	0.11	< LOD	< LOD	0.144	< LOD	< LOD
%	SYX 24	1.9	0.061	< LOD	< LOD	0.206	0.815	< LOD

Unidad	Muestra	Zr	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co
ppm	SP 8	8.25	59.43	< LOD	43.8	< LOD	< LOD	< LOD
ppm	SP 9	328.84	17.44	< LOD	47.31	29.26	< LOD	< LOD
ppm	SP 10	< LOD	801.85	104.97	1064.78	< LOD	195.66	< LOD
ppm	SP 12	250.67	22.1	< LOD	98.6	< LOD	< LOD	< LOD
ppm	SP 19	120.49	434.23	55.16	1312.15	438.87	78.46	< LOD
ppm	SP 20	121.4	9.58	< LOD	29.32	< LOD	< LOD	< LOD
ppm	SP 22	249.85	16.35	< LOD	41	< LOD	< LOD	< LOD
ppm	SP 24	227.57	39.09	11.92	104.34	388.69	71	< LOD
ppm	SP 30 A	< LOD	9456.28	< LOD	933546.13	165784.73	870.78	< LOD
ppm	SYX 18	23.83	9244.88	< LOD	10444.38	931.05	< LOD	< LOD

Unidad	Muestra	Fe	Mn	Sb	Cd	Ti	K	S
%	SP 8	0.514	< LOD	0.004	0.002	0.055	0.235	< LOD
%	SP 9	3.083	0.069	< LOD	< LOD	0.282	2.979	< LOD
%	SP 10	18.757	0.728	< LOD	< LOD	0.033	< LOD	< LOD
%	SP 12	2.983	0.042	< LOD	< LOD	0.304	3	< LOD
%	SP 19	5.013	0.318	< LOD	< LOD	0.226	1.383	< LOD
%	SP 20	1.981	0.045	< LOD	< LOD	0.186	1.828	< LOD
%	SP 22	3.137	0.061	< LOD	< LOD	0.295	3.418	< LOD
%	SP 24	5.819	0.076	< LOD	< LOD	0.307	3.385	1.828
%	SP 30 A	1.241	0.818	< LOD	< LOD	0.655	< LOD	< LOD
%	SYX 18	1.542	1.566	< LOD	0.008	0.103	< LOD	< LOD

contenidos anómalos en la zona de San Francisco Jayacaxtepec, en la porción final del corte de carretera correspondientes a las muestras tomadas de la mineralización.

En el caso de la FPXRF, los resultados obtenidos se presentan en la tabla 5.4. A pesar de la diferencia de valores en el estudio anterior y este, se observó la misma tendencia para el zinc y el plomo. Sin embargo, esta técnica nos muestra que en Santiago Zacatepec existe también cobre, aunque los valores no pueden ser considerados representativos ni son elevados (hasta 29.5%). Para

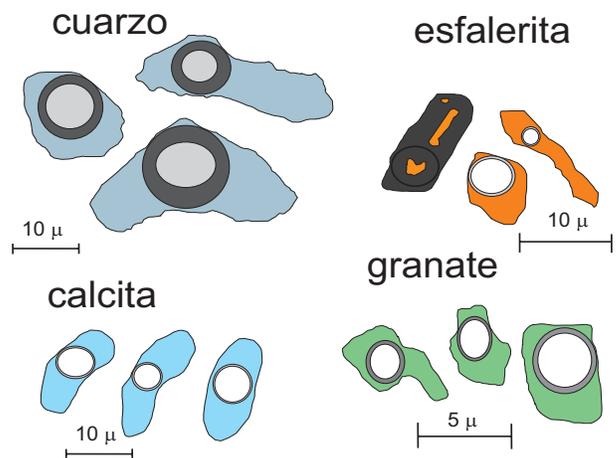


Fig. 5.7. Forma de las inclusiones fluidas.

los elementos pertenecientes a contaminantes, este estudio dio valores potencialmente muy bajos de arsénico; además, hay que considerar la abundancia de carbonatos, que actúan como agente neutralizante y limitan en gran medida la movilidad de este metaloide.

5.6. Inclusiones Fluidas

Los datos de inclusiones fluidas se analizaron a partir de cristales de cuarzo, esfalerita, calcita y granate, correspondientes a las muestras MSP-2 (Mina San Pedro Carretera), NP-1A del peñasco con mineralización en San Francisco Jayacaxtepec, y NPB-3, correspondiente a una porción más baja del peñasco de Niño Perdido en San Francisco Jayacaxtepec, todas ellas provenientes de las zonas calcosilicatadas. Se eligieron las inclusiones aisladas sin evidencia de transformaciones post-atrapamiento, seleccionando las inclusiones aisladas en la porción central de cada mineral.

El tamaño de las inclusiones varía, para el caso de la esfalerita de 5 a 10 μm , para el granate, de 8 a 10 μm , para el cuarzo, de 5 a 20 μm , y para la calcita, de 5 a 7 μm . Las inclusiones fluidas son de carácter primario, bifásicas, con una relación de vapor / líquido de ~ 0.45 .

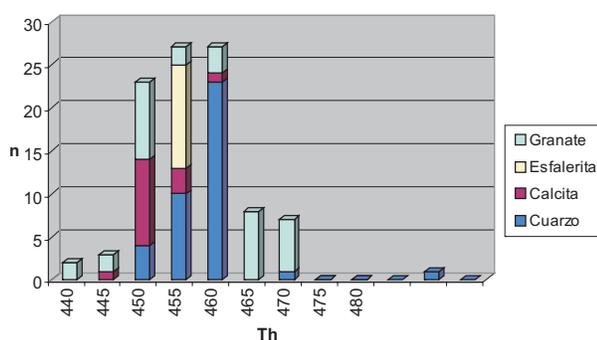
En ningún caso se han encontrado inclusiones hipersalinas. La forma de las inclusiones para la esfalerita y el granate es irregular. Sin embargo, para el caso del cuarzo son en su mayoría regulares-redondeadas, y para la calcita presentan formas redondeadas-elípticas, los cuales se muestran en la fig. 5.7.

Durante los ensayos de calentamiento, la homogeneización se produce siempre a la fase líquida; para el granate de 435 a 470°C, para el cuarzo de 425 a 450°C, para la calcita de 330 a 355°C, y para la esfalerita de 310 a 360°C.

El cálculo de la salinidad se realizó por medio de una tabla de salinidad (Roedder, 1990), la cual permitió crear una correlación entre las mediciones de temperaturas de fusión del hielo y la salinidad. Por último, se han inferido las etapas de formación de las inclusiones, correlacionándolas con las fases (progradante o retrogradante) de la formación del skarn.

Los valores de salinidad para el granate van de 11.7 a 14.5% en NaCl equivalente, con una media de 13.4; para el cuarzo la mínima es de 15.7% con una media de 15.37%; para la esfalerita y calcita es casi constante, en 11.7%. En la tabla 5.4 se muestra el análisis estadístico para cada mineral así como los histogramas correspondientes.

Histogramas Th



Histograma Tff

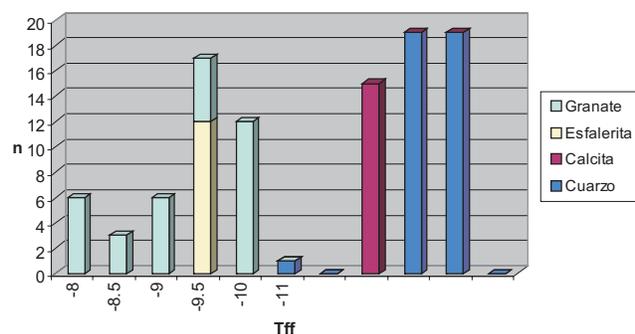


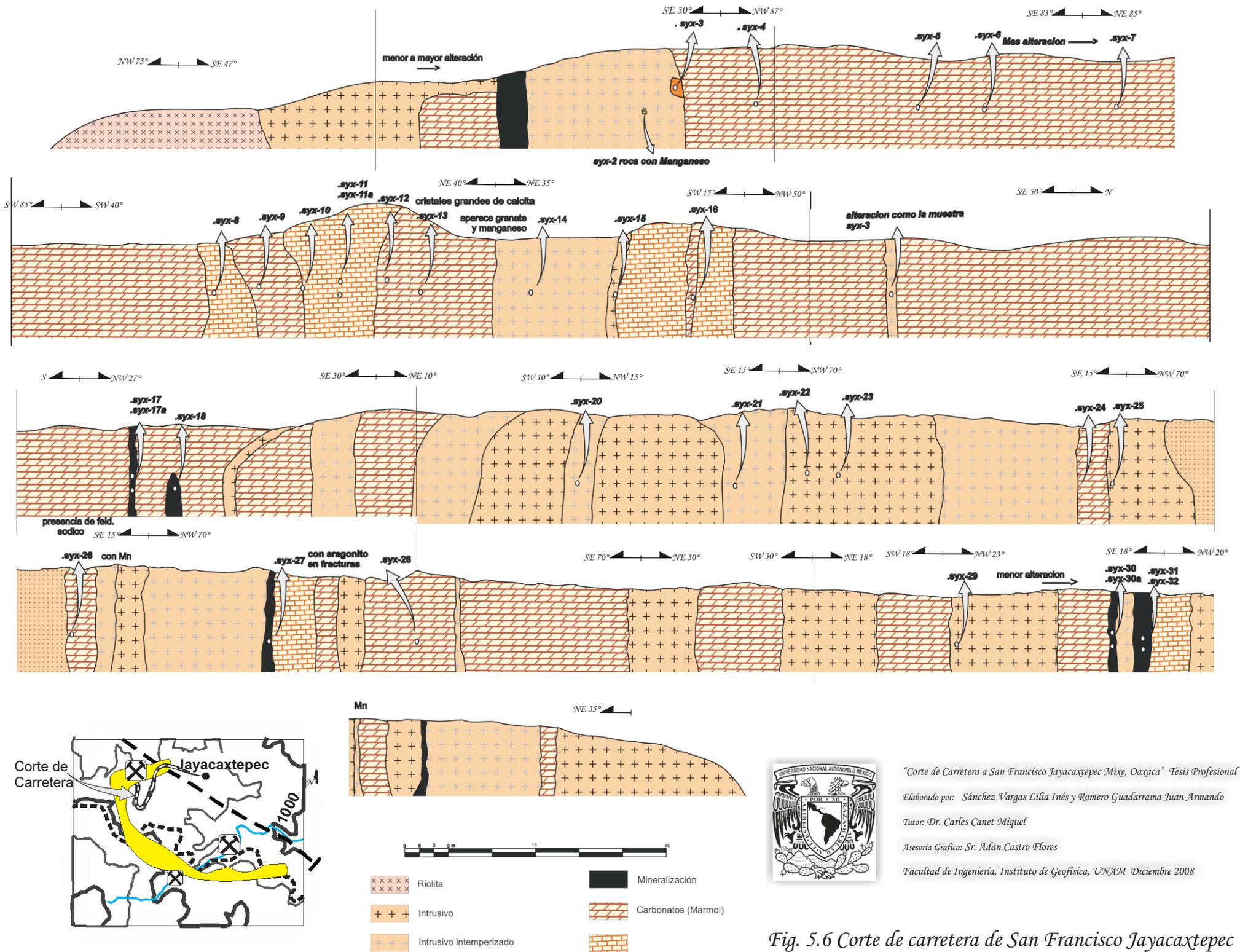
Tabla 5.4. Resumen estadístico de los resultados de microtermometría de inclusiones fluidas. Tff, temperatura de fusión del hielo; Th, temperatura de homogenización. La salinidad se expresa en % NaCl peso equivalente.

ESFALERITA			
	Tff °C	Th °C	SALINIDAD
Mínimo	-8	312	11.7
Máximo	-8	360	11.7
Media	-8	335	11.7
Moda	-8	340	11.7
Desv. Estándar	0	165.2	

GRANATE			
	Tff °C	Th °C	SALINIDAD
	-10.2	440	14.15
Mínimo	-8	470	11.7
Máximo	-9.5	460	13.4
Media	-10	465	13.94
Moda	0.8	9.3	

CALCITA			
	Tff °C	Th °C	SALINIDAD
Mínimo	-8	335	11.7
Máximo	-8	350	11.7
Media	-8	339	11.7
Moda	-8	338	11.7
Desv. Estándar	0	4	

CUARZO			
	Tff °C	Th °C	SALINIDAD
Mínimo	-12	429	15.96
Máximo	-11.2	470	15.17
Media	-11.4	437	15.37
Moda	-11.3	440	15.27
Desv. Estándar	0.1	6.7	



"Corte de Carretera a San Francisco Jayacaxtepec Mixe, Oaxaca" Tesis Profesional
 Elaborado por: Sánchez Vargas Lilia Inés y Romero Guadarrama Juan Armando
 Tutor: Dr. Carlos Canet Miquel
 Asesoría Grafica: Sr. Adán Castro Flores
 Facultad de Ingeniería, Instituto de Geofísica, UNAM Diciembre 2008

Fig. 5.6 Corte de carretera de San Francisco Jayacaxtepec

VI. DISCUSIÓN

6.1. Contexto Geológico

En el área de estudio podemos encontrar una variedad importante de litologías, con edades que van desde el Paleozoico hasta el Cenozoico. Esta variedad de litologías comprende principalmente esquistos, calizas, areniscas e intrusivos ácidos.

Durante el trabajo de campo se identificaron afloramientos que no se reportan en el Mapa Geológico del Servicio Geológico Mexicano en la Carta Minantitlán E15-7. Los afloramientos encontrados fueron de mármol, calizas y granitos, con los cuales se trazó el mapa que se presenta en el capítulo 5 de Resultados.

Por otra parte, en la bibliografía consultada del Informe Minantitlán realizado por el SGM en el año 2000 en la página 11 del mismo, se crea una cierta confusión con respecto al nombre con el cual se denomina al Complejo Sierra de Juárez. Dentro de la investigación bibliográfica que se llevó a cabo, se encontró que trabajos más antiguos nombran al Complejo Sierra de Juárez como Acatlán, sin embargo en la actualidad ya no es aceptado. El Complejo Acatlán es independiente del Complejo Sierra de Juárez.

Con respecto al basamento de este complejo, no se sabe con exactitud cual es, si éste es parte del mismo o si tiene un basamento el cual no se conoce.

En la misma página 11 de este Informe editado por el SGM, se encontró que el Terreno Maya se extiende en esta porción de la carta Minantitlán E15-7 y en la carta Oaxaca E14-9; sin embargo, Ortega-Gutiérrez (1982) y Moreno-Angeles (2006) mencionan que la porción comprendida entre las fallas Siempre Viva y Río Grande corresponde al Terreno Cuicateco.

Es importante puntualizar la naturaleza del Terreno Maya y del Cuicateco, debido a que en muchas ocasiones entre los autores no hay una definición precisa de las litologías que los componen, es por eso que dentro del Terreno Cuicateco encontramos en buena medida litologías correspondientes al Terreno Maya, lo que puede prestarse a una confusión; sin embargo, la mayoría de las formaciones comprendidas

en estas zonas incluyendo al Complejo Sierra de Juárez se encuentran dentro del Terreno Cuicateco.

6.2. Metalogénesis del skarn

Los indicios mineralizados de Santiago Zacatepec y San Francisco Jayacaxtepec se encuentran sobre una litología calcárea, que comprende calizas y mármoles, en el contacto con granitos y granodioritas.

La mineralización metálica se encuentra relacionada con procesos de skarn en fase retrogradante. Estos skarns coinciden en la clasificación planteada por Kwak, (1987) con los skarns proximales al cuerpo intrusivo. Sin embargo, en los skarns Zacatepec, se observan diferencias en los contenidos metálicos. Con base a esto podemos decir que Zacatepec es la parte más cercana al intrusivo, debido a la presencia de cobre, típico del skarn proximal, en cambio Jayacaxtepec presenta contenido elevado en plata, situándose dentro de los skarns de Zn-Pb, más distales, y está representado por afloramientos con aureola de metamorfismo y zonas de alteración supergénica y oxidación.

Según Einaudi (1981), entre las características propias de los skarns de Zn-Pb-Ag, hay las dimensiones de los cuerpos, que varían entre 100 m a 1 km, siendo relativamente pequeños. Las dos áreas mineralizadas en las que se basa esta tesis se localizan a 4 km de distancia entre una y otra. Las observaciones hechas en campo se muestran dentro del mapa geológico que se presenta en el capítulo VI de Resultados. Se plantean dos posibles escenarios: el primero consiste en un solo skarn, el cual excedería con las dimensiones propuestas por Einaudi (1981), ya que éste tendría una extensión de aproximadamente 4km. El segundo escenario propone la existencia de dos skarns, con extensiones de 1km aproximadamente, uno en las inmediaciones de Zacatepec y otro en las inmediaciones de Jayacaxtepec. La formación de los skarns es prácticamente la misma, esto ha llevado a crear un modelo en el cual se tratan de

ilustrar los mecanismos de génesis de los yacimientos en los cuales se basa este trabajo.

Teniendo en cuenta los criterios recopilados por Einaudi (1981), nuestro yacimientos, con asociaciones metálicas de Zn, Pb, Ag (Cu, W), concuerda con las características descritas para un skarn Zn-Pb cálcico.

El skarn Zacatepec se formó debido a la intrusión de un magma granítico de afinidad calcoalcalina. Al intruir en la roca caliza, tuvo lugar la formación de calcosilicatos y sulfuros metálicos (Figura 6.1.). La historia térmica de este proceso se ve registrada por las inclusiones fluidas

La distribución de las IF en la gráfica Th vs Salinidad indica la existencia de dos posibles procesos principales de formación del depósito para la etapa de skarn progradante, los cuales se plantean de la siguiente manera (Fig. 6.2):

1ª. Los fluidos con mayor temperatura y salinidades de alrededor 11.7 a 13.9% en peso equivalente de NaCl sufrieron ebullición, a una temperatura de 480°C, lo que ocasionó un aumento en la salinidad y una ligera disminución

de la temperatura, sin llegar a formar inclusiones hipersalinas. Los procesos de ebullición son causantes de la precipitación de metales.

2ª. La variación de salinidad es debida a dos pulsos hidrotermales. Para determinar con precisión cual de las dos teorías es la adecuada, habría que localizar evidencias de ebullición representadas por atrapamiento heterogéneo, stockworks y brechas (Roedder, 1990). No encontramos ninguna de estas evidencias de ebullición, sin embargo, eso no quiere decir que este proceso no haya tenido lugar (Simmons y Christenson, 1994).

Durante la siguiente etapa, donde precipita la esfalerita y calcita, los fluidos se enfriaron a temperaturas de 360°C, esto probablemente se deba al contacto de estos fluidos con aguas meteóricas de menor temperatura y salinidad, llevando a cabo un proceso de dilución propio del skarn retrogradante. Esta fase es donde se aloja la mineralización metálica. En la figura 6.2 se puede apreciar lo descrito anteriormente.

El origen, transporte y deposición de los metales es importante, con ello se explica la existencia de algunos elementos en mayor proporción que otros. La presencia de plata y la ausencia de oro indica que durante el transporte de los metales intervinieron complejos clorurados (salinidad) que propiciaron la movilidad de la plata y no la del oro. La presencia de minerales de oro y predominio de cobre en otros yacimientos se explica porque estos elementos se mueven por medio de complejos bisulfurados. Por otra parte, la alta disponibilidad de cloro en estos fluidos propiciaron el transporte de metales básicos como el plomo y el zinc, lo que permitió que los skarns de Zacatepec y Jayacaxtepec sean de este tipo (Shendeberger, 1989). La salinidad obtenida mediante el estudio de inclusiones fluidas para esta tesis, es consistente, para el ambiente y temperaturas de formación de la mineralización, con la composición metálica del skarn.

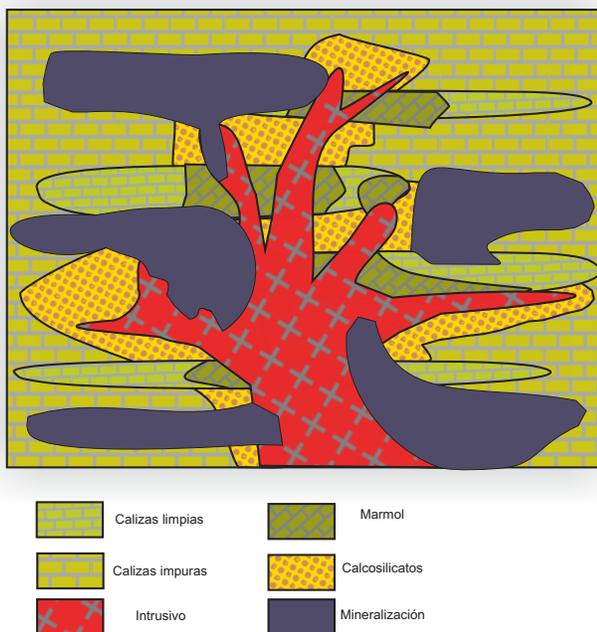


Fig. 6.1 Modelo Conceptual de los skarns Zacatepec.

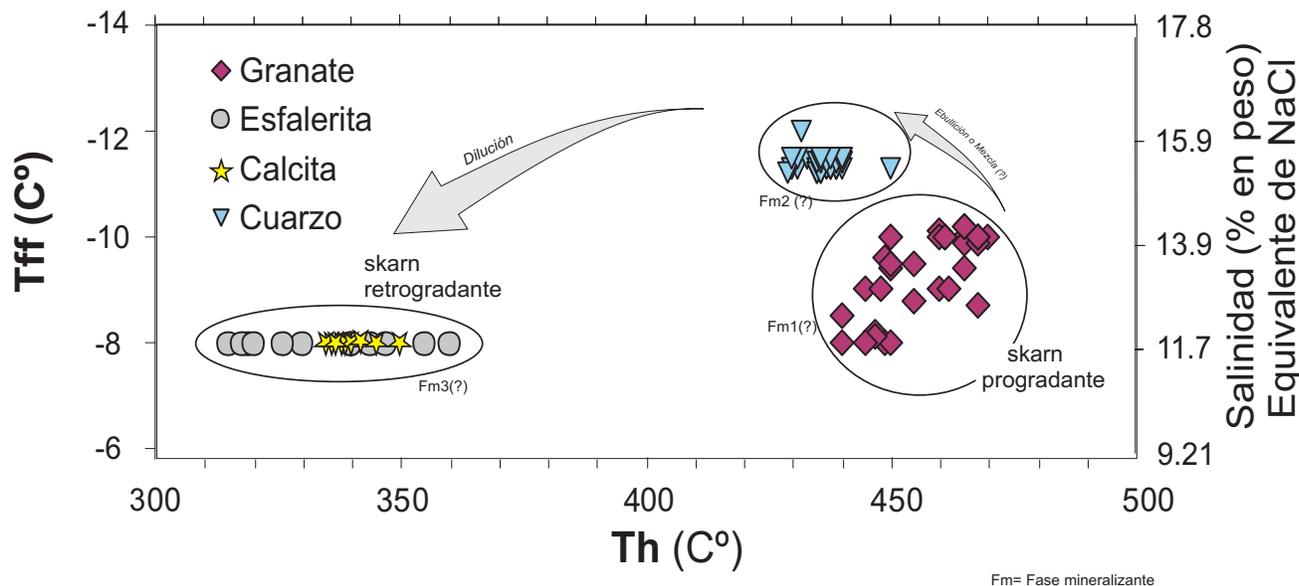


Fig. 6.2 Gráfica de temperatura de homogenización (Th) Vs Salinidad, Tff (temperatura de fusión del hielo)

6.3. Elementos potencialmente tóxicos e impacto ambiental

Los factores ambientales son una parte muy importante dentro de la exploración minera, la cual hoy en día exige seguir con detalle leyes, reglamentos y normas ambientales. En base a esta situación, fue necesario investigar, de igual forma que los metales económicamente importantes, los metales potencialmente tóxicos, tales como el arsénico y el cadmio.

Con base a la FPXRF, y a los estudios realizados por el Servicio Geológico Mexicano, no se encontraron cantidades elevadas de los metales potencialmente peligrosos. Los valores de arsénico, más elevados se presenta en las muestras SP10 y SP5 (104.97 y 159.14 ppm), correspondientes a la Mina San Pedro Carretera de Santiago Zacatepec. Sin embargo, en el resto de las muestras se encuentra en menores cantidades o por debajo del límite de detección del aparato.

Hay que tener en cuenta que en la zona de estudio abundan carbonatos, lo que ayuda a reducir en gran parte la peligrosidad de estos metales, ya que por sus condiciones neutralizadoras de ph, contribuyen a una rápida precipitación de estos metales, disminuyendo en gran parte su movilidad.

RECOMENDACIONES

Con la investigación mineralógica y geoquímica se logran determinar muchos factores de la génesis y naturaleza de la mineralización.

El presente estudio trató de abarcar la fase preliminar de la exploración.

Se recomienda hacer un muestreo sistemático de sedimentos y de agua de río, con lo cual se pueda determinar con precisión la movilidad de los elementos metálicos, para determinar posibles zonas contaminadas o para el descubrimiento de más depósitos minerales de interés económico.

También se recomienda hacer un estudio de elementos traza e isótopos con el que se pueda conocer el origen y evolución del intrusivo; con esto se puede conocer la evolución geológica de la zona.

Además, se recomienda explorar otros yacimientos metálicos y no metálicos que no necesariamente tengan que ser del mismo tipo. El estudio de alteraciones es otra herramienta para poder encontrar más indicios mineralizados. Se recomienda realizar un mapa geológico de más detalle.

Para estimar las reservas y, por consiguiente, el valor económico de los yacimientos y la eventual viabilidad de una explotación, sería imprescindible una barrenación sistemática de los cuerpos mineralizados. Un estudio geofísico, mucho más económico, proporcionaría una estimación razonable de las dimensiones de dichos cuerpos. Con todo esto, se contribuiría más al conocimiento de la complicada geología del Estado de Oaxaca.

Recomendaciones específicas para autoridades ejidales y locales:

Las comunidades de San Francisco Jayacaxtepec y Santiago Zacatepec Mixe tienen un potencial por su riqueza mineral. La existencia de un skarn de Pb-Zn y bancos de mármol, es de gran importancia debido a que hay posibilidades de planes de desarrollo a medio y largo plazo.

Sin embargo es importante hacer notar que la

explotación de los minerales metálicos requiere una inversión muy fuerte, esta comprende costos muy altos para los fines de exploración, sin mencionar los gastos mayores por concepto de explotación. La barrenación a diamante cuesta aproximadamente 140 dólares el metro lineal, mientras que para la obra directa la cual comprende de socavones como las minas San Pedro, tiene un costo de 600 dólares el metro lineal. Esto deja ver la necesidad de una asociación con alguna minera la cual pueda disponer de este capital, además de que esta tenga el interés por la comunidad, la creación de empleos, instalación de antenas de celular y televisión, etc. Por otra parte, la explotación y posible comercialización del mármol, requiere una inversión mucho menor que redituaria a corto plazo. Las rocas dimensionables ornamentales como el granito y el mármol permiten estar exentos de concesiones y a su vez facilitan el apoyo de un crédito por medio de alguna instancia mencionada en el capítulo de introducción. Sin embargo, es necesaria la realización de pruebas específicas que evalúen la calidad y posible interés económico de dichas rocas ornamentales.

Para el otorgamiento de créditos por algunos de los fideicomisos antes mencionados, es necesario solicitar ante el Servicio Geológico Mexicano (SGM) un “Estudio de Asesoría Geológica en el Cerro Cempoaltepec” el cual permita hacer un estimado volumétrico de las rocas dimensionables (Granito y Mármol). De los resultados derivados de este estudio, el FIFOMI otorgaría los recursos necesarios para la realización de una cantera que fuera de la comunidad.



VII. CONCLUSIONES

Los indicios mineralizados de San Francisco Jayacaxtepec y Santiago Zacatepec Mixe se clasifican de tipo skarn. La Fm. Sierra Madre (Albiano-Turoniano), que está compuesta de calizas, encajona la mineralización en el contacto con el Intrusivo Zacatepec, que está compuesto por granodioritas de biotita-hornblenda y pórfidos granodioríticos, de edad posiblemente Terciaria. Las rocas calcosilicatadas bordean dicho contacto.

El Skarn Zacatepec es de tipo cálcico, debido a que su protolito y encajonante son calizas; en consecuencia, la mineralogía está dominada por granates cálcicos (grosularia-andradita) y piroxenos cálcicos (diópsido-hedenbergita), los cuales se presentan como minerales índice. Además, se han encontrado, clorita, calcitaesfalerita, galena, pirita, calcopirita, matildita, bismuto nativo, scheelita, hematita, vesubianita, titanita e ilmenita. Como alteraciones supergénicas encontramos goethita, cerusita, malaquita, azurita, covelita, auricalcita, stolzita, coronadita y hemimorfita.

Debido a estas características mineralógicas, se puede decir que el skarn Zacatepec es un skarn de Zn-Pb (Cu, Ag, W, Bi).

Las temperaturas de homogeneización (Th) medidas en granate, cuarzo, esfalerita y calcita varían de 312 a 475°C. Para el granate la media de la temperatura de fusión del hielo (Tff) es de -9.5 °C y de Th 460 °C, para la esfalerita la media de Tff es de -8 °C y de Th de 335 °C, para el cuarzo la media de Tff es de -11.4 °C y de Th 437°C, y para la calcita la media de Tff es de -8 °C y de Th 339 °C.

Los elementos que están enriquecidos en este yacimiento son: en mayores proporciones zinc (hasta 11%) y plomo (hasta 10%) , cantidades importantes de cobre (hasta 5%) y plata (hasta 595 g/t) en el indicio Zacatepec, y bismuto y tungsteno en la zona de Jayacaxtepec. No se encontraron valores significativos de oro.

Las leyes de Zn-Pb y de Ag representan un potencial económico interesante. Para fines de explotación sería conveniente definir y estimar el tonelaje de los cuerpos con mayores leyes, para determinar reservas y otros parámetros.

Con respecto a elementos contaminantes, se ha detectado valores bajos de As (hasta 159 ppm), Sb (hasta 159), Cd (hasta 80 ppm) y Hg (hasta 29 ppm). Teniendo en cuenta que el encajonante son carbonatos, no es de esperar la formación de grandes cantidades de aguas ácidas de drenaje de mina.

Por medio de los resultados de inclusiones fluidas y de observaciones por medio de petrografía y microscopio electrónico, se establece un modelo de evolución del skarn en el cual se proponen dos etapas, la etapa progradante donde se llevan a cabo la formación de los calcosilicatos y la etapa retrogradante donde se presenta la formación de la mineralización.

