

3
24



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**ESTUDIO GEOLOGICO-MINERO DE LAS MINAS
TECOLOTES Y SAN DIEGO,
EN EL DISTRITO DE
SANTA BARBARA. CHIHUAHUA**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO GEOLOGO
PRESENTA:**

MARIO BRAVO ARCIGA



MEXICO, D. F.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCIÓN
60-1-058

SR. MARIO BRAVO ARCIGA
Presente

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

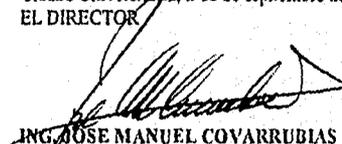
**ESTUDIO GEOLOGICO-MINERO DE LAS MINAS TECOLOTES Y SAN DIEGO, EN EL
DISTRITO DE SANTA BARBARA. CHIHUAHUA**

- I INTRODUCCION
- II GEOGRAFIA
- III FISIOGRAFIA
- IV GEOLOGIA
- V YACIMIENTOS MINERALES
- VI OBRAS MINERAS
- CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFIA
- PLANOS E ILUSTRACIONES

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"
Ciudad Universitaria, a 18 de septiembre de 1995
EL DIRECTOR


ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLÍS

JMCS'RLLR' glg.

Agradecimientos

A TI PAPÁ (*In memoriam*). Gracias por todo, este logro es por ti y como siempre seguiremos siendo, y nunca nos defraudaremos entre nosotros, fuiste un gula único.

A TI MAMÁ. Esto es tuyo, sólo alguien así podría haber hecho todo esto por mí, nunca dejare de agradecerte todo en mi vida, siempre nos diste tu apoyo y nos llevaste por lo mejor; además, por este desarrollo he sobresalido en una de las regiones más difíciles para alguien que viene del sur, especialmente de México, pues los otros capitalinos son un poco despreciados en la provincia, pero yo no he pasado por ninguna de estas cuestiones, gracias.

A RICARDO. Gracias por este trabajo, que es mínimo en comparación con todo lo que has hecho y sigues haciendo desde que nos conocemos, espero regresarte esto y más siempre.

A PON. Por ti siempre he terminado lo que he empezado, y ésta es una de todas esas cosas, espero ayudarte siempre y nunca perdemos la confianza que existe entre ambos, y sigues tú.

A ARACELY, PALOMA Y MARIO (Mi familia). Pues todo lo que haga en el futuro será en y para el beneficio de ustedes.

AL ING. MIGUEL VERA. Pues sin su ayuda, esto jamás se podría haber completado.

A TODOS LOS PROFESORES. Con todos los conocimientos adquiridos por cada uno de ustedes, ahora se puede tener la satisfacción de ser el Geólogo de una mina en uno de los complejos números más grandes de nuestro país.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN	3
I.1 Objetivo	3
I.2 Método de trabajo	3
I.3 Antecedentes	4
I.4 Historia minera del distrito	5
II. GEOGRAFÍA	7
II.1 Localización y vías de comunicación	7
II.2 Clima y vegetación	7
II.3 Actividades económicas	9
III. FISIOGRAFÍA	11
III.1 Provincia fisiográfica	11
III.2 Hidrografía	13
IV. GEOLOGÍA	14
IV.1 Estratigrafía	14
Lutita Parral	16
Formación Indidura	19
Andesita	20
Riolita.....	20
Brecha de color rojo	21
Riolita	21
Conglomerado San Rafael	21
Basalto	22
Diques	23
Diques félsicos (Riolíticos)	23
Diques intermedios (Dioríticos)	25

Diques máficos (Basálticos)	25
IV.2 Geología estructural	26
IV.3 Geología histórica	28
V. YACIMIENTOS MINERALES	36
V.1 Geometría	36
V.2 Mineralización, paragénesis y secuencia....	37
V.3 Alteraciones	47
VI. OBRAS MINERAS	48
VI.1 Método de minado	48
VI.2 Leyes y tonelaje	48
VI.3 Reservas	49
CONCLUSIONES	52
BIBLIOGRAFÍA	54

RESUMEN

El yacimiento del distrito minero de Santa Bárbara, se localiza en la parte sur del estado de Chihuahua.

El área está situada dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental y colinda con la provincia de la Mesa Central.

La fisiografía de la región consiste en una serie de mesetas de basalto que cubre a las lutitas mesozoicas. El drenaje de la región es del tipo dendrítico.

La estratigrafía está representada por rocas marinas del Mesozoico, que corresponden con la Lutita Parral, constituida por lutitas de color gris de grano fino siendo en algunas partes, ligeramente calcáreas; su edad es del Aptiano Superior - Albiano Inferior. Al sur, en las partes altas, se tienen calizas estratificadas con lutitas y areniscas, pertenecientes a la Formación Indidura.

Al sur y al suroeste del distrito afloran derrames de andesita que descansan en discordancia erosional sobre la lutita.

También, se presenta una brecha rojiza constituida por fragmentos de origen local. Ésta aflora en la parte norte del distrito y los fragmentos son de lutita, riolita, vidrio volcánico, cuarzo y calcita.

Las rocas sedimentarias continentales están representadas por el conglomerado San Rafael en la parte NO del distrito.

Asimismo, se presentan dos tipos de rocas magmáticas en la región:

a) Diques riolíticos son los más abundantes y regularmente se encuentran emplazados, acompañando a algunas estructuras mineralizadas a través de toda su longitud; por lo que puede argumentarse que estos diques son emplazados poco después de la etapa de mineralización.

b) Diques de tipo diorítico y básico, asociados a las mesetas de basalto de la región y emplazados cortando las vetas en forma, más o menos, perpendicular, sin provocar desplazamientos considerables en las estructuras; de esta manera, se presume que son posteriores a la mineralización y a los diques riolíticos, puesto que los cortan igual que a las vetas.

La estructura del distrito es la de un anticlinorio buzante, cuyo eje tiene un rumbo de $NO62^{\circ}$ SE con buzamiento de 10° al NE. Esta estructura fue producto de la Orogenia Laramide, el plegamiento del anticlinorio es anterior a la mineralización, puesto que en zonas donde hay bastante plegamiento de la roca encajonante, las estructuras mineralizadas no tienen ninguna deformación, porque tanto el contacto del alto como del bajo se presentan bien definidos; las

fracturas y fallas con orientaciones que preferencialmente siguen el rumbo de las vetas, la cual es N-S son los conductos de soluciones mineralizantes, formadoras de esas estructuras, además, perpendiculares a éstas, que provocan los desplazamientos en algunas ocasiones, la mayoría posteriores al plegamiento y probablemente estén asociadas a un intrusivo a profundidad.

El tipo de vetas en este distrito muestra un zoneamiento vertical casi definido y posiblemente horizontal, debido al emplazamiento de minerales de baja temperatura hacia las partes superficiales, e inferiormente minerales de media y alta temperatura, respectivamente.

La paragénesis se efectúa en tres etapas:

- La primera de temperatura moderada formando el cuarzo, pirita, esfalerita y galena.
- La segunda de temperatura alta alterando y formando minerales como: cuarzo, calcopirita, tremolita, arsenopirita, actinolita, marmatita y oro.
- La tercera de temperatura baja constituida por fluorita, calcita y barita.

Las etapas de relleno doble se llevaron a cabo en fracturas preexistentes; se presume que la primera tuvo principio en el Oligoceno (Álvarez, 1995) y la última finalizó en el Mioceno (Álvarez, 1995), dando tiempo a que se formaran varios tipos de estructuras dentro de las vetas.

Los aspectos geológicos más importantes dentro de la minería se caracterizan en la prospección geológica, de donde se parte para el mejoramiento y manejo de la explotación, extracción y beneficio del mineral de importancia.

I. INTRODUCCIÓN

I.1 Objetivo

El presente trabajo se elaboró con el objetivo de conocer las características geológicas de las minas Tecolotes y San Diego del distrito Santa Bárbara, Chihuahua.

Con lo anterior se pretenden definir las relaciones mineralógicas con el auxilio de la petrografía, para definir la paragénesis y zoneamiento completos de estas minas; así como para determinar una historia bien fundamentada y lo más completa posible de los eventos geológicos que ocurrieron en el área.

Tanto la paragénesis como el zoneamiento servirán para aplicar el criterio geológico para el mejor aprovechamiento económico de las diversas mineralizaciones que posteriormente serán descritas en las minas Tecolotes y San Diego.

I.2. Método de trabajo

El presente trabajo consistió de los siguientes pasos que se mencionan y se describen brevemente a continuación:

- **Recopilación de información.**
En este punto se recurrió a la recopilación de numerosos reportes geológicos, informes privados y bibliografía sobre el distrito.
- **Trabajo de campo**
El área de estudio cuenta actualmente con diversas obras donde fue necesario hacer levantamientos topográficos y geológicos con brújula y cinta, para un control detallado de los lugares en que se recolectaron las muestras que sirvieron para este estudio.
- **Muestreo**
Se obtuvieron 26 muestras de canal para cada una de las minas, considerando únicamente los niveles más inferiores, ya que el desarrollo de esas minas se considera a partir de los tres últimos niveles; por ello, las muestras se obtuvieron sólo de veta y principalmente de aquellas con miras a desarrollarse; también, en zonas donde se observaron rasgos de alteraciones o cambios mineralógicos-estructurales. Se optó por tomar este muestreo con un espaciamiento de 150 m entre muestra y muestra.

- Análisis de muestras

Para la elaboración del estudio se emplearon esencialmente las técnicas petrográficas y minerográficas utilizando un microscopio Leitz Ortholux.

- Trabajo de gabinete

Con base en la recopilación de informes, trabajo de campo y recolección de muestras, se analizaron los minerales de las diferentes muestras, para definir así la paragénesis y el zoneamiento de éstos.

I.3 Antecedentes

Tomando en cuenta que la geología está muy ligada con la historia, para este trabajo se usa información plasmada en algunos trabajos previos.

Para los estudios de tipo histórico se cuenta con el informe de Fernando Iriada en 1820, con la *Diputación de minas de Parral*. Daniel Cosío Villegas, en su *Historia moderna de México* y Modesto Bargallo, con su obra *La minería y la metalurgia en la América Española durante la Época Colonial*, que definen sólo los hechos de tipo político-histórico, transcurridos en esta región de Chihuahua.

Por otra parte, M.D. Kerrens publicó, en 1856, una breve descripción de las minas de la Compañía Minera ASARCO en Santa Bárbara (Minerales Metálicos, 1995).

El primer estudio geológico fue hecho por Harrison Schmitt en el año de 1927, el título fue *Geologic notes on the Santa Barbara area in the district of Parral, Chih., Mexico*, cuyo objetivo fue estudiar la paragénesis de las vetas de Hidalgo, San Albino y Alfareña. También T.P. Cleanderin elaboró varios estudios, el primero en 1929 *Comentary Report on Santa Barbara unit Chihuahua*, y en 1943 elaboró *Perspectivas y profundidad de las vetas del distrito minero Santa Bárbara, Chihuahua* (Minerales Metálicos, 1994).

Uno de los trabajos más completos hasta el momento es el de J.B. Scott, publicado en 1958 y titulado *Structure of the deposits at Sta. Barbara, Chih., Mexico*, en el cual analiza la relación de los cuerpos minerales y la roca encajonante (Parra Sánchez, 1986).

También se tienen trabajos de Ricardo Romero en 1980 titulado *Prospección geofísica por el método de refracción sísmica en Sta. Bárbara, Chih.* Y más recientemente se elaboró el *Estudio de caracterización mineralógica realizado a las vetas Coyoie y Vulcano de la mina San Diego, unidad Santa Bárbara, Chih.*, por Álvarez, Enrique en 1995.

Con la información ya mencionada y el conocimiento en cuanto a características geológicas, estructurales y mineralógicas de las dos minas, se pretende dar una visión clara del distrito de Santa Bárbara.

1.4 Historia minera del distrito

En 1536, se hizo el primer descubrimiento de vetas de oro en el área de Santa Bárbara por los españoles, Juan de Vázquez, Miguel de Iturralde, Venancio de Castro y Fernando de Santa Ana; la población daba principio a su formación, pero hasta el año de 1567, el capitán español Rodrigo del Río y Loza, y Rodríguez Cardojuela hizo la fundación oficial por encargo del entonces gobernador de la Nueva Vizcaya Francisco de Ibarra (Southworth, J. R., 1905).

De 1567 a 1616, como consecuencia del descubrimiento de nuevas minas de oro y plata, los buscadores de fortuna acudieron afanosamente, y en poco tiempo hicieron de Santa Bárbara la villa más grande e importante del extremo norte de la Nueva Vizcaya; para el año 1600 logró reunir 7 000 habitantes al amparo de la explotación de las minas (Ruvalcaba Sepúlveda, Miguel Ángel, 1985).

En esas épocas, los minerales que se explotaban eran del tipo de los óxidos y formaban cuerpos poco profundos, ricos y dóciles a la extracción y al beneficio (Restovic Pérez, Igor V., 1971).

En el año de 1616, se inicia la decadencia de las minas locales debido a los constantes ataques de los indios tepehuanes y tarahumaras, al descubrimiento de minas al norte y a la inseguridad en los caminos, ocasionando la migración de la mayoría de los mineros produciendo un estancamiento que perdura durante dos siglos aproximadamente (Ramírez M., Jaime., 1959).

En 1810 la situación se agrava al iniciarse la lucha por la Independencia, y es hasta 1833 cuando las minas son reabiertas nuevamente, pero los métodos de extracción y tratamiento son demasiado rústicos, que junto con los cambios efectuados a raíz de la Independencia propician que la producción sea casi nula (Southworth, J. R., 1905).

A fines del siglo XIX y a principios del XX, hacen su aparición en el distrito compañías organizadas, que con fuertes inversiones, nuevos métodos de exploración y explotación, logran que las minas resurjan del gambusinaje y pasen de la producción raquítica a la producción en gran escala (Restovic Pérez, Igor V., 1971).

Las compañías importantes por orden de aparición fueron: la Moctezuma Lead que se instaló a fines del siglo pasado y controlaba las minas de Alejandria, La Paz, Cabras y Mina del Agua, a principios de este siglo se presenta ASARCO con las minas Segovedad, Tecolotes, Hidalgo, San Diego y Cobriza (Ramírez Pineda, Sergio, 1986).

Los datos de producción son insuficientes y es imposible cuantificar exactamente la magnitud de las operaciones mineras en esta época; sin embargo, se estima que se extrajeron 5 000 000 de toneladas de mineral en bruto, en el periodo de 1590 a 1925, que fue uno de los más activos.

Con la aplicación del método de cianuración, las minas se profundizaron hasta el límite de los sulfuros, y entre 1925 - 1926 el perfeccionamiento del método de flotación selectiva resolvió el

problema de los sulfuros primarios, con lo cual las reservas de las compañías se vieron incrementadas notablemente. De 1925 a la fecha, el distrito de Santa Bárbara aumentó su producción y se estima que en este período se extrajeron 15 000 000 de toneladas de mineral en bruto, que es más del doble del obtenido en los más de 300 años anteriores, lo cual es el reflejo de la modernización, tanto de los métodos de explotación como de los de beneficio (Ramírez Olvera, Enrique, 1974).

Actualmente se extraen 4 800 toneladas diarias, y se encuentra en función la expansión para 1996 - 1997, de 6 000 toneladas por día.

II. GEOGRAFÍA

II.1 Localización y vías de comunicación

El distrito minero de Santa Bárbara se encuentra en la parte sur del estado de Chihuahua, cerca de los límites con el estado de Durango; sus coordenadas geográficas son: 26° 48' 13" latitud norte, 105° 49' 01" longitud oeste (Fig. 1).

La totalidad del distrito se encuentra dentro de los municipios de Santa Bárbara y San Francisco del Oro, pertenecientes al distrito judicial de Hidalgo del Parral.

El área en estudio tiene una extensión aproximada de 15 km², que abarca los complejos San Diego y Tecolotes; en la actualidad, las concesiones pertenecen a la Compañía Minera de Mineralos Metálicos del Norte, S.A. de C.V., perteneciente al Grupo México (IMMSA).

Se llega a él por la carretera panamericana No. 45, que va de México a Ciudad Juárez, entroncando en Jiménez hacia Hidalgo del Parral, de la que dista 78 km, de ahí se sigue por una carretera asfaltada que llega a la población de Santa Bárbara con una distancia de 26 km. Al mismo tiempo, esta localidad se comunica con San Francisco del Oro, por una carretera asfaltada de 15 km de recorrido (Fig. 1).

La región explorada está fuera de las rutas aéreas nacionales y, por tanto, no hay vuelos regulares, pero a la distancia de 12 km, por la carretera que va a Parral, existe una desviación que lleva hasta dos pistas, las cuales están asfaltadas y son utilizadas por vuelos de las compañías de la región. Los medios de comunicación más importantes son: el teléfono, el telégrafo y el correo, por los que se comunica con el resto del país y el extranjero.

II.2 Clima y vegetación

El clima prevaleciente en esta región es semiseco templado, con una temperatura media anual de 18.5° C y con precipitaciones pluviales al año de 357.6 mm.

Para una mayor información sobre los climas en el estado, estos se han dividido en siete, que se adoptan en toda la zona (Tabla 2.1, en la siguiente página)(Fig. 2).

Tabla 2.1 Tipos de clima definidos para el estado de Chihuahua.

CLIMA	% DE LA SUPERFICIE ESTATAL
Muy seco templado	40.0
Semiseco templado	14.0
Seco templado	16.2
Semifrío húmedo	10.9
Templado subhúmedo	14.0
Semicálido subhúmedo	3.3
Cálido subhúmedo	0.6

Fuente: CGSNEGI, *Carta de climas*, escala 1:1 000 000, 1981.

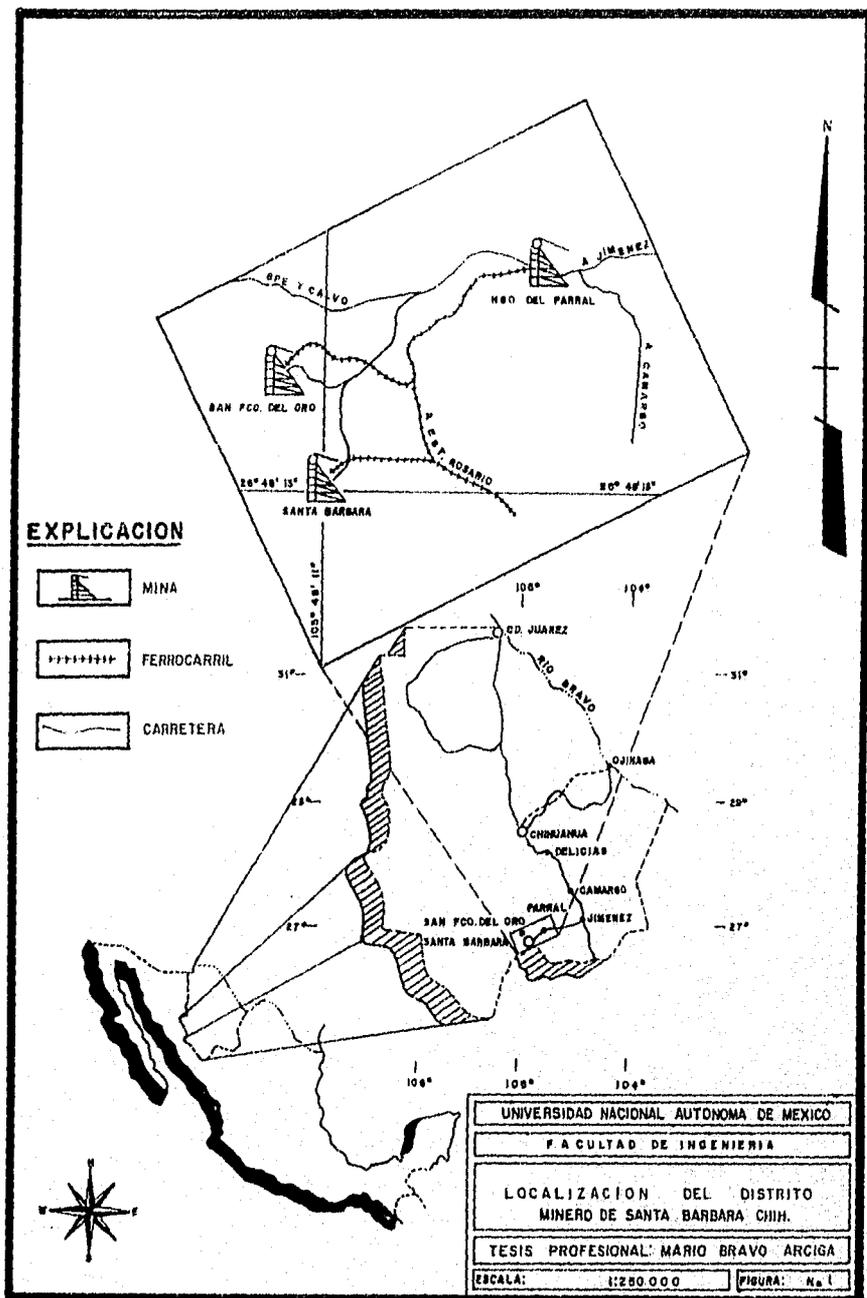


Figura 1

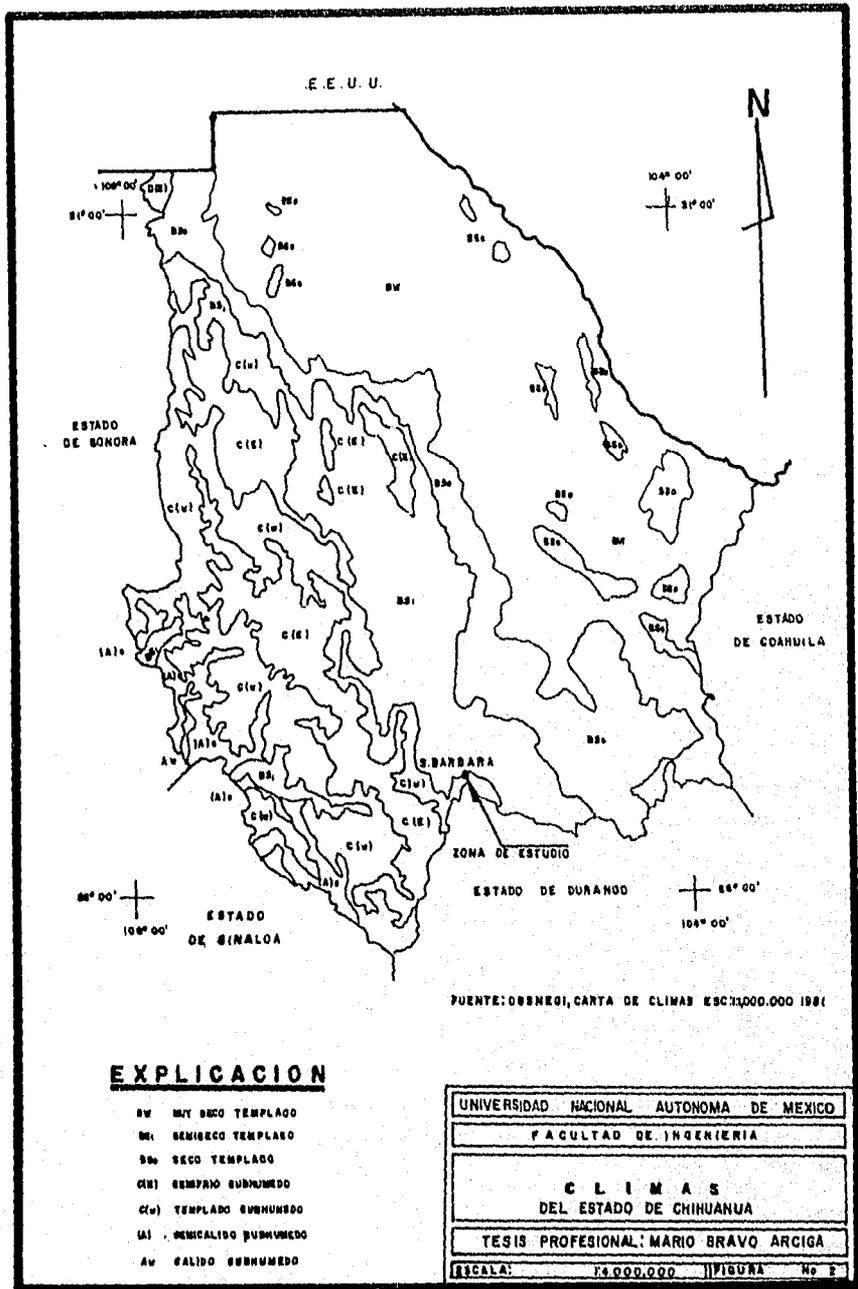


Figura 2

En otro rubro, la vegetación de este lugar está conformada por especies raquíticas tales como encinos, huizaches, madroños, gatuños, enebros, nogales, álamos, sauces, mezquites y pastizales en las partes bajas, con relieve casi horizontal, mientras que las coníferas predominan en sus porciones montañosas.

