



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

CRITERIOS METALOGENICOS EN LA EXPLORACION DE LOS FILONES DEL VALLE DE SAN RAFAEL, MPIO. DE CHARCAS, SAN LUIS POTOSI

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A :
JUAN BERNARDO MIRANDA ROMERO

Director de tesis:
ING. CARLOS GARZA GONZÁLEZ VÉLEZ



MÉXICO, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2002



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-280

SR. JUAN BERNARDO MIRANDA ROMERO

Presente

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

**CRITERIOS METALOGENICOS EN LA EXPLORACION DE LOS FILONES DEL VALLE
DE SAN RAFAEL, MPIO. DE CHARCAS, SAN LUIS POTOSI**

| | |
|------------|---------------------------------------|
| | RESUMEN |
| I | GENERALIDADES |
| II | FISIOGRAFIA |
| III | GEOLOGIA |
| IV | YACIMIENTOS MINERALES |
| V | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES |
| | BIBLIOGRAFIA |
| | MAPAS Y SECCIONES |

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.

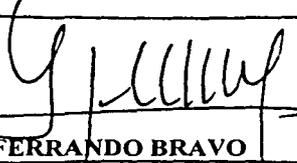
Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D. F., a 1 de marzo de 2002

EL DIRECTOR


ING. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB*RLLR*gtg





UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE INGENIERIA EN
CIENCIAS DE LA TIERRA

ASUNTO: Solicitud de Jurado para Examen
Profesional.

ING. GERARDO FERRANDO BRAVO
Director de la Facultad de Ingeniería
de la U.N.A.M.
P r e s e n t e

El señor **JUAN BERNARDO MIRANDA ROMERO** registrado con número de cuenta 8559990-3 de la carrera de Ingeniero Geólogo, habiendo satisfecho los requisitos académicos necesarios para realizar sus trámites de examen profesional, le ruego atentamente autorizarle el siguiente jurado:

| | |
|--------------------|---|
| PRESIDENTE: | ING. MIGUEL VERA OCAMPO |
| VOCAL: | ING. CARLOS GARZA GONZALEZ VELEZ |
| SECRETARIO: | DR. VICTOR MANUEL MALPICA CRUZ |
| 1ER. SPTE.: | DRA. BLANCA ESTELA BUITRON SANCHEZ |
| 2DO. SPTE.: | ING. JUAN JOSE MEDINA AVILA |

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D. F., a 15 de marzo de 2002
EL JEFE DE LA DIVISION

M. en C. ROLANDO DE LA LLATA ROMERO

ENTERADO

JUAN BERNARDO MIRANDA ROMERO

***Con todo mi amor para mi esposa Claudia
y a mi hijo Eric, gracias por estar con migo.***

***Gracias papas por todo su apoyo
y cariño, sin el no o hubiera logrado.***

***En memoria de mis abuelos Estela
y Leonardo Miranda, siempre estarán
con migo.***

***A mis hermanos Arturo, Juan Carlos
y Leonardo, gracias***

Al Ing. Carlos Garza González Velez, por todo su apoyo y paciencia en la dirección de esta tesis.

***Un agradecimiento especial para la Dra. Blanca E. Buitrón Sánchez
Y los Ing. Miguel Vera Ocampo, Ing. Juan José Medina y al
Dr. Víctor M. Malpica Cruz. Por sus atinados consejos para la
elaboración de este trabajo.***

***A todos mis amigos del Instituto de Geología
de la U.N.A.M. Por su gran apoyo técnico,
intelectual y principalmente por su amistad.
a todos ellos gracias.***

CRITERIOS METALOGÉNICOS EN LA EXPLORACIÓN DE LOS FILONES DEL VALLE DE SAN RAFAEL MPIO. DE CHARCAS, SAN LUIS POTOSÍ.

RESUMEN

1. GENERALIDADES

| | | |
|------------|---|----------|
| 1.1 | OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN. | 1 |
| 1.2 | LOCALIZACIÓN Y EXTENSIÓN DEL ÁREA. | 1 |
| 1.3 | VÍAS DE ACCESO. | 2 |
| 1.4 | MÉTODO DE TRABAJO. | 2 |
| 1.5 | CULTURA Y ECONOMÍA. | 3 |
| 1.6 | CLIMA Y VEGETACIÓN. | 4 |

2. FISIOGRAFÍA.

| | | |
|------------|----------------------------------|-----------|
| 2.1 | PROVINCIA FISIAGRÁFICA. | 7 |
| 2.2 | GEOMORFOLOGÍA. | 8 |
| 2.3 | OROGRAFÍA. | 9 |
| 2.4 | HIDROGRAFÍA. | 10 |
| | 2.4.1 AGUAS SUPERFICIALES | 10 |
| | 2.4.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS | 12 |

3. GEOLOGÍA.

| | | |
|------------|--------------------------------|-----------|
| 3.1 | ESTRATIGRAFÍA REGIONAL. | 13 |
| 3.2 | EVOLUCIÓN TECTÓNICA. | 26 |

4. YACIMIENTOS MINERALES.

| | | |
|------------|-----------------------------------|-----------|
| 4.1 | ROCAS ENCAJONANTES. | 30 |
| 4.2 | ESTRUCTURAS MINERALIZADAS. | 32 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.3 | ALTERACIONES HIDROTERMALES. | 35 |
| 4.4 | PARAGÉNESIS, SUCESIÓN E IDEAS ACERCA DEL ZONEAMIENTO | 42 |
| 4.4.1 | ANÁLISIS PARAGENÉTICO DEL ÁREA DE SAN RAFAEL | 42 |
| 4.4.2 | DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA DE LAS PRINCIPALES VETAS | 52 |
| 4.4.3 | INCLUSIONES FLUIDAS | 57 |
| 4.4.4 | TIPO DE ZONEAMIENTO MINERALÓGICO | 66 |
| 4.5 | HIPÓTESIS GENÉTICA | 72 |
| 4.6 | POTENCIAL ECONÓMICO - MINERO | 74 |

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

| | | |
|-----|-----------------|----|
| 5.1 | CONCLUSIONES | 76 |
| 5.2 | RECOMENDACIONES | 77 |

BIBLIOGRAFÍA.

MAPAS Y SECCIONES.

RESUMEN

El área de estudio corresponde a la Reserva Minera Nacional de San Rafael la cual se localiza dentro del distrito minero de Charcas, al noreste del estado de San Luis Potosí. En el presente trabajo se generan nuevas ideas metalogénicas para definir criterios que den la pauta en la exploración del área y en general, en la prospección de nuevos depósitos en el Terreno Sierra Madre.

En el proyecto afloran rocas del Triásico (Fm. La Ballena), del Jurásico (Fm. La Joya, Fm. Zuloaga y Fm. La Caja) y del Cretácico (Fm. Taraise y Fm. Cupido). Las formaciones fueron afectadas por los efectos de la orogenia Laramide, provocando la formación de pliegues y fracturamientos con rumbo NW-SE. En el Oligoceno se presentaron intrusiones de cuerpos graníticos los cuales dieron origen a la mineralización.

La mineralización en San Rafael es de tipo mesotermal, alojándose en vetas y con una temperatura de formación de 230 °C, teniendo como rocas encajonantes arcosas, areniscas, lutitas, lutitas calcáreas y limolitas de la Formación La Ballena. La mena esta constituida principalmente por sulfuros de Ag, Cu, Pb y Zn así como elementos nativos.

La zona presenta un excelente potencial económico ya que actualmente se han calculado alrededor de 1,100,000 toneladas de mineral, volumen que puede ser incrementado, con nuevas exploraciones tendientes a conocer la profundidad de la mineralización y la existencia de nuevo clavos de mineral.

1 GENERALIDADES

1.1 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

El objetivo fundamental de la presente investigación se sustenta en la generación de datos e ideas metalogénicas a fin de enriquecer el conocimiento geológico-minero del área de San Rafael en la región de Charcas, San Luis Potosí, para definir criterios que puedan dar nuevas pautas para la toma de decisiones en la exploración.

Asimismo, se pretende identificar y estudiar los diversos rasgos que permitan visualizar las zonas más favorables que contengan mineralización económica, así como reconocer los puntos de interés para exploraciones con obras directas.

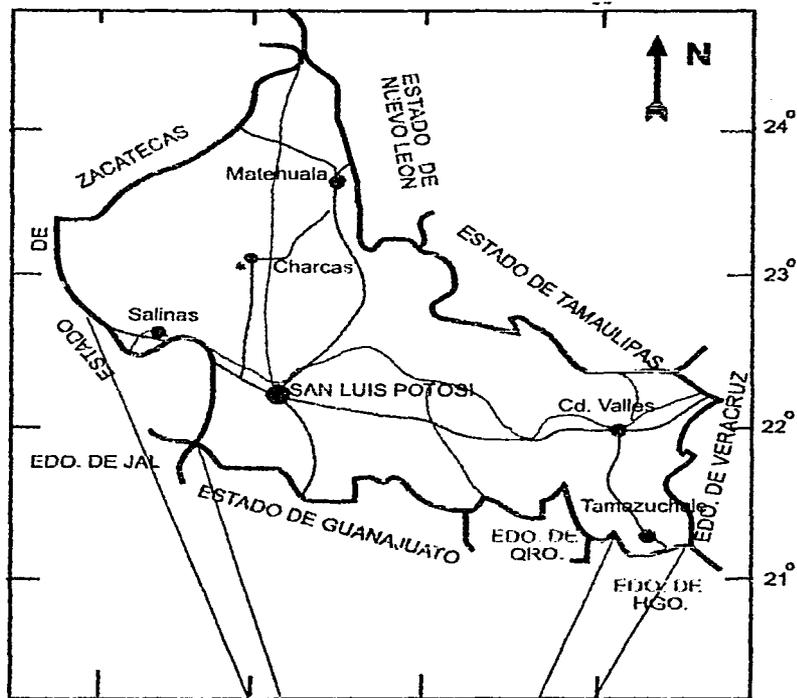
1.2 LOCALIZACIÓN Y EXTENSIÓN DEL ÁREA.

El área se encuentra situada al norte de la Cd. de San Luis Potosí aproximadamente a 100 Km, en línea recta y a 11 Km al SW del distrito minero de Charcas en el estado de S.L.P. El área en cuestión está limitada por las coordenadas geográficas:

Lat. N. 23° 00' 00" y 23° 04' 44"

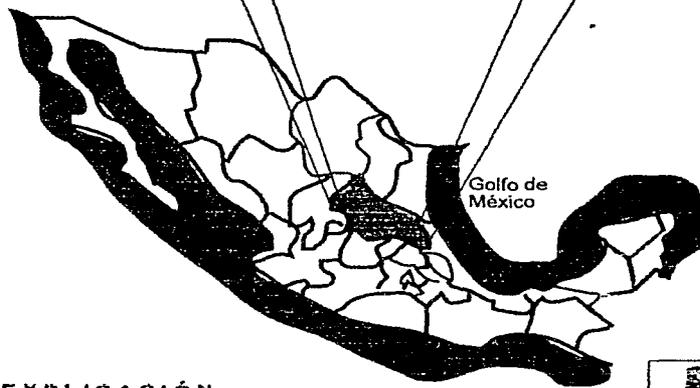
Long. W. 101° 08' 07" y 101° 13' 55"

La superficie de interés comprende 17 Km², aproximadamente (figura 1).



EXPLICACIÓN

- Población
- ★ Área de estudio
- Carretera
- Via de ferrocarril
- Limite estatal



FACULTAD DE INGENIERIA

Plano de localización del área de estudio

JUAN BERNARDO MIRANDA ROMERO

fig.1

TESIS PROFESIONAL

2002

1.3 VÍAS DE ACCESO.

La región de estudio se encuentra bien comunicada. El arribo a la Cd. de Charcas se puede hacer por automóvil, ferrocarril o avión.

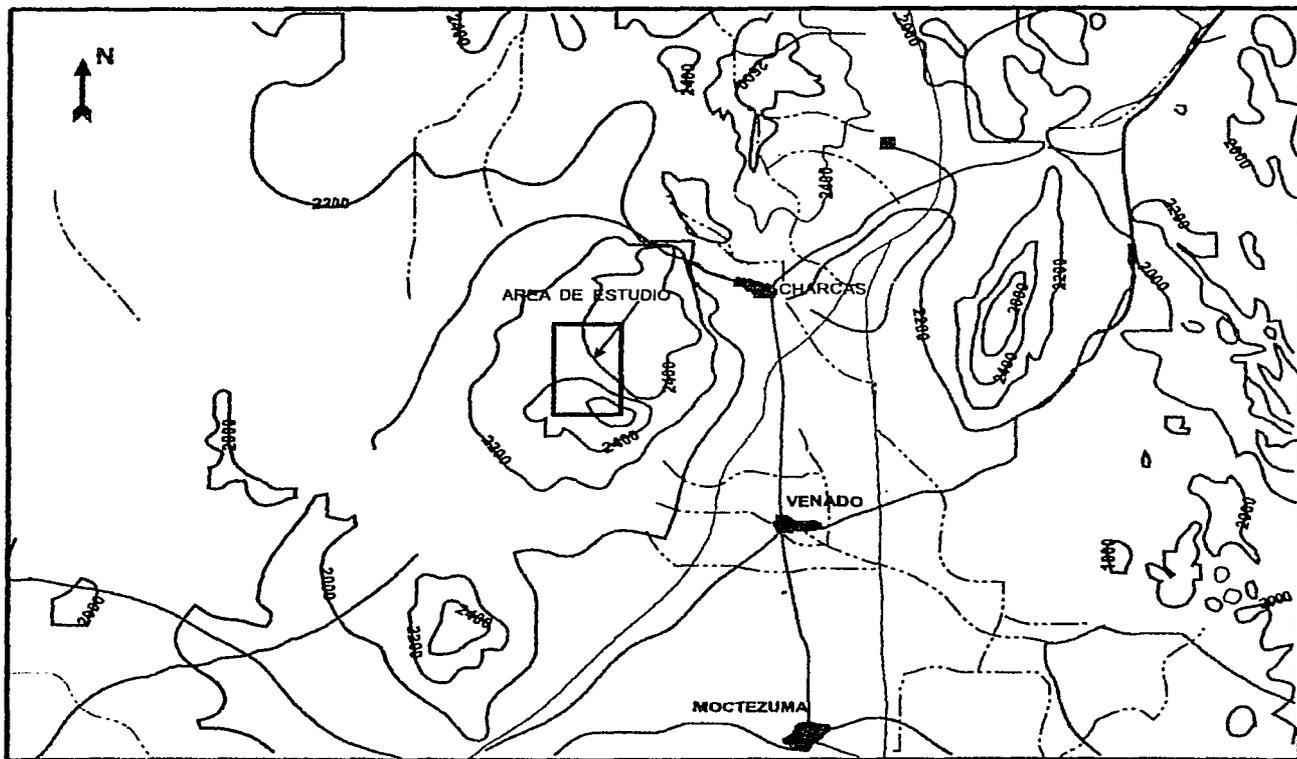
Por automóvil se puede realizar el recorrido a partir de la Cd. de San Luis Potosí, tomando la carretera federal No.49, con dirección a la Cd. de Zacatecas. A la altura del kilómetro 28, existe una desviación a la derecha, la que consiste en una carretera asfaltada la cual atraviesa los poblados de Ahualulco, Moctezuma y Venado, para llegar finalmente a la Cd. de Charcas.

El ferrocarril tiene acceso a partir de la línea México-Laredo que viene del estado de Guanajuato, para dirigirse después a la Cd. de San Luis Potosí; posteriormente hacia el norte pasa por el municipio de Moctezuma y llega a la estación Los Charcos que está a 7.5 km, al SE de la Cd. de Charcas. La Cd. de Charcas cuenta con dos aeropistas que permiten el acceso por medio de pequeñas aeronaves.

Una vez ubicado en la Cd. de Charcas, se puede dirigir a la zona de estudio, por un camino de terracería que conduce a la población de Santo Domingo, S.L.P., hasta llegar a la altura del km 9 a una desviación a la izquierda que conduce al poblado de San Rafael (figura 2).

1.4 MÉTODO DE TRABAJO.

Se realizó la recopilación bibliográfica y cartográfica del área de los archivos del Consejo de Recursos Minerales, Instituto de Geología, Facultad de Ingeniería de



EXPLICACIÓN



CARRETERA PAVIMENTADA



POBLACION



VÍA DE FERROCARIL



RIOS



CURVAS DE NIVEL

Fuente: www.inegi.gob.mx

| | | |
|-------------------------------------|---|------------------------|
| | FACULTAD DE INGENIERIA | |
| | Plano de localización de la Reserva Minera Nacional de San Rafael | |
| JUAN BERNARDO MIRANDA ROMERO | | |
| fig. 2 | | TESIS PROFESIONAL 2002 |

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

la U.N.A.M. e Instituto Politécnico Nacional, así como de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

La información se integró y analizó con detalle, con el fin de planificar los trabajos de campo. El trabajo en campo consistió primeramente en diversos reconocimientos geológicos-mineros que permitieron detallar con posterioridad la recolección de datos.

Al recabar los datos de campo se realizó un estudio de los principales rasgos estratigráficos y estructurales de las rocas encajonantes, simultáneamente con un muestreo tanto detallado como selectivo de las estructuras mineralizadas.

Las muestras fueron preparadas y estudiadas en las instalaciones de la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra en la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. Se prepararon láminas delgadas.

Finalmente toda la información disponible y generada se conjuntó e interpretó, a efecto de obtener un modelo de exploración basado asimismo, en nuevos datos metalogénicos.

1.5 CULTURA Y ECONOMÍA.

Charcas es una población en la que aproximadamente el 60% de sus habitantes se dedican o están asociados a la minería; en consecuencia su economía, ya sea directa o indirectamente gira, alrededor de este importante rubro económico. La mayor parte de este trabajo se desarrolla dentro de la unidad minera de Charcas perteneciente a la compañía Industrial Minera México S.A. de C.V.

En la región también existe la cría de ganado principalmente caprino y en menor escala el bovino y equino.

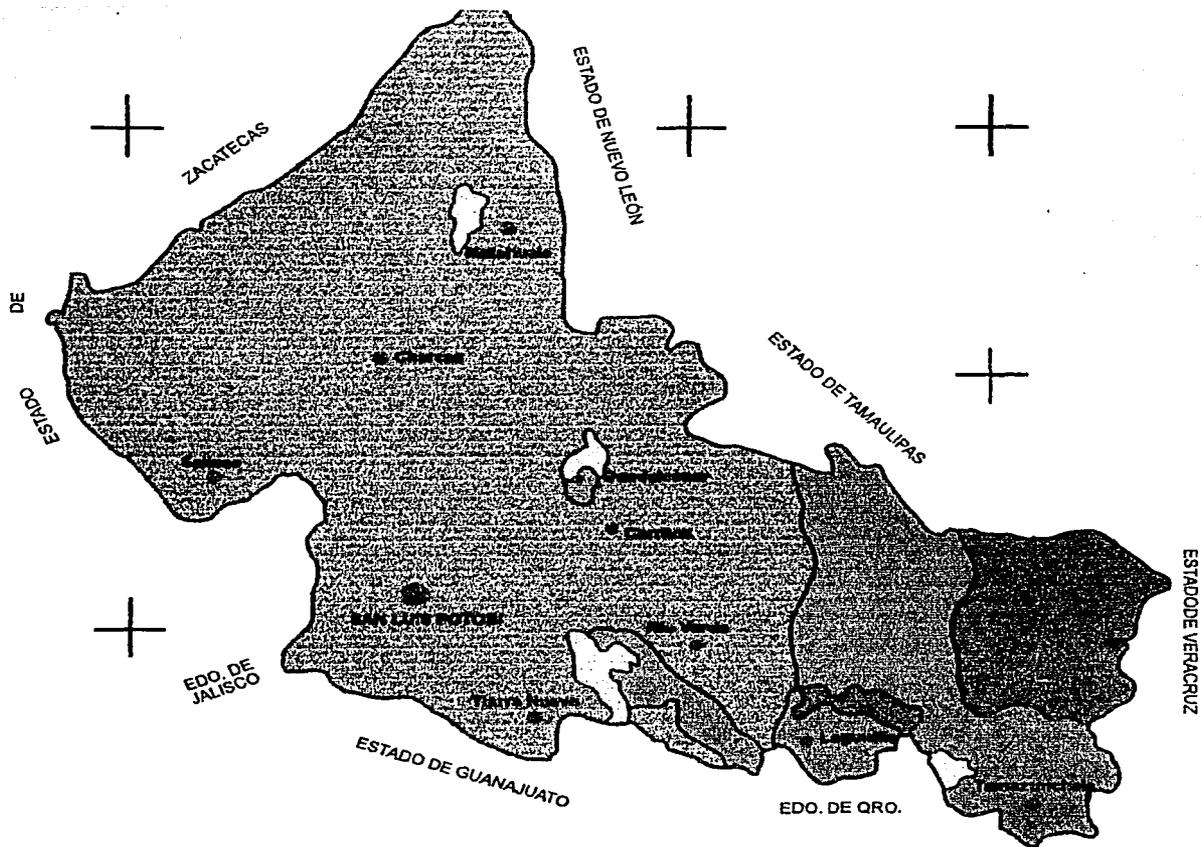
La agricultura no representa una actividad de gran desarrollo, ya que es patente la escasez de agua, realizándose esta actividad en pequeña escala, restringida al cultivo del maíz y el frijol, principalmente de temporal

Existe una industria turística local basada en pequeños balnearios cercanos a la región.

Según el Censo General de Población y Vivienda realizado por el INEGI en el 2000, el municipio de Charcas cuenta con una población de 21,070 habitantes, de los cuales 10389 son hombres y 10681 mujeres.

1.6 CLIMA Y VEGETACIÓN.

El clima que predomina en todo el altiplano y gran parte de la Sierra Madre Oriental, es de tipo seco, con la temperatura entre los 16°C y 18°C, con una precipitación pluvial anual fluctuante de 410 a 500 mm. Las lluvias son principalmente en verano y muy escasas en el resto del año. El clima seco se presenta en casi todo el territorio de San Luis Potosí e influye directamente en el área de estudio. La presencia de climas cálidos y semicálidos se tiene en la porción Este del estado. El clima templado se presenta en áreas de poca extensión localizadas en el altiplano y en el flanco occidental de la Sierra Madre Oriental; con una precipitación pluvial anual al rededor de los 600 mm, como se muestra en la figura 3 (monografía geológica-minera del edo. de S.L.P., C.R.M., 1992)



EXPLICACIÓN

- Población
- ▲ Área de estudio
-  Climas cálidos
-  Climas semicálidos
-  Climas templados
-  Climas secos

| | | |
|---|--|------|
|  <small>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE SAN LUIS POTOSÍ</small> | FACULTAD DE INGENIERIA | |
| | Plano de regiones climáticas, del estado de San Luis Potosí | |
| JUAN BERNARDO MIRANDA ROMERO | | |
| fig: 3 | TESIS PROFESIONAL | 2002 |

Fuente: Síntesis geográfica de San Luis Potosí, 1985

Los vientos dominantes se mantienen con dirección preferencial al Este en invierno y primavera, cambiando esta tendencia hacia el Oeste en verano y otoño.

La vegetación es reflejo del clima, presentándose en el estado de San Luis Potosí siete diferentes grupos de vegetación. En la zona de San Rafael se tiene matorral desértico, micrófilo y zacate, en las llanuras aluviales, resistentes a la sequía según, este tipo de vegetación ocupa cerca del 50% de la superficie total del estado de San Luis Potosí y el restante 50% se encuentra cubierto por pastizales, matorral submontano, selva baja de perennifolia y caducifolia, como se puede ver en la figura 4 (monografía geológica-minera del edo. de S.L.P., C.R.M., 1992).

En el área la flora que más destaca es la siguiente:

A Crasa-ruslifolios espinoso:

Maguey (*Agave* sp.)

Sotol (*Desylirio* sp.)

Guayule (*Parthenium argentatum*)

Lechuguilla (*Agave lechuguilla*)

B Matorral espinoso:

Agrito (*Lycium* sp.)

Ocotillo (*Fouquieria splendens*)

Granjeno (*Celtis* sp.)

C Matorral Subinerme:

Engorda cabra (*Delea* sp.)

Uña de gato (*Acaia* sp.)

Mezquite (*Prosopis julifloras*)

D Matorral inerte:

Candelilla (*Eufhobia antisiphilitica*)

Hojasen (*Fluorencia* sp.)

Gobernadora (*Larrea divaritica*)

Parralena (*Disodia* sp.)

E Nopalera:

Duraznillo (*Opuntia laucotricha*)

Tazajillo (*Opuntia leptocaullys*)

Cardenche (*Opuntia imbrincata*)

Nopal Tapón (*Oopuntia tuna*)

Biznaga (*Achinocactus biznaga*)

Peyote (*Lophophoroa cillisamsi*)

F Izotal:

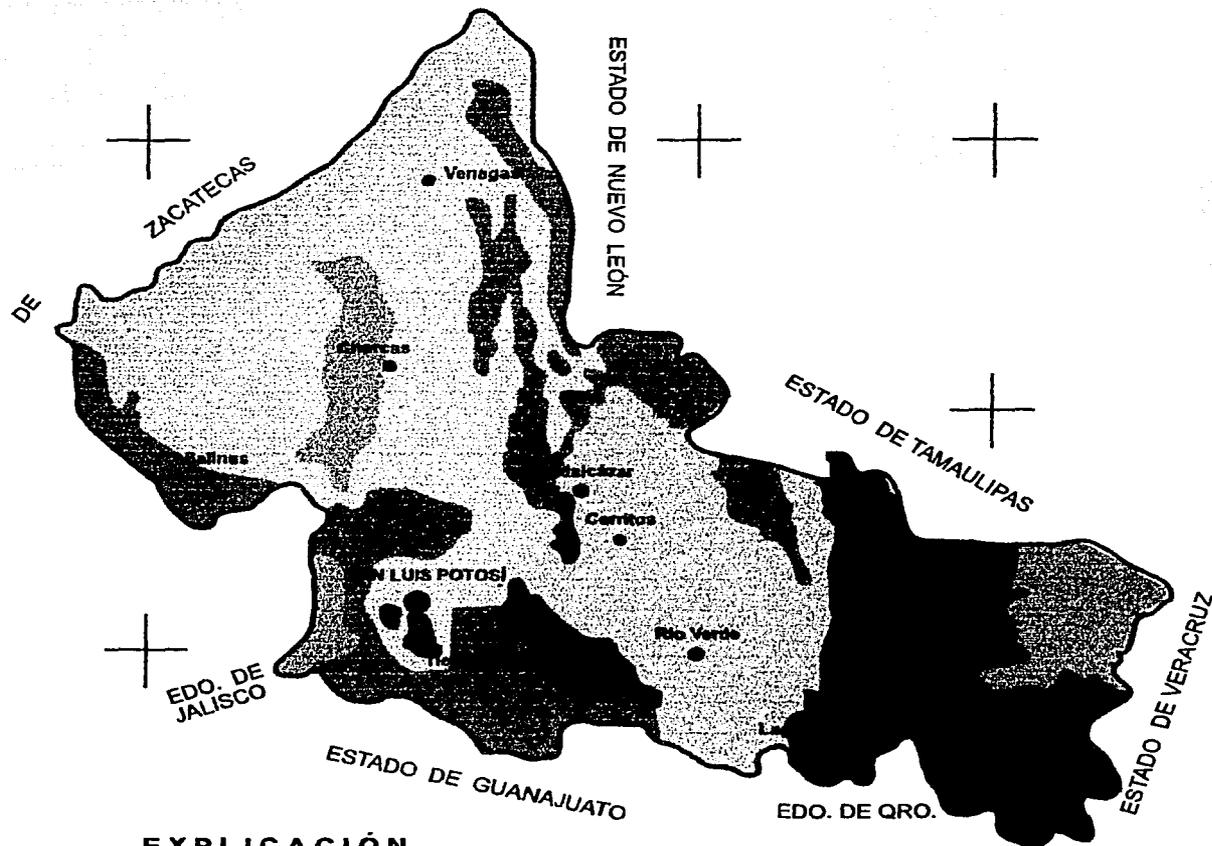
Palma China (*Yuca filifera*)

Palma real (*Yuca carnesosana*)

G Vegetación Halofita:

Zacatón alcalino (*Sporobulos* sp.)