REFERENCIAS

Angeles Moreno E., 2006, Petrografía, geología estructural y geocronología del borde noroccidental del terreno cuicateco, Sierra Mazateca, estado de Oaxaca, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis Maestría, pp. 8, 11-19.

Arceo y Cabrilla F.A., 2006, Opinión técnica de riesgo geológico por inestabilidad de laderas en el cerro el Fortín, ciudad de Oaxaca de Juárez, Oaxaca.

Barboza-Gudino J.R., K.Schwab, Clausthal-Zellerfeld, 1996: Contribución a la geología de la Sierra de Juárez en el Sur de México, Alemania: Zbl Geol. Paläont. Teil I. based on the volumetric properties of the system NaCl – H₂O: U.S. Geological Survey.

Barboza-Gudiño M., Tristan González J.R., Torres Hernández, 1999, Tectonic Setting of Pre-oxfordian units from Central and Northeastern México, Geological Society of America, Special Paper 340, 197-210 p.p.

Bayliss Peter, 2000, Glosary of Obsolet mineral names, The mineralogical recording Inc, USA, pp. 34, 35, 15.

Caballero Miranda, Cecilia., 2006, Síntesis de la Geología Histórica de la Tierra, Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, UNAM.

Campa M.F., Coney P.J., 1983, Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico, Canadian Journal of Earth Sciences, NRC Research Press.

Camprubi 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 de México, Tomo LVIII, num. 1, pp. 27-81.

Camprubí Antoni, 2003, Geoquímica de fluidos de los depósitos epitermales del sureste del Distrito de Temascaltepec, Estado de México., Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v.20, núm 2, pp. 107-123.

Cheilietz, A., 1984, Caracteristiques geochimiques et thermobarometriques des fluides associes à la scheelite et au quartz des mineralisations du tungstene d Jbel Aouam (Maroc Central), Bull Mineral, 107, 255-272 p.p.

Consejo Nacional de Población y Vivienda, 1994. “La Población de los Municipios de México 1950 – 1990”. Ed. UNO Servicios Gráficos, México.

Consejo de Recursos Minerales, 1996. Monografía Geológico-Minera del Estado de Oaxaca, Secretaría de Desarrollo y Fomento Industrial, México.

Dávalos-Álvarez O. G., Nieto-Samaniego A.F., Alaniz-Álvarez S.A., Martínez-Hernández E., Ramírez-Arriaga E., 2007, Estratigrafía cenozoica de la región de Tehuacán y su relación con el sector norte de la falla de Oaxaca., Revista Mexicana De Ciencias Geológicas v. 24, núm. 2, pp. 197- 215

- Delgado Argote L.A., 1989, Regional Implications of the Jurassic-Cretaceous Volcanosedimentary Cuicateco Terrane, Oaxaca México: *Geofísica Internacional* vol. 28-5 1989, pp. 939-973.
- Delgado-Argote L.A., 1988, Geología Preliminar de la Secuencia Volcanosedimentaria y Serpentinitas asociadas del Jurásico (?) del Área de Cuicatlán-Concepción Pápalo, Oaxaca, México, Universidad Nacional Autónoma de México, *Revista del Instituto de Geología, REVISTA* vol. 7, num 2, 1988, pp. 127-135
- Dewey H., 1925, *Proc. Geol. Assoc, London*, 35-107 p.p.
- Einaudi, M.T., Meinert, L.D. and Newberry, R.J., 1981, Skarn Deposits; in *Seventy-fifth Anniversary Volume, 1906-1980, Economic Geology*, Skinner, B.J., Editor, Economic Geology Publishing Co., pages 317-391.
- Einaudi, M.T., Burt, M.D., 1982, Introduction Terminology, classification and Composition of Skarn Deposit, *Economic Geology*, Vol. 77, No. 4, 745-754 p.p.
- Evans, A.M., 1993, *Ore Geology and Industrial Minerals, an Introduction*, 3ed., Blackwell Science, 347-377 p.p.
- Geijer, P. and Magnusson N.H., 1952, The Iron ores of Sweden, 19th International Geological Congress, Algiers, vol. 2, 477-499 p.p.
- Gerald G.C. 1995, *Types of Ore Deposits*, Association for Mineral Exploitation British Columbia.(página de internet).
- Goldshmidt V.M., 1911, Diekontak Metamorphose Imkristianiagebiet: *Oslo Vidensk, Skr*, 1, Mat Nature, v.k1, no. 1, 483 p.
- González-Partida E., Camprubi A., Levresse G., Tritlla J., Carrillo-Chávez A., 2004, Fluidos asociados al skarn Au (-Cu) de La Joya, distrito de Mezcala, Guerrero, México: implicaciones regionales para depósitos formados a partir de rocas calcosilicatadas vs. Adakíticas, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 21, núm.3, pp. 371-381.
- González-Torres E., 2005, Bosquejo sobre la evolución de la Geología en México (1904-2004) boletín de la sociedad geológica mexicana volumen conmemorativo del centenario aspectos históricos de la geología en México, tomo vii, núm. 2, 2005, pp. 123-136
- Hess, F.L, 1919, The Tungstene Resources of the World: *Engineering and Mining Journal*, vol. 108, 715-722 p.p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2001 *Censo General de Población y Vivienda 2000*. México.
- Kwak, T.A.P., White A.J.R., 1982, Contrasting W-Mo-Cu and W-Sn-Fe skarn types and Related Granitoids, *Mining Geology* 32, 339-351 p.p.

Kwak, T.A.P., 1987, W-Sn Skarns Deposits and Related Metamorphic Skarns and Granitoids, ELSEVIER, Amsterdam, 451 p.p.

Lindgren W., 1905, The Copper Deposits of the Clifton-Morenci District, Arizona; US Geological Survey Professional Paper, 43, 375 p.p.

Lindgren W., 1933, Mineral Deposits, 4th Edition, Mc Graw Hill, Book Co., New York, 239 p.p.

López A.F. y Rodríguez F.J., 1986, Informe Geológico no. 1001, Zona Sur, Prospecto: La Mixtequita II, PEMEX.

Loweristern, J.B., 2003, Melt Inclusions Come Age: Volatiles, Volcanoes and Sorby's Legacy, US Geological Survey, 1-4 p.p.

Marcke de Lunnen, V.G., 1983, Pétrologie et Géochimie des skarnoides du site tunstifere de Costa Banne (pyrenees Orientales), These Doct., Sci. Univ Cathdique Louvain, 293 p.p.

Martínez, A.H., 1981, Estudio Geológico Minero por Au, Ag, Cu, Pb, Zn, de los yacimientos hidrotermales de Felipe Angeles Municipio de San Juan Mazatlán, Estado de Oaxaca, COREMI, inédito.

Martínez, A.H., 1982, Estudio Geológico del área carbonífera de San Felipe Cihualtepec Municipio de San Juan Cotzocón, Estado de Oaxaca, COREMI, Inédito.

Megaw P.K., Ruiz, J., and Titley S.R., 1988, High Temperature, Carbonate Hosted Ag-Pb-Zn (Cu) deposits of Northern México., Economic Geology, vol 83, 1856-1885 p.p.

Meinert L.D., 1992, Skarn and Skarns Deposits, Geoscience Canada, vol. 19, no. 4, 145-162 p.p.

Meinert L.D., 1998, A Review of Skarn that Contain Gold in Mineralized Intrusion Related Skarn Systems (ed. D.R. Lentz), Mineralogical Association of Canada, short course handbook, 26, 359-414 p.p.

Meinert L.D., Dipple G.M., Nicolescu S., 2005, WORLD SKARN DEPOSITS, Economic Geology 10th Anniversary Volume, pp. 299-336.

Melgarejo, Joan Carles., 1997, Atlas de Asociaciones Minerales en Lámina Delgada, Universitat de Barcelona. Mineralogy, Vol. 12, pp. 644.

Morán-Zenteno, D. J., Cerca M., Duncan K.J., 2005, La evolución tectónica y magmática cenozoica del suroeste de México: avances y problemas de interpretación boletín de la sociedad geológica mexicana volumen conmemorativo del centenario temas selectos de la geología mexicana tomo vii, núm. 3, 2005, pp. 319-341

Murakami Hiroyasu, 2005, How to Study skarn type Deposits: Remote Sensing Center, MTA.

Nash, J.T., 1976, Fluid inclusión petrology – data from porphyry copper deposits and applications to exploration: U.S.G.S. Professional Paper, 907D, 16 pp.

Nicolás, L.R., Robles, N.J., 1990, Informe Geológico no. 1113, Zona Sur, Prospecto: Hoja Minatitlán. Estado de Oaxaca y Veracruz, PEMEX.

Ortega-Gutiérrez F., González-Arreola C., 1985, Una edad cretácica de las rocas sedimentarias deformadas de la Sierra de Juárez, Oaxaca: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, ISSN 1026-8774, Vol. 6, N°. 1, 1985 , pp. 100

Ortega-Gutiérrez F., Mitre-Salazar L.M., Roldán-Quintana J., Sánchez-Rubio G., De la Fuente-Duch M., 1990, North American Continentan Ocean Trancencet H-3, Acapulco Trench to the Gulf of México Across Southern of México: Geological Society of America, Centennial Continent/Ocean, escala 1:500000.

Ortuño A.S., Xavier J.P, Delfaud J., 1992, Análisis Tectónico-Estructural de la Cuenca de Zongolica a partir de Imágenes de satélite Landsat MSS, México: Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, VOL. XXIV, NUM1.

Pablo-Galan, L., Chávez-García L., Cruz-Sánchez M., 1996, Sedimentry zeolitas in the Sierra madre del Sur and Sierra Madre Occidental, México Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, V. 13 n. 2 pp. 188-200.

Park Jr. C.F. and MacDiarmid, R.A., 1975, Ore Deposits, W.H. Freeman.

Pérez Segura E., 2004, Revisión bibliográfica sobre yacimientos en skarn, Escrito Independiente.

Pike W.R., 1922, Informe de Reconocimiento en el municipio de Tlacotalpa, Estado de Tabasco y Distrito de Palenque en el Estado de Chiapas, I.G.Z.S, No. 15, PEMEX, Inédito.

Potter. R.W., 1977, Pressure correction for fluid inclusions homogenization temperatures, Journ. Res. 5, p. 603-607.

Raisz, Erwin, 1964, Landforms of México (2a ed): Cambridge, Massachusetts, edición privada, mapa con texto, esc. 1:3000000.

Quezada M.J.M, 1975, Prospecto Cintlapa, La Ventoza, Chiapas-Oaxaca, I.G.Z.S., No. 490, PEMEX, Inédito.

Quezada M.J.M, 1978, Prospecto Jesús Carranza, I.G.Z.S., No. 722, PEMEX, Inédito.

Ray, G. E., 1995, Cu Skarns, in Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles, Metallics and Coal, Lefebure, D.V. and Ray, G.E., Editors, British Columbia Ministry of Energy of Employment and Investment, Volume 1, Open File 1995-20, pp. 59-60.

Ray G. & Dawson K., 1998, Mineralised skarns in the Canadian Cordillera, in Mineralised Intrusion-Related skarn systems, Mineral Assoc. Canada, Short Course, 26 p.p.

Reynolds, T.J., and Beane, R.E., 1985, Evolution of hydrothermal fluid characteristics at the Santa Rita, New Mexico, porphyry copper deposit: Economic Geology.

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

Roedder, E., 1990, Fluid Inclusions analysis; prologue and epilogue: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54, pp.495-508.

Salisbury Dana Edward, 1979, Tratado de Mineralogía, séptima edición, Compañía Editorial Continental S.A. México, p.p. 418, 419, 314.

Schenberger DM, Barnes HL, 1989, The solubility of gold in aqueous sulfide solution from 150 to 300 C, *Geochimica et Cosmochimica Acta*.

Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Estudios Municipales, Gobierno del Estado de Oaxaca, 1988, Los Municipios de Oaxaca, Enciclopedia de los Municipios de México, Talleres Gráficos de la Nación, México, D.F.

Secretaría de Gobernación, 2002, Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Sistema Nacional de Información Municipal, México.

Sedlock, R.L., Ortega-Gutiérrez, F., Speed, R.C., 1993, Tectonostratigraphic Terranes and Tectonic Evolution of México: The Geological Society of America, Special Paper, pp. 278, 153.

Servicio Geológico Mexicano, 2006, Panorama minero del estado de Oaxaca.

Servicio Geológico Mexicano, Carta geológica-minera Minatitlán E15-7, Veracruz, Oaxaca y Tabasco, Esc. 1:250 000

Servicio Geológico Mexicano, Carta geológica-minera Oaxaca E14-9, Oaxaca y Puebla, Esc. 1:250 000

Shepperd, T., Rankin, A.H., and Alderton, D.H.M., 1985. A practical guide to fluid inclusions studies: Blakie, Glasgow, pp. 235.

Simandl, G.J., Paradis, S., Orris, G.J. and Ray, G.E., 1999, Wollastonite Skarns; in Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles, Volume 3, Industrial Minerals, G.J.

Simmons S.F., Christenson B.W, (1994), Origins of calcite in a boiling geothermal system, *Am. J. Sci.* 294, p. 361–400.

Solé J., Salinas J.C., González-Torres E., Cendejas Cruz J.E., 2007, Edades K/Ar de 54 rocas ígneas y metamórficas del occidente, centro y sur de México, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 24, núm. 1, pp. 104-119.

Sorby H.C., 1858, On the Microscopic Structure of Crystals, Indicating the Origin Minerals and Rocks, *Quart. J. Geol. Soc. London*, 14, 453-500 p.p.

Southworth J.R., 1905, The Mines of México, edición bilingüe inglés-español, Blacke and Mackenzie, eds. Liverpool England, 263 p.

Zharikov, V.A., 1970, Skarns: International Geology Review, Vol. 2, 541-559, 619-647 p.p.

Zirkel, H.C., 1867, Microscopical Petrography, US Geological Exploration ,40th Parallel Report 6, 259-261 p.p.

REFERENCIAS DE INTERNET

<http://eris.unalmed.edu.co/~rrodriguez/skarn/skarn.htm>

<http://fichas.infojardin.com/arboles/lista-arboles-nombre-cientifico.htm>

http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/publicaciones/publi_reinos/flora/encino/encino.htm - 14k

http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/publicaciones/publi_reinos/fauna/tlacuache/tlacuache2.htm

<http://www.geovirtual.cl/depos/02skarn01.htm>

<http://www.petexbatun.net/es/caoba.html>

<http://www.redindigena.net/ser/departamentos/documentos/estatZacatepec.html>

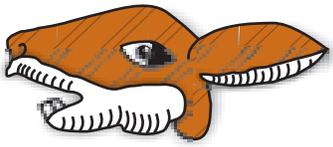
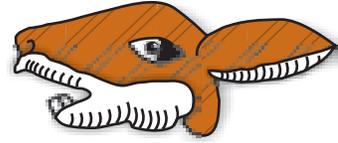
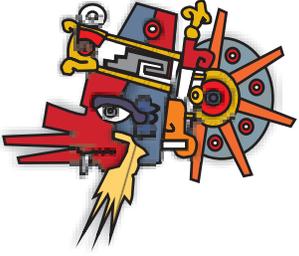
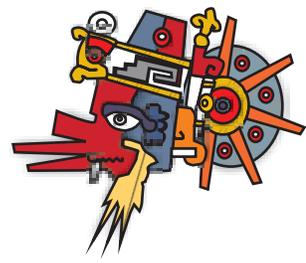
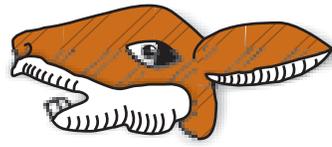
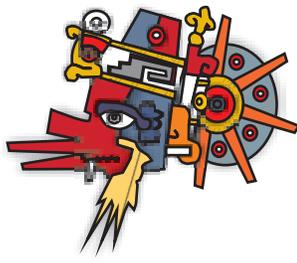
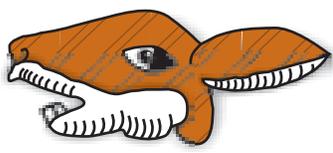
<http://amebc.ca/primer1.htm>

<http://scholar.google.com.mx>

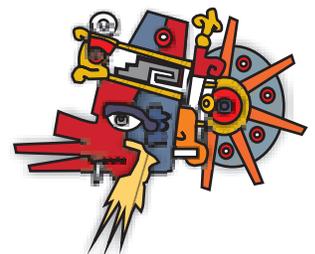
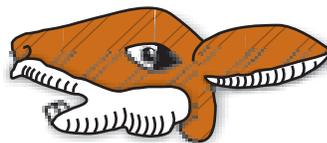
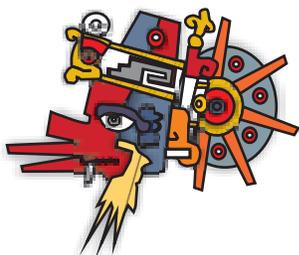
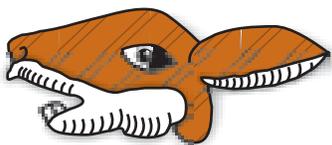
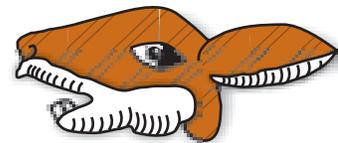
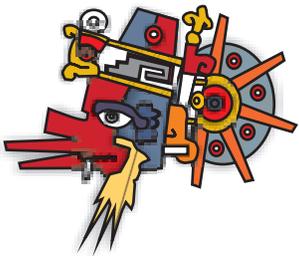
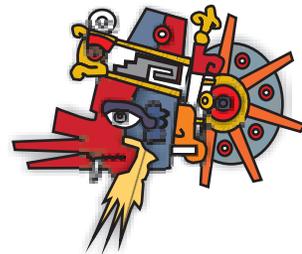
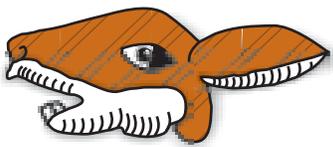
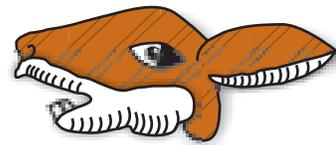
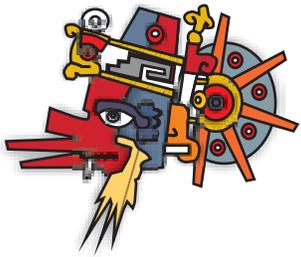
http://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Bragg

<http://eris.unalmed.edu.co/~rrodriguez/skarn/skarn.htm>

<http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/DEPOSITOS%20DEL%20TIPO%20SKARN.pdf>



Anexos



A1. Petrografía y Minerografía

MUESTRA NPA-c

PARTE DE ALTERACIÓN DEL SKARN (EXOSKARN) CON SMITHSONITA



Minerales: Pirita, Limonita, Hematita, Cuarzo, Smithsonita, Calcedonia.

Texturas: Presentan estructuras radiales, brechoides y de fluidez

Descripción: Estructura brechoide con fragmentos de calcedonia, la cual esta intercrecida con la smithsonita debido a que se aprecia fluorescencia. Se logran ver piritas diseminadas. En el caso de la limonita esta se encuentra como mineral de alteración en una porción un poco amplia dentro de la lámina. Los cristales de calcedonia se encuentran en franjas concoideas con estructuras radiales (Figura 2). En esta lámina podemos apreciar el sílice relleno de fracturas. La calcedonia presenta diversas estructuras la cual son radiales y de fluidez.



Figura 1. Estructura brechoide con fragmentos de calcedonia.

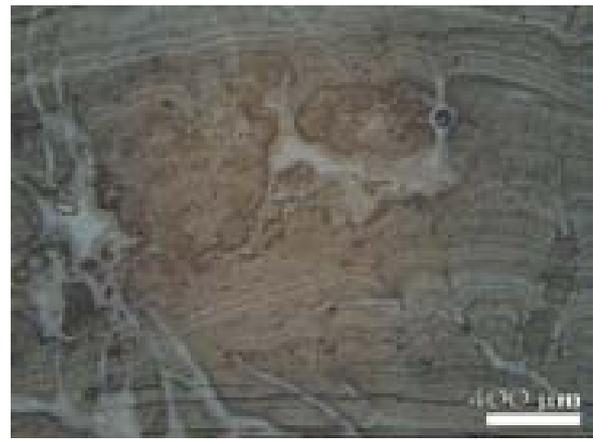


Figura 2. Detalle de la smithsonita. Nótese la cristalización en forma de bandas.



Figura 3. Smithsonita en luz reflejada.

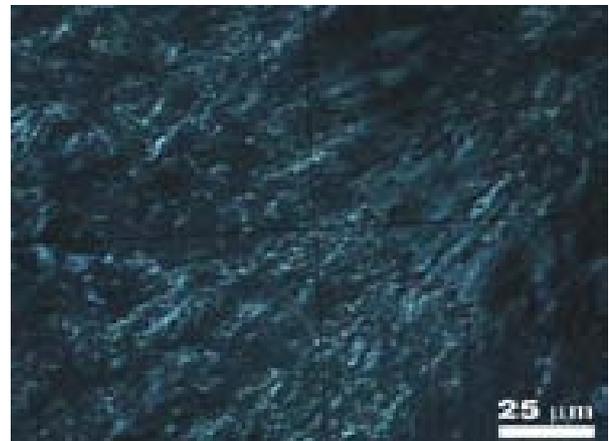


Figura 4. Smithsonita con nicoles cruzados en luz reflejada.

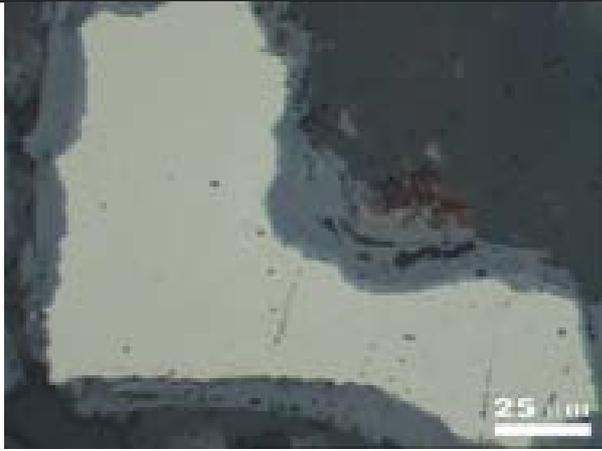


Figura 5. Aspecto de la pirita, la cual contiene un halo de alteración.

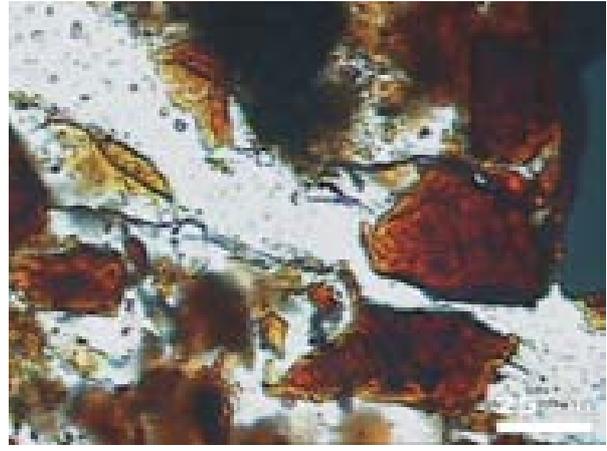


Figura 6. Esfaleritas ricas en Fe debido a la coloración rojiza por medio de luz transmitida.

MUESTRA E6-d

MARMOLES DEL EXOSKARN



Minerales: Esfalerita, Limonita y Calcita.

Texturas: Textura de mosaico y maclas de calcita en la totalidad de la lámina.

Descripción: La lámina se encuentra formada por calcita, en el microscopio se puede apreciar el crucero de la calcita y su proceso de recristalización. En las fracturas y bordes de la calcita se ven la hematita y limonita. La esfalerita se encuentra en los cristales de calcita diseminada y en baja proporción.



Figura 3. Crucero de los cristales de calcita por medio de luz transmitida.

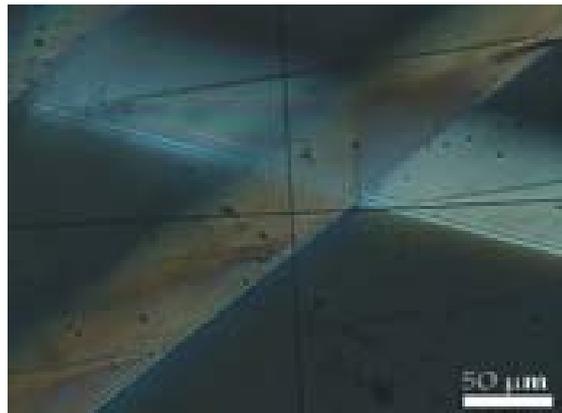


Figura 4. Crucero de minerales de calcita en nicols cruzados por luz transmitida.



Figura 5. Pedazos de esfalerita en una matriz de calcita.



Figura 6. Reflexiones internas de la esfalerita.

MUESTRA NPB-Ox

ZONA DE OXIDACIÓN (SOBRE LA MINERALIZACIÓN)



Minerales: Pirita, Esfalerita, Calcopirita y Covelita.

Texturas: Textura de mosaico grandes en el cuarzo intercrecidos con cuarzos más pequeños. Esfalerita un poco diseminada la cual contiene la enfermedad de la calcopirita.

Descripción: Se observan grandes cristales de cuarzo anhedrales en forma de mosaico, los cuales están intercrecidos con cristales más pequeños. Estos cristales anhedrales a subhedrales son ricos en inclusiones fluidas. Hay pirita, esfalerita que se observa como un mineral transparente debido a su riqueza de zinc. Esta esfalerita presenta la enfermedad de la calcopirita.

calcopirita.

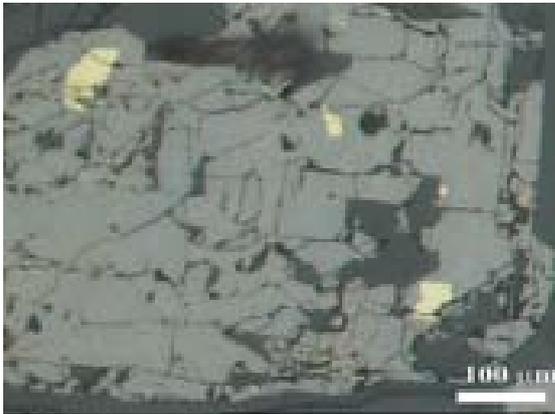


Figura 1. Esfalerita con Pirita



Figura 2. Esfalerita.



Figura 3. Esfalerita con tonos amarillentos

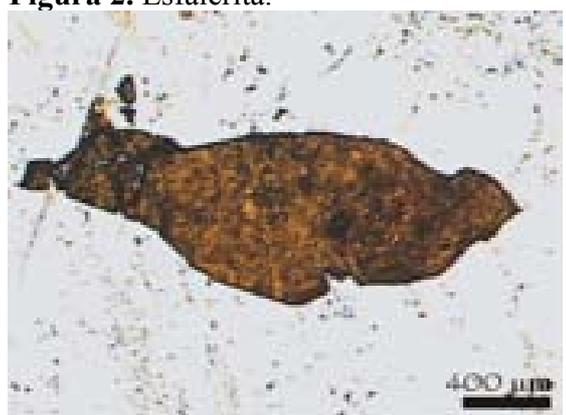


Figura 4. Hematita sin nicoles.



Figura 5. Hematita pseudomorfa de pirita.



Figura 6. Reflexiones internas esfalerita.



Figura 7. Reflexiones internas de la esfalerita con luz transmitida.



Figura 8. Galena con bordes de covelita.



Figura 9. Covelita (centro), pirita (arriba) y esfalerita (abajo)

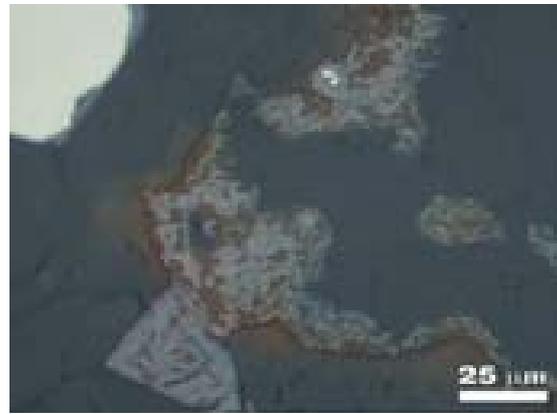


Figura 10. Hematita sobre la esfalerita, que a su vez permite el engolfamiento de la pirita.

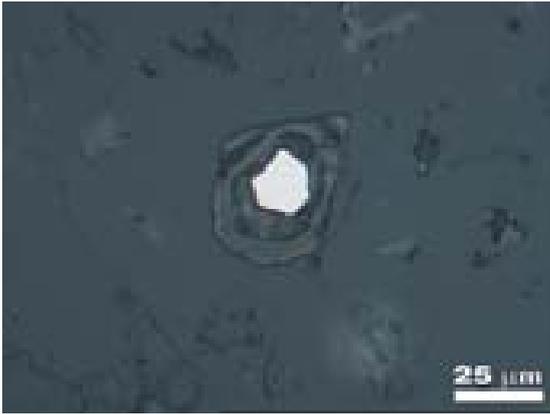


Figura 11. Pirita con zonación.

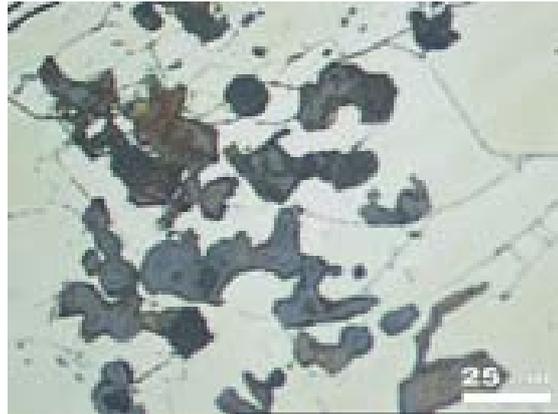


Figura 12. Pirita con cristales pequeños de esfalerita.

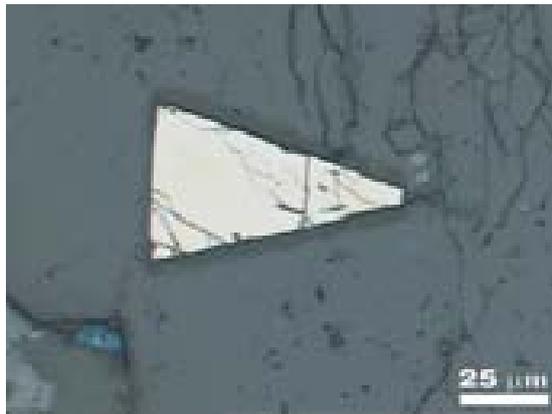


Figura 13. Pirita en forma triangular.

