

24.25



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“ RELACIONES EN ESPACIO Y TIEMPO ENTRE  
CHIMENEAS Y VETAS DEL DISTRITO  
MINERO DE LA COLORADA, ZAC.”

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :  
I N G E N I E R O G E O L O G O  
P R E S E N T A :  
M A R T I N S O T O M O R A N

México, D. F.

1987



## **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 está 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.

# C O N T E N I D O

## RESUMEN

I. INTRODUCCION		
I.1	Objetivos .....	1
I.2	Antecedentes .....	1
I.3	Tipo y método de trabajo .....	2
II. MARCO GEOGRAFICO		
II.1	Localización .....	4
II.2	Vías de comunicación .....	4
II.3	Población y cultura .....	5
II.4	Clima .....	7
II.5	Flora y fauna .....	7
III. GEOLOGIA GENERAL		
III.1	Fisiografía .....	9
	a).- Orografía .....	9
	b).- Hidrografía .....	10
III.2	Geomorfología .....	10
III.3	Estratigrafía .....	13
III.4	Geología Estructural .....	23
III.5	Geología Histórica y Tectónica .....	28
IV. YACIMIENTOS MINERALES		
IV.1	Sistemas de vetas .....	31
	a).- Geomorfología .....	31
	b).- Mineralización y paragénesis .....	33
	c).- Zoneamiento mineralógico .....	35
	d).- Alteraciones hidrotermales .....	38
	e).- Temperaturas y profundidad de forma- ción .....	39
	f).- Zonas favorables de mineralización ...	39
	g).- Oxidación .....	41
IV.2	Chimeneas brechadas .....	42
	a).- Geomorfología .....	43
	b).- Geología Estructural .....	43
	c).- Chimenea Campana .....	46
	- Descripción .....	46
	- Mineralización .....	52
	- Alteraciones hidrotermales .....	52
	- Temperatura y profundidad de minera- lización .....	55
	- Zona favorable de mineralización ...	55
	d).- Chimenea Candelaria .....	57
	- Descripción .....	57
	- Mineralización y paragénesis .....	59

	- Alteraciones hidrotermales .....	60
	- Temperatura y profundidad de mineralización .....	60
	- Zona favorable de mineralización ...	61
	e).- Clasificación y origen de las brechas de chimenea .....	61
	f).- Discusión del origen de las chimeneas brechadas de la Colorada .....	61
V.	RELACIONES DEL SISTEMA DE VETAS CON LAS CHIMENEAS BRECHADAS.	
V.1	Evidencias estructurales y texturales entre chimeneas y vetas .....	67
	a).- Brecha San Fermín .....	68
	b).- Veta Santa Isabel .....	74
	c).- Veta N° 2 del Alto .....	74
	d).- Veta No Conocida .....	79
	e).- Veta N° 2 .....	79
V.2	Resumen de la relación vetas-chimeneas brechadas .....	79
V.3	Origen y edad de la mineralización .....	82
VI.	EXPLOTACION Y BENEFICIO	
VI.1	Ritmo de explotación .....	88
VI.2	Métodos de tumbe .....	88
VI.3	Métodos de muestreo .....	88
VI.4	Planta de beneficio .....	89
VII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
VII.1	Conclusiones .....	90
VII.2	Recomendaciones .....	92
	BIBLIOGRAFIA .....	95

## INDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Plano de localización.
- Figura 2. Tabla de correlación.
- Figura 3. Diagrama estereográfico de pliegues.
- Figura 4. Diagrama estereográfico de fallas.
- Figura 5. Estudio mineragráfico del sistema de vetas.
- Figura 6. Sucesión mineralógica del sistema de vetas.
- Figura 7. Sucesión mineralógica de la Chimenea Campaña.
- Figura 8. Variación de las leyes respecto a la profundidad, Mina Campaña.
- Figura 9. Plano geológico de la Brecha San Fermín.
- Figura 10. Alternativas para la relación existente ente la Brecha San Fermín y la Falla No Conocida.
- Figura 11. Contacto de la Veta No Conocida con la Brecha San Fermín.
- Figura 12. Truncamiento de la Veta Santa Isabel por la Brecha Candelaria.
- Figura 13. Truncamiento de la Veta N° 2 del Alto con la Brecha Candelaria.
- Figura 14. Relaciones entre la "Intrusión de Brecha" y la Veta No Conocida.
- Figura 15. Truncamiento de la Veta N° 2 por la Brecha Candelaria.
- Figura 16. Esquema mostrando los eventos que originaron los yacimientos del Distrito de la Colorada, Zac.
- Figura 17. Plano geológico de superficie.

## INDICE DE FOTOGRAFIAS

- Foto 1. Expresión geomorfológica de la Falla No Conocida.
- Foto 2. Afloramiento de la Brecha Campaña.
- Foto 3. Afloramiento de la Brecha Candelaria.
- Foto 4. Brecha de bloques en la Chimenea Campaña.
- Foto 5. Brecha de cantos en la Chimenea Campaña.
- Foto 6. Contacto de la brecha de cantos con la brecha de grano grueso en la Chimenea Candelaria.
- Foto 7. Hilo de cuarzo cristalino cortando a sílice y sulfuros, Chimenea Campaña.
- Foto 8. Veta N° 2 del Alto encajonada en traquitas y brecha de grano grueso.
- Foto 9. Intrusión de brecha en una falla con fragmentados de cuarzo y sulfuros.

## R E S U M E N

El Distrito Minero de la Colorada se encuentra ubicado en la porción noroeste del Estado de Zacatecas, a 30 kilómetros al suroeste de la población de Sombrerete, Zac.

Las rocas más antiguas son del Cretácico Medio y Superior, consistentes en calizas y lutitas. Sobreyaciéndolas en forma discordante, afloran conglomerados calcáreos del Terciario Inferior, que a su vez subyacen un paquete de traquitas del Eoceno-Oligoceno y riolitas del Mioceno.

Las rocas cretácicas muestran dos plegamientos su perpuestos, uno con orientación aproximada Norte-Sur y otro Noreste -Suroeste. Un fallamiento más joven de bloques en forma de horst y grabens con orientación Este-Oeste aproximada damente que afecta a toda la columna estratigráfica.

Un evento fluido magmático explosivo, posterior al fallamiento principal (y posiblemente más joven que las riolitas) produjo un conjunto de chimeneas brechadas que afectan a rocas cretácicas y traquitas terciarias. Algunas de estas brechas truncan a las fallas y se alojan en las estructuras adquiriendo consecuentemente formas elongadas. Posteriormente a la etapa explosiva principal continua un proceso de fluidización, durante el cual los fragmentos de brecha son abrasionados y mezclados formando una masa más ó menos homogénea. Se estima que un magma a profundidad en proceso de cristalización, es la fuente más factible de los gases responsables de la formación de las columnas brechadas.

Una etapa de hidrotermalismo posiblemente derivada de la misma fuente magmática que produjo el brechamiento, se introdujo en las fallas y en las zonas permeables de las brechas. La mineralización en las vetas ocurrió principalmente en la forma de relleno de fisuras, alojándose en las aberturas de las fallas y en pequeñas fracturas en los respaldos. Está constituida principalmente por galena, esfalerita, pirita y algunas sulfosales de plata, ocurriendo el cuarzo como ganga principal. En las brechas la mineralización ocurre rellenando fisuras, espacios entre los fragmentos de brecha y matriz de roca molida. La mineralización consiste en galena argentífera y esfalerita en ganga de sílice amorfo.

La mineralización en las vetas y brechas parece provenir de la misma fuente que produjo el brechamiento, según las evidencias existentes en las relaciones entre las brechas San Fermín y Candelaria con las vetas No Conocida, Santa Isabel, N° 2 y N° 2 del Alto.

Posterior al evento hidrotermal, aparentemente ocurrieron algunas explosiones tardías que fragmentaron las vetas en las cercanías de las brechas.

**CAPITULO I**  
**INTRODUCCION**

## I.1 Objetivos.

El presente trabajo tiene como objetivo principal, conocer la relación espacio-temporal existente entre el sistema de vetas de las minas Candelaria y Canoas y las brechas explosivas del área, así como aportar información adicional a la geología general y a la génesis de los yacimientos del Distrito Minero de la Colorada, Zacatecas.

## I.2 Antecedentes.

Datos históricos.- Se cree que los yacimientos minerales de la región fueron descubiertos por los españoles en los años 1554-1558, junto con las minas de San Martín y Sombrerete.

Tal vez la minería de la zona adquirió mayor auge cuando se construyó el Ferrocarril Central Mexicano (México-Ciudad Juárez), lo que facilitó el transporte de los minerales a las fundiciones, ya que Estación Gutierréz está situada a 140 km. al oriente de Chalchihuites, Zac.

En el año de 1918 se construyó el ramal Felipe Pescador-Durango, que bordeó la zona por el Norte quedando la Estación Canutillo como punto de embarque (Castro García, 1983). Esto abarató grandemente los costos de transporte haciendo posible la explotación de yacimientos de ley más baja.

Por los años 30's se constituyeron las primeras compañías que iniciaron la explotación de los yacimientos del Distrito: Fresnillo (Candelaria y Canoas) y Peñoles (Campaña). A fines de los años 60's la Compañía Minera Victoria Eugenia, S.A. inicia la operación y continúa hasta la actualidad.

Trabajos previos.- Existen escasos estudios acerca de la zona, el trabajo conocido más antiguo es el Boletín N° 39, de la Revista de la Asociación de Ingenieros de Minas Metalurgistas y Geólogos de México, titulado "Mineral de la Colorada", el cual hace una descripción general de los depósitos minerales y su beneficio (Cervantes, 1966).

Albinson (1973) realizó un estudio acerca de la génesis de las chimeneas brechadas de La Colorada.

Cervantes (1984) publica el trabajo "Operación Minera en la Colorada, Zacatecas", donde explica un proyecto de explotación de alto tonelaje y baja ley en la Chimenea Campaña, mineral que se proyecta combinar con el de las vetas de la Mina Candelaria.

Jorge Herrera, actualmente realiza su tesis profesional acerca del proyecto de explotación de la Chimenea Campaña, analizando las leyes y costos de tumbe y beneficio, para conocer la viabilidad de dicho proyecto con costos actuales.

### I.3 Tipo y método de trabajo.

El presente trabajo se realizó de acuerdo a la secuencia siguiente:

- Recopilación de bibliografía existente, trabajos previos e informes técnicos.
- Trabajo de campo:
  - Geología a detalle de superficie e interior mina.
  - Muestreo en superficie, mina y barrenos de diamante.

- Trabajo de Laboratorio; estudio de secciones pulidas al mi croscopio.
- Trabajo de gabinete; elaboración de planos y secciones de interpretación escalas 1:250, 1:500, 1:1000, 1:2000 y 1:5000 y redacción del trabajo escrito.

CAPITULO II

MARCO GEOGRAFICO

## II.1 Localización.

El mineral de la Colorada se encuentra ubicado en la porción noroeste del Estado de Zacatecas, a 98 km. al noroeste de la Ciudad de Fresnillo, Zacatecas. La cabecera municipal del lugar es Chalchihuites, Zac.

La población de importancia más cercana y de más facil acceso al lugar es Sombrerete, Zac. que se encuentra a 30 km. al noreste.

Las coordenadas geográficas del centro del área de estudio son: 103° 46' Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich y 23° 23' Latitud Norte (Fig. 1).

## II.2 Vías de Comunicación.

Para llegar al Mineral de la Colorada se cuenta con dos rutas diferentes. La vía más cercana parte de la carretera Durango-Fresnillo desviándose a partir de Sombrerete y tomando la carretera pavimentada a Jimenéz de Teul, a 15 km. aproximadamente se toma la desviación hacia Corrales por un camino de terracería; 18 km. más adelante se encuentra un camino de terracería aproximadamente de 5 km. que llega a la Colorada.

La otra ruta sale de la misma carretera Durango-Fresnillo a partir de Vicente Guerrero, Dgo., pudiéndose llegar por carretera pavimentada hasta Chalchihuites, excepto en el tramo Suchil-Gualterio. De Chalchihuites un camino de terracería comunica directamente con la Colorada. Siete km. al norte se cuenta con una aeropista para avioneta. El aeropuerto de Calera, Zac., es el más cercano a la Colorada.

La vía ferroviaria Durango-Felipe Pescador pasa unos 17 km. al Norte del Distrito; la Estación Lodemena es la más cercana.

La población del Mineral La Colorada cuenta con servicio de correo.

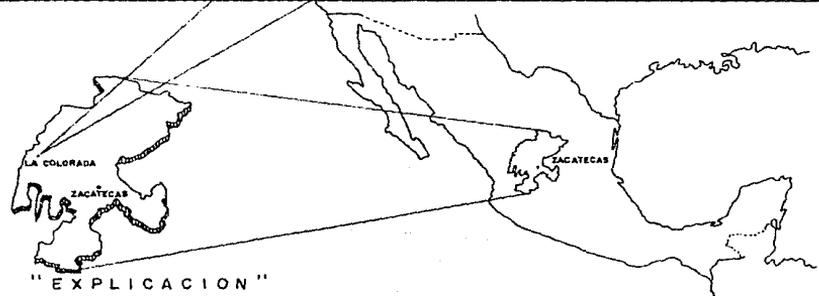
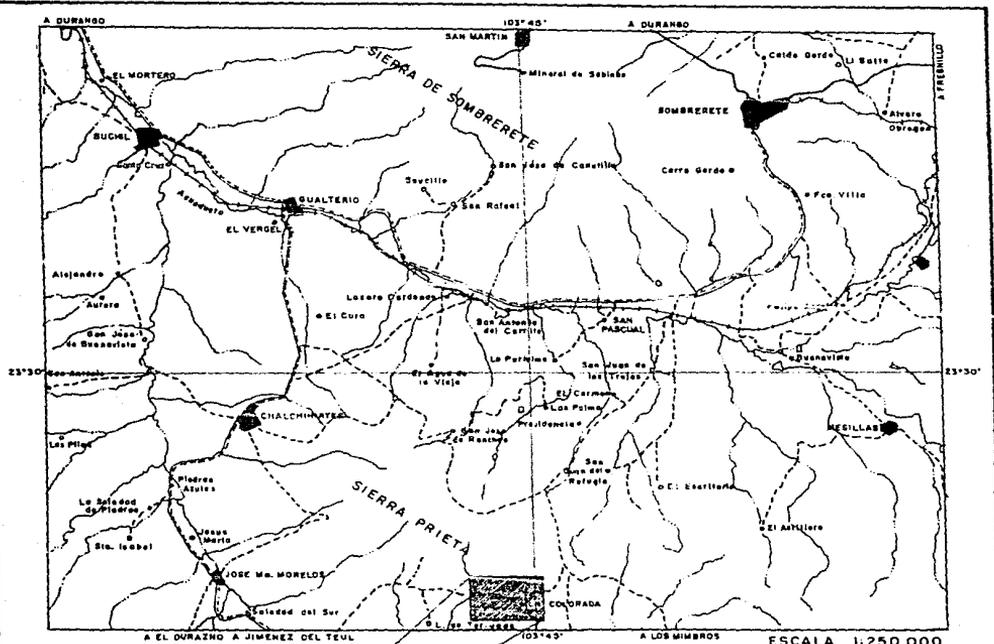
### II.3 Población y Cultura.

Chalchihuites, Zac. es la cabecera municipal, siendo en las cercanías la población más importante y cuenta con 7,345 habitantes. Las poblaciones de importancia del municipio aparte de Chalchihuites son Estación Gualterio, Mineral La Colorada, José María Morelos, San José de Buenavista y Lázaro Cárdenas. Todo el municipio cuenta con 14,500 habitantes, jardín de niños, 4 escuelas primarias, 2 secundarias y telesecundarias.

Las principales actividades económicas del municipio son la agricultura y la ganadería, siendo la minería factor importante, pero secundario.

El tipo de ganadería de la región es el ganado vacuno y caprino, el ganado vacuno es de la raza cebú criolla.

Las principales minas activas en esta región del Estado de Zacatecas son el mineral de la Colorada, Perseverancia, San Martín, el caolín de San José de Ranchos, Salinas y Sombrerete.



- CABECERA MUNICIPAL
- POBLADO
- CARRETERA
- TERRACERIA
- BRECHA
- FERROCARRIL
- ARROYO
- AREA DE ESTUDIO

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MEXICO	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
FIG. 1	PLANO DE LOCALIZACION DEL DISTRITO MINERO DE LA COLORADA ZACATECAS
	MARTIN SOTO MORAN 1986

#### II.4 Clima.

De acuerdo a la clasificación de Kopen, la región presenta el tipo de clima templado subhúmedo con lluvias en verano, es del subtipo menos humedo de los templados subhúmedos con una precipitación menor de 40 mm. en el mes más seco y, entre 5 y 10.2% en la estación invernal; la precipitación media anual se puede considerar entre 600 y 700 mm. La temperatura media del mes más frío está entre 3 y 18°C, la temperatura del mes más caliente es mayor de 22°C. El clima es extremoso con oscilaciones entre 7 y 22°C. Los meses más calientes son Junio y Agosto y el mes más frío Enero.

#### II.5 Flora y Fauna.

El tipo de vegetación en la zona es del tipo de encino, bosque formado por individuos del género Quercus (encino, roble).

De acuerdo a las rocas que afloran pueden advertirse algunos cambios en los tipos de vegetación. En las áreas donde afloran rocas igneas abunda la vegetación de latifolios y coníferas, constituidos por pinos y encinos con chaparral; en el área donde afloran las rocas sedimentarias calcáreas predomina una vegetación de matorral espinoso, nopales y pastizales, mientras que los latifolios son más escasos.

A continuación se mencionan las principales especies de vegetales y animales.

## ARBOLES

Nombre vulgar  
Encino  
Roble  
Cedro  
Pino piñonero  
Palo colorado  
Mezquite

Nombre Científico  
Quercu Sp.  
Tabebuia Chrisantha  
Cupressus Arizonica  
Pinus Cembroide  
Caesalpinia Platiloba  
Prosopis Laevigota

## ARBUSTOS

Nombre vulgar  
Huizache  
Romerillo  
Ciruelillo  
Jarilla  
Jaral  
Gatuño

Nombre Científico  
Acacia Larniscana  
Cowania Mexicana  
Ximenta Parviflora  
Baccharia Aff Confirta  
Senecio Salignus  
Mimosa Biuncifera

## CACTACEAS

Nombre vulgar  
Cardenche  
Nopal

Nombre Científico  
Opuntia Imbricata  
Opuntia Sp.

## LILIACEAS

Nombre vulgar  
Palma china  
Sotol

Nombre Científico  
Yucca Decipiens  
Dasylirion Cebrosanum

## AMARILIDACEAS

Nombre vulgar  
Maguey

Nombre Científico  
Agave Sp.

Las especies animales más comunes son el venado, jabalí, coyote, víbora de cascabel, conejo, tejón y guajolote silvestre.

CAPITULO III

GEOLOGIA GENERAL

### III.1 Fisiografía.

El área de estudio se encuentra en la provincia fisiográfica de la Mesa Central del Norte, casi en los límites con la Sierra Madre Occidental. La Mesa Central del Norte se caracteriza por presentar sierras alargadas con extensas planicies de valles intermontanos.

En las inmediaciones del área se extiende la Sierra Prieta, prominencia que es limitada al Oeste por el gran valle de Chalchihuites y Jimenéz de Teul, tras el cual se extienden las inmensas y prominentes mesas de ignimbritas y riolitas, disectadas por profundos cañones de la Sierra Madre Occidental.

a).- Orografía.- La Colorada está ubicada en el flanco suroeste de la Sierra de Chalchihuites, esta sierra presenta una forma alargada en dirección noroeste-sureste y alcanza una elevación máxima de 3020 m.s.n.m. a 3 km. al noroeste de la Colorada. Asimismo, este rasgo presenta otras cumbres sobresalientes como el Picacho Pelón y el Picaso Montuoso.

La parte alta de la sierra es de composición traquítica, presentando una topografía abrupta con numerosos cantiles, cerros alargados cuyas cimas son muy estrechas.

En la parte baja de la sierra, al sur de La Colorada, afloran las riolitas formando cerros y lomerios de topografía un poco más suave, así como extensas mesas de superficie casi plana bordeadas por cantiles abruptos producidos por la disección de arroyos que son profundos y estrechos.

Las rocas cretácicas afloran como una cuchilla que cierra hacia la Colorada y abre hacia Chalchihuites, están

cubiertas al oriente por conglomerados calcáreos y traquitas, al poniente presentan un contacto lineal y cortante con las riolitas. Estas rocas afloran como cerros redondeados y de pendientes suaves, con escasos cantiles.

b).- Hidrografía.- Las rocas calcáreas del Cretácico presentan un drenaje dendrítico de muy baja densidad, los arroyos generalmente son amplios dando una forma de V abierta.

Las rocas volcanoclásticas traquíticas presentan un drenaje dendrítico, mientras que los derrames traquíticos presentan este mismo drenaje pero con menor densidad.