Zacatón salado (*Distichlis* sp.)



EXPLICACIÓN

- Población
- ★ Área de estudio
- Matorral desértico
- Matorral crasicale
- Pastizal
- Bosque de pino y/o encino
- Selva baja caducifolia
- Selva baja perennifolia
- Matorral submontano

| | | |
|---|---|------|
|  UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS | FACULTAD DE INGENIERIA | |
| | Plano de la vegetación existente en el estado de San Luis Potosí | |
| JUAN BERNARDO MIRANDA ROMERO | | |
| fig:4 | TESIS PROFESIONAL | 2002 |

Fuente: Síntesis geográfica de San Luis Potosí, 1985

2 FISIOGRAFÍA.

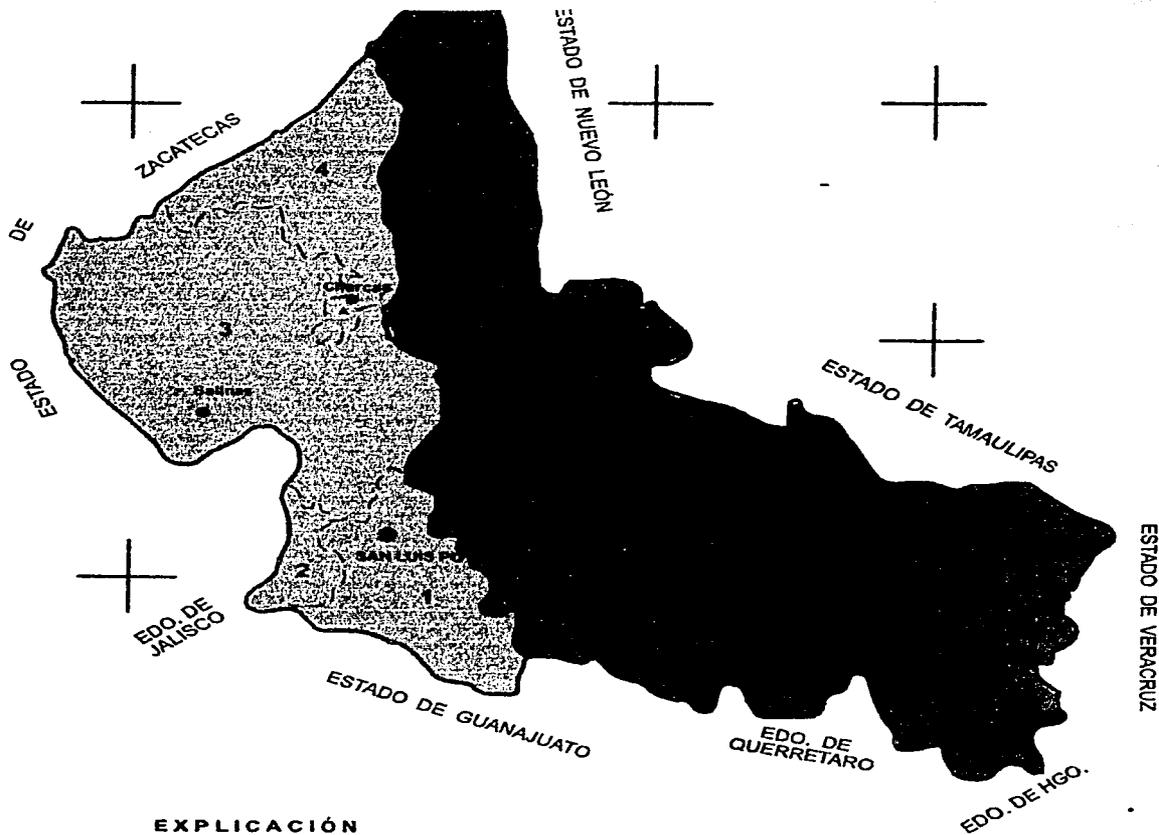
2.1 PROVINCIA FISOGRÁFICA.

El área de estudio se localiza en la subprovincia de Sierras y Lomeríos y río Grande de la provincia fisiográfica de la Mesa del Centro definida por Raisz (1959).

Esta provincia ocupa la parte noroccidental del territorio de San Luis Potosí; colinda al norte y este con la Sierra Madre Oriental, al este con la Sierra Madre Occidental y al sur con la provincia del eje Neovolcánico. En general los rasgos fisiográficos que caracterizan a dicha provincia, están representados por amplias llanuras interrumpidas por sierras dispersas con una orientación NW-SE. Las llanuras se localizan entre sierras, y están constituidas por rocas volcánicas, que en ocasiones se asocian con mesetas volcánicas de altitudes superiores a los 2000 m.s.n.m., con un piso de aluvión antiguo (figura, 5).

En una pequeña porción en el límite suroccidental del estado de Zacatecas se tiene la provincia de los llanos de Ojuelos Aguascalientes, caracterizada por la presencia de mesetas y sierras volcánicas con lomeríos y llanuras entre ellas. En la mayor parte de esta provincia (porción occidental) queda comprendida la subprovincia de los llanos y sierras Potosinas-Zacatecanos, que conforman lomeríos y llanuras con suelo que se asienta sobre una capa irregular de caliche.

En el extremo de la Sierra Madre Occidental, las serranías están constituidas esencialmente de rocas calcáreas de edad mesozoica; los valles se encuentran cubiertos por depósitos clásticos terciarios y cuaternarios; suelen aflorar en ellos, depósitos terrígenos del Triásico. En el valle de San Rafael se pueden asimismo



EXPLICACIÓN

- | | | | |
|---|---|---|--|
| ● | Población | ★ | Área de estudio |
| | Provincia Mesa del Centro | | Subprovincia Sierras Transversales |
| | Subprovincia Sierras y Llanuras del norte de Guanajuato | | Subprovincia Sierras Occidentales |
| | Subprovincia Llanos de Ojuelos - Aguascalientes | | Subprovincia Gran Sierra Plegada |
| | Subprovincia Llanos y Sierras Potosino - Zacatecano | | Provincia llanura costera del golfo |
| | Subprovincia Sierras y Lomeríos de Ajdama y Río Grande | | Subprovincia Llanuras y Lomeríos |
| | Provincia Sierra Madre Oriental | — | Limite de Provincia |
| | Subprovincia Carso Huasteco | — | Limite de Subprovincia |

Fuente: Síntesis geográfica del San Luis Potosí, 1985

| | | |
|-------|---|------|
| | FACULTAD DE INGENIERIA | |
| | Plano de distribución de las provincias fisiograficas, en el estado de San Luis Potosí JUAN BERNARDO MIRANDA ROMERO | |
| fig:5 | TESIS PROFESIONAL | 2002 |

observar, a cerros aislados formados por rocas ígneas intrusivas. (Jimenez-Ignacio, 1982)

2.2 Geomorfología.

Los rasgos del relieve existente en la zona, se originaron por el efecto combinado de los procesos endógenos y exógenos. Las sierras son moderadamente complejas ya que fueron plegadas, falladas y posteriormente afectadas por intrusiones de cuerpos ígneos.

El área se encuentra en una etapa de madurez dentro del ciclo geomorfológico de erosión, mostrado por las formas redondeadas y las laderas moderadas, características de la avanzada denudación de las estructuras.

El paisaje geomorfológico de la región, es contrastante ya que las diferentes unidades litológicas dan expresiones fisiográficas distintas. Así, las calizas de las Formaciones Zuloaga y Cupido, originan prominencias topográficas, en tanto que las rocas de la Formación La Caja, forma típicas depresiones; la Formación La Peña no presenta su característica formación de puertos de erosión, ya que sus características son similares a las formaciones adyacentes.

El agua ha provocado un intenso intemperismo químico en las rocas. En las calizas la reacción del agua y del CO₂ disuelto promueve la disolución de los carbonatos, evidencia de este fenómeno son los huecos de disolución que se presenta en las calizas de la Formación Cupido (Espíritu-Escobedo, 1984). La desintegración mecánica de las rocas es favorecida por la disolución, claramente demostrada por presencia de conos aluviales, dentro de los conos existen conglomerados, que son producto de la fragmentación de la roca, la cual está

cementada por caliche. Los minerales arcillosos son el resultado de la reacción química que presentan los feldespatos, que constituyen las rocas ígneas de composición ácida que intrusionan las rocas sedimentarias preexistentes.

Los abanicos aluviales, situados en la base de las sierras que forman los flancos de la parte interna del anticlinorio La Trinidad, se formaron por el cambio brusco de la pendiente, donde depositaron las corrientes su carga al perder energía.

2.3 Orografía.

Los rasgos orográficos más sobresalientes de la zona, son precisamente los que limitan al valle de San Rafael. Hacia el este se tiene la sierra de la Cuesta que es parte de la sierra de Charcas, fluctuando su altura entre los 2400 y los 2600 m.s.n.m. Limitado al sur-oeste por la sierra "Cuchilla Las Arañas" que también forma parte de la sierra de Charcas y que tiene una altura entre los 2600 y 2800 m.s.n.m (Espiritu-Escobedo, 1984).

Los cerros más prominentes de la sierra La Cuesta son: El Pedregoso, El Aguila, El Soyatal, La Peña, San José, La Culebra, Picacho, El Temeroso y La Bufa. En la sierra "Cuchilla Las Arañas" se tienen los cerros El Salteador, Picacho de Lobos y Cuchilla la Culebra.

Las partes más bajas pertenecen al valle de san Rafael, en el que se tienen cotas mínimas de 2020 m.s.n.m. representados como salientes topográficos. Se tienen algunos lomeríos que sobresalen del valle, como el cerro del Chapulín, Los Chivatos, Loma Larga, Loma Colorada y las lomas de Chupaderos (Espiritu-Escobedo, 1984).

La parte norte y noreste del estado de San Luis Potosí está constituida por planicies que circundan colinas y mesetas conformadas por derrames volcánicos, que cubren parcialmente algunos depósitos lacustres de edad Pliocénica.

2.4 Hidrografía.

La hidrología del estado se origina por su precipitación pluvial que varía desde 143.2 mm como mínima y 1599.9 mm como máximo anuales, con la principal época de lluvias en verano y otras de menor importancia en invierno, mismas que generan corrientes intermitentes en la mayor parte de la entidad y corrientes permanentes en la región este y sureste (www.inegi.gob.mx).

La entidad cuenta con una capacidad almacenadora de 133,965.00 m³ en sus diferentes presas, además de la existencia de unos 1625 a 1800 pozos para la extracción de agua con un gasto medio de 1.9 l.p.s y con una profundidad que varía de los 250 a 500 metros (monografía geológica-minera del edo. de S.L.P., C.R.M., 1992).

2.4.1 Aguas Superficiales.

El estado de San Luis Potosí se divide en dos regiones hidrológicas: La RH26 que ocupa la parte sudsudeste del estado y la RH27 que ocupa la parte nornoroeste. La región de interés para el proyecto es la de El Salado, localizada en la porción central y con una superficie dentro de la misma de 35,164.19 km². En esta área las corrientes de agua superficial son intermitentes, escasas y de poco caudal y en

ella se encuentra parte de las siete cuencas hidrológicas (figura,6) (monografía geológica-minera del edo. de S.L.P., C.R.M., 1992).

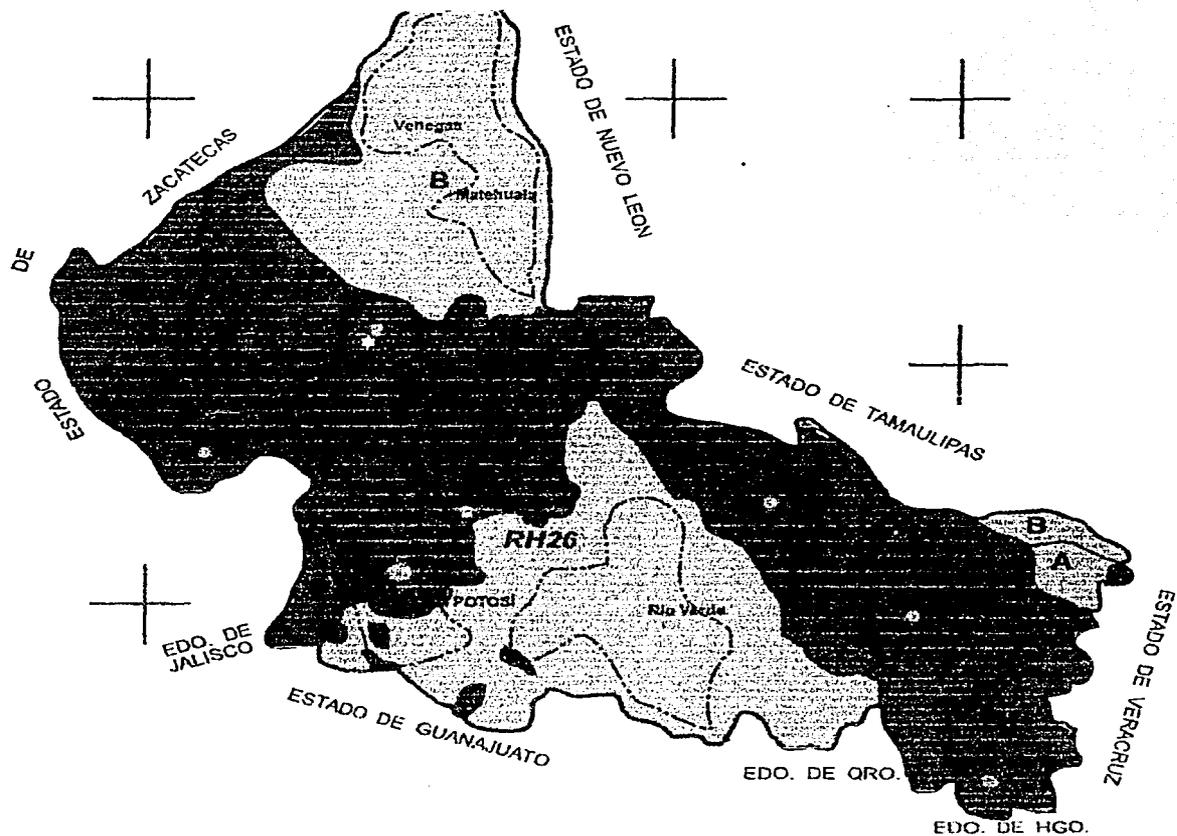
En la región de El Salado se presenta un patrón hidrográfico de tipo dendrítico y endorreico que sólo fluye durante la época de lluvias en verano y ocasionalmente en invierno.

El patrón de drenaje principal del área, como se dijo anteriormente es de tipo dendrítico y se presenta en arroyos cortos, rectos y otros grandes en zigzag, debido al gran paralelismo que se presenta entre los arroyos y las condiciones físicas de las rocas. Asimismo, es patente un patrón de drenaje en enrejado, el cual se desarrolla por la alternancia de estratos de rocas resistentes y no resistentes a los agentes erosivos del medio ambiente.

El valle de San Rafael forma una pequeña cuenca de carácter endorreico, en donde las corrientes principales drenan al este de la misma. Esta pequeña cuenca está enmarcada por los parteaguas que existen en las sierras La Cuesta y Cuchillas Las Arañas.

Los cauces de las corrientes superficiales, se profundizan hacia las sierras mientras descienden. Estos se restringen hasta perderse en la mayoría de los casos, lo que implica que los cauces no son capaces de integrarse. La mayor parte de los arroyos que bajan de las sierras se pierden ya que se infiltran antes de llegar a la planicie, debido a que las rocas son altamente permeables por el fallamiento y fracturamiento que en ellas se han desarrollado.

A pesar de la escasa precipitación que propicia un drenaje intermitente, existen algunos arroyos que llevan pequeñas cantidades de agua casi todo el año, como el arroyo San Antonio, Ojo de Leño y arroyo Hondo. Los arroyos más importantes son arroyo Hondo, Ojo de Leño, Puerto Colorado y El Huilote, los cuales presentan una dirección en su drenaje de suroeste a noreste y los arroyos



EXPLICACIÓN

- Población
- Área de estudio
- RH37 Región hidrológica
- A Cuenca hidrológica
- ~ Límite de cuenca hidrológica
- - - Zona de acuífero
- ◐ Laguna
- ▲ Presa

Fuente: Síntesis geográfica de San Luis Potosí, 1985

| | | |
|---|---|------|
|  | FACULTAD DE INGENIERIA | |
| | Plano hidrológico del estado de San Luis Potosí | |
| JUAN BERNARDO MIRANDA ROMERO | | |
| fig:6 | TESIS PROFESIONAL | 2002 |

Charcas Viejas, El Grande, Las Margaritas, San Agustín y Las Palmas que presentan un rumbo noroeste - sudeste. Todos ellos desembocan en el arroyo San Antonio que es el de mayor importancia, con una orientación suroeste- noreste.

2.4.2 Aguas subterráneas.

Dado que en la región prevalece un clima de tipo seco y que las corrientes de aguas superficiales son escasas e intermitentes, los recursos hidráulicos del subsuelo son la principal fuente de abastecimiento de agua para usos diversos.

En la zona norte existen amplios valles rellenos de sedimentos que presentan buenas posibilidades para la producción de acuíferos, como las regiones de Matehuala, Cedral, Wadley, El Gallo, El Barril, El Sabino y Refugio de Coronado. En estos sectores el agua es de buena calidad y de un gasto regular.

En el área de Valle de Ramos, el agua presenta una abundante cantidad de sales lo que impide su utilización, tanto para el consumo humano e incluso el industrial.

En el Valle de San Rafael se presentan condiciones muy similares a las del Valle de Arista que se puede considerar una pequeña zona de recarga ya que sus conos aluviales que se presentan hacia los flancos, pueden permitir el almacenamiento del agua, además que están consideradas por la Comisión Nacional del Agua como zonas subexplotadas.

3 GEOLOGÍA.

3.1 ESTATIGRAFÍA REGIONAL.

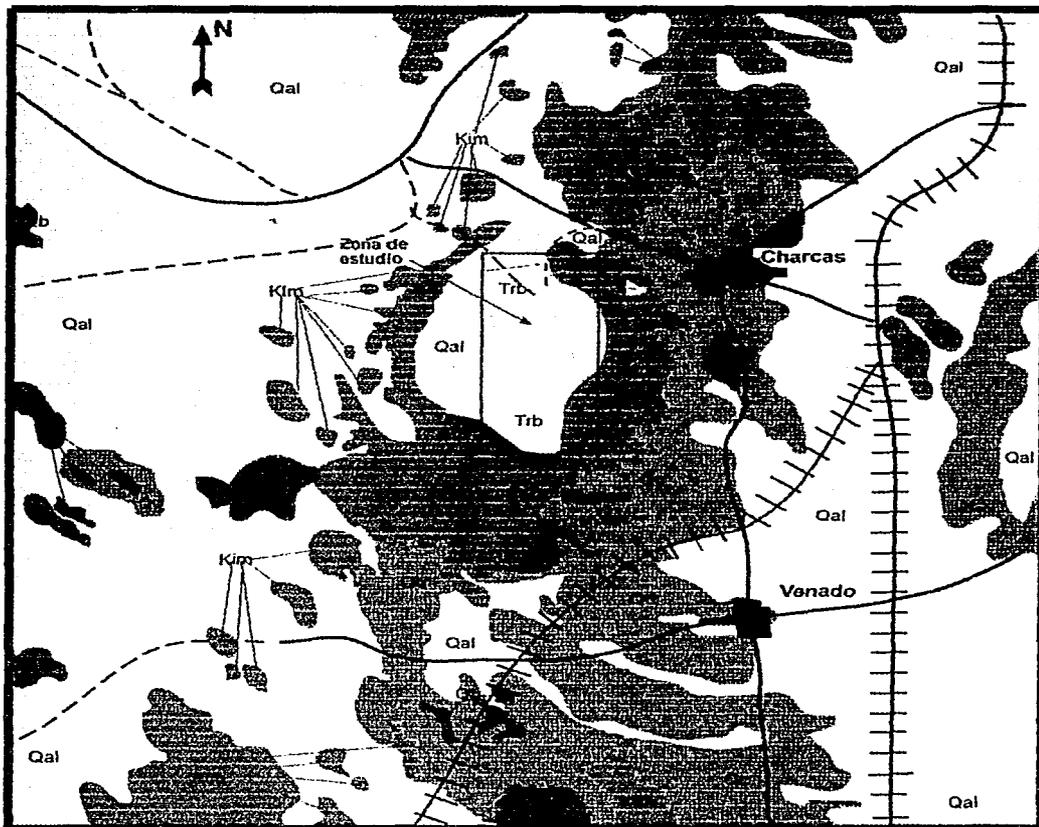
En el distrito minero de Charcas, afloran rocas cuya edad varía desde el Triásico Medio-Superior hasta el Cuaternario (figura 7). La unidad más antigua corresponde al Triásico Medio-Superior, denominada Formación La Ballena, que es la de mayor importancia dentro del área de estudio. Encima de esta unidad, descansa en discordancia angular la Formación La Joya de edad Jurásico Medio-Superior. Sobre la Formación La Joya de manera discordante se encuentra la Formación Zuloaga. A partir de esta unidad se encuentran en secuencia continua las formaciones La Caja del Jurásico Superior, las formaciones Taraises y Cupido del Neocomiano, La Peña del Aptiano, Cuesta del Cura con una edad Albiano-Cenomaniano y las formaciones Indidura y Caracol de edad Cretácico Superior (Tabla 1).

Durante el Terciario existió un periodo de actividad ígnea, manifestada por la intrusión de cuerpos ígneos de composición ácida y básica, los que probablemente dieron origen a la mineralización. Durante el mismo periodo, se originaron depósitos aluviales debido a la erosión de las zonas altas.

Sistema Triásico:

Formación Zacatecas

Definición: Con el nombre de Formación Zacatecas, se ha designado una secuencia de lutitas y areniscas de color gris verdoso oscuro, descritas por



EB00025

EB00030

EXPLICACIÓN

| | | |
|-------------|-----|--|
| CUATERNARIO | Qal | Aluviones, suelos y depósitos lacustres |
| | | Gravas y conglomerados poco consolidados |
| | | Derrames de basaltos |
| CRETÁCICO | | Calizas con lutitas, lutitas, limonitas |
| | | Calizas, Calizas con pedernal, lutitas, limonitas, dolomías |
| JURÁSICO | | Calizas fosilíferas, capas de evaporitas, calizas, lutitas y areniscas |
| | | Conglomerados, areniscas y lutitas |
| TRIÁSICO | Trb | Depósitos turbidíticos, lutitas negras, areniscas y conglomerados |

ESCALA GRÁFICA

0 5 10 km

| | |
|--|--------------------|
| | Población |
| | Carretera |
| | Camino secundario |
| | Via de Ferrocarril |



FACULTAD DE INGENIERIA

Plano geológico de la región de Charcas, Edo. de San Luis Potosí.

JUAN BERNARDO MIRANDA ROMERO

fig:7

TESIS PROFESIONAL

2002

Fuente: Modificado de la monografía geológico - minera del estado de San Luis Potosí, CRM, 1992

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

| ERA | SISTEMA | SERIE | PISO | CHARCAS ¹ | SAN RAFAEL ² | |
|-----------|--------------|-------------|---------------------------|----------------------|-------------------------|---------|
| CENOZOICO | CUATERNARIO | Holoceno | | Aluvion | Aluvion | |
| | | Pleistoceno | | Conglomerado | Conglomerado | |
| | TERCIARIO | Plioceno | | Tobas y areniscas | | |
| | | Mioceno | | | | |
| | | Oligoceno | | | | |
| | | Eoceno | | | | |
| Paleoceno | | | | | | |
| MESOZOICO | CRETÁCICO | Superior | Maestrichiano | | | |
| | | | Campaniano | | | |
| | | | Santoniano | Caracol | | |
| | | | Coniaciano | Indidura | | |
| | | | Turoniano | Cuesta del Cura | | |
| | | Inferior | Cenomaniano | Peña | | |
| | | | Albiano | | | |
| | | | Neocomiano | Aptiano | Cupido | Cupido |
| | | | | Barremiano | Taraise | Taraise |
| | | | | Hauteriviano | | |
| | Valanginiano | | | | | |
| | Berrisiano | | | | | |
| | Tithoniano | | La Caja | La Caja | | |
| | JURÁSICO | Superior | Bononiano | Havriano | Zuloaga | Zuloaga |
| | | | | Sequaniano | | |
| | | | Oxfordiano/Kimmeridgiense | Argoviano | | |
| | | | | Divesiano | La Joya | La Joya |
| | | Medio | Calloviano | | | |
| | | | Bathoniano | | | |
| | | | Bajociano | | | |
| | | | Liasico | | | |
| | Inferior | | | | | |
| | TRIÁSICO | Superior | Rético | | | |
| Nórico | | | Zacatecas | La Ballena | | |
| Cárnico | | | | | | |

- 1) Jimenez-Ignacio et. al., 1982
2) Presente trabajo.

| | | |
|---|--|------|
|  UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO | FACULTAD DE INGENIERIA | |
| | Estatigrafía del area de San Rafael estado de San Luis Potosí | |
| JUAN BERNARDO MIRANDA ROMERO | | |
| Tabla 1 | TESIS PROFESIONAL | 2002 |

(Burckhardt y Scalia, 1905), con fauna del Triásico Superior (Cárnico-Rético), que aflora al oeste de la ciudad de Zacatecas, cuya localidad tipo se encuentra en el arroyo Pimienta (Martínez, 1972). La formación tiene un espesor desconocido; sin embargo, en el pozo La Tapona se cortaron 2000 metros de esta unidad. Estas rocas afloran en el núcleo del anticlinorio de La Trinidad, situado en la porción suroccidental de la población de charcas, S. L. P.

Litología y espesor: Se encuentra constituida por una alternancia rítmica de lutitas, limolitas, areniscas y areniscas conglomeráticas.

- a) Lutitas y limolitas. son rocas de color gris verdoso a negro, que intemperizan a color sepia rojizo, amarillos y hasta rojo carmín. Son compactas, fractura astillosa, presentándose en capas con espesores que varían de los 5 cm hasta los 3 metros. Las limolitas presentan ocasionalmente laminaciones cruzadas.
- b) Areniscas. Son de color gris pardo y gris verdoso, en ocasiones con tonos violáceos, que por intemperismo se producen coloraciones gris claro y pardo rojizo. Se presentan bien estratificadas y a veces, con algunos acuñamientos lenticulares; son de grano fino a grano grueso casi conglomeráticas, a menudo presentan una estratificación granular. El espesor de los estratos varían de los 5 cm, hasta 2 metros. Estas rocas presentan gran contenido de hematita.
- c) Areniscas conglomeráticas. Se aprecian en cuerpos masivos y discontinuos de color gris verdoso con tonos rojizos; su granulometría varía de grano fino a grueso, por lo cual se encuentran muy mal clasificadas; los clastos de tamaño guijarro ocupan aproximadamente el 10% de la totalidad de la roca, variando de subangulosos a subredondeados, con tamaños de 2 a 35 cm. Estas rocas están formadas principalmente por fragmentos de areniscas, cuarzo, limolita, pedernal y pizarras.

Relaciones estratigráficas: Se desconoce que rocas subyacentes existen en el área, ya que no se observa su base y consecuentemente su relación con rocas más antiguas. Le sobreyacen en discordancia angular la Formación La Joya y la Formación Zuloaga.

Edad y correlación: Su edad se ha inferido como Cárnico-Rético (Triásico Superior) con base en el hallazgo del cefalópodo *juvavites sp.*, en el núcleo del anticlinorio de La Trinidad (Cantú, 1969). Se correlaciona con la Formación Huizachal del centro y oeste de la plataforma Valles-San Luis Potosí.

Ambiente de depósito: Por ser un depósito rítmico aparentemente turbidítico, sin carbonatos, se le ha propuesto tradicionalmente como un depósito de aguas profundas, en un ambiente tectónicamente inestable. (Martínez, 1972.) menciona restos de plantas y en las areniscas, canales de conglomerados, huellas de oleaje, cefalópodos y fucoides.

Formación La Ballena.

Definición: Esta formación es definida por Silva-Romo (1994). Está constituida por turbiditas cuarcíticas de mar profundo y lutitas negras. Aflora en la parte oriental del poblado La Ballena y al occidente de Charcas. En el área de estudio, los afloramientos de esta formación representan cerca de la mitad de las rocas presentes en el área. (Silva-Romo et. al.,1994) señala que las numerosas estructuras presentes impiden el reconocimiento de la secuencia estratigráfica, sin embargo basándose en la información estructural y la geometría entre la formación se ha estimado el espesor en mas de 2500 metros, aunque el contacto queda oculto.