MUESTRA NPB-a

ZONA DE CONTACTO ENTRE MINERALIZACIÓN SOBRE LA ZONA DE OXIDACIÓN.



Minerales: Pirita, Hematita, Esfalerita y Galena.

Texturas: Texturas de disolución.

Descripción: Se puede observar diferentes tamaños de cuarzos dispuestos en formas de mosaico los cuales presentan diferentes tamaños que van de grandes a pequeños, presentan estructuras de disolución. En el caso de la pirita, esfalerita y clorita podemos ver que estos rellenan espacios dejados por los granates. La hematita y minerales de oxidación se presentan en cristales anhedrales, relleno de fracturas, al igual que en el caso de la calcita la cual se

presenta en muy poca proporción.



Figura 1. Hematita fibrosa con luz reflejada.

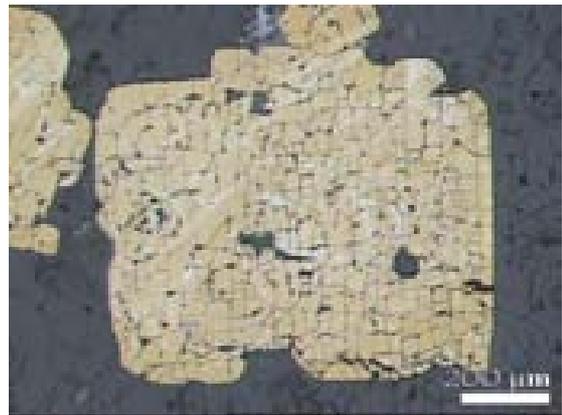


Figura 2. Pirita fragmentada.

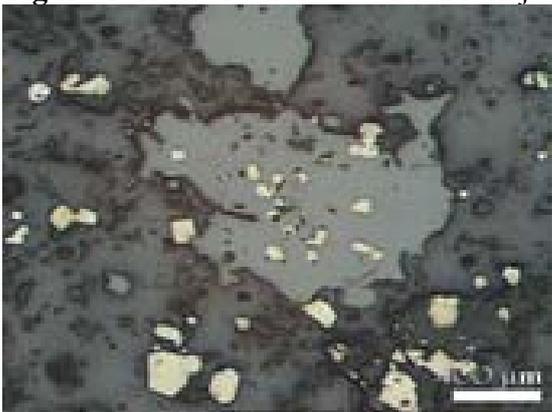


Figura 3. Pirita con Esfalerita.



Figura 4. Esfalerita formando un delfin.



Figura 5. Pirita con zonación de galena.



Figura 6. Pirita perfectamente cuadrada.

MUESTRA NPA-IF

ZONA DE MINERALIZACIÓN



Minerales: Limonita, Granate, Epidota, Galena, Calcopirita, Hematita, Esfalerita, Calcita, Covelita, Hemimorfita y Cuarzo.

Texturas: Engolfamiento y de mosaico.

Descripción: Esta lámina presenta esfaleritas de 200 μm fragmentadas. Cuarzos subhedrales con textura de mosaico. La clorita se ve como mineral arcilloso. La calcopirita se presenta como enfermedad de la esfalerita en cristales con forma eudral, que van de cristales de 300 μm a cristales de 60 μm , se observa engolfamiento y en algunas zonas se altera a hematita y escasamente a covelita. La Goetita limonita se presenta en agregados. La galena en forma de triángulos euhedrales, por su posición parece ser la primera en formarse ya que se ve engolfada de igual forma que la pirita.

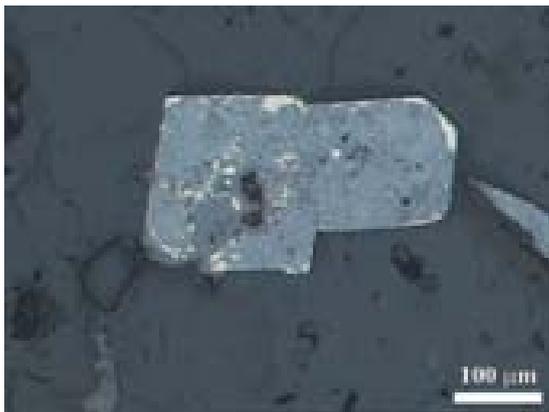


Figura 1. Pirita con Galena.

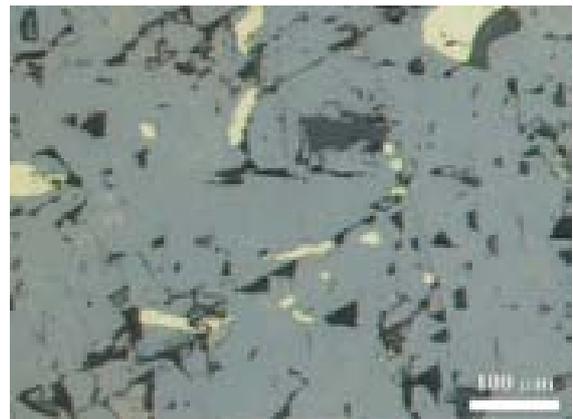


Figura 2. Enfermedad de la galena.



Figura 3. Esfalerita con luz transmitida.



Figura 4. Galena.

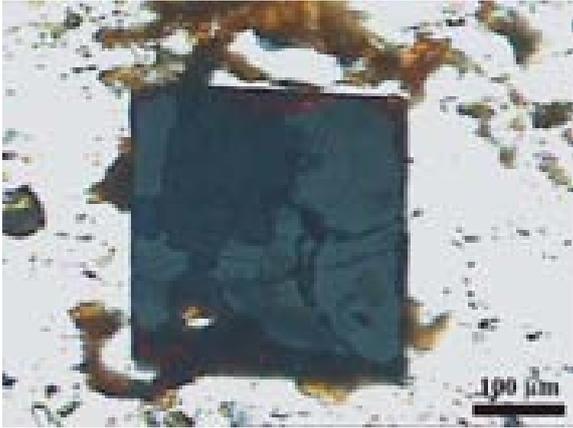


Figura 5. Pirita y Limonita.

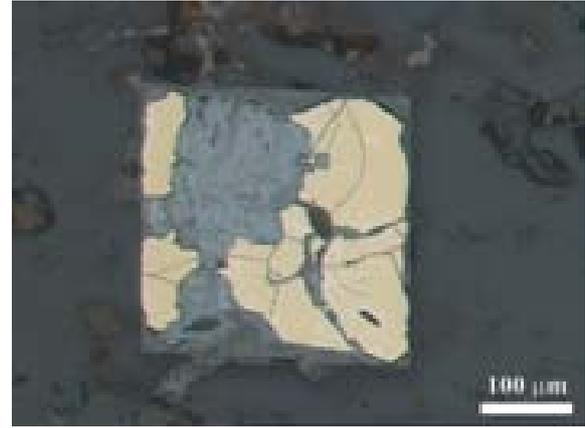


Figura 6. Pirita con Galena en luz reflejada.



Figura 7. Galena.



Figura 8. Hematita pseudomorfa.



Figura 9. Pirita con esfalerita.



Figura 10. Reflexiones internas de la esfalerita.

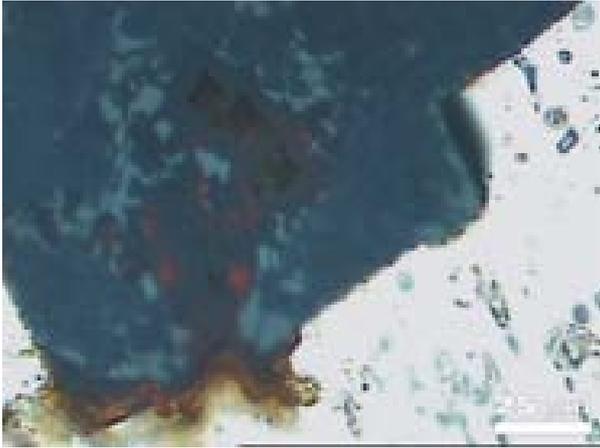


Figura 11. Hematita intercrecida con esfalerita en luz transmitida.

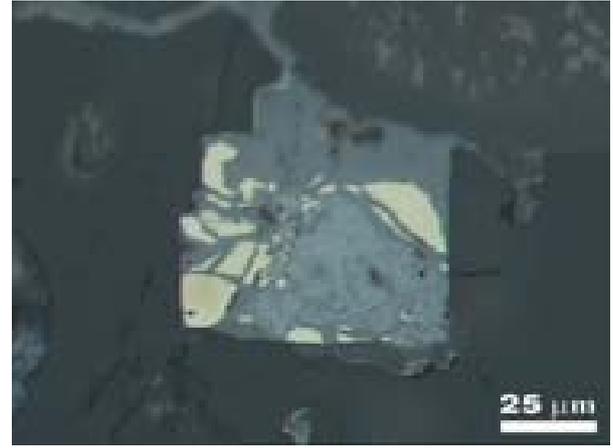


Figura 12. Pirita y esfalerita en luz reflejada.

MUESTRA E6-b

ZONA DE MINERALIZACIÓN



Minerales: Pirita, Esfalerita, Hematita, Galena, Calcopirita, Limonita, Coronadita.

Texturas:

Descripción: Se caracteriza por grandes cristales de calcopirita los cuales en muchas ocasiones parece estar reemplazando a la pirita. Encontramos relictos de galena la cual se ve sustituida por la sericita. En el caso de la esfalerita esta presenta la enfermedad de la calcopirita. Encontramos carbonatos, entre los que se encuentran calcita, malaquita, posiblemente azurita, hematita y limonita como alteraciones.

Se logra ver en mediana proporción un mineral de manganeso denominado coronadita la cual se logra distinguir debido a la fluorescencia. Como aspectos texturales se encuentran relictos de galena, así como cuarzo rellenando fracturas y bordes de los cristales de piritas. Asimismo se encuentra la Covelita que se presenta en los bordes de calcopiritas.

La Coronadita es un mineral de manganeso el cual presenta una especie de crucero y tiene un color gris obscuro y en ocasiones gris rojizo.

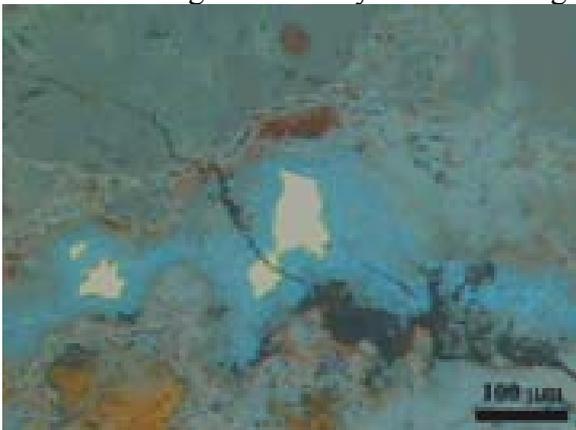


Figura 1. Pirita rodeada de covelita.

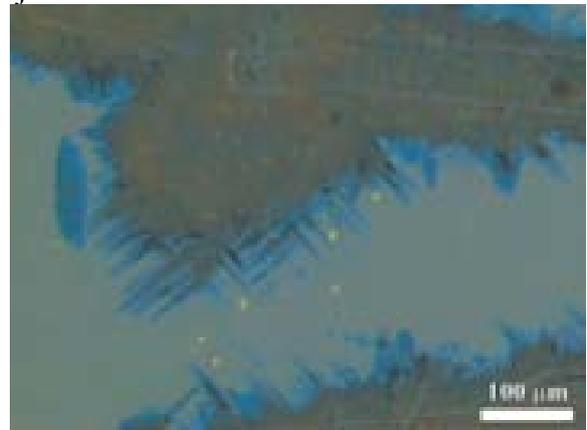


Figura 2. Detalle en covelita.



Figura 3. Galena.

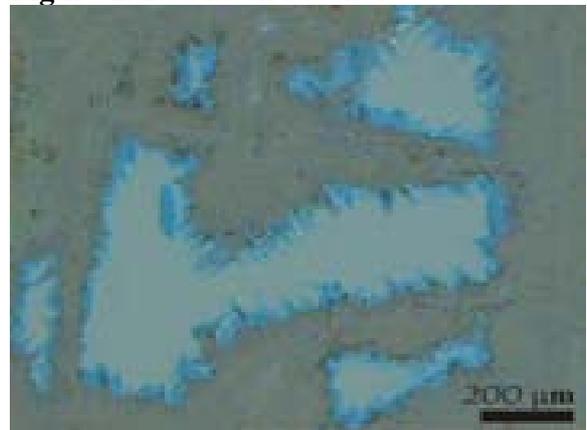


Figura 4. Esfalerita rodeada de Covelita.



Figura 5. Pirita fracturada rellena de esfalerita.



Figura 6. Galena y piritas.

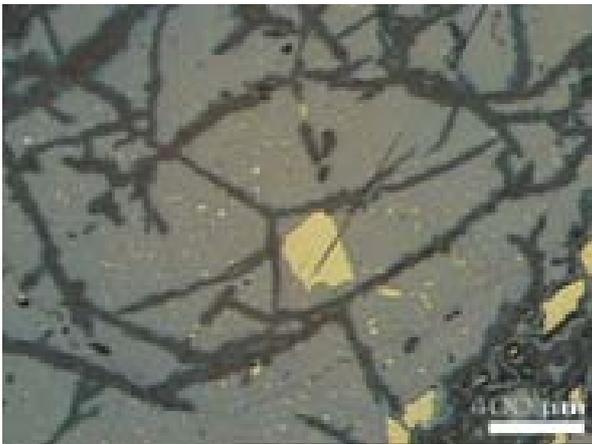


Figura 7. Pirita en esfalerita fracturada.



Figura 8. Galena, nótese crucero triangular.



Figura 9. Coronadita (centro), pirita (derecha), esfalerita (izquierda).

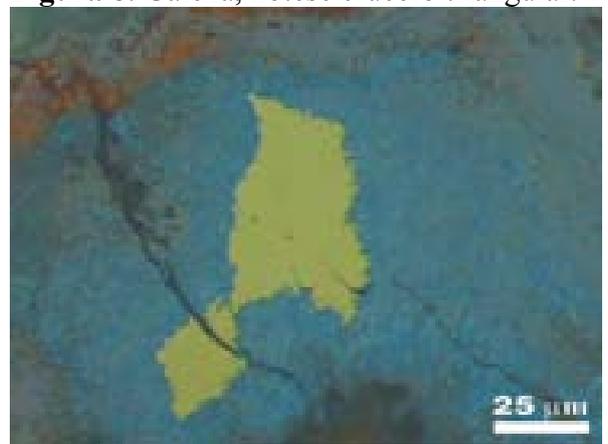


Figura 10. Pirita rodeada de covelita. En la esquina superior izquierda, limonita.

MUESTRA NPB-b

ZONA DE SKARN



Minerales: Pirita, Esfalerita, Hematita, Galena, Granate, Sheelita, Cuarzo, Stolzita, Clorita, Sericita y Limonita.

Texturas: Poikiloblástica.

Descripción: Lámina con textura poikiloblástica con Granates anhedrales a subhedrales.

Cuarzo en forma de mosaico, este es subhedral, algunos anhedrales, Se pueden apreciar bandas bien definidas de cristales finos, posiblemente son arcillas o clorita. Se presenta pirita sustituyendo parcialmente a la galena. Se observan características distintivas de la esfalerita entre ellas el color

amarillo que nos indica su composición rica en zinc. Hematita se encuentra en zona de alteración de la pirita.



Figura 1. Minerales orientados.

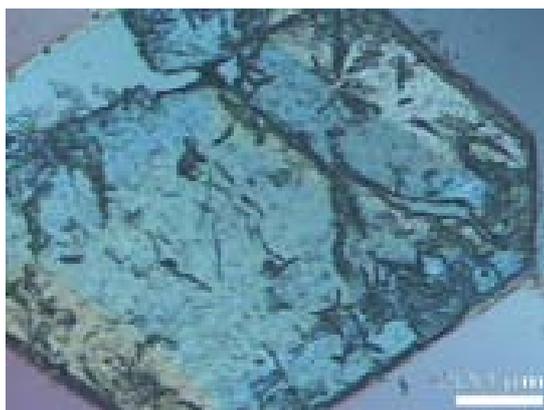


Figura 2. Anfíbol por medio de luz reflejada en nicols cruzados.

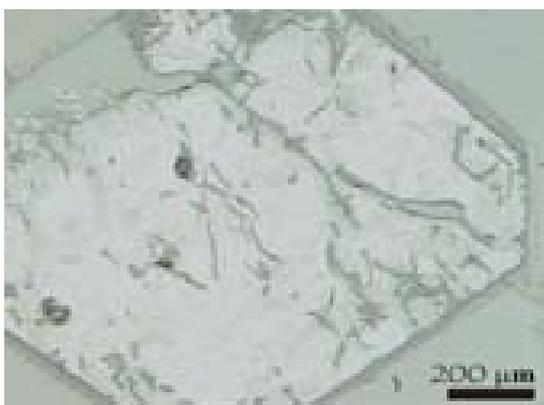


Figura 3. Anfíbol en luz reflejada.

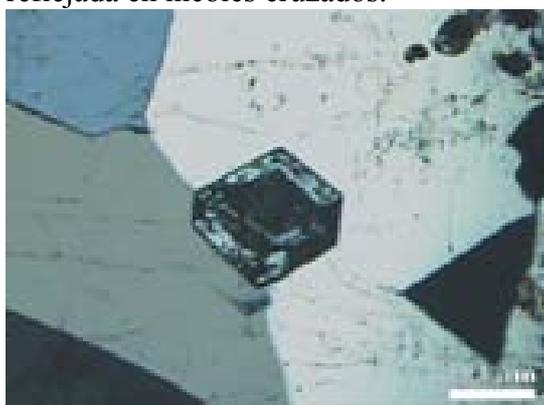


Figura 4. Anfíbol en luz transmitida con nicols cruzados.

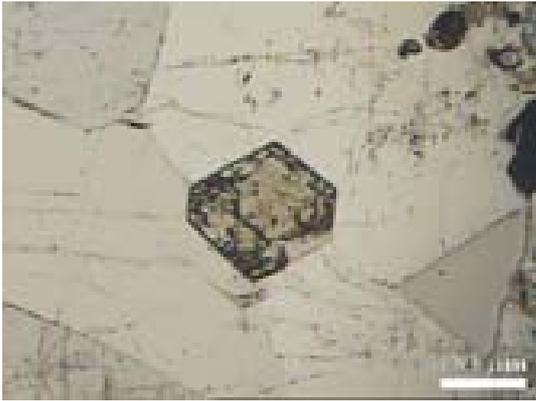


Figura 5. Anfíbol en luz reflejada.



Figura 6. Piritas alineadas.

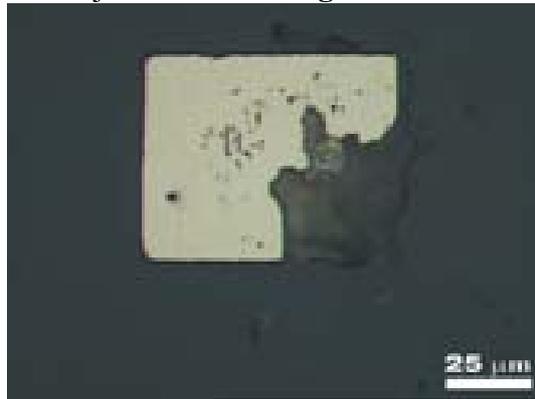


Figura 7. Pirita alterada.

MUESTRA NPB-d

ZONA DE SKARN



Minerales: Pirita, Esfalerita, Hematita, Calcita, Granate, Cuarzo y Clorita.

Texturas: Relleno de Fracturas, equigranular a inequigranular con partes aciculares.

Descripción: Esta lámina presenta calcita de gran tamaño en la que se ven los cruceros, con forma que va de subhedral a eudral. En el caso del cuarzo este se presenta anhedral y posiblemente fue posterior ya que rellena fracturas. La hematita es de gran tamaño, y de habito acicular. La forma de los granates van de eudrales a subhedralmente fracturados. Pirita se encuentra eudral y engolfada, lo que nos indica alteración. En esta distinguimos varias etapas de alteración ya que en algunas zonas esta se ve engolfada y en otras zonas completamente cúbica. La esfalerita es muy rica en zinc debido a su color amarillento. Hay poca esfalerita. Se puede apreciar una cloritización, la clorita toma formas de gusanos, así como, las convencionales.



Figura 1. Clorita en forma de gusanos.

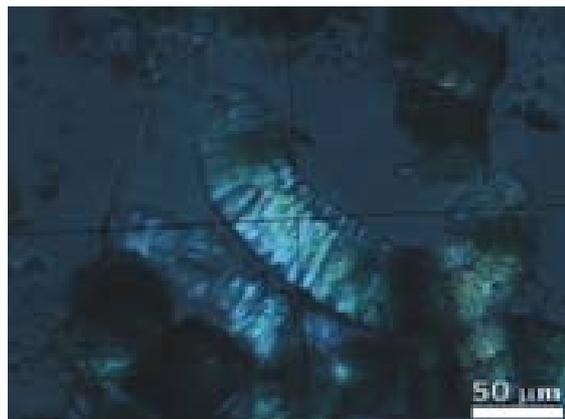


Figura 2. Clorita con nícoles cruzados.



Figura 3. Hematita con galena.

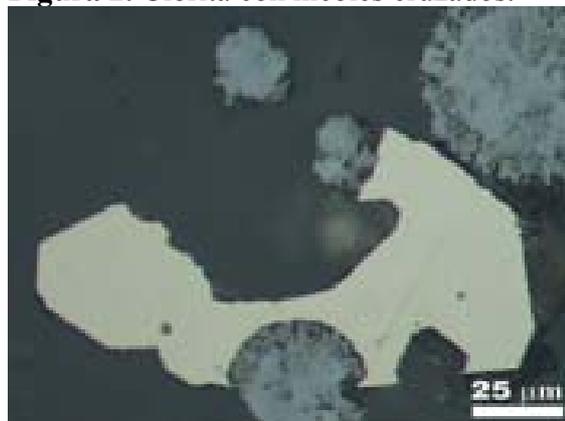


Figura 4. Pirita.



Figura 5. Hematita acicular con pirita.

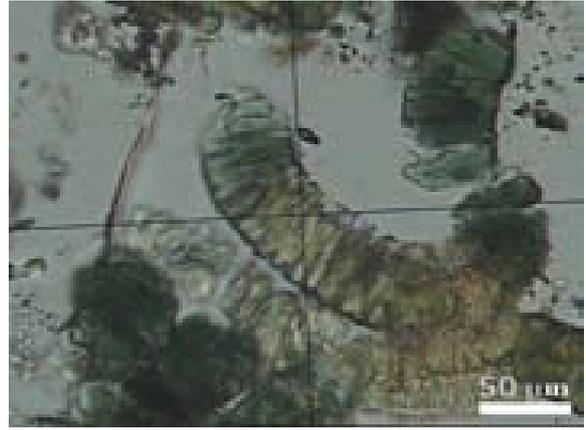


Figura 6. Clorita

MUESTRA NP1A-IF

ZONA DE SKARN



Minerales: Pirita, Hematita, Calcita, Granate, Clorita.

Texturas: Equigranular gruesa

Descripción: Está compuesta en su totalidad por cristales de granate que van de eudrales a anhedrales, a su vez estos se pueden encontrar enteros o fragmentados. Las fracturas se encuentran rellenas con calcita y hematita. Presenta cristales pequeños de esfalerita que se encuentran en fracturas.

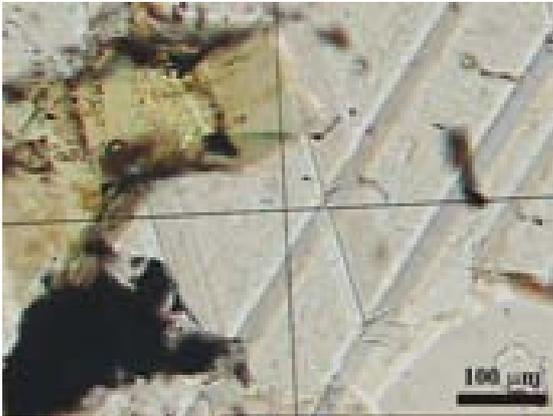


Figura 1. Crucero de la calcita.



Figura 2. Estructuras del granate con nicoles.

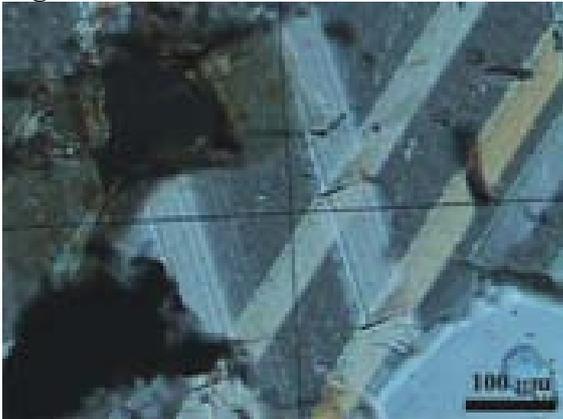


Figura 3. Crucero de la calcita con nicoles.

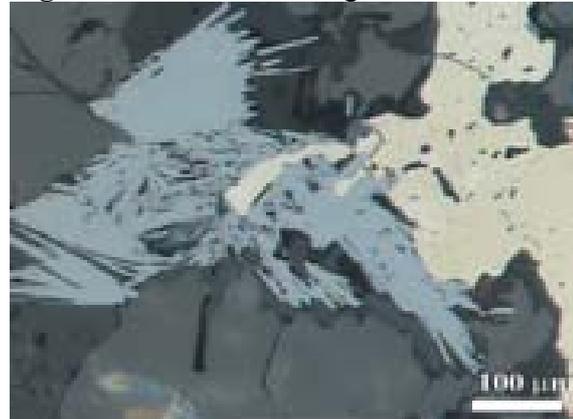


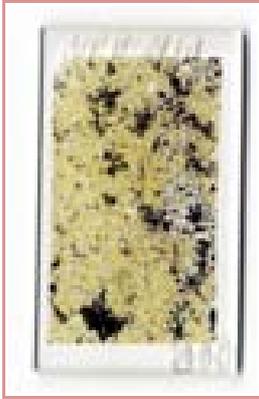
Figura 4. Hematita y pirita.



Figura 5. Pirita.

MUESTRA NPB-Min

ZONA DE SKARN



Minerales: Calcopirita, Limonita, Calcita, Hematita, Granate y Cuarzo.

Texturas:

Descripción: En esta laminas se ven cristales de granate que van de eudrales fragmentados a anhedrales, estos en algunas partes presentan cloritización en forma de gusanos y en la forma convencional. Tenemos calcita o hematita en las fracturas. En algunas zonas tenemos la presencia de cuarzo, este se puede confundir con otro mineral debido a las características comunes

que caracterizan a este mineral, sin embargo, debido a las características este es un cuarzo.

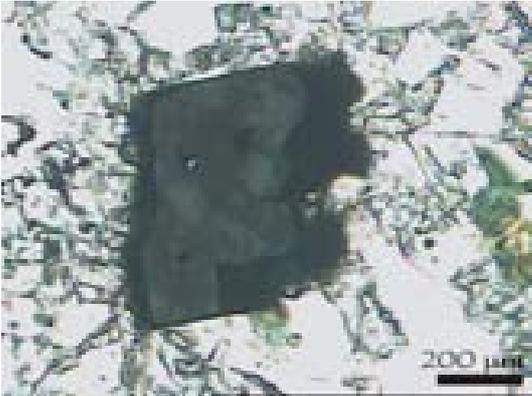


Figura 1. Calcopirita en luz transmitida.

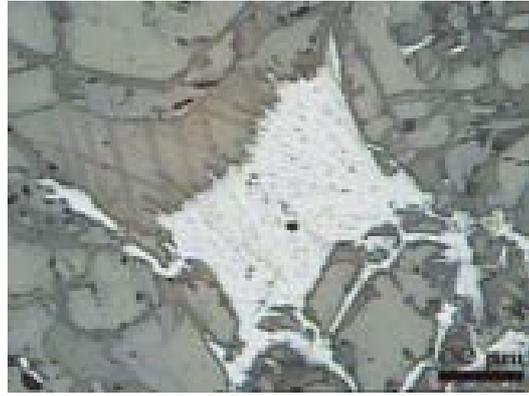


Figura 2. Hematita(derecha) con calcita (izquierda), nótese el crucero.



Figura 3. Pirita con Hematita.



Figura 4. Hematita Acicular.

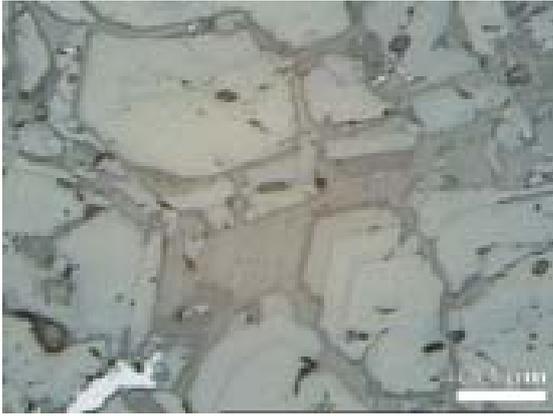


Figura 5. Granates en luz reflejada.

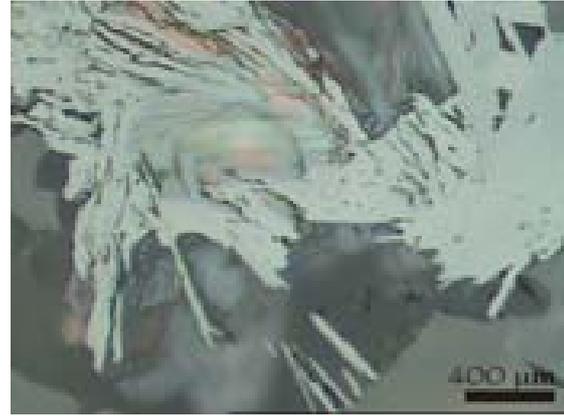


Figura 6. Hematita.