II.3 Actividades económicas

El renglón más importante en la economía lo constituye la minería, de la que viven el 80% de los habitantes. Debido a la escasez del agua y a la pobreza del suelo, la agricultura es poca y consiste en cultivos de temporal como maíz y frijol, y en menor proporción la de sorgo, trigo y avena.

La ganadería está poco desarrollada y consiste en ganado vacuno, bovino, caprino y porcino, los cuales se crían en algunas rancherías cercanas a la cabecera del municipio.

La mayor parte del agua extraída del subsuelo es bombeada de las diferentes minas que actúan como galerías filtrantes, que suministran parte para aliviar las necesidades del pueblo.

También hay comercio de artículos para el hogar, muebles, ropa, calzado, comestibles y restaurantes. Fuera de esto no hay otra actividad económica importante, a continuación se describen porcentajes que contribuyen para la economía del municipio de Santa Barbara de acuerdo con el último censo realizado en la región, que se muestran en los siguientes cuadros, según datos del INEGI del año de 1992.

Volumen y valor de la producción en el año agrícola.

CULTIVO	VOLUMEN (Toneladas)			VALOR (Miles de \$)		
	Total	Riego	Temporal	Total	Riego	Temporal
Maíz (grano)	620	117	503	428	108	320
Frijol	58	--	58	96	--	96
Alfalfa	20	20	--	11	11	--
Manzano	24	24	--	29	29	--

Especies ganaderas.

ESPECIE	NÚMERO DE CABEZAS	MILES DE \$
Bovino	3 602	3 429
Porcino	3 319	910
Ovino	870	117
Caprino	990	60
Equino	1 400	423
Aves (incluye gallinas y guajolotes)	19 400	252

Producción forestal (Volumen).

ESPECIE	m ³ EN ROLLO	VALOR (\$)
Pino	--	--
Encino	--	--
Otras coníferas	--	--
Otras (incluye latifoliadas y preciosas)	300	No disponible

Producción mineral.

MINERAL	VOLUMEN DE LA PRODUCCIÓN (Ton.)	VALOR DE LA PRODUCCIÓN (Miles de \$)
Oro	137	4 717
Plata	105 520	46 309
Plomo	20 397	45 091
Cobre	4 303	28 417
Zinc	36 649	153 269

III. FISTIOGRAFÍA

III.1 Provincia fisiográfica

Según Raisz (1964), la zona en estudio pertenece a la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental, con los límites de la provincia de Mesetas y Cuenca Central o Altiplanicie con bolsones, prolongación de la provincia de Cuencas y Sierras de los Estados Unidos de Norteamérica; es propio mencionar, que a pesar de la existencia de datos más recientes sobre el tema, esto se considera lo más apropiado para la región en que se usó, la cual se caracteriza por la topografía de formas suaves, formada de intercalaciones de calizas, areniscas y lutitas principalmente, producto de la erosión (Fig. 3). Se asocia con áreas montañosas irregulares que se elevan de 2 000 a 2 300 m y se encuentran separadas por amplios valles.

Las montañas del distrito minero de Santa Bárbara se pueden agrupar geomorfológicamente dentro del tipo de montañas complejas (Fig. 4) (Fotos 1 y 2). Los pliegues imprimen un sello distintivo a la geomorfología; el sistema de montaña está constituido por anticlinales compuestos y complejos, formando lo que se denomina un anticlinorio. Las rocas que lo constituyen son las lutitas Parral. El ciclo erosivo en que se encuentra es el de madurez avanzada, manifestada por colinas redondeadas, de las cuales las partes bajas están cubiertas por grava y aluvión, así como el drenaje tan desarrollado que se tiene en la zona.

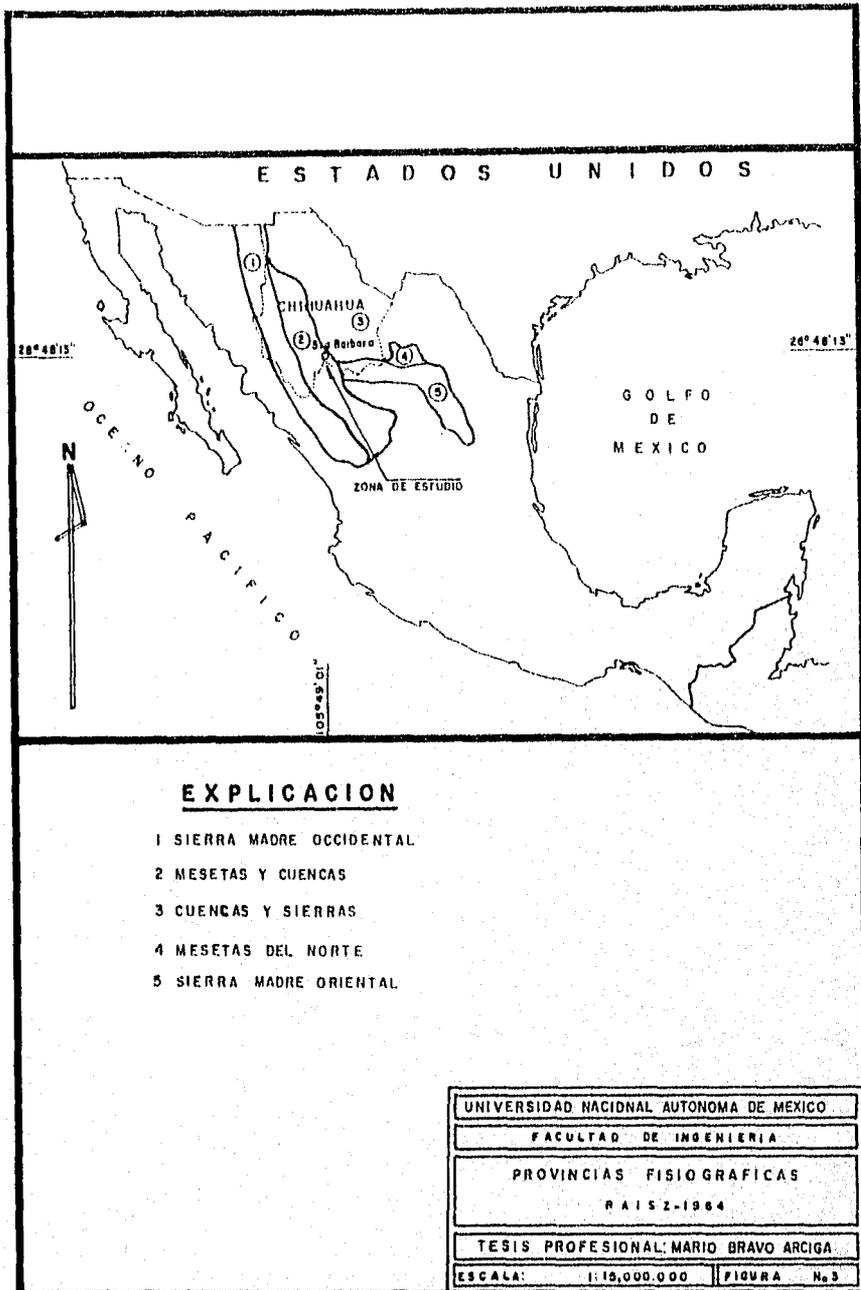


Figura 3

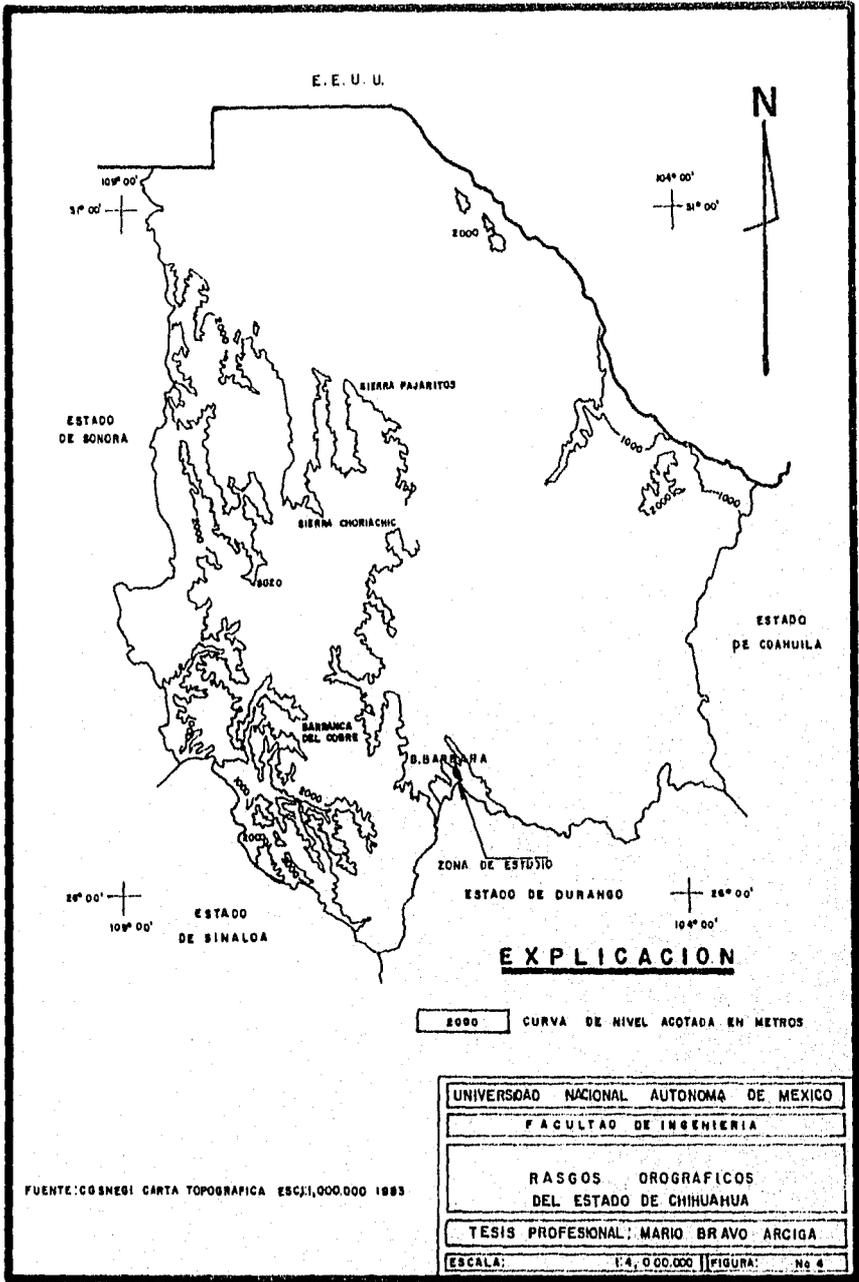
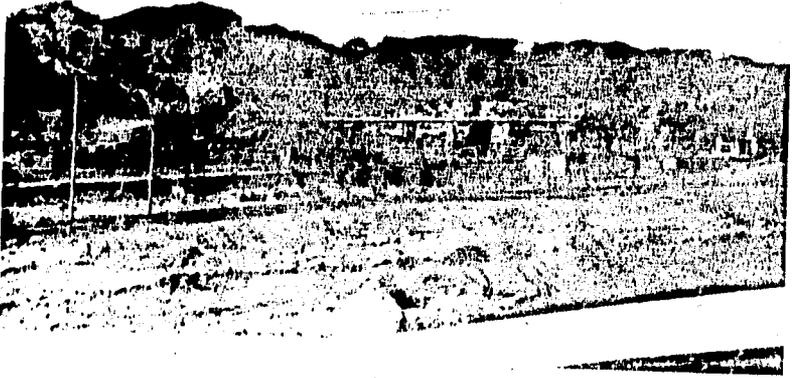


Figura 4



1



2

Fotos 1 y 2. Rasgos orográficos generales en el distrito de Santa Bárbara, Chihuahua.
En los que resaltan las elevaciones, que son las faldas de la sierra.

III.2 Hidrografía

El desagüe es del tipo dendrítico y lo constituyen arroyos que son tributarios del río de Parral y del de Santa Bárbara, que a su vez son afluentes del río Conchos. Los cauces permanecen secos la mayor parte del año, excepto en la temporada de lluvia; sus cauces están bien definidos en las partes abruptas de la sierra, tendiendo a ser divergentes en las partes bajas. El área está dentro de la región hidrológica con clave RH-24 de nombre Río Bravo - Conchos que abarca a la cuenca M o Río Florido que comprende a esta zona y que abarca un porcentaje del 2.2 de la superficie estatal (Fig. 5).

La región está surcada por varios arroyos intermitentes que, a excepción de los del extremo sudoriental, desembocan en el río de Parral, este río fluye hacia el norte por el valle de San Rafael o de Santiago, atraviesa la ciudad de Parral y desemboca en el río Florido, que se une al río Conchos de Ciudad Camargo, Chihuahua.

La parte sudoriental está desaguada por arroyos que desembocan en el río de Santa Bárbara, el cual se une al río Florido al norte de Villa Matamoros, Chihuahua.

El río Conchos es afluente del río Bravo, que desemboca en el golfo de México cerca de Matamoros, Tamaulipas.

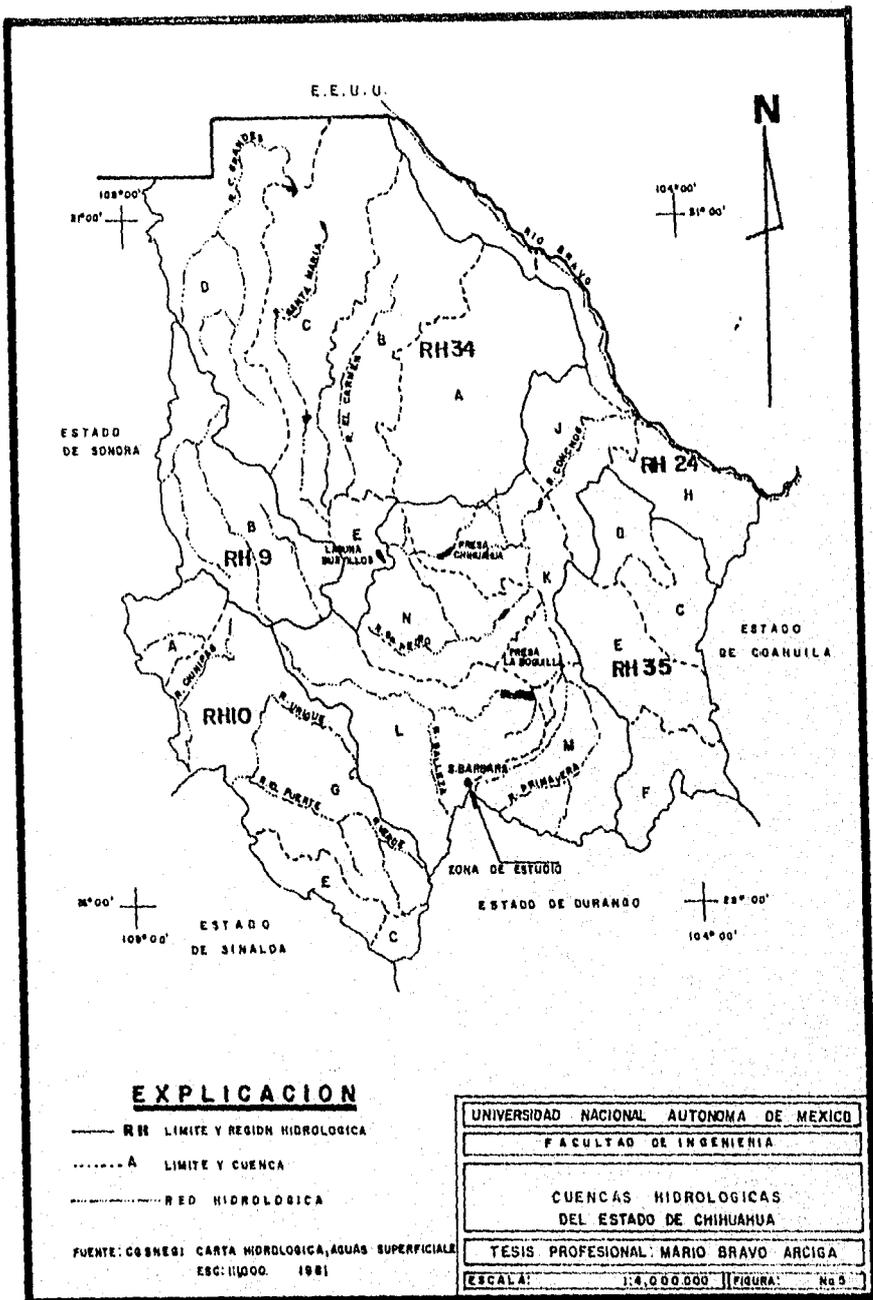


Figura 5

IV. GEOLOGÍA

IV.1 Estratigrafía

En el estado de Chihuahua se cuenta con rocas que abarcan desde el Precámbrico, como las anfibolitas El Carrizalillo, que se encuentran en el área del rancho Los Filtros, en la Sierra del Cuervo situada 15 km al noroeste de Aldama; hasta rocas que son del período Cenozoico y Cuaternario Reciente.

En el área de estudio se tiene una columna estratigráfica caracterizada por una unidad de rocas sedimentarias marinas del Mesozoico, y una secuencia de rocas volcánicas y sedimentarias continentales del Cenozoico.

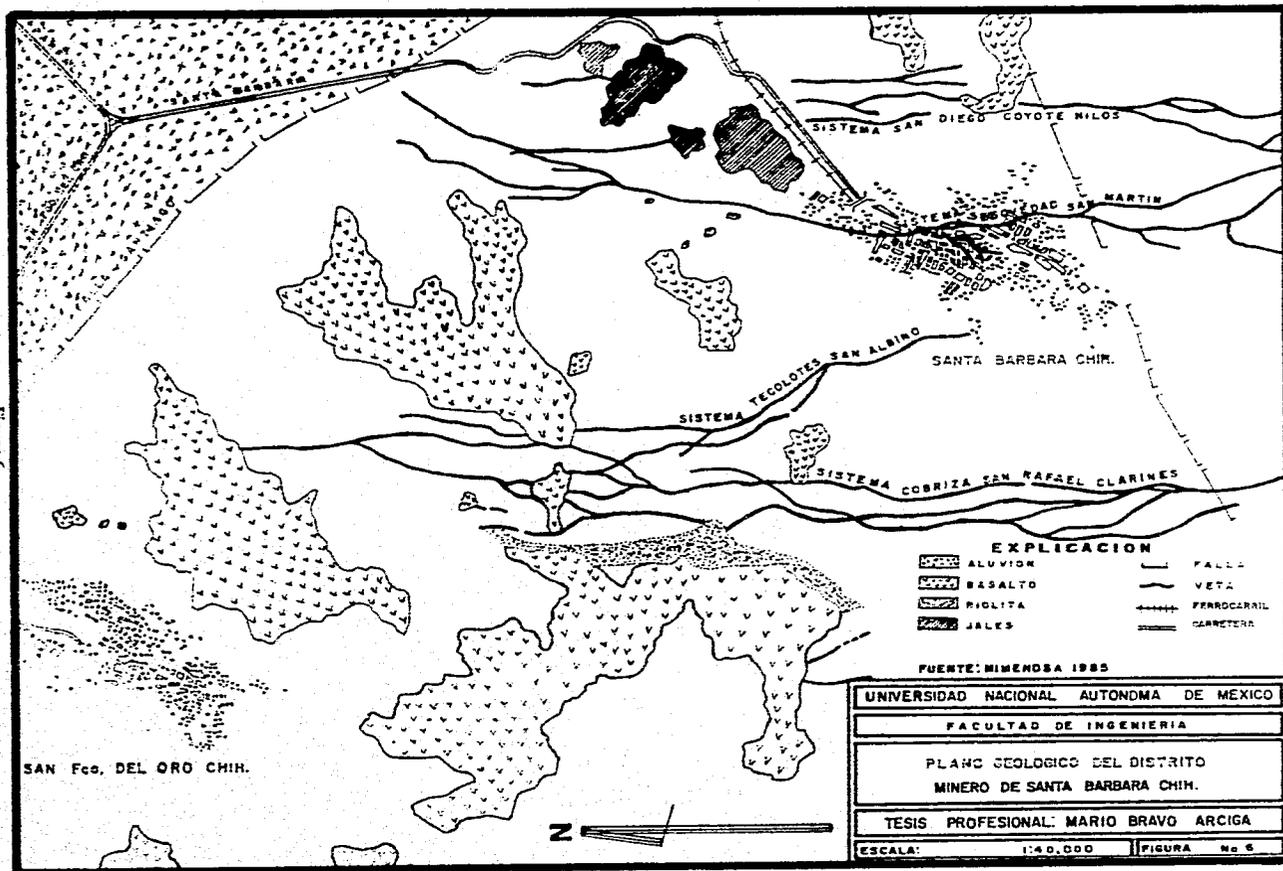
El contacto entre ambas unidades es una discordancia erosional que hace suponer un largo período de quietud entre el levantamiento y el plegamiento de las rocas marinas, y la erupción de las rocas volcánicas y el depósito de las continentales. Esto se define (Ramírez M., Jaime, 1959 y Uribe, J. V., 1972) porque el período de no depósito fue de la época del Cenomaniano, hasta principios de Eoceno; en ese tiempo debieron ocurrir eventos de erosión en el área, ya que no es un sistema cerrado donde no se presente algún evento externo de la superficie de la Tierra.

Las rocas intrusivas están representadas por una serie de diques silicoalcalinos, intermedios y máficos de diferentes edades y emplazados de diferentes formas con respecto a las vetas, los segundos, y los últimos cortando a las estructuras mineralizantes, más o menos perpendicularmente (Fig. 6 Plano geológico del distrito de Santa Bárbara).

Hasta la fecha ninguna de las unidades litoestratigráficas que afloran en el distrito ha sido definida de acuerdo con el Código de Nomenclatura Estratigráfica (Comisión Americana de Nomenclatura Estratigráfica, 1970), pero se cree que son del Aptiano hasta el Turoniano, debido a que no se ha podido determinar claramente su edad, ya que la lutita tiene muy pocos fósiles y que la determinación del espesor de las mismas unidades no se ha hecho con certeza; la lutita es conocida en una área muy extensa; se tienen obras mineras de 880 m de profundidad y a parte del último nivel, barrenos de 300 m, lo que la hace conocida hasta la fecha en más de un kilómetro de espesor.

Todas las rocas se han descrito con base en su litología y en la posición con respecto a las lutitas del Cretácico Superior, así como en sus correlaciones estratigráficas (Tabla 4.1 de correlación estratigráfica) y su relación con los cambios estructurales que han sufrido las rocas a través del tiempo geológico (Fig. 7 Columna estratigráfica).