Litología y espesor: La Formación La Ballena, está constituida por depósitos turbidíticos, lutitas negras, areniscas ricas en cuarzo y conglomerados. Las

turbiditas son areniscas de grano fino a medio que están dispuestas en delgados estratos con espesores que varían entre los 30 y 100 cm, algunos de los estratos contienen amonites; las unidades presentan granos finos y medios de ortocuarcita, cuyos fragmentos de cuarzo son de origen metamórfico, presentan halos de intercrecimiento, los lentes de arena forman crestas. Las areniscas están constituidas por granos de cuarzo y algunos feldespatos, de origen metamórfico, siendo estos estratos los de mayor espesor.

Relaciones estratigráficas: La Formación La Ballena se encuentra en inconformidad angular con la Formación Nazas en Peñón Blanco y Charcas; la edad de la Formación Nazas en estas localidades es desconocida, sin embargo existen rocas similares en Caopas-Pico de Teyra, a las cuales se les ha asignado una edad Jurásica Superior por fechamientos de U/Pb (Centeno-García y Silva-Romo, 1997).

Edad: Chávez-Aguirre (1968) reporta las amonitas *Sirenites*, sp. Al noreste del poblado la Ballena; (Cantú-Chapa, 1968) identifico amonitas del género *Juvavites* sp. Localizados a 10 km al NW del poblado de Charcas; al sureste del poblado La Ballena en el arroyo la Huerta (Silva-Romo, 1993) colectó en una secuencia turbidítica amonites del género *Clionites*; y en el arroyo La Hacienda moldes de Pelecípodos. Que corresponden con el *Palaeoneilo* y *Halobia*, sp. Esta fauna fósil indica una edad Triásico Medio, similar a la reconocida en las proximidades de la ciudad de Zacatecas (Burckhardt, 1965).

Ambiente de deposito: Esta secuencia fue depositada en la parte media de un abanico submarino formado por corrientes turbidíticas, en un ambiente de mar profundo.

SISTEMA JURÁSICO:

Formación La Joya.

Definición: Esta formación fue propuesta por Nixon (1958), para una secuencia de lechos rojos de 65 metros de espesor que aflora en el anticlinorio del Huizachal-Peregrina, en la Sierra Madre Oriental; la localidad tipo de esta formación está situada a lo largo del lado norte del valle de Huizachal y del rancho La Joya Verde, ubicado a 20 km, al oeste-sureste de Ciudad de Victoria, estado de Tamaulipas.

Distribución: En el área de estudio, los afloramientos de esta formación se encuentran muy restringidos. Su mayor exposición existe en el flanco Este del anticlinorio La Trinidad, aunque existen afloramientos muy pequeños en el flanco oeste que no son cartografiables. La formación aflora en una superficie aproximada de 8 km².

Litología y espesor: Se encuentra conformada por limolitas, areniscas de grano fino a medio y conglomerados de color violáceo y pardo rojizo en capas gruesas. Los conglomerados están compuestos por fragmentos de 5 mm a 5 cm, de areniscas rojas, lutitas rojas y negras, cuarzo y rocas ígneas de textura afanítica y porfídica; todos los fragmentos presentan forma subangular y están mal clasificados (Jimenez-Ignacio et al., 1982).

Relaciones estratigráficas: La Formación La Joya descansa discordantemente sobre la secuencia arcillo-arenosa del Tríasico Superior y se encuentra cubierta en forma discordante también por la caliza Zuloaga del Jurásico Superior (Oxfordiano - Kimmeridgiano) (López – Ramos, 1985).

Edad: Es difícil determinar su edad, debido a la carencia de fósiles, pero de acuerdo a su posición estratigráfica, corresponde a una edad Calloviano-Divesiano, no obstante (Imlay 1953) la consideró particularmente del Divesiano.

Ambiente de depósito: Se asocia a un ambiente de oxidación, presentando alternancias litológicas y de tamaño (Conglomerado – Arenisca – Limolita); también se presentan cuerpos lenticulares conglomeráticos. Es posible que el tamaño del grano se explique por un cambio cíclico de las condiciones ambientales, dando origen a depósitos aluviales y de relleno de valles, constituyéndose dentro de depresiones con alta salinidad y gran oxidación (Jimenez-Ignacio, et. al., 1982).

Formación Zuloaga.

Definición: Esta formación fue definida primeramente por (Burekhardt, 1930), quien la describió como una caliza con Nerineas. Posteriormente (Imlay 1938) le asignó el nombre de caliza Zuloaga, cuya localidad tipo se encuentra en la Sierra de Sombrerete, al norte de la ciudad de Melchor Ocampo, estado de Zacatecas.

Distribución: Las rocas de esta formación afloran en la margen oriental y sur-occidental del anticlinorio de La Trinidad, cuyos afloramientos cubren una superficie aproximada de 17,250 km². afloran también al noreste de la población de Charcas (Jimenez-Ignacio, et. al., 1982).

Litología y espesor: La base está constituida de caliza ligeramente arcillosa y calizas microcristalinas laminares, con estilolitas y escasas calcarenitas de grano fino, que forman capas de 10 cm a 3 metros de espesor. Existen bancos de calizas biógenas con abundantes fragmentos de pelecípodos y corales, en ocasiones silicificados; estos alternan con lutitas y limolitas calcáreas de color gris. La parte superior está constituida por calizas microcristalinas de color gris oscuro con vetillas de calcita, capas de calizas oolíticas de color gris, la

estratificación es de mediana a gruesa, presentando estilolitas bien desarrolladas y abundantes lentes de pedernal de color castaño, gris oscuro y negro. (Jimenez-Ignacio, et. al., 1982).

Relaciones estratigráficas: Le subyacen en forma discordante, la Formación La Joya en el flanco oriental del anticlinorio La Trinidad y la Formación La Ballena en el costado sur-oriental del mismo anticlinorio; infrayacen de manera concordante a las rocas de la Formación La Caja.

Edad: Según (Imlay, 1943) pertenece al subpiso Argoniano del Oxfordiano con base en los amonites encontrados en San Pedro del Gallo y Villa Juárez, estado de Durango y termina en el Kimmeridgiano según los fósiles de la parte inferior de la Formación La Caja.

Ambiente de depósito: El depósito de los sedimentos se realizó en un medio ambiente nerítico, de aguas cálidas y clima sin muchas variaciones, esto se deduce por la presencia de gasterópodos y corales. La unidad constituye un depósito transgresivo que inicia en el Oxfordiano y marca la invasión de mares Jurásicos y Cretácicos en gran parte del país (Jimenez-Ignacio, et. al., 1982).

Formación La Caja.

Definición: Imlay (1938), define como Formación La Caja a una secuencia de 91 metros de calizas de estratificación delgada, localizada en la zona meridional de la Sierra La Caja, al norte de Mazapil estado de Zacatecas.

Distribución: Tiene una limitada distribución horizontal, aflora a todo lo largo del sector este del anticlinorio de La Trinidad, así como en la parte sur-occidental, abarcando una superficie de 14 km².

Litología y espesor: Constituida por una alternancia de margas y calizas arcillosas, de color gris oscuro a negro, que intertemperiza a gris claro y negro, con limolitas y lutitas amarillas, de color gris oscuro o negras que intertemperizan a gris claro a amarillo ocre, en capas con un espesor que varía de 5 a 10 cm. La secuencia presenta un espesor entre de los 10 y los 100 metros. (Imlay, 1938)

Edad: La edad de esta formación es el Kimmeridgiano-Titoniano y está dada por la fauna de cefalópodos: *Aulocosphictoides sp*, *Perisphinctes sp*, *Perisphinctes (Dichotomosphinctes) sp*, *Protacanthodiscus sp*, y *Micaacanthoceras sp*. (Jimenez-Ignacio, et. al., 1982).

Ambiente de depósito: Se deduce por la morfología de las amonitas, demostrando que la depositación de los sedimentos fue lenta y dentro de un ambiente infranerítico de aguas bien oxigenadas y con un importante aporte de terrígenos (Jimenez-Ignacio, et. al., 1982).

SISTEMA CRETACICO

Formación Taraises.

Definición: Esta unidad está descrita por (Imlay, 1936), en el cañón de Taraises, el cual se localiza al oeste de la Sierra de Parras, en el estado de Coahuila y consta de una secuencia de calizas y lutitas.

Distribución: Al igual que las formaciones anteriores, aflora en los flancos occidentales y sur-occidentales del anticlinorio La Trinidad en una superficie de 20 km², aproximadamente.

Litología y espesor: Se encuentra constituida de una alternancia de lutitas calcáreas, margas arenosas y calizas puras; son de color gris oscuro a negro e

intemperizan a gris claro. Presentan profuso lajeamiento con muchas vetillas de calcita y algunas veces nódulos de hierro y bandas de pedernal negro; el espesor varía entre los 70 y 170 metros.

Relaciones estratigráficas: Tiene su contacto inferior concordante con la Formación La Caja y el contacto superior con la Formación Cupido.

Edad: A la formación se le ha asignado una edad del Berriasaino-Hauteriviano inferior, con base en su contenido faunístico consistente en, Barriasella sp. Colectada al oeste de la población de Charcas por (Jimenez-Ignacio, et. al., 1982).

Ambiente de depósito: El ambiente en que se depositó esta unidad se determinó con base en su litología y su contenido faunístico, siendo característico de un ambiente nerítico a infranerítico con períodos de poca circulación de agua y poca oxigenación (Jimenez-Ignacio, et. al., 1982). Aunque las características descritas corresponden mas a un ambiente de bahías cerradas o lagunas costeras.

Formación Cupido.

Definición: La caliza Cupido fue definida por (Imlay, 1937), en la pared norte del cañón del Mimbres en la zona meridional de la Sierra de Parras.

Distribución: Esta formación tiene gran distribución tanto en el flanco norte como en el occidental del anticlinorio La Trinidad, siendo expuesta en una superficie de 37 km², aproximadamente.

Litología y espesor: La secuencia consta de calizas bien estratificadas, de color gris claro a pardo claro que intemperiza en crema. Presenta numerosos lentes y nódulos de pedernal y estilolitos; la estratificación va de media a gruesa y frecuentemente se aprecian nódulos de pirita. Los estratos presentan un grosor

que varían de 20 a 60 cm. El espesor de esta secuencia varía entre los 100 y 500 metros (Jimenez-Ignacio, et. al., 1982).

Relaciones estratigráficas: superyace de manera gradual a la Formación Taraises y sobreyace concordantemente a la Formación La Peña.

Edad: Por su contenido faunístico, se le asigna una edad en la base del Hauteriviano Superior-Barremiano, Imlay (1944).

Ambiente de depósito: El depósito de esta formación es de plataforma de mar abierto, con poco aporte de terrígenos. Localmente en aguas poco profundas y ambiente reductor lo que favoreciendo la formación de nódulos de pirita.

Formación La Peña.

Definición: Imlay (1936) introdujo este nombre a una secuencia de dos miembros, calizas en la parte inferior y en su parte superior lutitas calizas arcillosas y arcillas en capas delgadas, que se localizan en el flanco norte de la sierra Taraises.

Distribución: Dentro del área tiene muy poca exposición, aflora solamente en el flanco occidental del anticlinorio La Trinidad en una superficie de 2.5 km², aproximadamente.

Litología y espesor: Constituida por calizas criptocristalinas de color gris, amarillento y rojizo. En estratos de espesor medio a grueso, con capas lenticulares y lentes de pedernal negro y castaño. En ocasiones presentan pequeños nódulos de hematita y alterna con lutitas calcáreas fosilíferas, compactas de color amarillento y rojizo, en capas de 1 a 5 cm de espesor. Su espesor total es muy pequeño no mayor a 40 metros.

Relaciones estatigráficas: Descansan sobre la Formación Cupido e infrayace a la Formación Cuesta del Cura, en ambos casos de manera concordante.

Edad: Por su posición estatigráfica, con respecto a otras unidades, se infiere que su edad es del Aptiano-Barremiano. La Formación La Peña es correlacionable con la Formación Otates de la cuenca Tampico-Mizantla y con la Formación Las Uvas del área de Delicias Acantita, en el estado de Coahuila. (Jimenez-Ignacio, et. al., 1982).

Ambiente de deposito: Corresponde a un ambiente de aguas profundas con aporte de terrigenos.

Formación Cuesta del Cura.

Definición: Esta formación la definió Imlay (1936), como una secuencia de calizas gris oscuro con bandas de pedernal negro y limolitas rosadas que se localizan en la región Cuesta del Cura a 7 kilómetros al oeste de la población de Parras estado de Coahuila.

Distribución: En el área se encuentra en el flanco occidental del anticlinorio La Trinidad en una superficie aproximada de afloramiento de 4 km².

Litología y espesor: Constituida por calizas microcristalinas, de color gris, en ocasiones bandeadas, en capas delgadas a gruesas, con estratificación ondulante; capas delgadas de pedernal negro, alterna con calizas microcristalinas ligeramente arcillosas de color gris, en estratos delgados y con lutitas calcáreas de color gris amarillento y rosado, compactas y laminares de color violáceo por intemperismo. Aunque se encuentran altamente plegadas, se estima un espesor que varía de 65 a 390 metros.

Relaciones estatigráficas: Infrayace a rocas del cuaternario en forma concordante y descansa sobre la Formación La Peña de la misma manera.

Edad: La Fauna compuesta por amonitas corresponden con una edad Albiano-Cenomaniano inferior.

Ambiente de depósito: Corresponden las condiciones de depósito de esta formación corresponden a ambientes que varían de bahías a aguas profundas.

SISTEMA CUATERNARIO.

Definición: La secuencia de este sistema son los depósitos sedimentarios aluviales y de pie de monte, en proceso de litificación.

Distribución: Se encuentra a lo largo de cauces de arroyos y en zonas topográficamente bajas, como en relleno de pie de monte y formando los abanicos aluviales.

Litología y espesor: constituidos por material clástico y caliche con clastos de forma subangulosa a subredondead que en algunos casos se han cementado formando conglomerados. El espesor es variable, desde algunos centímetros hasta 20 metros.

Relaciones estatigráficas: Este sistema descansa indistintamente sobre las formaciones La Ballena, Zuloaga y La Caja de forma discordante.

Edad: La edad dada a estos depósitos es del Pleistoceno-Holoceno, basándose en restos fósiles (Jimenez-Ignacio, et. al., 1982).

Ambiente de depósito: Es de tipo continental derivándose de la destrucción de las rocas preexistentes de la región, por la acción física y química en las rocas como respuesta al intemperismo a la que son expuestas.

ROCAS ÍGNEAS

Rocas ígneas intrusivas.

Definición: Corresponde con rocas ígneas intrusivas hipabisales de composición ácida o básica, que se encuentran emplazadas en forma de troncos así como de pequeños diques.

Distribución: El afloramiento más representativo de estas rocas se encuentra localizado al occidente de la población de Charcas, formando el cerro denominado como La Bufa, que es donde se encuentra situado el yacimiento de Charcas; asimismo se hallan otros pequeños cuerpos, en forma de diques, y stocks en el valle de San Rafael.

Petrografía: El tronco de Charcas es de tipo granítico, está constituido por rocas de textura fanerítica de color gris claro, que por el intemperismo produce colores pardos claro y amarillento; presenta fenocristales de cuarzo, feldespatos y biotita.

Relaciones con rocas adyacentes: El tronco de Charcas intrusión a la secuencia de calizas Jurásica-Cretácica con lo cual se producen aureolas de metamorfismo, compuesta de calizas marmorizadas y skarn, con intenso fracturamiento y la presencia de fallas locales, en donde se encuentran la mayor parte de la mineralización. La secuencia triásica se presenta frecuentemente atravesada por una serie de diques, evidencia de un cuerpo intrusivo localizado a mayor profundidad.

Edad: Con base en la posición que guardan los cuerpos intrusivos con respecto a las rocas adyacentes es probable que estas rocas pertenezcan al Oligoceno.

ROCAS METAMÓRFICAS

La presencia de este tipo de rocas es muy reducido en la región de Charcas, localizándose rocas de metamorfismo de contacto en el flanco oriental del anticlinorio de La Trinidad. La aureola de metamorfismo es producto del contacto de cuerpos intrusivos con calizas del Cretácico.

En el área del valle de San Rafael, en su porción norte donde se localiza la loma de Chupaderos, dentro de la secuencia triásica, se manifiesta una zona con presencia de metamorfismo de contacto; el cual no se presenta en el resto del paquete triásico de la Formación La Ballena.

Edad: La aureola de metamorfismo se generó de manera simultánea a la intrusión del cuerpo ígneo, por consiguiente se puede inferir que este metamorfismo es de edad terciaria, probablemente Oligoceno-Mioceno.

3.2 EVOLUCIÓN TECTÓNICA.

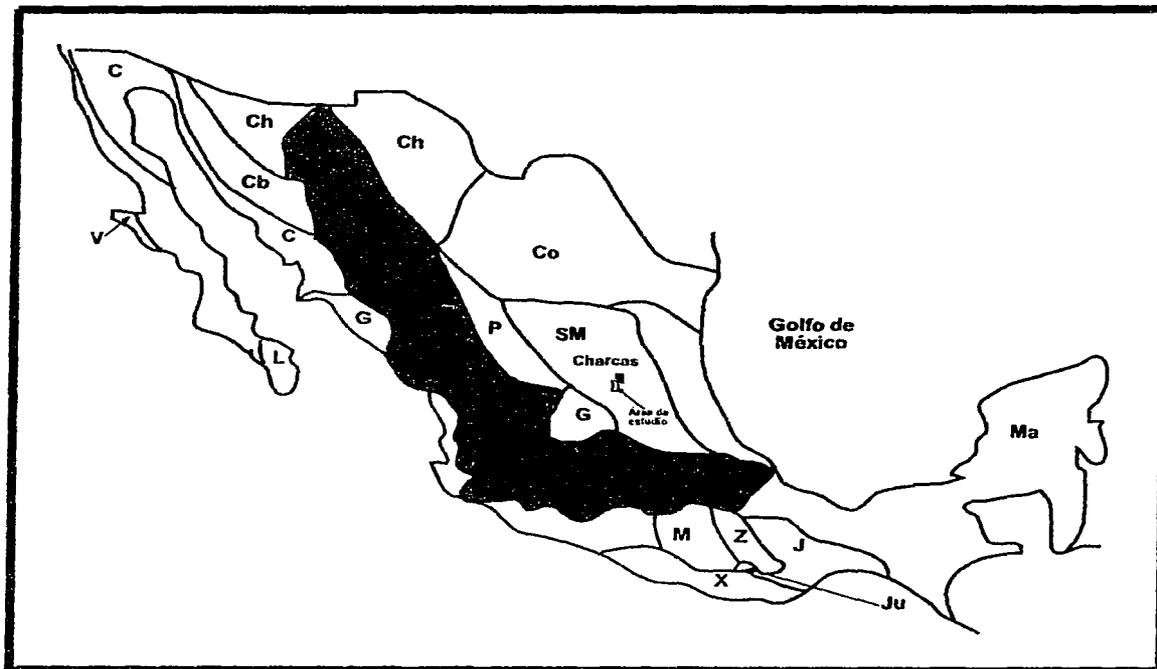
En los últimos años las teorías tectónicas han evolucionado dando origen a varios modelos para la evolución de México; la teoría de los terrenos tectónicos ha tenido gran aceptación, la cual tiene en la actualidad dos corrientes. Una representada por (Campa y Coney, 1983; Centeno y Silva, 1997; Centeno-García, 1998 Silva-Romo, 2000) y la segunda por (Ortega-Gutiérrez, 1994).

La difícil identificación de los límites de estos terrenos se debe a que las formaciones se encuentran cubiertas por rocas volcánicas cenozoicas, lo que dificulta la determinación de los contactos entre las diferentes formaciones. No obstante, el área estudiada se encuentra en el terreno Sierra Madre en su borde suroeste, como se puede observar en las figuras 8 y 9.

La evolución tectónica de México, en el Mesozoico, se ha interpretado dentro de dos regímenes tectónicos. Por un lado la parte oriente se encuentra constituida por secuencias de rocas sedimentarias continentales y marinas, producto de un ambiente de rift y tectónicamente extensional que tuvo su origen en el Triásico Superior, debido al fracturamiento de la Pangea y a la posterior formación del Golfo de México; durante el Jurásico Superior. En la margen occidental de México por su parte, se producen eventos de acreción de arcos de islas oceánicas a finales del Cretácico, dando lugar al emplazamiento de secuencias volcanosedimentarias y volcano plutónicas de edad Triásica a Jurásico Inferior (Sedlock, et. al., 1993; Centeno-García, 1993).

El área de estudio está comprendida en el borde suroeste del terreno Sierra Madre. Asimismo, la zona está incluida en el borde oeste de la plataforma Valles - San Luis Potosí, siendo parte de la cuenca Mesozoica de México. Esta cuenca fue afectada por la Orogenia Marathon-Ouachita-Apalaches, ocurrida durante el Triásico y afallada durante el Jurásico Medio, dando origen a la formación de asentamientos de bloques con fallas normales, los cuales corresponden con pilares y fosas.

Durante el Triásico Tardío se formó un abanico submarino el cual se desarrolló en el borde del cratón norteamericano, según el modelo de Ricci-Lucchi (1975), considerándose un ambiente de abanico, interno, medio y externo. Se desarrollaron también facies de llanura de cuenca, para originar la Formación Ballena, además de un plegamiento gravitacional y sedimentos de bajo

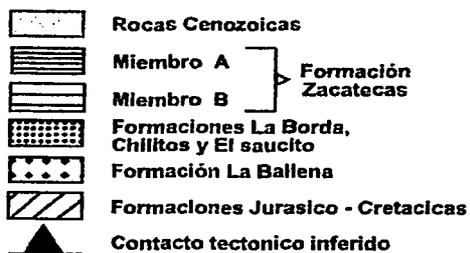
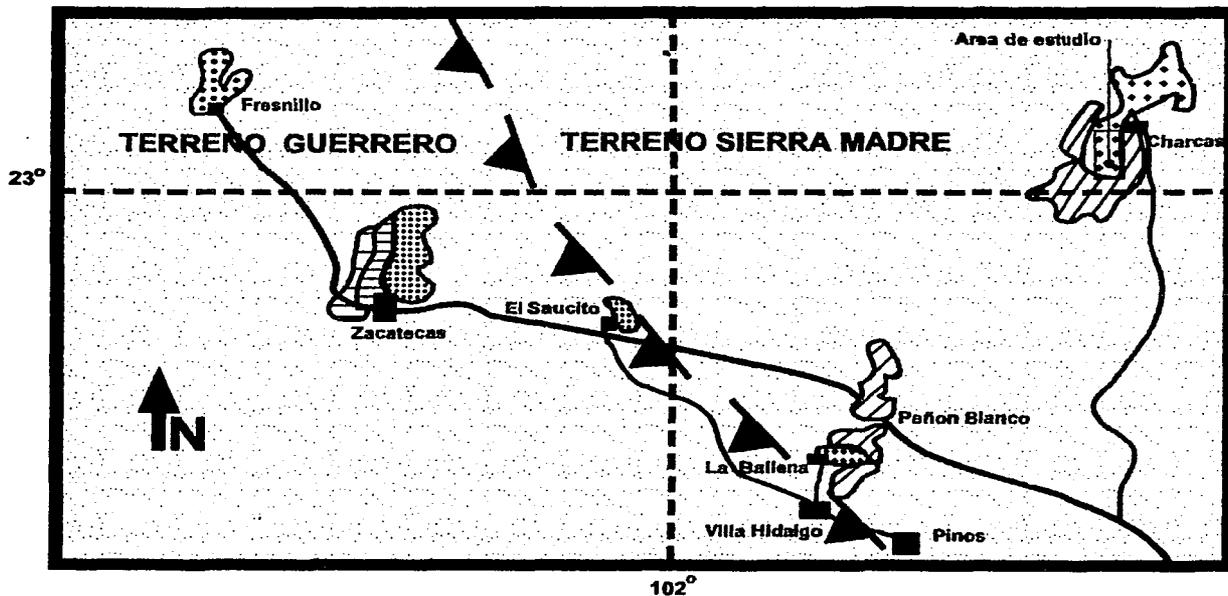


EXPLICACION

TERRENOS TECTONOESTATIGRAFICOS

| | | | |
|----|-----------|---|-----------------------------------|
| C | Cortez | Ma | Maya |
| Cb | Caborca | P | Parral |
| Ch | Chihuahua | SM | Sierra Madre |
| Co | Coahuila | V | Vizcaino |
| G | Guerrero | X | Xolapa |
| J | Juárez | Z | Zapoteco |
| Ju | Juchateco | Cv | Sierra Madre Occidental |
| L | La Paz | Mv | Cinturon Volcanico Trans Mexicano |
| M | Mixteco |  | Cubierto Cenozoica |

| | |
|---|--|
|  UNIVERSIDAD NACIONAL DE MÉXICO | FACULTAD DE INGENIERIA |
| | Plano de los Terrenos tectonoestataigraficos, en la Republica Mexicana |
| JUAN BERNARDO MIRANDA ROMERO | |
| fig: 8 | TESIS PROFESIONAL 2002 |



Fuente: Libro guía de la excursión (A) del Primer Congreso de Terrenos Circum- Pacíficos y Circum - Atlánticos Centeno-García, 1893

| | | |
|---|--|------|
|  UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR | FACULTAD DE INGENIERIA | |
| | Plano de inferencia de contacto en entre los terrenos tectónicos Guerrero y Sierra Madre | |
| JUAN BERNARDO MIRANDA ROMERO | | |
| fig: 9 | TESIS PROFESIONAL | 2002 |

brechamiento, similares a la Formación Zacatecas, la que se originó al mismo tiempo que la Formación Ballena durante el Triásico marino (figura 10).

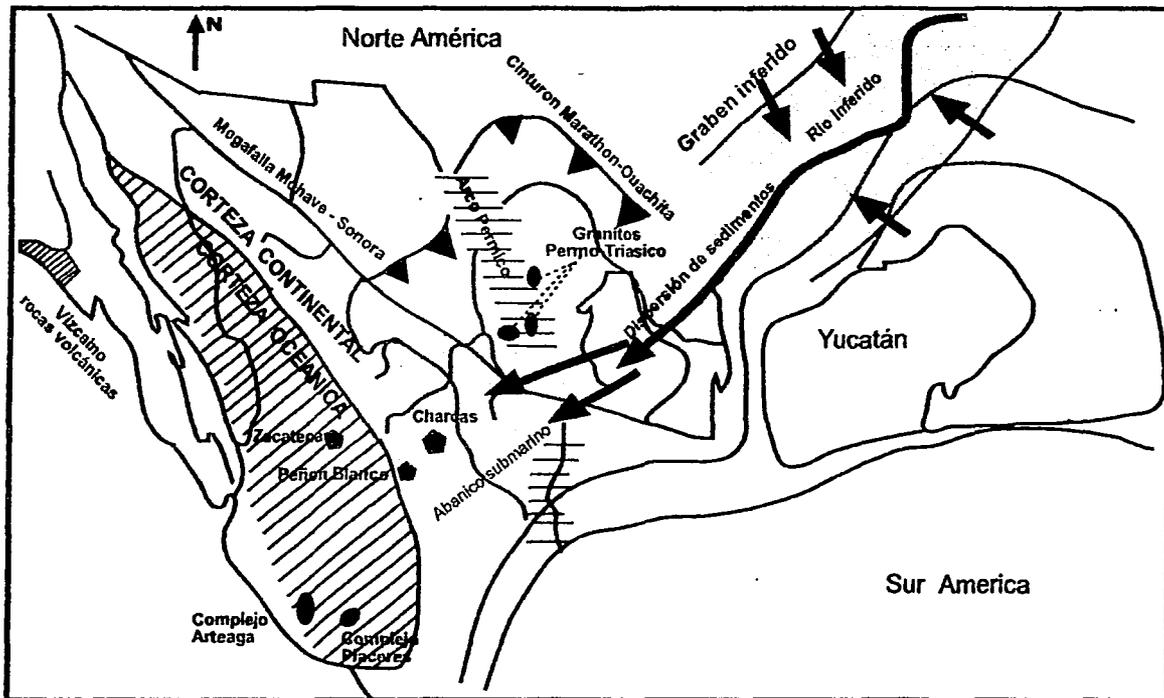
El abanico es construido en una margen continental, desarrollándose al oeste de la Pangea. La secuencia turbidítica representa la denudación del cratón, con lo que se aportó una gran cantidad de sedimentos al Paleo-Pacífico. Los clastos quizás tengan como origen el cinturón Grenvillano según (Silva-Romo, 2000)

La secuencia del abanico se incorpora al cratón, durante el Jurásico Medio al Jurásico Tardío. En el Jurásico Tardío las formaciones Zacatecas y La Ballena son afectadas por esfuerzos compresionales con dirección sureste-noreste que desplazan al abanico, durante el Jurásico Tardío rompiendo la secuencia triásica marina (Sedlock et. al., 1993).