Figura 7. Hematita

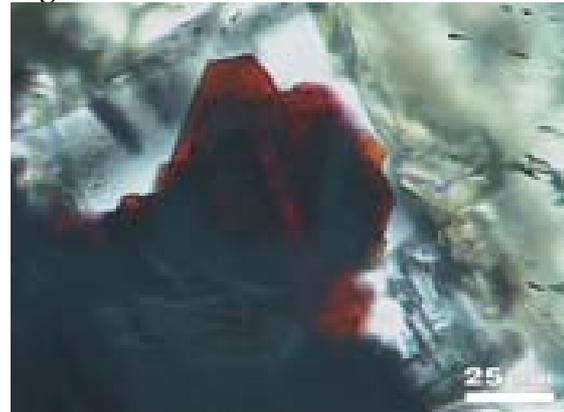


Figura 8. Hematita con luz transmitida.



Figura 9. Pirita.

MUESTRA MSP-IF

ZONA DE SKARN



Minerales: Galena, Esfalerita, Pirita, Clorita, Hematita y Granate.

Texturas: Mosaico

Descripción: Esta lámina presenta granates que van de formas euedrales a anhedrales muy fracturados y en parte cloritizados. Vetillas llenas de calcita y hematita con pequeños cristales de esfalerita y pirita. Se pueden apreciar muchas inclusiones y la lámina es atravesada por una fractura.

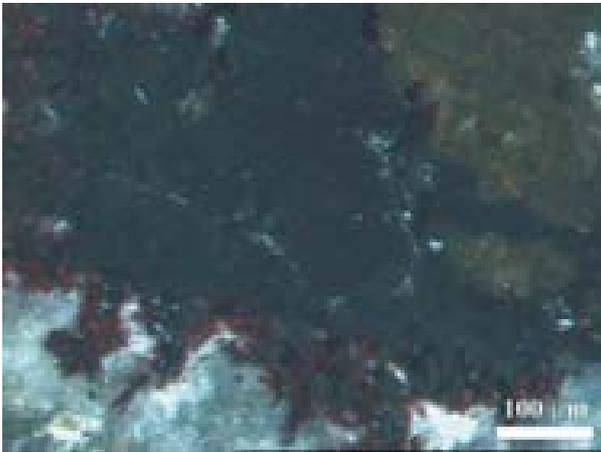


Figura 1. Esfalerita (arriba), Galena (en medio) y hematita (abajo).

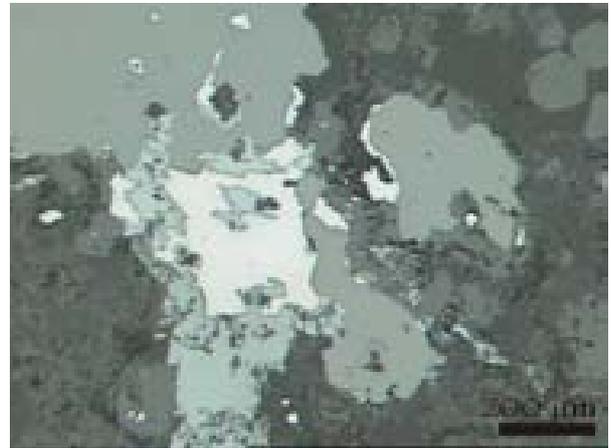


Figura 2. Esfalerita y Galena.

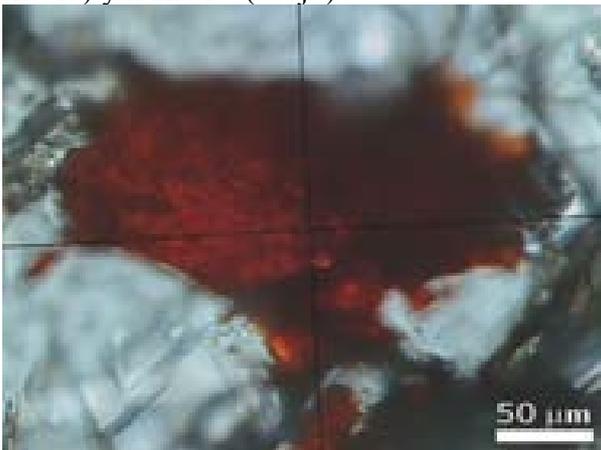


Figura 3. Hematita en luz transmitida.

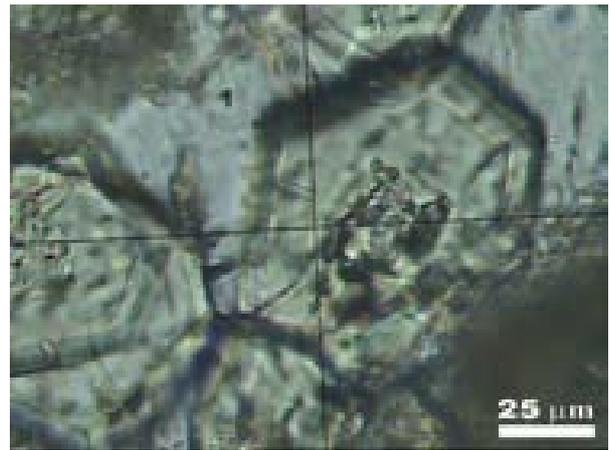


Figura 4. Granate.



Figura 5. Corte transversal granate.

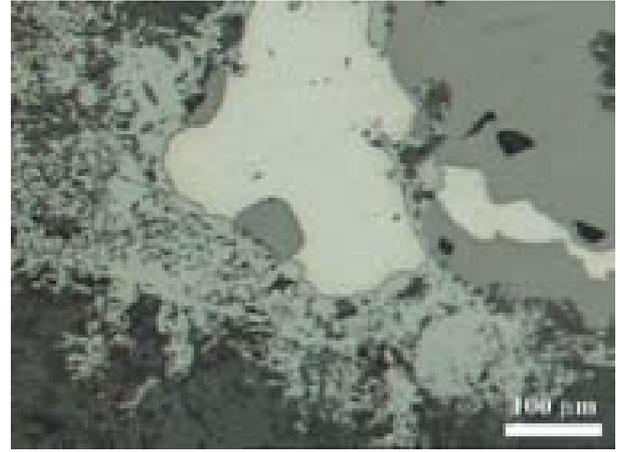


Figura 6. Esfalerita (derecha), Galena (centro) y Hematita (acicular).

MUESTRA E12-a

ZONA DE CONTACTO ENTRE MARMOLES E INTRUSIVO.



Minerales: Esfalerita y Pirita

Texturas: Felsofírica

Descripción: Esta compuesta de anfíboles, plagioclasas y hay una matriz muy fina de silicatos.

Debido a su mineralogía se puede clasificar como andesita.

Se observan cristales eudrales engolfados. Los anfíboles presentan cloritización además de presentar una fractura rellena de cuarzo.

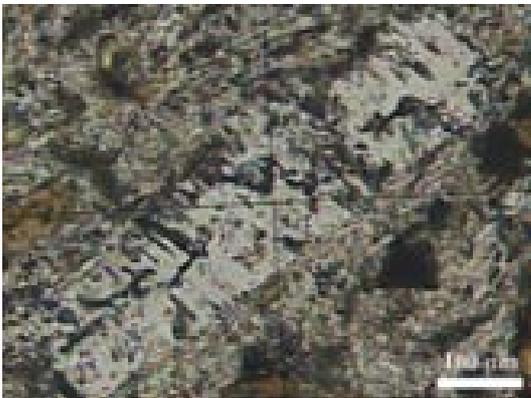


Figura 1. Piroxeno alterado.

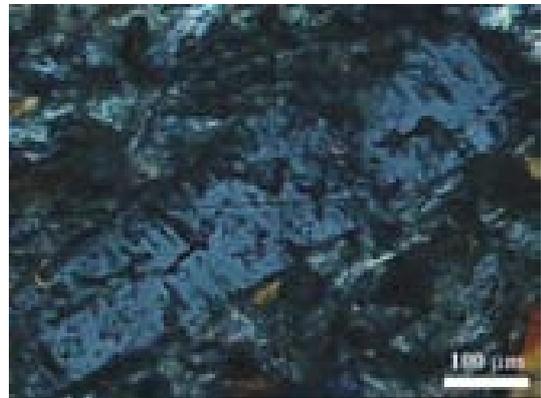


Figura 2. Mismo piroxeno con nicoles.

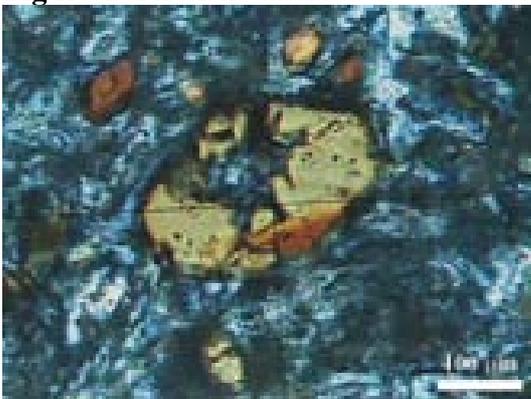


Figura 3. Anfíbol alterándose.



Figura 4. Anfíbol con su figura característica.

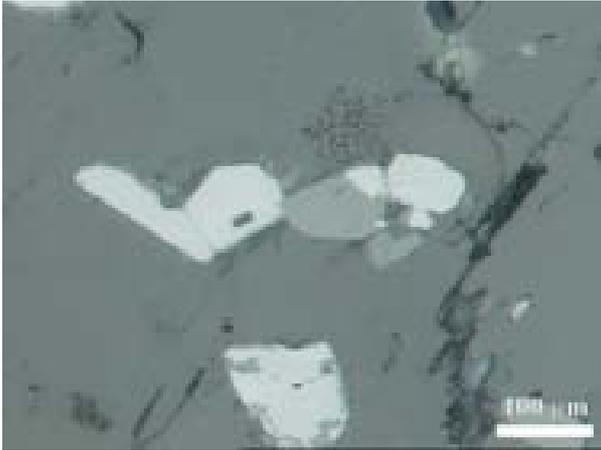


Figura 5. Galena con esfalerita.

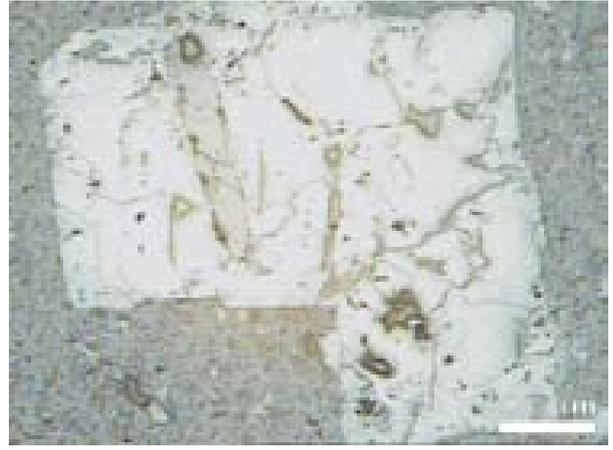


Figura 6. Piroxeno con luz reflejada.

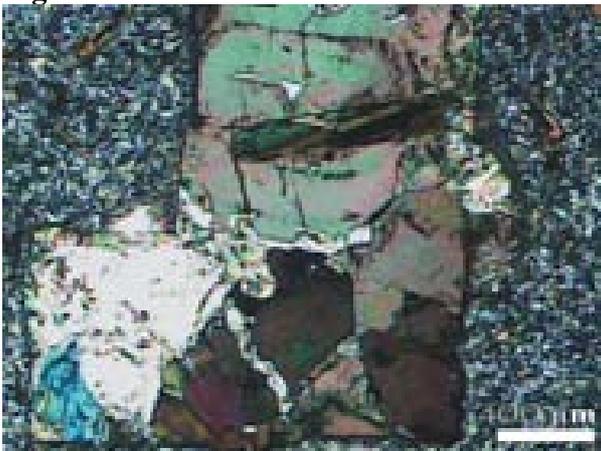


Figura 7. Piroxeno en corte transversal con luz transmitida polarizada intercreciendo con otro piroxeno.

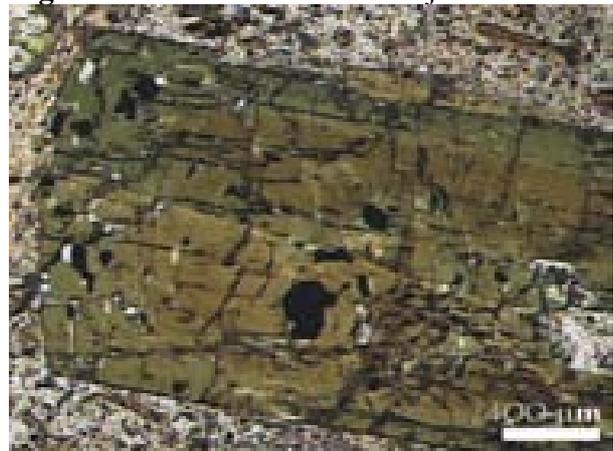


Figura 8. Detalle del Piroxeno más pequeño.



Figura 9. Cuarzo con hematita (rojo).

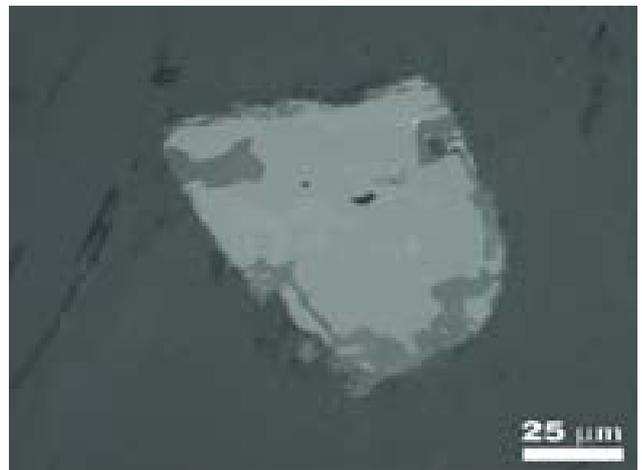


Figura 10. Galena y esfalerita.

MUESTRA E5-a

ENDOSKARN



Minerales: Esfalerita, Plagioclasa, Calcita, Titanita, Ilmenita, Calcedonia, Limonita, Sericita y Hornblenda.

Texturas: Felsofírica

Descripción: Presenta una textura felsofírica. Contiene anfíboles que parecen ser hornblendas que se encuentran cloritizadas y son anhedrales fragmentadas, en algunas ocasiones las cloritas preservan la forma de los anfíboles. Las plagioclasas se encuentran muy alteradas a sericita. Encontramos calcita. Identificamos esfaleritas, goetitas y apatitos que se encuentran dispersos en la muestra.

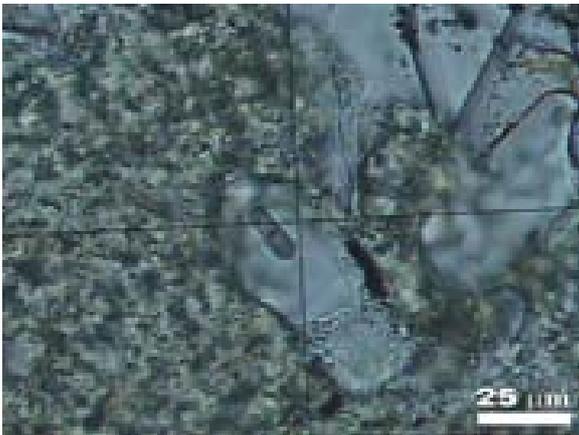


Figura 1. Sericita.

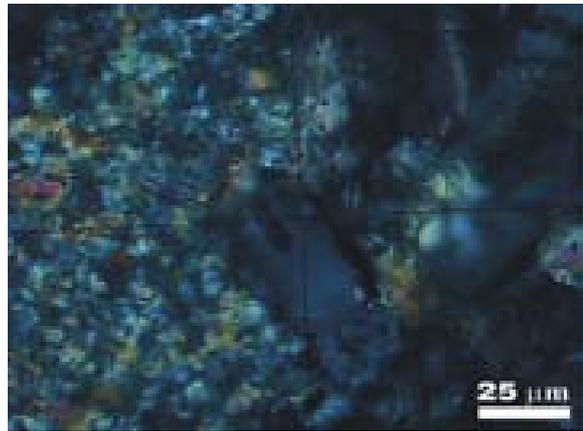


Figura 2. Sericita con nícoles cruzados.



Figura 3. Esfalerita.

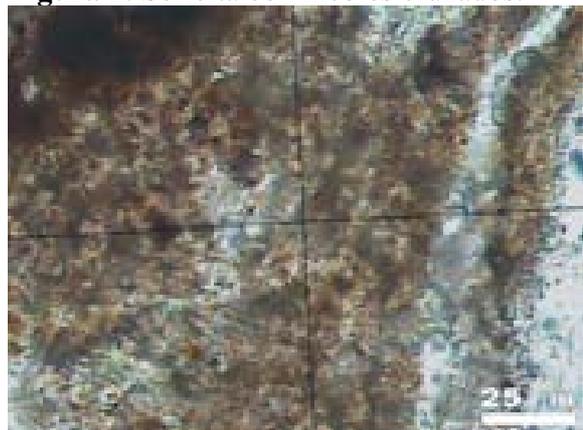


Figura 4. Limonita.

MUESTRA E12-b

ZONA DE CONTACTO ENTRE MARMOLES E INTRUSIVO.



Minerales: Pirita, Plagioclasa, Epidota y Hornblenda.

Texturas: Felsofírica

Descripción: Presenta una textura felsofírica. Contiene anfíboles que parecen ser hornblendas que se encuentran cloritizadas y son anhedrales fragmentadas, en algunas ocasiones las cloritas preservan la forma de los anfíboles. Las plagioclasas se encuentran muy alteradas a sericita. Encontramos calcita e identificamos esfaleritas, goetitas y apatitos que se encuentran dispersos en la muestra.

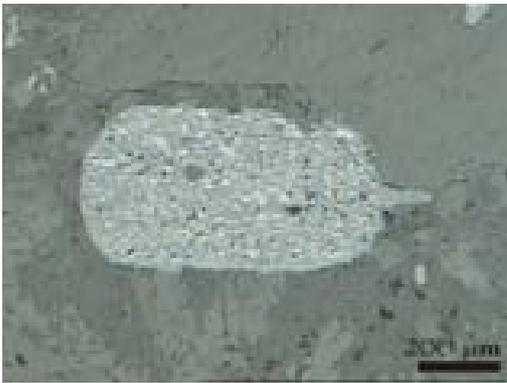


Figura 1. Esfalerita y Galena.

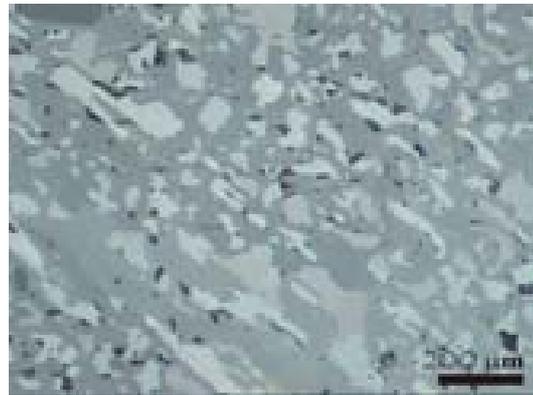


Figura 2. Detalle Galena (blanco) y esfalerita (gris oscuro).

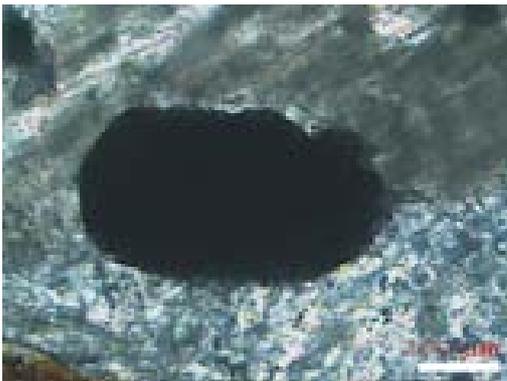


Figura 3. Esfalerita con luz transmitida.



Figura 4. Piroxeno en minerografía.

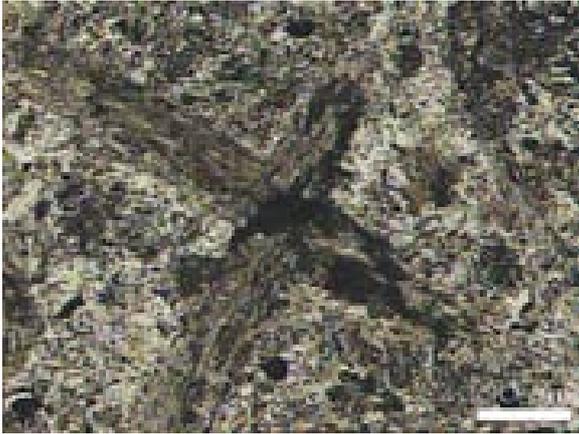


Figura 5. Piroxeno en petrografía.



Figura 6. Detalle Piroxeno.



Figura 7. Pirita.



Figura 8. Pirita.



Figura 9. Pirita.

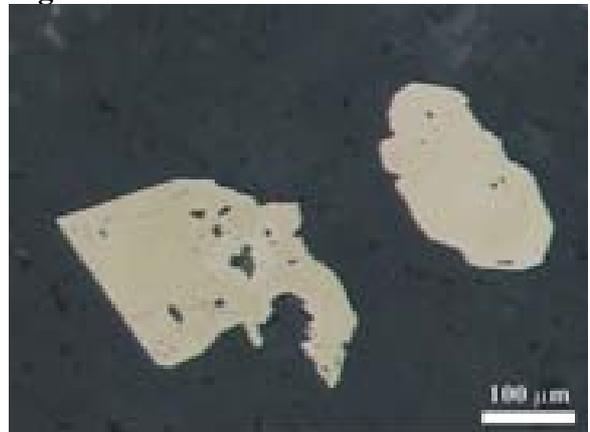


Figura 10. Piritas.

MUESTRA E14-a

ZONA DE CONTACTO ENTRE MARMOLES E INTRUSIVO.



Minerales: Esfalerita, Granate, Calcita, Titanita, Ilmenita, Anfíboles y Calcopirita.

Texturas: Gleucoxeno

Descripción: Roca que presenta anfíboles y granates muy alterados, calcopiritas, esfaleritas, ilmenitas alterándose a titanitas y calcitas. Presenta una textura propia de los skarns llamada gleucoxeno, el cual se puede ver en la imagen no. 1 del microscopio electrónico. En algunas partes parece haber sericitización y cloritización.



Figura 1. Titanita con Ilmenita en nícoles cruzados.

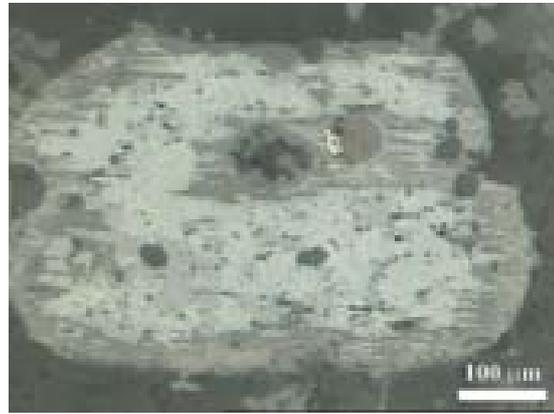


Figura 2. Titanita con Ilmenita sin nícoles.

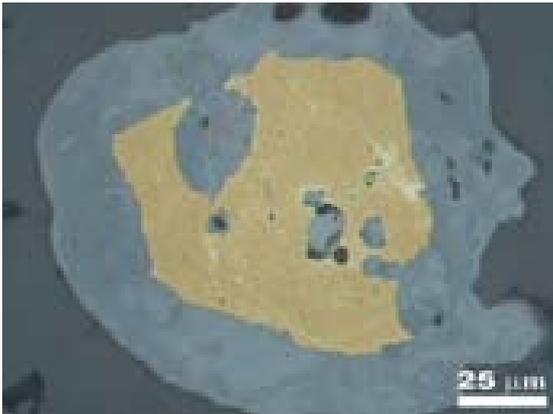


Figura 3. Pirita con borde de alteración.



Figura 4. Pirita.

MUESTRA E5b-Ig

INTRUSIVO



Minerales: Esfalerita, Anfíboles, Plagioclasas, Cuarzo, Esfalerita, Epidota, Clorita, Calcita y Apatito.

Texturas: Felsofírica

Descripción: Roca andesítica la cual presenta en su mayoría anfíboles de poco tamaño y muy alterados al igual que las plagioclasas. Podemos ver cuarzo, esfalerita, epidota, clorita y calcita. Se considera como un pórfido cloritizado. En esta lámina podemos encontrar minerales retrógrados.

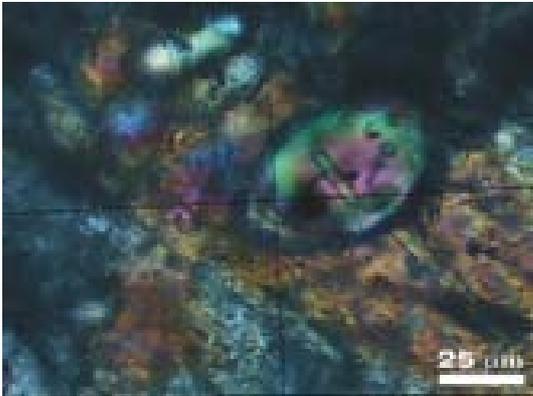


Figura 1. Calcita con apatito adentro.



Figura 2. Calcita sin nícoles.

MUESTRA U5b-1 antes Vsb-1

INTRUSIVO



Minerales: Vesuvianita, Epidotas, Clorita, Limonita, Hematita y Grosularia

Texturas: Textura de alteración, arcillosa.

Descripción: Esta lámina presenta limonitas, cloritas redondas, granates calcosilicatados, epidotas, hematitas, se pueden observar muchas inclusiones fluidas en min-1. También podemos observar muchos espacios vacíos.



Figura 1. Granate, Grosularia.

MUESTRA E15-a

INTRUSIVO



Minerales: Hematita, Calcita, Granate, Esfalerita, Piritas.

Texturas: De alteración, Arcillas.

Descripción: Anfíboles alterados, hematita, calcita, relictos de granates, esfaleritas cúbicas de color rojo, piritas. Muestra muy arcillosa

Análisis por medio de Difracción de Rayos X.

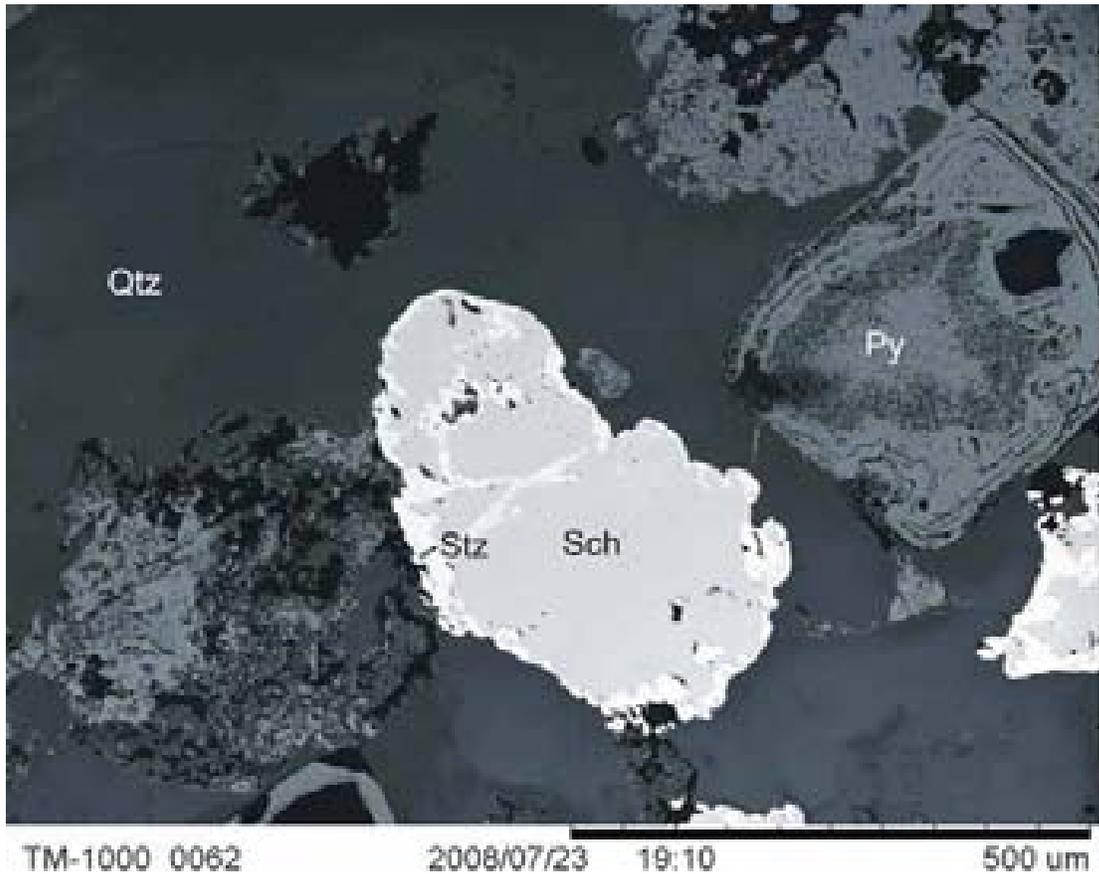
A2. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA

Muestra E2-a

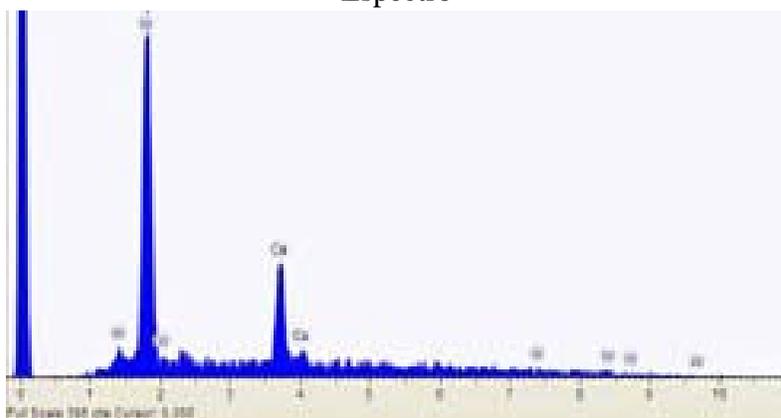
Roca: zona de oxidación (sobre la mineralización)

Mineralogía: Shelita, Cuarzo, Pirita y Stolzita.