Figura 6



ERA	PERIODO	E P O C A	SERIE DE LAS	UNIDADES DEL	SERIE DEL T	AREA EN ESTERIA	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	A LUUVION	ALUVION	ALUVION	ALUVION	
		PLEISTOCENO					
	TERCIARIO	PLIOCENO					
		MIOCENO		COQUICUILS		BASALTO COM. Sr. RAFAEL	
		OLIGOCENO				BIOLITA	
		EOCENO				Brecha de Color Rojo	
		PALEOCENO				ARDESITA	
		PADJARO					
	CRETACICO	SUPERIOR	MAESTRIACIANO	DIFUNTA			
			CAMPANIANO				
SANTONIANO			LUTITA PARRAS	LUTITA PARRAS			
CONACIANO				CARACOL			
TYRONIANO			INCIDURA	INDIDURA		FORMACION MODURA	
CENOMANIANO		CUESTA DEL CURA	C. DEL CURA	C. DEL CURA			
INFERIOR		ALBIANO	AMORRA	AMORRA		LUTITA PARRAL	
		APTIANO	LA PERA	LA PERA			
		SARRENIANO	CUPIDO	CUPIDO			
		SAURINIANO	LAS VIEAS	TARAISES	TARAISES		
	VALENCIANO	TARAISES	TARAISES	TARAISES			
MESOZOICO	JURASICO	TIYONIANO					
		POSTALBIANO		LA CAVA	LA CAVA		
	TRIASICO	MEDIO SUP.	KIMMERIDIANO		ZULUAGA	ZULUAGA	
			OPPENIDIANO				
		MEDIO	CALOVIANO				
			MATROSIANO				
			BAJENCIANO				
			ATENSANO				
			CLASICO				
			NATIENSE				
MEDIO INF.	SODIENSE			MUJIZCAL			
	CARRIENSE						
	LADINIENSE						
	ARICIENSE						
PALEOZOICO							

FUENTE: DEPTO. DE GEOLOGIA MIRENOSA 1978

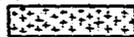
EXPLICACION



NO DEPOSITO



NO AFLORA



INTRUSIVO



DINOS FOSILICOS A INTERMEDIOS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

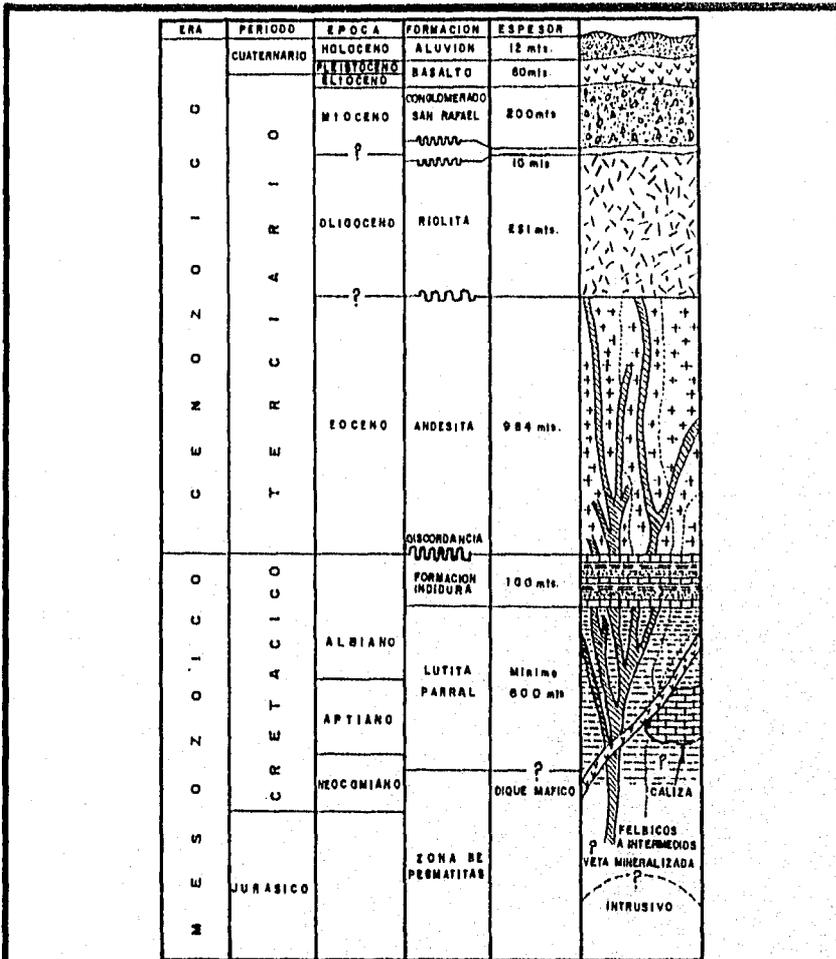
CORRELACION ESTRATIGRAFICA

TESIS PROFESIONAL: MARIO BRAVO ARCIGA

ESCALA:

SIN

FIGURA: TABLA 4-1



FUENTE: MIMENOSA 1984

EXPLICACION

	ALUVION		RIOBITA
	BASALTO		ANDESITA
	CONGLOMERADO SAN RAFAEL		FORMACION INDIDURA
	BRECCIA DE COLOR ROJO		LUTITA PARRAL



DIQUES FELSICOS
A INTERMEDIOS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
FACULTAD DE INGENIERIA	
COLUMNA ESTRATIGRAFICA DEL DISTRITO MINERO DE SANTA BARBARA CHIH.	
TESIS PROFESIONAL: MARIO BRAVO ARCIGA	
ESCALA:	SIN FIGURA: No 7

Figura 7

La columna estratigráfica del distrito es como sigue: Las rocas más antiguas que se conocen son las de la Lutita Parral constituida por lutitas más o menos calcáreas que se extienden en todo el distrito; sobre esta formación yace una alternancia de lutitas muy fisiles, calizas nodulares y arenosas, que probablemente son las de la Formación Indidura, ésta aflora únicamente en las partes altas, donde no hay derrames.

Sobre ésta yace una serie de derrames andesíticos que afloran al sur del distrito; el contacto entre ambos depósitos es discordante y sugiere que la andesita se derramó sobre una topografía similar a la que tienen la Formación Indidura y la Lutita Parral en la actualidad. Lo anterior según la información obtenida por barrenación de diamante en superficie, en casi toda el área del distrito; y se describen lutitas posteriormente a las andesitas, no observándose otra estructura o depósito entre ambas, más que un contacto bien definido por el cambio petrográfico. Con base en esto se puede asegurar a la andesita como de edad terciaria temprana (Eoceno) (Uribe, J. V., 1972).

Después de la andesita, se produjo la intrusión de diques félsicos, intermedios y vetas mineralizadas. Sobre estas rocas se efectuó una emisión de corrientes y tobas riolíticas oligocénicas. Posteriormente, se depositó en discordancia angular una brecha de color rojizo, que tiene echado hacia el norte, encontrándose al NO del distrito y su edad tentativa es del Oligoceno (Uribe, J. V., 1972).

Luego se depositó el conglomerado del valle de San Rafael, producto del fallamiento en bloques del distrito y, por último, se intrusionaron diques máficos que dan origen a derrames de basalto, y cubren a todas las rocas depositadas antes del Mioceno (Uribe, J. V., 1972), ya que estas rocas fueron fechadas como pertenecientes a finales del Terciario y principios del Cuaternario (Uribe, J. V., 1972).

Lutita Parral

Distribución y espesor. La lutita es la roca más antigua y la más distribuida en la región, se conocen afloramientos hasta el valle de Allende, Chihuahua, 25 km al norte de Parral y hasta Rosario, Durango, aunque en este lugar sólo hay un afloramiento pequeño y aislado; al norte y al oriente se pierde bajo el valle de San Rafael, al sur y al poniente se encuentra cubierta por rocas volcánicas. No se conoce la parte superior ni la basal de la lutita, pues la primera ha sido erosionada y la segunda no ha sido alcanzada a pesar de la gran profundidad de las obras mineras y barrenos que se han dado para conocer su espesor; a la fecha se tiene el espesor de 880 m alcanzado únicamente por obras mineras; por lo menos se consideran 1 200 m de espesor.

Expresión fisiográfica: En todo el distrito los echados de la lutita son suaves y raramente pasan de los 30°; el espesor de los estratos varía desde una lámina de menos de 2 mm hasta 50 cm. los gruesos son los más abundantes en los lugares en que la lutita es más calcárea, donde es más silíceo se presentan en forma compacta, mientras que donde son más arcillosos las capas son más delgadas y las pendientes de los cerros más suaves. En la mayoría de los casos la intrusión de los diques no afectó la posición de la lutita; sólo en los lugares donde tiene echados grandes, los estratos son macizos; las pendientes de los cerros son abruptas, llegando a formar pequeños cantiles.

Petrografía: La lutita es una roca dura y densa, su color varía de gris a negro, generalmente gris azulado; su composición de arcillosa a calcárea, incrementándose esta porción hacia el noroeste del distrito, a profundidad la lutita es rica en materia carbonosa, lo cual la hace untuosa al tacto. Es de grano fino y se encuentran minerales de calcita, cuarzo y algunos fenocristales euedrales de magnetita y pirita, así como minerales arcillosos comunes: montmorillonita y crisocola, dura y muy fisil.

Es impermeable, excepto en la proximidad de las fallas, donde adquiere porosidad secundaria (Foto 3).

Origen: El grado de metamorfismo mostrado por la lutita es bajo, como se deduce en la ausencia de minerales típicos de metamorfismo intenso, excepto en las profundidades de las vetas y en la región de los azules, que existen minerales clásicos del metamorfismo de contacto (wollastonita y granate, con textura fibrosa y maciza granular, respectivamente); al NE del distrito se observan entre el contacto de la lutita con un intrusivo monzonítico.

Correlaciones: Con fósiles encontrados en la región de Camacho, en el estado de Zacatecas, Bose (1923), descubrió amonitas pertenecientes al Aptiano Inferior. Estos fósiles se encontraron en capas de caliza que alternan con arcillas apizarradas, posiblemente de la Formación La Peña en el área del río Nazas, estado de Durango, Burchardt (1925), encontró y describió algunas amonitas del Aptiano Superior, en calizas grises incluidas por Inlay (1944)

como pertenecientes a la Formación La Peña, en el centro-este del estado de Chihuahua. Las evaporitas de la Formación Cuchillo, fueron clasificadas como del Aptiano Superior - Albiano Inferior, en 1936, por Kellum, Inlay y Kane. La Formación La Peña que aflora en una amplia zona de Nuevo León y Coahuila en el noreste de México ha sido designada por su fauna como del Aptiano Superior - Aptiano Inferior, por Humphrey (1949) y Cantú (1963) (citados por López Ramos, Ernesto, 1974).

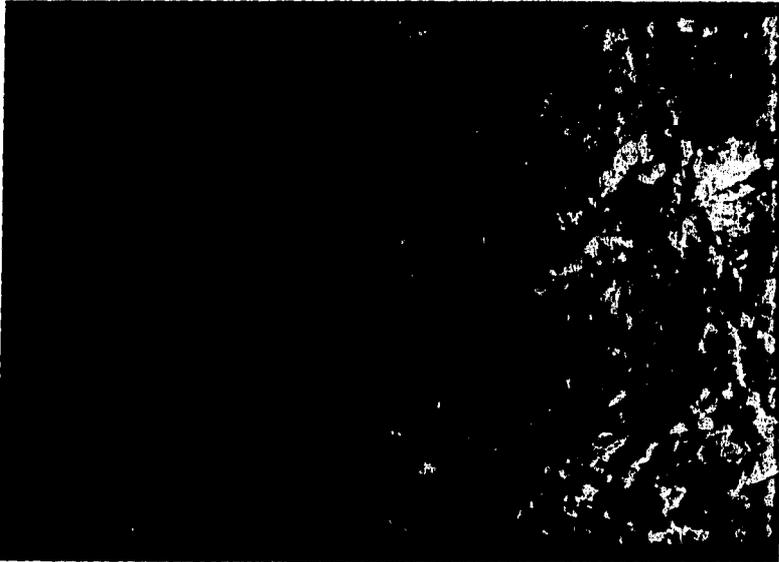


Foto 3. Lutita característica de la Lutita Parral, localizada a lo largo de todo el distrito, en la cual es posible observar claramente el plegamiento (Escala 1:10).

Formación Indidura

Distribución y espesor: Hacia el sur del distrito, se observa una serie de calizas estratificadas con lutitas y areniscas y en todas las partes más altas del distrito, a medida que se llega a la Lutita Parral, las calizas se van angostando, llegando en ocasiones a formar únicamente nódulos de caliza y en otras desapareciendo por completo, teniendo únicamente lutitas y areniscas; se puede observar también al NE del distrito, pero con menos frecuencia; su espesor es desconocido, ya que gran parte fue erosionada. Los estudios de esta formación, hacen pensar a muchos geólogos que la formación es un cambio de facies lateral.

Expresión fisiográfica: Hacia el sur, las calizas, areniscas y lutitas tienen echados de 60°, aunque algunos cambian radicalmente a 30°, esto se debe suponer por la cercanía a la sierra de Santa Bárbara, porque hacia esta zona el levantamiento irregular provocó esto; en las demás partes en donde se localiza se tienen echados de 12° a 25°. El espesor de los estratos de caliza, varía de 10 cm a 20 cm siendo los de 10 cm los más abundantes; cuando se presenta en forma de nódulos, éstos tienen en la parte más ancha 30 cm y en la angosta 5 cm.

El espesor de los estratos de la lutita es muy variable, desde 2 mm hasta 30 cm siendo su espesor medio 5 cm tendiendo a aumentar en la parte inferior de la formación cuando desaparece la caliza quedando únicamente areniscas y lutitas.

En la arenisca los estratos van de 10 a 30 cm siendo los más comunes los de 10 cm aumentando en la parte inferior de la formación y en ocasiones en las zonas altas del distrito.

Petrografía: La caliza es una roca dura, algo arcillosa, tendiendo a margá, densa y compacta, de grano fino, con ligera recristalización formada de calcita, en forma de mosaicos homogéneos, pudiéndose observar algunos cristales de pirita. También tiene hilillos de calcita secundaria y pequeñas cavidades de disolución.

La lutita es una roca de grano fino con permeabilidad secundaria, su color es gris azulado y cuando se intemperiza es de color pardo amarillento, en ocasiones rojo y anaranjado, volviéndose menos dura; su fisibilidad es moderada y la roca raramente es maciza; en algunas zonas alterna con lutita muy fisil a poco fisil.

La arenisca es una roca dura de color grisáceo, que se intemperiza a pardo amarillento.

Edad y Correlación: Por la fauna encontrada de algunos fósiles y huellas de amonitas y foraminíferos, se ubica en el Cretácico Superior en la época Cenomaniano Superior - Turoniano Inferior. En el año de 1965 fue encontrada una amonita en las inmediaciones de Santa Bárbara, la cual fue clasificada (Ramírez Olvera, Enrique, 1974) como un *Acanthoholopites Aff. Aschiltiensis* (Antula) del Aptiano Superior - Albiano Inferior (Escandón, 1968) y otras en el cerro de la Cruz en Santa Bárbara, Chilmahua.

Andesita

Distribución y espesor: Se presenta como lavas en una amplia zona del sur del distrito, yaciendo una discordancia angular sobre la Lutita Parral, generalmente, ya que la Formación Indidura no existe, lo cual sugiere que los derrames fueron posteriores al plegamiento y a la erosión.

Petrografía: La andesita es una roca densa y compacta, de color muy variable; en algunas zonas se observa de color rojo oscuro a violeta, gris oscuro y verdoso; cuando se altera, cambia su color a gris amarillento o blanco. Scott (1958), observó que la andesita en su contacto con la lutita presenta textura porfídica con matriz afanítica; esta textura se presenta haciendo variar su coloración por la oxidación de los ferromagnesianos e incipiente caolinización de los feldespatos. Además, se presentan cristales de hiperstena, augita y piritita en matriz pilotaxítica de andesita microlítica. En el cerro Chino, al SE del distrito, la andesita es cruzada por vetas epitermales que originaron caolinización de las plagioclasas. La roca se clasifica como una andesita de piroxena.

Edad y correlación: Considerando que la andesita es posterior al plegamiento orogénico que se efectuó entre el Paleoceno y principios del Eoceno, y que se encuentra cruzada por vetas y diques riolíticos, se asigna, por posición estratigráfica, perteneciente al Eoceno.

La andesita tentativamente se ha correlacionado con la andesita del distrito Parral; área descrita por Uribe, J. V., 1972.

Riolita

Distribución y expresión fisiográfica: La unidad riolita se localiza al noroeste del distrito, formada por una secuencia de tobas y derrames, cubriendo las partes altas de los cerros y colinas.

Petrografía: La riolita es una roca dura y densa de color rojizo a rosa se intemperiza a gris, su composición es: fenocristales de cuarzo y sanidino en matriz afanítica y textura microlítica.

Los cristales de cuarzo y sanidino están envueltos en una matriz vítrea y se clasifica como riolita porfídica, Escandón (1968). La topografía de las riolitas presenta pendientes abruptas.

Relaciones estratigráficas: la riolita descansa discordantemente sobre la andesita, pero hay zonas en que ésta no existe y la riolita se encuentra directamente sobre la lutita. En las secuencias de rocas topográficamente más bajas donde aflora la riolita, ésta se halla cubierta por brecha de color rojo.

Edad y correlación: En 1968, Escandón, determinó que la riolita es del Oligoceno, al igual que las tobas, por su posición estratigráfica, el cuerpo riolítico es quizá de principio del

Oligoceno, pues durante esta etapa se produjeron las emisiones de rocas volcánicas, que hoy constituyen la Sierra Madre Occidental, con las que se puede correlacionar.

Brecha de color rojo

Distribución y expresión fisiográfica: Los afloramientos se presentan en una área limitada al norte del distrito, cerca del poblado de San Francisco del Oro; el rumbo de la brecha varía entre NE 30° - 80° SO y su echado de 30° a 50° al norte, pero en algunos lugares llega a ser hasta de 70°.

Espesor: El espesor de la brecha es muy variable, de 50 cm hasta 10 m; su espesor más común es de poco más de un metro. Estructuralmente descansa en discordancia angular sobre riolitas, la brecha se encuentra subyaciendo en forma discordante al conglomerado San Rafael.

Petrografía: Es una roca de color rojo oscuro, formada por fragmentos de diversas rocas de tamaño entre 2 y 5 cm, aunque hay algunos que alcanzan hasta 20 cm. Los huecos entre los fragmentos mayores de lutitas son alargados y los demás son más o menos esféricos y redondeados. Los fragmentos mayores y más abundantes son de riolita, toba riolítica y vidrio volcánico; también, hay algunos fragmentos de cristales de cuarzo, ortoclasa, magnetita y de rocas calizas. El cementante es calcita, y en menor cantidad cuarzo.

Edad y correlación: Por la carencia de fósiles no se ha determinado con exactitud su edad, pero por su relación estratigráfica con las rocas con las que está en contacto se asigna perteneciente al Mioceno, pues sobreyace a los depósitos riolíticos; sobre ellas descansa, en discordancia angular; el conglomerado San Rafael, que a su vez está cubierto por una secuencia de rocas volcánicas básicas (Uribe, J. V., 1972).

Conglomerado San Rafael

Distribución y expresión fisiográfica: Se encuentra al norte del distrito, rellenando el valle de San Rafael y en pequeñas zonas al poniente, por la carretera que va de Parral a Guadalupe y Calvo, se distingue del aluvión, que es contemporáneo, en que es más redondeado y en que la porción grava - arena es mayor.

Litología: El conglomerado está constituido por fragmentos subangulosos y redondeados, mal clasificados de andesita, riolita, cuarzo, lutita y caliza, y están cementados por material arcilloso, el tamaño de los fragmentos varía entre 2 y 80 centímetros.

En el conglomerado no hay fragmentos de basalto, que si existen en el aluvión, el conglomerado se presenta formando colinas suaves surcadas por una red dendrítica de arroyos, no presenta pendientes bruscas y casi cubre todos los afloramientos de rocas anteriores al valle; este conglomerado se encuentra rellenando una fosa formada por la falla de Santiago, al noroeste del

distrito, y la falla La Esmeralda, al noreste del valle de San Rafael; el depósito es del tipo aluvial postectónico y los fragmentos proceden de las rocas circundantes de la región.

Espesor: El espesor del conglomerado es variable, pues se depositó sobre una topografía compleja en el borde del valle y en algunas colinas, el conglomerado se acuña y llega a desaparecer. Su espesor es conocido por medio de sondeos eléctricos, teniendo cerca de 750 m, ya que por pozos únicamente se ha perforado a 350 m sin tocar roca firme (Scott, 1958).

Relaciones estratigráfica y edad: El conglomerado cubre las partes de los cerros y de los diques, y subyace al basalto; su edad es posterior al Mioceno, y está intrusionado por dos cuellos volcánicos de basalto, que más tarde arrojaron algunas corrientes y formaron pequeñas mesetas sobre el conglomerado, se considera posterior a los otros depósitos, por tener fragmentos de ellas.

Basalto

Distribución y expresión fisiográfica: La roca más joven de la región es el basalto, que se encuentra distribuido en las cimas de la mayor parte de los cerros del distrito.

El basalto se presenta formando mesetas casi horizontales, son escasos los aparatos volcánicos conociéndose dos únicamente en el área, y localizados al noreste del distrito.

Espesor: El espesor del basalto oscila entre 30 m y 60 m, teniendo por lo general en todas las mesetas alrededor de 10 m; en un tiro al NO del distrito se ha encontrado el contacto del basalto con la lutita, dando espesor de 56 m.

Petrografía: Es una roca dura, compacta y vesicular, tiene una estructura fluidal con algunos fragmentos angulosos; su color varía de gris oscuro a negro, pero se intemperiza a rojizo, tiene buena porosidad primaria y presenta numerosas amígdalas rellenas de calcita con cristales de labradorita envueltos en matriz microlítica de composición cálcica; tiene numerosos cristales de olivino y se ha podido observar iddingsita, producto de alteración del olivino, puede clasificarse como basalto de olivino.

Relaciones estratigráficas y edad: Si se considera la asociación de los diques máficos con las mesetas de basalto se infiere que originaron derrames de fisura, que se encuentran en discordancia angular sobre la lutita.

Por su posición estratigráfica puede decirse que la edad del basalto es posterior al Mioceno. Como no ha sufrido mucho la acción de la erosión y del intemperismo se puede considerar no muy antiguo; su edad puede fluctuar del Terciario a principios del Cuaternario, ya que en esa edad se produjeron grandes derrames basálticos en varias partes del occidente de México.

Diques

De acuerdo con su composición pueden distinguirse tres tipos de diques en el distrito de Santa Bárbara: riolíticos, dioríticos y basálticos.

Los diques riolíticos son más abundantes y regularmente se encuentran asociados con algunas vetas del distrito, presumiéndose emplazados poco después de las estructuras mineralizantes; por su parte, los dioríticos y basálticos cortan a las vetas casi perpendicularmente y se clasifican como posteriores a la mineralización, cabe mencionar que los desplazamientos no son considerables.

Diques félsicos (Riolíticos)

Petrografía: Están constituidos por roca dura, densa y poco porosa, de color rosa a gris amarillento, en ellos se distinguen fenocristales de cuarzo hasta de medio centímetro de longitud; muestran estructura de flujo, compuesta por la alineación de cristales de feldespatos potásicos (sanidina y adularia), parcialmente alterados a caolín. La roca se puede clasificar como pórfido riolítico.

Distribución y expresión fisiográfica: Se presentan en todo el distrito, pero abundan en la parte NO, donde el fracturamiento es más intenso, siendo muy persistentes a rumbo y profundidad; sus anchos medios son de 5 m, conociéndose algunos de ellos de más de 5 km de longitud; su rumbo es de NE 10° SO, con excepción del dique la Bufa, con rumbo N70° E, ancho de 10 a 20 m y echado de 70° a 80° al noroeste; siempre se presentan en forma de crestones, pues esto depende bastante de la densidad de la solución ácida al momento del emplazamiento, por tanto son más resistentes a la erosión y al intemperismo que la lutita en que arman (Fotos 4 y 5).