Las riolitas presentan drenaje dendrítico y de baja densidad conformado por arroyos muy profundos y de sección estrecha.

Algunas escurrientias menores se alojan a lo largo de fallas importantes, indicando debilidad al intemperismo por falla o por alteraciones hidrotermales; algunos tramos de la falla No Conocida se manifiestan como depresiones topográficas.

### III.2 Geomorfología.

La Sierra Prieta está constituida por derrames traquíticos que cubrieron a los sedimentos cretácicos. En lugares donde afloran las rocas sedimentarias, la cubierta volcánica ha sido eliminada. Las rocas volcánicas traquíticas son resistentes a la erosión, a ello se deben sus prominencias topográficas. Los Picachos Pelón y Montuoso son intru-

sivos dioríticos, más resistentes a la erosión que las calizas circundantes.

La parte poniente de la Sierra Prieta está limitada por la Falla No Conocida, donde se inicia el Valle de Chalchihuites y Jiménez del Teul. Es posible que este valle defina un graben entre la Sierra Prieta y la Sierra Madre Occidental, puesto que el paquete de traquitas no aparece en el contacto de falla entre las calizas y riolitas.

La Sierra Madre Occidental está constituida por tobas y flujos de ignimbritas de echados someros. El drenaje que se está desarrollando se encuentra actualmente en etapa inicial de erosión, esto es, actualmente los arroyos profundizan sus cauces y tienen poco avance lateral. Estos arroyos disectan las mesas de superficies casi planas con cantiles abruptos en los bordes.

En general, el drenaje es dendrítico, es decir, está actuando sobre rocas que se ofrecen homogéneas a la erosión. El drenaje no tiene un dominio preferentemente estructural, solo algunos arroyos de menor importancia se alojan en fallas como la No Conocida.

La baja densidad del drenaje denota una alta permeabilidad en las rocas. Por ejemplo, del nivel 295 de la Mina Candelaria se extraen de 1000 a 1600 galones por minuto, gasto que se ha mantenido por varios años, y solo se ha logrado descender el nivel freático 118 m. localmente.

El nivel freático actual se encuentra a la elevación 2128 m.n.s.m. En épocas geológicas pasadas se tuvo un nivel freático inferior, ya que la oxidación de las vetas al

# TABLA DE CORRELACION

TIEMPO			GEOSINCLINAL MEXICANO (GENERAL)	PLATAFORMA VALLES-S.L.P.	S.A.-FRESNILLO (1978)	LA COLORADA, ZAC.		
ERA	SISTEMA	PERIODO	PISO	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	
CENOZOICO	CUATERNARIO		RECIENTE	ALUVION	ALUVION Y SUELOS	SUELOS Y ALUVION	ALUVION Y SUELOS	
			PLEISTOCENO	RELLENOS DE BARIUM + ROCAS VOLCANICAS	ROCAS IGNEAS RIOLITAS Y BASALTOS	Ba. Y RIOLITAS + ?		
	TERCIARIO		PLIOCENO					
			MIOCENO					
			OLOCENO					
			EOCENO	AHUICHILA				RIOLITAS
			PALEOCENO					TRAQUITAS
			MAESTRICHTIANO	CARDENAS	CARDENAS			AHUICHILA
			CAMPANIANO					
			SANTONIANO	CARACOL	CARDENAS TAMASOPO	CHILITOS + ZACATECAS		
CRETACICO	SUPERIOR	MADRIDIANO	CONIACIANO					
			TURONIANO	SORITAL NEGROTA				
	MEDIO	CENOMANIANO	ALBIANO	CUESTA DEL CURA TAMPS. SUPERIOR AURORA	EL ABRA TAMABRA TAMPS. SUP.	CERRO GORDO FORTUNA	INDIDURA CUESTA DEL CURA	
			APTIANO	LA BENA-OTATES CUPIDO	LA PERA - GUACAMAYA			
	INFERIOR	MADRIDIANO	BARREMIANO					
			HAUTERVIANO	TAMAULIPAS INF.	TAMAULIPAS INFERIOR	PLATEROS MALDECARAS		
			VALANGINIANO					
			IBERIANIANO	TARAISES		FRESNILLO		
			TITONIANO	LA CASTA-TRANCAS LA CAJA	JUR. NO DIFERENCIADO LA CASITA (?)			
			BONONIANO					
MESOZOICO	JURASICO	SUPERIOR	HAVRIANO					
			SEQUANIANO	ZULOAGA				
			ARGOVIANO					
			DIVESIANO					
			CALLOVIANO	LA JOYA	LA JOYA ?			
	TRIASICO	MEDIO	BATHONIANO					
			BAJDICIANO					
			LIASICO	ZACATECAS				
			RETIANO					
			NORIANO	NAZAS HUIZACHAL	HUIZACHAL (?)			
PALEOZOICO	INFERIOR	CARNIANO						
		LADINIANO						
		ANISIANO						
		SOYTIANO						
		PERMICO	CHILAR (?) PANUCO		GUACAMAYA (?) PANUCO (?)			
		CARBONIFERO	GUACAMAYA (?)					
		DEVONICO						
SILURICO								
ORDOVICICO								
CAMBRICO								

MODIFICADA DE LOPEZ RAMOS E. (1985).

+ Segun González Partido et al. (1984)

Fig. 2



NO DEPOSITO



NO AFLORA

poniente alcanza la elevación 2050 m.n.s.m. (más abajo del nivel 252), 78 m. más abajo que el nivel freático actual. Alguna obstrucción de probable carácter estructural ocurrió en el drenaje recientemente provocando una elevación en el nivel freático un poco mayor de 75 m.

### III.3 Estratigrafía.

La litología de la zona está constituida por rocas ígneas y sedimentarias. La edad de las rocas varía del Cretácico hasta el reciente, siendo las más antiguas las rocas sedimentarias depositadas en ambiente marino y continental, las traquitas y riolitas fueron depositadas en el Terciario y finalmente en el Reciente se depositaron aluviones y depósitos de pie de monte.

#### FORMACION CUESTA DEL CURA (Kscc)

Albiano-Cenomaniano.

Definición.- Fué descrita por Imlay (1936, p. 1125) por primera vez, de acuerdo con los afloramientos de calizas delgadas ondulantes con bandas de pedernal negro que se localizan a 6.5 km. al poniente de Parras, Coah., donde la formación se encuentra entre la Caliza Aurora y la Formación Indidura.

Distribución.- Estas rocas afloran en la zona noroeste del área en forma de una cuchilla que cierra hacia el Este.

Litología y espesor.- Esta formación consiste de calizas de estratificación de delgada a mediana (10 a 35 cm) con intercalaciones de lutitas en algunos paquetes, la caliza es de coloración gris oscura a la fractura, de textura wackestone a packstone, a veces un poco arcillosa, presenta pedernal negro en bandas de 1 a 10 cm. en lenticulas y nódulos. De coloración gris clara al intemperismo y algunos tintes rojizos. A veces presenta intercalaciones de varios metros de lutitas y limolitas pardas amarillentas y delezna- bles de color pardo claro al intemperismo.

En general la formación se presenta intensamente plegada, con numerosos pliegues en chevron. Algunos estratos fueron muy favorables a la mineralización y dieron origen a numerosos mantos, que en superficie presentan un aspecto rugoso y un color muy oscuro, algunas veces estructura cebrada por la presencia de numerosos hilos de calcita blanca.

En algunos estratos, la estratificación presenta asalchichonamiento, en otros se observa laminación debido a la intercalación de arcillas y algunas calizas puras, que generalmente se preservan al intemperismo.

La textura general de la caliza cuando es pura es un wackestone, raramente llega a ser packstone, donde en ejemplo de mano se observan numerosos pellets y algunos oolitos.

No se encontraron fósiles megascópicos.

Expresión morfológica.- El relieve topográfico donde afloran estas rocas tiende a ser suave, conformando cerros redondeados y con escaso drenaje. Cabe señalar que

existen alineaciones de vegetación a lo largo de las capas más arcillosas y vegetación más cerrada de nopalera y chaparro espinoso donde hay calizas más puras. Como ya se indicó, la vegetación en sí difiere mucho de la que crece sobre las rocas volcánicas.

Edad y correlación.- Por su contenido faunístico y posición estratigráfica, a esta formación se le ha asignado una edad del Cretácico Superior (Albiano-Cenomaniano). Se correlaciona con las calizas Sierra Madre en Tabasco y el Istmo de Tehuantepec, Tamaulipas Superior de la Cuenca Tampico Misantla, y la parte inferior de la Formación Kiamichi, Grupo Washita indiferenciado del Norte y Oriente de México.

Origen.- Se concluye que el ambiente de depósito fue marino nerítico de aguas un poco turbulentas con escasa macrofauna marina, al tiempo de una tectónica inestable que proporcionó aporte de terrígenos.

#### FORMACION INDIDURA (Ksi)

Cenomaniano-Turoniano Superior.

Definición.- El primero en estudiarla fue Emil Bo se en 1906 en la Sierra de Parras. Posteriormente después la definió W. A. Kelly (1936 p. 1028) en la localidad de Delicias, Coah. La localidad tipo está aproximadamente a 8 km. del Tanque Toribio. En este sitio la formación consiste en 30 metros de lutitas y calizas resquebrajadas y calizas lajeadas.

Distribución.- Esta formación solo presenta un afloramiento reducida en la porción central del área.

Litología y espesor.- Esta formación esta constituida por lutitas pardas intercaladas con limolitas y areniscas color pardo verdoso así como también unos estratos de calizas arcillosas. La estratificación varía desde fina hasta mediana. Al intemperismo la coloración parda amarillento.

Dentro de ella se presenta un paquete de areniscas de 20 a 30 metros de espesor, la estratificación varía de 0.3 a 1.7 metros, presenta una coloración verdosa, se pueden observar algunos fragmentos de roca y feldepatos con huella de poco arrastre.

La formación presenta un intenso fracturamiento, deformación y una alta permeabilidad, puesto que en el nivel 252 de la Mina Candelaria se encuentra totalmente oxidada.

El espesor no puede ser determinado porque no aflora la cima de la formación.

Distribución.- Existen pocos afloramientos de esta formación, en su mayor parte esta cubierta por la Formación Ahuichila y las coladas de lavas traquíticas. Se tienen algunos desarrollos de interior de mina y algunos barrenos sobre ellas.

Edad y correlación.- Se correlaciona con la porción superior de la caliza Sierra Madre de Tabasco y el Itsmo de Tehuantepec, con la Formación Agua Nueva, Facies Tamabra y parte superior de la Caliza El Abra de la Cuenca de Tampico-Misantla; con la Formación Eagle Ford del Noreste de México y Sur de Texas, EUA., Formación Chispa Summit del Valle del Río Conchos de Chihuahua.

En el área de Sombrerete, Zac., la sobreyacen una secuencia flysch perteneciente a la Formación Caracol.

A esta formación se le ha determinado una edad del turoniano.

Origen.- Aguas someras de escasa circulación y baja energía según lo marca la presencia de lutitas negras y de yeso y limolitas en algunos de sus miembros (Imlay, 1936, p. 1131). Sin embargo en algún período de tiempo hubo variación, el paquete de areniscas debió depositarse en un ambiente de alta energía.

#### FORMACION AHUICHILA

Eoceno.

Definición.- Rogers, et al., (1961, p. 108), definieron esta unidad en las cercanías de la Colonia Ahuichila en la región comprendida entre los límites de los estados de Durango, Coahuila y Zacatecas. Los principales afloramientos se encuentran al poniente de Pasaje y al sur de Cuencame, Dgo.

Distribución.- Los afloramientos de esta formación son generalmente lenticulares y discontinuos y se encuentran sobreyaciendo y bordeando las rocas sedimentarias del Cretácico.

Litología y espesor.- Está constituida por conglomerados calcáreos con algunos clastos de pedernal. Presenta mala clasificación, los fragmentos varían desde unos milímetros hasta 30 centímetros de diámetro. Los fragmentos se

presentan generalmente entre subredondeados y subangulosos. La matriz es arcillosa y calcárea, formando un porcentaje menor del 10% y en algunos casos menor del 5%, con una coloración gris clara o parda rojiza. La estratificación varía desde media hasta masiva, la composición de la mayor parte de los fragmentos son calizas y fragmentos de pedernal, posiblemente todos ellos derivados de la formación Cuesta del Cura.

El espesor de esta formación es de 40 m. aproximadamente.

Relaciones Estratigráficas.- Se encuentran sobreyaciendo en forma discordante a los sedimentos cretácicos, y es cubierta por rocas volcánicas de composición traquítica.

Edad y Correlación.- Estos conglomerados son muy similares a los descritos por Rogers et. al (1961) como formación Ahuichila tanto en composición como en relaciones estratigráficas, se le asigna una edad del Eoceno, que es correlacionable con los Conglomerados Rojos de Guanajuato y de Zacatecas. En el área sobreyacen a las formaciones Cretácicas y subyacen a un paquete volcánico traquítico.

Origen.- El carácter lenticular y discontinuo de los estratos, la mala clasificación y la poca redondez de los clastos, indica que estos depósitos ocurrieron en un ambiente continental, depósitos de pie de monte y relleno de valles, donde predominaba un relieve prominente.

## TRAQUITAS

Sobreyaciendo a los conglomerados calcáreos, se encuentra un paquete de rocas volcánicas de composición traquítica. Este paquete de rocas alcanza un espesor mínimo de 580 metros y tentativamente es correlacionable con la Serie Volcánica Inferior de la Sierra Madre Occidental (Fredickson 1974) cuya edad es del Eoceno-Oligoceno (63-31 M. A.) (Clark y otros, 1979). Según Clark y otros (1982), este tipo de volcanismo finalizó hace 40 M. de A.

La correlación de este paquete con la Serie Volcánica Inferior se basa en su posición estratigráfica, la composición intermedia de las rocas y una discordancia muy marcada en el contacto superior con las rocas ácidas. El paquete puede subdividirse en dos miembros (no separados en el plano geológico), uno superior y el otro inferior.

Miembro Inferior.- Sobreyace directamente a los conglomerados. Se inicia la secuencia con derrames de textura porfídica conteniendo fenocristales grandes de sanidino. Continúa hacia arriba una serie compleja de volcanoclásticos que varían de finos a gruesos (lodosos a arenosos) con algunas intercalaciones o lentes de conglomerados calcáreos, con espesor hasta de 4 metros.

Los fragmentos que constituyen los conglomerados varían ampliamente desde arenosos hasta de 35 centímetros de diámetro, presentan un poco de clasificación y la matriz de textura arenoarcillosa alcanza un porcentaje menor de 15%. Hacia arriba las intercalaciones de conglomerados son más finos con espesores de 15 a 30 centímetros y aumenta el porcentaje de la matriz, llegando a ser del 65%.

La coloración de los volcanoclásticos es gris verdosa a verde en la fractura, gris clara al intemperismo. Los lentes de conglomerados dan coloración gris clara a la fractura y al intemperismo.

Dentro de este mismo miembro, principalmente en la parte superior, también se encuentran algunos paquetes piroclásticos y derrames traquíticos de varios metros de espesor, los primeros con algunos fragmentos de lapilli de composición calcárea (sedimentos cretácicos).

Este miembro inferior parece haberse depositado en un medio continental y lacustre, posiblemente asociado a una subsidencia de bloques o grabens al tiempo del depósito (Albinson, comunicación personal).

Transicionailmente se pasa de los volcanoclásticos a derrames y piroclásticos del Miembro Superior.

Miembro Superior.- Consiste en derrames traquíticos de textura que varía de afanítica a porfídica de coloración de gris clara a verdosa.

En la parte superior se encuentra un paquete de piroclásticos gruesos y angulosos (brecha volcánica) cuyos fragmentos son traquíticos en su totalidad, estos se encuentran firmemente soldados, son muy consistentes y resistentes a la erosión y se encuentran coronando La Sierra Prieta y el Cerro de la Cruz. Presenta color gris a la fractura y al intemperismo.

Una discordancia erosional marca el contacto superior del volcanismo traquítico y el inferior del volcanismo ácido.

## CONGLOMERADO TRAQUITICO

En la parte superior de las traquitas ocurre un paquete de conglomerados derivados de estas mismas rocas; está dispuesto en capas de espesores de 15 centímetros a estratificación masiva con echados que varían de 0 a 18°, generalmente al Sur y sureste.

Estos conglomerados están constituidos por fragmentos de tamaño de unos milímetros hasta mayores de 20 centímetros, presentando clasificación poco desarrollada. Los fragmentos más abundantes tienen una magnitud de 0.5 a 3 centímetros, la matriz es comunmente de material arenoso a limoso va riando ampliamente a porcentaje.

Los fragmentos oscilan de subredondeadas a subangulosos.

Gradualmente hacia arriba el conglomerado se hace un poco más fino y se intercala con estratos de tobas ácidas.

Este conglomerado es de origen continental que ocurrió como depósito de pie de monte, relleno de valles y pequeños lagos. Marca una etapa de quietud volcánica entre el vol canismo traquítico y el volcanismo ácido. La parte superior del conglomerado se depositó al tiempo que se iniciaba el vol canismo ácido.

## RIOLITAS

Este es un paquete complejo de rocas de composición ácida integrado por capas de tobas de lapilli, tobas de cristales y algunas capas de brecha volcánica.

La secuencia se inicia con unas tobas de textura arenosa intercaladas en capas de color pardo, rosado y verde claro, ambas débiles al intemperismo e inconsolidadas. Presentan algunas capas de lapilli medianamente a bien soldadas. Este paquete presenta un espesor de unos treinta metros, es lenticular y de corta extensión lateral (unos 50 metros).

Enseguida se presenta un paquete lenticular de unos 60 m. de tobas con algunos fragmentos de lapilli, conteniendo un dos por ciento de pómez alterada de tamaño de 1 a 2 milímetros. Se presenta de baja a moderadamente soldada, con lunares bien soldados.

Algunas zonas que se presentan bajamente soldadas presentan alta porosidad, son usadas como filtros y como cantera para construcción.

Hacia arriba le sucede una secuencia compleja de intercalaciones de tobas, tobas de lapilli y raramente algunos paquetes de brecha volcánica. Algunas capas de varios metros de espesor consisten en tobas de cristales de cuarzo y sanidino, generalmente fragmentados. Este paquete se encuentra bien soldado, los fragmentos de pómez y lapilli se encuentran deformados y alargados como resultado de compactación.

Según Huspeni y otros (1984), en muestras analizadas de rocas similares provenientes del área de Sombrerete, 30 Km. al noreste de la Colorada, los cristales de cuarzo se presentan en un porcentaje que varía de 5 a 10%, el sanidino de 10 a 28%, plagioclasa de 1 a 2% y el 61 a 68% restante consiste en matriz recristalizada compuesta por sanidino, cuarzo y, en menor proporción, hematita. Edades radiométricas de 5

muestras de esta misma área por el método de Potasio-Argón dieron una edad de  $24.6 \pm 0.29$  M. A. a  $30.23 \pm 0.36$  M. A. analizándose feldespatos potásico y plagioclasa.

Hacia el Sur del área se extiende la Sierra Madre Occidental, donde el espesor de esta unidad probablemente sea del orden de 1000 metros (Clark y otros, 1981).

Este paquete de rocas reviste importancia económica, ya que en él se encuentran importantes yacimientos estanníferos en una amplia área de Durango, Zacatecas y San Luis Potosí.

#### III.4 Geología Estructural.

Las rocas cretácicas muestran un intenso plegamiento y deformación, las calizas se presentan muy fracturadas y los paquetes arcillosos muy deformados con gran cantidad de pliegues tipo chevrón.

En el área de Canoas se presenta un anticlinorio cuyo plano axial tiene un rumbo NW  $32^\circ$ , al Sur es truncado por la Falla Recompensa. Al Sur de la mencionada falla el plegamiento es más complejo, la predominancia de los echados de las calizas es hacia el Oeste, apareciendo al Este las lutitas cuya edad relativa es inferior (ver Fig. 17). Esto nos sugiere una recumbencia de un anticlinorio, posiblemente continuación del que se localiza al Norte de la Falla Recompensa.

Estos pliegues son de gran magnitud y dentro de ellos se encuentran gran cantidad de pequeños pliegues.

Se realizó un análisis estadístico de los echados de las capas de las rocas cretácicas, los resultados se presentan en la figura 3. En ese esquema pueden observarse dos zonas muy marcadas de concentración de polos, entre las cuales se ubica el plano axial, correspondiente a los pliegues que predominan y que tiene un rumbo promedio de NE 6° SW. Este plegamiento es producto de un sistema de esfuerzos cuyo eje de esfuerzo máximo o esfuerzo compresional es de dirección NW 83° SE.

El plegamiento anterior fué afectado por una etapa compresiva que también está representada en el esquema de la figura 3. Este plegamiento superpuesto presenta un plano axial cuya dirección es NW 56° SE. El esfuerzo máximo o compresional de la segunda etapa, tiene una dirección de NE 34° SW.

El efecto del segundo plegamiento sobre el primero, consiste en un doblamiento de los planos axiales e inclinación o buzamiento de las líneas de charnela hacia el Norte.