El transporte de la secuencia triásica, se desarrolla en la frontera oeste de la Pangea, al mismo tiempo que se inicia la separación de América del Sur de África.

La Formación La Ballena está cubierta discordantemente por rocas volcánicas, volcanoclásticas y conglomerados de la Formación Nazas. La composición modal de los clastos es similar a la Formación Ballena, lo que sugiere que esta formación estuvo expuesta a la erosión, durante el Jurásico Tardío. La Formación La Ballena es deformada y desplazada encima de la orilla noreste del terreno Sierra Madre (Silva-Romo, 2000).

Mientras se forma el arco volcánico por el juego de las placas tectónicas durante el Jurásico-Cretácico, La Formación Zacatecas y la Formación La Ballena que representan parte del basamento de la orilla noreste del terreno Guerrero, siendo impulsadas estas formaciones hacia arriba y plegándolas, por los efectos de las deformaciones ocasionadas por los procesos de la Orogenia Laramídica, la cual comienza durante el Cretácico Tardío (Centeno-García, 1997).



Fuente: Centeno - García y Silva - Romo, 1997

| | | |
|--|---|------|
|  UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR | FACULTAD DE INGENIERIA | |
| | Reconstrucción paleogeográfica de la parte central de México durante el Triásico Tardío | |
| JUAN BERNARDO MIRANDA ROMERO | | |
| fig: 10 | TESIS PROFESIONAL | 2002 |

Del Terciario al presente, ocurren levantamientos ocasionados por la actividad ígnea intrusiva; también se presentan lavas y tobos de composición riolítica.

Los procesos tectónicos de la orogenia Laramide, continúan durante el Paleoceno teniendo como resultado el levantamiento y la deformación de los sedimentos cretácicos. Este fenómeno genera una serie de pliegues anticlinales y sinclinales, los cuales presentan una orientación noroeste- sureste (Centeno-García, 1997).

Para el Eoceno-Oligoceno se produce el magmatismo de la Sierra Madre Occidental, el cual afecta al terreno Sierra Madre, este magmatismo está relacionado a una posible disminución en el ángulo de inclinación de la placa oceánica que subduce por debajo de la placa Norteamericana, la cual ocasiona un vulcanismo de naturaleza riolítica (Centeno-García, 1997).

Durante el Plioceno-Pleistoceno se produce un fallamiento distensivo, que facilita la extrusión de derrames basálticos procedentes del manto, asociado al "Rifting " continental (Hernández, 1989).

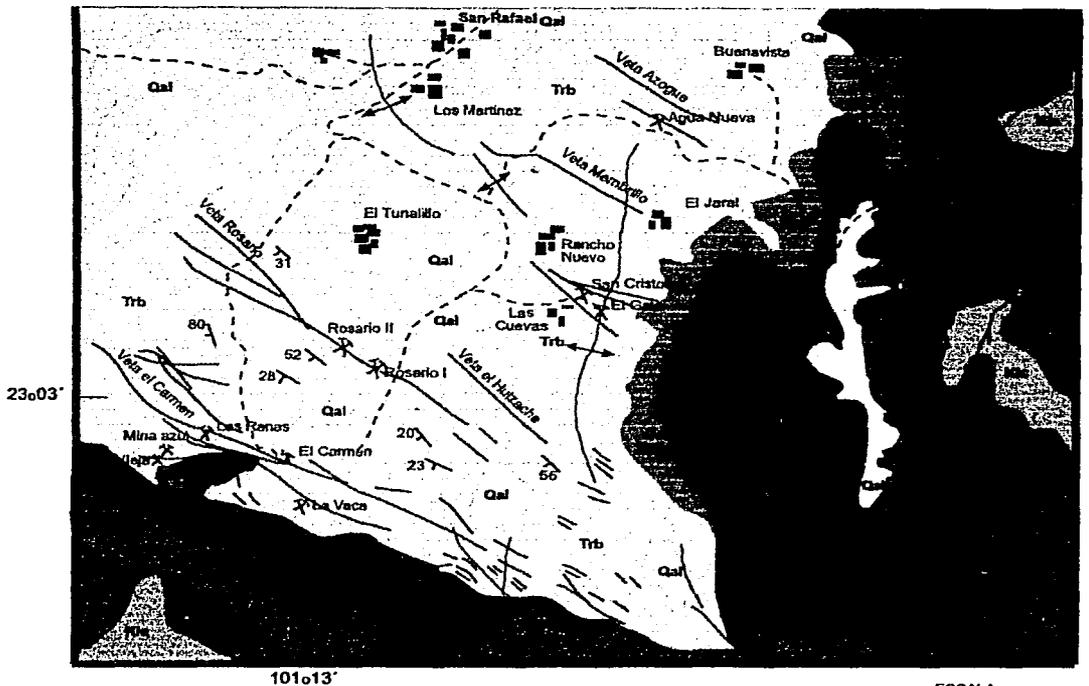
4. METALOGENESIS

4.1 ROCAS ENCAJONANTES

Las rocas encajonantes presentes en las vetas Jaral-Membrillo, El Rosario, Veta azul y El Carmen, están constituidas por rocas sedimentarias, como limolitas, limolitas calcáreas, limolitas gráficas, lutitas, lutitas calcáreas, lutitas carbonosas, areniscas, areniscas calcáreas, grauvacas y arcosas (Tabla 2). Estas rocas representan la parte más alta de la secuencia triásica, y manifiestan estructuras que evidencian diversas etapas de deformación, condición que fue favorable para la circulación de los fluidos hidrotermales y la depositación de la mineralización (figura. 11). Este fenómeno probablemente se originó por la intrusión de cuerpos ígneos que afectan toda la secuencia Mesozoica.

| Estructura | Tipo de rocas |
|--------------------------------|---|
| Veta El Jaral-Membrillo | Arcosas Areniscas bandeadas gráficas Areniscas bandeadas con limolita gráfica Arcosas gráficas Limolitas gráficas |
| Veta El Rosario | Arcosas Cataclasitas Lutitas Limolitas |
| Veta Azul | Arcosas Areniscas Lutitas Lutitas Calcáreas |
| Veta El Carmen | Arcosas Limolitas Limolitas bandeadas |

Tabla 2 ROCAS ENCAJONANTES



EXPLICACION

ESCALA



SIMBOLOS GEOLÓGICOS

- Contacto geológico
- Rumbo y Echado
- Veta
- Falla
- Anticlinal
- Obra minera

| | | |
|--------------------|--|----------------------|
| CUATERNARIO | | Aluvión |
| CRETÁCICO | | Formación Cupido |
| | | Formación Taraises |
| | | Formación La Caja |
| | | Formación Zuloaga |
| JURÁSICO | | Formación La Joya |
| | | Formación La Ballena |
| TRIÁSICO | | |

SIMBOLOS TOPOGRÁFICOS

- Poblado
- Camino

Fuente: Monografía geológico - minera del estado de San Luis Potosí, CRM, 1992

| | | |
|-------------------------------------|--|------|
| | FACULTAD DE INGENIERIA | |
| | Mapa de la geología del área de San Rafael | |
| JUAN BERNARDO MIRANDA ROMERO | | |
| fig: 11 | TESIS PROFESIONAL | 2002 |

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Veta El Jaral-Membrillo.

Básicamente, las rocas encajonantes están constituidas por arcosas con laminaciones, interestratos y paquetes delgados de lutitas, así como intervalos delgados y muy esporádicos de grauvacas. Cabe destacar por otro lado, que la secuencia se encuentra afectada por diques someros de composición andesítica, los cuales muestran un grado avanzado de alteración propilítica.

Estructura El Rosario.

Este prospecto se encuentra situado a 2.2 Km rectos al SW de la estructura El Jaral-Membrillo y a una elevación de 2190 m. Es posible considerar que la secuencia litológica de esta zona, corresponde con un nivel estratigráfico más alto que el observado en el área de la veta El Jaral-Membrillo. En la zona de la veta El Rosario, la secuencia está conformada por lutitas, limolitas y areniscas en menor proporción, de tal forma que la relación lutita-arenisca observada en las cercanías de las estructuras es aproximadamente 3:1. Así, las rocas encajonantes están constituidas por paquetes de lutitas carbonosas que muestran laminaciones cruzadas.

Estructura Veta Azul.

En este sector, la secuencia está conformada predominantemente por limolitas calcáreas y lutitas con intercalaciones delgadas de grauvacas y laminaciones de arcosas y areniscas calcáreas. Estas rocas también representan las porciones estratigráficas más altas de la secuencia triásica. Así mismo, la secuencia está atravesada por diques pre mineralización de composición andesítica que presenta alteración propilítica de grado incipiente

a intermedia. La cataclasis juntamente con la litología, constituyen importantes controles para las mejores zonas de mineralización.

Estructura El Carmen.

La secuencia litológica está conformada predominantemente por arcosas, con esporádicos intervalos de grauvacas, limolitas y lutitas. Cabe destacar el hecho de que la estructura presenta un echado aproximadamente paralelo a la estratigrafía de un paquete homogéneo de areniscas, lo cual implica que la estructura en algunas porciones no tocó los horizontes litológicos más favorables para el emplazamiento de la mineralización.

4.2 ESTRUCTURAS MINERALIZADAS.

En el área se define un anticlinal con buzamiento al norte y erosionado en la parte central, para quedar al descubierto las rocas más antiguas como la Formación La Ballena, antes denominada Formación Zacatecas (Bultar, 1972).

La zona se encuentra sumamente afallada debido a los procesos de compresión y distensión a los que se ha sometido. Localmente se encuentra limitada por dos fallas, la primera denominada Cuchilla de las Arañas con rumbo NW-SE, la segunda se denomina la Medalla con rumbo E-SE. Los ejes de los pliegues tienen un rumbo predominantemente NW-SE.

La falla denominada La Cuchilla es de tipo inverso y se localiza en la porción suroeste del área en la Sierra de La Cuchilla Las Arañas. La estructura presenta una dirección NW70°SE, siendo fácilmente identificable ya que se observan bloques desplazados y caídos, siendo común observar espejos de

fallas. La falla define asimismo el contacto entre la Formación Zuloaga y la Formación La Ballena.

La segunda falla en importancia es más pequeña y se encuentra al este del anticlinorio La Trinidad, en los bordes de las lomas Chavira atravesando en una dirección NE10°SW; esta falla es de tipo normal, y define el contacto entre la Formación Cupido y la Formación La Ballena.

La zona presenta una gran cantidad de fallas las cuales siguen un patrón general entre los 30° y 80° de dirección NW-SE. Existe un intenso fracturamiento que se presenta en una dirección preferente NE-SW el cual varía en un intervalo de 30° y 60°. El fracturamiento se intensifica hacia las zonas de falla y en muchas ocasiones también es oblicua a las fracturas mineralizadas.

Las asociaciones mineralógicas de mayor interés se alojan en las estructuras conocidas como El Membrillo, El Rosario, El Carmen y Veta Azul; asimismo, la mineralización se aloja en otras estructuras de orden secundario que se asocian a las estructuras principales, pudiéndose notar bifurcaciones y ramales que presentan afinidades con el patrón estructural NW-SE.

Por otra parte, varias fallas y fracturas tienen un origen posterior al emplazamiento de la mineralización, por lo que cortan a los cuerpos mineralizados en algunas partes del prospecto. Es posible también que en el mismo plano de las vetas hayan tenido lugar ligeros movimientos, ya que se llegaron a observar efectos de falla post-mineralización en agregados masivos de pirita.

En general, las características estructurales de los yacimientos son difusas; en varios sectores, las estructuras muestran controles aún no definidos.

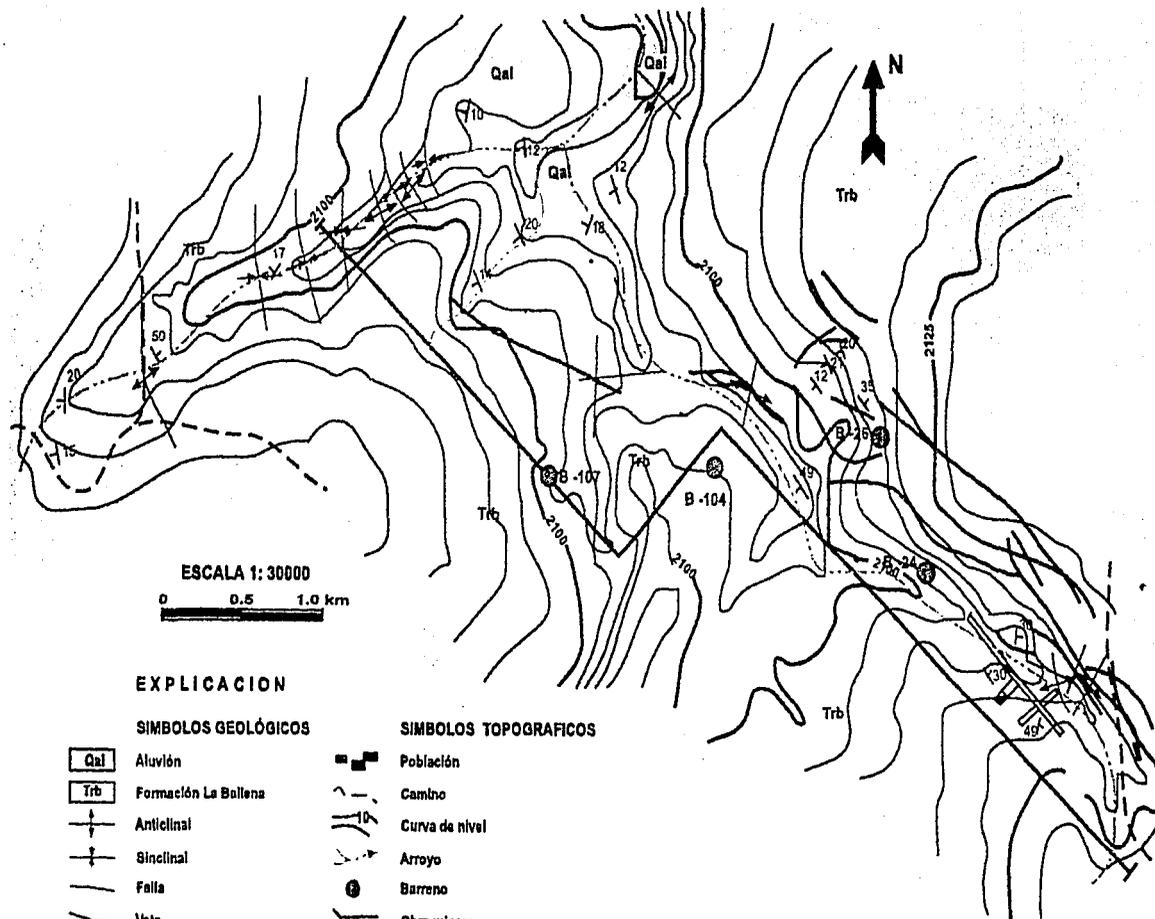
La extensión del terreno cubierta por suelos hace que los afloramientos de las vetas sean muy esporádicos, frecuentemente enmascarados por los productos

del intemperismo de la roca encajonante. A pesar de lo anterior, ha sido posible hasta ahora determinar continuidades de las trazas de la mineralización, algunas veces a partir de zanjos, en otras a través de barrenos (Garza-González, 1983). Otras anomalías fueron detectadas por métodos geofísicos (Cruz- Peralta y Reyes-Reyes, 1983).

Las características litológicas y químicas de la roca encajonante, así como las condiciones estructurales, desempeñan un papel de suma importancia como controles en el depósito de la mineralización; en este sentido, resulta evidente que las vetas manifiestan zonas de ensanchamientos que conforman clavos o bolsadas, así como zonas angostas donde los volúmenes de mineralización representa un potencial secundario. Esporádicamente se reconocieron en diferentes niveles estratigráfico-estructurales, zonas poco amplias de vetillas a veces entrelazadas, en los respaldos de las vetas; o bien vetillas esporádicas y aisladas cuyos espesores se miden en milímetros o centímetros, y pueden encontrarse rellenas de sulfuros, o de cuarzo hidrotermal y/o calcita con sulfuros diseminados. Estas últimas microestructuras aparecen con cierta frecuencia como únicos indicios de mineralización, más bien relacionadas al fracturamiento cerrado de la roca; a través de este fracturamiento, se manifiestan también en numerosas ocasiones las alteraciones hidrotermales, representadas por hilillos o vetillas rellenas de clorita, sericita y de calcita, a veces con pirita en pequeños agregados.

Estructura " El Jaral- Membrillo".

Este cuerpo mineralizado ocurre hacia el NE del Valle de San Rafael y es el prospecto más próximo al distrito minero de Charcas. La estructura "El Membrillo" presenta el máximo desarrollo de minerales de origen hidrotermal, con relación a la petrología de las alteraciones hidrotermales de las estructuras "Rosario", "Carmen" y "Veta Azul".



ESCALA 1: 30000

0 0.5 1.0 km

EXPLICACION

SIMBOLOS GEOLÓGICOS

| | |
|--|----------------------|
| | Alluvión |
| | Formación La Ballena |
| | Anticlinal |
| | Sinclinal |
| | Falla |
| | Veta |
| | Rumbo y Echado |
| | Sección |

SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

| | |
|--|----------------|
| | Población |
| | Camino |
| | Curva de nivel |
| | Arroyo |
| | Barreno |
| | Obra minera |
| | Pozo |



**FACULTAD DE
INGENIERIA**

Plano geológico - minero de las
vetas Membrillo - Jaral

JUAN BERNARDO MIRANDA ROMERO

Mapa 1

TESIS PROFESIONAL

2002

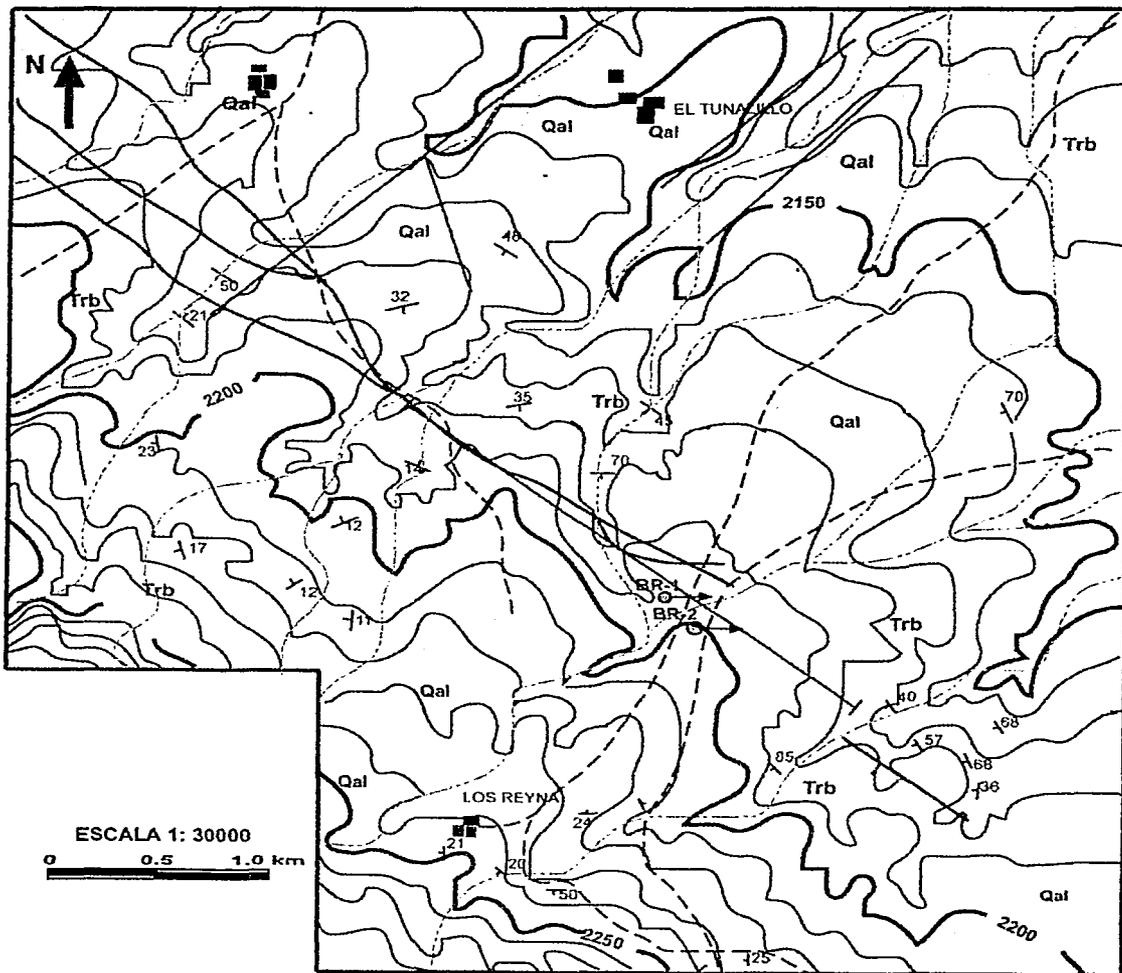
Estructura "El Rosario".

Este prospecto se encuentra situado a 2.2 Km rectos al SW de la estructura El Jaral-Membrillo y una elevación de 2190 m. Es posible considerar que la secuencia litológica de esta zona, corresponde con un nivel estratigráfico más alto que el observado en el área de la veta el Jaral-Membrillo. (Mapa 1)

El prospecto "El Rosario" está situado en una importante zona de flexión, manifestada por fallamientos paralelos y poco espaciados que se encuentran definiendo excelentes estructuras premineralización. De hecho, con la profundidad persisten dos interesantes zonas cataclásticas con mineralización argentífera. La primera (I) de ellas, la de mayor importancia, aparece en el sondeo BR-1 de $\pm 97.00\text{m}$ de profundidad a $\pm 106.60\text{m}$; la segunda (II) se presenta en el mismo sondeo de $\pm 148.85\text{ m}$ a $\pm 159.41\text{ m}$ de profundidad vertical (Mapa 2).

Estructuras "Veta Azul".

La estructura "Veta Azul" se encuentra situada a 1.8 km en línea recta, al SW del prospecto "El Rosario" y a una elevación de 2402 m.s.n.m. La estructura ha sido bien reconocida en el subsuelo por obras directas, en una longitud de 225 m y una profundidad de 125 m. Básicamente la mineralización parece presentar limitaciones en su alcance espacial, debido a caracteres estructurales en relación con el foco de la mineralización. Por tanto, la "Veta Azul" define un clavo de pequeña magnitud y consecuentemente de carácter económico limitado.



EXPLICACIÓN

| SIMBOLOS GEOLÓGICOS | |
|---------------------|----------------------|
| | Aluvion |
| | Formación La Ballena |
| | Rumbo y Echado |
| | Veta |
| | Falla |
| | Sección |
| | Barreno |

| SIMBOLOS TOPOGRÁFICOS | |
|-----------------------|-----------------|
| | Población |
| | Curvas de nivel |
| | Arroyo |
| | Camino |

| | | |
|-------------------------------------|---|------|
| | FACULTAD DE INGENIERIA | |
| | Mapa geológico - minero del área de la veta el Rosario. | |
| JUAN BERNARDO MIRANDA ROMERO | | |
| Mapa: 2 | TESIS PROFESIONAL | 2002 |

Estructura "El Carmen".

Este prospecto se encuentra situado a 1.1 km al SW de la estructura "El Rosario" y a una altitud de 2260 m.s.n.m. (mina EL Carmen). Al igual que la estructura "El Rosario", la secuencia está conformada por lutitas, limolitas y areniscas, así como un fracturamiento paralelo.

4.3 ALTERACIONES.

El espacio de las estructuras mineralizadas está determinado por la magnitud y desarrollo de las alteraciones hidrotermales. Asimismo el alcance de este rasgo, es definido por la litología de las rocas encajonantes y por la densidad de su fracturamiento; este aspecto controla en parte el depósito de mena y es coextensivo con los caracteres físico-químicos de los fluidos mineralizantes. Es evidente por tanto, que los sectores de mayor mineralización están relacionados a las principales zonas de flexión estructural, las que asimismo están circunscritas al área de influencia de un importante evento magmático, cuya expresión máxima es manifiesta en los yacimientos de contacto del distrito de Charcas (Garza-González, 1983).

Estructura "El Jaral-Membrillo".

Las alteraciones hidrotermales se encontraron mejor desarrolladas en el sector denominado "El Jaral", y parece tener buena persistencia hacia la continuidad SE de la estructura. Asimismo, es muy frecuente que los efectos de este tipo de alteraciones, se extiendan varias decenas de metros al alto y al bajo del abrimiento principal; estas porciones constituyen redes de fracturamiento abierto y conforman zonas de carácter muy errático. En general, la paragénesis

de las alteraciones es muy sencilla y está representada por el desarrollo de cuarzo-clorita-calcita-epidota-pirita, sericita y minerales arcillosos en menor proporción. De acuerdo con los criterios petrográficos, esta asociación mineralógica es posible desglosarla en las siguientes etapas, de la más temprana a la más tardía:

Etapa I. CLORITIZACIÓN. (cuarzo-clorita \pm calcita \pm epidota \pm pirita \pm min. Arcillosos). Se presenta el predominio de leptocloritas y el emplazamiento de pirita-pirrotita-calcopirita con escasa esfalerita ferrífera.

Etapa Ia. CLORITIZACIÓN INTERMEDIA. (cuarzo-clorita-calcita \pm pirita \pm min. arcillosos). La clorita es menos ferrífera y coexiste con calcita, pirita-calcopirita-esfalerita y escasa pirrotita.

Etapa II. SILICIFICACIÓN. (cuarzo-clorita \pm calcita \pm sericita \pm min. arcillosos \pm más mena). La clorita es del tipo magnesífero; predomina la esfalerita sobre pirita-calcopirita-galena y se presenta el depósito del oro, sulfuros y sulfosales de plata.

Etapa IIa. ETAPA ESTÉRIL DE CUARZO-CALCITA. (cuarzo-calcita \pm sericita \pm hematita \pm caolinita).

La cloritización suele ser una alteración ubicua, principalmente extendida más allá de lo que se considera el bajo de la estructura principal. Las leptocloritas se

presentan rellenando vetillas constituyendo un intercrecimiento criptocristalino con cuarzo; asimismo, suelen reemplazar a la matriz de la roca (arcosas principalmente) y en los bordes de las plagioclasas sódicas. La calcita se encuentra reemplazando parcialmente a las plagioclasas, conformando cristales anedrales aislados. Cabe resaltar el notorio incremento de la epidota no sólo con la profundidad, sino hacia las porciones que presentan mayor mineralización; en ambos casos, la epidota se encuentra en forma de cristales anedrales y subedrales diseminados en la matriz de la roca y ocasionalmente reemplazando a las plagioclasas. En general, la cloritización presenta su mejor desarrollo hacia el bajo de la zona de abrimiento principal.

La cloritización intermedia está representada por el desarrollo de vetillas de clorita con menor contenido de hierro, la cual suele coexistir con pequeñas cantidades de cuarzo y calcita. De hecho, esta alteración constituye un estado más avanzado o tardío de la cloritización, y su paragénesis representa la precocidad de los fluidos hidrotermales del principal evento de mineralización; esto físicamente expresado corresponde con la etapa en donde se alcanza el máximo abertura por lixiviación de las soluciones, las que propiciaron mayores espacios disponibles para el emplazamiento de las soluciones mineralizantes enriquecidas en sílice y en cloritas de menor temperatura. Esta alteración se extiende por lo común hacia el alto de la estructura y en ocasiones se presenta en zonas de fracturamiento abierto, varias decenas de metros hacia arriba del alto, cercanas a la mineralización.