4



5

Fotos 4 y 5. Dique riolítico (La Bufa). Rasgo geomorfológico intenso en el distrito minero de Santa Bárbara, Chihuahua.

Edad: Son posteriores al depósito de la lutita y emplazados poco después de la mineralización del distrito, pues algunas veces no están mineralizados; son anteriores al depósito del conglomerado, ya que en la parte norte del distrito están cubiertos por éste. Probablemente son contemporáneos a las emisiones riolíticas y quizá estén relacionados con ellas, por lo que se supone su edad del Oligoceno.

Alteración: Consiste en que los feldespatos se descomponen formando arcilla, y en la formación de óxidos de hierro por la descomposición de la pirita.

Diques intermedios (Dioríticos)

Petrografía: Los diques dioríticos están constituidos por una roca dura y compacta de color verdoso, de grano fino a medio, con abundante pirita diseminada, presentan vesículas rellenas de calcita y abundante clorita.

Presentan textura holocristalina hipidiomórfica, compuesta por abundantes fenocristales de plagioclasa (andesita), alterados a sericita y débil argilitización; se presentan abundantes minerales máficos (augita y hornblenda) alterados moderada a intensamente a clorita y epidota; además, presentan mucha pirita y magnetita diseminadas, así como abundante calcita en vesículas y diseminada; se presentan algunos xenolitos de cuarzo.

Distribución: Los diques llevan un mismo rumbo NE9° SO, echados de 77° al NO, y se encuentran principalmente en la mina de Alejandría; en otras minas son pocos los que se han localizado y no afloran en la superficie, viéndose únicamente en el interior de la mina.

Edad: Se cree que son de fines del Mioceno, por sus características estructurales respecto con la mineralización, y a la roca encajonante.

Diques máficos (Basálticos)

Petrografía: Los diques máficos están constituidos por roca compacta, de color gris verdoso o negro. En algunos de ellos se observan fenocristales de plagioclasa, olivino y calcita; además, presentan magnetita y epidota, el grano es más grueso que el de los flujos de basalto que formaron las mesetas. También, muestran textura holocristalina donde las plagioclasas constituyen el 85%.

Distribución y expresión fisiográfica: Estos diques presentan poca resistencia a la alteración meteórica, por lo que forman depresiones con respecto a la roca encajonante. Son posteriores a la mineralización y persisten a la profundidad y al rumbo, se conocen diques que alcanzan profundidades de más de 800 m, sin que se conozca su final, aunque sí se aciñan en zonas; su ancho es variable, abundan con capas de 80 cm, se presentan con un rumbo E-O y su echado de 70°, buzando al norte. Su echado es más consistente que su rumbo, y llegan a estar

asociados a zonas de fallas normales rellenas de calcita, barita y fluorita. Sólo en este caso llegan a producir gran desplazamiento en las vetas que cortan, pero comúnmente no producen mucho; en las tablas producen alteraciones que son de arcilla de grano muy fino, en la que el único mineral que se ha podido identificar es la epidota.

Edad: Los diques máficos son contemporáneos al basalto de las mesetas, por tanto se incluyen entre las rocas más jóvenes de la región, de fines del Terciario (Plioceno).

IV.2 Geología estructural

La estructura del distrito de Santa Bárbara, está definida por el tipo de rocas involucradas y por el carácter de su depósito, además de los esfuerzos que se ejercieron sobre ellas.

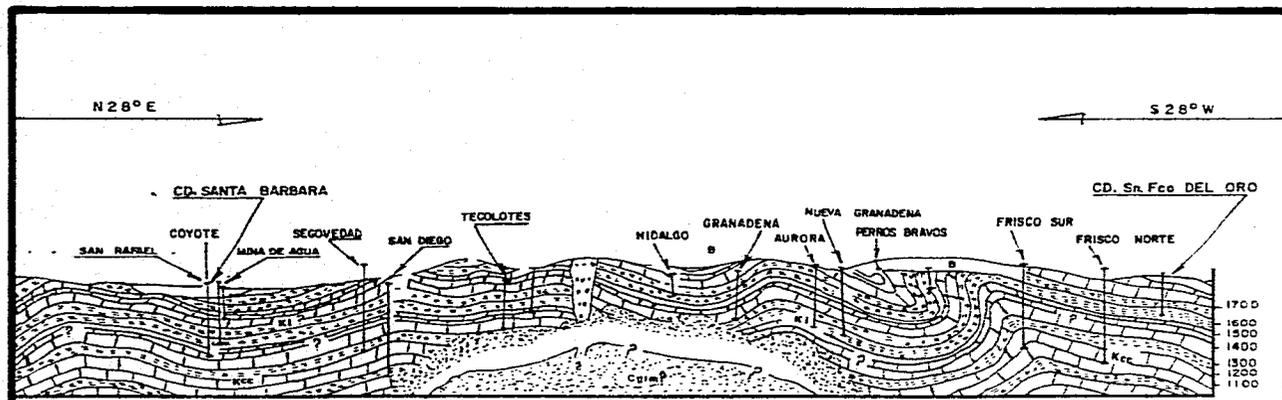
- Compresión y plegamiento ocasionados por dos periodos de deformación orogénica, que fueron principalmente las deformaciones de la Orogenia Hidalgoana (Jurásico Superior-Cretácico Superior) (López Ramos, Ernesto, 1974) y la Orogenia Laramide (Cretácico-Cenozoico) (Del Arenal C., Rodolfo, 1964) a que estuvo sujeta el área.
- Fallamiento normal y en bloque, originados por el relajamiento de la tensión acumulada en el repliegue del mismo.
- Actividad volcánica.

La estructura que se muestra en Santa Bárbara, es un anticlinorio bastante complejo, con rumbo de NO 28° SO ; la complejidad se debe a que las capas individuales de lutita forman pliegues de arrastre y están cortadas por un gran número de fallas pequeñas, aunque en un cruce que va de la mina Segovedad a Cobriza dio la forma definida de un anticlinorio, cuyo eje tiene rumbo NO 62° SE, con buzamiento de 10° al NE. El flanco del oeste parece tener echado más fuerte que el del este (Fig. 8 Sección estructural del anticlinorio del distrito del Santa Bárbara, Chihuahua).

Valverde en 1968 (Ramírez Olvera, Enrique, 1974), reportó que en el área sureste de Santa Bárbara, el rumbo de la lutita varía de norte - sur a NO 15° SE y el echado de 35° a 60° al SO; sugirió que el anticlinorio del área pudo haber sido el resultado de un intrusivo a profundidad (tronco) en el centro.

El plegamiento se considera como una consecuencia de los esfuerzos compresionales que tuvieron un origen tectónico, resultado de los disturbios ocurridos durante la Orogenia Hidalgoana (Jurásico Superior-Cretácico) (López Ramos, Ernesto, 1974) y la Orogenia Laramide (fines del Cretácico) (Del Arenal C., Rodolfo, 1964).

Los principales tipos de fallas son tres: Fallas normales o de tensión con rumbo preferencial SE-NO y echado de 60° a 90°; fallas inversas o de compresión con rumbo preferencial SE-NO y



EXPLICACION

Q	ALUVION		CALIZA	
Cgl	CONGLOMERADO		CALIZA ARCILLOSA	
B	BASALTO		LUTITA	
R	RIOLITA		ARENISCAS	
Ki	F. INDIDURA		RIOLITAS	
			ANDESITAS	
			INTRUSIVO GRANITICO MONZONITICO	

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
FACULTAD DE INGENIERIA	
A N T I C L I N O R I O	
DEL DISTRITO MINERO DE SANTA BARBARA CHIM.	
TESIS PROFESIONAL: MARIO BRAVO ARCIGA	
ESCALA: 1:40,000	FIGURA: No 9

echados de 40° a 15° , y fallas de rumbo o laterales, generalmente con rumbo N-S y echados entre 50° y 70° ; sólo difieren en la orientación de los principales esfuerzos en relación a la superficie de la Tierra.

Las fallas han sido rellenadas por material diferente, según su cronología con respecto a la mineralización.

- Fallas anteriores a la mineralización, rellenas de minerales (oro, plata, galena, esfalerita, calcopirita, cuarzo y fluorita), constituyendo las vetas.
- Fallas donde se alojaron los diques riolíticos, fluorita y barita.
- Fallas perpendiculares a las vetas, rellenas de calcita y cuarzo.
- Fallas perpendiculares a las vetas y posteriores a la mineralización, rellenas de diques dioríticos y basálticos.
- Fallas paralelas a las vetas, rellenas de salbanda y minerales secundarios (hematita y limonita).

La disposición estructural de los pliegues es el principal control para determinar la potencia de una falla o estructura, pues en las zonas donde los pliegues tienen echados mayores de 70° no son muy consistentes a profundidad, a pesar de que en ocasiones son de aperturas considerables; en cambio, donde los estratos son casi horizontales, las fallas son más consistentes a profundidad y longitudinalmente. En algunos casos, las estructuras tienden a desaparecer en la roca encajonante como hilos y siguen planos de estratificación.

De acuerdo con Romero, R. (1985), se obtuvieron promedios del espesor de las lutitas en el área mediante la técnica de refracción sísmica y principalmente sobre estratos horizontales que fueron 1 248 m hasta el límite de lutitas con velocidades de 4 571 m/s, que nos indica un cambio en cuanto a la composición del terreno, y un posible cambio a rocas de tipo intrusivo, ya que la velocidad se incrementa (Romero C., R., 1990).

La estructura de la sierra de Santa Bárbara, se clasifica en dos etapas: Premineral y Postmineral.

- Estructura premineral: La deformación y fallamiento que sufrió la lutita después de su depósito y consolidación, se originó por el levantamiento y plegamiento efectuado al principio del Cenozoico, por la Orogenia Laramide. Por la orientación de los pliegues de la lutita y del lineamiento de la sierra de Santa Bárbara, se deduce que los esfuerzos compresionales que originaron el plegamiento debieron ser con un rumbo NO-SE, ya que el eje de la estructura principal tiene rumbo $NO62^\circ SE$. Koch (1963), interpretó la estructura de la sierra como un anticlinal asimétrico que buza hacia el oeste con 30° , y al este con 8° , y su plano axial buza 75° al este. Scott (1958) y Escandón (1968), afirman que la Lutita Parral está plegada como un anticlinorio muy complejo. Esta teoría es una de las más acertadas, si se considera el gran

número de pliegues menores de arrastre dentro de la estructura principal, que mide 14 km de largo y 2 km de ancho. De la superficie es difícil precisar claramente la estructura, porque los estratos se encuentran dentro de complicados pliegues de arrastre, erosionados y cubiertos por basalto y aluvión, que sería, posiblemente, verificado con un estudio más extenso y sistemático, mediante la técnica de refracción sísmica, porque podría modelarse un comportamiento estructural del terreno. Los pliegues menores y el fallamiento premineral se distinguen en la superficie y en el interior de las minas. Después de los derrames andesíticos, la zona se elevó un poco debido a la presencia de un intrusivo a profundidad, la cual ocasionó fuerzas tensionales que produjeron fallamientos más o menos radiales, los cuales ocuparon diques félsicos e intermedios, y vetas mineralizadas. El paralelismo de las vetas y diques con rumbos que varían de NE3° SO, NO30° SE y N-S hace suponer que el intrusivo central a la profundidad tiene forma elíptica en planta.

- Estructura postmineral: Las soluciones mineralizadas siguieron las fracturas y fallas rellenando todas las cavidades, formando los yacimientos minerales, que posteriormente fueron afectados por fallamiento de origen tensional, regido por un sistema de fallas que produjeron bloques escalonados. Estas fallas son conocidas como postminerales, por desplazar o cortar las vetas. La inclinación y rumbo de estas fallas es muy variable, pero pueden agruparse de acuerdo a su tendencia en rumbo y echado; el tipo de desplazamiento puede ser reconocido en algunos casos por el desplazamiento de las vetas. Las fallas generalmente cortan las vetas en ángulos que van de 45° a 90°, cayendo las fallas dentro de dos sistemas principales, siendo el primero con rumbo de NE80° SO y en él se encuentran la mayor parte de las grandes fallas, el segundo con rumbo de NO45° SE. El desplazamiento a rumbo es moderado, como consecuencia de movimientos secundarios originados por el deslizamiento de bloques, el desplazamiento vertical es de moderado a grande, cortándose con varios ejemplos de fallas de este tipo. El valle de San Rafael, al noroeste del distrito, es producto de este tipo de fallas, la fosa que está limitada por la falla de Santiago al noroeste, y de la falla de la Esmeralda donde se tuvo un deslizamiento vertical de 750 m; esta fosa se encuentra rellena por el conglomerado de San Rafael.

IV.3 Geología histórica

Para manejar una tectónica de esta zona del país, hay que tener presentes algunas características que no permiten su total comprensión, entre éstas destacan: la dificultad para definir los elementos tectónicos del Paleozoico en Chihuahua, los cuales son muy escasos; asimismo, se

presenta un traslape de dos franjas orogénicas importantes, el cinturón Marathon-Ouachita y el Geosinclinal cordillerano.

Por otra parte, es la zona de transición de dos dominios tectónicos destacados (margen convergente de la Sierra Madre Occidental y la margen pasiva del golfo de México); también, las cubiertas de rocas volcánicas del Terciario dificultan el análisis; al mismo tiempo, el fallamiento registrado en la provincia Basin and Range, y en última instancia, el desplazamiento interpretado como producto de la Megacizalla Mohave-Sonora en el período Jurásico.

Conjuntando todo lo anterior se pretende describir, lo más claro posible, la evolución tectónica de la región.

De esta manera, Mauger y otros en el año de 1982, obtuvieron una edad (K-Ar) correspondiente al Grenvilliano, para un bloque metamórfico incluido en una secuencia Pérmica, localizada en la sierra del Cuervo.

Asimismo, Quintero y Guerrero (1985), reportaron el afloramiento de una unidad metamórfica de anfibolitas similar, al sur de la mina Plomosas, lo que podría constituir el afloramiento del basamento precámbrico en Chihuahua, sugiriendo que las anfibolitas pertenecen al Cratón Norteamericano, cuya terminación meridional puede estar entre la región de El Carrizalillo y la sierra del Cuervo.

En 1969, De Ford (Clendeninin, P. Thomas, 1972) hizo notar que la súbita desaparición, en la frontera de México, del cinturón Ouachita, compuesto por sedimentos terrígenos deformados del Paleozoico suponen la continuación por debajo de la secuencia mesozoica de Chihuahua, al este de los afloramientos calcáreos del Paleozoico del Placer de Guadalupe (mina Plomosas); pero no descarta que este cinturón pase al oeste de la localidad anterior, porque en el área de Aldama se ha reportado la presencia de una secuencia considerable de limolitas de color gris oscuro, parecidas a las del flanco norte del cinturón Ouachita, en la región de Texas.

Por tal motivo, Bridges (1966) dice que a finales del Wolfcampiano termina el tectonismo, producto de la orogenia Ouachita en Marathon y comienza la deformación en la zona de Plomosas.

En otro sentido, Bridges supone que el tectonismo paleozoico comenzó en el Wolfcampiano y siguió hasta el Leonardiano.

Las deformaciones del Geosinclinal Marathon-Ouachita, en el intervalo Misisípico-Pensilvánico y los fallamientos normales de la porción sur del Cratón Norteamericano fueron seguidos de un prolongado período de emersión (Pérmico-Jurásico Medio), durante el cual se depositaron capas rojas en el marco de un fallamiento normal intenso.

Este autor también señala que el depósito de calizas continuó desde el Pensilvánico hasta el Wolfcampiano (Medio (?)), y siguió un levantamiento en la región. Asimismo López Ramos

(1974) distinguió, para el periodo Pérmico - Cretácico Superior, la formación del Geosinclinal mexicano (Jurásico Superior - Cretácico Superior). Aparentemente, la franja estructural del sistema Ouachita se prolongó en Chihuahua y afectó a las rocas paleozoicas ya formadas, al final del Pérmico y principios del Triásico.

Al mismo tiempo, Flawn y Díaz (1959) (Harrinson, Schummit, 1927), afirmaron que durante el Mesozoico la tectónica formó el Geosinclinal Mexicano, y parte de éste fue levantado para formar la península de Coahuila.

En el año de 1979, Clark y otros establecieron que en el período Triásico-Jurásico (Fig. 9), el arco Sonorense se extendía hacia la parte sur de Chihuahua y norte de Durango, posiblemente hasta Tamaulipas. Por ello, Morán (1984), señaló que esta porción del país evolucionó en un contexto continental, como el desarrollo de una tectónica distensiva que dio lugar a la formación de fosas y rellenos importantes de sedimentos continentales.

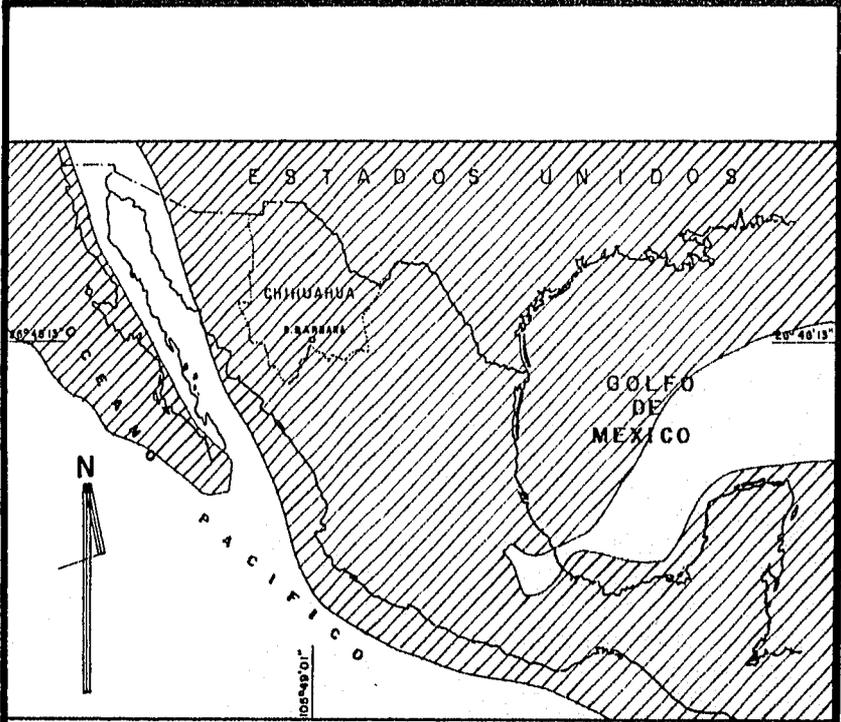
Los cinturones que conforman el basamento Precámbrico y Paleozoico sobre el que evolucionó la amplia secuencia mesozoica del oriente de México, deben haber sido fuertemente dislocados por los movimientos laterales y verticales de la primera mitad del Mesozoico, cuando ocurrió la apertura del golfo de México.

Estos movimientos tectónicos prepararon la distribución paleogeográfica de cuencas y plataformas que controlarían la sedimentación y las deformaciones laramídicas a final del Mesozoico. Los afloramientos paleozoicos han sido considerados como una prolongación del cinturón Ouachita del sureste de Estados Unidos, porque muchos autores han encontrado semejanzas con las rocas de este cinturón (De Cserna, 1956; Flawn, 1961; Denison, *et al.* 1971; Ramírez, 1978), que apareció en la segunda mitad del Paleozoico, como consecuencia del cierre del océano Proto-Atlántico.

Por tal motivo, Roberts y Dyer (1985), establecieron que durante el Jurásico Medio, las aguas marinas invadieron la cuenca de Chihuahua, extendiéndose del norte hasta el sur de Nuevo México.

A partir del Kinmeridgiano (Fig. 10), la porción oriental de Chihuahua actúa como una cuenca marina, resultado de la transgresión iniciada en este periodo (De Ford, 1969) (Damon E. Paul, 1981); la cuenca estaba limitada al noreste por la plataforma del Diablo, al suroeste por la península de Aldama y al este por la península o isla de Coahuila.

En el período Jurásico se instauran en este país dos dominios importantes, resultado de la subducción de la placa del Pacífico bajo la placa Norteamericana y la apertura del golfo de México, además por la migración de Norteamérica hacia el noroeste. El primero de éstos, ubicado en el occidente de México, representaba una margen convergente y una zona de arco magmático de tipo andino, por la interacción de la placa Paleopacífica debajo de la placa Norteamericana; el



FUENTE: DAMON, E. 1961

EXPLICACION

TIERRA EMERGIDA 

MAR ABIERTO 

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
FACULTAD DE INGENIERIA	
PALEO GEOGRAFIA DEL TRIASICO-JURASICO DEL DISTRITO MINERO DE SANTA BARBARA CHIH.	
TESIS PROFESIONAL: MARIO BRAVO ARCIGA	
ESCALA:	1:15,000,000
FIGURA:	No 9

Figura 9

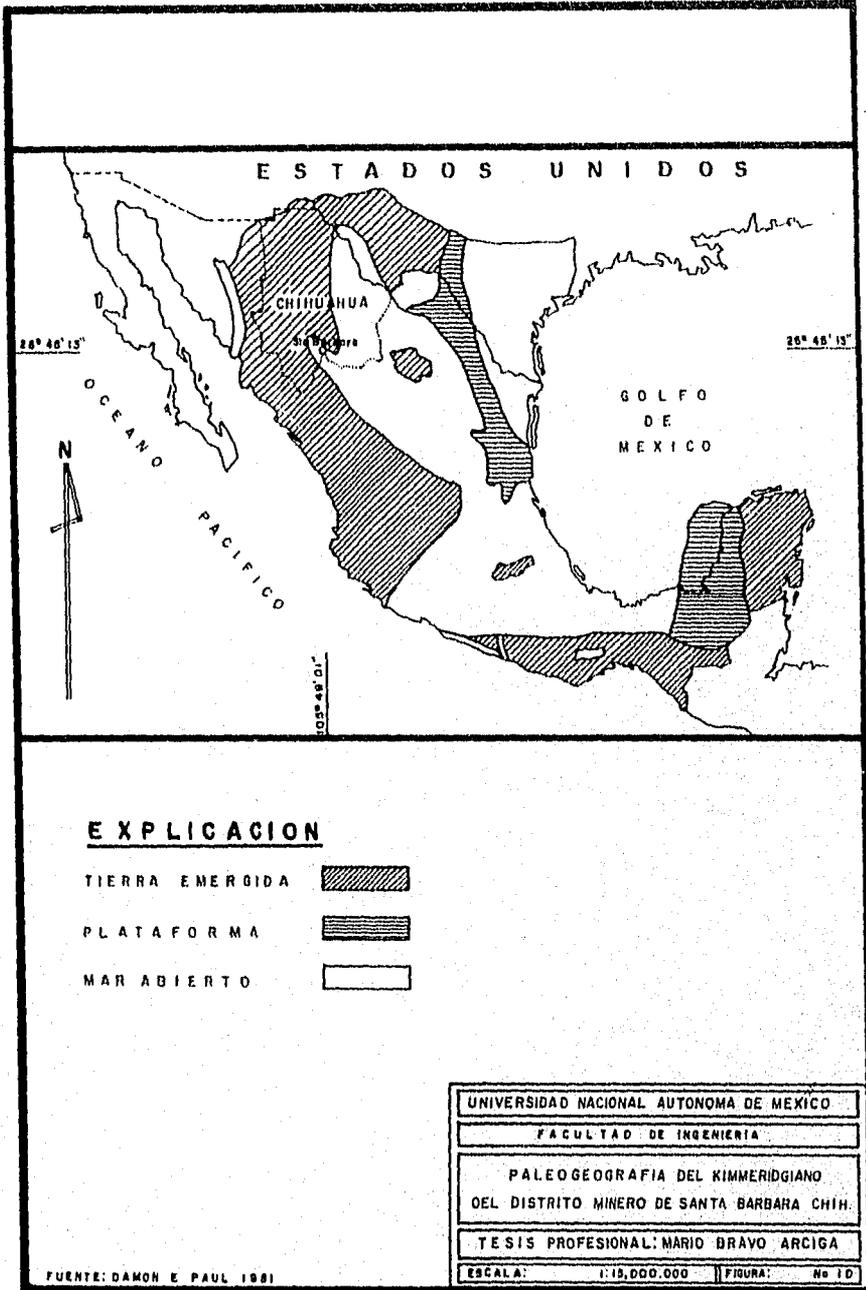


Figura 10

segundo dominio, de tipo geosinclinal o de sistema aulacógeno, surgió por la transgresión marina del Jurásico Superior (Fig. 11) sobre el oriente del país, al tiempo de la apertura del golfo de México, esto originó depósitos calcáreos considerables en el marco de una subsidencia intermitente, y la presencia de elementos cratónicos en forma de porciones emergidas y de altos fondos marinos.