Los conglomerados de la Formación Ahuichila presentan echados máximos de 34°, no existe seguridad si estas rocas estuvieron sujetas a deformación por esfuerzo o a basculamiento relacionado a las fallas.

Las Rocas Cretácicas y Terciarias han estado sujetas a fallamiento de bloques en forma de horst y grabens. La falla más importante del distrito es la No Conocida, que ha sido cartografiada por varios kilómetros y presenta un desplazamiento normal aproximado de 230 metros en el área de la Mina Candelaria (ver sección A-A', Fig. 17).

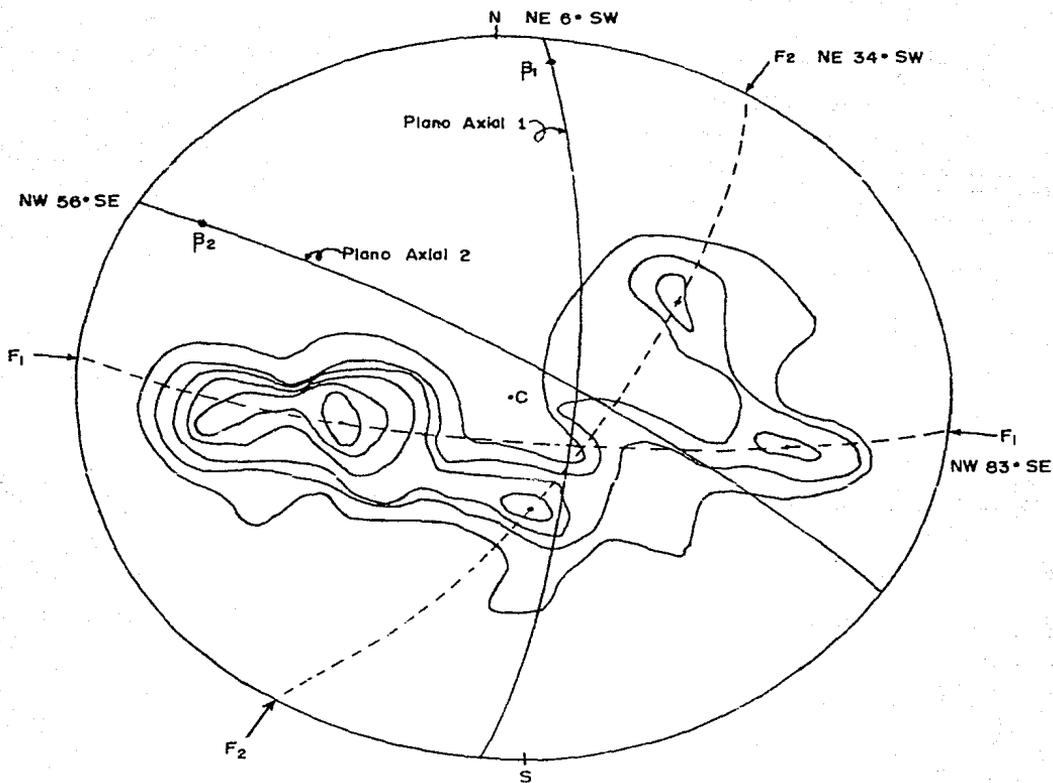


Fig. 3 Esquema estereográfico que representa los plegamientos del área:  $\beta_1$  y  $\beta_2$  eje de los plegamientos 1 y 2.

$F_1$ : Dirección de esfuerzos que provocaron el primer episodio de plegamiento

$F_2$ : Dirección de esfuerzos que provocaron un plegamiento superpuesto a la primera etap.

Un análisis estadístico de las fallas por medio de una red estereográfica, muestra un sistema de fallas conjugadas.

En la figura 4 puede observarse que  $\sigma_1$ , línea de esfuerzo máximo o compresional, presenta una orientación NE  $80^\circ$  con una inclinación de  $65^\circ$ .

La orientación de  $\sigma_3$ , línea de esfuerzo mínimo o distensional, tiene una orientación de NW  $18^\circ$  con  $7^\circ$  de inclinación.

La orientación de  $\sigma_2$ , es SW  $68^\circ$  con  $25^\circ$  de inclinación que es la línea de esfuerzo intermedio a través de la cual no existe desplazamiento relativo de los bloques.

De lo anterior puede deducirse que la zona estuvo sujeta a relajamiento o esfuerzo distensional con rumbo casi Norte-Sur.

La falla No Conocida muestra un mayor desplazamiento en la zona poniente que en la zona Oriente. Al Poniente dicha falla pone en contacto las rocas cretácicas con las volcánicas terciarias por una longitud de varios kilómetros, mientras que el oriente, se presentan traquitas al alto y bajo: se cree que esta sea de las llamadas fallas de bisagra. El basculamiento que presenta dicha falla por el efecto de bisagra, posiblemente sea debido a la inclinación de  $\sigma_3$  (esfuerzo mínimo o distensional que provocó el fallamiento).

También existe otro sistema de fallas con orientación Norte-Sur, estas son de menor importancia y corta extensión lateral.

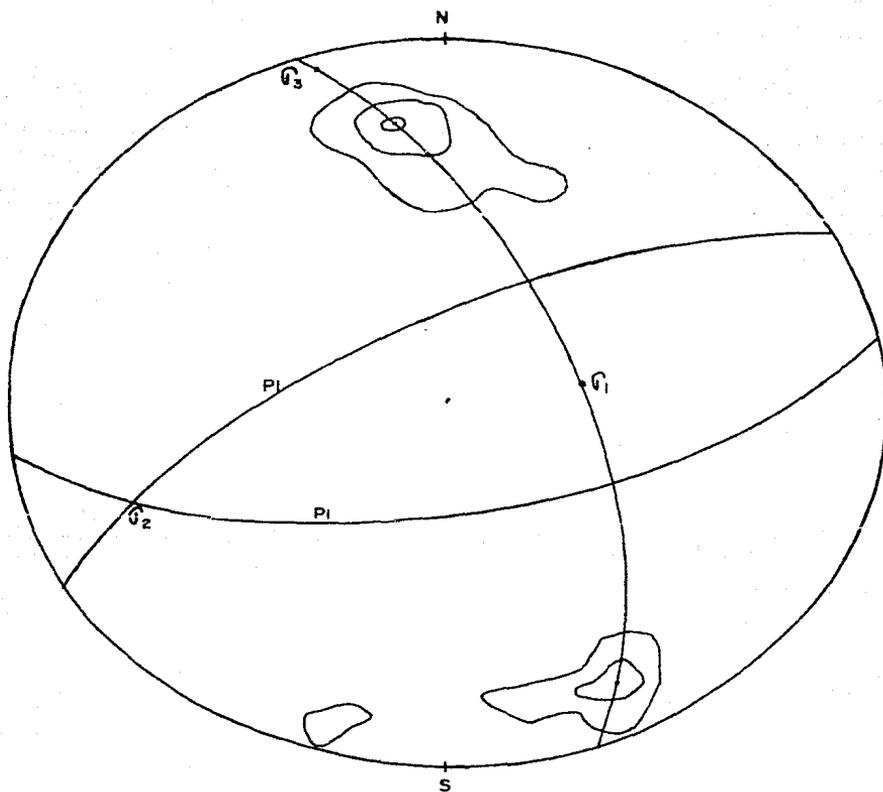


Fig 4 Diagrama estereográfico que muestra el sistema de esfuerzos que provocaron el fallamiento del Distrito Minero de la Colorado.

$G_1$ : Punto que representa la línea de máximo esfuerzo o esfuerzo compresional.

$G_2$ : Línea sobre la cual se desarrollaron los esfuerzos intermedios.

$G_3$ : Línea sobre la cual los esfuerzos fueron mínimos o distensionales provocando el fallamiento y desplazamiento casi vertical de bloques.

### III.5 Geología Histórica y Tectónica.

Las rocas más antiguas del área, datan del Albiano-Genomaniano y están representadas por un ambiente marino de aguas neríticas y agitadas, que dió origen al depósito de calizas de textura wackestone a packstone, con numerosos pellets y algunos oolitos que forman el paquete de rocas denominado Formación Cuesta del Cura.

En el Turoniano-Coniaciano el depósito de paquetes de areniscas intercaladas con lutitas de la formación Indidura, indicadores de una tectónica más inestable, se derivaron de un volcanismo más activo que proporcionaba terrígenos que se acumulaban en ambiente marino reductor de aguas someras.

Los terrígenos eran posiblemente aportados por un volcanismo producido por el arco magmático iniciado hace 140 millones de años en la Costa Occidental Norteamericana (Clark y otros, 1982), que desde entonces permanecía activo y tenía pulsaciones o etapas de mayor actividad.

En el período Santoniano-Coniaciano ocurre la regresión de los mares del Cretácico y se inician los depósitos de tipo flysch de la Formación Caracol, cuyos sedimentos no afloran en el área de estudio, pero pueden ser observados en el área de Sombrerete, treinta kilómetros al noreste. Este tipo de depósito ocurrió como resultado de las deformaciones comprensionales provenientes del Oeste de fines del Cretácico y principios del Terciario, posiblemente producto del inicio de un incremento en la velocidad de convergencia de las placas Paleopacífica y Norteamericana, que dió origen a la llamada Orogenia Larámide.

En el Paleoceno los mares abandonaron definitivamente

te el continente y predominó un ambiente principalmente erosivo. Las formaciones cretácicas se plegaron debido a las deformaciones de la Orogenia Larámida y presentaron un relieve irregular donde se acumularon sedimentos gruesos (aluviones y coluviones) en las partes bajas y que representan la Formación Ahuichila.

Posteriormente se inicia una etapa volcánica y magmática posiblemente relacionada con el emplazamiento de stocks diorítico-cuarzomonzoníticos, cuyos apófisis afloran actualmente en la región. Los principales apófisis son: El Cerro de la Gloria (Mina San Martín), El Picacho Montuoso (Sierra de Chalchihuites) y la Noria de San Pantaleón (San José de la Parrilla, Dgo.), cuyas edades son del Eoceno (55 millones de años) (Castro García, 1983). Esta misma actividad magmática puede ser la causa que dió origen a los derrames de traquitas, depósitos piroclásticos y volcanoclásticos. El ambiente de depósito de estas rocas fué continental y lacustre donde al mismo tiempo ocurrían subsidencias de bloques al inicio del desplazamiento de las principales fallas del distrito. Este volcanismo se correlaciona tentativamente con lo que Fredickson (1974) denomina Serie Volcánica Inferior de la Sierra Madre Occidental, cuya edad es de 63 a 31 millones de años.

Existe una etapa de quietud volcánica marcada por la presencia de conglomerados traquíticos que puede atribuirse a una migración del arco magmático hacia el Oriente, producido por cambios de velocidad y ángulo de convergencia entre las placas Paleopacífica y Norteamericana (Clark y otros, 1982). Un paquete extenso de volcanismo ácido marca un período final de actividad magmática. Este paquete se caracteriza por la presencia de riolitas e ignimbritas típicas de

la Sierra Madre Occidental, relacionadas a un ambiente de calderas, es correlacionable con lo que Fredickson (1974) de nomina como Serie Volcánica Superior y tiene una edad de 34 a 29 millones de años. Finaliza por la terminación de la subducción a causa de la colisión del Sistema Pacífico del Este y el Margen Continental Norteamericano.

Resta aún por definir si la etapa de formación de brechas explosivas y mineralización consecuente se relacionan genéticamente al volcanismo traquítico del Terciario Tem prano o al riolítico del Tardío. Existen observaciones de campo que apoyan ambas posibilidades.

En el Pleistoceno y Holoceno continúan reactivaciones de las fallas, que aún persisten en la actualidad, puesto que del nivel 295 de la Mina Candelaria actualmente se ex traen aguas calientes.

En el Holoceno ocurren depósitos de aluviones y pie de monte que cubren a las formaciones más antiguas.

CAPITULO IV

YACIMIENTOS MINERALES

Los yacimientos del área consisten en dos tipos: chimeneas brechadas y vetas. Las vetas se encuentran agrupadas en la zona Poniente del distrito y el conjunto de chimeneas, en la zona Oriente.

#### IV.1 Sistema de vetas.

Vetas mineralizadas se alojan en el sistema de fallas conjugadas descritas anteriormente. Asociada a las vetas una proporción pequeña de la mineralización ocurre como diseminaciones y como mantos reemplazando algunos estratos favorables en calizas.

En la Mina Candelaria la veta principal es la No Conocida y asociada a ella se encuentran Candelaria, veta N° 2 y Santa Isabel, que se unen a esta por medio de lazos cimoides (Fig. 17).

a).- Geomorfología.- En su extensión longitudinal las vetas presentan una variación en su expresión morfológica. En ocasiones son crestones de cuarzo con coloración rojiza obscura por la presencia de Fe y Mn oxidados. En algunos tramos sobre la traza de la veta, ocurre una franja blanquecina de hasta 15 metros de ancho producto de las traquitas argilizadas. En la posición de las estructuras se alojan escurrentias y arroyos de poca importancia.

La expresión morfológica más marcada pertenece a la Veta No Conocida. En el Cerro El Mundo pone en contacto las traquitas con calizas, lo que ocasiona que la falla sea una línea divisoria entre dos tipos de terrenos muy diferentes en coloración y vegetación (Foto 1). En las calizas crecen

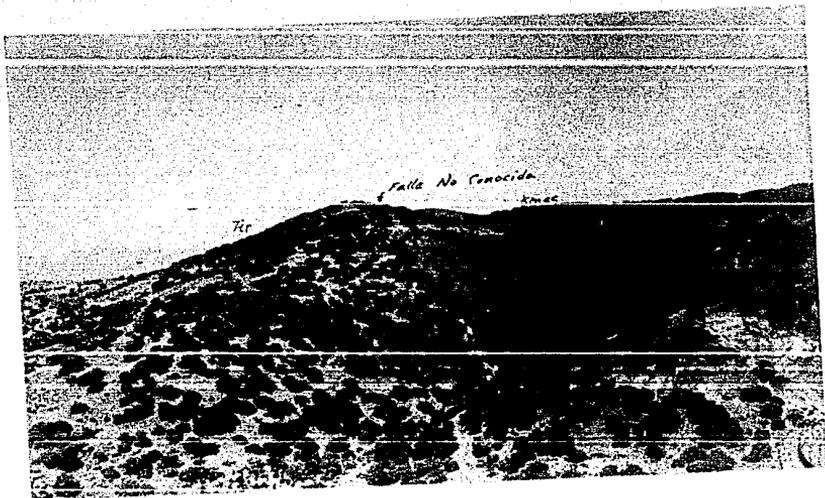


Foto 1. Expresión geomorfológica de la Falla No Conocida, exhibiendo traquitas al alto y calizas al bajo. Nótese la marcada diferencia en color y tipo de vegetación entre ambos tipos de roca.

matorrales, arbustos pequeños y nopalera, mientras que las traquitas forman el subsuelo de áreas con arboles grandes y pastizales.

Algunas estructuras pueden seguirse en la superficie por cientos de metros por su contraste morfológico, sin embargo, algunas estructuras importantes en el interior de la mina no tienen ninguna expresión conocida en la superficie.

Las obras de gambusinos alineadas a lo largo de las estructuras producen un terreno suelto más favorable a la vegetación, por lo que la traza de algunas vetas están representadas por alineaciones de arboles.

Dentro de las calizas ocurren mantos que se mineralizan a partir de las vetas y se observan como líneas paralelas a la estratificación, son de coloración más oscura que la roca circundante e intemperizan con aspecto rugoso.

b).- Mineralización y Paragénesis.- La mineralización del sistema de vetas es muy similar a algunas chimeneas, como se discutirá posteriormente. Las leyes de plata son mucho más elevadas en la Chimenea y las vetas de Candelaria, con leyes promedio de 200 a 300 gr/ton. de plata, mientras que en las chimeneas de Campaña y Colorada son de 50 a 150 gr/ton de plata.

Minerales de ganga.- Estos minerales no presentan importancia económica dentro del Distrito; sin embargo, más al noroeste del área algunas vetas alojan cuerpos de magnitud considerable de barita. En el Distrito de la Colorada han sido consideradas como guías mineralógicas básicas de la

presencia de cuerpos metálicos económicos. El mineral de ganga de mayor importancia es el cuarzo, aunque también se presentan otros minerales como son calcita, adularia, barita y feldespató potásico.

El cuarzo ocurre en forma maciza o granular de color blanco deleznable, también ocurre como cuarzo cristalino cementando a cuarzo blanco criptocristalino, o como cristales bien desarrollados en algunas cavidades.

La adularia se presenta acompañada por sulfuros de plomo y zinc en forma compacta y de color rosado.

En el extremo oriente de la Veta No Conocida (Nivel 252) aparece barita en fragmentos cementados por cuarzo, asociados ambos con sulfuros de plomo y zinc. Se presenta como agregados laminares y radiales de color blanco.

La calcita aparece asociada con cuarzo, pero en muy baja proporción.

El feldespató potásico ocurre en las cavidades con hábito hojoso de color pardo amarillento claro.

Minerales de Mena.- En la zona de oxidación sólo se distinguen minerales de manganeso y fierro en masas reniformes impregnado al cuarzo. En la zona de sulfuros, en ejemplar de mano sólo son observables la galena, esfalerita, calcopirita, piritita, sulfosales de plata y plata nativa, esta última posiblemente producto de enriquecimiento supergénico.

En el microscopio mineragráfico se lograron determinar algunos minerales de plata, algunas veces intervenidos con galena o en exolución, otras veces reemplazando a ésta.

La estromeyerita se encontró íntimamente asociada a la calco piritita. Los minerales de plata son los siguientes: Argentita, estromeyerita, polibasita, estefanita, pirargirita y tetraedrita-tenantita (ver Fig. 5).

Para fines prácticos de los minerales de plata en el presente trabajo sólo se considerarán individualmente la estromeyerita y la argentita, los demás en conjunto serán nombrados como sulfosales de plata.

La galena y esfalerita aparecen en bandas o cristales individuales embebidos en cuarzo o adularia, en ocasiones como grandes cristales euédricos en cavidades.

La plata nativa se presenta en filamentos estriados en las pequeñas cavidades entre los sulfuros.

En los ejemplares de mano pueden apreciarse dos etapas de mineralización (Fig. 6). La primera etapa consistió en un cuarzo criptocristalino y blanco acompañado por adularia y sulfuros de plomo, zinc, fierro y cobre. Una segunda etapa de mineralización relleno cavidades producida por reacomodo o reactivación de las fallas, o bien, por brechamiento hidrotermal cementando la primera etapa. Esta consistió en un cuarzo cristalino transparente, amatista y blanco acompañado por argentita, sulfosales de plata, piritita y plata nativa.

Las texturas que se presentan en las vetas son de relleno de fisuras, crustificación y drusamiento.

c).- Zoneamiento mineralógico.- En los niveles superiores de la Mina Candelaria la oxidación no permite apreciar los minerales hipogénicos presentes en las vetas.

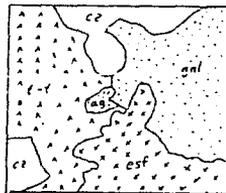
## MUESTRA N° 1

- Descripción del afloramiento: Veta N° 2, 10 cm. de ancho de sulfuros.
- Textura de crustificación.
- Textura microscópica: Inequigranular y de reemplazamiento.
- Minerales de Mena: Esfalerita, Galena, Pirita, Estefanita, Pirargirita y Polibasita.
- Minerales de ganga: Cuarzo y Feldespato Potásico.
- Paragénesis: Esfalerita, Pirita, Galena, Estefanita, Polibasita, Pirargirita, Cuarzo y Feldespato Potásico.



## MUESTRA N° 2

- Descripción de afloramiento: Veta N° 2 - del Alto. Veta de sulfuros y Cuarzo.
- Textura microscópica: Inequigranular.
- Minerales de mena: Esfalerita, Galena, Argentita, Tetraedrita-Tenantita y Pirita.
- Minerales de ganga: Cuarzo.
- Paragénesis: Esfalerita, Galena, Pirita, Argentita, Tetraedrita-Tenantita y Cuarzo.



## MUESTRA N° 3

- Descripción del afloramiento: Veta Candelaria 1 m. de ancho, Cuarzo y sulfuros.
- Textura microscópica: Equigranular y reemplazamiento.
- Minerales de mena: Calcopirita, Esfalerita, Galena, Estromeyerita y pirita.
- Minerales de ganga: Cuarzo.
- Paragénesis: Calcopirita, Estromeyerita, Esfalerita, Galena, Pirita y Cuarzo.

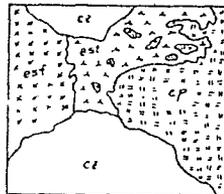


Fig. 5. Estudio mineralográfico de tres muestras de las vetas N° 2, N° 2 del Alto y Candelaria.