La silicificación es coextensiva en grados diversos con los dos tipos de cloritización; sin embargo, las menas muestran mayor relación con el traslape silicificación-cloritización intermedia. Así pues, en las zonas de bolsadas las alteraciones se disponen a manera de halos silicificados con el desarrollo de cloritas de tipo magnesífero, las cuales suelen coexistir con escasa calcita. Los sulfuros ocurren en zonas de fracturamiento cerrado, en vetillas de 1-2 mm de espesor hasta varias decenas de centímetros. Las vetillas son principalmente rellenas de cuarzo, mostrando en sus respaldos desarrollos diversos de clorita rica en magnesio y calcita. En las porciones más externas de las cavidades pequeñas, se presentan clorita criptocristalina, cristales anedrales

aislados de calcita, minerales arcillosos y sulfuros diseminados; hacia el centro de las cavidades existe calcita microcristalina con sulfuros, seguida por un intercrecimiento fino de cristales de cuarzo con abundante mena; el cuarzo suele estar rodeado por un fino agregado de cristales de clorita magnésica. Finalmente, en el centro de las cavidades se presenta calcita euedral con escasos sulfuros y su depósito evidencia la etapa póstuma del evento principal de mineralización.

La silicificación está íntimamente relacionada al abrimiento principal y presenta su mayor alcance en las zonas de fracturamiento cerrado. Asimismo, su ocurrencia y alcance definen las porciones con mayor mineralización, cuyo principal emplazamiento existe hacia el bajo de la estructura.

La etapa estéril de cuarzo-calcita conforma agregados drusiformes hacia el centro de las vetillas y cavidades, presentándose la calcita en cristales subedrales bordeados por un agregado cristalino de cuarzo. La sericita reemplaza los bordes de las plagioclasas y parcialmente a la escasa matriz que se encuentra en las arcosas. Esta alteración se encuentra restringida a las zonas estériles de las bolsadas y fuera de ellas; su ocurrencia tiene un carácter mucho más errático, principalmente hacia el alto de la estructura.

Estructura "El Rosario".

Es muy evidente que la conjugación de los rasgos litológicos- estructurales, desempeñaron un papel muy importante durante el desarrollo de las alteraciones hidrotermales y la de mineralización. De esta forma, las concentraciones mayores de minerales argentíferos existen en las porciones donde la milonitización coexiste en diversos grados con los paquetes de lutitas carbonosas. En este contexto se describen y analizan las alteraciones hidrotermales, tomando en cuenta los alcances que ofrecen las observaciones en la interpretación, en vista de que las exploraciones con obras directas aún se encuentran en su primera etapa de desarrollo.

Es posible sugerir que las etapas tempranas de alteración hidrotermal interpretadas en "San Francisco", muestren menor desarrollo espacial hacia las estructuras "El Rosario", "Carmen" y "Veta Azul". Esto indica que hacia el SW, existieron condiciones físico-químicas más eficiente de los sistemas minerales para el emplazamiento de menas argentíferas (tal como sucede hacia la continuidad SE de "El Jaral"), lo cual evidenciaría asimismo, mayor profundidad o lejanía de los "hot-points". El máximo desarrollo de este fenómeno está representado por la mineralización auroargentífera de la estructura "El Rosario"

En la zona II, la etapa I (cloritización) observada en "San Francisco", muestra poco alcance. Esta alteración está representada en "El Rosario", por un desarrollo incipiente de leptocloritas con abundante epidota, las cuales coexisten con pequeñas proporciones de pirita, cuarzo, calcita y minerales arcillosos. La epidota suele ocurrir en cristales subedrales aislados en la matriz, o bien reemplazando esporádicamente a las plagioclasas; su tamaño y abundancia se incrementa notoriamente con la profundidad. Asimismo, la etapa Ia. (cloritización intermedia) se presenta bien expuesta bajo el desarrollo de cuarzo-clorita-calcita \pm pirita \pm minerales arcillosos; se considera en esta etapa el emplazamiento de pitita-calcopirita y pequeñas porciones de arsenopirita y esfalerita ferrífera. Estos sulfuros por lo general, se presentan rellenando vetillas junto con clorita-calcita u ocasionalmente con cuarzo-calcita. Finalmente, las etapas II y IIa exhiben un desarrollo intermedio que está representando respectivamente por cuarzo-clorita \pm calcita \pm sericita \pm mena y cuarzo-calcita \pm hematita. Cabe destacar que hacia la continuidad NW, la zona II adquiere carácter argentífero, en vista de la aparición de freibergita asociada a pirita, esfalerita y calcopirita a \pm 148.85 m de profundidad del sondeo BR-1.

La zona I está separada 42.45 m verticales de la zona II y conforma un espesor aproximado de 9.60 m, en cuyo espacio existen redes de vetillas de 1-2 mm hasta varios cm de espesor. La mineralización es errática y yace conformando bolsas de dimensiones aún desconocidas. La zona I constituye el abrimiento principal y presenta un desarrollo paragenético muy interesante de minerales argentíferos. La silicificación (etapa II) representada por la asociación cuarzo-clorita magnesífera \pm calcita \pm sericita \pm pirita \pm mena, constituye la alteración

especialmente relacionada al principal evento de mineralización. En las zonas milonitizadas del alto de la estructura es frecuente la ocurrencia de cloritas de composición intermedia (Fe:Mg) asociadas a abundante cuarzo y pequeñas cantidades de calcita y epidota. Esto implica que la silicificación muestra cierto traslape con un desarrollo incipiente de la etapa la.

La silicificación y mineralización muestran su mejor desarrollo hacia lo que se considera el bajo de la estructura. El cuarzo se presenta en intercrecimientos rellenando vetillas, siendo más abundantes que las de clorita-calcita, las que suelen ocurrir con mayor frecuencia hacia el alto. La silicificación está especialmente relacionada con las mayores ocurrencias de pirita – esfalerita – calcopirita – freibergita – argentita – estromeyerita - galena - sulfosales de plata y boulangerita. Esta paragenésis parece tener mejor desarrollo hacia la continuidad NW de la estructura. La etapa IIa, representa la última fase de las alteraciones y está emplazada en drusas y vetillas estériles de cuarzo - calcita que suelen ocurrir en forma errática en las principales bolsadas.

Estructura "Veta Azul".

La estructura "Veta Azul" se encuentra a 1.8 km en línea recta, al SW del prospecto "El Rosario", esta veta se define como un clavo de pequeña magnitud y de carácter económico limitado.

En este sector, la secuencia está conformada predominantemente por limolitas, limolitas calcáreas, y lutitas con intercalaciones delgadas de grauvacas y laminaciones de arcosas y areniscas calcáreas. La secuencia está atravesada por diques de composición andesítica, anteriores a la mineralización, estos presentan alteración propílitica incipiente e intermedia.

En general, en las zonas de bolsadas existe un desarrollo intermedio de la etapa II, traslapada con la etapa estéril de cuarzo-calcita. La clorita se presenta rellenando vetillas en intercrecimientos criptocristalino con cuarzo y calcita;

esta característica se presenta con mayor frecuencia en el bajo de la estructura, en donde se presentan las mayores concentraciones de mena.

En ocasiones la calcita es el mineral que predomina en las vetillas, principalmente en las estructuras paralelas de mayor profundidad. La mineralogía de las alteraciones hidrotermales y de las menas, evidencian que la mineralización corresponde a la etapa más tardía del principal evento metalogénico. Los diques andesíticos someros que presentan mineralización (pirita-galena), podrían ser una de las evidencias del poco alcance espacial de las menas argentíferas, considerando caracteres petrológicos y correlaciones observadas en los diques emplazados en los sectores de "El Membrillo" y "El Rosario".

Estructura "El Carmen".

Este prospecto se encuentra situado a 1.1 km al SW de la estructura "El Rosario" y a una altitud de 2260 m.s.n.m. (mina EL Carmen). Al igual que la estructura "El Rosario", los alcances de la interpretación muestran restricciones condicionadas a los datos obtenidos en los sondeos BVC-15 y BVC-16.

Es posible considerar un desarrollo incipiente de la 1ª etapa (cloritización intermedia), traslapada en diversos grados con la silicificación (etapa II), la cual muestra poco alcance espacial. Este rasgo es muy frecuente hacia el bajo de la estructura, en donde el cuarzo rellena vetillas junto con calcita; la clorita coexiste con escasa calcita y se presenta formando finos agregados a manera de vetillas; asimismo en las cercanías de la estructura, existe incremento de epidota la cual suele ocurrir en cristales anedrales diseminados en la matriz de la roca. Comparativamente, la epidota y los otros minerales que establecen la paragénesis de las etapas I y II, muestra un mejor desarrollo en las cercanías de la estructura "El Rosario" y "El Jaral".

El desarrollo de la cataclasis y las estructuras sedimentarias primarias, permiten establecer que las condiciones de pre-mineralización como granulometría, porosidad, fracturamiento, fueron relativamente propicias para desarrollar un abrimiento de importancia. Por otra parte, si se considera la situación del prospecto en el espacio del evento metalogénico principal, sus posibilidades podrían mostrar ciertas limitantes, en vista de la lejanía del foco de la mineralización. No obstante, estas consideraciones deben ser evaluadas con mayor detalle a la luz de mayor información sobre el comportamiento lateral y a profundidad de la estructura.

4.4 PARAGÉNESIS, SUCESIONES E IDEAS ACERCA DEL ZONEAMIENTO.

4.4.1 - Análisis paragenético del área de San Rafael.

De acuerdo a los análisis químicos y mineralógicos, los elementos más importantes en la mineralización del área son en orden de abundancia decreciente. Fe, Zn, Pb, As, Cu, Sb, Ag y Au. De estos elementos, la plata y el oro son los más irregulares en la distribución química espacial de las estructuras, por lo que existen zonas de bolsadas dispuestas en forma errática en la continuidad de las estructuras mineralizadas.

En general, la paragénesis del yacimiento consiste de una asociación de minerales constituida por pirita, esfalerita, galena, arsenopirita, calcopirita, pirrotita, hematita especular, freibergita, tetraedrita, boulangierita, pirargirita, argentita, estromeyerita (?), diaforita, cerusita, smithsonita y oro, en una matriz formada principalmente de cuarzo, feldespato potásico y calcita, mostrado en la tabla 3. Esta asociación puede diferenciarse como sigue:

TBLA 3 PARAGÉNESIS ÁREA DE SAN RAFAEL

| MINERAL | FORMULA | TIPO DE ORIGEN | |
|-------------------|--|----------------|-------------|
| | | HIPOGENICO | SUPERGENICO |
| Pirita | FeS ₂ | x | |
| Esfalerita | (Zn,Fe)S | x | |
| Galena | PbS | x | |
| Arsenopirita | FeAsS | x | |
| Calcopirita | CuFeS ₂ | x | |
| Tetraedrita | (Cu,Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃ | x | |
| Freibergita | (Ag,Cu,Fe) ₁₂ (Sb,As) ₄ S ₁₃ | x | |
| Pirrotita | Fe _{1-x} S | x | |
| Boulangerita | 5Pbs.2Sb ₂ S ₃ | x | |
| Pirargirita | 3Ag ₂ S.Sb ₂ S ₃ | x | x(?) |
| Argentinita | Ag ₂ S | x | x(?) |
| Estromeyerita (?) | CuAgS | x | x(?) |
| Diaforita | Pb ₂ Ag ₃ Sb ₃ S ₈ | x | |
| Oro | Au | x | |
| Cerusita | PbCO ₃ | | x |
| Smithsonita | ZnCO ₃ | | x |
| Cuarzo | SiO ₂ | x | |
| Adularia | KAlSi ₃ O ₈ | x | |
| Calcita | CaCO ₃ | x | x |
| Hematita | Fe ₂ O ₃ | x | x |
| Clorita | Mg ₅ (Al,Fe)(PH) ₈ (Al,Si) ₄ O ₁₀ | x | |
| Sericita | KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂ | x | |
| Epidota | Ca ₂ (Al ₃ Fe) ₃ (OH)(SiO ₄) ₃ | x | |
| Limonita | H ₂ Fe ₂ O ₄ (H ₂ O) _x | | x |
| Rodocrosita (?) | MnCO ₃ | | x |
| Barita | BaSO ₄ | x | |
| Fluorita | CaF ₂ | x | |
| Caolinita | Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O | x | x |

Minerales de mena.

Esfalerita, galena, calcopirita, freibergita, tetraedrita, boulangerita, pirargirita, argentita, estromeyerita (?), diaforita, smithsonita, cerusita y menas de oro.

Minerales de ganga.

Pirita, arsenopirita, pirrotita, hematita, cuarzo, adularia, calcita, clorita, sericita, barita, limonita, caolinita y minerales arcillosos no diferenciados.

Esta paragénesis se considera formada esencialmente de minerales hipogénicos (sulfuros, sulfosales, óxidos, silicatos y carbonatos), y se observa como rasgos comunes las texturas de reemplazamiento y de exsolución. Las fases supergénicas quedan restringidas a la formación de ciertos minerales presentes en el yacimiento, siendo algunas fases de plata, de relativa importancia en el enriquecimiento local de las menas.

Los estudios paragenéticos se apoyan básicamente en el análisis de 75 superficies pulidas. De esta forma se pretende hacer notar, que ciertas variaciones en la distribución de los minerales o elementos, viene siendo indicativas de las condiciones de depósito, y que pueden ser utilizadas como parámetros de apoyo en la interpretación del yacimiento. Ahora bien, comparando las características propias de la mineralización en el Área de San Rafael y la relación con otros distritos mineros de conocido potencial; será posible proponer el comportamiento más probable de los cuerpos mineralizados, especialmente en lo que se refiere a la mineralización argentífera.

A continuación se describen las generalidades de los minerales en su forma de ocurrencia; más adelante se describirán las particularidades mineralógicas de las vetas principales, tomando como referencia los barrenos muestreados que corresponden a cada una de estas estructuras. Los principales rasgos

texturales de los que se hacen mención, se podrán apreciar en la parte complementaria de este inciso.

Pirita.

Los rasgos texturales indican que este mineral es el primero en formarse. Con pocas excepciones, es el sulfuro dominante en todos los niveles de mineralización. En general, su tamaño de grano varía ampliamente desde agregados fácilmente distinguibles a simple vista, hasta cristales individuales finamente diseminados en la matriz de los sulfuros, aunque también se le observó como vetillas o hilillos numerosos que atraviesan la matriz.

Se reconocen tres etapas de formación de pirita. La primera se presenta en forma masiva, a veces fibrosa y radial, con fractura irregular a concoidea. Durante una segunda etapa de depósito, la pirita ocurre en forma de agregados de cristales euedrales (automórficos), más frecuentemente con secciones cuadradas a veces corroídas, y muestra relaciones texturales más estrechas con minerales de mena como son calcopirita, esfalerita y galena, por los que en numerosas ocasiones es reemplazada a través de bordes y fracturas. Una tercera generación posible de pirita, en especial de grano fino, pudo ser depositada en asociación con minerales de plata como es la freibergita. En este caso no fue posible detectar contenidos de oro en los agregados de pirita de distintas muestras.

Este elemento algunas veces se encuentra finamente distribuido en dicho mineral, siendo la pirita aurífera una fuente importante de oro en depósitos de vetas.

Arsenopirita.

Por lo regular, su distribución es mucho menos amplia que la de la pirita, esfalerita y galena. Esporádicamente se le vio como agregados megascópicos,

estrechamente relacionada a la presencia de pirita, a la que reemplaza: otras veces la arsenopirita se encuentra ausente en las muestras.

Casi invariablemente es euedral, con secciones rómbicas, pero también presenta en ocasiones formas esqueléticas y aciculares; aparece en agregados principalmente y también diseminada, variando su tamaño de grano menos ampliamente que el de la pirita euedral.

La arsenopirita se presenta con frecuencia intercrecida con pirita, no así con los minerales de mena; sin embargo, y aunque no pudo ser comprobado, este mineral puede ser importante en el sentido de que se encuentra frecuentemente asociado con oro, o bien como portador de metales preciosos en la forma de electrum.

Esfalerita.

Es el mineral de mena más abundante en todos los niveles de las estructuras, habiendo sido depositado según los rasgos texturales, en la segunda etapa de mineralización primaria.

A la esfalerita se le observa ampliamente distribuida en las muestras, variando su tamaño de grano desde cristales finamente diseminados vistos al microscopio, hasta agregados del tamaño de uno o dos centímetros, claramente distinguibles en muestras megascópicas. Por lo regular se le observa intercrecida con la mayoría de los sulfuros, en especial con calcopirita y galena, siendo reemplazada principalmente por sulfuros y sulfosales de plata. En general, la esfalerita muestra tendencias a contener cantidades significativas de calcopirita, en la forma de vetillas e inclusiones, pero también se comprobaron inclusiones ocasionalmente numerosas de galena, así como inclusiones y vetillas de sulfosales de plata, como sucede en los niveles superiores de la veta El Rosario.

Es importante considerar las variaciones que presentan las esfaleritas en su contenido de Fe, ya que habitualmente manifiestan controles en el sentido vertical; de esta manera, el porcentaje de sulfuro de hierro en las esfaleritas aumenta con la profundidad, mientras que los bajos porcentajes presentan relaciones con la mineralización de sulfuros de plata en las porciones superiores de las vetas (Vikre, 1980). Estas relaciones fueron parcialmente comprobadas a través del análisis semicuantitativo realizando con microsonda, en un cierto número de cristales de esfalerita, habiéndose determinado variaciones importantes en su contenido de Fe. Algunos de los cristales contienen poco o nada de este elemento, y se asocian preferentemente a la tetraedrita argentiífera (variedad freibergita).

Galena.

La galena se le observa con menor frecuencia que la esfalerita, y salvo algunas excepciones (por ejemplo: Veta Azul), sus proporciones son siempre inferiores a las de ésta. Ambos minerales se encuentran por lo general íntimamente relacionados, formando intercrecimientos, y guardan relaciones estrechas (en especial la esfalerita), con la ocurrencia de sulfuros y sulfosales de plata.

Su tamaño de grano varía desde cristales microscópicos finamente diseminados, hasta agregados de uno o más centímetros, fácilmente identificables en los ejemplares de mano. Junto con la esfalerita y la calcopirita son los principales minerales de mena en el clavo mineralizando de la veta Azul y en las zonas intermedias del Barreno 103 relacionado a la veta El Membrillo.

A la galena se le observa también intercrecida frecuentemente con pirita, a la que reemplaza a través de fracturas; lo mismo con boulangerita en la veta El Rosario. Ocasionalmente fueron observadas en galena numerosas inclusiones de formas alargadas o redondeadas, así como venillas esporádicas, de sulfuros y sulfosales de plata.

Calcopirita.

La calcopirita es también, como los anteriores un mineral característico en la paragénesis del área.

Por su tamaño de grano pocas veces puede distinguirse a simple vista en las muestras. Bajo el microscopio se le observa ampliamente distribuida, frecuentemente intercrecida con esfalerita y tetraedrita, con las que guarda relaciones texturales muy estrechas. Con frecuencia pueden observarse numerosas inclusiones y venillas de calcopirita en los cristales de esfalerita, distribuidas preferentemente en las zonas de sus bordes; sin embargo, en algunas localidades la esfalerita se encuentra casi o completamente desprovista de calcopirita. En ocasiones a este mineral se le observó también en forma de pequeños cristales incluidos en la freibergita, o bien, dispuesta entre las fracturas de ésta, como sucede en los niveles superiores de la veta El Rosario.

A la calcopirita se le observó en otras tantas ocasiones reemplazando a pirita, a través de sus bordes y fracturas, a veces adoptando la forma de vetillas por relleno de fracturas irregulares en los agregados masivos de pirita; otras veces se le vio formando ensambles con sulfuros y sulfosales de plata en especial con la freibergita, mas comúnmente en la forma de pequeños cristales intercrecidos.

Pirrotita.

Es por lo regular escasa, y solamente se encontró en abundancia formando intercrecimientos con agregados masivos de pirita, en varias zonas de las vetas Azul, Carmen y El Membrillo.

A la pirrotita comúnmente se le reconoció en la forma de agregados, pero también como cristales esporádicos, más bien diseminados en el material de la

matriz; otras veces se presenta como cristales erráticos, difíciles de localizar por su tamaño y escasez.

Boulangerita.

Su ocurrencia se restringe a una zona de la veta El Rosario (Barreno BR-2), donde esta sulfosal se encuentra asociada con galena, a la que supera en proporciones. Por su tamaño de grano, la galena puede ser reconocida a simple vista en la muestra, en tanto que la boulangerita puede distinguirse por su hábito.

A la boulangerita se le observa en su mayor parte como cristales aciculares en pequeñas drusas, o bien como cristales de formas irregulares alojados en microfacturas; numerosos cristales pequeños de hábito acicular se observaron dispuestos en los contornos de secciones hexagonales de cuarzo.

Minerales de plata.

Los estudios paragenéticos indican que la plata se presenta en la forma de sulfuros (argentita y posiblemente estromeyerita) y sulfosales (freibergita, platas rojas y diaforita); de estos minerales, se ha reconocido a la tetraedrita argentífera como el principal mineral portador de plata en las menas.

La distribución de platas rojas se encuentra limitada a una zona de la veta El Rosario, donde ocurren en intercrecimientos principalmente con esfalerita, tetraedrita, argentita y calcopirita, aunque también presenta relaciones texturales con piritita y galena; asimismo, se observaron relaciones estrechas con cristales muy esporádicos posiblemente con estromeyerita, así como también se llegaron a observar las platas rojas en la forma de inclusiones en la esfalerita. De acuerdo a los análisis con microsonda, estas sulfosales manifiestan la composición química de la pirargirita (González-Velez, 1983).

Otros minerales como son la argentita, diaforita y estromeyerita son ocasionales en las menas; lo mismo que las platas rojas, se encuentran solamente en esa zona de la Veta El Rosario. La argentita se le observó principalmente intercrecida con calcopirita y platas rojas, pero también se le determinó como inclusiones en cristales de galena; estos mismos cristales de galena presentaron diaforita en forma de pequeñas inclusiones.

Desafortunadamente, son pocos los indicios o criterios que permiten distinguir la mineralización de plata de origen supergénico en este tipo de depósitos. De hecho, el origen de las sulfosales de plata en muchos yacimientos es incierto, dado que las relaciones texturales de menas hipogénicas y supergénicas presentan ambigüedades (Vikre, 1980). No obstante, los sulfoantimoniuros de plata, como lo es la pirargirita, pueden formarse con certeza en condiciones hipogénicas (Mc Kinstry), 1975, Vikre, op. Cit.), pero la argentita es común como mineral primario y secundario y la estromeyerita es usualmente de origen supergénico.

Esta disimilitud genética de los minerales argentíferos puede referirse únicamente a la presencia de argentita, estromeyerita y platas rojas en la eta El Rosario, no así en el caso de la freibergita y diaforita, las cuales son sin duda de origen hipogénico.

Ahora bien, la argentita no es precisamente indicativa de enriquecimiento secundario. Tanto este mineral como las platas rojas se observaron incluidos en galena y esfalerita, respectivamente, en la misma zona donde ambos minerales se encontraron aislados o formando intercrecimiento con otros minerales; estas relaciones permiten ubicarlos al menos en parte, entre los minerales de origen primario. Sin embargo, otras relaciones texturales hacen suponer que efectivamente existe enriquecimiento supergénico, específicamente localizado en el Barreno BR-1; la ocurrencia de argentita y platas rojas, en parte como relleno parcial de huecos, así parecen indicarlo, ya que, además, estos minerales desaparecen por completo a mayor profundidad.

Tetraedrita.

Entre los minerales argentíferos que se determinaron, la tetraedrita es el mineral que persiste en diferentes niveles de profundidad, y es con mucho, predominante entre los sulfuros y sulfosales de plata; de hecho, la tetraedrita es el único mineral argentífero que se observa en casi la totalidad de las muestras analizadas que presentaron menas de plata.

La tetraedrita se presenta ampliamente distribuida, la mayoría de las veces en cristales subedrales, variando sus proporciones desde cristales muy pequeños y erráticos, hasta agregados esporádicos. Se le observan relaciones textuales muy estrechas con calcopirita, esfalerita y minerales de plata.

Este mineral frecuentemente manifiesta altos contenidos de plata, por lo cual, se le considera como una tetraedrita argentífera; de acuerdo a las relaciones texturales que guarda con los demás sulfuros de mena, se le asigna un origen hipogénico tardío. Por lo regular se le observa intercrecida con calcopirita y esfalerita, o bien intersticial en la matriz de los sulfuros.

En varias muestras analizadas de las vetas El Rosario y El Membrillo se encontró tetraedrita, habiéndose determinado con la aplicación de microsonda, una amplia variedad en su composición. De esta manera, la tetraedrita se presenta en algunas localidades, esencialmente como un sulfuro de cobre y antimonio (a veces con Fe y Zn, y en menor proporción As); sin embargo, la mayoría de las veces se trata de un mineral argentífero. Estas relaciones son debidas a la sustitución de plata por cobre, y existe en la distribución de las tetraedritas una relación sistemática con la profundidad (Shimada, 1977). De acuerdo a este autor, existe una variación característica con la profundidad, de tal manera que los contenidos de antimonio y plata en las tetraedritas, decrecen, en tanto que los de cobre y arsénico se incrementan con la profundidad (modificándose la freibergita a la especie afín tetraedrita) y en el nivel más profundo, el Zn y el Pb presentan proporciones máximas. Shimada (op. Cit.) concluye que la Ag se relaciona fuertemente con el Sb en los minerales.

Con relación al comportamiento de los minerales argentíferos, pueden tomarse como referencia los trabajos de Slack (1980) y Vikre (1981) relacionados a yacimientos polimetálicos y de metales preciosos. En estos trabajos existe una notable coincidencia en el sentido de que, en la distribución de los sulfuros y sulfosales en las vetas, los minerales de plata tienen su mejor expresión en los niveles superiores de los cuerpos; aunado a lo anterior, estos mismos autores definen cambios graduales con la profundidad, de tal manera que la mineralización cambia, ya sea a una zona interna de pirita-calcopirita (Slack, op. Cit.) o de pirita-esfalerita-galena (Vikre, op. Cit).

Óxidos.

La hematita y limonita son los óxidos comunes en la mineralización del área. No obstante, cabe la posibilidad de que existan en muy baja proporción, óxidos de titanio y de manganeso.

Se distinguen dos generaciones de hematita, una de estas es primaria, formada en la primera etapa de depósito, ocurre en forma de especularita, de aspecto fibroso y radial, por lo regular, en agregados de cristales euedrales. Otra generación de hematita es de origen secundario, producto de la alteración de minerales de Fe principalmente de pirita, a esta forma de hematita también se le observó relleno de fracturas en agregados masivos de pirita, o bien como reemplazamientos intergranulares en este mineral, lo que hace que se observa con relativa frecuencia a la hematita, incluida en la pirita fracturada.

Menas de oro.

La presencia de oro en las menas solamente pudo comprobarse mediante los análisis químicos de muestras, por lo que hasta ahora se desconoce su forma de ocurrencia. Algunas pruebas realizadas en ciertos minerales no tuvieron éxito, mas bien debido a la escasa proporción de oro en las estructuras y a su

distribución errática, dado que se trata siempre de un elemento menor o en trazas.

El oro suele presentarse en este tipo de depósitos distribuido finamente en la pirita, también en la arsenopirita en forma de electrum (Vikre, op. Cit. Slack, op. Cit.), o bien en estado nativo o en argentita y telurios (Sillitoe, 1977).

A manera de hipótesis puede citarse como referencia el trabajo de Sawkins, et al. (1979), en el que se considera que la fuente del oro en el sistema puede ser principalmente por dos causas, de una mineralización temprana de Cu-Au de baja ley dentro de este sistema o de las contribuciones de los magmas a profundidad.

4.4.2 – Descripción mineralógica de las principales vetas.

Se definirán en este inciso las variaciones mineralógicas observadas en cada una de estas vetas con el propósito de resaltar las particularidades que existen en la distribución de los sulfuros y sulfosales en la mineralización del área de San Rafael. Dentro de este contexto será posible configurar los niveles más propicios para la ocurrencia de las menas auroargentíferas, de tal manera que estos rasgos sean de utilidad para orientar la exploración futura del subsuelo.