Para Tovar y otros, coincidiendo con E. Closs (1955) (Tovar Rodríguez, Jorge C., 1978), las únicas evidencias de una tectónica prelaramfídica se observan en la sierra del Cuervo y en las cercanías de la mina Plomosas, donde hay estructuras alineadas de noreste a suroeste, correspondientes a la orogenia Apalacheana.

Citando un trabajo inédito de R. Garza (PEMEX), en 1979, R. González sugiere que la península de Aldama y la isla de Coahuila pudieron constituir un solo elemento positivo, con lo cual la cuenca de Chihuahua tendría comunicación a través del golfo de Sabinas, en Coahuila.

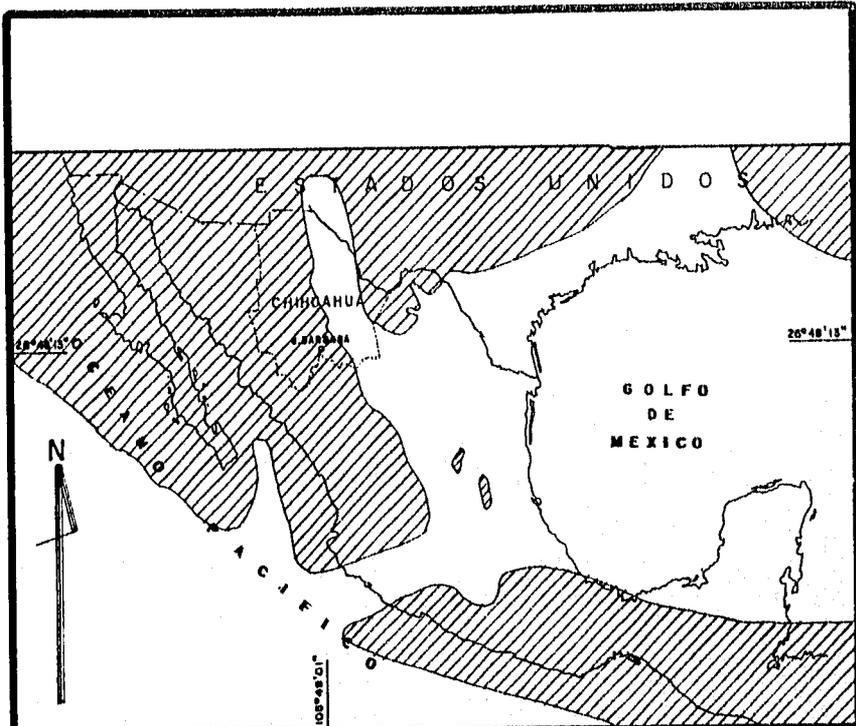
Por otro lado, Santiago y sus colaboradores (1990) (Aranda García, Mario, 1990), opinan que durante el Jurásico Tardío se inició una gran invasión marina, que transgredió gran parte de la región de Chihuahua, quedando emergidos numerosos bloques tectónicos.

Según Bridges (1966), el mar entró durante el Jurásico Tardío en Chihuahua desde el sureste, cubriendo la porción oriental del estado. Las primeras etapas de la transgresión marina del Jurásico Superior, sobre la cuenca de Chihuahua, originaron el depósito de evaporitas, que actualmente se manifiesta en estructuras diapíricas de sal y yeso, localizadas al sur de Ojinaga y Ciudad Juárez, reportadas en pozos petroleros (PEMEX).

En la sierra de Cuchillo Parado, De Ford, 1969, Handschy y Dyer (1987) (Damon E., Paul, 1981) están de acuerdo con Gries y Haenggi (1971) (Aranda García, Mario, 1990), en que durante el Jurásico Tardío-Cretácico, la cuenca de Chihuahua comienza a llenarse con una sucesión de evaporitas, clásticos y carbonatos. Así, en la orogenia Laramide sufren deformaciones por los esfuerzos compresionales, y el límite expuesto de las rocas de la precuenca oscurece la tectónica del inicio de la cuenca de Chihuahua, pero este desarrollo se debe, probablemente, a la extensión o tectónica transicional asociada con la apertura sincrónica del golfo de México.

Para Del Arenal (1964), la invasión del mar durante el Jurásico Superior provocó el depósito de sedimentos en el amplio Geosinclinal Mexicano, bordeando largas y angostas penínsulas.

Por otro lado, López Ramos (1974), opinó que el Geosinclinal Mexicano se formó en el Jurásico Superior-Cretácico Superior, además durante este tiempo la secuencia sedimentaria marina mesozoica se depositó en el denominado Canal de Chihuahua, que era un ramal del Geosinclinal Mexicano afectado por una compresión lateral durante la orogenia Hidalgoana, originando la actual Faja Tectónica de Chihuahua.



FUENTE: CAMPA, M. 1989

EXPLICACION

TIERRA EMERGIDA 

MAR ABIERTO 

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PALEOGEOGRAFIA DEL JURASICO SUPERIOR
DEL DISTRITO MINERO DE SANTA BARBARA CHH.

TESIS PROFESIONAL: MARIO BRAVO ARCIGA

ESCALA: 1:10,000,000 (VERONA: No II)

Figura 11

En este sentido, Hernández Chávez, Santos Ángel y Luján Nevaréz, José Alonso (1987), citando a Coney y Reynolds, mencionan que la subducción de la placa Farallón, bajo la corteza de México, inició la actividad magnética hace 140 millones de años (Jurásico Superior), avanzando aproximadamente 1 000 km en dirección noreste hasta hace 40 millones de años (Eoceno).

En el periodo Albiano (Fig. 12), la región fue sujeta a una invasión marina máxima que abarcó casi todo el territorio de la República Mexicana.

Por otra parte, a principios del Cretácico, durante el Neocomiano, la sedimentación marina continuó en la cuenca de Chihuahua, sobre todo con depósitos de caliza y yeso. Para esta época aún permanecía emergida la isla de Coahuila, mientras que la península de Aldama era cubierta por una transgresión marina.

Al mismo tiempo, Rangin y Córdoba (1976), estiman que en Chihuahua la secuencia del Cretácico y el Grupo Ojinaga fue afectada en la fase laramídica por cabalgaduras hacia el noreste, favorecidas por los niveles de yeso que se localizan en la base de la serie. Durante el Cretácico Superior (Fig. 13), la sedimentación terrígena en la región de Chihuahua conforma el Grupo Ojinaga y para el Campaniano el avance de la línea de costa hacia el oriente.

También, Damon y sus colaboradores (1981) creen que durante el Cretácico Tardío la República Mexicana estuvo bordeada por un arco de tipo andino.

Durante el Terciario (Megaw, 1991) (Hernández Velázquez, Magdaleno, 1991), el estilo de fallamiento de la Basin and Range afectó a Chihuahua, porque produjo una secuencia de horsts y grabens, donde el primero se presenta en la región de la sierra de Santa Eulalia y está limitado por fallas normales al este y oeste. Estas fallas no desplazan la mineralización y se cree que se formaron por la apertura del *rift* de río Grande. Handschy, James W. y Dyer, Russ (1987), estiman que la región de la sierra del Cuervo sufrió una extensión y un fallamiento normal con dirección norte y noreste, también atribuido a la provincia Basin and Range.

El término de la era Mesozoica se marca por el plegamiento de la corteza mesozoica, origen de un *decollement* o desprendimiento a nivel de la secuencia evaporítica de la base.

Pero, Bagby y otros (1981) (Morán Zenteno, Dante J., 1984), piensan que parte del magnetismo arrojado en el Cretácico-Terciario Medio es resultado de la poca profundidad en el ángulo de subducción de la placa Farallón.

Al finalizar el Cretácico y principiar el Cenozoico, Del Arenal (1964) señala el inicio de la orogenia Laramide, que produjo el plegamiento intenso de los sedimentos del Geosinclinal Mexicano, ocurriendo el retiro total de los mares y emergen las tierras hasta el presente.

La regresión marina dejó aislados los manchones de marismas y las zonas bajas, donde se depositaron los sedimentos alternados de tipo costero, marginal y lacustre. Por otra parte, Damon y otros (1981), retoman lo dicho por Coney sobre la definición de la Laramide como pequeños

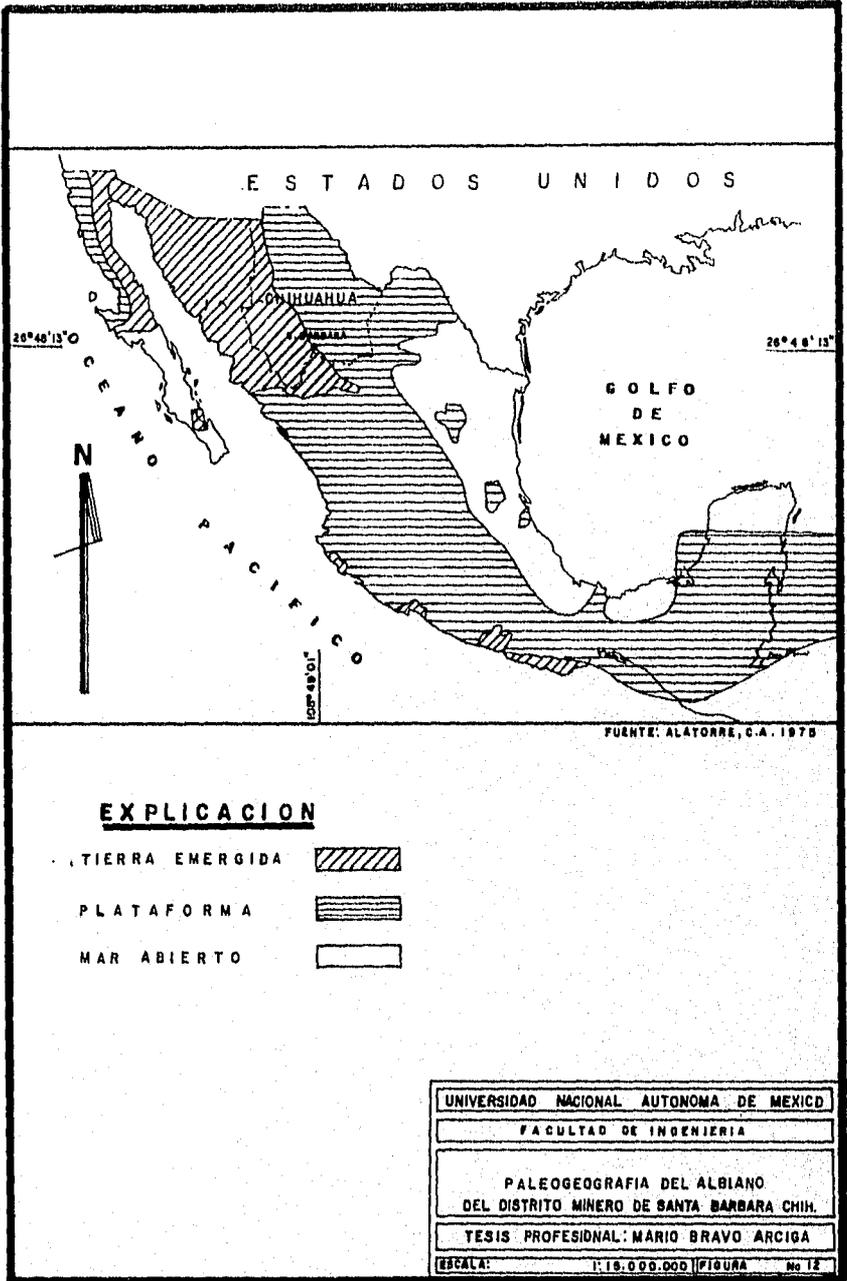
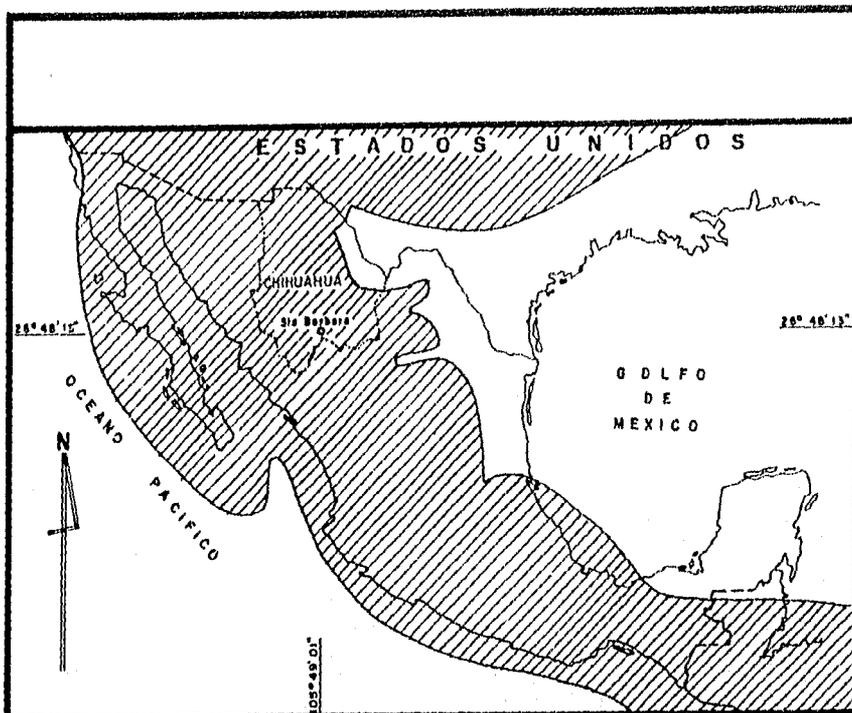


Figura 12



EXPLICACION

TIERRA EMERGIDA 

MAR ABIERTO 

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
FACULTAD DE INGENIERIA	
PALEOGEOGRAFIA DEL CRETACICO SUPERIOR DEL DISTRITO MINERO DE SANTA BARBARA CHIH.	
TESIS PROFESIONAL: MARIO BRAVO ARCIGA	
ESCALA:	1:10,000,000 FIGURA: No 13

FUENTE: RANGIN Y CORDOVA 1978

Figura 13

cambios en los movimientos de las placas, que iniciaron con una variación en el movimiento de la placa Americana, que al tomar otra dirección de convergencia, oblicua a frontal, dio como resultado una rápida convergencia entre ésta y la placa Farallón.

En la era Cenozoica, la región de Chihuahua evolucionó como una zona emergida que fue parcialmente cubierta, sobre todo en la parte occidental, por emisiones ignimbríticas del Oligoceno-Mioceno. Así, Mc Dowell y Clabaugh (1984) dicen que las rocas volcánicas del oriente de Chihuahua tienen diferencias químicas con las áreas vecinas, constituyendo una provincia intermedia entre las series calcoalcalinas de la Sierra Madre Occidental (oeste de Chihuahua) y las series alcalinas de la provincia de Trans-Pecos, en Texas. La tectónica de distensión del Terciario Superior originó la formación de grabens y también el depósito de importantes espesores de sedimentos continentales.

Hernández y Luján (1987) afirman que el episodio de magmatismo en la Sierra Madre Occidental fue resultado del avance y regresión del arco cordillerano en toda el área occidental del estado de Chihuahua, seguida por extensión del Mioceno al Reciente. En tanto que Mc Dowell y Clabaugh (1984) opinan que la Sierra Madre Occidental está compuesta por dos secuencias ígneas, cuyo contacto marca un periodo intermedio de calma volcánica. La secuencia más antigua la forman rocas volcánicas, principalmente intermedias, y cuerpos ígneos, en que sus edades varían de 100 a 45 millones de años. La más reciente está integrada por ignimbritas riolíticas y riódacíticas en posición horizontal o ligeramente inclinada, y con edades que van de 34 a 27 millones de años.

El complejo volcánico inferior posee una forma dominante de derrames y unidades piroclásticas de composición andesítica, con intercalaciones de ignimbritas silíceas. Ligeramente deformado, afallado y alterado intensamente. El complejo superior constituye la cubierta ignimbrítica continua más extensa de la Tierra, además se observa con una orientación NO-SE con 250 km de ancho y más de 1 200 km de largo, Demant y Robin (1975).

El espesor de estas ignimbritas supera los 1 000 m en algunas localidades. Mc Dowell y Clabaugh (1984) creen que este material fue producto de emisiones de calderas, muchas de las cuales rebasan los 40 km de diámetro, ocultas actualmente por fallas y depósitos aluviales recientes. El complejo volcánico inferior constituye un arco magmático de carácter calcoalcalino, relacionado con una margen continental convergente, donde la placa Farallón se hundía como se mencionó anteriormente debajo de la corteza continental de México.

Este fenómeno de convergencia duró hasta hace 29 millones de años, cuando el sistema de expansión del Pacífico del este, chocó contra la margen occidental de México (Atwater, 1970).

Sin embargo, la interrupción del magmatismo en el intervalo de 45 a 34 millones de años manifiesta una irregularidad en la continuidad de estos procesos. Mc Dowell y Clabaugh (1984) consideran que este periodo de calma se debió a dos causas principales: la primera es la

disminución en el porcentaje de convergencia o en el cambio de inclinación de la placa subduccionada; la segunda es la subducción de una dorsal oceánica activa.

En 1975, Demant y Robin (1975) explicaron el origen de la cubierta ignimbrítica de la Sierra Madre Occidental, como el vulcanismo típico de la zona de *rift*, atrás de un arco andesítico, por reacción de la corteza a los movimientos de subducción; además señalan la coexistencia de vulcanismos de tipo compresivo-distensivo.

Para el Cenozoico, Ramírez (1986), especifica que en el Paleoceno-Eoceno comienza una nueva fase tectónica postorogénica, expresada como un lineamiento, fracturamiento y fallamiento en la corteza terrestre. Por su lado, Damon (1981) sugiere para el Eoceno Tardío un gran hiatus magmático, y en el Oligoceno Temprano-Mioceno Medio señala un período de magmatismo calcoalcalino, seguido de otro hiatus magmático.

Por el contrario, Stewart (1978), propuso que en el Cenozoico se desarrolló la Basin and Range, causando fallas normales y un cambio en la composición química de las rocas de calcoalcalina a basáltica.

En el Plioceno (Demant, 1975), se efectuó un movimiento relativo de las placas Americana y Pacífica; además, de la creación del *rift* del golfo de Baja California-Sistema de San Andrés y del desarrollo de la Basin and Range, que se caracterizó en la zona de Sonora, Arizona y California, pero pueden apreciarse sus consecuencias de Chihuahua a Zacatecas; los cambios geotectónicos explican la aparición de la zona californiana; también, el vulcanismo alcalino se extendió hasta el interior del país (Chihuahua, Zacatecas, Durango, etc.), y está relacionado con todos los bolsones y la tectónica vertical plio-Cuatemaria.

A continuación se describe lo que es la secuencia tentativa de los eventos geológicos del distrito.

- Depósito y litificación de la Lutita Parral (Cretácico Inferior, Aptiano - Albiano).
- Depósito de la Formación Indidura (Cretácico Superior, Cenomaniano Superior - Turoniano).
- Plegamiento de las rocas por la Orogenia Laramide (Cretácico Superior, Terciario Inferior).
- Elevación y erosión de la Formación Indidura y Lutita Parral (fines del Cretácico).
- Extrusión de la andesita y emplazamiento de un intrusivo (Eoceno).
- Segregación y diferenciación del magma, teniendo como consecuencia los depósitos riolíticos y tobas riolíticas (Oligoceno Medio).
- Elevación y colapso con la formación de brechas rojas, pliegues, fracturas y fallas (Mioceno).

- Intrusión de diques félsicos e intermedios y etapa de mineralización (Oligoceno Medio).
- Relajamiento de los pliegues y fallamiento normal en bloques, con formación de pilares y fosas tectónicas (fines del Mioceno).
- Erosión y depósito de conglomerado en las fosas tectónicas (Plioceno).
- Erosión e intrusión de diques máficos y derrames de mesas de basalto (Plioceno - Pleistoceno).
- Erosión y formación del aluvión y acción supergénica.

V. YACIMIENTOS MINERALES

V.I Geometría

Los yacimientos minerales del distrito de Santa Bárbara se encuentran emplazados en las rocas marinas del Mesozoico, que constituyen la Lutita Parral. Aparecen en forma de vetas que ocuparon las fracturas preexistentes, orientadas preferencialmente N-S, originadas por la deformación tectónica a la cual estuvo sujeta el área. El depósito es un ejemplo típico de relleno de cavidades por soluciones hidrotermales, siendo de la variedad de filones o vetas de fisura.

El yacimiento del distrito Santa Bárbara consiste en vetas de sulfuros que rellenan fracturas o fisuras en las rocas. En algunas ocasiones, las soluciones ascendentes reemplazan parcial o totalmente a la roca preexistente.

Se ha observado que las estructuras tienen formas tabulares; sus trazas, con respecto a un plano horizontal forman líneas casi rectas, en ocasiones las estructuras tienden a cambiar de rumbo y tener desprendimientos, también se ha llegado a la conclusión de clasificar a las vetas como de estructura simple y vetas de estructura compleja, variaciones debidas al fracturamiento provocado en la lutita que es la principal roca encajonante (Fig. 14).

Una definición de vetas simples o complejas es la que sugiere Scott (1958). Las estructuras simples son aquellas que no presentan complicaciones por desprendimiento o divisiones, causadas por "caballos" o acúñamientos de las rocas o por intersección de vetas, las cuales son comunes en las vetas clasificadas como de estructura compleja.