MINERAL	ETAPA 1	ETAPA 2
Pirita	-----	-----
Calcopirita	—	
Esfalerita	—	-----
Galena	—	
Argentita	—	-----
Sulfosales de Ag		—
Estromeyerita	—	
Plata Nativa		—
Cuarzo Cripto- -cristalino	—	—
Cuarzo Cristalino		—
Barita	—	
Adularia	—	
Feldespato Potásico		—
Textura	Relleno de Fisuras	Relleno de Fisuras

Fig. 6 Sucesión mineralógica del sistema de vetos y la Brecha Candelaria.

De los niveles 167 al 252 no existe variación apreciable en mineralogía, sin embargo, del nivel 252 al 295 hay un notable incremento en el contenido de calcopirita, así como un ligero estrechamiento en las estructuras.

Dos muestras obtenidas en la veta N° 2 arriba del nivel 252, manifiestan al microscopio la presencia de plata en forma de una gran diversidad de sulfosales. Una muestra obtenida sobre la Veta Candelaria abajo de dicho nivel mostró la presencia de plata en forma de estromeyerita.

El plomo y el zinc persisten en porcentajes casi iguales, pero los minerales que los contienen presentan una textura más gruesa. Debe hacerse notar que actualmente se tiene poco desarrollo en el nivel 295, por lo que cualquier interpretación referente a este nivel es riesgosa.

d).- Alteraciones hidrotermales.- Pueden distinguirse tres tipos de alteración: Sericítica, clorítica y silificación.

La sericitización se presenta en los respaldos de las vetas que están encajonadas en traquitas. Está representada por una franja generalmente de 0 a 3 metros de amplitud que llega a formar un halo hasta de 15 metros a cada lado de la estructura. Albinson (1973) reporta que esta alteración consistió en una total o parcial sericitización del sanidino que es un componente de las traquitas, al tiempo del hidrotermalismo.

En superficie y en barrenos de diamante la sericitización suele ser buena guía de la presencia de estructuras.

La cloritización es escasa y se presenta como una coloración verdosa en la roca. Los halos de cloritización

generalmente se presentan en zonas periféricas a la alteración sericitica.

La principal alteración que sirve como guía para la exploración y explotación de las vetas es la silificación. Esta se presenta como el componente más abundante en las vetas y en vetillas o ramaleos irregulares en los respaldos de las mismas.

e).- Temperaturas y profundidades de formación.- Albinson (1985), realizó un estudio de inclusiones fluidas de 17 muestras tomadas en vetas y analizadas en cuarzo y esfalerita de las etapas I y II de mineralización. La distribución de temperaturas y salinidades en las vetas exhibe un gradiente térmico vertical, en la Veta Candelaria alcanza una magnitud de  $12^{\circ}\text{C}/100$  metros, mientras que en la Veta No Conocida es de  $9.5^{\circ}\text{C}/100$  metros: Las salinidades presentan una disminución gradual hacia arriba, alcanzando valores menores de 1% NaCl en superficie y 5.8% NaCl a profundidad.

Las temperaturas varían de  $270^{\circ}\text{C}$  a una elevación de 1950 m.s.n.m. a  $250^{\circ}\text{C}$  a la elevación 2150 m.s.n.m. (superficie) en la Veta No Conocida.

La distribución de temperaturas agrupadas por niveles indica que tanto la media como la frecuencia más alta, siguen de cerca las curvas de ebullición para salmueras entre 1 y 5% NaCl y colocan el paleonivel freático aproximadamente 400 metros arriba del nivel freático actual.

f).- Zonas favorables de mineralización.- En las vetas de metales preciosos se ha encontrado generalmente que la minerali

zación presenta una extensión vertical limitada y una persistencia lateral significativa. Por ejemplo, la magnitud vertical del clavo mineralizado de la Veta Santo Niño, en Fresnillo, Zacatecas, es de aproximadamente 300 metros (Ing. Sergio Velázquez, comunicación personal). En otros sistemas la mineralización persiste verticalmente de 600 a 700 metros.

Se ha encontrado una posible relación de la ebullición de los fluidos mineralizantes con una menor extensión vertical de mineralización en las vetas (Albinson, 1985).

La separación de la fase vapor de la fase líquida mediante el proceso de ebullición, puede remover especies volátiles ácidas tales como  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$  de las soluciones acuosas, subiendo el pH y ocasionando el depósito de óxidos, sulfuros, carbonatos, metales nativos y otros minerales, a causa de un incremento en la salinidad en la fase líquida (Drumond y Ohmoto, 1985).

Existen diversos ejemplos de yacimientos que exhiben ebullición en las inclusiones fluidas, los clavos mineralizados de dichos yacimientos presentan anchos verticales que varían entre 200 y 450 metros, algunos de estos ejemplos se citan a continuación:

<u>Localidad</u>	<u>Ancho vertical máximo</u>	<u>Referencia</u>
Real de Catorce, S.L.P.	450 m	(Albinson, 1985)
Tayoltita, Dgo.	300 m	(Albinson, 1985)
National District, Humboldt Country, Nev.	210 m	(Vickre, 1985)

Por otro lado, cuando existe una escasa ó total ausencia de ebullición en los fluidos mineralizantes aparente-

mente se produce una distribución vertical más extensa de los clavos de mineral. Como ejemplo de este tipo de sistema se tiene el Distrito de Sombrerete, Zac., donde la mineralización exhibe una extensión vertical mayor a 600 metros (Albinson, 1985).

En el Distrito de la Colorada, de las 17 muestras analizadas en vetas sólo una no exhibe ebullición. Por lo tanto, es posible anticipar una zona favorable de espesor reducido para este distrito.

Cerca de la superficie las vetas exhiben espesores reducidos y leyes bajas. El nivel 70 marca generalmente la cima de la mineralización argentífera económica. Por otro lado, en el nivel 295 existen evidencias de que el sistema se aproxima a su fondo ya que se observa un adelgazamiento de la Veta Candelaria y un incremento en la cantidad de calcopirita de la veta. Se estima por tanto que la zona favorable argentífera del sistema de vetas difícilmente excederá 400 metros de espesor.

g).- Oxidación.- El nivel freático actual se localiza 18 metros abajo del nivel 167, sin embargo, la oxidación se extiende abajo del nivel 252, lo que indica que el nivel freático anteriormente estuvo abajo de dicho nivel. La oxidación refleja un paleonivel freático similar a la topografía actual, pero que estuvo más abajo del nivel 252.

Es posible encontrar mineralización en sulfuros arriba del nivel de oxidación; esto a raíz de una baja permeabilidad en algunas partes de las estructuras, específicamente donde se conservan aún compactas y sin efectos tectónicos posteriores considerables. También la composición de las rocas en

cajonantes tiene influencia sobre la oxidación de las vetas, ya que la alta permeabilidad por fracturamiento en las lutitas favorece más la oxidación de las estructuras que en las vetas encajonadas en traquitas.

Un ejemplo de este tipo se encuentra en la Veta Santa Isabel, donde se presentan sulfuros en el nivel 167 encajonados en traquitas, mientras que en el nivel 252 la veta se presenta totalmente oxidada y encajonada en lutitas muy fracturadas.

#### IV.2 Chimeneas Brechadas.

En el área de estudio se tienen reconocidas nueve chimeneas brechadas: El Carmen, Pajaritos, Bronzuda, San Jerónimo, Colorada, Campaña, Candelaria, San Fermín y No Conocida. Los diámetros de las brechas son muy variables, la chimenea de mayor diámetro es Candelaria, la cual alcanza 185 metros en su diámetro mayor. Verticalmente se comportan como cilindros verticales de profundidad parcialmente conocida. La Chimenea Campaña, exhibe el desarrollo actual más extenso, con una profundidad de 300 metros bajo superficie.

Las chimeneas se pueden agrupar en dos conjuntos, las de la zona oriente y las de la zona poniente. Las brechas Candelaria y San Fermín conforman el grupo poniente, y las demás, el oriente. Entre ambos grupos se presentan diferencias notables: las de la zona poniente están formadas por fragmentos de rocas más pequeños y angulosos; en las de la zona oriente predominan los fragmentos grandes (mayores de 10 centímetros).

Como representativa del grupo de chimeneas poniente se describirá la Brecha Candelaria. Mientras que del grupo oriente la chimenea Campaña es la que cuenta actualmente con mayor acceso, por lo que será descrita como representativa de este conjunto.

La Litología predominante en los fragmentos en las brechas consiste de rocas volcánicas del paquete traquítico y de fragmentos sedimentarios (lutitas) derivados del paquete cretácico a profundidad.

a).- Geomorfología.- El grupo de chimeneas del oriente, afloran en superficie como prominencias en la cima de los cerros. Tienen la forma de crestones semicirculares con coloración rojiza debido a la oxidación de los sulfuros de hierro. Presentan una alta resistencia a la erosión a causa de la silicificación que ocurrió como consecuencia del hidrotermalismo (Foto 2).

La Chimenea Candelaria aflora como una loma de superficie semiredondeada (ver foto 3), con algunas manchas rojizas que reflejan silicificación y oxidación preferencial dentro de ella. La Brecha San Fermín es débil a la erosión, comunmente presenta silicificación sólo en las cercanías con la Veta No Conocida y consecuentemente no se observa un contraste entre la brecha y las rocas adyacentes.

b).- Geología Estructural.- El conjunto de chimeneas del Distrito Minero de la Colorada guarda una disposición preferencial burdamente alineada al tren principal existente en el distrito (Este-Oeste) (Fig. N° 16). Adicionalmente algunos cuerpos de brecha parecen alojarse dentro de las mismas estructuras.

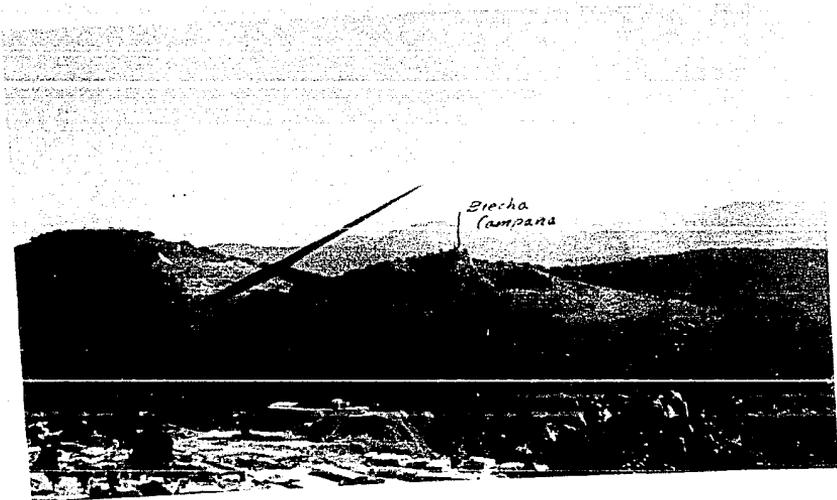


Foto 2. La Brecha Campaña aflora como una gran prominencia en la cima del Cerro.

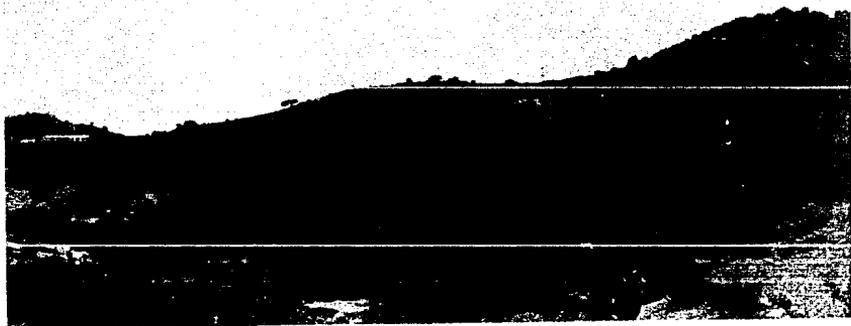


Foto 3. La Brecha Candelaria aflora como una loma de relieve suave, menos prominente que Campaña. Presenta un tipo de vegetación característica.

que encajonan las vetas. Por ejemplo, la Brecha San Jerónimo presenta una marcada elongación en la misma dirección de la Veta No Conocida y la posición parece indicar que fué emplazada en esta falla (Ezael Rocha, comunicación personal). En la unión de los cuerpos Oriente y Poniente de la Brecha Campana, tal parece que una falla sirvió de enlace siguiendo la debilidad estructural hasta comunicar con el cuerpo Oriente. El cuerpo Poniente muestra una elongación muy marcada en dirección de la falla sobre la cual se emplazó.

Chimeneas adicionales fueron encontradas aproximadamente a nueve kilómetros al noreste de La Colorada (Sierra del Escritorio) por los geólogos de Minera PROMET, S.A. En el área de Jiménez del Teul (15 kilómetros al suroeste) se encuentra otra chimenea brechada alojada en calizas, presentando valores de 300 gr/ton. de plata (Ing. Sergio Volzquez, comunicación personal). Esto indica que el Distrito de Colorada no es el único centro de actividad explosiva de este tipo en la región.

c).- Chimenea Campana.

Descripción.- En los niveles superiores de la mina, la chimenea Campana tiene una forma elongada en la dirección Norte-Sur. Su diámetro mayor es de 175 metros y el menor de 55 metros.

A profundidad la Brecha Campana se separa en dos cuerpos, Oriente y Poniente, separados 58 metros en el nivel 300, y ambos se unen en uno sólo un poco más abajo del nivel 250 los cuales continúan unidos hasta superficie.

La Chimenea presenta un cierto zoneamiento conside-

rando el tamaño y naturaleza de los fragmentos. Albinson (1973) los denomina "block breccia" y "pebble breccia" a las brechas de fragmentos grandes y pequeños respectivamente. En el presente trabajo se denominarán los tamaños de fragmentos en cuatro tipos: Brecha de bloques (block breccia), brecha de cantos (pebble breccia), brecha de grano grueso y brecha de grano fino.

Esta clasificación se definirá con respecto al tamaño de los fragmentos como se indica a continuación:

Brecha de bloques -----	Mayores a 100 (centímetros)
Brecha de cantos -----	5 a 100 (centímetros)
Brecha de grano grueso ----	0.2 a 5 (centímetros)
Brecha de grano fino -----	Menores a 0.2 (centímetros)

En general, en la Brecha de Campaña predominan los primeros dos tipos de brecha. El cuerpo de la brecha Oriente presenta brecha de bloques y de cantos, el cuerpo poniente presente sólo brecha de cantos.

Brecha de bloques.- En la Chimenea Campaña la brecha de bloques consiste de fragmentos que varían unos centímetros hasta 8 ó 10 metros, predominando los de tamaño superior a un metro. Los fragmentos presentan superficies lisas y abrasionadas, los espacios entre los bloques son muy reducidos y a veces son sólo fracturas de 2 a 3 centímetros de espesor. Los fragmentos comunmente ensamblan unos con otros como piezas de un rompecabezas. Entre los fragmentos puede ocurrir una matriz de brecha de grano grueso con un porcentaje alto de lutitas (Foto 4). Esta brecha fué referida por Albinson (1973) como pasta de roca ("rock past") y constitu-

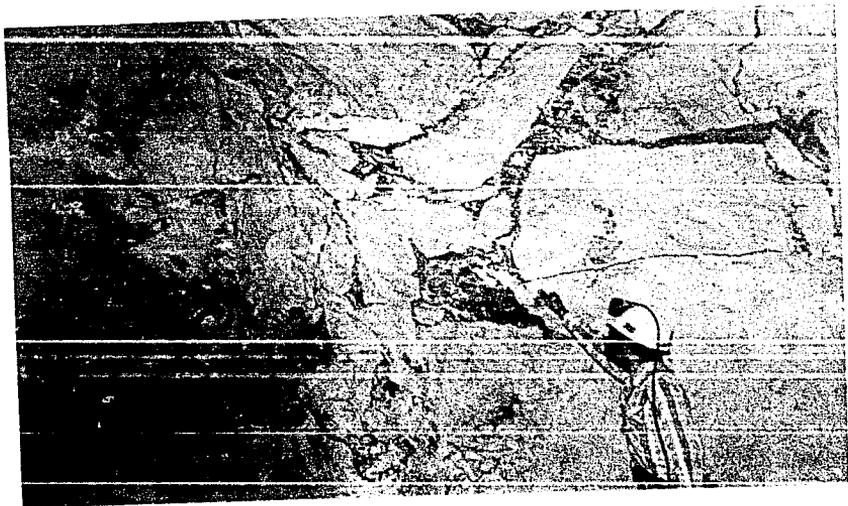


Foto 4. Brecha de bloques en la Chimenea Campaña; entre los fragmentos ocurren sulfuros y sílice rellenando huecos preexistentes y reemplazando a la matriz.

ye aproximadamente un 5% de la brecha.

El porcentaje de lutitas en la brecha de bloques es menor del 30%, el restante consiste en fragmentos de composición traquítica.

Brecha de cantos.- Está compuesta por traquitas en un 60%, lutitas 25% y el 15% restante consiste en roca molida de ambos tipos de litología.

Los fragmentos de brecha no exhiben ninguna clasificación y las elongaciones de algunos fragmentos no presentan ninguna orientación preferencial.

Los fragmentos de traquita varían ampliamente en tamaño desde roca molida hasta fragmentos de 6 a 8 metros de espesor (Foto 5), predominando los fragmentos de 5 a 40 centímetros de diámetro medio. Generalmente están de bien redondeados a subangulosos aunque esporádicamente se encuentran fragmentos totalmente angulosos. Algunas superficies de los fragmentos muestran evidencias de abrasión y pulimento, con bandas de salbanda o roca molida.

Las lutitas se presentan en tamaños menores que las traquitas, generalmente se encuentran formando parte de la matriz y varían en tamaño desde roca molida hasta fragmentos que raramente alcanzan 80 centímetros de diámetro. Los fragmentos grandes ya sean de composición sedimentaria o volcánica, generalmente son angulosos mientras que los pequeños son redondeados. Los fragmentos de caliza generalmente son escasos.

La matriz de las brechas consiste en una mezcla de roca molida de traquitas y lutitas, generalmente de aspecto arenosa o limosa, variando en coloración de blanca a gris

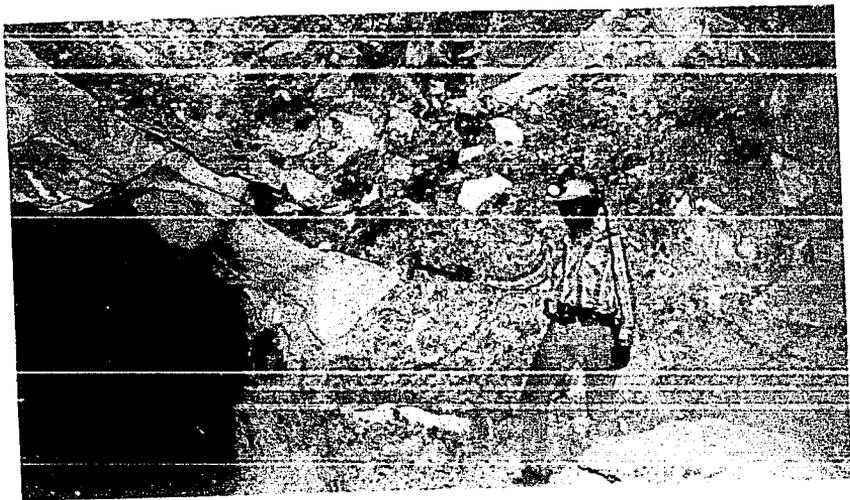


Foto 5. Brecha de cantos en la Chimenea Campaña, observese la mala clasificación que presenta y los grandes bloques que aparecen dentro de ella.

clara y gris obscura, de acuerdo al contenido de lutitas.

Contacto de la brecha con la roca encajonante.- La roca encajonante de las chimeneas es en su totalidad traquita. Aunque dentro de la brecha se encuentran fragmentos de rocas sedimentarias cretácicas hasta en un 25%, en el nivel 300 aún no se han encontrado este tipo de rocas.

El contacto entre la brecha y la roca encajonante generalmente está marcado por fallas paralelas al contacto, fallas que son de poco desplazamiento y extensión corta.

El contacto de la brecha de cantos es generalmente marcado y tiene poco problema para identificarse. Pequeñas intrusiones de brecha pueden ocurrir en la roca encajonante.

El límite de la brecha de bloques es más difícil de definir, ya que se presentan grandes bloques desprendidos de las paredes de la roca encajonante, y gran cantidad de intrusiones de brechas más finas en fracturas dentro de la roca encajonante. Este tipo de contacto es por consiguiente transicional y puede localizarse dentro de un espacio de dos a tres metros.

Contacto entre la brecha de bloques y la brecha de cantos.- Entre los dos tipos de brecha ocurre una zona de transición cuyo límite puede ser tajante o puede exhibir un contacto irregular y transicional. Este último se presenta como intrusiones anchas de brecha de cantos en la brecha de bloque, o bien, se observan bloques grandes dentro de la brecha de cantos.