La forma de ocurrencia de los minerales más importantes de cada paragénesis y su secuencia de depósitos, permite realizar interpretaciones acerca de la distribución mineralógica de las menas, lo cual puede contribuir con apego a la realidad, a proponer una hipótesis genética de los depósitos. Así pues, de acuerdo a las texturas observadas y a la sucesión usual, podrá decidirse por el orden del depósito de los minerales, en la consideración de que este orden es en parte de carácter hipotético (Diagramas de sucesión).

Veta El Membrillo.

La paragénesis reconocida en la veta El Membrillo (tabla 4), ordenados los minerales de acuerdo a su abundancia relativa, consiste de pirita, pirrotita, arsenopirita, hematita especular, esfalerita, calcopirita, galena, tetraedrita y freibergita; en una matriz de silicatos algunas veces con calcita. Los barrenos analizados son el 24,26, 103 y 104 (tabla 5).

Barreno No.24: Se caracteriza por la abundancia de minerales de alta temperatura, como pirita, pirrotita, arsenopirita y hematita especular. De los minerales de mena presentes, la calcopirita predomina sobre la esfalerita en todos los niveles atravesados por este barreno; ambos minerales son más abundantes hacia las partes intermedias donde se observa remplazando principalmente a la pirita, observados al realizar la elongación del barreno y en las superficies pulidas.

Barreno No. 26: La mineralogía observada en este barreno es muy similar a la del anterior. La asociación de pirita, pirrotita, arsenopirita y hematita especular, persiste, denotando la influencia de altas temperaturas en la formación de los minerales; como minerales de mena se pueden observar calcopirita, esfalerita y algo de galena. La esfalerita es por lo regular más abundante que la calcopirita. Ambos minerales se presentan distribuidos en porciones muy variables en el sentido vertical, en presencia de cristales de galena esporádicamente distribuidos, y es común que los minerales anteriores presenten relaciones de intercrecimientos con pirita y pirrotita, a las que reemplazan a través de bordes y fracturas.

Barreno No.103: La asociación de pirita, arsenopirita, esfalerita, galena y calcopirita. Es dominante en una zona de vetas formales en las partes intermedias atravesadas por este barreno. De los minerales de mena presentes, la asociación de esfalerita-calcopirita, en ausencia de galena, persiste hacia la parte superior y más profunda cortadas por el barreno. Así mismo, la ocurrencia de tetraedrita fue determinada, en los niveles

| MINERAL | ETAPAS DE DEPOSITO | | | | TIPO DE ORIGEN | |
|--------------------|--------------------|-----|-----|-----|----------------|-------------|
| | I | II | III | IV | HIPOGENICO | SUPERGENICO |
| Pirita | --- | | --- | | X | |
| Pirrotita | --- | --- | | | X | |
| Arsenopirita | --- | --- | | | X | |
| Hematita especular | --- | | | | X | |
| Esfalerita | | --- | --- | | X | |
| Calcopirita | | --- | --- | | X | |
| Galena | | | --- | --- | X | |
| Tetraedrita | | | --- | --- | X | |
| Freibergita | | | | | X | |
| Cuarzo | --- | | | --- | X | |
| Calcita | --- | | | | X | |
| Leptoclorita | --- | | | | X | |
| Clorita (Mg) | --- | --- | | | X | |
| Epidota | --- | | --- | | X | |
| Sericita | | | --- | --- | X | X(?) |
| Especularita | --- | | | | X | |
| Adularia | | | --- | | X | |
| Caolinita | | | | --- | X | X |
| Hematita | | | | | | X |

TABLA 5 VETA EL MEMBRILLO

| CLAVE | PARAGÉNESIS | ALTERACIONES | ROCA ENCAJONANTE |
|--------------------|---|---------------------------------------|--------------------------------------|
| BARRENO 24 | | | |
| B24-5 | Pirita, arsenopirita, pirrotita, hematita, calcopirita, esfalerita, silicatos | Clorización intermedia | Arcosa |
| B24-8 | Pirita, pirrotita, hematita, arsenopirita(?), calcopirita, esfalerita, silicatos, calcita | Clorización intermedia | Arcosa |
| B24-9 | Pirita, pirrotita, arsenopirita, hematita, calcopirita, esfalerita, silicatos | Clorización intermedia | Arcosa |
| B24-10 | Pirita, hematita, pirrotita, arsenopirita, calcopirita, esfalerita, silicatos | Clorización-Silicificación | Arcosa |
| B24-13 | Pirita | Clorización-Silicificación | Cataclasita |
| BARRENO 26 | | | |
| AB-26-25 | Pirita, hematita, pirrotita, calcopirita, esfalerita, galena, calcita | Clorización-Silicificación | Arcosa |
| AB-26-26 | Pirita, pirrotita, esfalerita, calcopirita, esfalerita (?), silicatos | Clorización intermedia | Arcosa |
| AB-26-27 | Pirita, pirrotita, hematita, calcopirita, arsenopirita, silicatos | Clorización intermedia | Arcosa |
| AB-26-28 | Pirita, pirrotita, esfalerita, hematita, calcopirita, arsenopirita, silicatos | Clorización intermedia | Arcosa |
| AB-26-30 | Pirita, pirrotita, hematita, arsenopirita, calcopirita, esfalerita, silicatos | Clorización intermedia | Arcosa |
| AB-26-31 | Pirita, esfalerita, arsenopirita, hematita, calcopirita, pirrotita, galena, silicatos | Clorización-Silicificación | Arcosa |
| BARRENO 103 | | | |
| EJ-9 | Pirita | | Arenisca |
| EJ-11 | Pirita, arsenopirita, esfalerita, calcopirita, tetraedrita(?), silicatos, calcita | Silicificación-clorización intermedia | Bandeamiento de areniscas y limolita |
| EJ-13 | Pirita, arsenopirita(?), esfalerita, calcopirita, tetraedrita, silicatos | Clorización intermedia | Limolita |
| EJ-20 | Pirita | | Arcosa |
| EJ-22 | Pirita, calcopirita | Clorización intermedia | Arcosa con bandas de limolita |
| EJ-23 | Pirita | | Arcosa |
| EJ-24 | Pirita, esfalerita, calcopirita, tetraedrita, silicatos | Silicificación, Clorización | Arcosa |
| EJ-25 | Pirita, esfalerita, galena, arsenopirita, calcopirita, silicatos | Silicificación, Clorización | Cataclasita |
| EJ-27 | Pirita, galena, calcopirita, silicatos | Silicificación, Clorización | Arcosa |
| EJ-28 | Esfalerita, pirita, calcopirita, silicatos | Silicificación, Clorización | Arcosa |
| EJ-32 | Pirita, calcopirita, silicatos | Clorización | Arcosa |
| EJ-36 | Pirita, calcopirita, silicatos | Clorización | Arcosa |
| EJ-42 | Pirita, calcopirita, arsenopirita, esfalerita, hematita, tetraedrita(?), silicatos | Silicificación, Clorización | Limolita gráfica |

TABLA 5 VETA EL MEMBRILLO (Continuación)

| CLAVE | PARAGÉNESIS | ALTERACIONES | ROCA ENCAJONANTE |
|--------------------|--|------------------------------|--------------------|
| BARRENO 103 | | | |
| EJ-48 | Pirita, silicatos | | Limolita grafitica |
| EJ-49 | Pirita, calcopirita, hematita, esfalerita, silicatos | Cloritización intermedia | Limolita grafitica |
| EJ-50 | Pirita, pirrotita, calcopirita, esfalerita, arsenopirita(?), freibergita, silicatos, calcita | Cloritización-Silicificación | Limolita |
| EJ-52 | Pirita, calcopirita | | Limolita |
| BARRENO 104 | | | |
| B104-12 | Pirita, calcopirita | | Limolita |
| B104-18 | Pirita, arsenopirita, pirrotita(?), esfalerita, calcopirita, silicatos | Cloritización intermedia | Arcosa |
| B104-19 | Pirita, arsenopirita, hematita, calcopirita | Cloritización intermedia | Arcosa |
| B104-25 | Pirita, pirrotita, hematita, arsenopirita, calcopirita, esfalerita(?), silicatos | Cloritización intermedia | Limolita grafitica |
| B104-26 | Pirita, arsenopirita, calcopirita, esfalerita(?), silicatos, calcita | Cloritización-Silicificación | Arcosa |
| B104-37 | Pirita, arsenopirita, pirrotita(?), esfalerita, silicatos, calcita | Cloritización | Arcosa |
| B104-39 | Pirita, arsenopirita | Cloritización | Limolita grafitica |
| B104-50 | Pirita, arsenopirita | Cloritización | Arcosa |

estructurales más someros, en asociación con esfalerita y calcopirita; en tanto la presencia de freibergita en forma de cristales muy pequeños y erráticos, fue reconocida en la parte más profunda. La presencia de pirrotita a mayor profundidad es indicativa de un incremento normal en el gradiente de temperatura, donde coexiste la asociación de pirita-esfalerita-calcopirita, ordinariamente en ausencia de minerales de plata.

Los rasgos texturales que se observan en este barreno, consisten en intercrecimientos de pirita, esfalerita y galena o bien de esfalerita, calcopirita y sulfosales de la serie de la tetraedrita.

Barreno no. 104: Este barreno es prácticamente estéril; como minerales de mena solamente se observaron esfalerita y calcopirita formando intercrecimientos, a veces también intercrecidas con pirita a la que reemplaza. La asociación de pirita-arsenopirita y con menor frecuencia pirrotita, puede verse en todos los niveles mineralizados reconocidos en el barreno.

Veta El Rosario.

La paragénesis observadas (tabla 6), consisten de pirita, esfalerita, galena, calcopirita, arsenopirita freibergita, boulangierita, pirargirita, argentita, tetraedrita, estromeyerita y diaforita, en una matriz de silicatos. Se estudiaron los barrenos BR-1 y BR-2 (tabla 7).

Barreno BR-1: A través de este barréno se reconoció una zona donde los sulfuros y sulfosales de plata ocurren ampliamente distribuidos en vetas formales. La distribución mineralógica comprende una zona superior de esfalerita, pirita y calcopirita, cambiando a una zona intermedia donde tiene lugar los minerales de plata intercrecidos con esfalerita y calcopirita; de estos minerales, la freibergita es el mineral de plata más representativo en el depósito. La variedad argentífera (freibergita) del grupo de la tetraedrita se determinó en las partes intermedias y en las partes superiores cortadas por el

TABLA 5 VETA EL MEMBRILLO (Continuación)

| CLAVE | PARAGÉNESIS | ALTERACIONES | ROCA ENCAJONANTE |
|--------------------|--|------------------------------|--------------------|
| BARRENO 103 | | | |
| EJ-48 | Pirita, silicatos | | Limolita grafitica |
| EJ-49 | Pirita, calcopirita, hematita, esfalerita, silicatos | Cloritización intermedia | Limolita grafitica |
| EJ-50 | Pirita, pirrotita, calcopirita, esfalerita, arsenopirita(?), freibergita, silicatos, calcita | Cloritización-Silicificación | Limolita |
| EJ-52 | Pirita, calcopirita | | Limolita |
| BARRENO 104 | | | |
| B104-12 | Pirita, calcopirita | | Limolita |
| B104-18 | Pirita, arsenopirita, pirrotita(?), esfalerita, calcopirita, silicatos | Cloritización intermedia | Arcosa |
| B104-19 | Pirita, arsenopirita, hematita, calcopirita | Cloritización intermedia | Arcosa |
| B104-25 | Pirita, pirrotita, hematita, arsenopirita, calcopirita, esfalerita(?), silicatos | Cloritización intermedia | Limolita grafitica |
| B104-26 | Pirita, arsenopirita, calcopirita, esfalerita(?), silicatos, calcita | Cloritización-Silicificación | Arcosa |
| B104-37 | Pirita, arsenopirita, pirrotita(?), esfalerita, silicatos, calcita | Cloritización | Arcosa |
| B104-39 | Pirita, arsenopirita | Cloritización | Limolita grafitica |
| B104-50 | Pirita, arsenopirita | Cloritización | Arcosa |

TABLA DIAGRAMA DE SUCESION VETA EL ROSARIO

| MINERAL | ETAPAS DE DEPOSITO | | | | TIPO DE ORIGEN | |
|---------------|--------------------|-----|-----|----|----------------|-------------|
| | I | II | III | IV | HIPOGENICO | SUPERGENICO |
| Pirita | | --- | --- | | X | |
| Esfalerita | --- | | --- | | X | |
| Galena | | --- | --- | | X | |
| Calcopirita | | --- | --- | | X | |
| Arsenopirita | --- | --- | | | X | |
| Freibergita | | --- | --- | | X | |
| Boulangerita | | --- | --- | | X | X |
| Pirargirita | | --- | --- | | X | X |
| Argentita | | --- | --- | | X | |
| Tetraedrita | | --- | --- | | X | |
| Estromeyerita | | --- | --- | | X | X |
| Diaforita | | --- | --- | | | |
| Cuarzo | --- | | | | X | |
| Calcita | --- | | | | X | |
| Leptoclorita | --- | | | | X | |
| Clorita (Mg) | --- | | | | X | |
| Epidota | --- | | | | X | |
| Sericita | --- | | | | X | X |
| Barita | --- | | | | X | |
| Caolinita | --- | | | | X | X |
| Rodrcrosita | --- | | | | X | |
| Hematita | --- | | | | | X |

barreno; luego la freibergita desaparece con forme la profundidad aumenta y a la especie tetraedrita y es acompañada solamente de pirita y calcopirita. En la zona más profunda se presenta un evidencia de crecimiento general de los sulfuros.

Los minerales de plata ocurren intercrecidos especialmente con esfalerita y calcopirita, pero pueden observarse también como venillas e inclusiones en esfalerita y galena.

Barreno BR-2: La zona más cercana a la superficie, atravesada por este barreno, manifiesta pirita, esfalerita y calcopirita, con freibergita de ocurrencia errática. A unos 100 metros de profundidad, una zona de vetas formales presenta hacia el alto la asociación de esfalerita, pirita, arsenopirita y calcopirita, cambiando hacia la parte intermedia a boulangerita y galena; en el bajo, la asociación de minerales consta principalmente de esfalerita, pirita, freibergita y calcopirita. A la profundidad, aproximadamente de 160 metros, se observó la asociación de esfalerita, pirita, freibergita y en menor proporción, galena y calcopirita, relacionados todos estos minerales a una estructura de espesor delgado; unos 7 metros más abajo se cortaron estructuras secundarias que contienen pirita, arsenopirita, esfalerita y calcopirita, en ausencia de minerales de plata.

Veta El Carmen.

La asociación de minerales observada consiste de pirita, esfalerita, calcopirita, tetraedrita, arsenopirita y pirrotita, en una matriz constituida de silicatos. Solamente se analizó el Barreno BVC-16 (tablas 8 y 9).

En el intervalo cortado por el barreno y a una profundidad aproximada de 90 metros, se reconoció una brecha mineralizada con alta proporción de minerales de cobre (calcopirita y tetraedrita), así como pirita y esfalerita; todos estos minerales guardan con frecuencia relaciones texturales muy estrechas. De esta

| TABLA 8 DIAGRAMA DE SUCESION VETA EL CARMEN | | | | | | |
|---|--------------------|-----|-----|-----|----------------|-------------|
| MINERAL | ETAPAS DE DEPOSITO | | | | TIPO DE ORIGEN | |
| | I | II | III | IV | HIPOGENICO | SUPERGÉNICO |
| Pirita | --- | --- | | | X | |
| Esfalerita | --- | --- | | | X | |
| Calcopirita | | --- | --- | | X | |
| Tetraedrita | | --- | --- | | X | |
| Arsenopirita | | --- | --- | | X | |
| Pirrotita | | | | | X | |
| Cuarzo | --- | | | --- | X | |
| Calcita | --- | | | --- | X | |
| Leptoclorita | --- | --- | | | X | |
| Clorita (Mg) | | --- | --- | | X | |
| Epidota | | --- | --- | | X | |
| Sericita | | | | --- | X | X(?) |
| Caolinita | | | | --- | X | X |
| Hematita | | | | | | X |

| TABLA 9 VETA EL CARMEN | | | |
|------------------------|--|------------------------------|------------------|
| CLAVE | PARAGÉNESIS | ALTERACIONES | ROCA ENCAJONANTE |
| BARRENO BVC-16 | | | |
| BVC-16-10 | Pirita, silicatos | Silicificación Cloritización | Arcosa |
| BVC-16-11 | Esfalerita, pirita, hematita, calcopirita, galena, silicatos | Silicificación Cloritización | Arcosa |
| BVC-16-13 | Pirita, calcopirita, esfalerita, tetraedrita, silicatos | Silicificación Cloritización | Limolita |
| BVC-16-16 | Pirita, silicatos | Silicificación Cloritización | Arcosa |
| BVC-16-17 | Pirita,, arsenopirita, esfalerita(?), tetraedrita, calcopirita, pirrotita, silicatos | Silicificación Cloritización | Limolita |

parte hacia las zonas más superficiales, solamente se observaron de manera ocasional, hilillos rellenos de esfalerita con pequeñas cantidades de galena.

Veta Azul

Barreno BVA-08: Debido a su mineralización, solamente dos muestras se analizaron de este barreno. La asociación de pirita, esfalerita, galena y calcopirita fue observada en una zona cercana a la superficie, en tanto que la mineralización parece cambiar con la profundidad a una zona de minerales de alta temperatura (tabla 10).

Barreno BVA-12: La asociación de pirita y galena domina de las partes intermedias a las partes más someras cortadas por este barreno; a mayor profundidad solamente se reconoció a la pirita (tabla 11).

Considerando los valores químicos de que se disponen, relacionados a la veta Azul, puede hacerse la siguiente observación: Los valores de plata son considerablemente altos en muestras obtenidas en el interior de algunas minas que tienen relación con esta veta, lo cual se explica principalmente por los contenidos de plata en galena y la presencia de freibergita. De lo anterior se deduce que la mineralización argentífera de la veta Azul, se encuentra limitada.

a un clavo alargado cercano a la superficie, cuya persistencia a profundidad resulta muy dudosa.

4.4.3 Inclusiones fluidas.

Las inclusiones fluidas son debido a los fluidos atrapados en los cristales, durante su formación o introducidos a lo largo de microfracturas o cruceros

| TABLA CUANTIA DE MINERALES | | | | | | |
|----------------------------|--------------------|----|-----|----|----------------|-------------|
| MINERAL | ETAPAS DE DEPOSITO | | | | TIPO DE ORIGEN | |
| | I | II | III | IV | HIPOGENICO | SUPERGENICO |
| Pirita | | | | | X | |
| Esfalerita | | | | | X | |
| Galena | | | | | X | |
| Calcopirita | | | | | X | |
| Pirrotita | | | | | X | |
| Arsenopirita | | | | | X | |
| Hematita especular | | | | | X | |
| Freibergita | | | | | X | |
| Cerusita | | | | | X | X |
| Smithsonita | | | | | | X |
| Cuarzo | | | | | X | |
| Calcita | | | | | X | |
| Leptoclorita | | | | | X | |
| Clorita (Mg) | | | | | X | |
| Epidota | | | | | X | |
| Sericita | | | | | X | X |
| Caolinita | | | | | X | X |
| Especularita | | | | | X | |
| Hematita | | | | | | X |

TABLA 11. VETA AZUL

| CLAVE | PARAGÉNESIS | ALTERACIONES | ROCA ENCAJONANTE |
|------------------------|---|-----------------------------|------------------|
| BARRENO VA | | | |
| VA-2 | Galena | Silicificación clorización | Lutita |
| VA-3 | Pirita, esfalerita, galena, calcopirita | Silicificación clorización | Lutita |
| VA-5 | Pirita, esfalerita, calcopirita, galena, freibergita, calcita | Silicificación clorización | Lutita |
| VA-6 | Pirita, esfalerita, calcopirita, galena, calcita | Silicificación clorización | Lutita |
| VA-7 | Esfalerita, pirita, galena, calcopirita, calcita, silicatos | Silicificación clorización | Lutita |
| BARRENO 02 | | | |
| BVA-02-4 | Pirita, arsenopirita | Clorización intermedia | Lutita calcárea |
| BARRENO 06 | | | |
| BVA-06-9 | Pirita, arsenopirita, calcopirita, silicatos, calcita | Clorización silicificación | Arcosa |
| BVA-06-22 | Pirita, pirrotita, arsenopirita, silicatos | Clorización intermedia | Arcosa |
| BVA-06-30 | Pirita, arsenopirita, silicatos, calcita | Clorización intermedia | Lutita |
| BVA-06-34 | Pirita, silicatos | Clorización intermedia | Arcosa |
| BVA-06-37 | Pirita, pirrotita, hematita, arsenopirita (?), silicatos | clorización | Arcosa |
| BVA-06-38 | Pirita, silicatos | Clorización intermedia | Arcosa |
| BVA-06-41 | Pirita, arsenopirita | Clorización intermedia | |
| BARRENO 08 | | | |
| BVA-08-12 | Pirita, esfalerita, galena, calcopirita, silicatos | Silicificación clorización | Arenisca |
| BVA-08-15 | Pirita | | Limolita |
| BARRENO 12 y 13 | | | |
| BVA-12-6 | Pirita, esfalerita(?), silicatos, calcita | Clorización intermedia | Limolita |
| BVA-12-10 | Pirita, galena, silicatos, calcita | Clorización silicificación | limolita |
| BVA-12-11 | Pirita, silicatos | Clorización intermedia | Limolita |
| BVA-13-5 | Pirita, silicatos, calcita | Silicificación, Clorización | Arcosa |
| BVA-13-15 | Pirita, silicatos | Clorización intermedia | Arcosa |

después de la cristalización de los minerales. Los estudios de inclusiones fluidas constituyen uno de los parámetros de mayor importancia que se consideran en la evaluación metalogénica de yacimientos minerales de origen hidrotermal. Los datos obtenidos en este tipo de estudios, en paralelo con estudios paragenéticos y otras relaciones metalogénicas, permiten hacer diversas consideraciones sobre la evolución espacio-temporal acerca de la temperatura, presión, densidad y composición química de los fluidos durante los procesos de mineralización. Sobre la base de la integración correlativa de estos parámetros, es posible conocer los cambios más importantes que sufren los fluidos hidrotermales durante su ascenso, y de esta manera se conforma la configuración espacial de los niveles u horizontes productivos.

En el área en cuestión (Garza-González, 1983), realizó un estudio muy completo de inclusiones fluidas en las diferentes especies minerales en las vetas más importantes. Estos estudios se suman a la paragénesis y al estudio de las alteraciones hidrotermales, lo que permitieron caracterizar el alcance y variabilidad espacial del fenómeno metalogénico

Se realizaron muestreos selectivos, en el desarrollo de obras mineras y núcleos, siguiendo la siguiente metodología:

- Reconocimiento de diversas generaciones de cuarzo y calcita.
- Descripción y clasificación petrográfica de las inclusiones.
- Determinación de las temperaturas de homogeneización y congelamiento.
- Integración e interpretación de resultados.

El sector de El Membrillo – El Jaral, es el prospecto que muestra mayor avance en la exploración con obras directas; esto implica excelentes alcances en la interpretación espacial de los datos obtenidos. Dicha estructura representa por

tanto, el depósito mejor conocido dentro de los sistemas hidrotermales que originaron la mineralización y permite establecer que los datos obtenidos en los prospectos El Rosario, Veta Azul y El Carmen, representan un excelente interés correlativo para que las interpretaciones asuman la importancia que exige la prospección en esas áreas.

Estructura El Membrillo – El Jaral.

Las evidencias estructurales, mineralógicas y de alteraciones, parecen sugerir que parte de los eventos de mineralización fueron contemporáneos con los diferentes períodos de fracturamiento. Esta consecuencia estructural implicó reabrimientos de importancia local y zonas mineralizadas con fracturamiento abierto (suele contener freibergita), y mostrando el desarrollo en zonas relativamente lejanas del abrimiento principal. Asimismo, los datos paragenéticos y de oclusiones fluidas sugieren que la mineralización de este sector, representa la zona de mayor temperatura de depósito, lo cual implica mayor cercanía al foco de la mineralización. Así pues, los rasgos típicos se manifiestan en un zoneamiento poliascendente no sólo en el ámbito de esta estructura, sino a la escala integral de los prospectos que existen en el área de estudio.

Caracterización físico – química.

Las relaciones texturales y características observadas en las oclusiones, indican una ocurrencia exclusiva del tipo primario considerándose sus temperaturas de homogeneización y salinidad, para establecer una aproximación acerca de la variabilidad físico-química espacial de los fluidos formadores de la mineralización, teniendo un especial cuidado en el estudio de las características del evento relacionado con el emplazamiento de los metales preciosos. Lo anterior ha permitido conformar 4 zonas mineralógicas, de la más profunda a la más somera:

| | |
|------------|---------------------------------|
| Zona I.- | Zona de pirrotita |
| Zona II.- | Zona de la pirrotita-oro |
| Zona III.- | Zona de tetraedrita-freibergita |
| Zona IV.- | Zona estéril de cuarzo-calcita |

Las características y configuración de cada una de estas zonas, se detallan en la discusión de la tipología del zoneamiento mineralógico. Cabe destacar, que los efectos del zoneamiento poliascendente implicaron un traslape común en las Zonas II, III y IV de la asociación piritá-pirrotita-esfalerita (tabla 12). El evento metalogénico está definido por 4 etapas de mineralización; sus características y variaciones de la temperatura-salinidad se evalúan en el contexto geológico del área, de acuerdo a las siguientes relaciones:

Etapas I.

Cuarzo con leptocloritas y calcita (cloritización) + piritá-pirrotita-calcopirita. Los intervalos de temperatura de homogeneización (sin corrección por presión) varían entre 290°C y 338°C; la salinidad promedio en la zona de abrimiento principal es del 12% en peso equivalente de NaCl, con una relación gas-líquido de 30-70. Las zonas cataclásticas alejadas del abrimiento presentan una salinidad entre 3.05% y 4.79% en peso de NaCl y una relación de gas-líquido promedio 40-60.

Etapas II.

Cuarzo con clorita y calcita (cloritización intermedia) + piritá-arsenopirita-calcopirita-esfalerita y escasas pirrotita-tenatita. Esta generación de cuarzo y calcita es también común en zonas someras y profundas de fracturamiento abierto. El intervalo de temperaturas de homogeneización (sin corrección de presión) está comprendido entre 262°C y 295°C. La salinidad promedio en el

TABLA 12 COMPORTAMIENTO DE LAS INCLUSIONES FLUIDAS

| EL MEMBRILLO - JARAL | | | | |
|--|--|--------------------------------------|---|-----------------------------|
| TIPO DE ZONA MINERALÓGICA | ALTERACIÓN MINERALOGICA | TEMPERATURA DE HOMOGENIZACIÓN | SALINIDAD PROMEDIO EN PESO DE NaCl | RELACIÓN GAS LIQUIDO |
| I (PIRROTITA) | Cuarzo con leptocloritas y calcitas (cloritización) + pirita-pirrotita-calcopirita | 290 C a 338 C | 12% | 30 - 70 |
| II (PIRROTITA-ORO) | Cuarzo con clorita y calcita (cloritización intermedia) + pirita-arsenopirita-calcopirita-esfalerita y escasa pirrotita-tenanita | 262 C a 295 C | 10% | 30 - 70 |
| III TETRAEDRITA-FREIBERGITA | Cuarzo con clorita magnesifera +- calcita +- sericit+-apirita+- caolín (silicificación asociada) | 189 C a 232 C | 10 - 12% | 25 - 75 |
| | pirita-esfalerita-galena-freiergita y escasa pirrotita-calcopirita-especularita | 220.70 C a 262 C | 10 - 17% | 20 - 80 |
| IV (CUARZO - CALCITA) | Cuarzo-calcita +- caolín | 175 C | 2% | - |

abrimiento es del 10% con una relación gas-líquido de 30-70. La salinidad decae en las zonas de fracturamiento lejanas de la estructura principal, comprendiendo un intervalo de 1.73% a 5.85% en peso de NaCl y una relación gas-líquido de 40-60.

Etapa III.