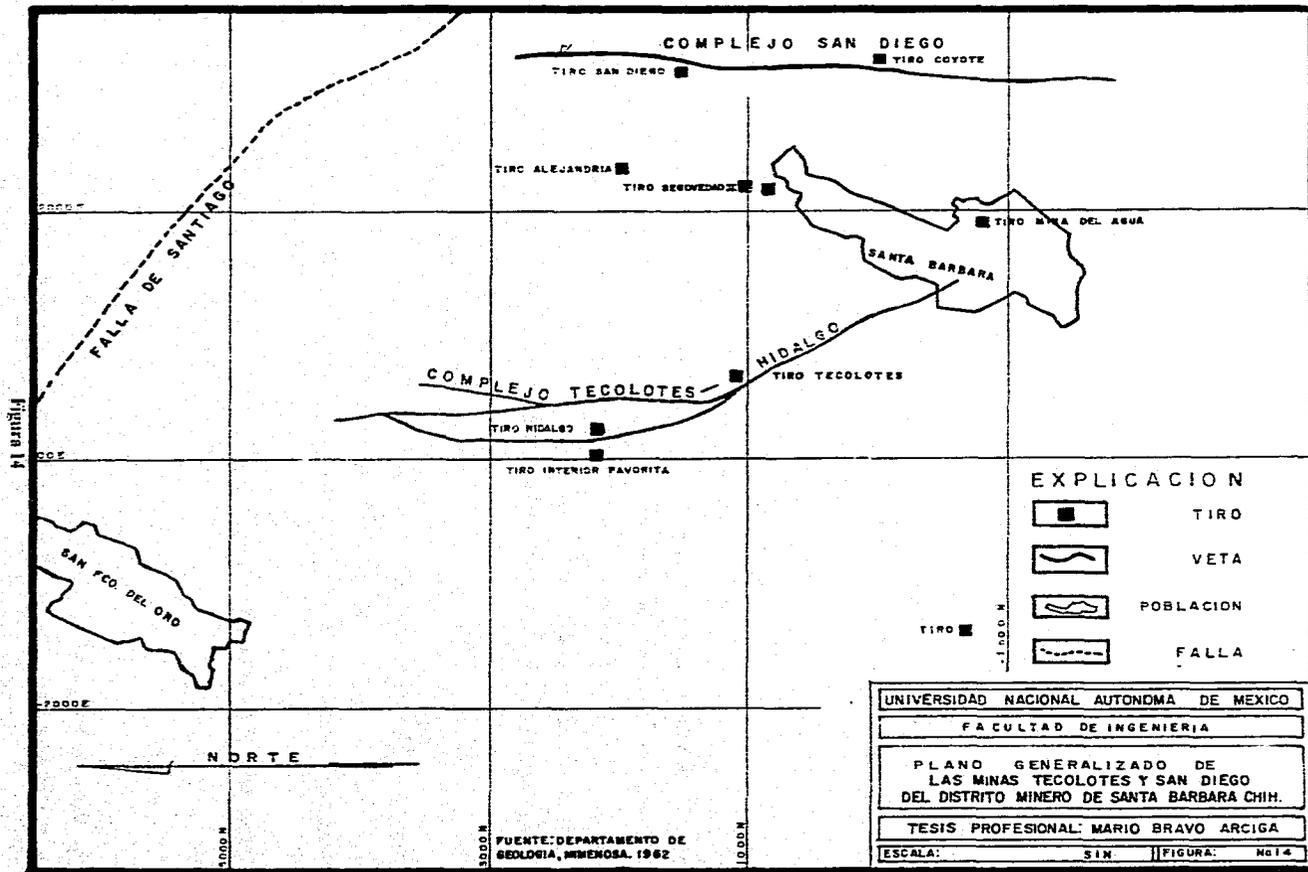
Dentro de los yacimientos de origen hidrotermal, los de este distrito se han clasificado como de dos tipos, de acuerdo con estudios de inclusiones fluidas (Álvarez, H., 1995 y Servicios Técnicos de exploración, 1982), que son:

Hipotermal o de alta temperatura (300° C - 500° C) y

Mesotermal o de temperatura moderada (200° C - 300° C).

Los depósitos de temperatura moderada son: de galena, esfalerita y calcopirita, que son las menas de plomo, zinc y cobre respectivamente.

La etapa de alta temperatura del yacimiento, se demuestra con la presencia de pirrotita y tremolita, asociada a la arsenopirita que sólo se presenta a más de 490° C y la presencia de granate que es característico de temperaturas elevadas, por lo anterior y la asociación mineralógica que se observa, se determina un yacimiento como de tipo hipotermal.



V.2 Mineralización, paragénesis y secuencia

La mineralogía a pesar de ser similar tanto en la mina Tecolotes como San Diego, se describirán a continuación por separado.

Los minerales primarios y secundarios, comunes en ambas minas, identificados son 17, los más comunes son el cuarzo y fluorita como ganga; los principales como menas de plomo, cobre y zinc son galena, calcopirita y esfalerita, respectivamente.

La distribución en orden de abundancia no es igual en todas las vetas, pero un promedio generalizado da el siguiente orden: esfalerita, galena y calcopirita.

Mina Tecolotes: Se compone de tres vetas, sin embargo en este trabajo únicamente se estudiaron las que están proyectadas para desarrollo en los tres años siguientes, con mineralización similar en cada una de ellas (Fig. 15), éstas son:

Veta Coyote-seca-palmar

Veta San Albino Cabrestante

Veta Bronces

Las muestras se tomaron de sur a norte y de los niveles superiores a inferiores, con un espaciamiento de 150 m entre cada muestra y sobre veta solamente; tomando en cuenta aspectos de alteración y cambio en contenido mineralógico, principalmente de sulfuros (Fig. 16).

Mineralogía: Para esto se describen los minerales que se encontraron, por su forma de presentarse, su abundancia y asociaciones. Para fines prácticos se dividieron en transparentes y opacos.

• Minerales transparentes

Cuarzo y calcita se presentan acompañando y cementando a los sulfuros, también rellenando espacios en la roca encajonante y a las brechas presentes.

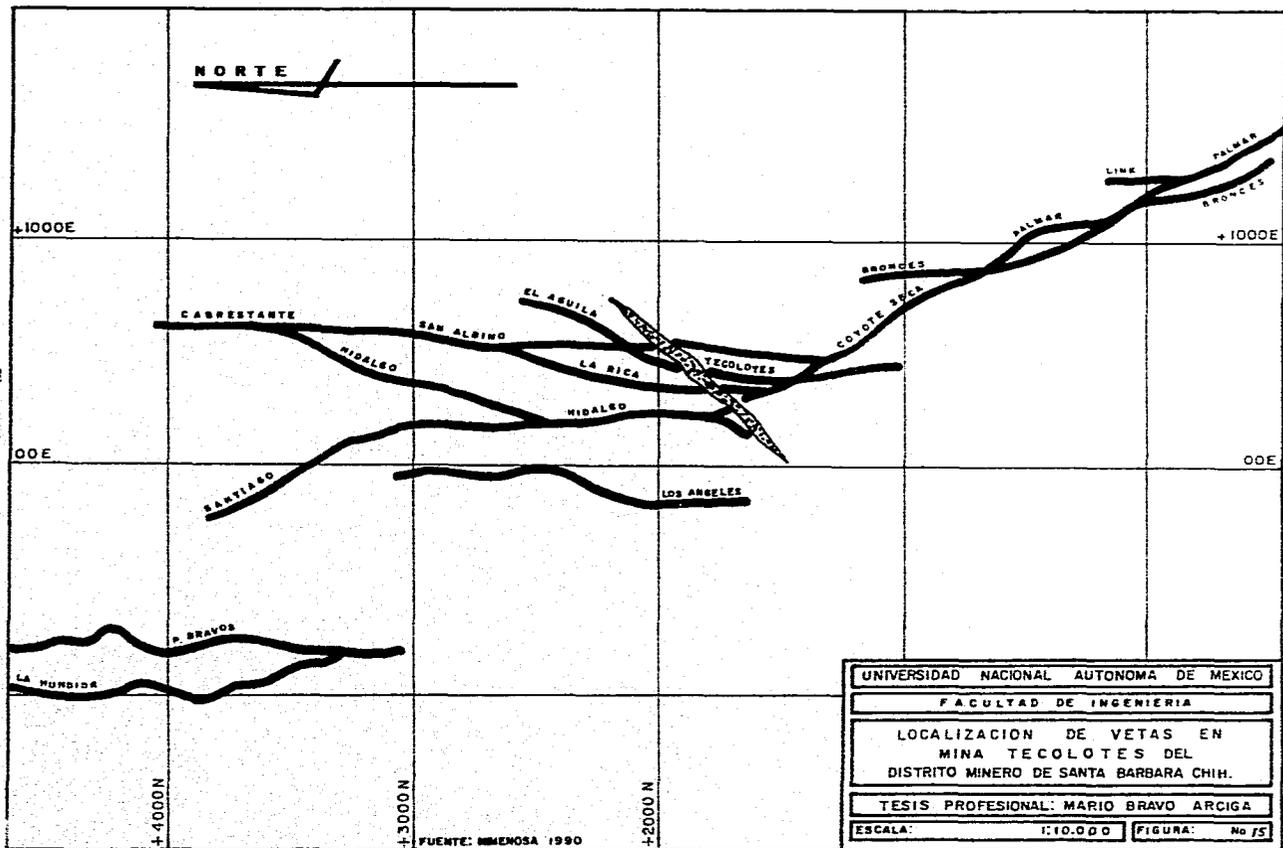
Epidota y clorita, son junto con otros silicatos, los que forman la alteración hidrotermal en las rocas encajonantes.

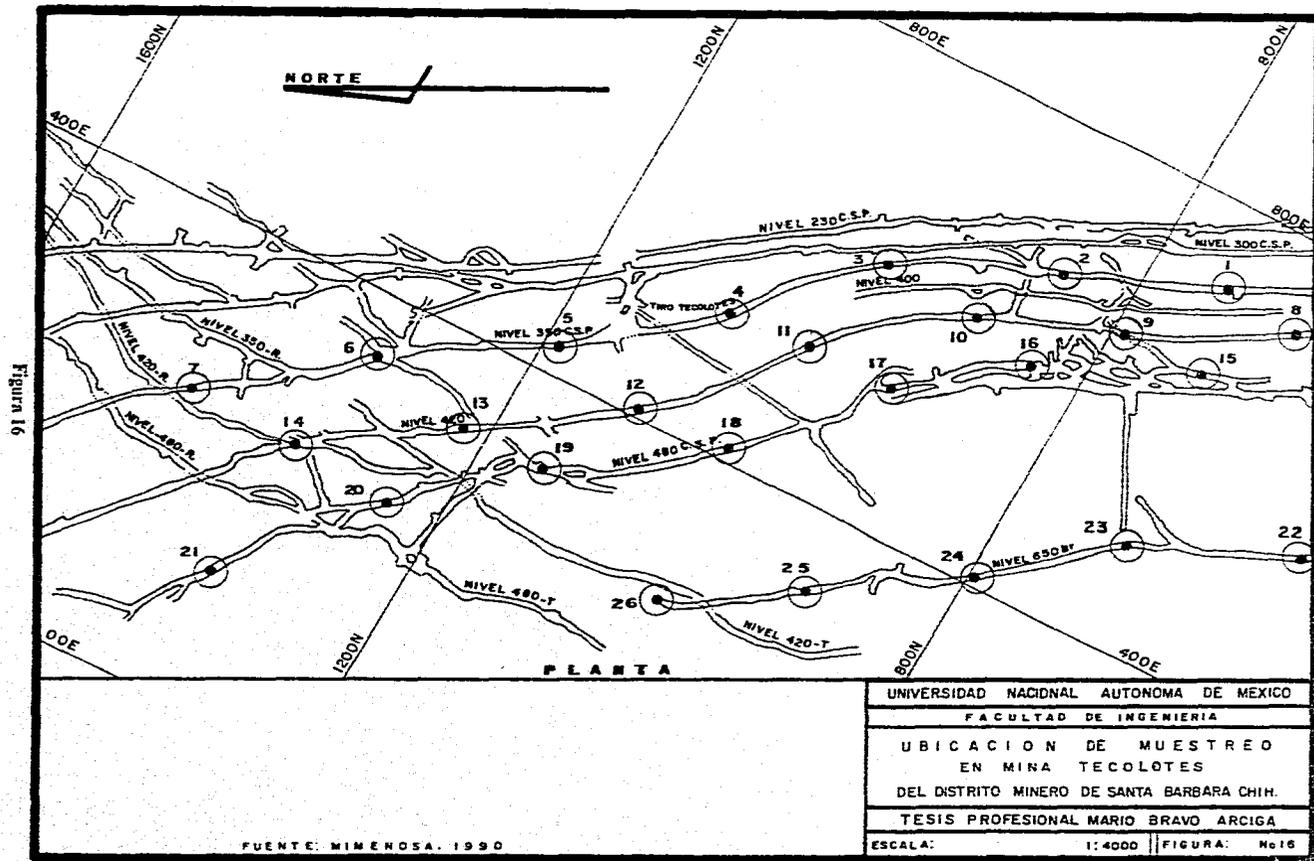
Tremolita ($\text{CaMg}_3\text{Si}_4\text{O}_{12}$) se encuentra asociada con el cuarzo, en cristales largos, columnares, con coloración grisácea.

• Minerales opacos

Pirita (FeS_2). Es el más abundante de los minerales opacos encontrados se presenta de diversas formas, tanto asociada a los demás sulfuros presentes, como libre rellenando fracturas y cementada con cuarzo, también se observa abundante en la roca encajonante, por lo general es

Figura 15





isotrópica, pero cuando se encuentra asociada con otro mineral (marcasita) y cuando tiene exceso de fierro presenta anisotropía anómala, observada en sección delgada.

Marcasita (FeS_2). Normalmente se forma como pirita de baja temperatura. El nombre de pirita de alta y pirita de baja temperatura se utiliza en la compañía MIMENOSA, para distinguir a la pirrotita y marcasita, respectivamente; esto es implantado por los estudios realizados por servicios Técnicos de Exploración de IMMSA en 1982. En la mina se observa en cristales subedrales y en agregados asociados con pirita de alta temperatura (pirrotita).

Pirrotita (FeS). Se presenta en poca cantidad, en agregados y en cristales hipidiomorfos, asociada a pirita, cuarzo y minerales de alta temperatura se encuentra un poco más abundante hacia el sur de la mina y a profundidad.

Arsenopirita (FeAsS). Es muy abundante a profundidad y hacia el sur. Generalmente está asociada con cuarzo, pirita, magnetita, calcopirita y muy escasamente con esfalerita, y se presenta en agregados granulares.

Ilvita ($\text{CaFe}_3, \text{Fe}_2, \text{O}(\text{Si}_2\text{O}_7) (\text{OH})$). Este mineral es, al igual que la arsenopirita, indicativo de alta temperatura. Se observa a profundidad, constantemente. Se presenta en cristales idiomorfos, asociada a calcopirita y galena, en agregados granulares, también asociada al oro.

Magnetita (Fe_3O_4). La magnetita se encuentra únicamente en fragmentos de roca brechada. Se presenta en forma de cristales idiomorfos a hipidiomorfos.

Calcopirita (CuFeS_2). La calcopirita se encuentra distribuida en toda la mina, tanto en cristales individuales idiomorfos a hipidiomorfos, éstos generalmente asociados con galena, pirita, cuarzo y a minerales de alta temperatura. Así como en masas alotriomorfas, asociada con esfalerita, galena, pirita, cuarzo y con inclusiones de tetraedrita, en ocasiones se observa alteración en los niveles superiores de calcopirita a calcocita, bomita y covelita.

Esfalerita (ZnS). Se presenta en agregados alotriomorfos asociada con calcopirita, galena, pirita y con microinclusiones de calcopirita y galena.

Galena (PbS). La galena se presenta de dos maneras, una en cristales hipidiomorfos asociada con pirita, calcopirita, ilvita y cuarzo; la otra en agregados alotriomorfos más abundante asociada con pirita, esfalerita, calcopirita y con inclusiones de argentita.

Tetraedrita ($\text{Cu,Fe,Ag})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$. Asociada con la calcopirita, con una fractura concoidea y en cristales astillosos de coloración gris oscura. Se encuentra como microinclusiones en calcopirita y galena. En lugares donde hay este mineral las leyes de Ag aumentan notablemente.

Plata nativa (Ag). Asociada con la galena, sólo que los cristales tienen forma arborescente, filiforme, y en partes donde se encuentra con poca oxidación el color es más oscuro, casi negro, que resalta bastante.

Bornita y covelita. Se observan únicamente en algunas muestras como alteración de la calcopirita.

Oro. Se encuentra asociado a pirita y cuarzo, en hilillos y agregados diseminados.

Hematita, principalmente se observa en la zona de oxidación y cerca de las fracturas en los niveles superiores.

Se han reportado sulfosales de plata (pirargirita - proustita); sin embargo, no se observaron en las muestras analizadas.

Marmatita (Zn, FeS). Se encuentra asociada con esfalerita, distinguiéndose de ésta por la coloración más negra, ya que la esfalerita es más café, también por la oxidación producida por alteración de Fe.

Para obtener cualquier tipo de zoneamiento es necesario conocer la secuencia de depósito de los minerales, con el objetivo de determinar la dirección de fluidos, así como también para interpretar la profundización de la mineralización; entonces, con el análisis microscópico de texturas y de relaciones intermineralógicas, se propone la siguiente tabla de secuencia genética.

Tabla de secuencia genética de las vetas en la mina Tecolotes.

MINERALOGÍA	BRECH. ROCA	ALTER.	SULFUROS	BRECH.	ESCASA MINER.
Magnetita	—				
Tremolita	—	—			
Cuarzo	—	—	—	—	—
Calcita			—	—	—
Arsenopirita		—			
Pirita		—	—	—	—
Pirrotita		—			
Ilvaita		—			
Galena		—	—	—	
Esfalerita		—	—	—	
Calcopirita		—	—	—	—
Argentita			—		
Tetraedrita			—		
Oro nativo		—	—		
Plata				—	
Fluorita				—	—
Barita				—	—

Abreviatura

BRECH.

ALTER.

MINER.

Significado

Brechamiento

Alteración

Mineralización

Como se pudo observar en la tabla de secuencia genética existen varias etapas de mineralización. Fue primero un aporte de cuarzo, tremolita y magnetita, en segundo término se presenta una fuerte presencia de minerales en forma de alteración, cantidades de cuarzo, arsenopirita, ilvaita, pirita, calcopirita y escasa galena, pirrotita y oro.

La secuencia continúa con un poco de calcopirita y galena, abundante cuarzo y con la mineralización fuerte de la veta, que consiste en calcita, pirita, galena, abundante esfalerita, calcopirita y escasas tetraedrita y oro.

El cuarzo se asocia a todos los minerales encontrados, la pirita igual, excepto a la tetraedrita. La calcita se asocia a todos, excepto al oro y la tetraedrita. Esfalerita, galena y calcopirita se asocian entre sí, además con pirita, cuarzo y calcita.

La calcopirita y galena presentan algunas inclusiones de argentita, que se distinguen por la coloración más negra, por lo que se determinó que son contemporáneas, no así la tetraedrita que es contemporánea únicamente a la calcopirita en la que se presenta como inclusiones.

Después de esto viene un brechamiento donde aparecen minerales de la etapa anterior, cementados por cuarzo, calcita, barita y fluorita; estos minerales son: arsenopirita, galena, calcopirita, esfalerita y plata.

Posteriormente, se desarrolla otra etapa que tiene escasa mineralización, sólo cuenta con cuarzo, calcita, pirita, trazas de calcopirita, fluorita y barita.

Zoneamiento: Este análisis detallado de la mayor cantidad de minerales de la mina Tecolotes, nos lleva a que los minerales de mayor abundancia en la mina ya mencionada son la calcopirita y esfalerita, los cuales disminuyen en cantidad hacia el norte donde se presenta la mayor cantidad de minerales de alta temperatura, tales como tremolita, arsenopirita y pirrotita.

La calcopirita así como la galena se encuentran distribuidas en la mayor parte de la mina Tecolotes. La galena es más abundante en los niveles superiores y hacia el sur.

Además se observó que cuando hay minerales de alta temperatura, se denota un empobrecimiento de calcopirita y galena.

Basado en lo anterior, la mineralización proviene, probablemente, de un intrusivo a profundidad y con dirección de norte a sur, porque el depósito de minerales de alta temperatura es hacia el norte, quedando los de baja temperatura hacia el sur.

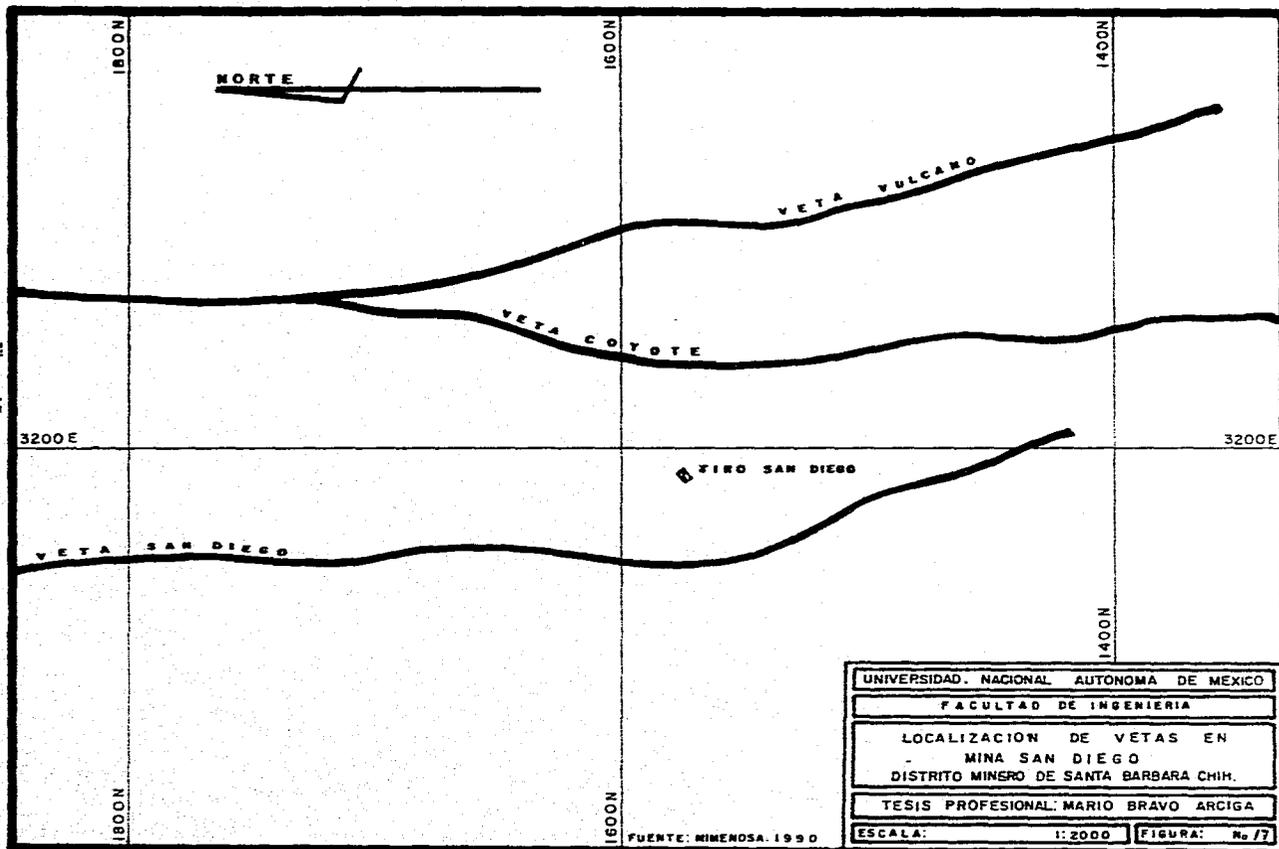
Mina San Diego: Se compone, principalmente, de tres vetas que son (Fig. 17):

Veta San Diego

Veta Vulcano

Veta Coyote

Figura 17



Al igual que en la mina Tecolotes, el muestreo se llevó a cabo sobre veta, considerando los cambios en cuanto a contenido de sulfuros, así como alteraciones. Las muestras se obtuvieron con un espaciado de 150 m, regularmente de sur a norte y de los niveles más superiores hacia los más profundos (Fig. 18).

Mineralogía: Al igual que en la mina Tecolotes se obtuvo una descripción de los minerales encontrados en las muestras. Por su forma de presentarse, abundancia, asociación y fines prácticos se dividieron en minerales transparentes (generalmente ganga) y minerales opacos (minerales metálicos).

* **Minerales transparentes:** Una gran variedad de minerales transparentes se identificaron en las muestras de mano observadas, presentándose los siguientes:

Cuarzo (SiO_2). Es el mineral de ganga más común en la mayoría de las muestras, hallado en masas irregulares asociadas a minerales metálicos y como parte de la composición de las rocas presentes como cementante, relleno de espacios de la roca encajonante y a las brechas presentes. Otro tipo de cuarzo aparentemente postmineral, se presenta en forma de vetillas o como enrejado cortando a la roca o mena.

Calcita (CaCO_3). Junto con el cuarzo son los minerales más abundantes y se presenta en forma de cristales laminares, asociada también a minerales metálicos o como parte de la composición de la roca encajonante. También se encuentra presente como calcita secundaria relleno de fracturillas o asociada con fluorita.