Mineralización.- En la Chimenea Campaña pueden distinguirse dos etapas principales de mineralización. En la primera etapa se depositaron los sulfuros de plomo, zinc y cobre, acompañados por sílice criptocristalino (pedernaloso) color gris claro a oscuro. Estos ocurren rellenando los huecos preexistentes entre los fragmentos de brecha y reemplazando parcial o totalmente, a la matriz de roca molida o a los fragmentos mismos (especialmente a las lutitas). La mineralización se inició con sulfuros de cobre y zinc y continuó con galena, siguiendo varias etapas sucesivas de pedernal, esfalerita y galena. Al microscopio no se han encontrado minerales de plata, posiblemente esta se encuentra dentro de la galena finamente diseminada (galena argentífera).

La segunda etapa de hidrotermalismo depositó un cuarzo blanco y amatista estéril, rellenando huecos y pequeñas fisuras dando origen a drusas y vetillas con cristales que atraviesan las bandas de sulfuros y cuarzo pedernaloso (ver foto 7 y figura 7). Este cuarzo es más común entre la superficie y el nivel 60; hacia abajo disminuye paulatinamente siendo muy escaso en los niveles inferiores.

Alteraciones hidrotermales.- La alteración más abundante de la Chimenea de Campaña es la sericitización, que consiste en la presencia de sericita y piritita en los bordes de la brecha y en los fragmentos. Esta ocurre principalmente en la brecha de bloques, dándole un aspecto blanquecino y blanco característico.

En la roca encajonante se presenta un halo irregular generalmente mayor a 50 metros de diámetro de alteración fuerte (Albinson, 1973). La presencia de la silicificación se muestra generalmente íntimamente ligada a la mineralización



Foto 6. Contacto tajante entre la brecha de cantos y brecha de grano grueso en la Chimenea Candalaria.

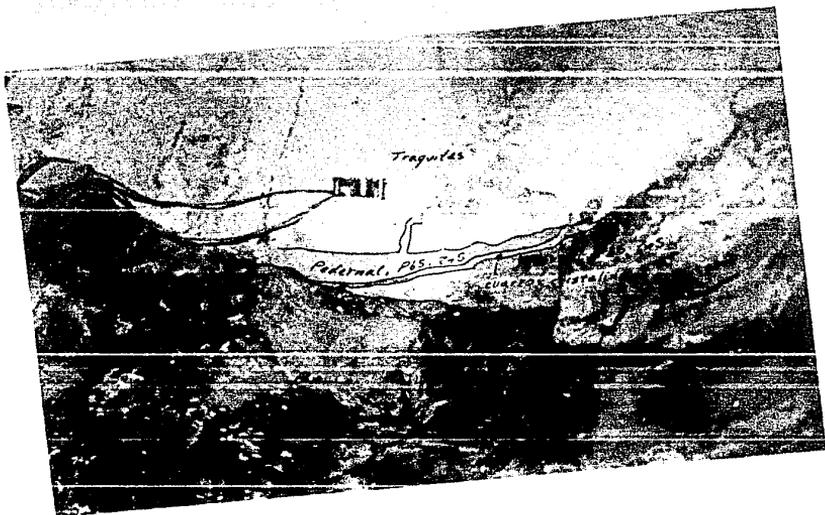


Foto 7. Hilo de cuarzo cristalino tardío cortando las bandas de sílice y sulfuros que bordean los fragmentos, en la Chimenea Campaña.

y se presenta como una invasión o reemplazamiento de la matriz o de fragmentos de la brecha.

Temperatura y profundidad de mineralización.- Las chimeneas Campana y Colorada muestran un rango de temperaturas determinados en esfalerita de 260 a 315°C, salinidades entre 5 y 13.8% NaCl, y promedio de 290°C y 8% NaCl.

Aunque en las muestras determinadas no se observó ebullición, cabe la posibilidad de que sí exista, ya que inclusiones ricas en vapor son difíciles de diagnosticar en esfalerita (Albinson, comunicación personal). En los 300 metros de desarrollo vertical de la brecha no se observó un gradiente térmico definible de temperaturas.

Los histogramas de temperatura de los niveles de la mina caen dentro del campo de vapor de los fluidos hidrotermales y requieren de un ambiente de presión mayor a 70 bares para evitar la separación de la fase vapor en los fluidos. Bajo condiciones hidrostáticas de presión, esto equivaldría a un mínimo de 800 metros de profundidad del paleonivel freático. Por tanto, cabe la posibilidad de tomar en cuenta un componente de presión litostática relacionada a una menor permeabilidad en las brechas (Albinson, 1985).

Zona favorable de mineralización.- Del nivel 60 a superficie las leyes de la Brecha Campana fueron aproximadamente de 300 grs. de Ag/ton. en óxidos. Entre los niveles 100 y 200 hay una disminución en las leyes, incrementándose entre los niveles 200 y 300. Actualmente son conocidos 300 metros mineralizados verticalmente y la variación vertical de la ley se muestra en la figura 8.

MINERAL	ETAPA 1	ETAPA 2
Pirita	—	
Calcopirita	—	
Bornita	—	
Esfalerita	—	
Galena	—	
Sílice Criptocristalino	—	
Cuarzo Cristalino y Amatista		—
TEXTURA	Reemplazamiento y relleno de fisuras	Relleno de fisuras

Fig. 7 Representación esquemática de la secuencia de depósito de los minerales hidrotermales en la chimenea Campaña.

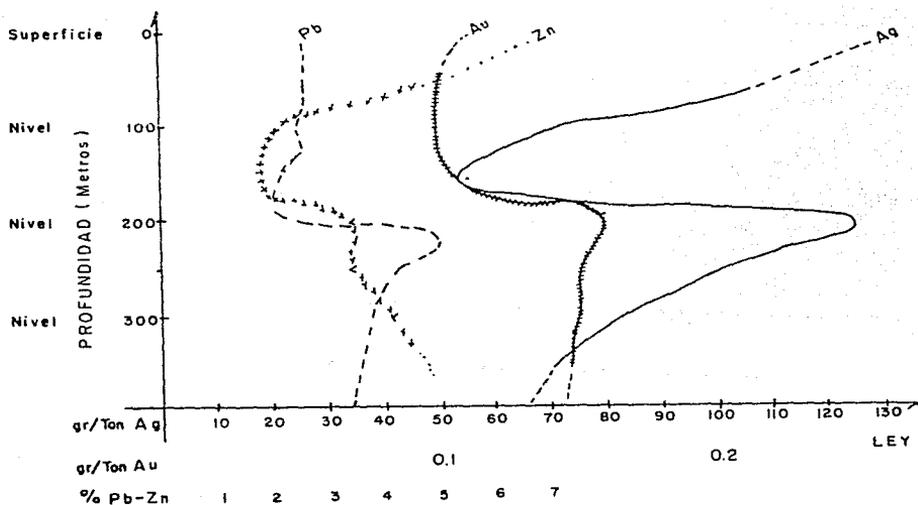


Fig. 8 Variación de las leyes respecto a la profundidad. Mina Campaña (en base a cálculos de Herrera y Soto).

El incremento de las leyes arriba del nivel 60, puede estar asociado a una posible ebullición en la parte superior de la chimenea, o bien, a enriquecimiento supergénico. Se desconoce el mecanismo responsable de la disminución marcada de valores entre los niveles 120 y 180 de la brecha en Au, Ag, Pb y Zn.

La ausencia de ebullición de las inclusiones fluídas de la Chimenea Campaña, favorece la persistencia de mineralización a profundidad como en el caso del Distrito Sombrerete, donde la mineralización persiste a profundidad en un mínimo de 600 metros (Albinson, op. cit.)

d).- Chimenea Candelaria.- Las brechas Candelaria y San Fermín presentan características muy similares. Esta última fue reconocida recientemente en superficie y en el nivel 112 de la Mina Candelaria.

En superficie presentó valores de 50 gr/ton. de plata.

Descripción.- La Chimenea Candelaria presenta en superficie un contorno casi circular con una ligera elongación en la dirección noreste suroeste, con un diámetro aproximado de 170 metros. En el interior de la mina la elongación es más marcada, con dimensiones de 210 por 80 metros.

Dentro de la Chimenea Candelaria se pueden distinguir tres tipos diferentes de brecha; brecha de cantos, brecha de grano grueso y brecha de grano fino.

Brecha de cantos.- Los fragmentos de esta brecha varían en tamaño desde 5 centímetros hasta 3 metros de diámetro, predominando los de 15 a 80 centímetros; generalmente están de subredondeados a subangulosos, algunos bien redon

deados. Los fragmentos predominantes consisten de traquitas (80%), mientras que las lutitas constituyen el 12%, y roca molida representando la matriz 8%. En ocasiones la matriz es escasa, dando así al conjunto una alta permeabilidad, muy favorable a la mineralización. En brecha de este tipo dentro de la Brecha Candelaria se explotó un cuerpo mineralizado de unos 20 metros de diámetro.

Brecha de grano grueso.- La apariencia general de esta brecha es homogénea, la proporción de fragmentos de traquitas y lutitas son más o menos iguales, englobados en matriz de roca molida de color gris claro a oscuro que representa aproximadamente el 15% del conjunto. Se observan algunos fragmentos esporádicos de caliza. La mayoría de los fragmentos son angulosos, los tamaños de los fragmentos varían ampliamente, desde roca molida hasta bloques esporádicos de dos metros, pero el tamaño predominante es de 2 a 4 milímetros. Algunas intrusiones de brecha de este tipo se encuentran alojadas en la roca encajonante.

Esta brecha forma la mayor parte del cuerpo de la Brecha Candelaria.

Brecha de grano fino.- Los fragmentos de esta brecha son menores a 2 milímetros, presentan una textura arenosa y generalmente son angulosos. Composicionalmente las lutitas se presentan en un porcentaje del 10%, las traquitas 15%, y el 75% restante consiste en roca molida compuesta por ambos tipos.

Esta brecha se presenta como lenguetas o intrusiones pequeñas de algunos metros de espesor dentro de los otros tipos de brecha.

Contactos de brecha.- Cuando los cuerpos de brecha de cantos estan en contacto con la roca encajonante volcánica, el contacto, aunque marcado no es fácil de establecer ya que tanto la brecha (que consiste principalmente en fragmentos de traquita) como la roca encajonante, presentan sericitización y cloritización. Por otro lado, los otros dos tipos de brecha presentan contactos notorios con la roca encajonante ya que la abundancia de fragmentos de lutitas ocasiona coloraciones oscuras.

El contacto entre la brecha de cantos y la brecha de grano grueso es tajante (ver foto 6) o transicional en un rango de 2 a 4 metros. Algunos bloques grandes se encuentran englobados en brechas de grano grueso, así como también en la brecha de cantos hay intrusiones de brecha de grano grueso.

Las intrusiones y lenguetas de brecha de grano fino presentan límites muy precisos con la brecha de grano grueso. El contacto lo forma una franja angosta de roca muy molida de color oscuro con la apariencia de salvanda. Dentro de esta brecha se encuentran algunos fragmentos de brecha de grano fino.

Mineralización y Paraagénesis.- A la fecha se conoce un cuerpo mineralizado con ley explotable en la Chimenea Candelaria. Este se explotó entre las elevaciones 2030 a 1955 m.s.n.m. (aproximadamente 95 metros verticales), con un diámetro de 20 metros y con una ley media de 250 gr/ton. de plata.

Este cuerpo se alojó en brecha de cantos que presenta gran cantidad de huecos entre los fragmentos, dándole una

alta permeabilidad que facilitó la depositación de la mineralización.

La brecha de grano grueso presenta sólo algunas zonas muy silicificadas y alguna diseminación de galena, pirita y esfalerita, formando cuerpos que llegan a alcanzar decenas de metros de diámetro con leyes medias de 60 a 80 gr/ton de plata. Las brechas de grano grueso y de grano fino son generalmente estériles.

En la brecha de cantos la mineralización se inicia con la depositación de galena y esfalerita, acompañados por cuarzo y pirita, presentándose al final de la mineralización cuarzo cristalino rosado y transparente de grandes cristales, sulfosales de plata, argentita y plata nativa filamentosas.

Alteraciones hidrotermales.- Este cuerpo de brecha presenta un halo de sericitización generalmente menor a 5 metros, pero que se extiende hasta 10 metros en las intersecciones de las vetas con la brecha. Esta alteración también la presentan la mayoría de los fragmentos de traquita dentro de la brecha. Algunos fragmentos de traquita dentro de la brecha también presentan un poco de cloritización.

Las zonas mineralizadas de ley baja dentro de la brecha de grano grueso exhiben comúnmente cuarzo como cementante entre los fragmentos.

Temperaturas de formación.- Albinson (1985) reporta una muestra por inclusiones fluidas entre los niveles 167 y 252, que presenta un promedio de temperaturas de homogenización de 254°C y salinidad de 3.5% de NaCl. Las inclusiones fluidas manifiestan ebullición, temperaturas y caracte-

rísticas que parecen integrarse al gradiente geotérmico de las vetas.

Zona favorable de mineralización.- Del nivel 252 al 167 el cuerpo mineralizado de la Chimenea Candelaria presenta leyes y un diámetro mineralizado aproximadamente uniforme.

Debido a la similitud en las características de temperatura, salinidad y presencia de ebullición con los flujos que mineralizaron las vetas, se puede anticipar que la distribución vertical de la mineralización en la Brecha Candelaria será similar a la descrita anteriormente para las vetas.

e).- Clasificación y origen de las chimeneas brechadas.

Medio Tectónico.- Numerosas brechas mineralizadas han sido estudiadas a lo largo de la línea Costera Americana. El mayor número de brechas de chimenea se encuentran localizadas en arcos volcanoplutónicos (Sillitoe, 1985), por lo que puede decirse que este es su ambiente metalotectónico. Las edades de las brechas de este tipo varían desde el Precámbrico hasta el Pleistoceno.

Clasificación y origen de las brechas de chimenea.- Se han hecho numerosas clasificaciones de brechas volcánicas, Parsons (1969), Wright y Bowes (1963) y Sillitoe (1985), sin lograr unificar conceptos genéticos convincentes relativos a sus mecanismos de formación. En el presente trabajo sólo se presentará la clasificación de Sillitoe (1985) para las brechas de chimenea.

## BRECHAS RELACIONADAS A YACIMIENTOS

1. Brechas magmáticas hidrotermales
2. Brechas hidromagmáticas (hidrovolcánicas)
  - Brechas freáticas
  - Brechas freatomagmáticas
3. Brechas magmáticas (volcánicas)
4. Intrusiones de brecha y,
5. Brechas Tectónicas.

1).- Brechas magmáticas hidrotermales.- La liberación de energía de los fluidos magmáticos hidrotermales de la parte superior de las cámaras magmáticas durante la segunda etapa de ebullición la cual se describirá posteriormente, y la subsecuente descompresión, produce un ascenso o descenso de los fragmentos de brecha.

2).- Brechas freáticas.- El calor magmático y la expansión de los fluidos meteóricos contenidos en los poros de la roca, puede causar brechamiento, comunmente de edad postmineral.

- Brechas freatomagmáticas.- La interacción de las aguas subterráneas con el magma puede generar explosiones freatomagmáticas.

3).- Brechas magmáticas.- Brechamiento magmático-hidrotermal puede causar la ruptura de las rocas hasta la paleosuperficie a través de una descompresión, fragmentación y erupción de la parte superior de la cámara magmática.

4).- Intrusiones de brecha.- Algunas brechas son el resultado de la ruptura mecánica de las rocas encajonantes durante el movimiento subterráneo del magma.

5).- Brechas Tectónicas.- Estas brechas son el resultado del desplazamiento de fallas.

Fuente de energía de brechamiento.- Las brechas del área de la Colorada, se caracterizan por estar constituidas por una mezcla de las rocas encajonantes que estas atravesaron (lutitas y traquitas). Algunos fragmentos fueron elevados una distancia mínima de 300 metros y otros descendieron un mínimo de 50. Estas brechas no pueden ser explicadas como brechamiento producto de colapso o por desplazamiento de falla, necesariamente son producto de explosiones ascendentes provenientes del subsuelo.

La actividad explosiva requiere de una fuente que proporciona la energía necesaria para levantar una presión litostática de varios cientos de metros. Burnham (1985) propone que la energía puede ser liberada de magmas hidratados en ambientes subvolcánicos por el proceso secuencial de la segunda etapa de ebullición y subsecuente descompresión. Algunos magmas granodioríticos contienen originalmente un 2 a 4% en peso de agua. La cristalización de estos magmas produce una liberación de esta agua mediante la siguiente reacción:

Magma saturado de  $H_2O$   $\longrightarrow$  Cristales + fluidos acuosos

Esta reacción es llamada segunda ebullición, por medio de la cual se produce un incremento en el volumen del cuerpo magmático directamente dependiente del contenido inicial de agua en el magma y de la deformabilidad de las rocas encajonantes, e inversamente dependiente de la profundidad (presión litostática). La energía liberada de esta forma es capaz de romper o deformar la roca a profundidades de 4 a 5 kilómetros.

Posteriormente al rompimiento o fracturamiento de la roca, la expansión de fluido liberado produce energía suficiente para levantar un peso equivalente de roca igual al magma del sistema a una altura aproximada de un kilómetro, sin considerar efectos de fricción (Durnham, 1985).

Fluidización.- El proceso conocido por este nombre, se usa en la industria con la finalidad de acelerar reacciones químicas en base al flujo de un gas a través de una capa de partículas. Al aumentar la velocidad del flujo de aire a través de las partículas, el conjunto de éstas se expande y las partículas individuales toman movilidad. Reynolds (1954) analizó este proceso y las implicaciones que puede tener en algunos eventos geológicos.

McCallum (1985) quien experimentó la fluidización en pequeña escala, define 7 tipos básicos de fluidización progresiva relacionadas a velocidades de gas de intensidad paulatinamente más alta. Los dos tipos de fluidización más intensa son: a).- el tipo de acanalamiento ("channeling") que provoca un cuerpo de brecha de fragmentos angulosos y una mezcla incipiente de los fragmentos, y b).- el tipo con vectivo ("spouting") donde la abrasión intensa de los fragmentos produce redondez y esfericidad, y una mezcla perfecta de los fragmentos.

En el ámbito magmático hidrotermal es posible visualizar la formación de brechas relacionada a explosiones iniciales de gases seguidas por una liberación menos violenta de gases que produciría una etapa de fluidización no explosiva.

f).- Discusión del origen de las chimeneas brechadas de la Colorada.- Un mecanismo de formación de las chimeneas de

brecha del distrito, debe explicar las siguientes características de los cuerpos:

- a). Angulosidad en los fragmentos en algunas zonas de la brecha, perfecta redondez en otras.
- b). Huellas de abrasión en la superficie de los fragmentos y pasta de roca en la matriz de las brechas.
- c). Zoneamientos entre los diferentes tipos de brecha.
- d). Evidencia tanto de ascenso como de descenso de los fragmentos dentro de la columna.
- e). Homogeneidad en el grado de mezcla de los fragmentos de diferente litología.

El ascenso mínimo de 300 metros de algunos fragmentos de rocas sedimentarias, descarta la posibilidad de que estas brechas sean de colapso.

El brechamiento fué producido por una explosión volcánica proveniente del subsuelo que provocó la ruptura de las rocas y el ascenso de los fragmentos. Este evento origina una brecha constituida por fragmentos angulosos y una mezcla incipiente de éstos.

Los procesos de fluidización intensa (tipo canalamiento y convectiva) descritos por McCallum (1985) explican en forma satisfactoria las características de las chimeneas de la Colorada. Por ejemplo, el Cuerpo Poniente de la Brecha Campaña abajo del nivel 250 presenta características de fluidización convectiva, ya que los fragmentos se presentan redondeados y bien mezclados en una matriz de roca molida abundante y evidencias de abrasión en la superficie de los fragmentos. Por otro lado, el Cuerpo Oriente muestra una mezcla menos desarrollada de litologías, un grado más alto de angulosidad de los fragmentos y un porcentaje de matriz de roca mo

lida más reducido. Estas características se presentan en la fluidización del tipo acanalamiento.

La Brecha Candelaria es un poco más compleja, presenta una alta homogeneidad en la mezcla de los fragmentos, elevado porcentaje de pasta de roca y diversos zoneamientos en brechas de cantos, grano grueso y grano fino. Las características de esta brecha parecen relacionarla a fluidización del tipo convectiva, pero la zona donde se presenta el cuerpo mineralizado parece ser el conducto de ascenso de gases de fluidización tipo acanalamiento. El tipo de fluidización de esta brecha puede estar enmascarado por las explosiones tardías a que estuvo sujeta.

El mejor candidato como fuente de energía que proporcionó los gases explosivos responsables de la formación de las chimeneas de la Colorada, es obviamente un intrusivo a profundidad.

Respecto a esto, un stock diorítico aflora 10 kilómetros al Noroeste del distrito en la Sierra de Chalchihuites, con una magnitud aproximada de 2 kilómetros de diámetro. Adicionalmente, Ezael Rocha (comunicación personal) reporta que afloran diques riolíticos en las cercanías de la Brecha San Jerónimo a un kilómetro al noroeste de la Colorada.