Cuarzo con clorita magnesífera ± calcita ± sericita ± caolín (silicificación). Se presenta la asociación pirita-esfalerita-galena-freibergita y escasa pirrotita-calcopirita-especularita. En las partes más someras de la estructura, las temperaturas de homogeneización varían entre 189°C y 232°C, con un incremento de salinidad hacia el bajo que comprende un intervalo de 10-12% en peso de NaCl y una relación gas-líquido promedio de 25-75. Las zonas de mayor profundidad ± 150 m de la estructura, reconocidas con barrenación entre 220.70°C y 262°C. La salinidad muestra un notorio incremento (hasta 17% en peso NaCl) en el horizonte argentífero y una relación gas-líquido de 20-80.

Etapa IV.

Cuarzo + calcita ± caolinita. Se considera que las temperaturas de homogeneización son inferiores a 175°C y una salinidad inferior al 2% en peso de NaCl. Son comunes las inclusiones con movimiento browniano, definiendo la zona estéril de cuarzo-calcita.

Las etapas II y III se encuentran caracterizadas por los procesos físico-químico más importantes del abrimiento de las estructuras. Es muy factible que en estas etapas se haya manifestado el depósito del oro; las zonas auríferas muestran un desarrollo hacia el alto de la estructura en porciones que muestran ramaleo y fracturamiento cerrado. El depósito de la tetraedrita se desarrolló durante la etapa II, presentándose hacia el bajo de la estructura y en zonas

someras caracterizadas por ramaleo y fracturamiento abierto. La freibergita y los sulfuros de plata (argentita(?), estromeyerita (?)) se depositaron en la etapa III, estando erráticamente distribuidos en el bajo y en zonas cataclásticas más someras. En este contexto general, se considera un promedio de las temperaturas, de homogeneización – salinidad de los eventos principales como se observa en a tabla 13.

Tabla 13 Temperatura de homogeneización

| | |
|---------------------------|-------------------------------|
| Promedio | 230°C |
| Salinidad promedio | 10 % |
| Densidad | 0.863 g/cm³ |

Con estos datos considera en la estimación teórica de la profundidad de la mineralización, permite inferir una profundidad del subevento relacionado con el emplazamiento de los metales preciosos de ± 270 m. Este dato representa el espesor teórico de la zona de la tetraedrita-freibergita; cabe reiterar que en esta zona la distribución de las menas argentíferas es muy errática, presentando las bolsas estrictos controles de carácter litológico-estructural (Garza-González, 1983).

La zona de tetraedrita-freibergita parece engrosar hacia la continuidad de la estructura (sector El Jarral), dirección en donde se conjugan favorablemente características litológicas y estructurales para las mayores concentraciones de mena. Es muy posible que el vector que define la elongación de los cuerpos, mantenga excelente continuidad hacia el SE; sin embargo, hacia el sector del Punto de Partida, se presenta interesante elongación hacia el NW, de un clavo que presenta los rasgos típicos de mineralización argentífera de la zona de tetraedrita-freibergita. De acuerdo con las características de sus inclusiones fluidas, la zona del Membrillo constituye una porción de la estructura en donde se tiene la ocurrencia de clavos discretos; quizás este sector representa las partes más someras del horizonte argentífero, lo cual está manifiesto por un traslape en cierto grado de la paragénesis de la etapa III con la etapa estéril de cuarzo-calcita. En esta última se presentan numerosas oclusiones fluidas en

calcita, con movimiento browniano; así mismo, los porcentajes de salinidad característicos del cuarzo de la etapa III son muy similares ($\pm 5\%$) a aquellos reportados en El Jaral correspondientes a las porciones con bajos contenidos de plata.

Inclusiones Fluidas en las estructuras "Rosario", "Veta Azul", y "Carmen".

La estructura El Rosario ha sido reconocida por barrenación en una longitud de ± 100 m y una profundidad de 150 m aproximadamente; estos espaciamentos se han delimitado únicamente con los sondeos BR-1 y BR-2. Esta situación implica que el alcance de las interpretaciones esté condicionado a la escasa información obtenida en pequeñas obras mineras y en los 2 sondeos exploratorios mencionados. No obstante, las interpretaciones están apoyadas también, por los rasgos y datos que muestran interés correlativo. Así pues, la importancia de las inclusiones fluidas se evalúa en el contexto de dos zonas mineralizadas de interesante potencial económico:

Zona I.- El sondeo BR-1 cortó un espesor de aproximadamente 9.60 m a una profundidad longitudinal de estructura de ± 158 m. El sondeo BR-2 cortó a la misma estructura a una profundidad longitudinal de ± 127 m.

Hacia el alto persiste la asociación pirita-arsenopirita-calcopirita-esfalerita en cuarzo de la primera etapa, cuyas inclusiones fluidas muestran un intervalo de temperaturas de homogeneización comprendido entre 320°C y 337°C , con un porcentaje de salinidad que varía de 2.06% a 4.01% y una relación gas-líquido promedio de 30-70. Se presentan escasas leptocloritas en vetillas de cuarzo-calcita y abundante epidota. Esta etapa se presenta en

zonas de ramaleos y fracturamiento cerrado; se podría relacionar con las etapas I y II de la estructura El Jaral-Membrillo. Hacia el bajo de la estructura se presenta la paragénesis pirita-esfalerita-calcopirita-freibergita-platas rojas-diaforita y galena. El cuarzo de esta generación presenta inclusiones con temperaturas de homogeneización entre 221.8°C y 234°C, con una salinidad que varía de 3.05% a 3.21% y una relación gas-líquido promedio de 25-75. Esta etapa se relacionaría con la etapa III de la estructura El Jarral-Membrillo (garza-González, 1983).

La continuidad SE de la estructura está caracterizada por un incremento en la salinidad de las inclusiones en los cuarzos de la etapa principal de mineralización. Las inclusiones relacionadas al cuarzo que presenta la paragénesis pirita-esfalerita-arsenopirita-calcopirita, presentan una temperatura de homogeneización promedio de 265°C y una salinidad del 11.5%; datos, que se relacionan con la etapa II de la zona de El Jarral-Membrillo. Hacia el bajo, el cuarzo de la asociación pirita-galena-boulangerita, presenta inclusiones cuya temperatura de homogeneización promedio es de 250°C y la salinidad de $\pm 12.9\%$ con una relación gas-líquido promedio de 25-75. Esta etapa se relaciona con la etapa III considerada en el sector de El Jaral-Membrillo.

Zona II

El sondeo BR-1 corta ramaleos de la estructura II a una profundidad longitudinal de 222 m y 238 m. El sondeo BR-2 corta la estructura II mostrando angostamiento, a una profundidad longitudinal de 209 m.

La continuidad NW de la estructura está manifestada por la ocurrencia de la tetraedrita. Asociada con freibergita tal como

aparece en la sección del sondeo BR-1 a una profundidad longitudinal de ± 222 m.

Es notorio un incremento de la salinidad hacia porciones más someras de la continuidad SE. La asociación típica pirita-arsenopirita-esfalerita-calcopirita es muy frecuente en estas zonas y las inclusiones que presenta el cuarzo de esta generación muestran temperaturas de homogeneización de $\pm 229^{\circ}\text{C}$ y una salinidad de $\pm 16.7\%$ con una relación gas líquido promedio de 30-70. Esta etapa se considera que está relacionada con la etapa III de la zona El Jaral-Membrillo.

Los datos obtenidos indican que en el sector del Rosario, existieron mejores condiciones espaciales del mecanismo físico-químico que determinó la zonación metálica (tabla 14). Los mejores valores de plata y oro ocurren en las zonas de mayor abertura y están distribuidos erráticamente en el bajo de las estructuras, las cuales conforman fallamientos paralelos poco espaciados con ramaleos hacia el alto de los mismos.

Respecto al sector El Membrillo-Jaral, la zona de la pirrotita en El Rosario, parece ocurrir a mayor profundidad de los niveles de mineralización reconocida por sondeos exploratorios. Asimismo, la zona de la tetraedrita-freibergita manifiesta interesante distribución en el desarrollo de una paragénesis diversa de minerales argentíferos en las porciones más.

favorables, los cuales están típicamente controlados por las estructuras y litología. Al parecer la estructura El Rosario presenta excelente continuidad lateral y respecto a la zona del Jaral se manifiesta en menor grado el traslape de la asociación pirita-calcopirita-arsenopirita en la zona productiva. Sobre la base de los datos paragenéticos y de inclusiones fluidas, es posible inferir un

TABLA 14 COMPORTAMIENTO DE LAS INCLUSIONES FLUIDAS

| VETA ROSARIO | | | | | | |
|----------------|---------------------------|-------------------------------|--|-------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| BARRENO | TIPO DE ZONA MINERALÓGICA | ALTERACIÓN | ALTERACIÓN MINERALÓGICA | TEMPERATURA DE HOMOGENIZACIÓN | SALINIDAD PROMEDIO EN PESO DE NaCl | RELACIÓN GAS LÍQUIDO |
| BR-1 | I PIRROTITA | Cuarzo-calcita y epidota | pirita-arsenopirita-calcopirita-esfalerita | alto 230 C | alto 2.06% | 30 - 70 |
| | | | pirita-esfalerita-calcopirita-freibergita Ag rojas-diaforita y galena | bajo 221.80 C | bajo 3.05% | 25 - 75 |
| BR-2 | I PIRROTITA | Cuarzo-calcita y epidota | pirita-arsenopirita-calcopirita-esfalerita | alto 337 C | alto 4.01% | 30 - 70 |
| | | | pirita-esfalerita-calcopirita-freibergita Ag rojas-diaforita y galena | bajo 234 C | bajo 3.21% | 25 - 75 |
| BR-1 | II (PIRROTITA-ORO) | Cuarzo | pirita-arsenopirita-calcopirita | 229 C | 16.70% | 30 - 70 |
| BR-2 | II (PIRROTITA-ORO) | Cuarzo | pirita-arsenopirita-calcopirita | 229 C | 16.70% | 30 - 70 |
| VETA AZUL | | | | | | |
| BVA-12 | BVA-06 | III (TETRAEDRITA-FREIBERGITA) | Galena-esfalerita-freibergita | 207 C a 210 C | 3.40% | |
| VETA EL CARMEN | | | | | | |
| BVC | | III (TETRAEDRITA-FREIBERGITA) | cuarzo y calcita | Boulangerita-galena | 240 C | 13.33% |

espesor tentativo máximo de 200 m del horizonte argentífero o zona de tetraedrita-freibergita.

Tal vez las porciones reconocidas con barrenación de la estructura con dirección SE, podrían localizar la zona que infrayace al horizonte formal de la tetraedrita-freibergita. Sin embargo, esta consideración debe ser evaluada con mayor detalle, a fin de precisar a la variabilidad mineralógica y analizar las relaciones físico-químicas en el espacio de las estructuras.

A profundidad la estructura de la zona II manifiesta ramaleos y fracturamientos cerrados, típicos de un mecanismo cataclástico importante por lo que cabría la posibilidad de la existencia de plata diseminada en zonas que mantienen un control litológico-estructural específico.

La estructura veta Azul parece construir un clavo de pequeñas dimensiones, caracterizado por la ocurrencia de una paragénesis de minerales argentíferos emplazados en un intervalo de temperaturas comprendido entre 207°C y 210°C y una salinidad promedio de 3.4%. El promedio de temperaturas de homogeneización, es menor que el reconocido en el horizonte de la tetraedrita-freibergita de los sectores El Rosario y Membrillo-Jaral. En Veta Azul, la distribución de la freibergita presenta un carácter muy errático, observándose asimismo un incremento en las proporciones de galena, de tal forma que es posible considerar una zona bien definida de galena-esfalerita, en donde coexiste la freibergita en agregados cristalinos erráticos. La escasa continuidad lateral del clavo está fuertemente controlada por fallas y fracturas; esta condición implica que sea difícil evaluar las características generales de los rasgos que definen la continuidad espacial de la estructura. Básicamente, la

porción equivalente a la zona de la tetraedrita-freibergita, fue reconocida a una profundidad de ± 127 m en el sondeo BVA-12. La zona equivalente de la pirrotita, se determinó a una profundidad aproximada de 236 m en el sondeo BVA-06; esta zona se encuentra sobreyacida por intervalos litológicos con un fracturamiento abierto, existiendo también diques andesíticos con mineralización en forma de vetillas con pirita-galena.

En la estructura El Carmen se reconoció una zona de tetredrita a una profundidad aproximada de 90 m en el sondeo BVC-16. Esta ocurrencia se relaciona a una interesante zona cataclástica desarrollada en lutitas negras. La temperatura de homogeneización reconocida en inclusiones en cuarzo y calcita de esta etapa comprende un promedio de 240°C y una salinidad de 13.33% en peso de NaCl. Estos datos son correlacionables con la generación de cuarzo de la zona I del Rosario, correspondiente a la continuidad SE de la estructura y a la zona de la boulangerita-galena. Es posible entonces que en la estructura del Carmen, ocurra el horizonte de tetraedrita-freibergita, en niveles estrato-estructurales más altos a los reconocidos en el sector del sondeo BVC-16.

4.4.4. Tipo de Zoneamiento Mineralógico.

La evaluación de las estructuras es un parámetro que no se ha valorizado totalmente en el contexto geológico del área. Una de las muchas formas características de depósitos de oro mesotermal, es su excepcional continuidad vertical. El sistema mineral del depósito fanerozoico de Bralorne en la Columbia Británica, tiene una continuidad desde la superficie hasta cerca de los 2 km de profundidad y del precámbrico Lago Kirkland, el principal fracturamiento continua durante un poco menos de 2.4 km de profundidad (Hodgson, C.J., 1993), pero con pequeños cambios en la mineralogía. Es obvio que esta consideración implique ciertas limitantes en la interpretación detallada del zoneamiento por falta de mayores datos estructurales a profundidad y por.

consecuencia, el cálculo de una parte de la magnitud del zoneamiento en el área de San Rafael. No obstante, con el análisis de la información, se propone una caracterización del zoneamiento mineralógico, reconocido en las distintas estructuras, así como la correlación entre ellas.

En el marco de estas ideas, se plantean algunas consideraciones prácticas, de acuerdo al esquema que conforman los siguientes objetivos específicos:

- Definir tentativamente los niveles de mineralización en la estructura El Membrillo-Jaral, así como sus prioridades de prospección.
- Evaluar los datos correlativos en el contexto de las estructuras (Rosario-Carmen-Veta Azul-Jaral) para reconocer su probable continuidad, así como la tentativa configuración vertical del horizonte de metales preciosos.

Es muy probable que las zonas de mayor flexión estructural relacionadas con los eventos magmáticos-metalogénicos, se ubiquen hacia el N-NE de Valle de San Rafael. Asimismo, esta posibilidad está coexistiendo con el hecho de que las rocas triásicas en esta zona manifiestan un metamorfismo de bajo grado correspondiente con facies de esquistos verdes (cuarzo+albita+epidota+actinolita+clorita+stilpnomelano). En la zona de estudio, las rocas triásicas manifiestan condiciones propias de metamorfismo de bajo grado, de acuerdo a la paragénesis de sus minerales arcillosos; esto podría evidenciar la ocurrencia en este sector, de los paquetes estrato-estructurales más superiores de la secuencia sedimentaria del Triásico.

Los focos de la mineralización, se relacionan con la ocurrencia de las zonas de mayor flexión estructural situadas al N-NE que asimismo implicaron eventos magmático-metalogénicos de dos tipos, de acuerdo a su área de influencia. En el ámbito regional el tipo de mayor importancia, lo constituyen los yacimientos pirometasomáticos del distrito minero de Charcas; el otro tipo, lo conforman las estructuras con rasgos de filones que ocurren principalmente en rocas triásicas en el Valle de San Rafael.

Por tanto, es necesario considerar de una forma integral la ocurrencia de las estructuras mineralizadas en rocas triásicas, para establecer en un marco más amplio, cómo se comporta la zonación metálica, en relación con los parámetros estrato-estructurales y magmáticos. Sólo así podrá definirse la potencialidad económica-mineral integral de las estructuras mineralizadas que arman en las rocas triásicas que afloran en esta porción del estado de San Luis Potosí.

Las consideraciones hechas para el área en cuestión, permiten situar al sector del Membrillo-Jaral en la zona de mayor temperatura de emplazamiento, dentro del régimen de un gradiente paleogeotérmico regional (aún no evaluado) cuyo decremento parece manifestarse hacia el SW. El peso de esta idea está apoyado en datos comparativos de inclusiones fluidas, paragenéticos y de alteraciones hidrotermales. Así mismo, el zoneamiento en esta estructura es de carácter poliascendente y está caracterizado por cuatro zonas mineralógicas típicas, de las más profunda a la más somera.

- Zona de la Pirrotita-Pirita(I)
- Zona de Pirrotita-Oro(II)
- Zona de la Tetraedrita-Freibergita-Oro(III)
- Zona estéril de Cuarzo-Calcita (IV)

Cabe destacar, la asociación pirita-pirrotita-esfalerita en las tres últimas zonas, con un notorio incremento de pirrotita y escasa arsenopirita hacia el bajo de la estructura y hacia algunas porciones superiores del depósito.

La configuración vertical de estas zonas, está fuertemente controlada por límites estrato-estructurales aún no definidos. Es posible que las partes superiores de la zona de la pirrotita-pirita, adquieran carácter aurífero, quizá determinado por la aparición de calcopirita, cuya asociación define a la zona II la cual llega esporádicamente a traslapar a la zona III. La zona de la tetraedrita-freibergita-Oro ocurre conformando un horizonte en donde se distribuyen bolsadas o clavos elongados; esta zona puede tener gradaciones laterales y verticales a zonas de clavos discretos y porciones aún más erráticas. La elongación más importante existe hacia la continuidad SE de la estructura, en el sector El Jaral; El horizonte parece mostrar un ensanchamiento, el cual presenta valores de oro y plata. Estos rasgos son también característicos en

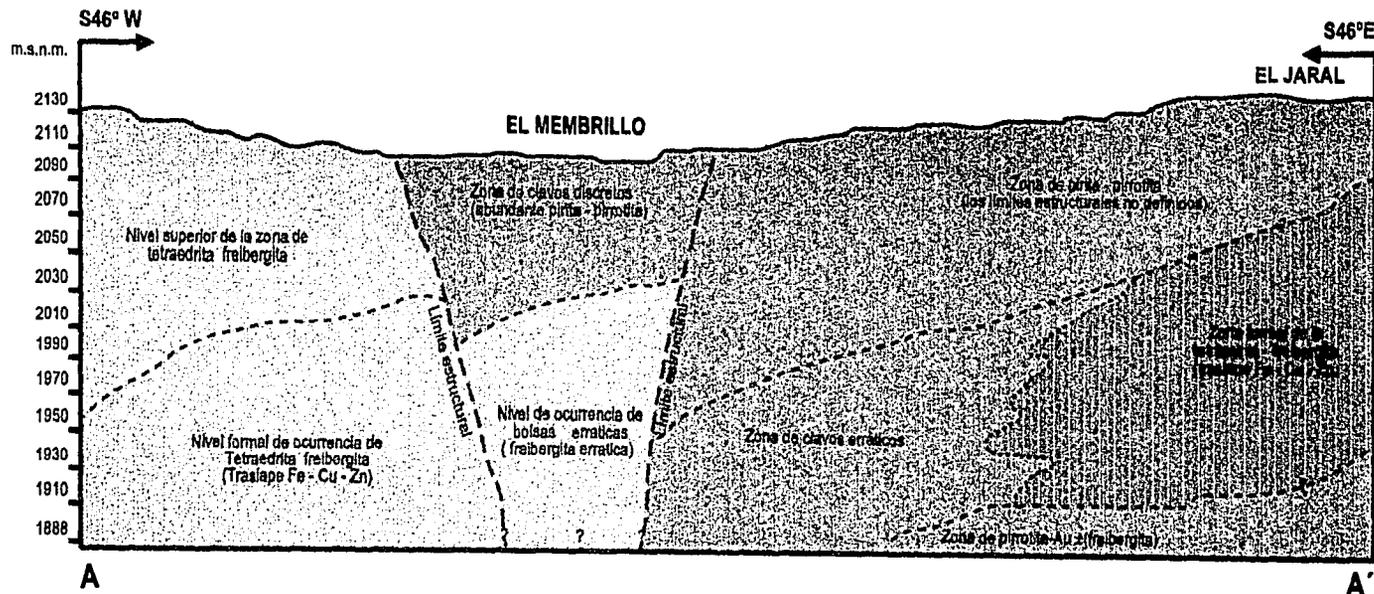
el sector del punto de partida, a una profundidad promedio de 100 m, en donde cabe la posibilidad de que el horizonte se profundice hacia el NW debido al fuerte control estructural.

En el área El Membrillo, existe la distribución lateral y vertical de las variantes de importancia secundaria características de la zona de la tetraedrita-freibergita; es probable que el tipo de mineralización en este sector, esté controlado por límites estrato-estructurales y por rasgos inherentes de tipo físico-químico, ya que se presenta frecuentemente el traslape de la zona IV con la III hacia las partes someras de la estructura. En la fig.12 se muestra su sección longitudinal con proyección de estructura, la probable configuración vertical de los niveles de mineralización, así como sus prioridades en la prospección.

La estructura El Rosario está caracterizada por la mayor disposición espacial de la secuencia paragénetica, producto del mecanismo físico-químico que implicó el zoneamiento poliáscentente. Este zoneamiento se podría explicar por la conjunción de condiciones estrato-estructurales de las rocas que proporcionaron las condiciones para una evolución más eficiente de los procesos termobarogeoquímicos, permitiendo que las soluciones mineralizadas y las paredes rocosas interactuaran y produciendo una mayor área de depositación de la mineralización.

Es posible proponer una distribución espacial tentativa de los horizontes de metales preciosos, sobre la base de correlaciones con la estructura El Membrillo-Jaral, de carácter paragenético y físico-químico. La estructura El Rosario manifiesta un excelente desarrollo de la zona de la tetraedrita-freibergita-Au con la ausencia del traslape de pirita-pirrotita-esfalerita, tan frecuente en el sector del Jaral.

Es muy posible que la zona de la pirrotita se encuentre a mayor profundidad (\pm 260 m longitudinales), tomando en cuenta también que este mineral ha sido reconocido a una considerable profundidad de la estructura El Carmen. Asimismo, la continuidad al NW manifiesta mejor persistencia de la zona de la



Escala 1: 25000



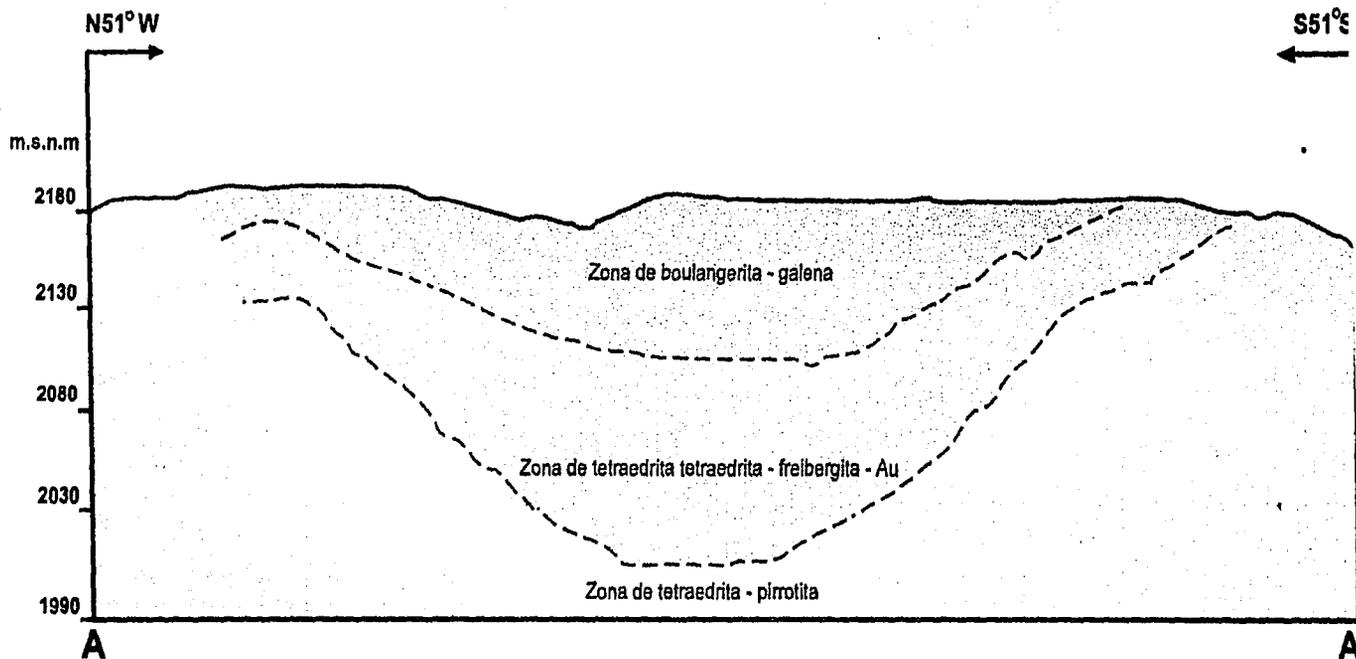
| | | |
|--|---|------|
|  UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA | FACULTAD DE INGENIERIA | |
| | Sección longitudinal del área de las vetas Membrillo - Jaral, mostrando los probables niveles de mineralización | |
| JUAN BERNARDO MIRANDA ROMERO | | |
| fig: 12 | TESIS PROFESIONAL | 2002 |

tetraedrita-freibergita; en contraste, la continuidad al SE en las porciones reconocidas en el sondeo BR-2, parece existir una subzona de boulangerita-galena que sobreyace al horizonte principal. En tanto, la estructura No. II reconocida a una profundidad de ± 148 m del sondeo BR-1, podría representar una zona de tetraedrita que está infrayaciendo a un angostamiento con posibles contenidos en plata y oro. En El horizonte principal, la mineralización auro-argentífera se presenta a manera de bolsas, que le confieren un carácter poco homogéneo. De acuerdo con lo anterior, es de esperar 5 zonas mineralógicas tentativas en las porciones productivas de la estructura El Rosario, de las más profunda a la más somera:

- Zona de la pirrotita.
- Zona de la tetraedrita.
- Zona de la tetraedrita-freibergita-Oro-sulfosales de plata.
- Zona (?) de la boulangerita-galena.
- Zona estéril de cuarzo-calcita.

En la sección longitudinal con proyección de estructura consignada, mostrada en la fig. 13, se establece la probable configuración de estos horizontes. No obstante, como ya se ha indicado, la definición, el alcance e importancia de estas zonas mineralógicas, constituye un aspecto a resolver conforme a la información que se obtenga del avance en las etapas de prospección con obras directas.

Además, la evaluación de las estructuras debe ser un aspecto paralelo a considerar en el futuro de las exploraciones, ya que el zoneamiento metálico presenta un fuerte control estructural.



Escala 1: 25000



TESIS CON
FALTA DE ORIGEN



**FACULTAD DE
INGENIERIA**

Sección longitudinal mostrando los probables niveles de mineralización en el área de la Veta El Rosario

JUAN BERNARDO MIRANDA ROMERO

fig:13

TESIS PROFESIONAL

2002

En el sector de la mina El Carmen, se reconoció en el sondeo BVC-16 a la zona equivalente de la tetraedrita del Rosario, a una profundidad longitudinal de ± 85 m. El sondeo BVA-02, cortó la estructura en la zona de la pirrotita-pirita del sector El Jaral. Los resultados obtenidos por la barrenación en el prospecto El Carmen son alentadores. Esta propuesta, está apoyada en la posibilidad de reconocer en superficie, los intervalos estrato-estructurales más superiores que los observados en el sector del sondeo BVC-16; ya que es muy posible que en esos niveles ocurra la zona equivalente de la tetraedrita-freibergita del prospecto El Rosario. Al parecer la continuidad SE de la estructura coincide levemente con el engrosamiento del nivel de mineralización y por ende con la dirección de niveles estructurales superiores de la secuencia triásica.

En el área Veta Azul, la distribución de los clavos mantiene fuerte control estructural y con los datos disponibles, es muy difícil una interpretación satisfactoria del zoneamiento local. La zona de la pirrotita-pirita, se reconoció a una profundidad de ± 236 m del sondeo BVA-06. De hecho, la única evidencia del horizonte de la tetraedrita-freibergita, se obtuvo del sondeo BVA-12 a una profundidad de ± 127 m; el clavo parece mostrar poca elongación y escasa persistencia a profundidad, por lo cual esta área presenta importancia secundaria. Asimismo, es posible considerar que la estructura Veta Azul, representa el límite de los efectos del fenómeno metalogénico, comprendido en el espacio del decremento del gradiente paleogeotérmico regional.