Texturas: De alteración

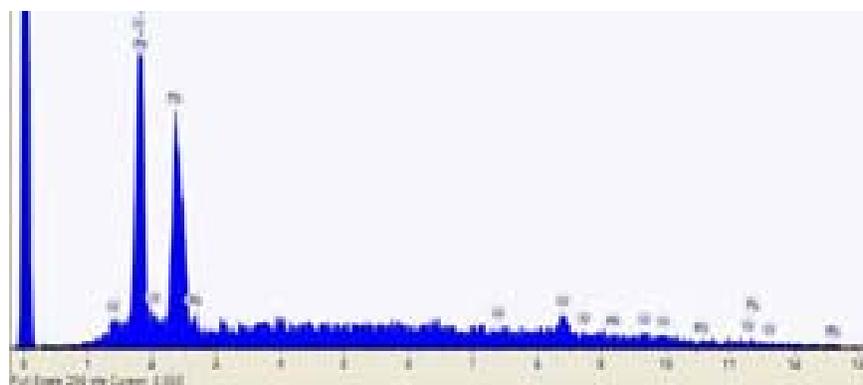


Espectro



Shelitta

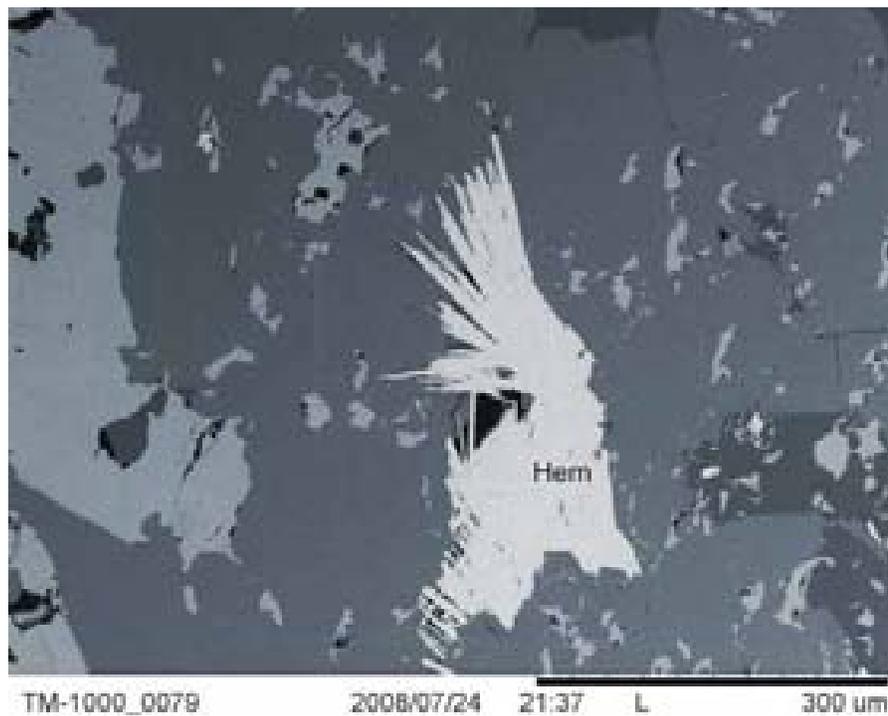
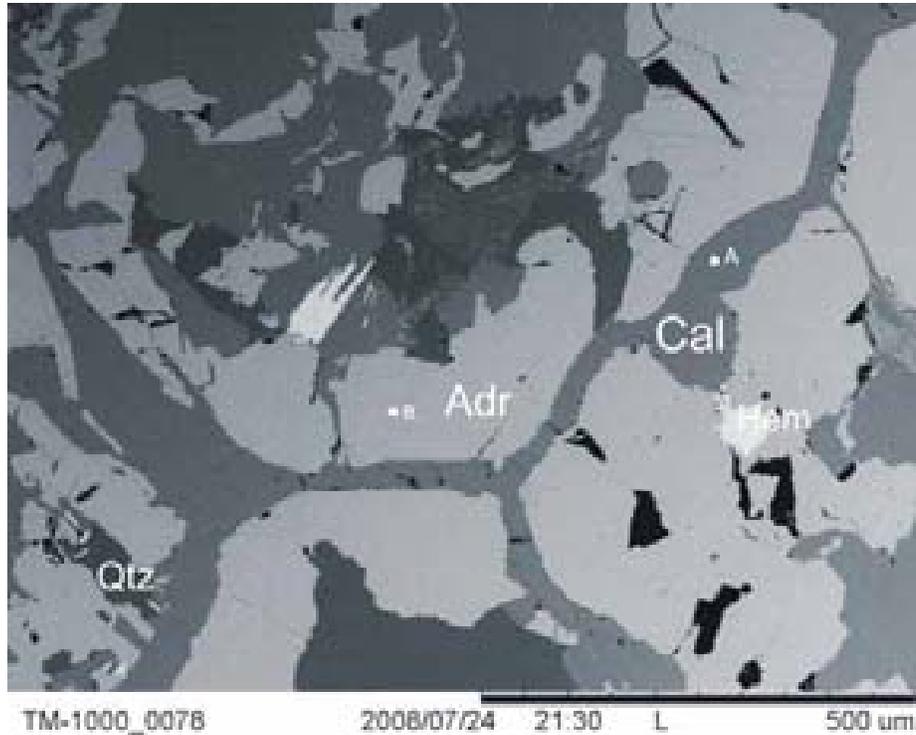
Elemento	% peso
Calcio	17
Tungsteno	83

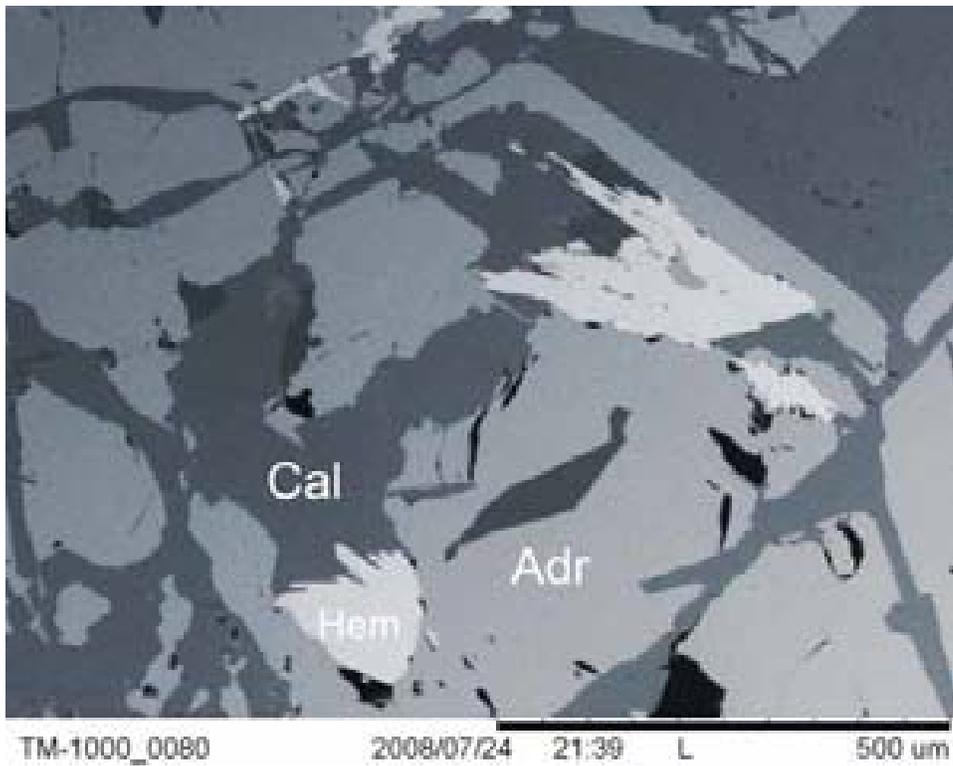


Stolzita

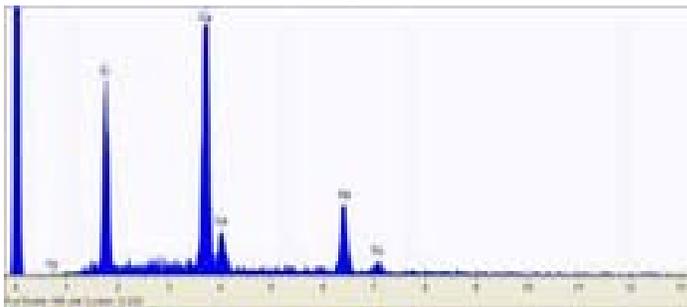
Elemento	% peso
Tungsteno	50
Plomo	50

Muestra NPB min.
Roca: Skarn
Mineralogía: Hematita, Andradita, Calcita y Cuarzo
Textura: Remplazamiento



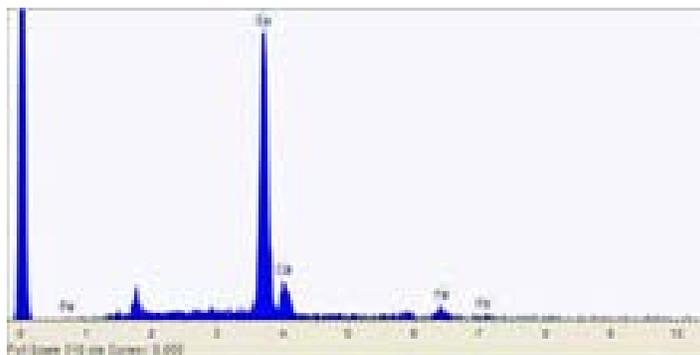


Espectro



A

Elemento	% peso
Silicio	18.7
Calcio	42.5
Hierro	38.8



B

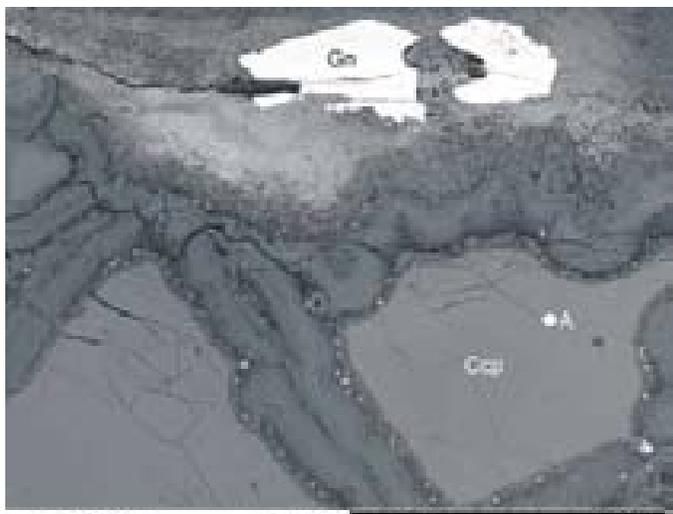
Elemento	% peso
Calcio	90.6
Hierro	9.4

Muestra E6 b

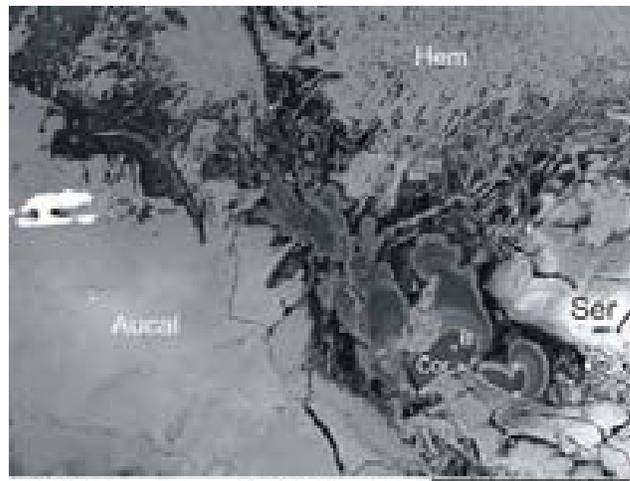
Roca: zona de mineralización

Mineralogía: Galena, Calcopirita, Auricalcita, Hematita, Cerucita, Coronalita

Textura: Alteración



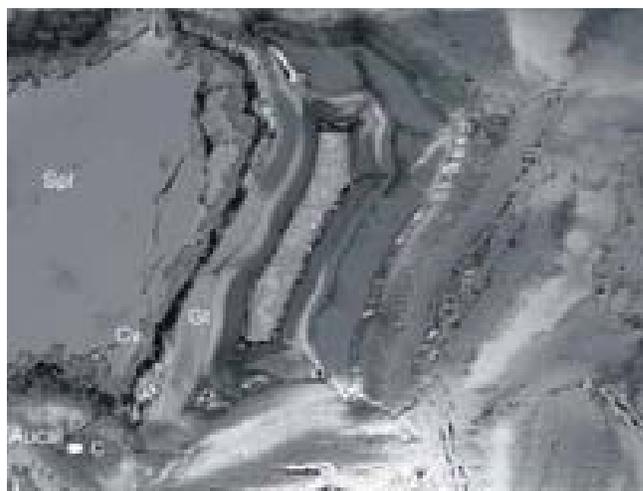
TM-1000_0030 2008/06/25 19:17 300 µm



TM-1000_0005 2008/07/23 20:01 100 µm

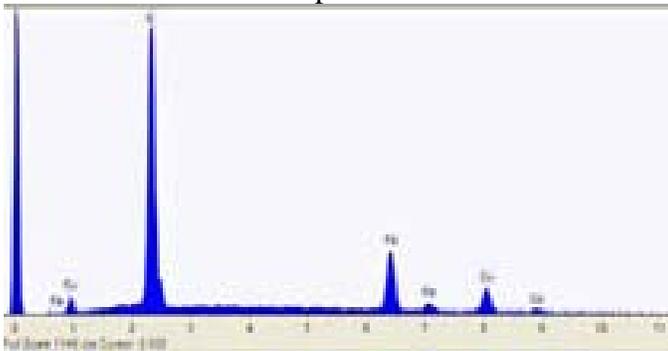


TM-1000_0006 2008/07/23 20:02 50 µm



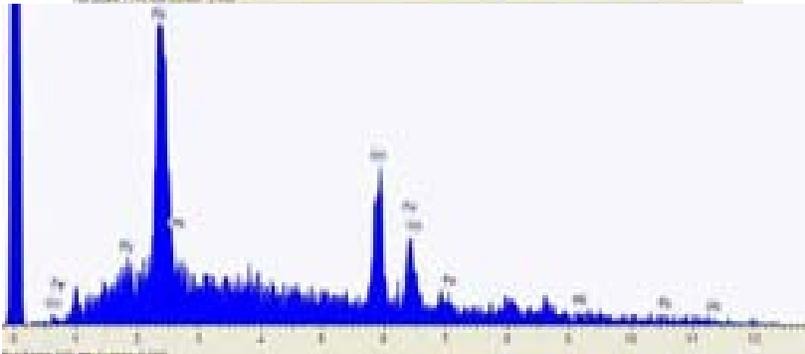
TM-1000_0008 2008/07/23 20:23 100 µm

Espectro



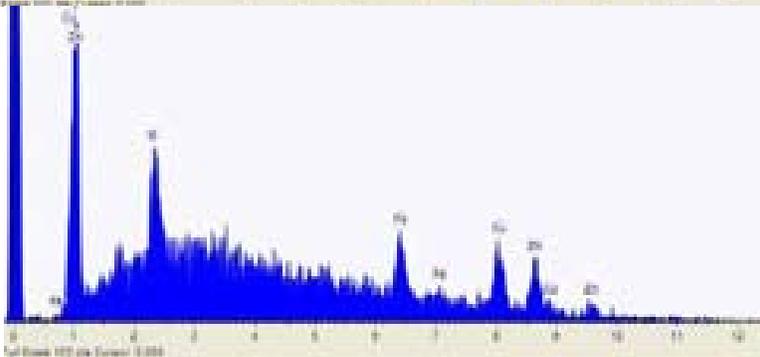
A

Elemento	% peso
Azufre	40.3
Hierro	39.4
Cobre	20.2



B

Elemento	% peso
Manganeso	33.3
Hierro	16.2
Plomo	50.4



C

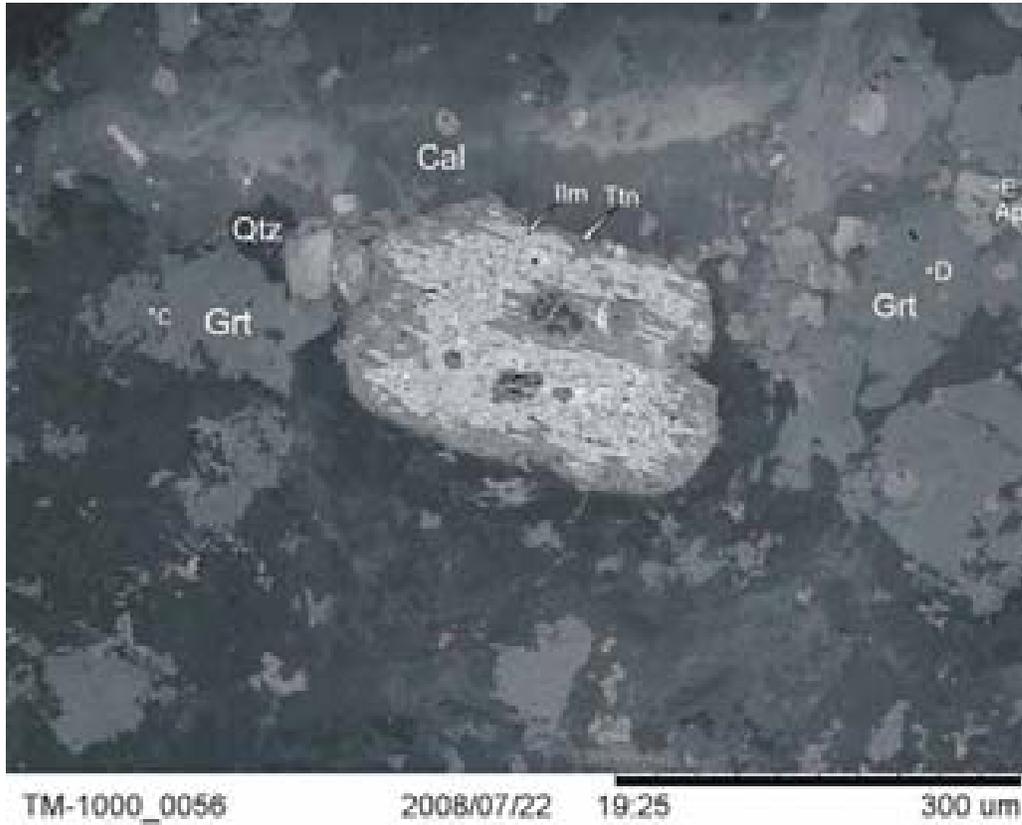
Elemento	% peso
Azufre	3.6
Hierro	11
Cobre	23
Zinc	62.4

Muestra E14 a

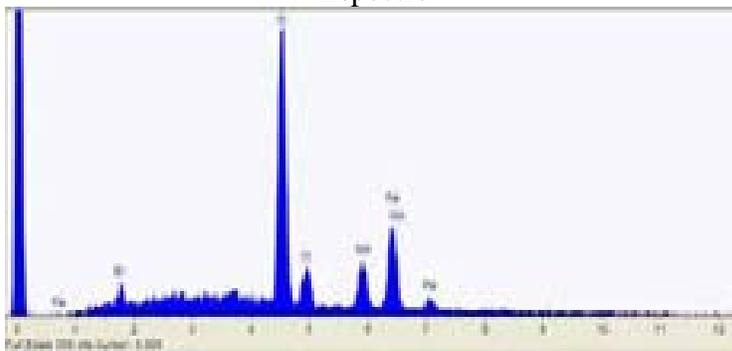
Roca: zona de contacto entre marmoles e intrusivo.

Mineralogía: Titanita, Ilmenita, Granates, Calcita, Cuarzo y Apatito

Textura: alteración

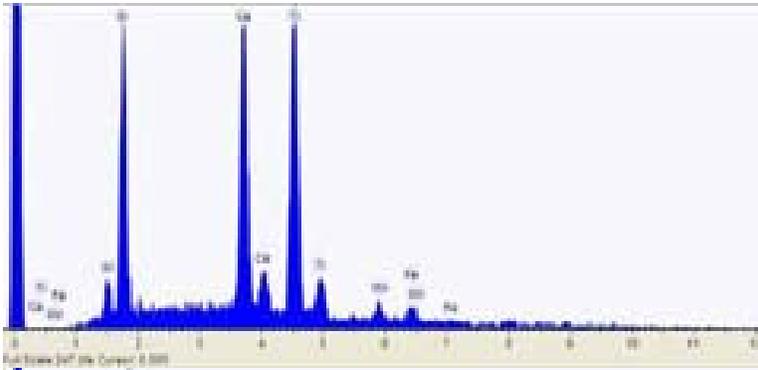


Espectro



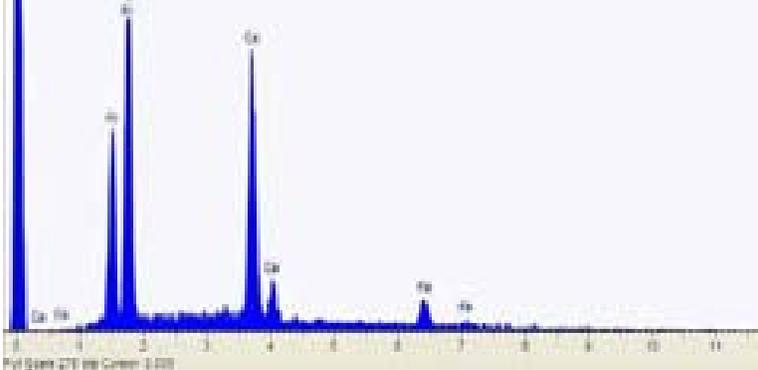
A

Elemento	% peso
Silicio	1.5
Titanio	50.4
Manganeso	14.7
Hierro	33.5



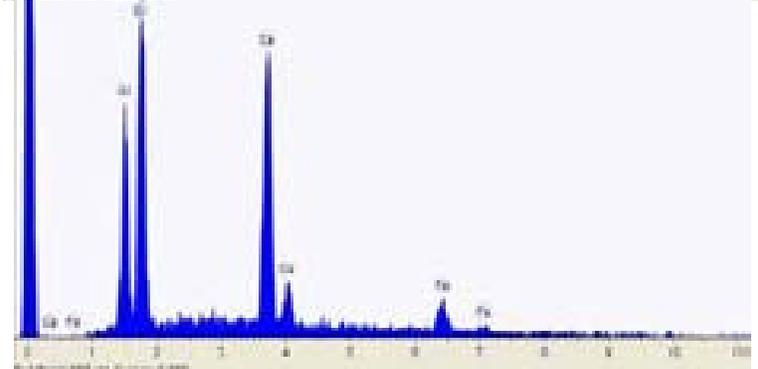
B

Elemento	% peso
Aluminio	2.3
Silicio	15.8
Calcio	26
Titanio	46.5
Manganeso	4.4
Hierro	5



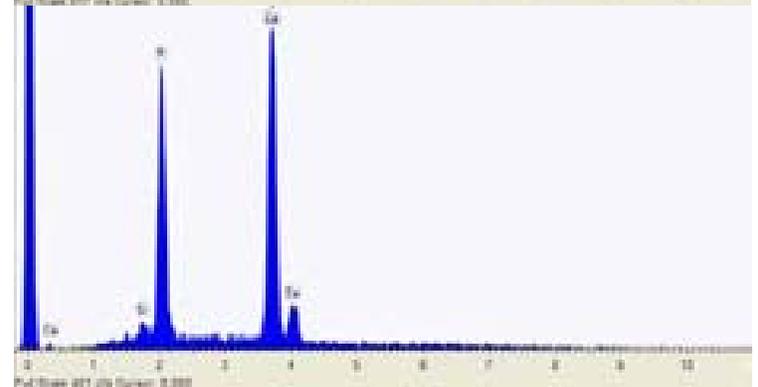
C

Elemento	% peso
Aluminio	17.1
Silicio	30.6
Calcio	38.4
Hierro	13.9



D

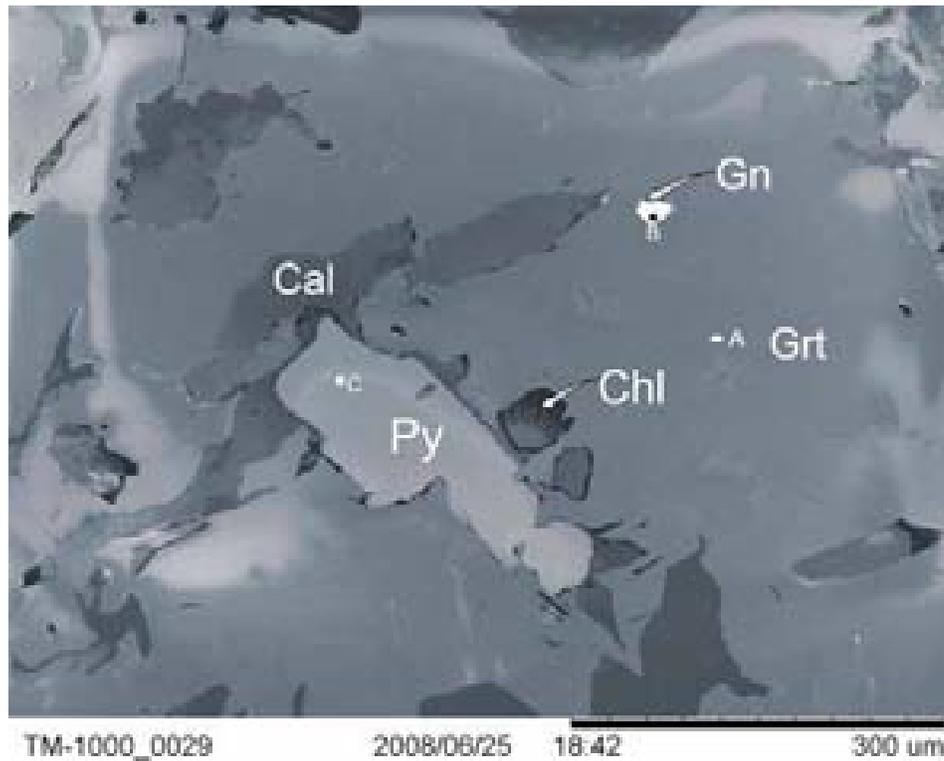
Elemento	% peso
Aluminio	16.6
Silicio	29
Calcio	39.8
Hierro	14.6



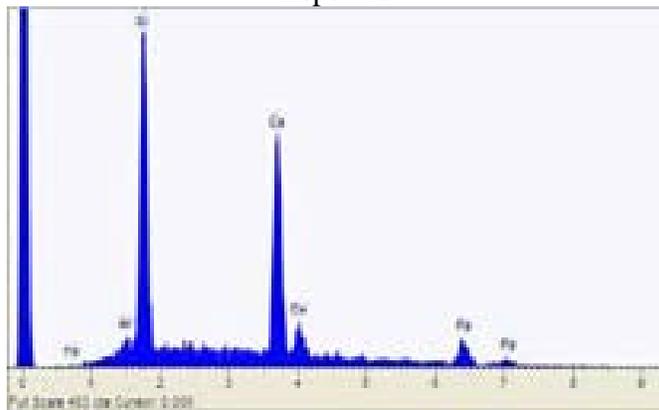
E

Elemento	% peso
Silicio	1.8
Fosforo	32.1
Calcio	66.1

Muestra NP 1-A IF
 Roca: Skarn
 Mineralogía: Pirita, Galena, Granate, Cloritas y Calcita
 Textura: remplazamiento