Fluorita (CaF_2). Es uno de los minerales que se encuentran con frecuencia en la mina San Diego, en ocasiones en pequeñas vetillas, relleno de fracturas o como grandes vetas asociadas al cuarzo, calcita, barita, producto de la depositación tardía y en su mayoría estéril. En ocasiones llega a reemplazar a la veta separando la veta en dos.

Barita (BaSO_4). Se llega a presentar como mineral de una depositación final tardía acompañando a la fluorita y calcita tardía por lo que en ciertos niveles de la mina puede llegarse a encontrar en forma masiva, asociada a minerales metálicos.

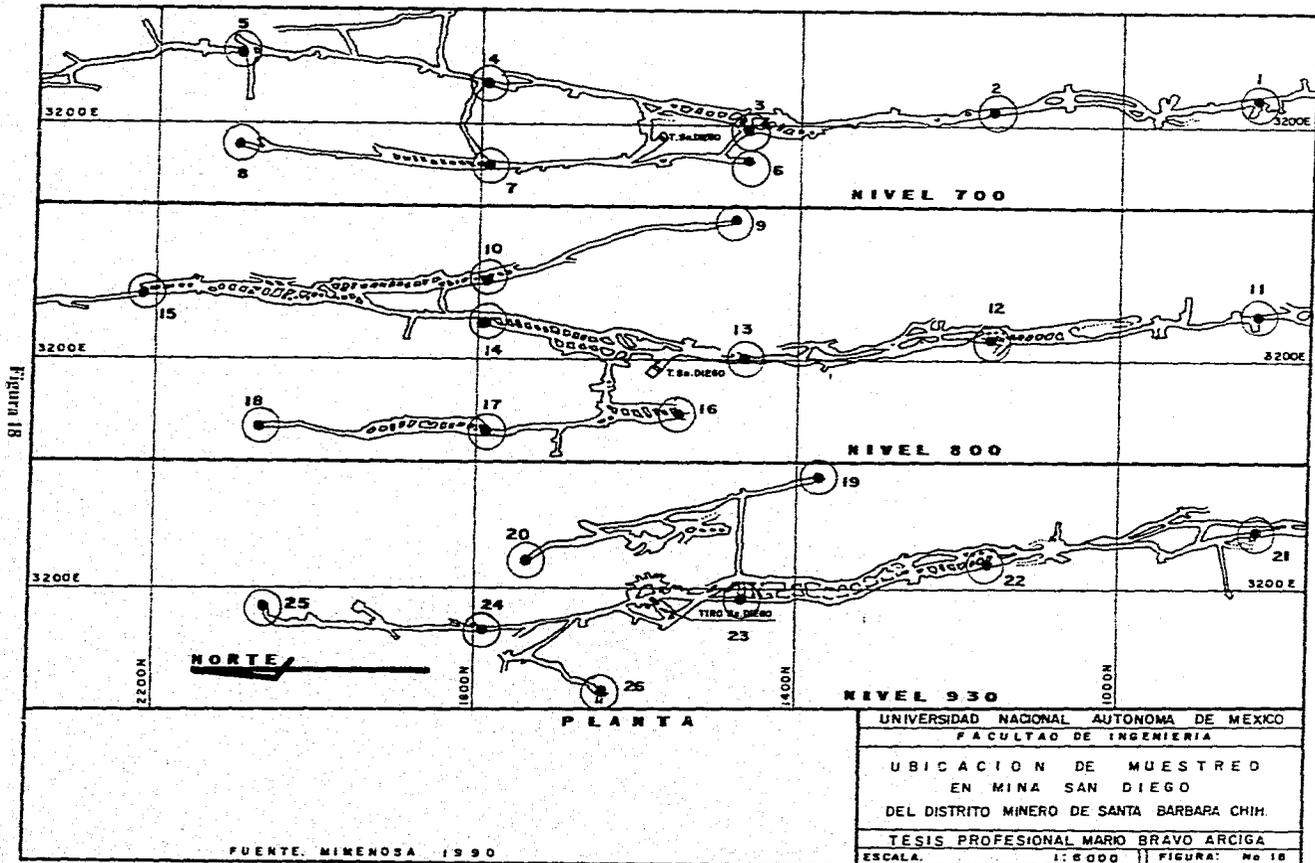
Granate ($(\text{SiO}_4)_3(\text{FeAl})_2\text{Ca}_3$). Su distribución se limita a ciertas rocas con tendencia a un metamorfismo de contacto cercano al intrusivo riolítico y están en forma de cristales eudrales a subdrales, presentando una textura maciza granular.

Tremolita ($\text{CaMg}_3\text{Si}_4\text{O}_{12}$). En cristales delgados, fibrosos y columnares, con coloración blanca oscura y en cristales de cuarzo aparecen diseminados.

También se identificaron una gran variedad de minerales transparentes en menor cantidad, por lo que únicamente se citan:

Epidota $(\text{SiO}_4)_3\text{Ca}(\text{AlFe})_2(\text{OH})$

Clorita $\text{Si}_3\text{O}_{10}\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{OH})_4$



Sericita $\text{Si}_3\text{O}_{10}\text{KAl}_3(\text{OH})_2$

Adularia KAlSi_3O_8

- **Minerales opacos:** Se detallan cada uno de los minerales metálicos (opacos) presentes en la mina.

Esfalerita ZnS . Se presenta masivamente en forma de bandeamiento, al parecer muestra reflejos internos rojizos, por lo que la variedad de la especie de Zn es de esfalerita a marmatita. La esfalerita llega a mostrar una gran cantidad de exsoluciones e inclusiones de calcopirita, derivadas de una segunda pulsación del cobre y deposición tardía. La esfalerita frecuentemente está asociada con calcopirita y galena, se encuentra reemplazando a la calcopirita o viceversa. Las inclusiones de calcopirita que están en la esfalerita se observan con galena asociada. La esfalerita reemplaza a la galena a través de sus bordes, que es indicativo de una etapa posterior. Al mismo tiempo, se observa esfalerita asociada con marcasita y hematita.

Calcopirita CuFeS_2 . Se encuentra presente en forma masiva en grandes cristales y en forma de relleno de fracturas, se observan algunos cristales aislados y sin relación alguna con otros sulfuros únicamente en la matriz de cuarzo.

La calcopirita está reemplazando a la esfalerita lo que indica que tuvo varias etapas de deposición. Dentro de las inclusiones de calcopirita que se observan en la esfalerita se presentan asociadas a galena.

Galena PbS . Está en grandes cristales formando placas xenomórficas, se encuentra fuertemente asociada con esfalerita y calcopirita. En otra, la esfalerita está sustituyendo a la galena como producto de una deposición posterior del Zn. Lo mismo sucede con la galena que engloba a la esfalerita casi en su totalidad, quedando únicamente como grandes inclusiones.

La galena se presenta reemplazando a la calcopirita, por lo que indica que la calcopirita fue de los primeros minerales en depositarse, en ocasiones la calcopirita se depositó como inclusión en la galena en la segunda pulsación del cobre.

Marcasita FeS_2 . Se encuentra en grandes cristales asociada con esfalerita que la reemplaza.

Arsenopirita FeAsS . Se encuentra en agregados granulares y generalmente asociada con cuarzo, pirita, magnetita, calcopirita y, en ocasiones, esfalerita.

Pirargirita $3\text{Ag}_2\text{S Sb}_2\text{S}_3$. Asociada con la plata nativa y la galena, también con la tetraedrita; se presenta con una coloración negra, muy brillante, pues el lustre es metálico y de formas arcillosas.

Tetraedrita $3\text{Cu}_2\text{S Sb}_2\text{S}_3$. Asociada con la calcopirita y fractura concoidea, además los cristales son astillosos grises y muy oscuros, tendiendo a negros.

Plata Ag . Asociada con la galena, de aspectos arborescentes, filiformes.

Pirita FeS_2 . Únicamente en cristales aislados y en forma esporádica. Como trazas la pirita se asocia con la calcopirita.

Hematita Fe_2O_3 . Se observan cristales en forma esquelética. A veces los cristales de magnetita, hematita en la matriz de cuarzo sin relacionarse con otros sulfuros se asocia en forma no representativa a la hematita con esfalerita.

Pirrotita Fe_3O_4 . Comienza a aparecer en forma asociada con calcopirita y está a la vez incluida en esfalerita, lo cual indica una temperatura intermedia.

Bornita y covelita. Se observan solamente como alteración de la calcopirita.

Oro nativo Au . Está asociado con la pirita. A parte de la hematita y la pirrotita, se observan goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$), limonita ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) y zincita (ZnO) en los niveles más superiores.

En términos generales en orden de mayor a menor proporción se observan los siguientes minerales pirita, esfalerita - marmatita, calcopirita, marcasita, arsenopirita, galena, pirrotita, hematita y fluorita.

Los siguientes minerales están citados en orden de relativa abundancia reconocidos o identificados en el estudio.

a) **Minerales opacos hipogénicos.** Esfalerita - marmatita, galena, calcopirita, pirita, marcasita, arsenopirita, pirrotita, tetraedrita, argentita, pirargirita, oro nativo, magnetita.

b) **Minerales de enriquecimiento supergénico.** Bornita, calcosita, covelita.

c) **Minerales de la zona de oxidación.** Goethita, hematita, limonita, posible zincita.

d) **Minerales transparentes.** Cuarzo, calcita, fluorita, granates, epidota, adularia, clorita, actinolita, barita, illita y sericita.

Con base en los minerales presentes y de acuerdo con la textura que presentan, así como sus relaciones intermineralógicas se propone la siguiente tabla de secuencia genética.

Tabla de secuencia genética de las vetas en la mina San Diego.

MINERAL	BRECHAMIENTO ROCA	ETAPA DE SULFUROS	BRECHAMIENTO	SULFOSALES	ENRIQUEC. OXIDOS
Ilvaita		██████████			
Cuarzo	██████████	██████████ ██████████	██████████	██████████	
Tremolita	██████████	██████████ ██████████			
Pirita		██████████ ██████████			
Magnetita		██████████			
Arsenopirita		██████████ ██████████	██████████		
Pirrotita		██████████			
Esfalerita		██████████ ██████████			
Galena		██████████ ██████████	██████████		
Calcopirita		██████████ ██████████	██████████		
Marcasita		██████████			
Argentita		██████████		██████████	
Oro nativo		██████████			
Tetraedrita				██████████	
Pirargirita				██████████	
Plata			██████████		
Calcita			██████████	██████████	██████████
Fluorita			██████████	██████████	
Barita			██████████	██████████	
Covelita					██████████
Calcosita					██████████
Bornita					██████████
Hematita					██████████

Primero fue un brechamiento en la roca con aporte de algunos silicatos, así como tremolita; el cuarzo fue intermitente casi en todas las etapas. Después se depositó pirita en cantidades variables y cuando menos hubo dos pulsaciones después de este mineral. La magnetita aparece en escasa proporción, y posteriormente el brechamiento. Comienza a aparecer la arsenopirita en buena cantidad y con diferentes pulsaciones, y en menor cantidad empieza a aparecer cuarzo, pirita, calcopirita y trazas de esfalerita, galena y pirrotita.

La secuencia continúa con una gran cantidad de cuarzo y con la mineralización fuerte de las vetas, que consiste en esfalerita masiva y antes de terminar su depositación vino la primera generación de calcopirita, la segunda se depositó cuando inició la galena y la etapa sigue aportando pirita, escasa tetraedrita y oro nativo.

La galena llega a depositarse en gran cantidad. Se observan inclusiones de argentita en la galena, por lo que se determinó que son contemporáneas. Comienza a presentarse un nuevo brechamiento al término de los sulfuros y al principio de la etapa de sulfosales con la tetraedrita argentífera, y llega a depositarse tanto en esfalerita como en calcopirita siendo contemporánea únicamente la calcopirita. La pirargirita se llega a depositar tanto en el cuarzo y galena al finalizar la etapa de depositación de los sulfuros; empieza a aparecer la calcita, fluorita y barita de una última etapa y depositación tardía con valores estériles, que posteriormente siguen presentándose en etapas.

Viene otra etapa de enriquecimiento y oxidación con la presencia de covelita, calcocita, abundante hematita y alteración a partir de plomo como cerusita.

Zoneamiento: En sentido vertical no se observa alguna variación sistemática de intercrecimiento o disminución de minerales, exceptuando la variación clásica de la zona de óxidos que profundiza en promedio 100 m de la superficie, con enriquecimiento supergénico presentada por calcocita, bornita con algo de covelita y cerusita.

Horizontalmente sí existe una variación de minerales gobernada por la posición de minerales de alta temperatura como pirrotita, calcopirita, pirrotita, arsenopirita, tremolita e ilvaíta hacia el norte, así como minerales de baja temperatura como marcasita, esfalerita (sin exsoluciones o inclusiones de calcopirita) y galena conforme se va al sur.

La mayor parte de los minerales en las vetas son esfalerita, galena y calcopirita, la galena es más abundante en los niveles superiores y hacia el sur.

Dentro de los minerales considerados como sulfosales (cobres grises) se encuentran en zonas de más baja temperatura, por lo que hacia el norte tienden a no estar presentes, aunada a las relaciones texturales tienen que ser de etapas posteriores de menor temperatura y su transporte se llevó a cabo por zonas de debilidad, por el intrusivo y el contacto de las rocas sedimentarias.

La mineralización proviene, probablemente, de un intrusivo a profundidad y con dirección de norte a sur, como lo demuestran ciertos minerales y su relación entre sí; también, se tiene un incremento a mayor profundidad de esfalerita-marmatita, con mayor cantidad de exsoluciones de cobre, de igual manera se incrementa la arsenopirita y pirrotita, con disminución de galeua.

V.3 Alteraciones

La alteración de la roca encajonante en este distrito fue afectada por tres etapas de mineralización, los minerales que se observan en la alteración de la roca encajonante corresponden a los de propilitización, silicificación y piritización.

La propilitización en el área consiste en epidota, clorita, calcita y pirita. La epidota se encuentra ampliamente distribuida en el contacto de las vetas. La calcita se presenta en débiles hilillos junto a la epidota, la pirita es introducida por medio de pequeñas fracturas.

La silicificación, que es el proceso de adición de sílice a la roca encajonante, es muy común en todo el distrito, siendo observable solamente en los contactos de la lutita con alguna estructura mineral.

La piritización consiste en la presencia de pirita en la roca encajonante en forma disseminada o rellenando pequeñas fracturas, aunque en ocasiones es difícil distinguirla de la pirita singenética de las lutitas.

El uso de la alteración para el estudio de las vetas perdidas por desplazamiento o vetas ciegas es restringido, pues las zonas de alteración son generalmente reducidas, aunque en algunas vetas como Coyote - seca - palmar - Bronces, la propilitización y silicificación alcanzaron más de 100 m de ancho.

Alteración de las vetas: La primera etapa de mineralización afectó principalmente a la roca encajonante.

La segunda etapa es de más alta temperatura, afectó tanto a la roca encajonante como a las vetas, aunque la roca encajonante fue más silicificada; en las vetas de sulfuros, el zinc, plomo y cobre, fueron diluidos por el cuarzo, el cual tenía alta temperatura y reaccionó con los sulfuros (Álvarez H., Enrique, 1995).

La tercera etapa de mineralización afectó a los silicatos formados por la segunda etapa, pero algunos cristales de actinolita y cuarzo fueron afectados por la acción de fluidos cargados de ácido fluorhídrico; también, la ortoclasa de algunas vetas es alterada por fluidos de esta etapa.

VI. OBRAS MINERAS

VI.1 Método de minado

En el distrito Santa Bárbara se siguen cuatro diferentes métodos de minado, cada uno de estos sistemas se aplican tomando en cuenta las características estructurales que presenta cada veta, además se tienen intervalos de dilución y porcentaje que se pueden producir de cada uno de éstos, se puede observar en la siguiente tabla:

MINADO	ANCHO (m)	ECHADO	% DILUCIÓN	% PRODUC.
Tumbe sobre carga (Fig. 19)	$1.00 < a < 1.50$	$65^\circ < \alpha < 80^\circ$	0	33
Bancos descendentes (Fig. 20)	$1.50 < a < 3.50$	$35^\circ < \alpha < 60^\circ$	8	100
Corte y relleno hidráulico con jal (Fig. 21)	$1.00 < a < 1.80$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	5	100
Barrenación larga (Fig. 22)	$2.50 < a$	$70^\circ < \alpha$	15	100

Las frentes de exploración y servicios para mina se hacen en dimensiones de tres metros de ancho por 3 metros de alto.

VI.2. Leyes y tonelaje

Actualmente se acarrearán 1 289 toneladas diarias del complejo Tecolotes y 1 493 toneladas al día del complejo San Diego.

El mineral del complejo Tecolotes es acarreado por medio de camiones de 20 toneladas. Mientras que el mineral del complejo San Diego es acarreado por medio de "trolley" hasta la tolva de gruesos.

Y la forma de obtener el concentrado en forma generalizada es la siguiente: el mineral extraído de las diferentes minas debe llegar con un tamaño máximo de 6" y con una humedad de 3.5.

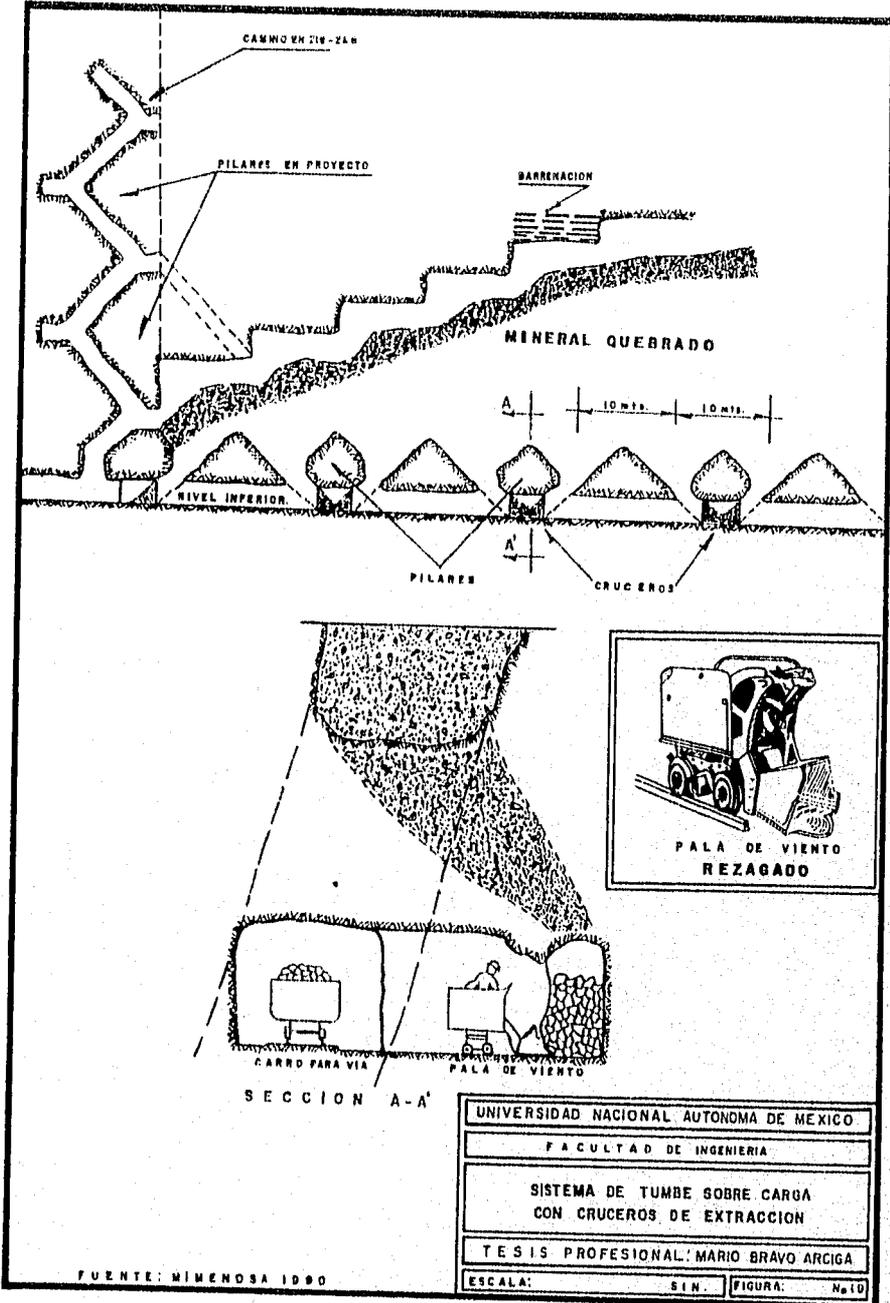
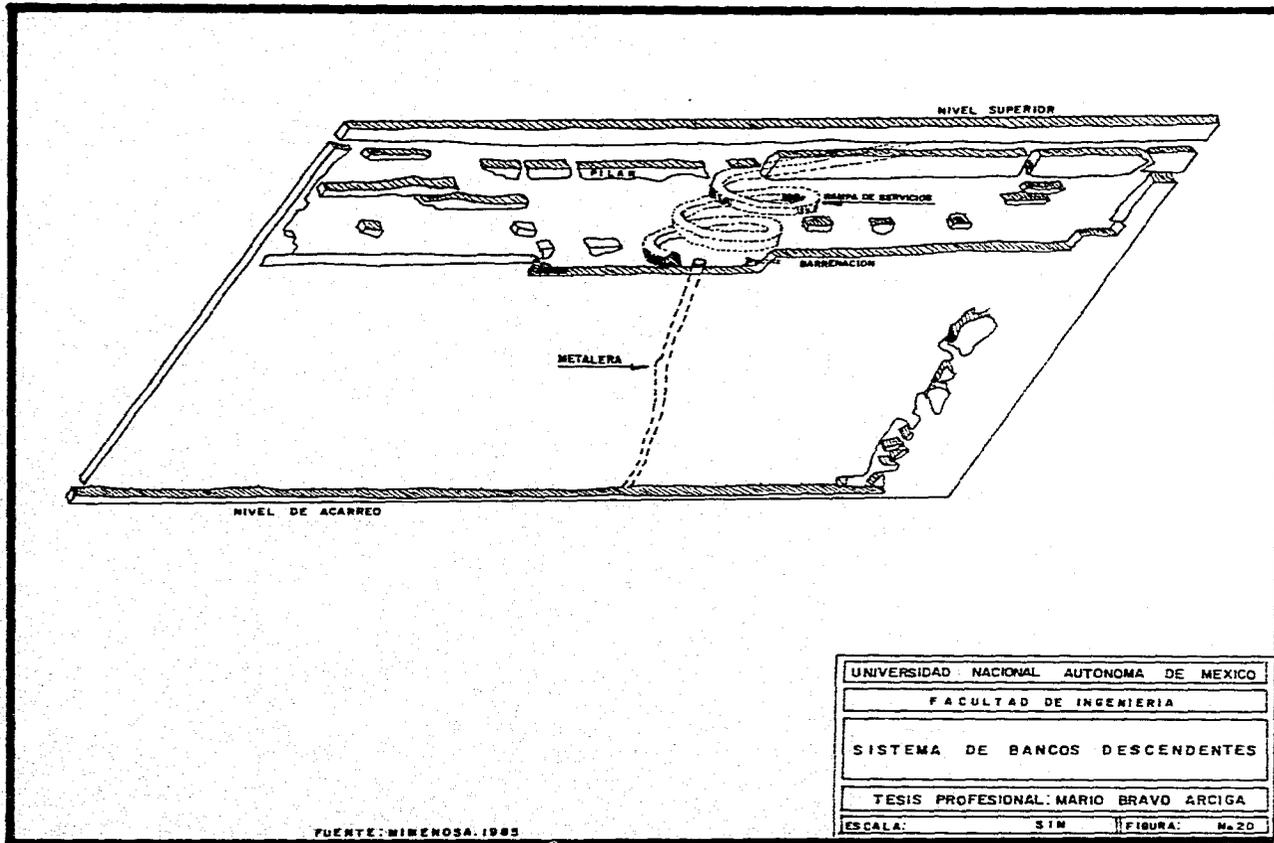