Las características y medio de origen descritos para las brechas de la Colorada, permiten clasificarlas como de tipo magmáticas hidrotermales según la clasificación de Sillitoe (1985).

CAPITULO V

RELACION DEL SISTEMA DE VETAS CON LAS CHIMENEAS BRECHADAS

V.1 Evidencias estructurales y texturales entre chimeneas y vetas.

Algunas de las vetas principales de la Mina Candalaria como son; No Conocida, Santa Isabel y N° 2, son truncadas por los cuerpos de brecha.

De las vetas Santa Isabel y N° 2, no se conocía si tenían prolongación en el otro extremo de la brecha; hace algunos años se invirtió, con resultados negativos, en exploración con obras directas y barrenos de diamante buscando la prolongación de ellas dentro de la brecha. Para la exploración de la posible continuación de estas vetas, surgió la necesidad de conocer la relación entre ambas estructuras.

Existen dos tipos de evidencias con las que se puede determinar la relación entre vetas y brechas: Evidencias texturales y evidencias estructurales.

Actualmente se cuenta con diversos sitios donde investigar dicha relación:

- a). Brecha San Fermín
- b). Veta Santa Isabel
- c). Veta N° 2 del Alto
- d). Veta No Conocida
- e). Veta N° 2.

En todos los casos, exceptuando la No Conocida, las fallas donde se alojan las vetas se ven truncadas por la brecha, penetran sólo unos centímetros ó unos metros, y ocasionalmente terminan bruscamente. En seguida serán analizados cada uno de los casos conocidos donde una veta choca con brecha.

a).- Brecha San Fermín.- Las características de esta chimenea brechada son similares a la Brecha Candelaria. En el interior de la mina se desconoce si dicho cuerpo presenta mineralización de importancia, en superficie ocurre algo de cuarzo dentro de ella como cementante o como ramaleos. Actualmente se tiene reconocida y mapeada en superficie y algunos niveles de la Mina Candelaria.

La Brecha San Fermín presenta una elongación muy marcada en dirección este-oeste, en la misma dirección de la Veta No Conocida (Fig. 9A).

La mineralización que se aloja a lo largo de la Veta No Conocida donde la roca encajonante está representada por traquitas y lutitas desaparece cuando la estructura se aloja dentro de la brecha (ver fig. 9).

Tres alternativas de la secuencia de eventos que pudieron dar origen a las relaciones entre la Brecha San Fermín y la Falla No Conocida se describen a continuación.

a).- Brechamiento → Fallamiento → Mineralización → Reactivación de falla (ver fig. 10A).

En este caso la brecha sería cortada por la Falla No Conocida y la mineralización se alojaría en traquitas, lutitas y brecha. La reactivación postmineral de la Falla No Conocida desplazaría todas las unidades como se mencionó anteriormente.

La falla No Conocida en esta zona presente un desplazamiento mayor a 200 metros (Fig. 17). Por otro lado, la figura 9 indica que el desplazamiento de la brecha es pequeño. Por tanto, la evidencia estructural indica que la alter

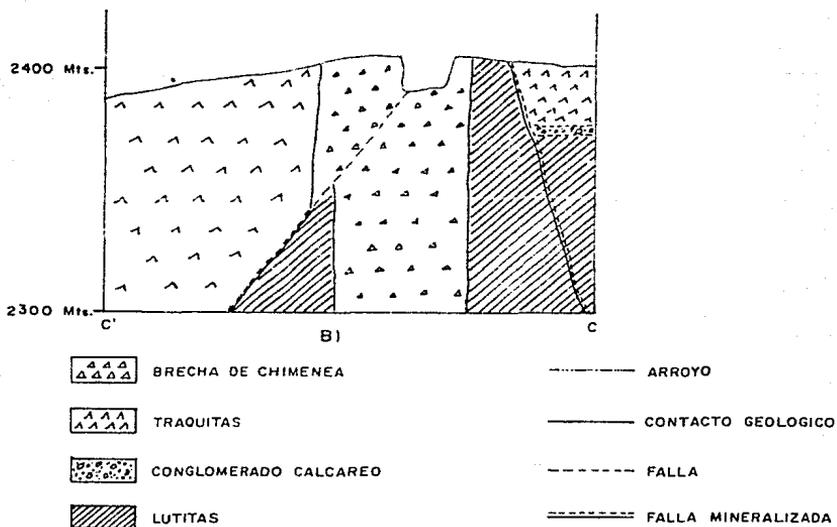
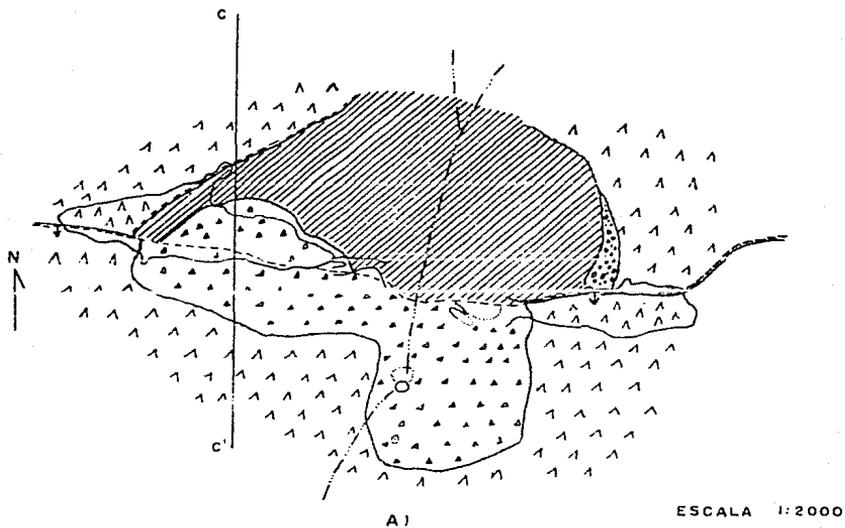


Fig. 9 A) Plano Geológico de Superficie de la Brecho Son Fermin  
B) Sección C-C' en dirección Norte Sur viendo al Oeste.

nativa A no es factible.

b).- Fallamiento → Mineralización → Brechamiento → Reactivación de falla (Fig. 10B).

En el presente caso, la brecha no presentaría cementación ni ramaleos de cuarzo, ya que es posterior en la secuencia de eventos a la mineralización, y se encontrarían dentro de la brecha fragmentos de veta a raíz de la destrucción de la veta por la brecha. El contacto de la veta con la brecha sería brusco y cortante.

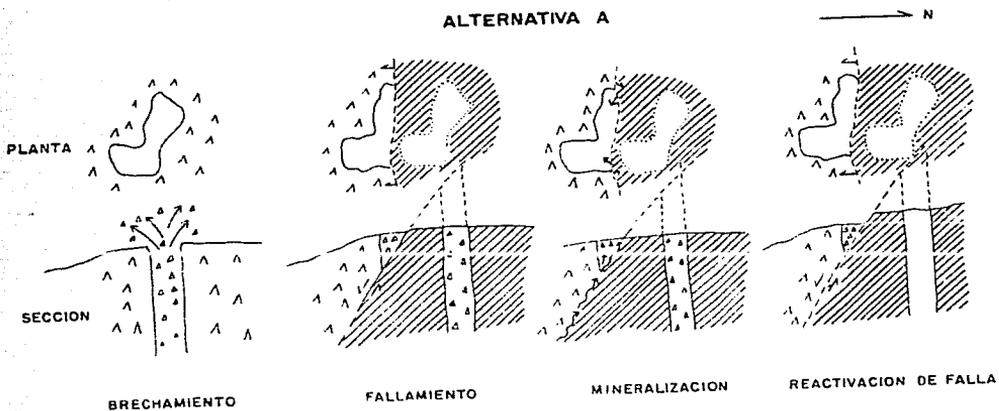
La presencia de vetillas de cuarzo y cementación parcial de cuarzo dentro de la brecha es evidencia que no apoya esta alternativa.

c).- Fallamiento → Brechamiento → Mineralización → Reactivación de falla (Fig. 10C).

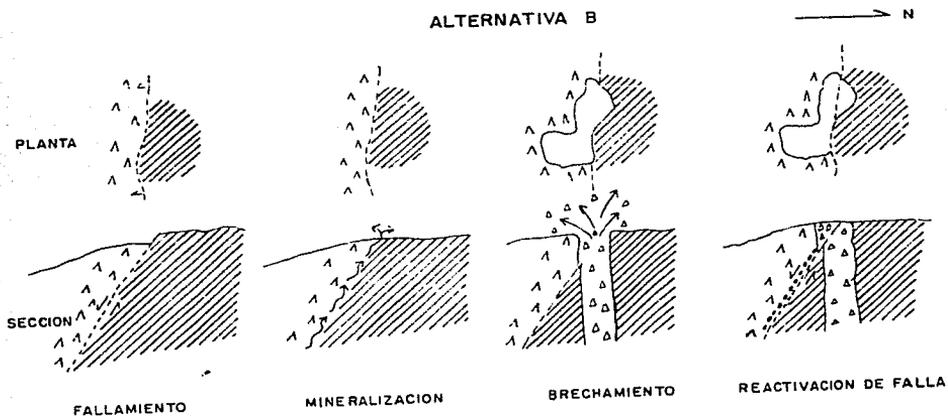
El desplazamiento fuerte premineral de los paquetes de roca a lo largo de la falla, el emplazamiento de la mineralización tanto en la falla como en la brecha y el corto desplazamiento estructural postmineral de la brecha, concuerdan con las relaciones geométricas entre la Brecha San Fermín y la Veta No Conocida.

Existe una evidencia textural que favorece esta última secuencia; La Veta No Conocida presenta muchos ramaleos al chocar con la Brecha San Fermín, dos de estos ramaleos importantes chocan con la brecha mostrando una pequeña introducción de mineralización de cuarzo y óxidos dentro de ella, esta mineralización desaparece paulatinamente en una distancia de unos centímetros (ver contacto transicional, Fig. 11).

## ALTERNATIVA A



## ALTERNATIVA B



0 400 Mts.

ESCALA GRAFICA

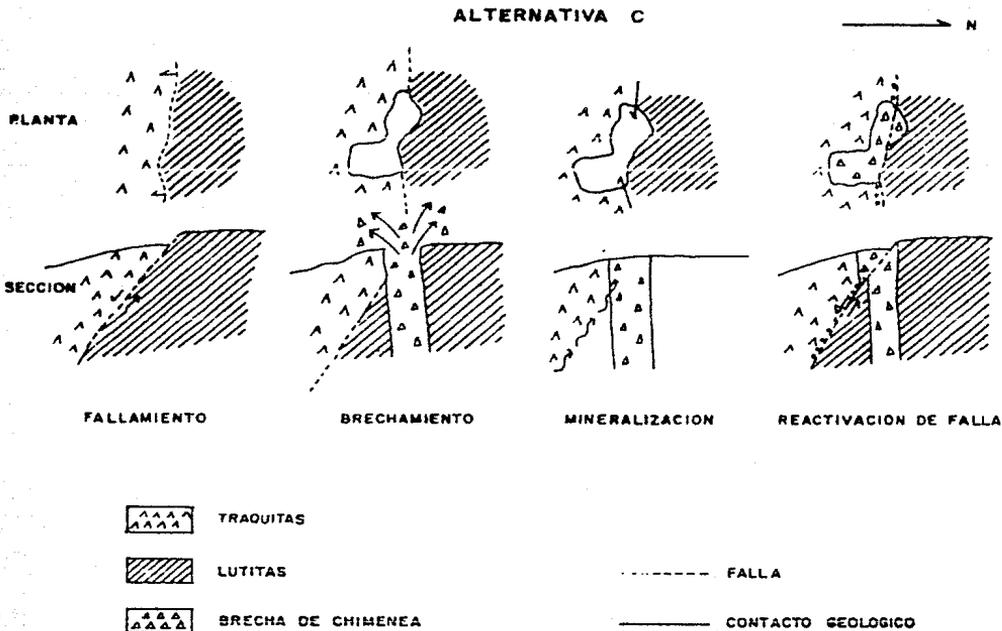


Fig. 10 A) B) Y C) Secuencias de eventos que pudieron originar la relación estructural entre la Brecha San Fermín y la falla no Conocida, siendo la posibilidad C) la más factible. Comparar con la figura anterior

Alternativa A.- El desplazamiento menor de la brecha respecto a las rocas encajonante no apoya esta alternativa.

Alternativa B.- La mineralización que cementa parcialmente a la brecha no favorece esta alternativa.

Alternativa C.- El desplazamiento fuerte en las rocas, combinado con el desplazamiento reducido en la brecha y la posición de la mineralización apoyan esta alternativa.

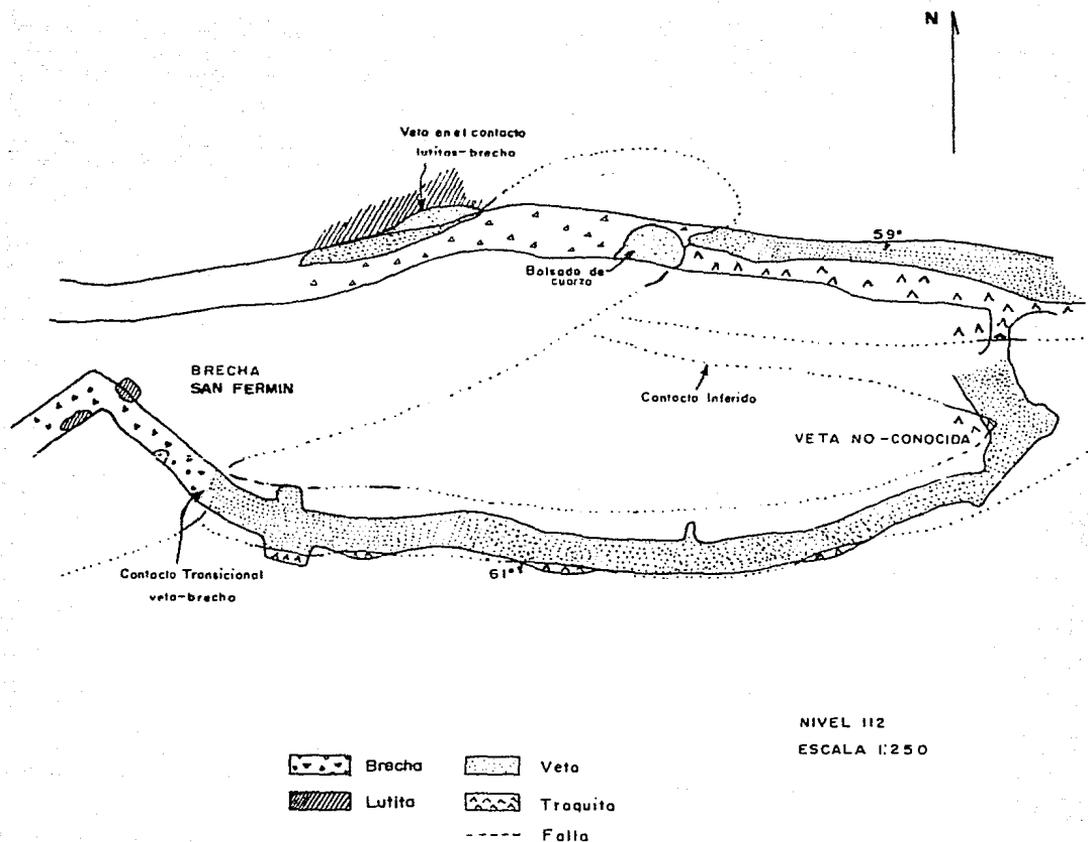


Fig. 1j Veta No Conocida ramaleada antes de chocar con la Brecha San Fermín. En el contacto veta-brecha ocurre en una transición de unos centímetros. La brecha se silicifica en el contacto con la veta.

b).- Veta Santa Isabel.- La Veta Santa Isabel choca con la Brecha Candelaria en los niveles 167 y 252. En el nivel 167 la veta se encuentra alojada en una falla que desaparece al llegar a la brecha (ver Fig. 12A).

En este mismo nivel la veta se ramalea cerca de la Brecha Candelaria, algunos de estos ramaleos penetran dentro de la brecha y más adelante forman pequeñas bolsadas de cuarzo y sulfuros. Dentro de una de estas fracturas ocurre una intrusión de brecha que en la zona de contacto con la veta se encuentra cementada por cuarzo (ver área ampliada, Fig. 12A).

En el nivel 252 la Veta Santa Isabel exhibe lutitas en el bajo y brecha al alto, cementando parcialmente a esta última. Es importante notar que dentro de la brecha aparecen algunos fragmentos angulosos de veta, no mayores a 4 centímetros de diámetro (Fig. 12B).

c).- Veta N° 2 del Alto.- La veta choca con la brecha y se aloja en el contacto brecha-traquita. Una pequeña intrusión de brecha se observa truncada por la veta (ver zona ampliada 1, Fig. 13B). Una lengüeta de brecha se aloja dentro de una falla del sistema de Veta N° 2 del Alto (Fig. 13A).

Existen zonas de silicificación y alteración argílica en la brecha donde el cuarzo ocurre como cementante. Por otro lado, algunos fragmentos de cuarzo aparecen incorporados dentro de la brecha (Fig. 13 A y B).

En el área ampliada N° 2 (Fig. 13C), se observa una intrusión de brecha que ocurre dentro de una falla que se desprende del alto de la veta. Esta brecha está compues-

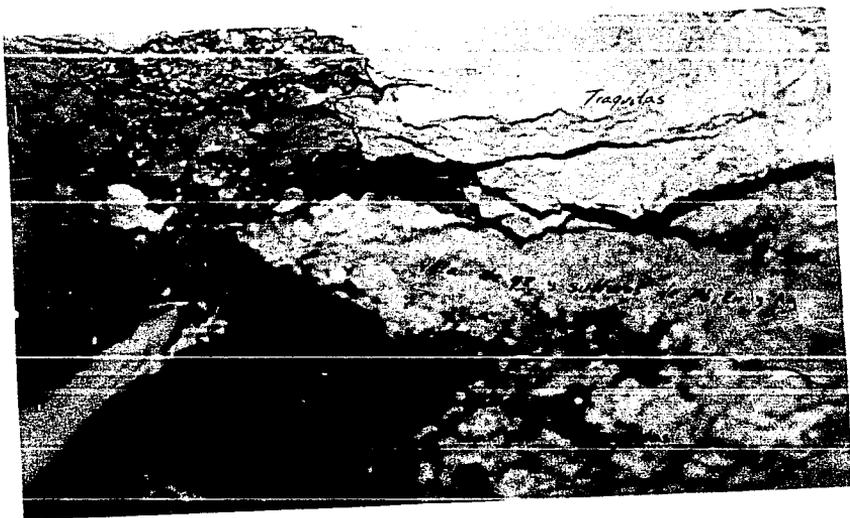


Foto 8. Veta N° 2 del Alto encajonada en traquitas e introduciéndose un tramo en brecha de grano grueso (Rebaje 4370).

PLANTA DEL NIVEL 167  
 ESCALA 1:250

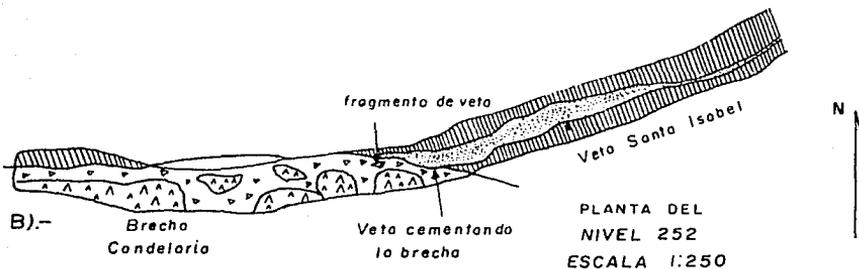
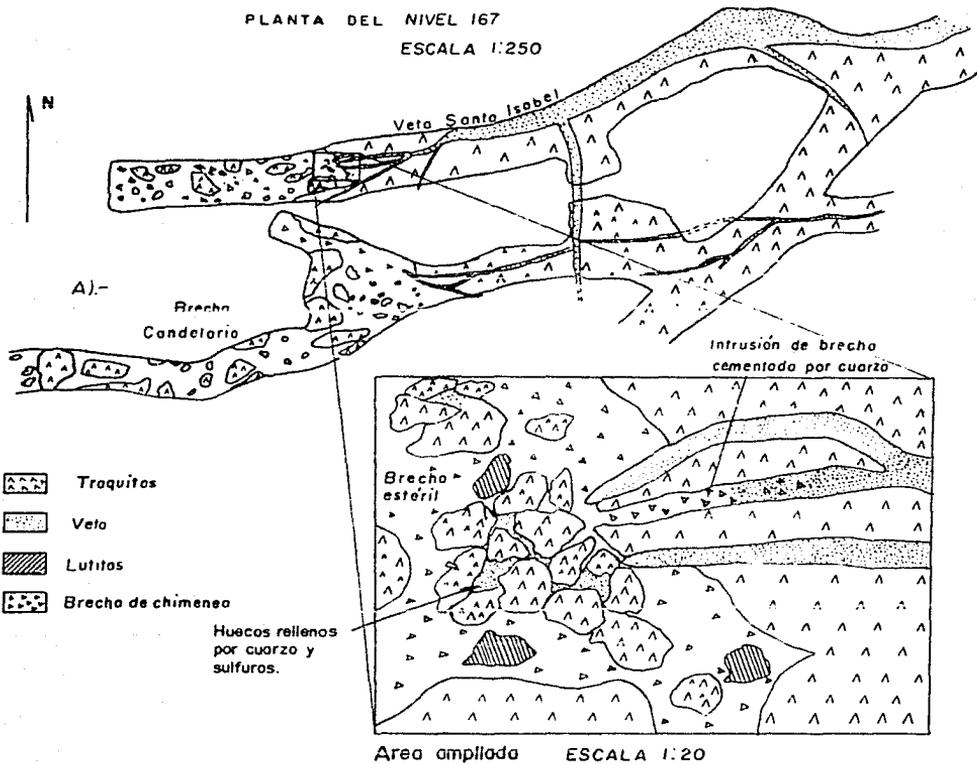


Fig. 12 A)-Veta Santa Isabel chocando con la brecha Condelario, obsérvese la intrusión de brecha dentro de la fractura de Santa Isabel (área ampliada).