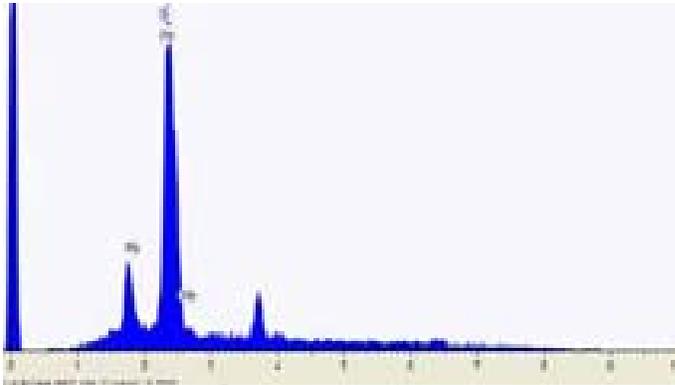


Espectro



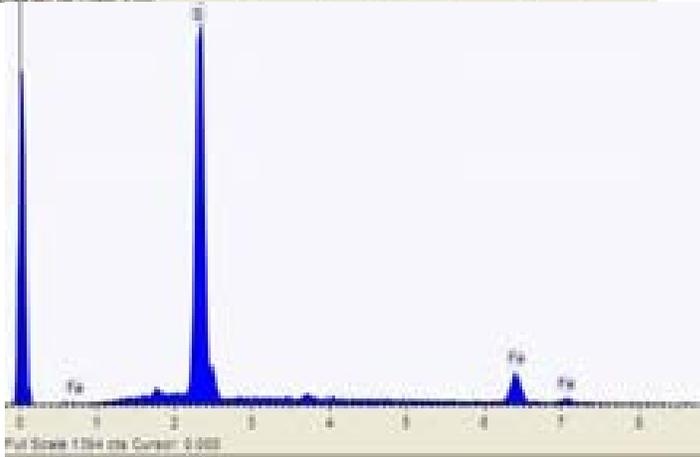
A

Elemento	% peso
Aluminio	1.3
Silicio	39.2
Calcio	44.2
Hierro	15.4



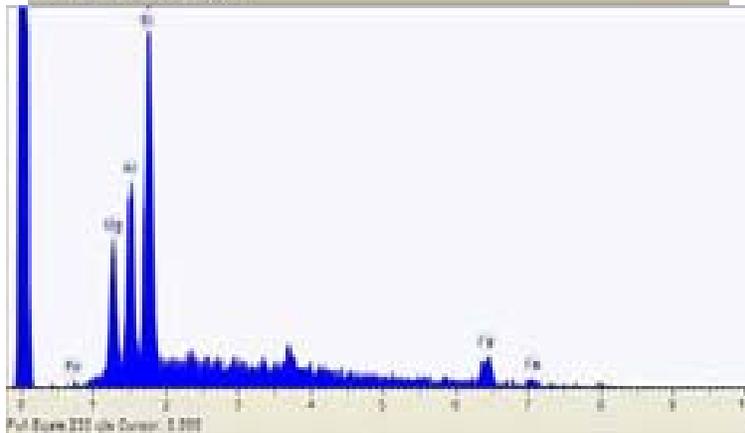
B

Elemento	% peso
Azufre	14.6
Plomo	85.4



C

Elemento	% peso
Azufre	72.4
Hierro	27.6



D

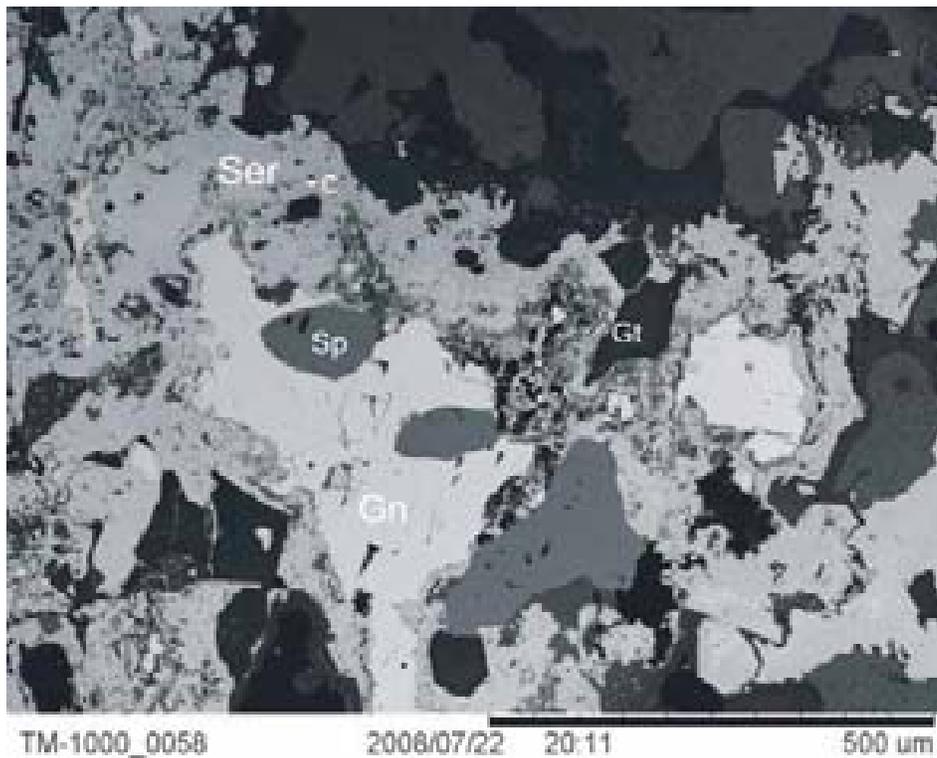
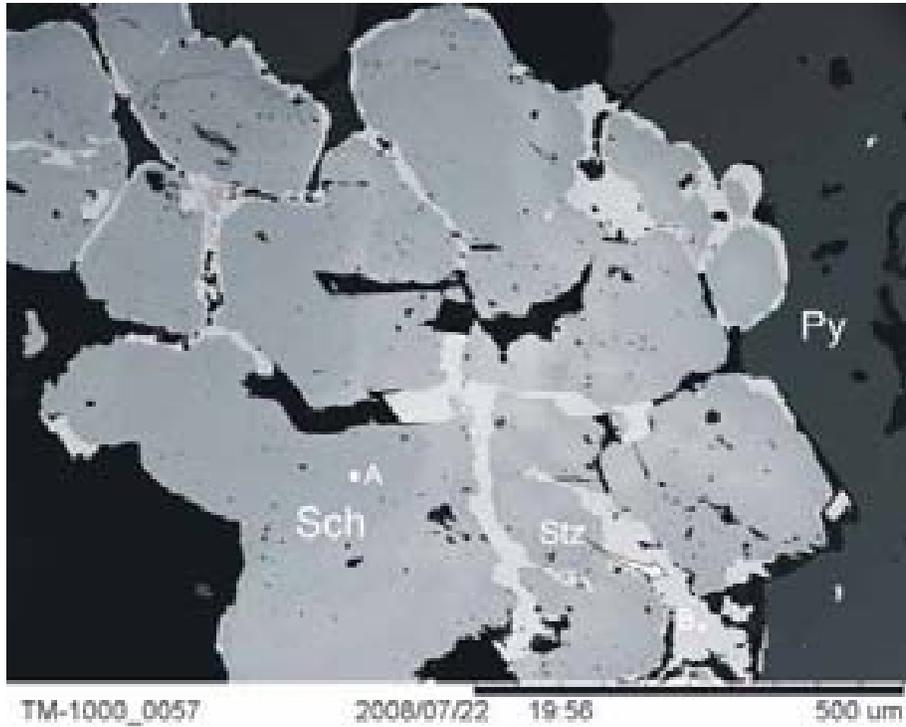
Elemento	% peso
Magnesio	15.3
Aluminio	22
Silicio	45.6
Hierro	17.1

Muestra NP-B b

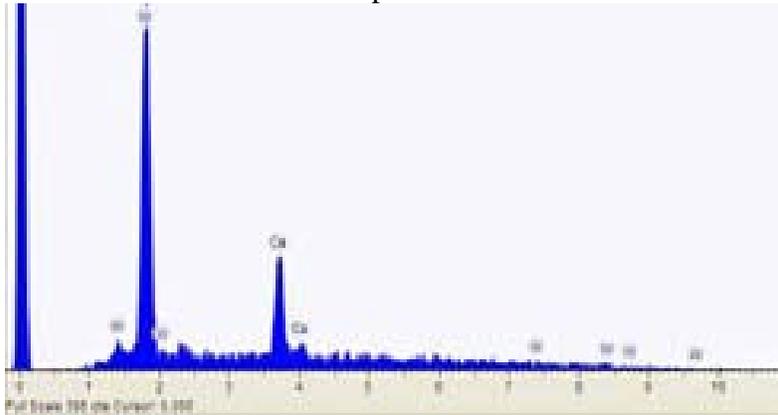
Roca: Skarn

Mineralogía: Pirita, Schelita, Stolzita, Sericita, Esfalerita, Goetita y Galena

Textura: Alteración

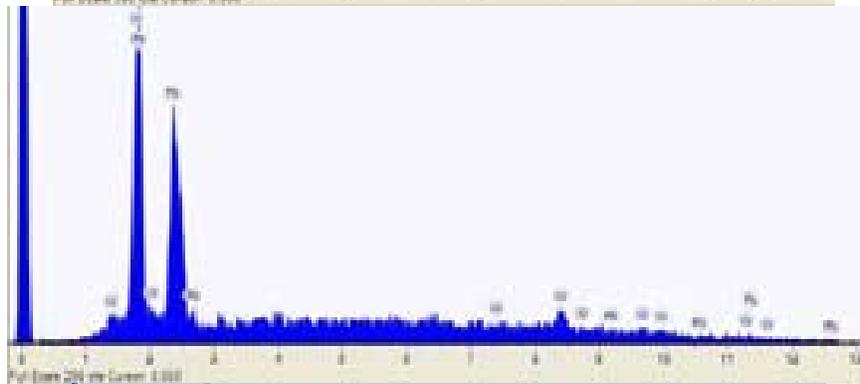


Espectro



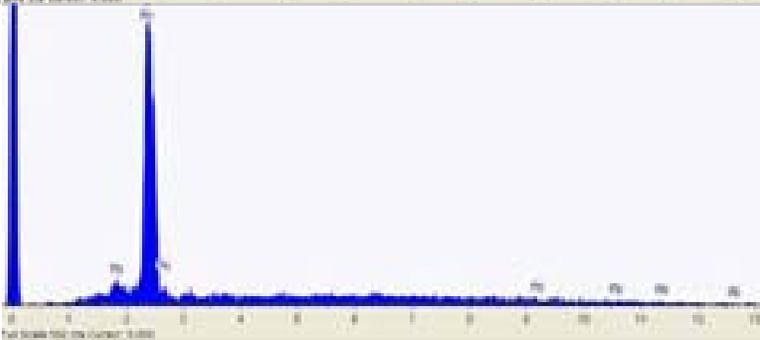
A

Elemento	% peso
Calcio	17
Tungsteno	83



B

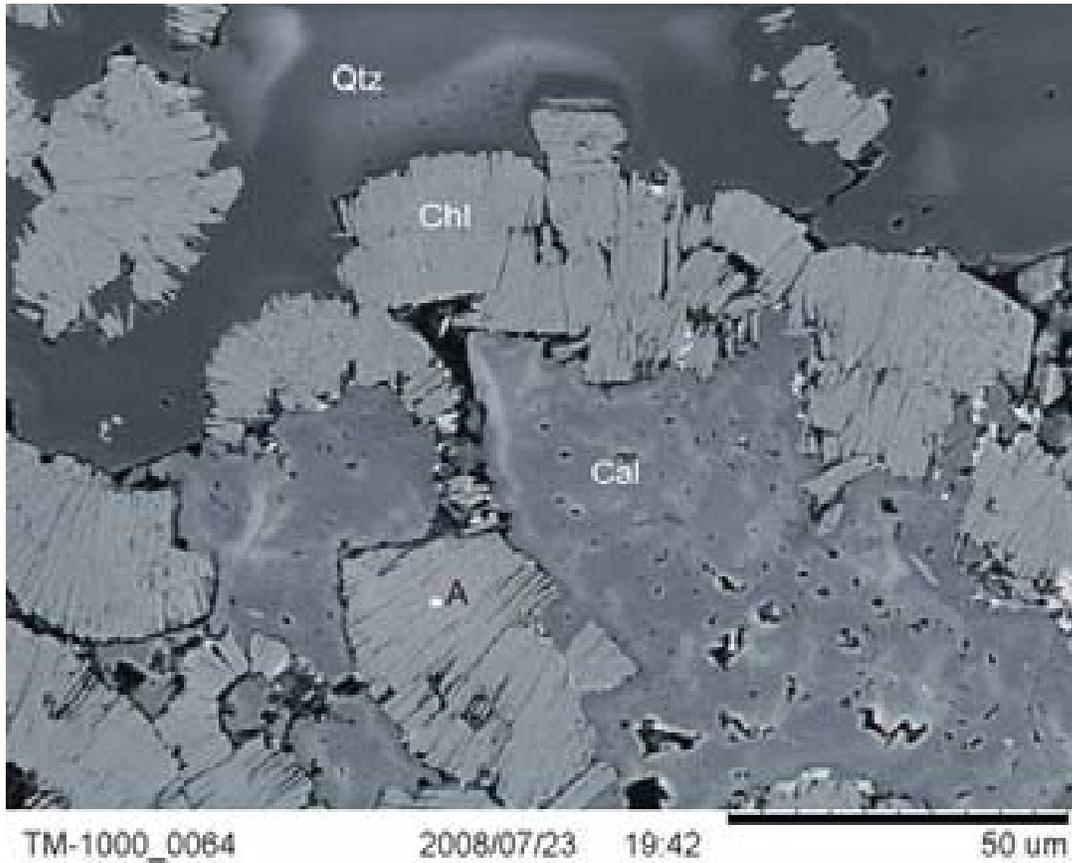
Elemento	% peso
Tungsteno	50
Plomo	50



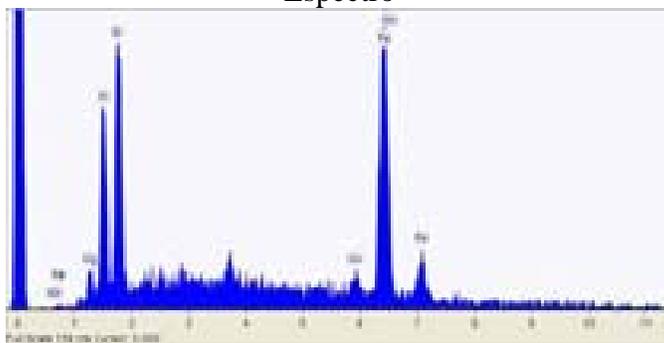
C

Element	Weight %
Plomo	100

Muestra: NPB d
Roca: Skarn
Mineralogía: Cloritas
Textura: Alteración

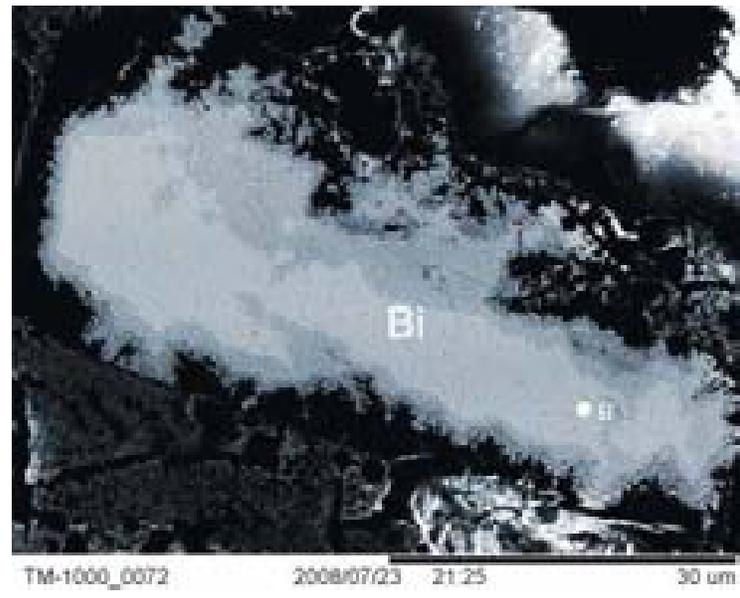
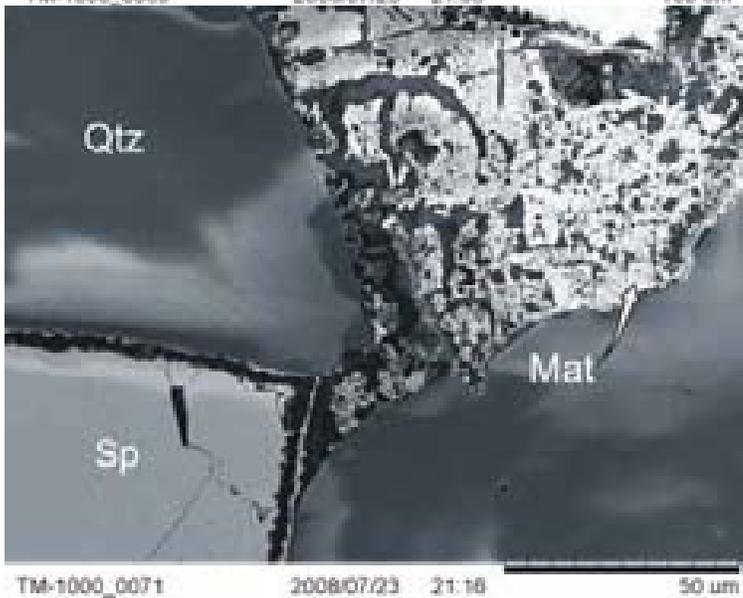
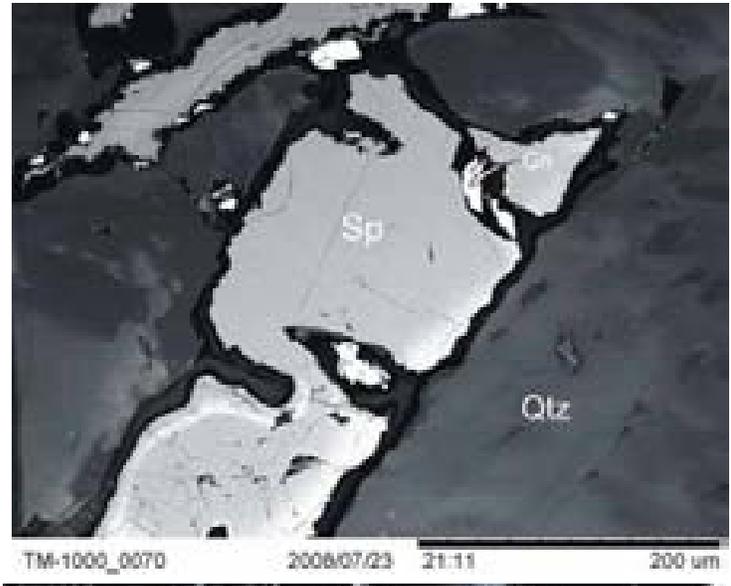
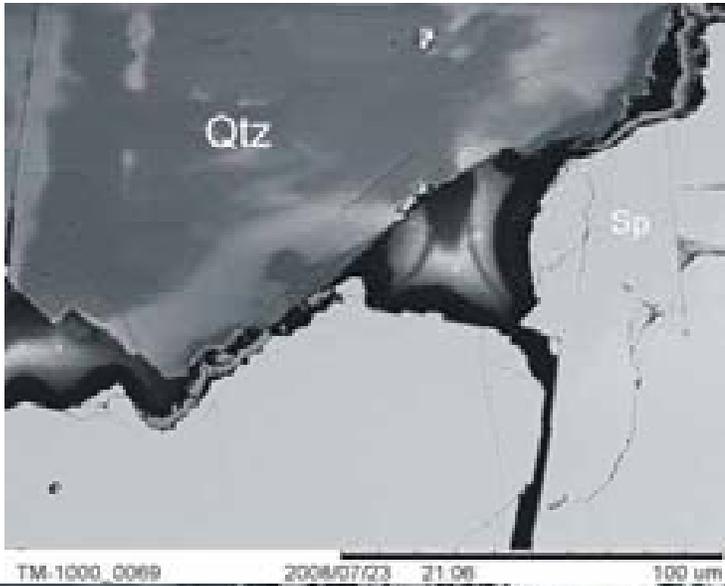


Espectro

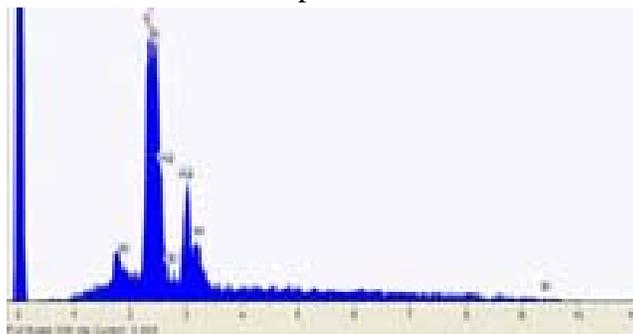


Elemento	% peso
Magnesio	2.9
Aluminio	12.1
Silicio	15
Manganeso	3.5
Hierro	66.5

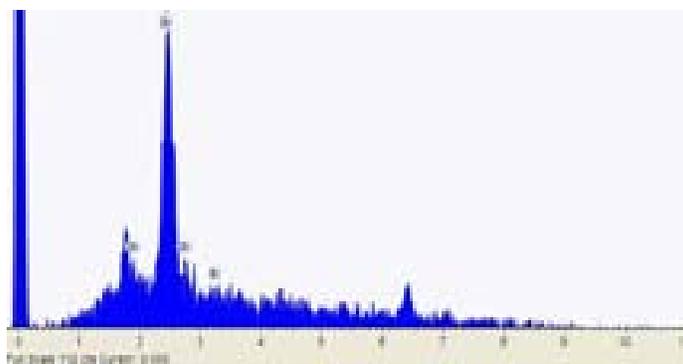
Muestra: NPB ox
Roca: Zona de oxidación
Mineralogía: Cuarzo, Esfalerita, Matildita y Bismuto
Textura: Alteración y remplazamiento



Espectro



Elemento	% peso
Azufre	19.1
Plata	31.7
Bismuto	49.3



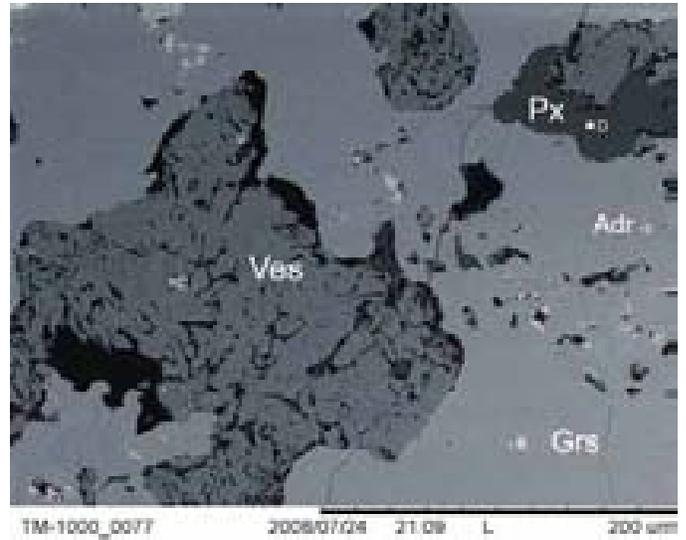
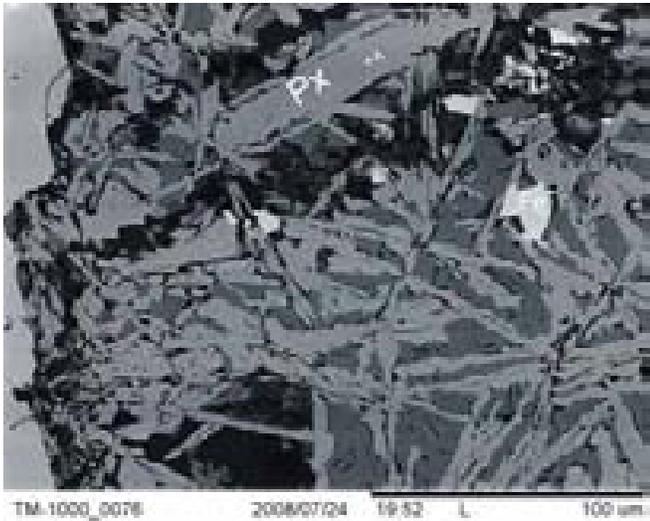
Elemento	% peso
Bismuto	100

Muestra: VSB 1

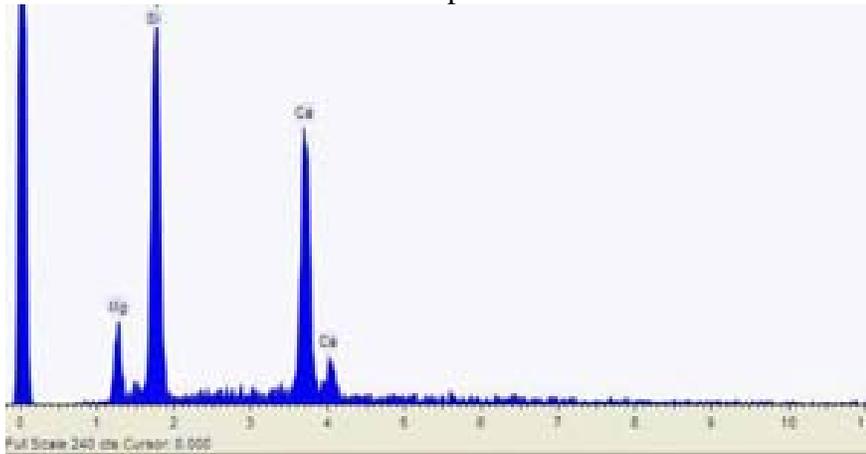
Roca: Intrusivo

Mineralogía: Vesuvianita, mayoría de Grosularia en partes enriquecidas a Andaditas, Piroxenos

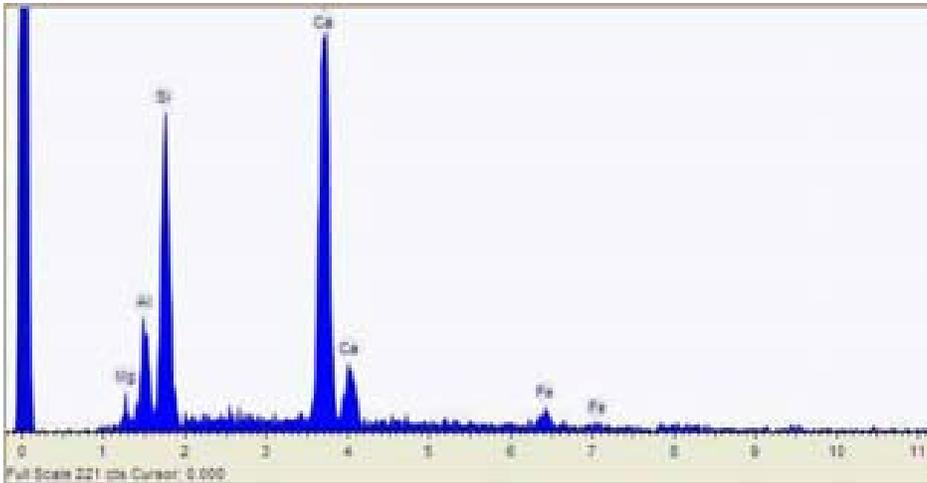
Textura: Alteración



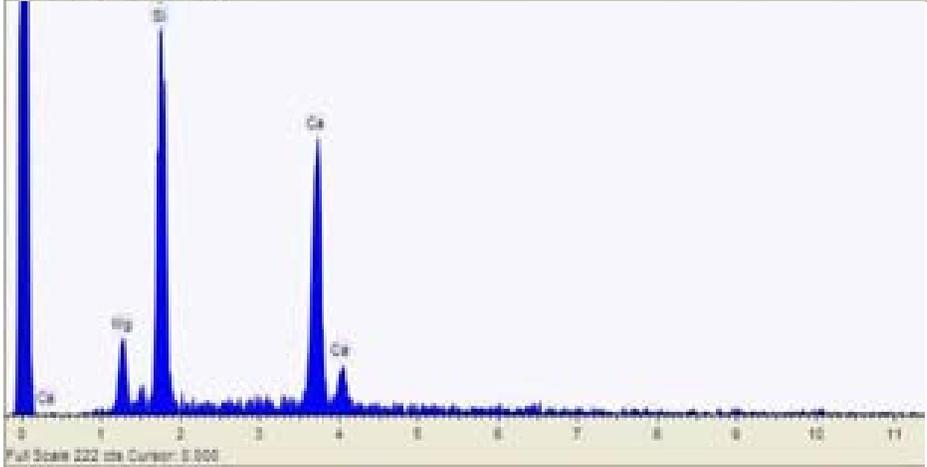
Espectro



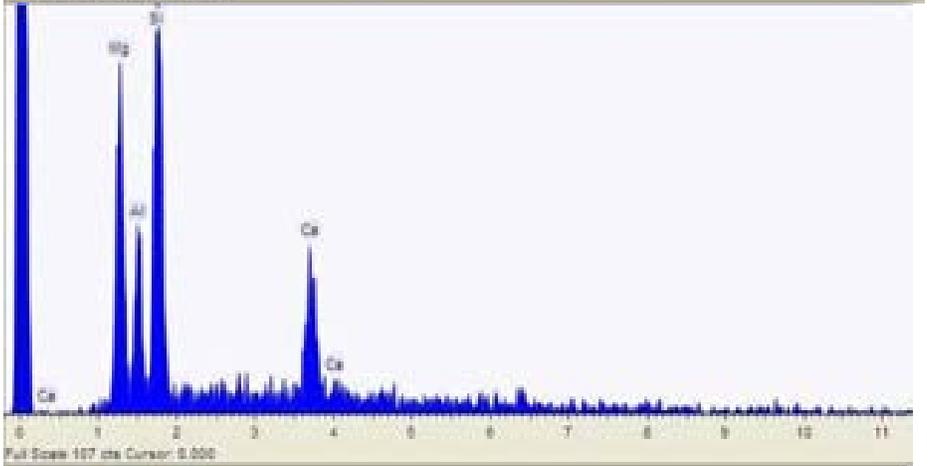
Elemento	% peso
Magnesio	10.4
Silicio	39.2
Calcio	50.5



Elemento	% peso
Magnesio	1.9
Aluminio	8.3
Silicio	23.4
Calcio	58.8
Hierro	7.6



Elemento	% peso
Magnesio	9.6
Silicio	39.7
Calcio	50.7



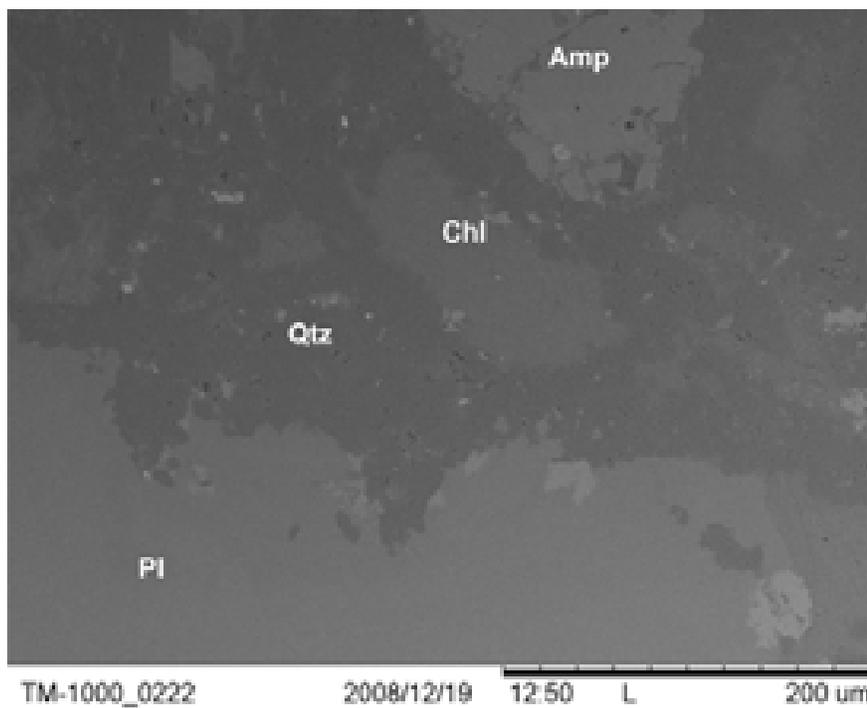
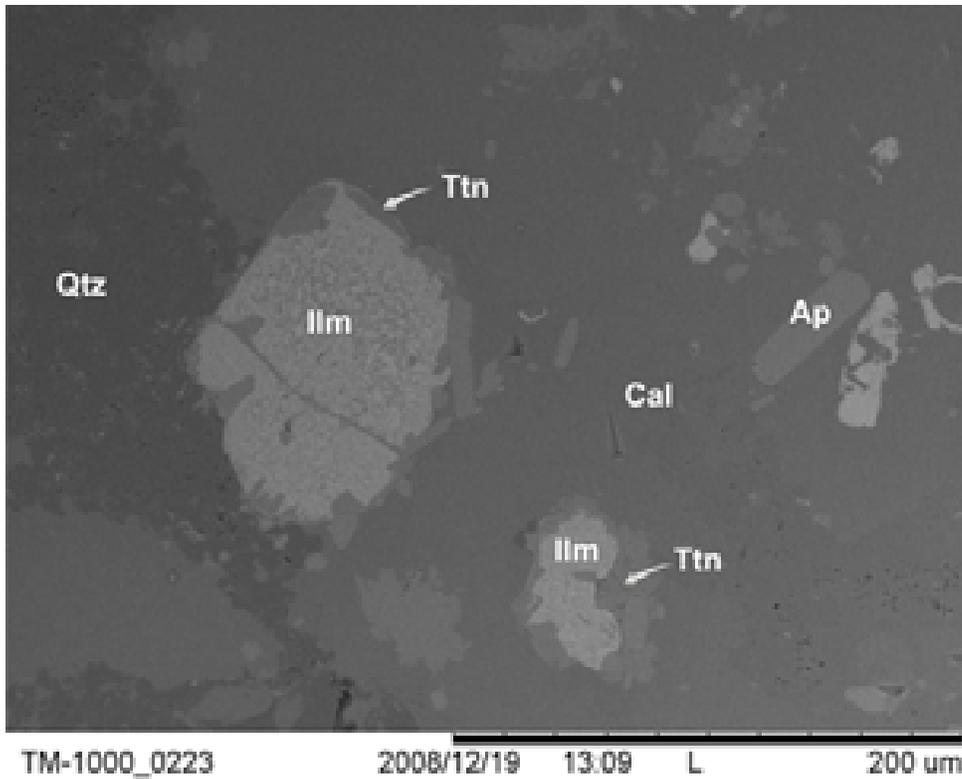
Elemento	% peso
Magnesio	26.6
Aluminio	14.1
Silicio	39.7
Calcio	19.5