Figura 19

Figura 20



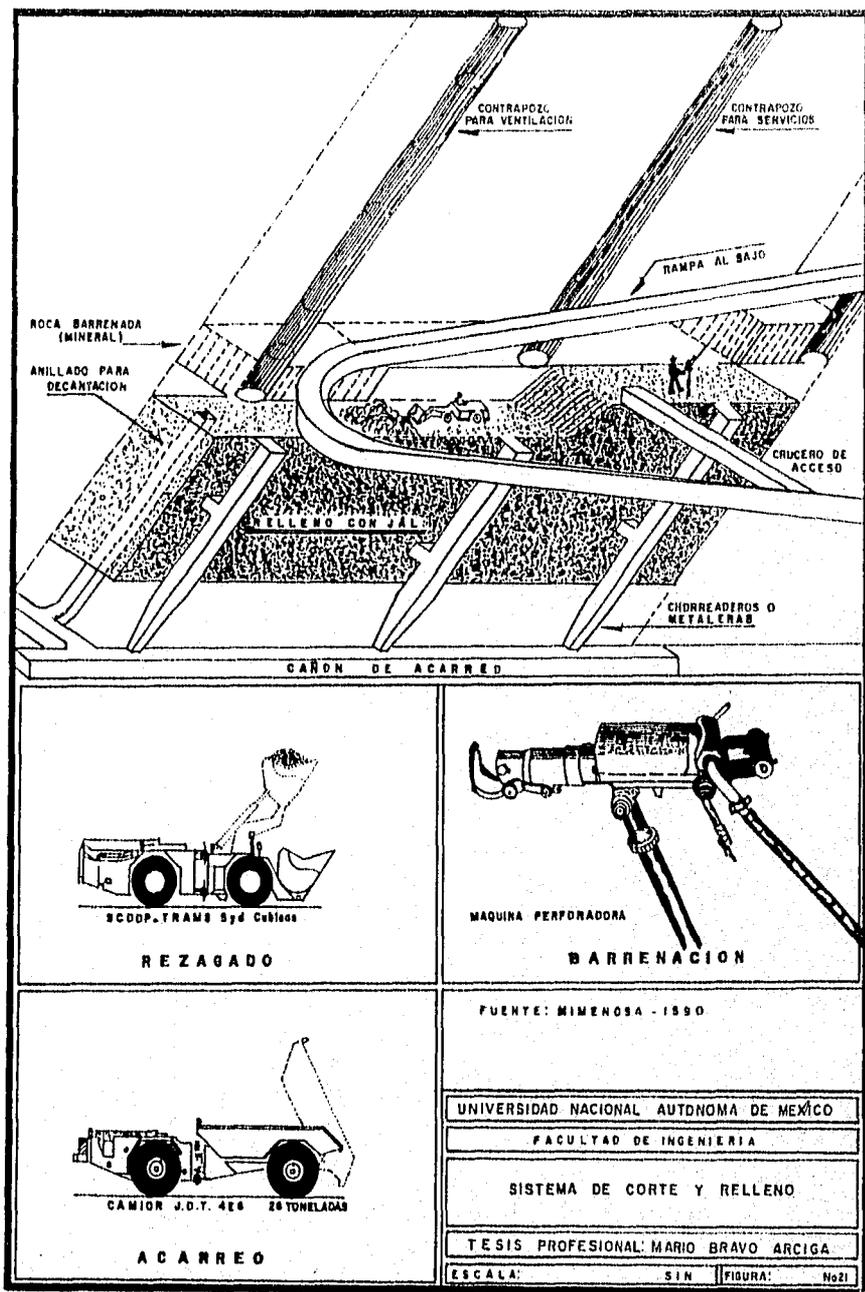
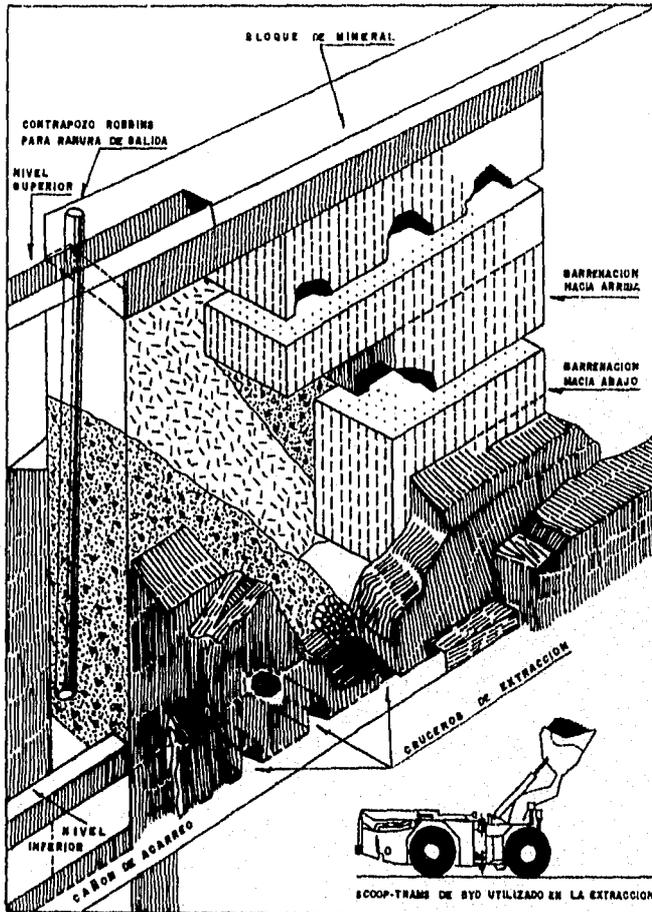


Figura 21



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
FACULTAD DE INGENIERIA	
SISTEMA DE BARRENACION LARGA	
TESIS PROFESIONAL: MARIO BRAVO ARCIGA	
ESCALA:	SIN
FIGURA:	No 22

FUENTE: MIMENOSA, 1985

Figura 22

Posteriormente se continúa un proceso de quebrado hasta alcanzar un tamaño de 1/2"; después pasa al área de molinos, que consiste en lo que se conoce como molino de bolas, el cual reduce el material hasta 1/32"; después, las arenas del ciclón pasan a una celda de flotación tipo flash, donde se hace una flotación de plomo grueso evitando sea remolido, lo no flotado retorna al molino cerrándose así el circuito de molienda. Lo que flota la celda flash se manda a la separación plomo - cobre por medio de una banda galighier, donde se obtiene una pulpa acondicionada que es mandada por gravedad a un banco de doce celdas, las primeras seis celdas trabajan como primarios flotando el cobre y deprimiendo el plomo. Las colas del agotativo plomo - cobre pasan por gravedad para ser bombeadas a un cajón repartidor que alimenta el tanque acondicionador de zinc, que trabaja por medio de celdas hasta obtener el agotativo de zinc. El concentrado de zinc es mandado a un tanque espesador que lo descarga a una tina de filtro y se obtiene el producto ya filtrado con un porcentaje de humedad del 9%, pasa a través de dos bandas al patio de embarque de concentrado, de la misma forma salen el concentrado de plomo y cobre. Las leyes que se tienen planeadas dependen del comportamiento físico y químico de las vetas, aparte del tipo de minado que se esté realizando, ya que uno de los trabajos del geólogo es que se controle, lo más posible, la dilución del mineral y son de:

MINA	Au	Ag	Pb	Cu	Zn
Tecolotes	0.45	114	1.92	0.46	2.67
San Diego	0.32	115	2.36	0.71	5.15

Actualmente se tienen problemas en cuanto a la recuperación de plomo - zinc, por la asociación con fierro, dicha recuperación es del 70% solamente.

VI.3 Reservas

Las reservas se dividen de acuerdo con su grado de confiabilidad y disponibilidad en: mineral explotable y mineral de interés.

a) Mineral explotable

El mineral explotable es aquel económicamente aprovechable, que por su grado de confiabilidad será utilizado en la planeación de la producción a corto y largo plazo, así como en los estudios de viabilidad de proyectos y expansiones. Este mineral se divide en: positivo, probable, quebrado y marginal, con las siguientes características en cada uno de ellos:

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

- **Positivo.** Es aquel mineral para el cual hay suficiente información a intervalos relativamente cortos, y para el que el carácter geológico es tan bien definido que el tamaño, la forma y el contenido de la mena, se supone, tiene una confiabilidad de 85% o más; esto es, que debe estar determinado, en todos los casos, mediante obras directas en sentido horizontal, más obras en sentido vertical o barrenación de diamante, donde sus separaciones están determinadas por las características geológicas del cuerpo en estudio.
- **Probable.** Es el mineral para el que el tonelaje y las leyes de la mena se estima en parte de medidas y muestreos específicos, también en parte de proyecciones a distancias razonables con base en evidencias geológicas, con una probabilidad estimada de continuidad, forma y contenido de la mena de 70 al 85%; en este caso, será suficiente la barrenación de diamante para cuantificar un bloque, siempre y cuando ésta no tenga una separación mayor de 30 m.
- **Quebrado.** Es aquel mineral que ya se encuentra en tal condición al estimar las reservas. Se supone que debe de guardar la misma confiabilidad que el Positivo. De no haber esa condición deberá listarse como "rebajas antiguos" bajo el mineral de interés.
- **Marginal.** Mineral que en el momento del cálculo de reservas se encuentra en preparación o explotación, por ser económico bajo las condiciones actuales, aunque no lo sea considerando las cotizaciones y costos establecidos para las reservas en general.

Para calcular el área de interés en los minerales explotables se debe de realizar lo siguiente:

El criterio que se debe seguir en la estimación de reservas es el de obtener resultados positivos, se deben considerar tonelajes y leyes estimadas para el área de estudio.

Por consiguiente es necesario considerar conjuntamente los siguientes factores, así como otros que puedan surgir, para obtener la información deseada.

- Resultados de los muestreos, barrenos y demás obras.
- Factores de corrección de muestreo.
- Leyes de producción ajustadas a las cabezas del molino.
- Alteraciones, intemperizaciones y consistencias de los cuerpos y rocas encajonantes.
- Densidad del mineral *in situ* y quebrado.
- Cantidad y leyes de la roca diluyente.

b) Mineral de interés

Se considera como mineral de interés al que puede existir en las áreas que requieren estudio, exploración, desarrollo, o bien, que puedan pasar a la categoría de mineral explotable por un simple aumento en los precios de los metales o disminución en los costos. El mineral de interés se divide en: medido, indicado, pilares, inaccesible, cuerpos angostos e inferidos.

- **Medido.** Es aquel mineral que en su determinación llena los mismos requisitos de confiabilidad que el Positivo, pero que no es costeable su explotación debido a su baja ley o alto costo de minado. Este mineral deberá incluir la dilución correspondiente, porque su cálculo se debe manejar como el de un Positivo. Debido a que estos bloques se localizan en zonas ya desarrolladas de la mina es permitido cubrir únicamente los costos directos de mina y molino para ser considerados.
- **Indicado.** Es el mineral que su determinación llena los mismos requisitos de confiabilidad que el Probable, pero su explotación no es costeable debido a la baja ley o a su alto costo de minado. Este mineral deberá incluir la dilución correspondiente, ya que su cálculo debe manejarse como el de un Probable. Por la localización de estos bloques en zonas ya desarrolladas de la mina, se les permite cubrir sólo los costos directos de mina y molino para ser considerados.
- **Pilares.** Tiene las mismas características del Positivo, pero su explotación está diferida por el tiempo de operación de la mina, con el fin de conservar su estabilidad. No deben incluirse los pilares que definitivamente se sabe serán explotables, como son los tiros, pilares en rebajes de corte y rellene, entre otros. En este caso no se considerará dilución y el mineral bloqueado deberá pagar, como mínimo, el 100% de los costos totales de operación.
- **Inaccesible.** Son aquellos bloques de mineral aislados en zonas ya desarrolladas o minadas, que han quedado inaccesibles a través del tiempo, requiriendo obras especiales para su explotación. Este tipo de mineral deberá tener las mismas características de un Positivo o Probable; por lo tanto, deberá incluir la dilución correspondiente y pagar como mínimo el 100% de los costos totales de operación.
- **Cuerpos angostos.** Mineral de ley alta que reúne las mismas características del Positivo o Probable, sin embargo sus estructuras tienen un ancho menor de 1 m. El ancho mínimo considerado se fijará, en cada caso, de acuerdo con el sistema de explotación por aplicar, y a sus costos totales de operación. También, se deberá incluir la dilución y el mineral bloqueado deberá pagar como mínimo el 100% de los costos totales de operación.
- **Inferido.** Es aquel que se infiere principalmente de amplios conocimientos de carácter geológico del depósito, y para el cual hay poca o ninguna información derivada de muestreos y barrenos. Por eso, no se considera dilución y el mineral bloqueado deberá pagar como mínimo el 100% de los costos totales de operación.

CONCLUSIONES

1. La zona de estudio se encuentra dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental, geomorfológicamente se puede considerar con un tipo de montañas complejas y una hidrografía de tipo dendrítico.
2. Estratigráficamente en la zona se tiene la Lutita Parral (Aptiano Superior - Albiano Inferior), que es la más antigua en la sección estratigráfica compuesta por lutitas arcillosas, aflorando en la mayor parte del distrito, continuando con la Formación Indidura (Cenomaniano Superior - Turoniano Inferior) formada por intercalaciones de caliza y lutita; más arriba hay andesitas, riolitas, brechas y conglomerados, para terminar con derrames de basalto con edades del Mioceno. Toda esta sección está afectada por diques de diversa composición (riolíticos, dioríticos y basálticos) con edades del Mioceno - Plioceno.
3. Considerando que la región forma parte de un anticlinorio con eje NO62°SE se puede deducir que los esfuerzos compresionales que lo ocasionaron actuaron con dirección NO-SE. Las modificaciones en algunas zonas, en cuanto a los rasgos estructurales, se deben al emplazamiento de un intrusivo de forma elíptica.
4. Históricamente se tuvieron diferentes eventos en el distrito, tales como la deposición de la Lutita Parral (Aptiano-Albiano), posteriormente el depósito de la Formación Indidura (Cenomaniano), a continuación ambos depósitos sufrieron los efectos de la Orogenia Laramide (Cretácico Superior-Terciario Inferior), en seguida se tuvo una elevación de la región provocando erosión en ambos depósitos (fines del Cretácico), ya para el Eoceno extrusionó la andesita y se emplazó un intrusivo provocando la mineralización de la región para terminar con emplazamientos de diques máficos, derrames de basalto (Plioceno-Pleistoceno), erosión y formación de aluvión por acción supergénica (Holoceno).
5. Las estructuras tienen formas tabulares, siendo ejemplo de relleno de cavidades por soluciones hidrotermales formando líneas casi rectas y horizontales con orientación norte-sur, preferentemente. Por lo que se puede clasificar al yacimiento como de tipo hidrotermal.
6. Dentro de los minerales de mayor importancia económica se tienen: Esfalerita, galena y calcopirita.
7. La calcopirita puede contener especies mineralógicas de plata, principalmente tetraedrita.
8. Se puede concluir que la mineralización proviene de las soluciones mineralizantes ascendentes, cuya fuente de calor se localiza al norte del distrito.
9. Las principales alteraciones que se tienen en ambas minas son: propilitización, silicificación y piritización. Siendo la silicificación la más común en el distrito.

10. De acuerdo con la posible fuente de calor al norte del distrito, se propone exploración hacia esta área con miras a generar reservas.

BIBLIOGRAFÍA

- ALATORRE, C. A., *Geología de la porción centro oriental del estado de Chihuahua*. Consejo de Recursos Minerales, México, 1975.
- ÁLVAREZ H., Enrique, *Estudio de la caracterización mineralógica realizado a las vetas Coyote y Vulcano de la mina San Diego, unidad Santa Bárbara, Chihuahua*. México, 1995.
- ARANDA García, Mario, *Reactivación Cenozoica del lineamiento Shafter, en la porción norte del estado de Chihuahua* (res.), 10a. convención Geológica Nacional. Sociedad geológica Mexicana, GEOIDE, IGAMSA, México, 1990.
- ATWATER, Tanya, *Implications of plate tectonics for the Cenozoic tectonic evolution of western North America*, Geological Society of America Bulletin, Vol. 81, USA, 1970.
- BRIDGES, Luther W. II, *Geología del área de Plomosas, Chihuahua*. Instituto de Geología, UNAM, boletín 74, México, 1966.
- CAMPA, María Fernanda y Coney J., Peter, *Tectonic stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico*, Canadian Journal of Earth Sciences, Vol. 20, No. 4-6, Canadá, 1983.
- CLENDENIN P., Thomas, *Comentario sobre la geología de la unidad Santa Bárbara, Chihuahua*, reporte privado, El Paso, Texas, USA, 1972.
- DAMON, E., Paul, *Evolución de los arcos magmáticos en México y su relación con la metalogénesis*, revista del Instituto de Geología, Vol. 5, No. 2, México, 1981 (1984).
- DANA Salibury, Edward y Ford E., William, *Tratado de mineralogía*, Cia. Editorial Continental, S.A. de C.V., México, 1969.
- DEL ARENAL C., Rodolfo, *Estudio geológico para la localización de yacimientos de carbón en el área de Ojinaga-San Carlos, estado de Chihuahua, México*, boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Vol. XVI, México, 1964.
- DEMANT, A. y Robin, C., *Las fases del vulcanismo en México, una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el Cretácico*, revista del Instituto de Geología, UNAM, México, 1975.
- ESCANDÓN V., Francisco, *Notas sobre la geología y los yacimientos minerales del área de Santa Bárbara-San Francisco del Oro, estado de Chihuahua*. Consejo de Recursos Minerales, México, 1968.
- FLAWN, Peter T. y Díaz G., Teodoro, *Problems of Paleozoic tectonics in North-Central and Northeastern Mexico*, American Association of Petroleum Geologists bulletin, Vol. 43, part 1, ene.-jun., USA, 1959.

- GONZÁLEZ Reina, Genaro., *Memoria Geológico-minera del estado de Chihuahua*, XX Congreso Geológico Internacional, De. Stylo, México, 1956.
- GONZÁLEZ Reina, Genaro., *Memoria geológica-minera del estado de Chihuahua (Minerales metálicos)*, Instituto de Geología, UNAM e Instituto para la Investigación de los Recursos Minerales de México (archivo técnico, 080039), México, 1980.
- HANDSCHY, James W. y Dyer, Russ, *Polyphase deformation in Sierra del Cuervo, Chihuahua, evidence for ancestral Rocky Mountain Tectonics and Ouachita forland of northern Mexico*, Geological Society American Bulletin, Vol. 99, No. 3, USA, 1987.
- HARRINSON Schmitt, Notas geológicas del área de Santa Bárbara, distrito de Parral, Chihuahua, 1927.
- HERNÁNDEZ Chávez, Santos Ángel y Luján Nevaréz, José Alonso, *Estudio geológico minero del área Brenda. municipio de Ocampo Chihuahua*, tesis de Geología, UACH, México, 1987.
- HERNÁNDEZ Velázquez, Magdaleno, *Reconocimiento geológico-minero del área de asignación con Virginia, municipio de Chiniipas, Chihuahua*, Consejo de Recursos Minerales, México, 1961.
- HUSPENI R., Jeffrey, et al, *Petrology and geochemistry of rhyolites associated with the mineralization in northern Mexico*, Economic Geology, vol. 79, USA, 1984.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, *Anuario estadístico del Estado de Chihuahua, 1992*, México, 1992.
- KOCH, George S., Jr y Link, Richard F., *Distribution of metals in the Don Tomas vein, Frisco mine, Chihuahua, Mexico*, Economic Geology, Vol. 58, USA, 1963.
- LÓPEZ Ramos, Ernesto, *Geología general de México*, tomos I, II y III, SEP, tercera edición, México, 1974.
- MAUGER, R. L. y McDowell, F. W., *K-Ar dating of igneous rocks in central Chihuahua, Mexico (obtr.)*, Geological Society of America Bulletin, Vol. 14, No. 116, USA, 1982.
- McDOWELL, Fred W. y Clabaugh, Stephen E., *The igneous history of the Sierra Madre Occidental and it's relation to the tectonic evolution of western Mexico*, Instituto de Geología, UNAM, México, 1984.
- Minerales Metálicos del Norte, S.A., *Unidad Santa Bárbara, Informe mensual de operaciones, correspondiente al mes de agosto de 1995*, tomo I, IMMSA, Chihuahua, 1995.
- Minerales Metálicos del Norte, S.A., *Unidad Santa Bárbara, Santa Bárbara Unit, reporte privado*, Chihuahua, México, 1994.

- MORÁN Zenteno, Dante J., *Geología de la República Mexicana*, Facultad de Ingeniería, UNAM, INEGI, México, 1984.
- PARRA Sánchez, Rafael, *Informe geológico-minero de la visita de reconocimiento al fondo minero San Luis, municipio Santa Bárbara, Chihuahua*, Consejo de Recursos Minerales (archivo técnico, TI080317), México, 1986.
- QUINTERO L., Odrancoel y C. Guerrero, José, *Una nueva localidad del basamento precámbrico de Chihuahua, en el área de Carizalillo*, revista del Instituto de Geología, Vol. 6, No. 1, México, 1985.
- RAMÍREZ M., Jaime y Acevedo C., Francisco, *Notas sobre la geología de Chihuahua*, boletín de la Asociación de geólogos petroleros, vol. 9, México 1959.
- RAMÍREZ Olvera, Enrique, *Estudio geológico minero de la mina San Javier, municipio de Santa Bárbara, Chihuahua*, Consejo de Recursos Minerales (archivo técnico, 080106), México, 1974.
- RAMÍREZ Pineda, Sergio, *Santa Bárbara*, Minerales Metálicos del Norte, S.A. (IMMSA), México, 1986.
- RANGIN, Claude y Córdoba, Diego A., *Extensión de la cuenca cretácica chihuahuense en Sonora septentrional y sus deformaciones* (res), Tercer Congreso Latinoamericano de Geología, Instituto de Geología, UNAM, México, 1976.
- RESTOVIC Pérez, Igor V., *La industria minera en el estado de Chihuahua (recopilación)*, Consejo de Recursos Minerales (archivo técnico, TI080111), México, 1971.
- ROMERO C., R., *Prospección geofísica por el método de refracción sísmica en Santa Bárbara, Chihuahua*, México, 1990.
- RUVALCABA Sepulveda, Miguel Ángel, *Informe geológico-minero de la visita de reconocimiento realizada al fondo minero La Luz, municipio de Hidalgo del Parral, Chihuahua*, Consejo de Recursos Minerales, México, 1985.
- SALAS P., Guillermo, *Metallic and nonmetallic mines; introduction to the geology of metalogenic provinces*, Economic Geology, México, The Geological Society of America, USA, 1991.
- SCOTT, J. B., *Estructura de los depósitos en Santa Bárbara, Chihuahua*, México, 1958.
- SERVICIOS Técnicos de Exploración, *Paragénesis y zoneamiento en la veta Hidalgo de la mina Tecolotes de Santa Bárbara, Chihuahua*, reporte privado, México, 1982.
- SOUTWORTH, J. R., *Las mina de México*, tomo IX, Blake and Mackenzie, Liverpool, England, 1905.

- STEWART, John H., *Basin-range structure in western North America: A review*, Geological Society of America Bulletin, No. 152, USA, 1978.
- TOVAR Rodríguez, Jorge C., Vázquez, M. y Lozano, A Sergio, *Interpretación integrada geológica geofísica. porción norte de Chihuahua*, boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Vol. 30, No. 1 y 2, México, 1978.
- URIBE, J. V., *Bosquejo geológico del distrito minero de Santa Bárbara, Chihuahua*, tesis profesional, UACH, Chihuahua, 1972.