B)-Veta Santa Isabel chocando oblicuamente con la brecha, la veta se pone en contacto con la brecha y la cementa con cuarzo.

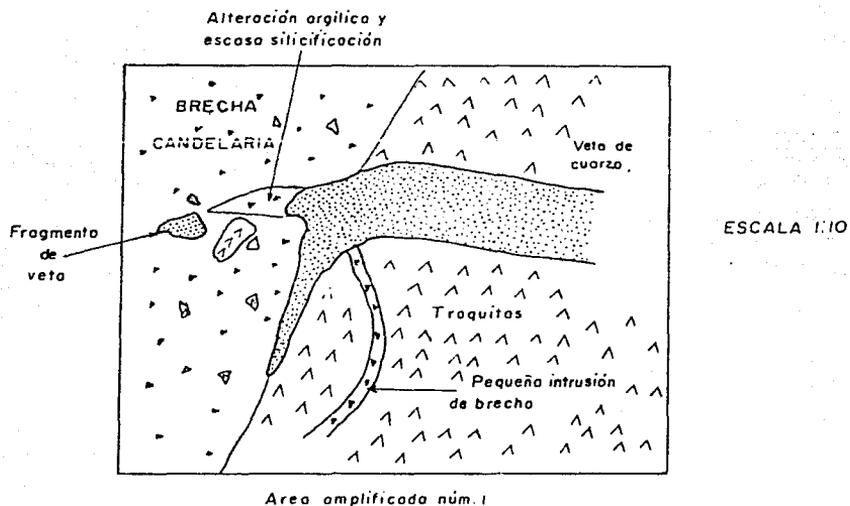
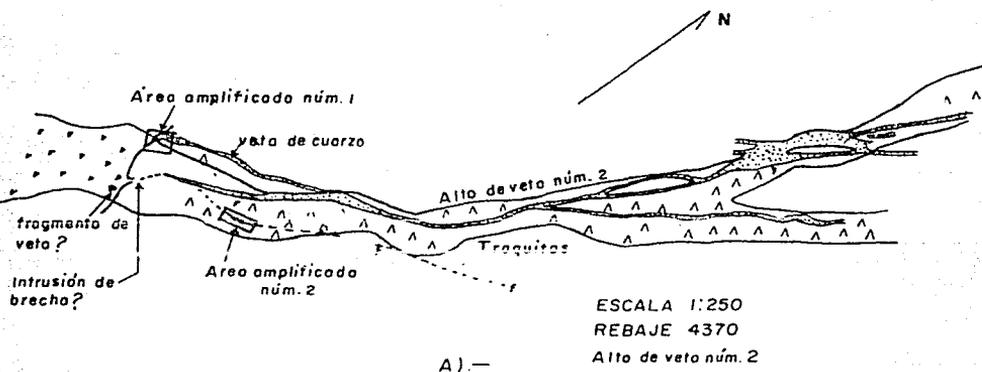
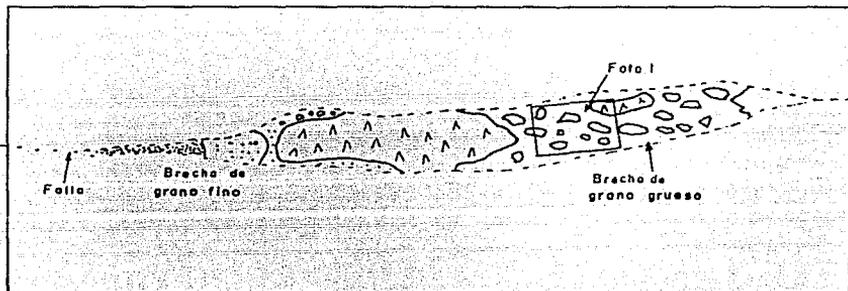


Fig. 13 A).—Choque del alto de veta núm. 2 con la brecha "Candelaria".  
 B).—Detalle del choque de la veta con la brecha, cementación de la brecha por la veta, truncamiento de la pequeña intrusión de brecha y fragmentos de veta en la brecha.



AREA AMPLIFICADA 2

ESCALA 1:10

C)

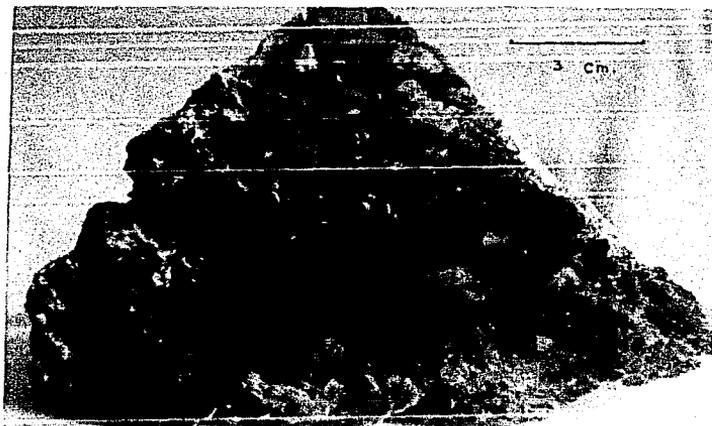


FOTO 9

Fig. 13 C).— Intrusión de brecha en la falla del alto de veta núm. 2. Nótese que aparece mas de un tipo de brecha, tomando en consideración el tamaño de los fragmentos.

FOTO 9 Dentro de la intrusión aparecen fragmentos de cuarzo de veta y sulfuras.

ta por fragmentos de traquitas y lutitas en matriz de roca molida compuesta de ambos tipos de roca. Junto con ellos también ocurren fragmentos de cuarzo y sulfuros aparentemente derivados de material de veta (ver Foto 9). Dentro de esta brecha se pueden distinguir tres tipos de brecha de grano fino delimitados por contactos definidos.

d).- Veta No Conocida.- En esta localidad un dique de brecha que intersecta la Veta No Conocida se aloja parcialmente en la misma estructura donde ocurre la veta. El grado de silicificación es intenso cerca de la veta. Esta última exhibe algunos fragmentos de brecha embebidos en cuarzo (Fig. 14).

e).- Veta N° 2.- Al chocar esta veta con la Brecha Candela ria, se introduce una longitud de un metro dentro de ella teniendo como encajonante sólo brecha. Se observan adicionalmente algunas bolsadas de cuarzo que aparecen como relleno de huecos de brecha. Estas persisten unos 8 metros hacia el interior de la brecha.

El contacto entre la veta y la brecha es gradacional, de cuarzo de veta se pasa lateralmente a brecha silicificada y posteriormente a brecha sin silicificación en una distancia de unos centímetros (Fig. 15).

## V.2 Resumen de la relación vetas-chimeneas brechadas.

a).- Las intrusiones de brecha en las fallas de Veta N° 2 del Alto, Santa Isabel y No Conocida, indican que las fallas precedieron al brechamiento.

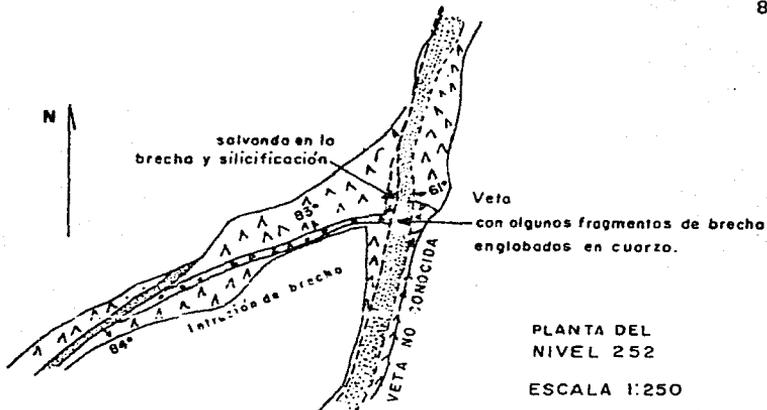


Fig. 14 La "intrusión de brecha" también penetra en la falla No Conocida, pero la brecha es truncado por la mineralización.

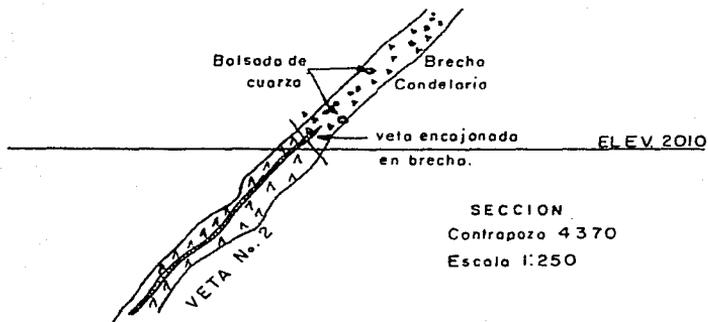


Fig. 15 Truncamiento de veta núm. 2 por la brecha Candelaria, se introduce un tramo en brecha y se deposita mineralización en bolsadas en las zonas más permeables de la brecha

b).- Material de veta cementa parcialmente a la brecha cerca de los contactos y ocurre relleno dentro de la misma indicando que la mineralización representa un evento posterior al brechamiento, (Fig. 3).

c).- La presencia de salbanda en el contacto del dique de brecha con la Veta No Conocida, el paso de esta última a través de la Brecha San Fermín, y el desplazamiento de la Brecha Candelaria por la Veta N° 2 del Alto, indican una reactivación de estas fallas posterior a la mineralización.

d).- La presencia de fragmentos de cuarzo en la intrusión de brecha en la Veta N° 2 del Alto (Fig. 13C), es posible que sea efecto de reactivación estructural a lo largo de una falla que encajonaba tanto veta como brecha. Sin embargo, se considera más factible la posibilidad de una etapa de brechamiento posterior a la formación de las vetas. Esta hipótesis también es apoyada por la presencia de fragmentos de veta dentro de la Brecha Candelaria en la cercanía de los contactos de Veta N° 2 del Alto (Fig. 13 A y B) y Santa Isabel (Fig. 12B).

Evidencias de reactivación de brechamiento postmineral en las brechas solo se han encontrado en la Chimenea Candelaria. Es importante hacer hincapié que dicha reactivación es aparentemente escasa e invariablemente involucra brechas de tipo de grano grueso y grano fino.

Esto a su vez implica una etapa de fluidización de baja energía (escape lento de gases) dentro de la brecha de edad contemporánea o posterior a la mineralización.

Puede concluirse que la secuencia de eventos ocurri

dos en el Distrito Minero de la Colorada es como sigue:

Fallamiento → Brechamiento → Mineralización → Reactivación de brechamiento → Reactivación de fallas.

(ver Fig. 16).

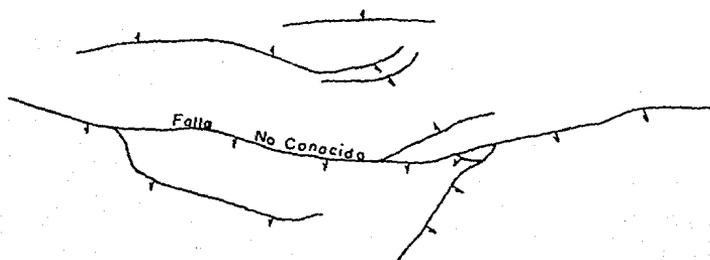
### V.3 Origen y edad de la mineralización.

Las provincias metalogenéticas del Norte de México están distribuidas en franjas paralelas a la paleotrinchera. Esta distribución sugiere que el proceso de subducción se relaciona genéticamente al zoneamiento de la mineralización.

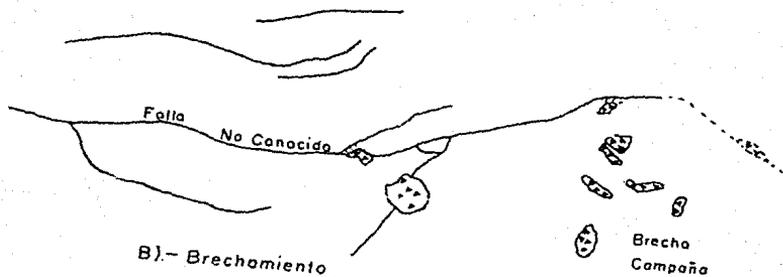
Los yacimientos de Cu-Mo-W están asociados a magmas de composición intermedia y se formaron durante la transgresión magmática en el Norte de México. Datos de isótopos indican como fuente mineralizante el manto superior y el paso de magmas casi sin contaminación a través de la corteza -- (Clark y otros, 1982).

Según eso, yacimientos de Pb-Zn-Ag ocurren al terminarse los de cobre al inicio del volcanismo riolítico, esto es, durante la regresión magmática. El aumento en el contenido de sílice y de metales de Pb-Zn-Ag en las rocas de la Serie Volcánica Superior, es debido a contaminación del magma al pasar a través de la corteza.

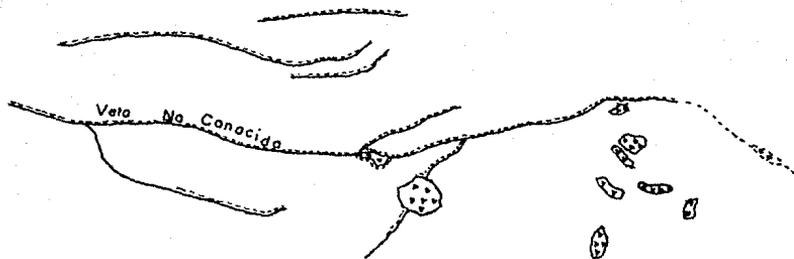
El origen de los metales del Distrito Minero de la Colorada puede estar relacionado a una removilización de los metales de los sedimentos subyacentes, actuando el magmatismo como fuente de removilización (González Partida, 1983 y Gross, 1975). Por tanto, podría proponerse que la fuente de los metales del Distrito de Colorada proviene de un proceso



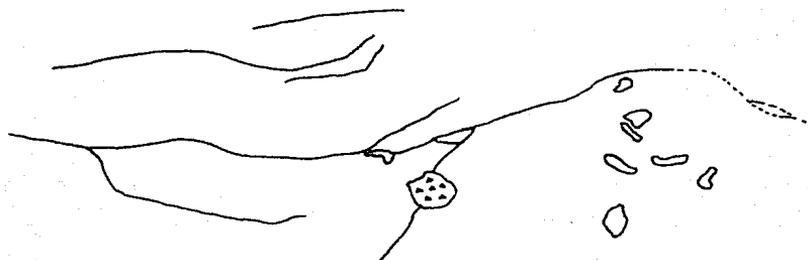
A).- Fallamiento



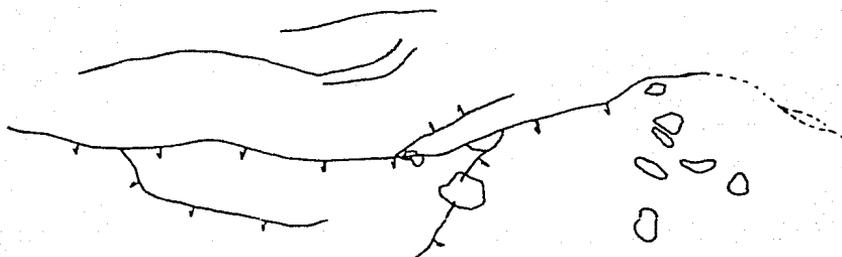
B).- Brechamiento



C).- Mineralización



D).- Reactivación de brecha



E).- Reactivación de fallas

-  Desplazamiento en fallas
-  Formación de brechas
-  Mineralización en vetas
-  Mineralización en brechas
-  Reactivación de brecha

Fig. 16 Esquema donde se muestra resumida la secuencia de los eventos que dieron lugar a los yacimientos del distrito minero de La Colorada, Zac.

de lixiviación de las rocas encajonantes.

La mineralización que se aloja en las chimeneas brechadas se relaciona a una etapa de hidrotermalismo posterior con la formación de las brechas. El control principal canalizador de la mineralización en las brechas parece estar relacionado a la permeabilidad de las mismas. McCallum (1985) indica que las brechas sujetas a fluidización del tipo acanalamiento son más permeables y favorables a la canalización de los fluidos hidrotermales. A este respecto es interesante hacer notar que el Cuerpo Oriente de Campaña presenta mejor mineralización que el Cuerpo Poniente y está actualmente en explotación. Así mismo, la parte mineralizada de la Chimenea Candelaria está asociada a brecha del tipo producida por el proceso de acanalamiento.

El grado de intensidad de la mineralización en las brechas es variable, algunas se muestran mineralizadas casi en su totalidad (Campaña), otras sólo parcialmente (Candelaria) y también existen ejemplos de brechas estériles (No Conocida). En general la geometría de los cuerpos mineralizados dentro de las brechas exhibe formas cilíndricas. El volumen de brecha mineralizada representa en general aproximadamente un 30 a 40% del volumen total de cuerpos de brecha.

La fuente de soluciones hidrotermales es posible que se localice en el mismo stock hipotético a profundidad que dió origen a las brechas explosivas.

Las evidencias estructurales y texturales descritas anteriormente entre las vetas y las brechas indican que ambos fueron mineralizados por la misma etapa de mineralización.

Más aún los rangos de temperaturas de homogenización y salinidades de las inclusiones fluidas, indican valores ligeramente más altos para las chimeneas que para las vetas, y sólo en algunos casos donde esas relaciones son muy parecidas, parecen indicar condiciones casi contemporáneas entre brechas y vetas.

La presencia de brechas explosivas derivadas de magmas en proceso de cristalización favorece la hipótesis de un intrusivo a profundidad, dicho magma proporcionaría la fuente de energía necesaria para la formación de las brechas y mineralizaría las vetas y brechas del distrito.

Edades radiométricas absolutas no han sido reportadas en el área de Chalchihuites. Por tanto, la edad de la mineralización sólo puede datarse en base a criterios relativos obtenidos de las relaciones estructurales entre la mineralización y las rocas encajonantes. La mineralización del distrito puede estar relacionada temporalmente tanto al período magmático traquítico como al período de volcanismo riolítico. Evidencias de campo sugieren contemporaneidad a las etapas finales del volcanismo traquítico incluyen; la presencia de vetas y brechas en rocas traquíticas o más antiguas. la ausencia de fragmentos de roca de composición riolítica en las brechas y la ausencia de mineralización significativa en las riolitas. Evidencias de campo que sugieren penecontemporaneidad al volcanismo riolítico incluyen principalmente la presencia del paquete riolítico en el alto de la Veta San Cristobal. Se desconoce si desplazamientos postminerales sobre la fractura del alto de la veta fueron responsables de colocar estas rocas como encajonantes de la estructura.

En resumen, las evidencias de campo no resuelven en forma conclusiva el origen de la mineralización. En el presente trabajo la mineralización se relaciona tentativamente al volcanismo traquítico.

CAPITULO VI

EXPLORACION Y BENEFICIO

### VI.1 Ritmo de explotación.

Actualmente se extraen de vetas y brechas 5,000 toneladas por mes con ley promedio de 140 gr. de Ag/ton.

Las reservas probadas del distrito son aproximadamente de 400,000 toneladas, lo suficiente para mantener la operación 6 años al ritmo actual de explotación.

### VI.2 Métodos de tumbe.

En las vetas la explotación se lleva a cabo por el método de corte y relleno con tepetate, este método se piensa cambiar por corte y relleno hidráulico, por ser el primero muy costoso.

En las chimeneas brechadas actualmente se explota por los métodos de corte y relleno con tepetate y por plazas abiertas, también en el futuro se piensa llevar a cabo el tumbado por subniveles, método de bajo costo y elevado tonelaje.