No obstante, al igual que en la estructura El Carmen, es muy importante evaluar las estructuras con el fin de definir de evidencias locales y regionales, que proporcionen ideas acerca de la ocurrencia de anomalías paleogeotérmicas.

Esto, quizás sea factible hacia la continuidad SE de las estructuras Carmen y Veta Azul, en dirección del área denominada Puerto Colorado, cuyo sector además representa una interesante zona de flexión estructural.

4.5 HIPÓTESIS GENÉTICA.

En la mayoría de los casos los depósitos mesotermales están asociados a la formación de fallas en cortezas transarcos, arcos complejos de trincheras donde convergen los márgenes de las placas. (Goldfarb, et al., 1986; Hodgson y Hamilton, 1989; Percival y Williams 1990, Kerrich y Williams, 1990; Davis y Corfu, 1991). Así pues, sería interesante realizar evaluaciones de carácter geoquímico y estructurales en regiones y localidades del terreno Sierra Madre, donde se presenten rocas del Triásico.

En el origen de los depósitos minerales del Valle de San Rafael, no se debe pasar por alto que las concentraciones de mena pueden ser una compleja relación entre los fenómenos de tipo sedimentológicos, magmáticos y tectónicos.

En el caso de los factores geológicos, los aspectos sedimentológicos contemplan la depositación de rocas sedimentarias clásticas, en este caso perteneciente a la Formación Ballena, similar en sus características a la Formación Zacatecas pero sin la presencia de pilowlavas. El depósito de esa unidad se localizó en la parte media de un abanico submarino en un medio turbidítico, con aporte de sedimentos continentales que se derivaron del cratón (Silva-Romo, 2000) y nula presencia de basaltos submarinos. Esta formación muestra facies u horizontes estratigráficos con inusuales contenidos de Zn, Pb, Cu y Ag.

La tectónica es otro de los factores importantes en la formación y emplazamiento de la mineralización, dado que las diferentes secuencias litológicas fueron afectadas por diferentes esfuerzos compresivos y distensivos regionales, los cuales plegaron y fracturaron las rocas preexistentes.

Existen dos periodos importantes los cuales generaron dos sistemas de fallas, que controlaron el emplazamiento de los fluidos mineralizantes. El primero es el de mayor importancia, presentando una orientación NW-SE y dando origen a

las vetas Las Arañas, El Rosario, El Carmen Y el Jaral-Membrillo. la segunda esta dada por un sistema de fallas de dirección NE-SW posteriores a la mineralización principal pero que pueden presentar mineralización a profundidad.

La mineralización en el Valle de San Rafael está emplazada en estructuras que presentan rasgos tipomórficos de sistemas filonianos. Es muy evidente que el control pre-tectónico desempeñó un papel de suma importancia en la zonación metálica y distribución espacial de los cuerpos mineralizados, considerándose también en este aspecto, los complejos efectos derivados de la posible interrelación sintectonismo-mineralización, así como de la evolución tectónica posterior al principal evento metalogénico. Los fenómenos magmáticos relacionados con la metalogénesis de la región se desarrollaron en la zona de mayor flexión estructural, se podría considerar que el máximo exponente de este rasgo correlativo lo representan los yacimientos de contacto del distrito minero de Charcas. Es evidente, que la dirección o direcciones del gradiente paleogeotérmico regional estuvieron regidos por los principales lineamientos estructurales, cuya distribución constituye un factor importante en el tamaño de la celda convectiva, considerada como el mecanismo geotérmico probable que caracterizó al sistema hidrotermal responsable de la mineralización.

Se considera que los metales fueron derivados de acumulaciones primigenias en la secuencia sedimentaria, principalmente en las secuencias turbidíticas de la Formación La Ballena, se podría plantear la hipótesis de la removilización magmático-tectónica. El calor residual de las intrusiones, así como sus fluidos salinos tardíos, constituyeron los elementos físicos-químicos principales que implicaron la lixiviación metálica de las rocas sedimentarias. Se deduce entonces, que estas relaciones se originarían de la asociación geoquímica-petroológica:

Intrusiones + secuencia pelítica + fluidos = Mineralización.

El alcance de los complejos fenómenos geoquímicos desarrollados en el reservorio, determinaron las proporciones metálicas incorporadas a los canales hidrotermales cuyo depósito estuvo regido también, por una compleja evolución geoquímica. En este último aspecto, la mezcla de aguas magmáticas con aguas connatas y/o meteóricas, formaron celdas convectivas las cuales realizaron erosión física y disolución química de las paredes rocosas (Hodgson C.J., 1993). Representó uno de los procesos físico-químicos determinantes en el emplazamiento de la mineralización, aunados a las características físico-químicas de las paredes de las rocas que hospedan a la mineralización, permitieron ceder elementos químicos y permitir el depósito de minerales transportados por los fluidos hidrotermales (Muller y Groves, 1991).

El área mayor de influencia de los fenómenos magmáticos existe al norte del Valle de San Rafael, definiendo una franja alineada NW-SE que burdamente coincide con los mayores alineamientos de las estructuras, principalmente representadas por fallas que presentan la misma orientación regional. Así mismo es de suponer que en ésta área se manifestó el máximo gradiente paleogeotérmico regional, cuyo decremento parece ser conspicuo hacia el SE. La estructura El Membrillo-Jaral constituye en el área estudiada, el emplazamiento más cercano a las zonas de mayor anomalía geotérmica; es muy probable que la ubicación del prospecto el Rosario represente la transición entre las condiciones físico-químicas productivas y las no productivas del sistema hidrotermal. Las estructuras que ocurren en el sector de Cuchilla-Las Arañas podrían ser representantes de las últimas manifestaciones del evento metalogénico. Sin embargo, un análisis en la continuidad al SE de las estructuras, es una consideración que merece especial atención, por la posibilidad de ocurrencia de un gradiente paleogeotérmico regional interesante, que se manifiesta localmente hacia las estribaciones de la sierra (en especial en las estribaciones de los cerros del Aguila, San José y Buenavista), que constituyen la continuidad SW morfo-estructural de la Sierra de Charcas.

De acuerdo con los datos paragenéticos y de inclusiones fluidas aportados en la presente investigación, se infiere que los fluidos que participaron en el evento metalogénico estuvieron conformados por una mezcla de aguas

magmáticas, connatas y meteóricas. Hacia las continuidades SE de las estructuras El Jaral y Rosario, se determinó un interesante incremento de la salinidad en el horizonte de la tetraedrita-freibergita, el cual manifiesta potencialidad en esa dirección, principalmente en la estructura El Jaral, Asimismo la distribución de las zonas metálicas antes de su deformación estructural, estuvo controlada por un zoneamiento poliascendente en cuyo espacio se emplazaron los horizontes argentíferos, los cuales definieron espesores longitudinales hasta de ± 200 m. las menas se depositaron en un intervalo de temperaturas promedio comprendido entre 200°C y 250°C, considerándose por tanto, yacimientos de temperatura intermedia.

4.6 POTENCIAL ECONÓMICO – MINERO.

La zona que comprende la reserva minera San Rafael, presenta condiciones geológicas que definen una excelente potencialidad geológica-minera. Las condiciones geológicas y metalogenéticas de un ambiente mesotermal, similar a los presentados en la minas de Lupin en la Provincia de Slave en Canadá, Bendigo, Stawell y Wahalla en el cinturón de Lchlan en Australia (Hodgson, 1993).

En la mayoría de estos depósitos, la mineralización se asocia a un intervalo de temperatura que varía entre los 50°C y 300°C así como a los procesos de dilatación que ocurren en las rocas, provocados por los fluidos hidrotermales que circulan a lo largo de la veta y espacios abiertos los cuales posteriormente serán rellenados (Cox et. al. 1991), lo que va a permitir el tamaño del volumen de la mineralización para dar lugar a la formación de diferentes estructuras (clavos, stocwork y vetas), al crearse los espacios se desarrolla el efecto de válvula la cual permitió el paso de suficiente volumen de soluciones mineralizantes.

El fracturamiento presente, es el principal conducto y medio por el cual los fluidos hidrotermales circularon, así como el proporcionar los espacios necesarios donde se depositaron la mena, dando origen a cuerpos mineralizados como clavos y vetas. Por la densidad de fracturamiento en el área de la Reserva Minera San Rafael, es factible suponer la posibilidad de localizar nuevas estructuras mineralizadas tanto a profundidad como a rumbo dentro de las diferentes estructuras plegadas.

Las 4 principales estructuras presentes en el área contienen una mineralización económica representada principalmente por sulfuros, y elementos nativos. El Consejo de Recursos Minerales realizó trabajos de exploración con obra directa durante 1993 y midió un total en la longitud de las vetas de 4500 metros, un ancho promedio de 1.20 metros y un espesor que varía entre 97 y 125 metros, estos últimos valores fueron obtenidos durante la campaña de exploración de 1983 (Palacios y Arriaga, 1984). De esto, es posible sugerir que las posibilidades económicas del proyecto puedan ser incrementadas dado que aún no se reconoce la extensión a profundidad de los clavos.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

Las rocas triásicas donde se encuentran la mayor cantidad de zonas mineralizadas, pertenecen a la Formación La Ballena la cual corresponde a la parte media de un abanico submarino, formado por corrientes turbidíticas. Esta unidad es muy similar a la Formación Zacatecas, pero en esa última se presentan rocas volcánicas submarinas en su base; ambas pertenecen al mismo abanico submarino sólo que la Formación La Ballena pertenece a la parte media y la Formación Zacatecas a la parte inferior del abanico.

Las estructuras mineralizadas presentan rasgos comunes en los sistemas de filones, donde se asocian con las zonas donde existe mayor flexión estructural. La distribución de los depósitos y el alcance de la mineralización en cada uno de ellos fueron controlados por un gradiente geotérmico, que se encuentra relacionado con las características fisico-químicas similares a los presentes en sistemas hidrotermales de tipo convectivo.

El origen de la mineralización proviene de las acumulaciones primigenias de minerales y elementos químicos depositados durante el período de formación de las rocas sedimentarias, principalmente de la Formación La Ballena. La secuencia turbidítica muestra facies y horizontes estatigráficos con anomalías litogeoquímicas, que manifiestan inusitadas concentraciones de Zn, Pb, Cu y Ag y otros elementos, en areniscas de grano medio y grueso.

La etapa de mineralización presenta una temperatura promedio de formación dada por las inclusiones fluidas de 245.09°C, con una salinidad del 7.8075% y una relación gas/líquido del 28-71. Estos valores indican que el medio en que se originó fue un ambiente de temperaturas medias que varían entre los 200 y 350°C y un fluido hidrotermal que estuvo constituido, probablemente en su

mayoría; de aguas de origen meteórico que se instalaron en un circuito convectivo. El zonamiento que presenta el área es poliascendente y presenta un espesor promedio máximo ± 200 metros. Aunque este espesor puede aumentar conforme se realicen trabajos de exploración a mayor profundidad de las estructuras.

La salinidad de las inclusiones fluidas presentes en el área de San Rafael concuerdan con el rango de la salmuera de (5-20 mol %) propuesto por Hodgson C.J. (1993) para de los depósitos de mesotermiales. Por lo que inclusiones fluidas son una excelente guía para la prospección de nuevas vetas mineralizadas en esta zona

La zonación mineral es controlada por las estructuras locales. Los datos estrato-estructurales y paragenéticos, sugieren que el horizonte de mayor producción es el de tetraedrita-freibergita en el clavo localizado en el área del Jaral.

Actualmente las reservas que se tienen calculadas por el Consejo de Recursos Minerales en la zona de Reserva San Rafael, son de 1,143,595 de toneladas. con leyes promedio de 0.94 grs de Au. y 224.0 grs de Ag. Lo que equivale a 37918.14 Oz. de Au y 256165.28 kgs. de Ag.

La zona por el momento no es recomendable para su explotación minera por grandes compañías, ya que los costos totales y las reservas no la hacen muy atractiva. En cambio, para compañías medianas y chicas si puede ser interesantes sobre todo hacia las partes más ricas y de mayor espesor en las principales vetas.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda desarrollar una evaluación estrato-estructural de las rocas triásicas a todo nivel; especialmente debe ponerse atención en configurar las

zonas de mayor flexión estructural, tales como la situación del eje de plegamiento principal, fallas regionales, analizar con más detalle las relaciones morfo-estructurales. Así mismo, es recomendable también desarrollar un análisis estrato-estructural de las continuidades laterales de las estructuras mineralizadas de El Membrillo-Jaral, Rosario y zona de Cuchilla-Las Arañas, a fin de analizar las posibles relaciones con la configuración vertical de los horizontes productivos.

Con estas bases, sería posible orientar la prospección superficial, en el sentido de que deben revalorizarse indicios superficiales existentes al norte y sur de la estructura El Membrillo y hacia la continuidad SE del sector El Jaral, como también en la continuidad lateral de la estructura El Rosario. Asimismo, la continuidad SE de las estructuras veta Azul y Carmen deben analizarse meticulosamente en un marco correlativo de rasgos previamente valorizados.

Sería de interés realizar estudios utilizando métodos de sensores remotos para identificar zonas de alteraciones que se encuentren enmascaradas por suelos residuales o vegetación. Con el objeto de ubicar otros blancos de exploración.

Es indispensable también, la planificación y desarrollo de un programa de muestreo de geoquímica de rocas, suelos y sedimentos de arroyo. Este programa tendrá como base los resultados de los estudios de sensores remotos y el análisis de los datos estructurales. Con el fin de delimitar las áreas de mayor interés para la localización de otros puntos de interés.

Definir un programa de barrenación el cual tenga como objetivos. (1) Localizar nuevas estructuras mineralizadas. (2) Delimitar con mayor exactitud el espesor y profundidad de las estructuras ya conocidas. (3) Conocer el comportamiento de las estructuras a profundidad y (4) Incrementar las reservas actualmente conocidas. Esto se puede realizar utilizando perforación por circulación inversa y a diamante, con profundidades hasta de 300 metros.

BIBLIOGRAFIA.

BIBLIOGRAFIA CITADA.

- Burckhardt Carl y Scalia Salvador (1905); La faune marine du Trias Supérieur de Zacatecas; Instituto Geológico de México, No. 21; P. 44
- Burckhardt Carl (1930); Etude Synthetique sur le Mesozoique Mexicain; Soc. Paléont. Suisse. Mém.; V. 49; P. 1-123
- Campa María F. Y Conney Peter J. (1983); Tectono – stratigrafic terrenos and mineral resource distributions in Mexico; Canadian Journal or Earth Sciences, Vol. 20; Canadá; P.1040-1051
- Centeno García E and Silva Romo G; (1993); Geology of the San Luis Potosí – Zacatecas region northeastern limit of the Guerrero terreno; First circum – Pacific and Circum – Atlantic Terrane Conference, Guide book o fieldtrip A; Guanajuato, México; P. 59-65
- Centeno García E and Silva Romo G; (1993); Geology of the San Luis Potosí – Zacatecas region northeastern limit of the Guerrero terreno; First circum – Pacific and Circum – Atlantic Terrane Conference, Guide book o fieldtrip A; Guanajuato, México; P. 59-65
- Centeno García Elena and Silva Romo Gilberto (1997); Petrogenesis and tectonic evolution of central México during Triassic – Jurassic time; Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 14, No. 2; U.N.A.M., Instituto de Geología; México; P.244-260
- Cantú Chapa, C.M. (1969); Una Nueva Localidad Triásico Superior en México; Revistas Instituto Mexicano del Petróleo; 1 (2); P. 71-72
- Chávez Aguirre, Rafael (1968); Bosquejo geológico de la Sierra del El Peñón Blanco, Zacatecas; México, D.F.; Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería; Tesis Profesional; P. 78; (Inédita)
- Cruz Peralta M.J. y Reyes Reyes N. A. (1983); Evaluación geológica minera de la reserva minera nacional Charcas, municipio Charcas, S. L. P.; Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, GEOMIMET; P. 85-97

- Davis, D.W. and Corfu, F. (1991); Evolution of the Superior Province: Constraints and inferences based on U-Pb geochronology; Rober F., Sheahan P. And Green S.B., Eds; Greenstone Gold and Crustal Evolution ; Geological Association of Canada; NUNA Conference Volume; P. 151-152
- Dimroth, E., Imrech, L. and Goulet, N. (1983); Evolution of the Archean Abitibi Belt, Quebec, Part II; Tectonic Evolution and Geomechanical model; Canadian Journal of Earth Sciences; V.20; P. 1355-1373.
- Escobedo – Espíritu M. A. (1984); Metalogénesis de los filones del área de San Rafael, Mpio. De Charcas, San Luis Potosí, (Tesis); Facultad de ingeniería, U.N.A.M.; México; P. 1-97
- Garza González Vélez C. (1983); Metalogénesis y perspectivas de exploración en el área de san Rafael, Mpio. De Charcas, S.L.P.; Consejo de Recursos Minerales, México; P. 1-85 (Trabajo inédito)
- Goldfarb, R.J., Leach, D.L., PicKthorn W.J. and Paterson, C.J. (1986); Origin of lode gold deposits of the Juneau gold belt southeastern Alaska; Geology; v.16; P.440-443
- Hodgson C.J and Hamilton, J.V. (1989); Gold mineralization in the Abitibi greenstone belt; End stageresult of Archean collisional tectonics, in Keays, R.R., Ramsay, W.R.H. and Groves, D.I., Eds.; The Geology of Gold Deposits; The Perspective i 1988; Economic Geology; Monograph 6; P.86-100
- Hodgson C.J. (1993); Mesothermal lodel-gold deposits; mineral deposit modelig; Geological Association of Canadá; Special paper 40; P. 635-678
- Imlay, R.W. (1936); Evolution of the Coahuila peninsula, Mexico; parte IV Geology of the western part of the Sierra de Parras; Bull. Geol. Soc. American; 47; P. 1091 – 1153
- Imlay, R.W. (1937); Statigraphy and paleontology of upper Cretaceous beds along the eastern side of the laguna de Mayran, Coahuila, Mexico; Bull. Geol. Soc. American 48; P. 1785 – 1878
- Imlay, R.W. (1938); Studies of the Mexican geosyncline; Bull. Geol. Soc. American; 49; P. 1651 –1694
- Imlay R.W. (1944); Jurassic formations of Centra America and México; Bull AAPG.; Vol. 28; No.8
- Imlay R.W. (1953); Las formaciones Jurásicas de México; Soc. Gol. Mex.; Bol. XVI (1); P. 3-65

- Jiménez-Ignacio D, Porres-Luna R.P. y Rivera-Carranco E. (1982); Geología de la región de Charcas-Venado, San Luis Potosí (Tesis), Facultad de Ingeniería, U.N.A.M, México D.F.; P. 1-127
- Martínez Perez, J. (1972); Exploración Geológica del área Estribos San Francisco, S.L.P.; AMGP; Vol. 24; No.7-9
- Mixon, R. B., Murray, G.E. and Díaz-González, T.E. (1959); Age and correlation of Huizachal group (Mesozoic), state of Tamaulipas, Mexico; Am. Assoc. Petroleum. Geologists, Bull. 43, No.4; P.757-771
- Monografía Geológico – minera del estado de San Luis Potosí (1992); Consejo de Recursos Minerales; México; P. 1-29, 104-106
- Muller, A. G. And Groves, D.I. (1991); The Classification of Western Australian greenstone-hosted gold deposits according to wallrock-alteration assemblages; Ore Geology Reviews; v. 6; P. 291-332
- Ortega - Gutiérrez F., Centeno - García E., Moran - Zenteno D. J. Gómez - Caballero A. (1993); Pre-Mesozoic basement of NE Mexico lower crust and mantle xenoliths of central Mexico, and the northern Guerrero terrane – introduction and general itinerary; First circum – Pacific and Circum – Atlantic Terrane Conference, Guide book of field trip A; Guanajuato, México; P. 4-9
- Ortega Gutiérrez F., Seldock L. Y R. and Speed C. R. (1994); Phanerozoic tectonic evolution of Mexico; Ed. Phanerozoic evolution of north american continental-ocean transitions Boulder, Colorado; Geological Society of America, DNAG Continental-Ocean Transect; P. 265-306
- Percival, J.A. and Williams, H.R. (1989); Late Archean Quetico accretionary complex, Superior Province, Canada; Geology; v. 17; P. 23-25
- Ricci Lucchi (1975); Depositional Cycles in two Turbidite Formations of Northern Apennines (Italy); Journal of Sedimentary Petrology 45; P. 3-43
- Shimada N. (1977); Lead-zinc ore deposits of the Tsushima Islands, Nagasaki prefecture, Whit Special Reference to Shigekumatype Mineralizations; Mem. Fac., Kyushu Unive., Serv. D. Geol., Vol.XXIII; No.3; P.417-480
- Sawkins J.F., O'Neil J.R. and Thomas J.M. (1979); Fluid Inclusion and Geochemical studies of vein gold deposits, Baguio district, Philippines; Of the Society of Economic Geologists, Vol.76, No.6; P. 1420-1434
- Sedlock L. Richard, Ortega Gutiérrez F. and Speed C. R. (1993); Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico; Special paper 278; Ed. The Geological Society of America; P. 2-8, 25-27,58-64

- Shimada N. (1977); Lead-zinc ore deposits of the Tsushima Islands, Nagasaki prefecture, Whit Special Reference to Shigekumatype Mineralizations; Mem. Fac., Kyushu Unive., Serv. D. Geol., Vol.XXIII; No.3; P.417-480
- Sillitoe R.H. (1977); Metallic mineralization affiliated to subaereal volcanism a review. Volcanic proceses in ore genesis; Institution of mining and metallurgy; The Geological Society of London.
- Sillitoe R.H. (1993), Epithermal models genetic types geometrical controls and shallon features; Mineral Deposit Modeling; Geolgical Association of Canadá, Special paper 40; P.403-417
- Silva Romo G., Arellano - Gil, J., Mendoza Rosales C. (1993); El papel de la secuencia marina Triásica en la evolución Jurásica del norte de México; Uniersidad Nacinal Autonoma de México; Instituto de Geología; Fist Circum-Pacific and Circum-Atlantic Trrane Conference, Proceedings; P. 139-143
- Silva - Romo G., Arellano - Gil, J., Mendoza Rosales C. y Nieto - Obregon J. (2000); A submarine fan in the Mesa Central, Mexico; Journal of South American Earth Sciences; 13; P. 429-442
- Slack J.F. (1980); Multistage vein ores of the Lake City district, wester San Juan Mountains, Colorado; Econ. Geol. V.75 P. 338-339
- Vikre P.G. (1980); Fluid inclusions in silver-antimony-arsenic minerals from precious metal vein deposits; Of the Society of Economic Geologists, Vol.76, No.3; P. 580-609

BIBLORAFIA CONSULTADA.

- Aranda – Gómez J. J. And Luhr J.F. (1993); Geology of the Joya Honda and Santo Domingo mars, San Luis Potosí, Mexico; A Visit to the mantle xenolith localities in the Sierra Madre terrene; First circum – Pacific and Circum – Atlantic Terrane Conference, Guide book o fieldtrip A; Guanajuato, México; P. 11-35
- Atkison William W. Jr. (1993); Apuntes del seminario de geoquímica de depósitos de oro; Instituto de Geofísica, U.N.A.M.; México; P.1-20 (inedito)
- Barnes H.L. (1972); Deposition of hydrothermal Ores; International Geological Congres; Twenty-fourth Sesion; Montreal, Canada; P. 213

- Chávez Martínez L., Ubaldo Alarcón F., y Parga P. José (1999); VMS and carbonate – hosted polymetallic deposits of central Mexico; British Columbia and Yukon Chamber of Mines; Vancouver Where Discover Ries Start, Cordilleran Roundup; P. 1-13
- Cunningham G. Charles (1977), Fluid inclusion geothermometry; Sonderdruck ausder Geologischen Rundschand, Bund 67
- Dana Salisbury Edward (1981); Tratado de mineralogía; Ed. Continental, S.A. México; P. 451-485, 557-557-748
- Eponda Ortiz D. y Ortiz Hernandez L. E. (1985); Estudio metalogenético de los yacimientos filonianos polimetalicos del área de San Rafael, municipio de Charcas, San Luis Potosí; Asociación de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México; GEOMIMET; P. 61-77
- Evans M. Anthony (1992); Ore geology and industrial minerals and introduction; Ed. Blackwell Scientific Publication; Oxford, Inglaterra; P. 1-104, 213-232
- Gómez-Luna, Cedillo-Pardo, Contrera y Montero, Gallo-Padilla y Martínez-Cortés (1998); Un nuevo perfil del Ladiniano-Cárnico Inferior con fauna de amonoideos en La Ballena, Zacatecas, México; Revista Mexicana de Ciencias Geológicas; Vol. 15, No.1; U.N.A.M.; México; P. 38-45
- Heald Pamela, Foly Nora K and Hayba O. Daniel (1987); Comparative anatomy of volcanic - hosted epithermal deposits acid - sulfate and adularia - sericite types; Of the Society of Economic Geologists; Jan-feb, Vol.82, No.1; P.1-26
- Imlay R.W. (1980); Jurassic Paleobiogeography of the Conterminous United States in its Continental Setting; P. 45-48, 103-105
- Mackenzie W.S. (1993); Rocks and Minerals in thin section; Ed. John Wiley and Son Inc.; P. 1-185
- Miyashiro Akiho (1981); Metamorphism and Metamorphic Belts; Ed. George Allen And Unwin; London, Inglan; P. 112-115, 139-155
- Mono Oliver; (1993); Pre-Eocen tectonics in the Zacatecas área – animbrications of Triassic and Cretaceou units; First circum – Pacific and Circum – Atlantic Terrane Conference, Guide book o fieldtrip A; Guanajuato, México; P. 67-73
- Monografía Geológico – minera del estado de San Luis Potosí (1992); Consejo de Recursos Minerales; México; P. 1-29, 104-106

- Moscosa G. Martín (1995); Métodos y técnicas de exploración; Compañía Minera Peñoles (Capacitación interna), Hermosillo, México (inedito)
- Nash Thomas J. (1975); Geochemical studies in the Park City District: II Sulfide; Mineralogy and minor element chemistry Mayflower mine; Of the Society of Economic Geologists Vol. 70, No. 6; P. 1038-1049
- Ortega - Gutiérrez F., Centeno - García E., Moran - Zenteno D. J. Gómez - Caballero A. (1993); Pre-Mesozoic basement of NE Mexico lower crust and mantle xenoliths of central Mexico, and the northern Guerrero terrane; First Circum - Pacific and Circum - Atlantic Terrane Conference, Guide book of fieldtrip A; Guanajuato, México; P. 1-3
- Palacios G. Raúl y Arriaga M. Hilario (1994); Resultados de la evaluación geológico - minero de la reserva minera nacional Charcas, municipio de Charcas, estado de San Luis Potosí; Informe técnico 240256, Consejo de Recursos Minerales no Renovables; México
- Panteleyev Andreis (1989); Canadian Cordilleran Model for Epithermal Gold-Silver Deposits; Ore Deposit Models; Geoscience; Canada; P. 31-45
- Park Charles F. Jr. And MacDiarmid Roy A. (1970); Ores deposits; Ed. W.H. Freeman and Company; San Francisco, U.S.A.; P. 40-229, 317-343,
- Pirajno Franco (1992); Hydrothermal mineral deposits; Ed. Springer - Verlag; New York; P.23'39, 612-683
- Pirrot R. M. (1979); Chemical and determinative tables of mineralogy; Masson Publishing; U.S.A.
- Roedder E. (1963); Studies of fluid inclusions, Freezing data and their interpretation; Of the Society of Economic Geologists Vol.58; P515-574
- Roedder E. (1972); Results and significance of recent fluid inclusion studies in ore deposits; International Geological Congress; Twenty-fourth Session; Montreal, Canada; P. 231
- Salas P. Guillermo (1980); Carta metalogenética de México; Simposium International Metalogénesis en Latinoamérica; México; P. 7-36
- Seccombe P.K. and Barnes H.L. (1990); Experimental mobility of sulfides along hydrothermal gradients; Bulletin of the Society of Economic Geologists; Sep-Oct, Vol.85, No.6; P.1099-1115