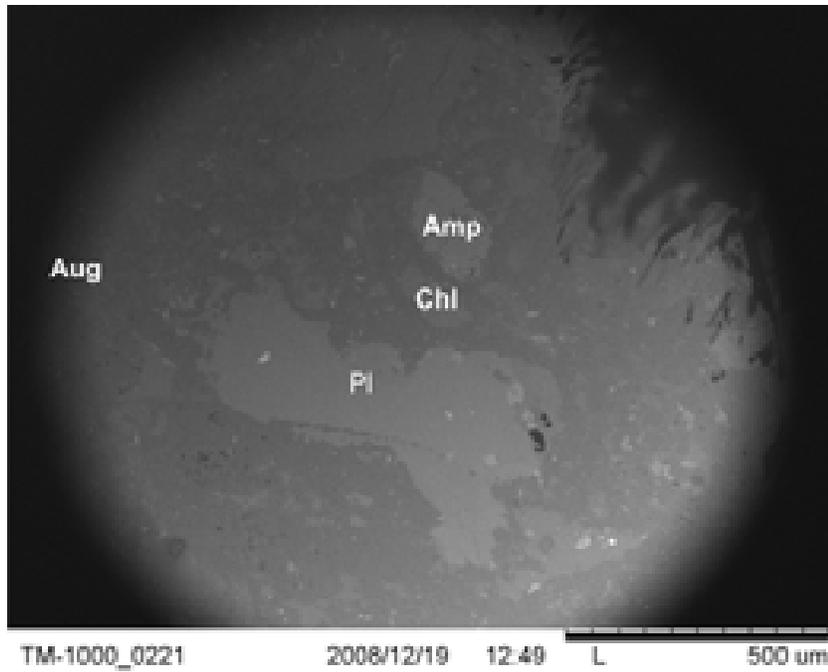
Muestra: E5-b

Roca: Endoskarn

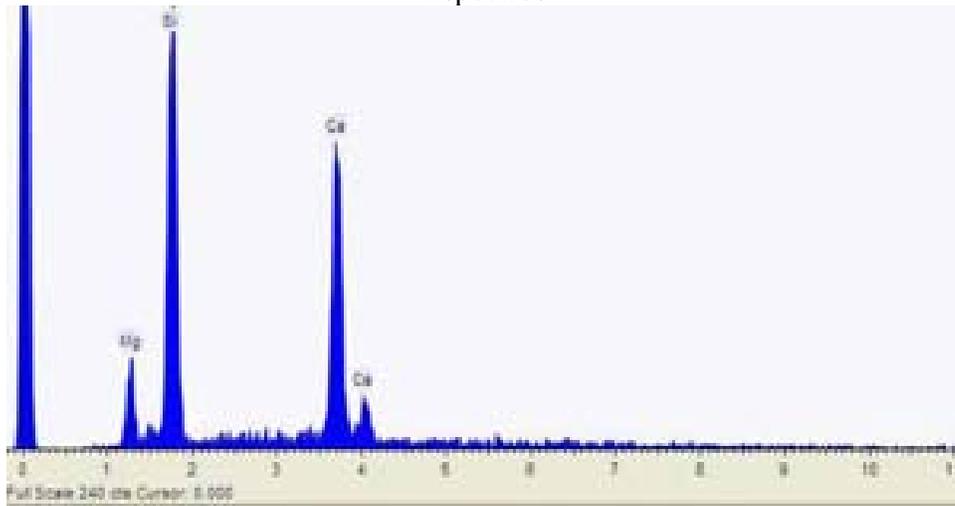
Mineralogía: Sericita, Clorita, Augita, Titanita, Ilmenita, Calcita, Cuarzo y Apatito.

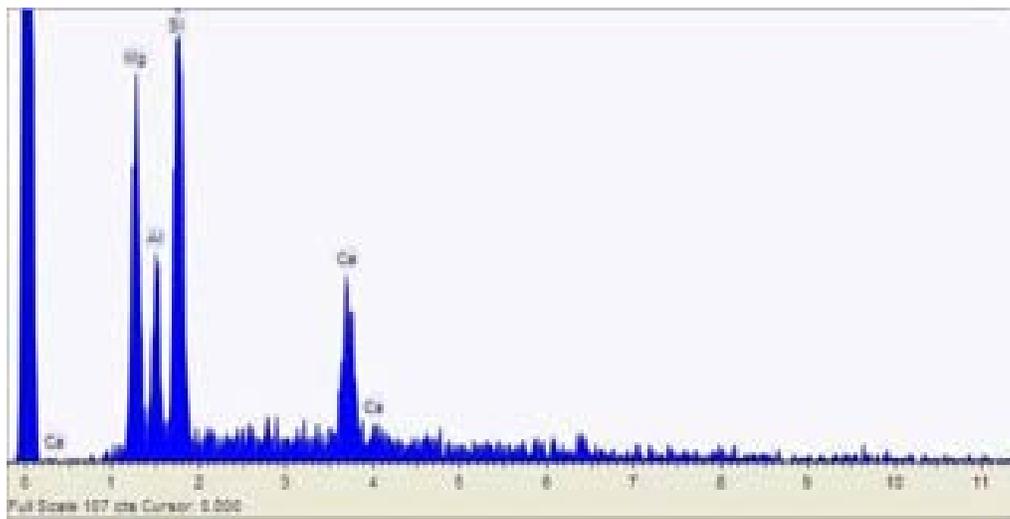
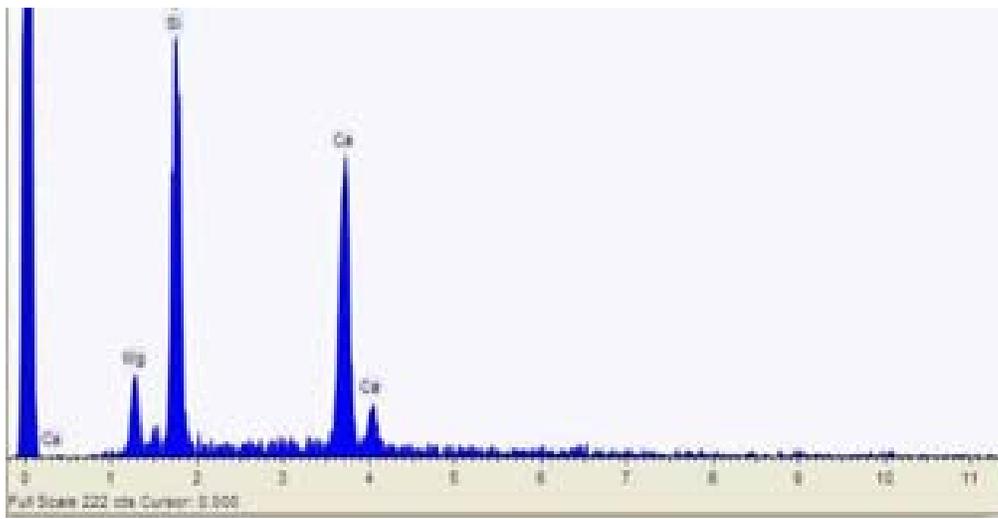
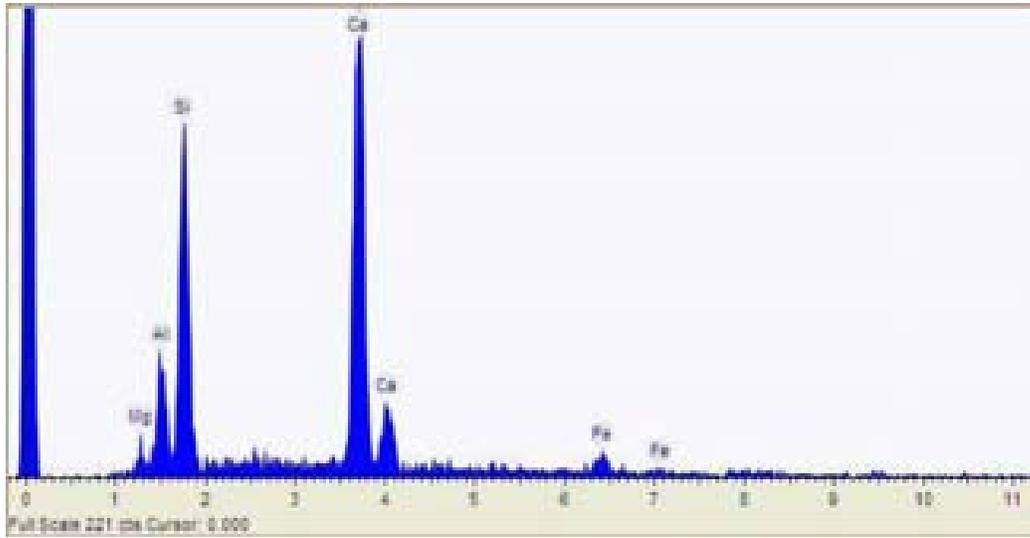
Textura: Relleno tardío de porosidad



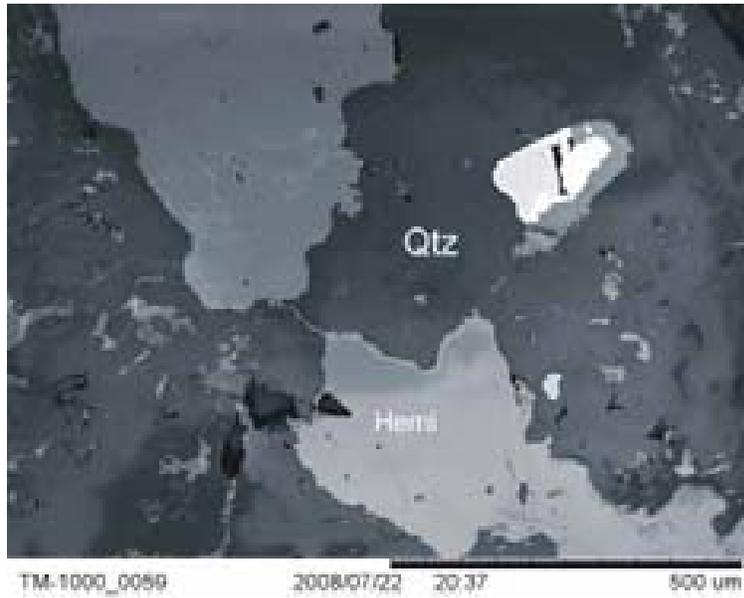


Espectros

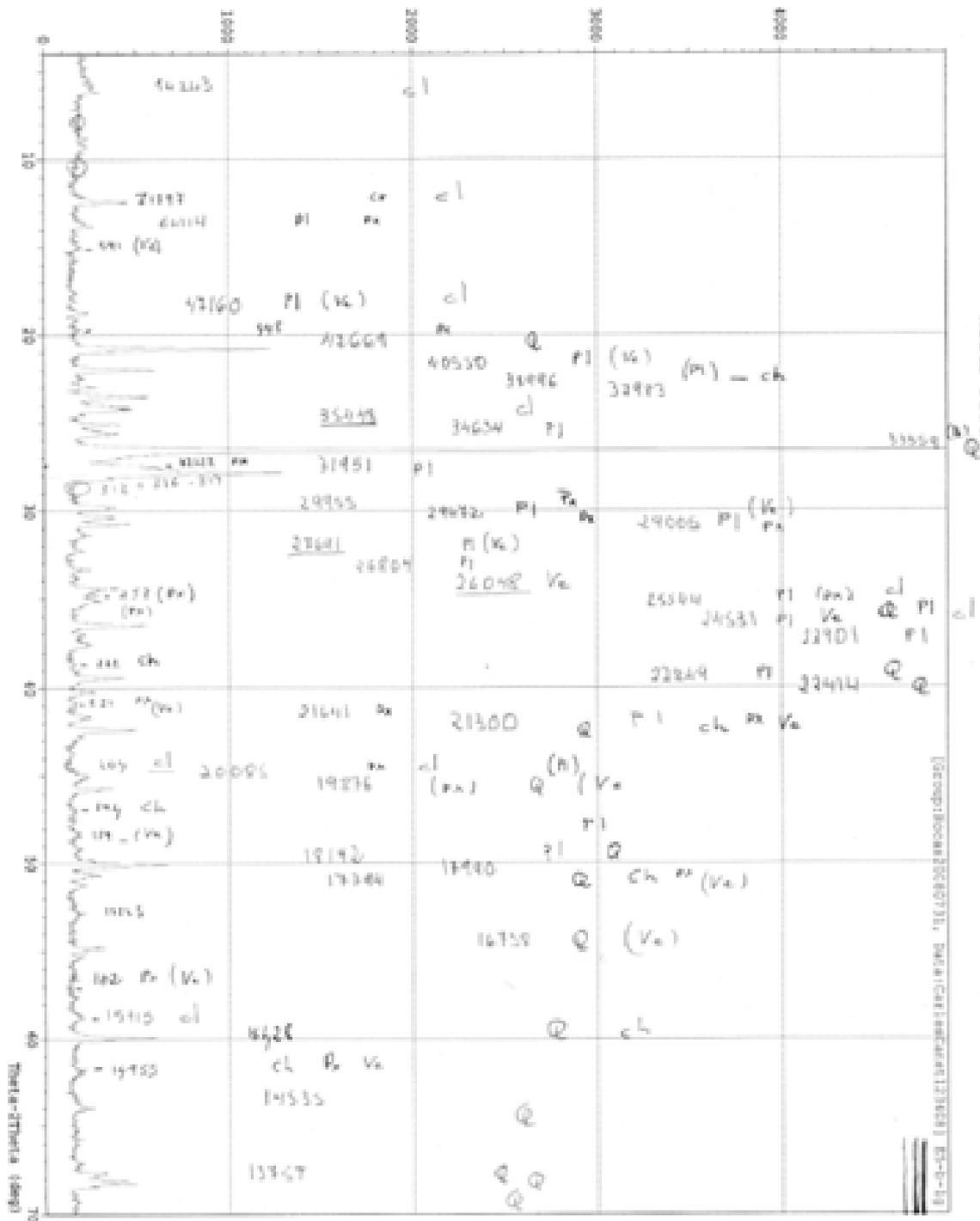




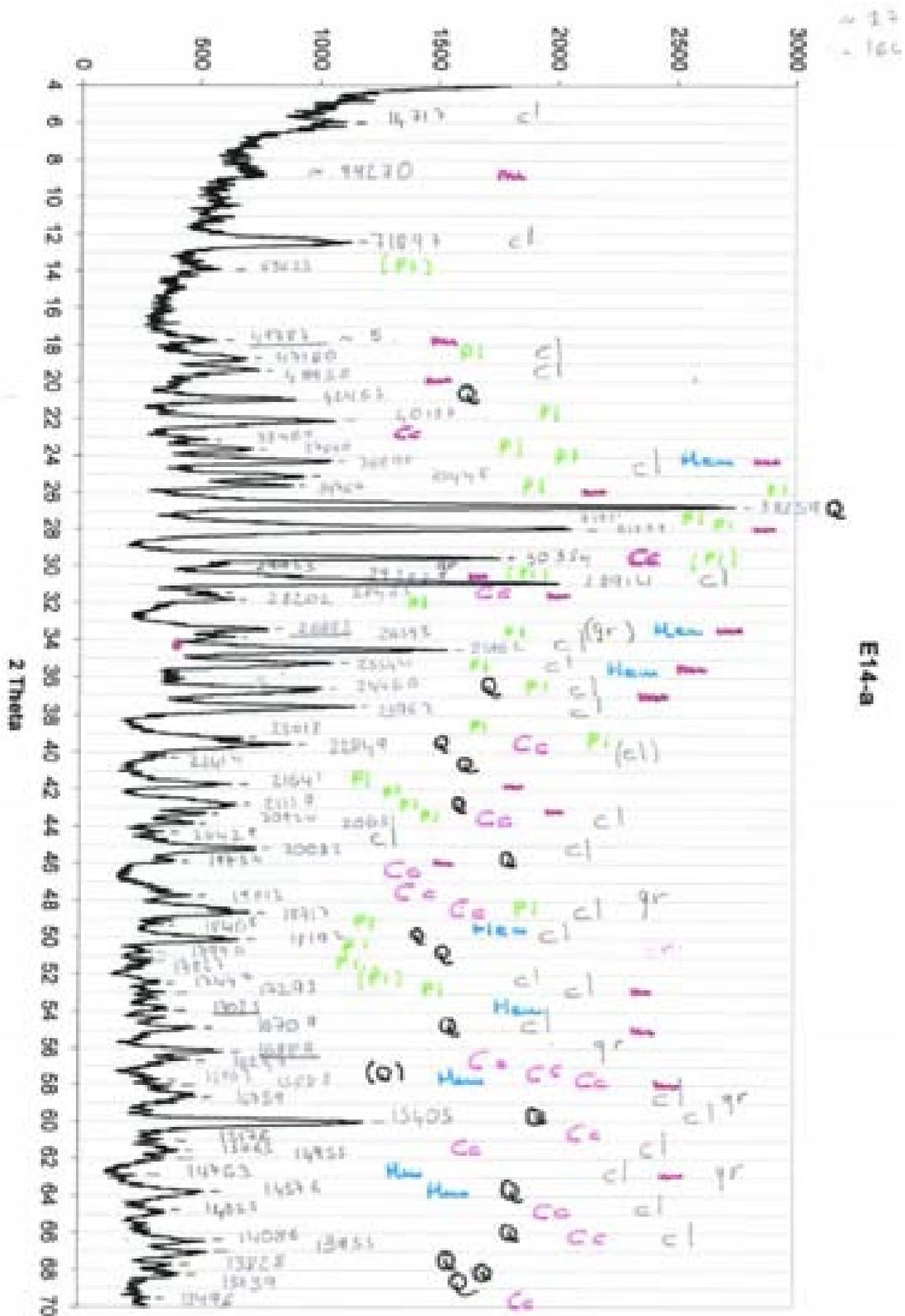
Muestra NPA IF
Roca: zona de mineralización
Mineralogía: Hemimorfita y Cuarzo
Textura: Alteración



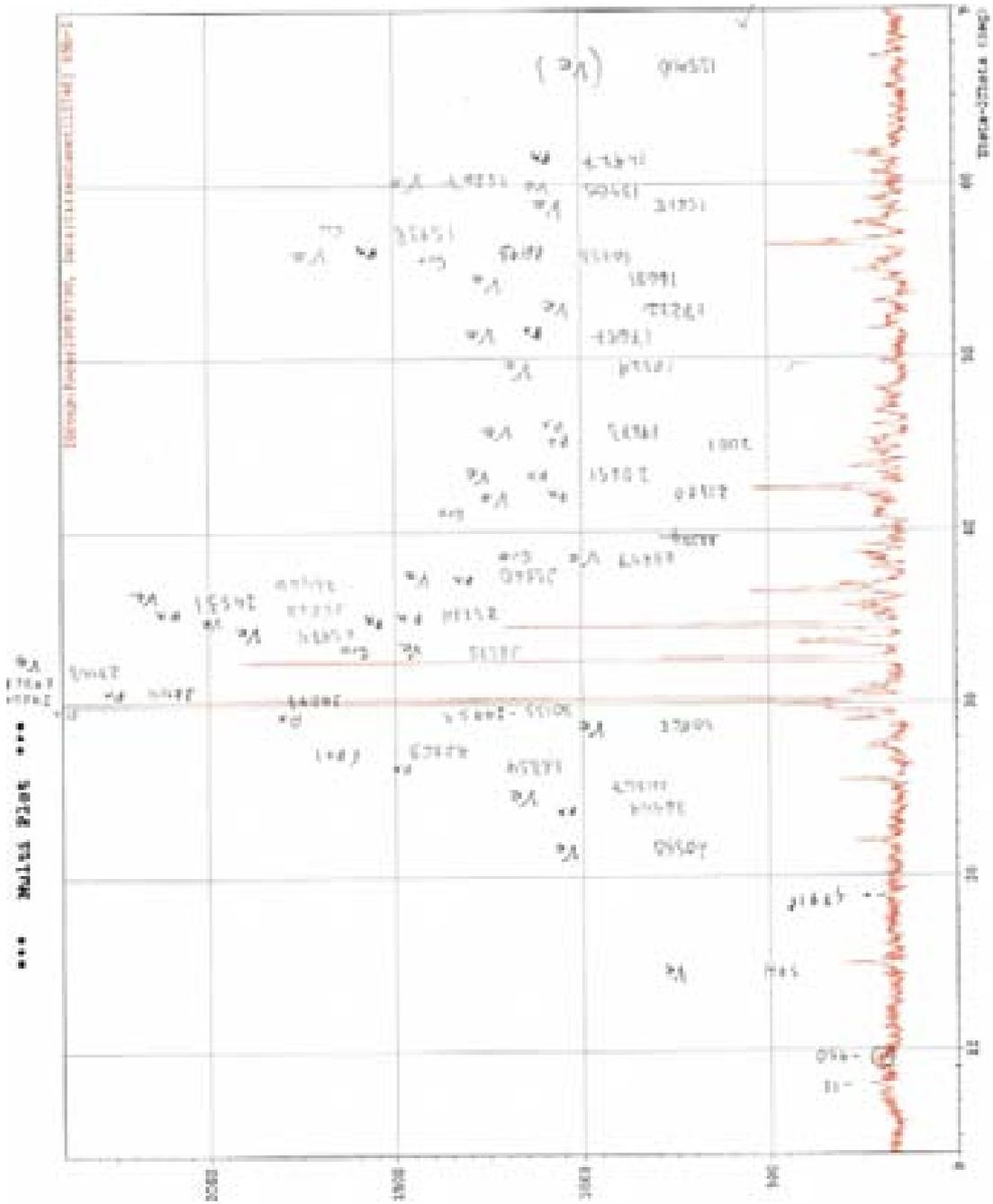
A3. DIFRACCIÓN DE RAYOS X



Difractogramas e interpretación. Muestra E5b-Ig



Difractogramas e interpretación. Muestra E14-a

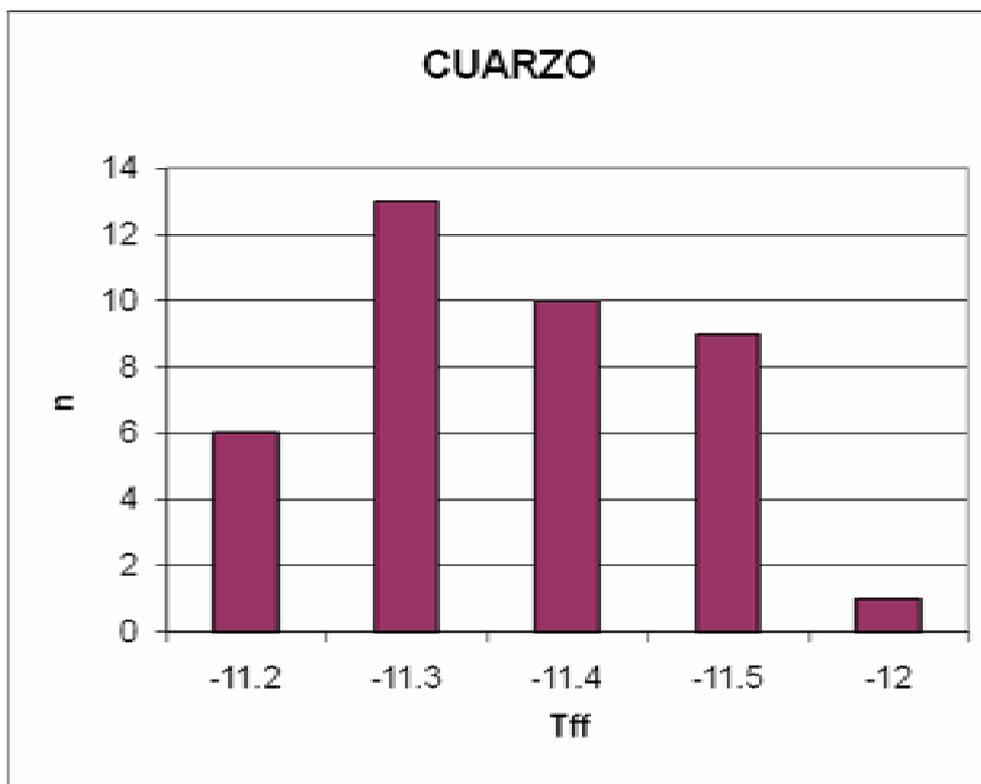
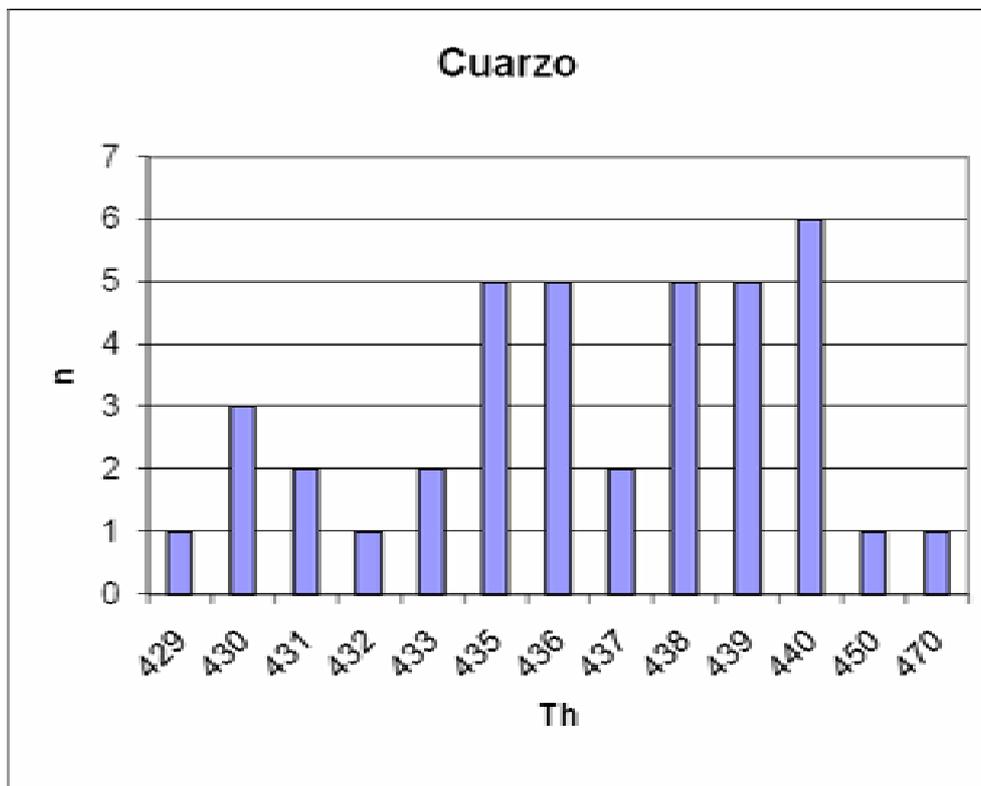


Difractogramas e interpretación. Muestra Vsb-1

A4. INCLUSIONES FLUIDAS

	MINERAL	MUESTRA	Tff °C	Th °C	SALINIDAD
1	Cuarzo	NPB-3	-11.3	437	15.27
2	Cuarzo	39	-11.2	435	15.17
3	Cuarzo		-11.3	438	15.27
4	Cuarzo		-11.4	440	15.37
5	Cuarzo		-11.3	438	15.27
6	Cuarzo		-11.3	439	15.27
7	Cuarzo		-11.2	436	15.17
8	Cuarzo		-11.3	431	15.27
9	Cuarzo		-11.3	430	15.27
10	Cuarzo		-11.3	430	15.27
11	Cuarzo		-11.2	429	15.17
12	Cuarzo		-11.5	433	15.47
13	Cuarzo		-11.3	439	15.27
14	Cuarzo		-11.3	440	15.27
15	Cuarzo		-12	432	15.96
16	Cuarzo		-11.5	440	15.47
17	Cuarzo		-11.5	433	15.47
18	Cuarzo		-11.5	431	15.47
19	Cuarzo		-11.4	436	15.37
20	Cuarzo		-11.3	439	15.27
21	Cuarzo		-11.4	440	15.37
22	Cuarzo		-11.4	439	15.37
23	Cuarzo		-11.4	438	15.37
24	Cuarzo		-11.5	470	15.47
25	Cuarzo		-11.3	450	15.27
26	Cuarzo		-11.2	435	15.17
27	Cuarzo		-11.3	435	15.27
28	Cuarzo		-11.3	438	15.27
29	Cuarzo		-11.5	430	15.47
30	Cuarzo		-11.2	435	15.17
31	Cuarzo		-11.2	436	15.17
32	Cuarzo		-11.4	435	15.37
33	Cuarzo		-11.4	436	15.37
34	Cuarzo		-11.4	439	15.37
35	Cuarzo		-11.4	437	15.37
36	Cuarzo		-11.4	440	15.37
37	Cuarzo		-11.5	440	15.47
38	Cuarzo		-11.5	438	15.47
39	Cuarzo		-11.5	436	15.47

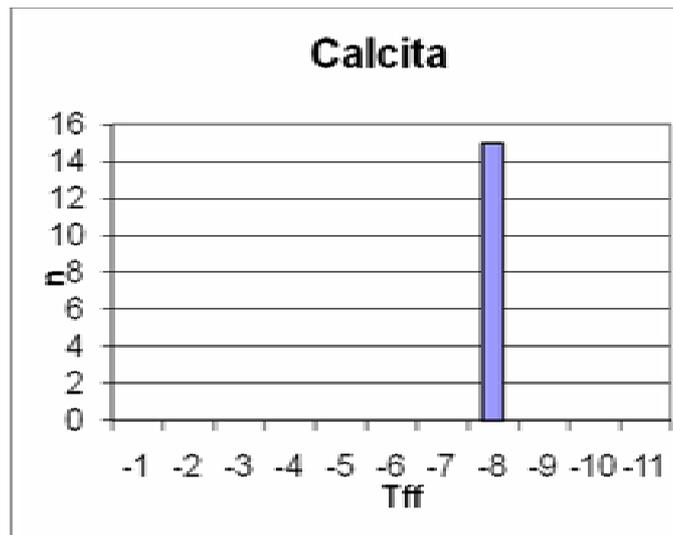
Temperaturas de homogeneización y fusión, salinidad de cada inclusión en el cuarzo.

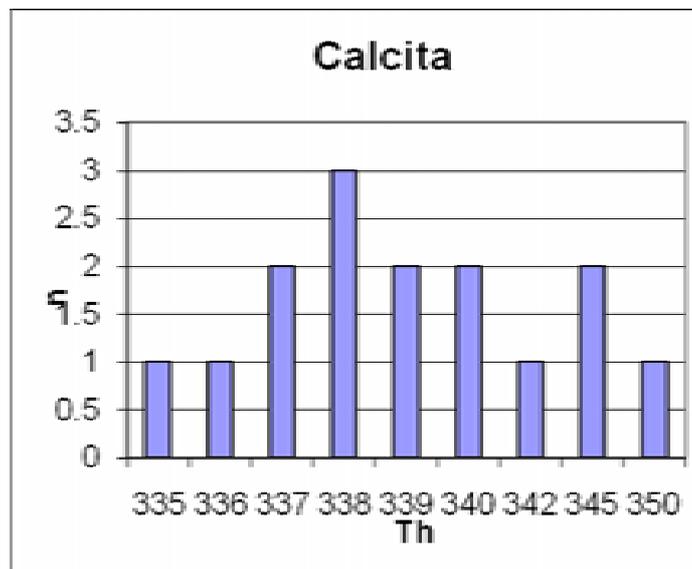


Histogramas de temperaturas para el cuarzo.

	MINERAL	MUESTRA	Tff °C	Th °C	SALINIDAD
1	Calcita	NPB-1A	-8	340	11.7
2	Calcita	NPB-1A	-8	338	11.7
3	Calcita	NPB-1A	-8	340	11.7
4	Calcita	NPB-1A	-8	338	11.7
5	Calcita	NPB-1A	-8	339	11.7
6	Calcita	NPB-1A	-8	350	11.7
7	Calcita	NPB-1A	-8	339	11.7
8	Calcita	NPB-1A	-8	342	11.7
9	Calcita	NPB-1A	-8	345	11.7
10	Calcita	NPB-1A	-8	345	11.7
11	Calcita	NPB-1A	-8	338	11.7
12	Calcita	NPB-1A	-8	335	11.7
13	Calcita	NPB-1A	-8	337	11.7
14	Calcita	NPB-1A	-8	336	11.7
15	Calcita	NPB-1A	-8	337	11.7

Temperaturas de homogeneización y fusión, salinidad de cada inclusión en la calcita.

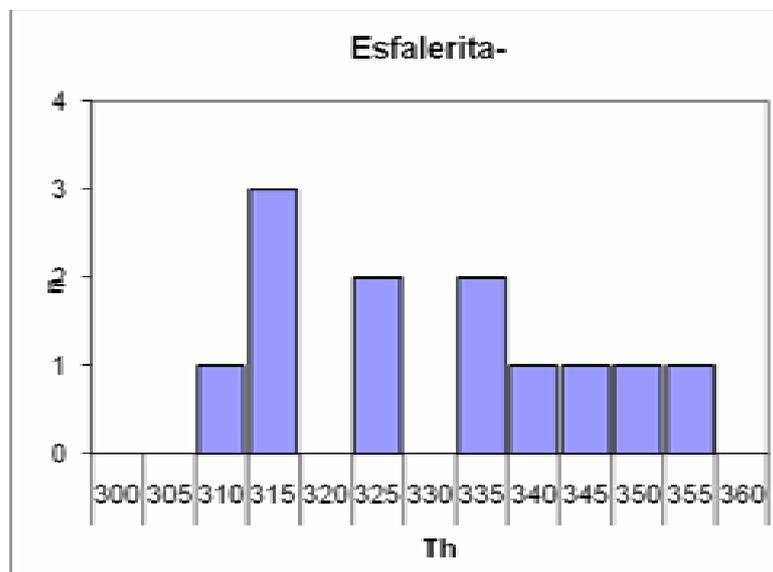
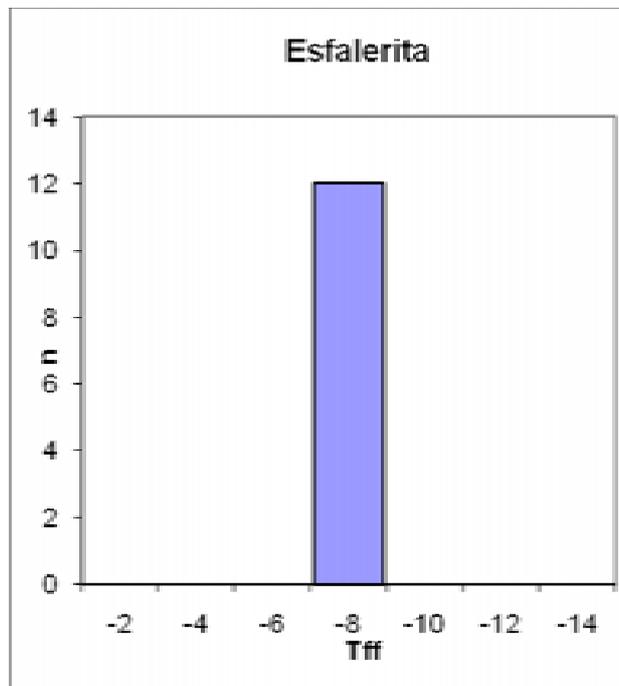




Histogramas de temperaturas para la calcita.

	MINERAL	MUESTRA	Tff °C	Th °C	SALINIDAD
1	Esfalerita	MSP-2	-8	315	11.7
2	Esfalerita		-8	355	11.7
3	Esfalerita		-8	344	11.7
4	Esfalerita		-8	360	11.7
5	Esfalerita		-8	340	11.7
6	Esfalerita		-8	319	11.7
7	Esfalerita		-8	318	11.7
8	Esfalerita		-8	340	11.7
9	Esfalerita		-8	347	11.7
10	Esfalerita		-8	330	11.7
11	Esfalerita		-8	326	11.7
12	Esfalerita		-8	320	11.7

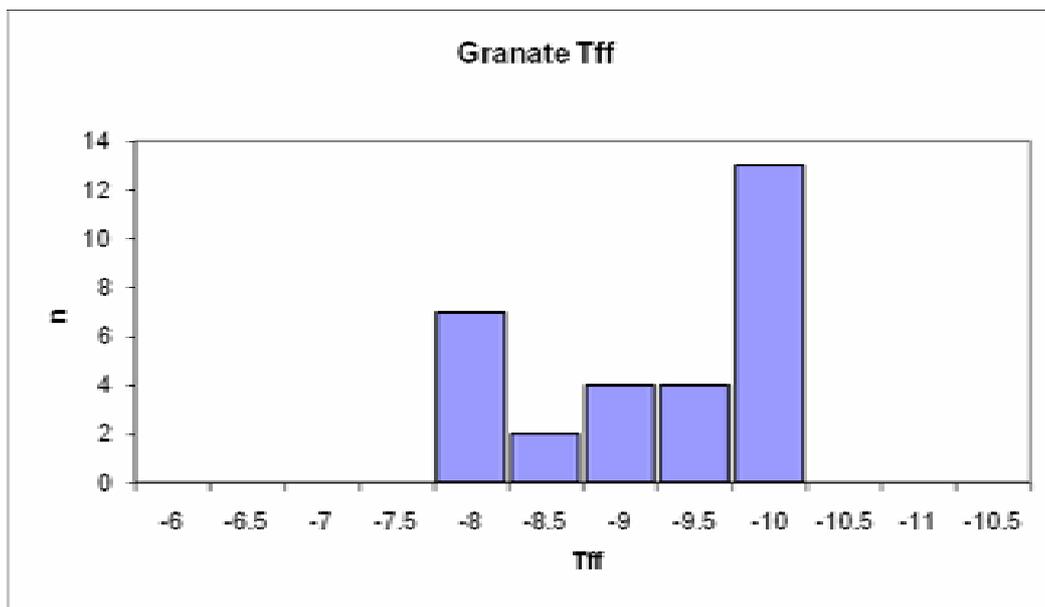
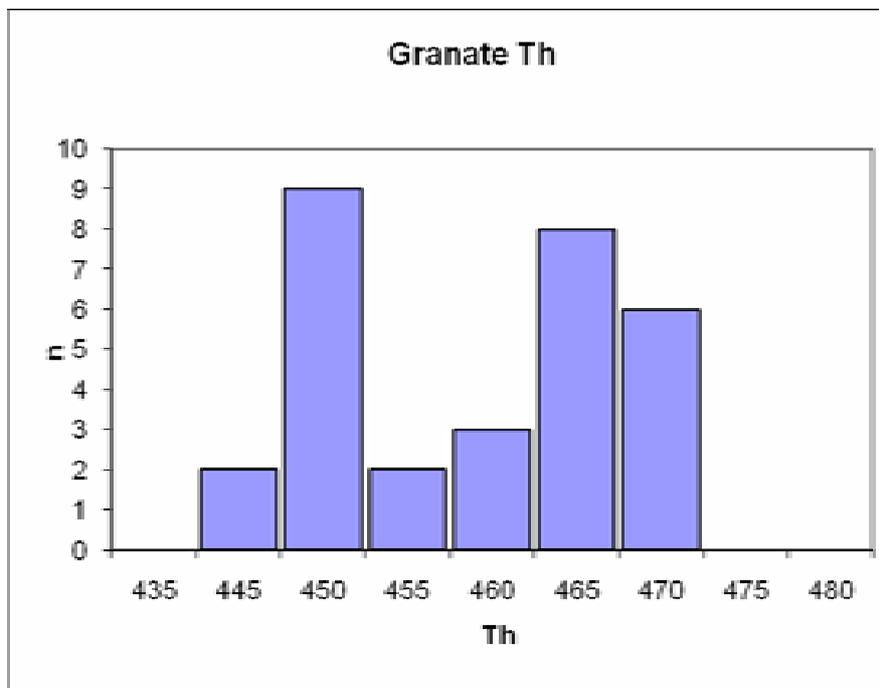
Temperaturas de homogeneización y fusión, salinidad de cada inclusión en la esfalerita.



Histogramas de temperatura para la esfalerita

	MINERAL	MUESTRA	Tff °C	Th °C	SALINIDAD
1	Granate	NP-1A	-8.5	440	12.28
2	Granate	NP-1A	-9	445	12.85
3	Granate	NP-1A	-10	450	13.94
4	Granate	NP-1A	-9.5	455	13.4
5	Granate	NP-1A	-9.4	450	13.29
6	Granate	NP-1A	-9.6	449	13.51
7	Granate	NP-1A	-8.2	447	11.93
8	Granate	NP-1A	-9	460	12.85
9	Granate	NP-1A	-8	449	11.7
10	Granate	NP-1A	-8	450	11.7
11	Granate	NP-1A	-9	448	12.85
12	Granate	NP-1A	-9.5	450	13.4
13	Granate	NP-1A	-10	465	13.94
14	Granate	NP-1A	-9.9	465	13.83
15	Granate	NP-1A	-10	470	13.94
16	Granate	NP-1A	-10	468	13.94
17	Granate	NP-1A	-9.9	468	13.83
18	Granate	NP-1A	-8.7	468	12.51
19	Granate	NP-1A	-8.8	455	12.62
20	Granate	NP-1A	-9.4	465	13.29
21	Granate	NP-1A	-9	462	12.85
22	Granate	NP-1A	-8.1	447	11.81
23	Granate	NP-1A	-10.2	465	14.15
24	Granate	NP-1A	-8	445	11.7
25	Granate	NP-1A	-8	440	11.7
26	Granate	NP-1A	-10	468	13.94
27	Granate	NP-1A	-10	461	13.94
28	Granate	NP-1A	-10.2	465	14.15
29	Granate	NP-1A	-10.1	460	14.04
30	Granate	NP-1A	-10	460	13.94
31	Granate	NP-1A	-10	461	13.94
32	Granate	NP-1A	-10	468	13.94

Temperaturas de homogeneización y fusión, salinidad de cada inclusión en granate.



Histogramas de temperatura para el granate.

A5. MARCO JURIDICO DEL DISTRITO MIXE

* **Asamblea General de Comuneros:** Se llevan a cabo asambleas las cuales son regidas por el Comisariado de Bienes Comunales y el Consejo de en las cuales se necesita la asistencia de por lo menos el 60% de los comuneros así como del pleno conocimiento de los asuntos que se traten y posteriormente levantando actas en mixe y en español.

Todas las asambleas son presididas por una mesa de debates que son integradas por un Presidente, Secretario y dos Escrutadores, quienes son nombrados por la Asamblea General de Comuneros, y que desempeñan su función durante el desarrollo de la asamblea únicamente.

En las asambleas se resuelven problemas como modificaciones al estatuto, a la elección y remoción de autoridades comunales, municipales, junta de pobladores y la comisión integrada, se señalan y delimitan tierras así como permisos de construcción y delimitar tierras de reserva ecológica y de uso común, se resuelven conflictos entre comuneros, se decide la aceptación de nuevos comuneros, se determinan las sanciones a comuneros, se fijan tarifas de impuestos a la comunidad, se decide el uso y aprovechamiento de los recursos naturales, la apertura y modificación de los caminos, la repartición equitativa de utilidades o de cualquier otro recurso, tomando en cuenta sus aportaciones, etc.

* **Comisariado de Bienes Comunales:** El Comisariado de Bienes Comunales es órgano de representación comunal encargada de ejecutar los acuerdos tomados en la Asamblea. Se integra por un Presidente, un Secretario y un Tesorero con sus respectivos suplentes.

Los integrantes del Comisariado de Bienes Comunales conocen y dialogan sobre los asuntos antes de plantearlos a la Asamblea.

No podrán llevar a cabo acto jurídico, en forma individual o en conjunto que comprometa ó lesione el patrimonio de la comunidad.

El Comisariado de Bienes Comunales tiene la facultad de ejecutar los acuerdos de la Asamblea, velar y cuidar los recursos naturales como el bosque, agua, yacimientos minerales, entre otros y consultar a la asamblea para su explotación y aprovechamiento; deben representar a la comunidad ante cualquier autoridad, así como realizar gestiones en beneficio de la misma, programar la limpia de brechas y vigilar las mojoneras, procurando que se respeten los linderos con cada comunidad colindante, actualizar los

censos agrarios, pecuarios y de comuneros, resolver imparcialmente los problemas entre comuneros, convocar a asambleas y tomar la opinión de los ancianos en asuntos importantes, recibir recursos, administrarlos y rendir informes a la Asamblea General, autorizar el corte de madera para uso doméstico y para rozo, vigilando para que no se ocasionen incendios forestales, buscar programas y actividades alternativas en beneficio de los comuneros, apoyar los eventos culturales, vigilar para que no se siembren cultivos ilícitos en las parcelas, o no lleguen en la comunidad personas que introduzcan estos cultivos que atentan contra la salud, entre otras cosas

* **Consejo de Vigilancia:** El Consejo de Vigilancia es el órgano de representación comunal encargada de vigilar que las actividades del Comisariado de Bienes Comunales se sujeten a los acuerdos de la Asamblea, al Estatuto y a las costumbres. Se integra por un Presidente, Primer y Segundo Secretario, así como sus respectivos Suplentes.

El Consejo de Vigilancia, compartirá los trabajos encomendados al Comisariado de Bienes Comunales.

El Consejo de Vigilancia tiene la obligación de recorrer los linderos de la comunidad y vigilar los bienes comunales, en especial para evitar incendios forestales, informar a la asamblea de los daños cometidos a los bienes comunales por personas ajenas a la comunidad, recibir las noticias que los comuneros le hagan de problemas o daños en las tierras comunales, informar a la Asamblea de los malos manejos de los recursos económicos y naturales que haga el Comisariado de Bienes Comunales, convocar a asambleas si no lo hace el Comisariado de Bienes Comunales, previa consulta a la Autoridad Municipal y a los Ancianos, vigilar que no se contaminen los ríos y arroyos ni se usen explosivos para la pesca, vigilar que los actos del Comisariado se ajusten a los preceptos del Estatuto Comunal y Asamblea, revisar las cuentas y operaciones del Comisariado y sus informes, antes de ser presentados a la Asamblea y en su caso, denunciar las irregularidades que observe, desempeñar sus actividades en estrecha coordinación con el Comisariado de Bienes Comunales, vigilar permanentemente el uso adecuado de todos los recursos naturales de la comunidad como son: agua, bosques, yacimientos minerales, pastos, piedras, grava, arena y otros, convocar a asamblea cuando el Comisariado de Bienes Comunales no lo haga.

* **Las Tierras Comunales:** Las Tierras Comunales de Santiago Zacatepec, por su uso se dividen en:

Tierras para asentamiento humano
Tierras parceladas
Tierras de uso común
Tierras con destino específico
Tierras para ceremonias sagradas y tierras de reserva ecológica

* **Las Tierras Parceladas:** Son tierras parceladas aquellas asignadas a los comuneros, y comuneras para que las cultiven y obtengan el sustento de su familia. El uso y disfrute de las tierras parceladas les corresponde únicamente a los comuneros, comuneras, siempre que cumplan con sus obligaciones comunitarias.

* **Las Tierras Para El Asentamiento Humano:** Las tierras para asentamiento humano son aquellos que se usan para la vivienda de los comuneros y su solar; así como para la construcción de edificios como escuelas, templo, curato, palacio municipal, cancha, tiendas, entre otros; esta superficie es inalienable, imprescriptible e inembargable.

* **De Las Tierras De Uso Común:** Se integra por aquellas tierras que no están parceladas, ni son parte de la zona urbana; así como de las tierras en que haya ojos de agua y manantiales, por consiguiente es inalienable, imprescriptible e inembargable.

El uso y disfrute de estas tierras no podrá transmitirse a un solo comunero, se aprovechará de manera comunal.

Estará vigilado por el Comisariado de Bienes Comunales, el Consejo de Vigilancia, en coordinación con las Autoridades Municipales y todos los comuneros.

La asamblea regula el uso, aprovechamiento, acceso y conservación de las tierras de uso común, incluyendo los derechos y obligaciones de los comuneros respecto de dichas tierras.

Para el aprovechamiento de los recursos naturales correspondientes a las tierras de uso común se considera por la Asamblea General de Comuneros.

Para la adecuada utilización de los recursos naturales, así como para evitar problemas entre comuneros, se siguen las siguientes reglas:

a) **En el caso de que exista algún yacimiento mineral, aguas, recursos forestales, etc. Serán explotados en base al acuerdo que tome la Asamblea de comuneros;**

b) **Está prohibido el corte de maderas finas como cedro, pino, etc., salvo los árboles que son cultivados y se encuentre en las parcelas de los comuneros.**

c) Comuneros que cortan árboles con motosierra para venta de polines, tablas y materiales de construcción, deben solicitar primeramente permiso al Comisariado de Bienes Comunes y pagarán una cooperación del 10% del importe de la venta.

d) Todo comunero tienen derecho a un viaje de leña en carro de volteo al año;

e) La industria familiar como panadería y otros, estarán sujetas a la anterior;

f) Ninguna persona extraña a la comunidad tiene derecho a disfrutar de los recursos naturales, de las tierras de uso común, ni aprovecharse de los árboles frutales

g) Queda prohibido contaminar los arroyos, chorros y manantiales con basura o animales muertos.

Queda prohibida la comercialización de los recursos naturales por un solo comunero, o grupos de comuneros. En caso de no cumplir con esta prohibición, se sancionará no sólo al que venda, sino también a quien compre.

Las Tierras con Destino Específico

Son las Tierras de uso específico y servicios que forman parte de la estructura urbana.

Otros Recursos

Según el estatuto comunal, este establece lo siguiente:

a) Yacimientos minerales, corresponden únicamente a los comuneros de Santiago Zacatepec, Mixe, toda vez que se encuentra dentro de la jurisdicción de la comunidad.

Y a partir de la expedición de la Resolución Presidencial y su Ejecución, quedó prohibido escriturar terrenos de la comunidad de SANTIAGO ZACATEPEC, MIXE, en consecuencia se hace del conocimiento a todos los comuneros, poseionarios o vecindados en su caso, toda vez que por Resolución Presidencial quedó establecido que dentro de los terrenos comunales Reconocidos y Titulados a favor de la comunidad no existe ninguna pequeña propiedad enclavada.

Las Tierras Para Ceremonias Sagradas y Reserva Ecológica

Son lugares para ceremonias sagradas, las que denomina la comunidad de Santiago Zacatepec, “ pop tunääw (cerro blanco) ko mejy`ään (cerro de la laguna), xiky kopajkm (Cerro Escondido); así como el panteón, capilla, ermita.

Todos los comuneros y personas ajenas a la comunidad deben cumplir con las siguientes obligaciones en estas tierras:

I.- Solicitar autorización a la Autoridad para ingresar a estas tierras, identificándose y señalando sus motivos.

- II.- Recorrerán estos lugares con la compañía de una Autoridad.**
- IV.- Se harán responsables de los accidentes que llegaran a sufrir.**
- V.- Informar a la comunidad los resultados de su investigación.**
- VI.- Otros que fije la Asamblea.**

DIRECCIÓN DE CARTOGRAFIA Y CONCESIONES MINERAS
TITULOS DE CONCESION MINERA EXPEDIDOS DURANTE EL MES DE 0 DEL 2006

TITULO	T. ANTERIOR	CONCESION	AGENCIA	EXPEDIENTE	CONCESIONARIO	SUPERFICIE	NOMBRE DEL LOTE	MUNICIPIO	ESTADO	INICIO VIGENCIA	TERMINO VIGENCIA
226515	-	MINERA	62	062/09703	MINERA TECK COMINCO, S.A. DE C.V.	26400.0	LAS PALMAS	AYOTZINTEPEC	OAXACA	24/01/2006	23/01/2056
226616	-	MINERA	62	062/09704	JORGE HERNANDEZ MONTERROSAS	210.0	CAMERINO	SAN PABLO	OAXACA	02/02/2006	01/02/2056
226682	-	MINERA	62	062/09706	MINERA TECK COMINCO, S.A. DE C.V.	42700.0	LAS PALMAS 1	AYOTZINTEPEC	OAXACA	17/02/2006	16/02/2056
226751	210756	MINERA	107	5/1/00796	COOPERATIVA LA CRUZ AZUL, S.C.L.	935.0	MAZAHUA I	ASUNCION	OAXACA	21/02/2006	20/02/2056
226752	210756	MINERA	107	5/1/00796	COOPERATIVA LA CRUZ AZUL, S.C.L.	846.0	NIZANDA	IXTALTEPEC	OAXACA	21/02/2006	20/02/2056
226899	210129	MINERA	107	5/1/00799	COOPERATIVA LA CRUZ AZUL, S.C.L.	1913.0	LA TORMENTOSA I	IXTALTEPEC	OAXACA	23/03/2006	22/03/2056
226906	210214	MINERA	107	5/1/00800	COOPERATIVA LA CRUZ AZUL, S.C.L.	260.0	EL CHINCUYAL	DOMINGO	OAXACA	23/03/2006	22/03/2056
226953	-	MINERA	62	062/09707	CONTINUUM RESOURCES MEXICO, S.A. DE C.V.	1200.0	POCHOTLE 2	ZANATEPEC	OAXACA	31/03/2006	30/03/2056
226954	-	MINERA	62	062/09708	COMPANIA MINERA ZAPATA, S.A. DE C.V.	3500.0	RAQUELITA I	LACHIGUIRI	OAXACA	31/03/2006	30/03/2056
227013	-	MINERA	62	062/09712	COOPERATIVA LA CRUZ AZUL, S.C.L.	4506.0	CERRO LEON	TEPEUXILA	OAXACA	11/04/2006	10/04/2056
227014	-	MINERA	62	062/09713	COOPERATIVA LA CRUZ AZUL, S.C.L.	324.0	LACHIVIZA	DEL MAR	OAXACA	11/04/2006	10/04/2056
227031	-	MINERA	62	062/09711	COOPERATIVA LA CRUZ AZUL, S.C.L.	2654.0	NIZAYULA	GUIENAGATI	OAXACA	12/04/2006	11/04/2056
227057	-	MINERA	62	062/09718	HECTOR FERNANDO HERNANDEZ PLATA	100.0	ESPERANZA	GUIENAGATI	OAXACA	20/04/2006	19/04/2056
227378	-	MINERA	62	062/09719	COOPERATIVA LA CRUZ AZUL, S.C.L.	3493.0	GUICHIXU	VILLA DE Z. SANTA MARIA	OAXACA	14/06/2006	13/06/2056
227426	-	MINERA	62	062/09716	COMISARIADO DE BIENES COMUNALES DE SANTA CATARINA IXTEPEJI	497.1666	IXTEPEJI	SANTA CATARINA	OAXACA	16/06/2006	15/06/2056
227427	-	MINERA	62	062/09720	INDUSTRIAL MINERA MEXICO, S.A. DE C.V.	11651.2001	MIXTECA	IXTEPEJI	OAXACA	16/06/2006	15/06/2056
227428	-	MINERA	62	062/09721	INDUSTRIAL MINERA MEXICO, S.A. DE C.V.	6172.0	MIXTECA 1	ARTEAGA	OAXACA	16/06/2006	15/06/2056
227548	-	MINERA	62	062/09691	CONTINUUM RESOURCES MEXICO, S.A. DE C.V.	3631.531	LA SOLEDAD	SAN PABLO	OAXACA	06/07/2006	05/07/2056
227691	-	MINERA	62	062/09650	ISMAEL MARTINEZ	900.0	3 HERMANAS 2	CUATRO VENADOS	OAXACA	28/07/2006	27/07/2056
227692	-	MINERA	62	062/09722	CANSECO CONTINUUM RESOURCES MEXICO, S.A. DE C.V.	3644.6501	LA NEGRA	ZIMATLAN DE	OAXACA	28/07/2006	27/07/2056
227940	-	MINERA	62	062/09678	MINERA ZALAMERA, S.A. DE C.V.	1035.0913	AURENA	TANETZE DE	OAXACA	15/09/2006	14/09/2056
227997	-	MINERA	62	062/09715	CONTINUUM RESOURCES MEXICO, S.A. DE C.V.	10.4354	CONTINUUM UNO	ZARAGOZA	OAXACA	26/09/2006	25/09/2056
228029	-	MINERA	62	062/09727	IGNACIO JULIAN SANTILLANA SUAREZ DEL REAL	218.6407	SOLAGA II	SANTO DOMINGO	OAXACA	29/09/2006	28/09/2056
228077	-	MINERA	62	062/09723	ARMANDO ZURITA MORENO	200.0	ALFONSO	TEHUANTEPEC	OAXACA	29/09/2006	28/09/2056
228078	-	MINERA	62	062/09725	LINEAR METAL CORP MEXICO, S.A. DE C.V.	4900.0	ZACATEPEC	SANTIAGO ZACATEPEC	OAXACA	29/09/2006	28/09/2056
228114	-	MINERA	62	062/09714	CONTINUUM RESOURCES MEXICO, S.A. DE C.V.	206.9931	CONTINUUM FRACCION I	SANTA CATARINA	OAXACA	04/10/2006	03/10/2056
228115	-	MINERA	62	062/09714	CONTINUUM RESOURCES MEXICO, S.A. DE C.V.	3.1291	CONTINUUM FRACCION II	LACHATAO	OAXACA	04/10/2006	03/10/2056
228264	-	MINERA	62	062/09661	COMPANIA MINERA DE NATIVIDAD Y ANEXAS, S.A. DE C.V.	354.3269	PROVIDENCIA SEIS	SANTA CATARINA	OAXACA	20/10/2006	19/10/2056
228417	210183	MINERA	107	5/1/00804	DESARROLLOS MINEROS SAN LUIS, S.A. DE C.V.	494.1956	SAN CARLOS	LACHATAO	OAXACA	22/11/2006	21/11/2056
228474	-	MINERA	62	062/09685	DESARROLLOS MINEROS SAN LUIS, S.A. DE C.V.	4718.0009	SAN CARLOS	SANTA CATARINA	OAXACA	22/11/2006	21/11/2056
228475	-	MINERA	62	062/09739	SERVICIOS MINEROMETALURGICOS DE OCCIDENTE, S.A. DE C.V.	500.0	DOS BOLA II	LACHATAO	OAXACA	22/11/2006	21/11/2056
228476	-	MINERA	62	062/09742	SERVICIOS MINEROMETALURGICOS DE OCCIDENTE, S.A. DE C.V.	500.0	LA ARAÑA II	CAPULALPAM DE MENDEZ	OAXACA	22/11/2006	21/11/2056
228477	-	MINERA	62	062/09743	SERVICIOS MINEROMETALURGICOS DE OCCIDENTE, S.A. DE C.V.	500.0	LA MICA II	YAUATEPEC	OAXACA	22/11/2006	21/11/2056
228505	-	MINERA	62	062/09734	CONTINUUM RESOURCES MEXICO, S.A. DE C.V.	14632.2379	LOS OCOTES	VILLA SOLA DE VEGA	OAXACA	24/11/2006	23/11/2056

SUPERFICIE TOTAL = 143810.5987 HAS.

Anexo VI. Concesiones mineras en Santiago Zacatepec