### VI.3 Método de Muestreo.

En las vetas se lleva a cabo el muestreo sistemático cada dos metros de franjas, separando la veta o estructura principal y el alto y bajo cubriendo el ancho de la obra. En las brechas se llevan dos tipos de muestreo, el primero es de desborde, se muestrea la tabla en cada disparada para conocer la ley aproximada que se va tumbando cada día. Un segundo muestreo se lleva a cabo en forma de retícula, cada muestra de dos metros de longitud. Este último muestreo se

realiza con el fin de conocer la ley media del siguiente corte hacia arriba, la comparación de ambos muestreos han resultado semejantes en algunas ocasiones.

Actualmente se está llevando a cabo el muestreo de cada concha que sale de los rebajes, con el fin de determinar la dilución de ensaye o la contaminación de las muestras por mal corte.

#### VI.4 Planta de beneficio.

En la unidad se cuenta con una planta de concentración que utiliza el método de flotación y tiene una capacidad de 6,000 toneladas por mes.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## VII.1 Conclusiones.

1.- Las rocas Cretácicas muestran un plegamiento complejo por haber estado sujetas a dos etapas superpuestas de esfuerzo con orientaciones diferentes.

Entre el Cretácico marino y el Terciario volcánico continental, se encuentra una discordancia que se manifiesta por un conglomerado calcáreo.

Existen dos tipos de volcanismo en el área, uno traquítico y otro ríolítico, ambos están separados por una etapa con volcanismo ausente que se manifiesta por un conglomerado rojizo de discordancia.

2.- Un sistema de fallas conjugadas que produce un desplazamiento en los paquetes de roca tipo horst y grabens, fué producido por esfuerzos distensionales con orientación noreste-suroeste. La mineralización de vetas se aloja en este sistema de fallas.

3.- Un grupo de chimeneas emplazado en lutitas y traquitas principalmente, trunca las fallas y es mineralizado junto con estas.

Las chimeneas se emplazan con un arreglo burdo en dirección del tren principal de fallas (Este-Oeste). Algunas de ellas se alojan en las discontinuidades de falla y toman una forma elongada en la dirección de estas.

La Chimenea Candelaria presenta evidencias de por lo menos dos pulsaciones de brechamiento durante el hidrotermalismo.

La Chimenea Campaña muestra claras evidencias de haber estado sujeta a proceso de fluidización.

4.- Las fallas presentan una reactivación con un desplazamiento considerable posterior a la mineralización y al depósito de las riolitas.

Las aguas termales que se extraen actualmente con el bombeo del nivel 295, nos indican que posiblemente las fallas continuen activas.

5.- La secuencia de eventos que dieron origen a la relación entre vetas y brechas es la siguiente:

Fallamiento → Brechamiento → Mineralización → Reactivación de brechamiento → Reactivación de fallas.

6.- Posiblemente el origen de los metales del Distrito de Colorada provino de una removilización de las rocas subyacentes y un intrusivo a profundidad proporcionó la energía de removilización.

La energía que provocó las explosiones volcánicas se relaciona con la liberación de gases de un magma en proceso de cristalización.

Este mismo magma puede ser el responsable de la mineralización del distrito.

Las brechas y la mineralización pueden estar relacionadas temporalmente al volcanismo traquítico.

## VII.2 Recomendaciones.

1.- En el área de Canoas-Recompensa se presenta un paquete de calizas que el contacto con las vetas, son muy favorables a la mineralización y forman mantos. Es importante definir la ubicación estratigráfica de este paquete para poder investigar a profundidad.

2.- En las cercanías de la Veta Santa Juana, se encuentra una zona de intensa sericitización y silicificación, es necesario un mapeo de alteraciones para definir blancos de barrenación para investigar estas vetas a profundidad.

3.- Es necesario un levantamiento de alteraciones dentro de la mina y en superficie, con el fin de detectar posibles estructuras que no afloren como crestones o fallas en superficie.

4.- En los tajos San Benito y San Fermín es posible que se haya explotado parte de la Brecha San Fermín, por tal motivo es conveniente investigar en el interior de la mina este cuerpo con barrenación.

5.- El cuerpo mineralizado que se aloja en la Chimenea Candelaria (rebajes 4329 y 4348), presenta valores bajos arriba del nivel 167, sin embargo, su posición dentro de la zona favorable argentífera indica la posibilidad de que más arriba mejore, por lo que es necesario investigar esta brecha con un contrapozo de exploración de por lo menos 20 metros.

6.- Un patrón de vetas perpendiculares a las principales, no ha sido investigado. No presentan extensión y persistencia lateral significativa, sin embargo, requiere de un programa de barrenación para conocer su comportamiento a profundidad, ya que en superficie exhibe valores máximos de 40 grs. de Ag/ton.

7.- Se recomienda ampliar los fundos de la Compañía hacia el Poniente del área, donde persiste la Falla No Conocida, es posible que hacia esa zona dicha falla presente clavos mineralizados.

8.- Se recomienda intensificar la exploración de las estructuras que chocan con la Chimenea Candelaria en el otro extremo de ésta, en el nivel 167. Estructuras importantes como Veta N° 2 y Santa Isabel, no han sido desarrolladas aún en el flanco poniente de la chimenea.

9.- Las vetas del distrito son angostas y se abren y cierran en tramos cortos, por lo que son necesarios algunos contrapozos de exploración entre los niveles. Existen ejemplos de rebajes que han sido abandonados al estrangularse la mineralización sin tomarse en cuenta la posibilidad de que vuelva a formalizar un poco más arriba.

10.- Las vetas que actualmente se trabajan están casi totalmente explotadas. Es necesario invertir en el desarrollo (barrenación y obra directa) de vetas virgenes que actualmente se tienen localizadas en superficie, algunas de estas vetas son: Palomas, Amolillo, Recompensa y Veta del Agua.

11.- Mapear a detalle el paquete de riolitas y sus relaciones con los diferentes tipos de rocas del distrito y la mineralización, con el objeto de determinar si guardan una relación genética con el sistema hidrotermal que operó en el distrito.

12.- Barrenar la chimenea Campaña hacia abajo, con el fin de determinar el fondo económico de la mineralización. Si el barreno llega a las raíces de la brecha puede esclarecer más el origen de las chimeneas.

## BIBLIOGRAFIA

- Albinson, F. T., 1973, Breccia pipes of La Colorada Mining Area Zacatecas, México. Macalester College, professional paper. University of Minnesota, U.S.A.
- Albinson, F. T., 1985, Zonamientos térmicos y su relación a la distribución de mineral en algunos yacimientos epitermales en México. Memoria de la XVI Convención de la AIMMG, p. 19, 14 figuras.
- Burnham, C. W., 1985, Energy release in subvolcanic environments: Implications for breccia formation: Economic Geology, vol. 80, p. 1515-1522.
- Castro, G. S., 1983, Estudio geológico minero de las minas Esperanza y Zaragoza, del Distrito Minero de Chalchihuites, Zacatecas: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, trabajo recepcional, p. 76.
- Cervantes, M. E., 1966, Mineral de la Colorada: Asoc. de Ings. de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, N° 39, IV trimestre, p. 59-72.
- Cervantes, M. E., 1984, Operación Minera en la Colorada, Zacatecas: Revista GEOMIMET, N° 129, p. 81-90.
- Clark, K. F., Damon, P. E., Shafiqullah, M., Ponce-Sibaja B. F., and Cardenas, F., David, 1981, Sección geológica-estructural a través de la parte sur de la Sierra Madre Occidental, entre Fresnillo y la Costa de Nayarit: Asoc. Ing. Min. Met. Geol. Mex., Memoria Técnica XIV, p. 74-104.
- Clark, K. F., Foster, C. T., y Damon, P. E., 1982, Cenozoic Mineral deposits and subduction related magmatic arcs in México: Geological Society of America Bulletin, v. 93, p. 533-544.
- Dreier, J. E., 1978, The distribution of wall rock alteration and trace elements in the Pachuca-Real del Monte District, Hidalgo, México: Society of Mining Engineers of AIME, reprinter number 78-L-37.
- Drummond, S. E. y Ohmoto, H., Chemical Evolution and Mineral Deposition in Boiling Hidrothermal Systems: Economic Geology, vol. 80, 1985, pp. 126-147.

- Emmons, W. H., 1938, Diatremes and certain ore bearing pipes: American of Mining and Metallurgical engineers, Inc. Technical publication N° 391.
- Fredickson, G., 1974, Geology of the Mazatlán Area, Sinaloa, Western México: Unpl. Phd Thesis, Univeristy of Texas at Austin.
- González Partida, E., 1983, Las inclusiones fluídas y las características genéticas de las mineralizaciones polimetálicas de Tierra Caliente: Revista GEOMIMET, N° 123, p. 35-55.
- González Partida, E., 1984, Arnold, M. y Acosta, A. E., 1984, Análisis metalogenético preliminar del Distrito Minero de Fresnillo, Zacatecas sobre la base de 50 medidas isotópicas 345: Revista GEOMIMET, Mayo/Junio 1984, p. 27-34.
- Gross, W. H., 1975, New ore discovery and source of Silver Gold veins, Guanajuato, México: Economic Geology, vol. 70, p. 1175-1189.
- Husreni, J. R., 1984, Petrology and geochemistry of rhyolites associated with mineralization in northern Mexico: Economic Geology, vol. 79, p. 87-105.
- Imlay, R. W., 1936, Evolution of the Coahuila Peninsula, México. Part IV Geology of the western part of the Sierra de Parras. Bull. Geol. Soc. America, 47: 1091-1152, 10 láms., 3 figs.
- Kelly, W. A., 1936, Evolution of the Coahuila Peninsula. Part II, Geology of the mountains bordering the Valley of Acatita and Delicias. Bull. Geol. Soc. America. V. 47.
- López Ramos, E., 1985, Geología de México, Tomo II: Instituto de Geología, UNAM.
- McCallum, M. E., 1985, Experimental evidence for fluidization processes in breccia pipe formation: Economic Geology, vol. 80, p. 1523-1543.
- McDowel, F. W., Clabaugh, S. E., 1979, Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of western Mexico: Geological Society of America, special paper 180, p. 113-123.

- Parsons, W. H., 1969, Criteria for the recognition of volcanic breccias: Review: The Geological Society of America, Memoir 115, p. 263-304.
- Pettijohn, E. J., 1975, Sedimentary Rocks, third edition: Harper International Edition.
- Ragan, D., 1973, Structural Geology and introduction to geometrical techniques: Second Edition, Edit. John Wiley & Sons, Inc.
- Reynolds, D. L., 1954, Fluidization as a geological process, and its bearing on the problem of intrusive granites: Am. Journal of Science, Vol. 252, p. 577-613.
- Rogers, C. T., et al, 1961, Reconocimiento geológico del Norte de Zacatecas y áreas adyacentes en Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí, Bol. 56, CRNNR.
- Sillitoe, R. H., 1985, Ore related breccias in volcano-plutonic arcs: Economic Geology, vol. 80, p. 1467-1514.
- Smith, R. L., 1960, Zones and zonal variations in welded ash flows: Geological Survey professional paper 354-F, p. 149-159.
- Williams, H., Turner, F. J. y Gilbert, Ch. M., 1980, Introducción al estudio de las rocas en secciones delgadas: Editorial CECSA.
- Wright, A. E., and Bowes, D. R., 1963, Clasificación of volcanic breccias: A discussion: Geol. Soc. America Bull. vol. 74, p. 79-86.

40°

55

38°

30°

25°

20°

15°

10°

5°

0°

5°

10°

15°

20°

25°

30°

35°

40°

45°

50°

55°

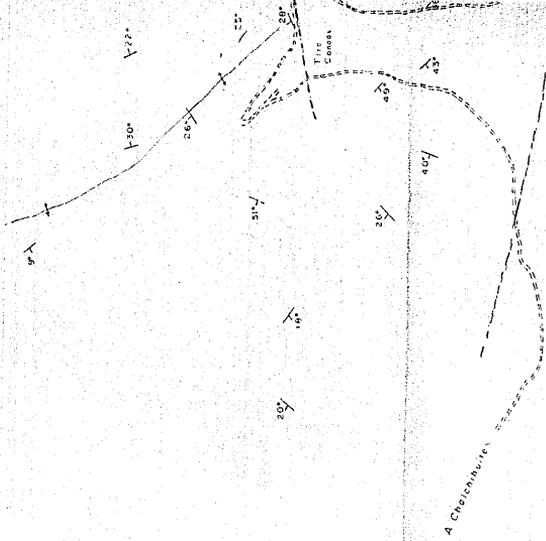
60°

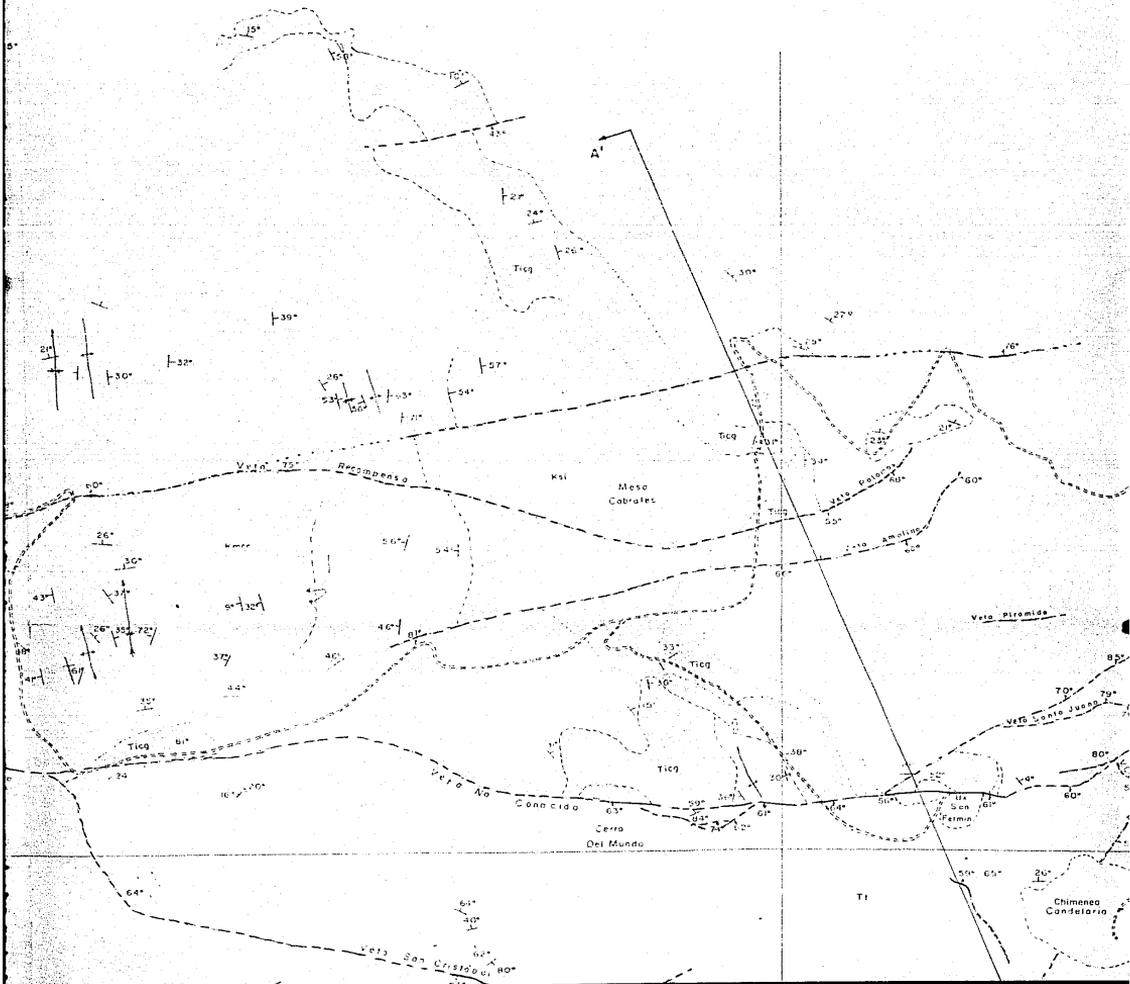
65°

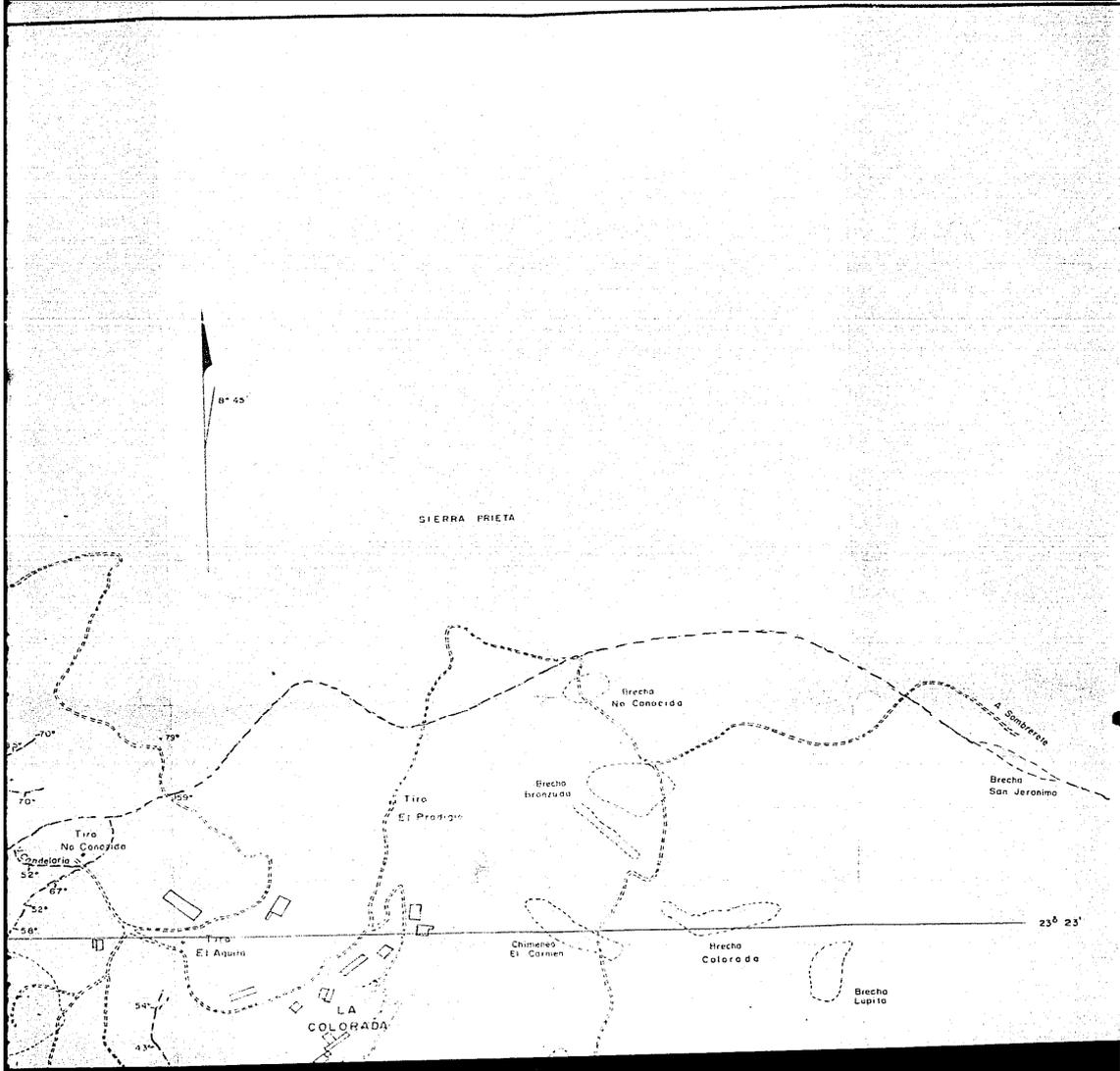
70°

75°

80°







-  SINCLINAL  
 VETA, VETA INFERIDA, VETA INTERPRETADA  
 FALLA, FALLA INFERIDA, FALLA INTERPRETADA  
 CONTACTO GEOLOGICO, CONTACTO INFERIDO, INTERPRETADO  
 ECHADO DE FALLA Y VETA  
 RUMBO Y ECHADO DE LOS ESTRATOS Ó CAPAS

### SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

-  CAMINO DE TERRACERIA  
 TIRO  
 VIVIENDAS  
 HUNDIDO

0 100'

PLANO I  
ES

### COLUMNA GEOLOGICA

E D A D		P ISO	L IT O L O G I A	ESPESES APROX. EN PIES	F O R M A C I O N
ERA	SISTEMA				
CENOZOICO	TERCIARIO	PLIOCENO	Qal Suelos y Aluvion	10	SUELO Y ALUVION
		MIOCENO	Tr Riolitas e Ignemntas	300	RIOLITAS
		OLIGOCENO	Tk Tefas de Lapilli Tog1 Conglomerado de Traquitas	3	CONGLOMERADOS DE TRAQUITAS
	CRETACICO SUPERIOR	EOCENO	T1 Flaps y Piroclasticos de Traquitas	580	TRAQUITAS
			Ttr Piroclasticos y Volcanoclasticos (Lentes de Conglomerado de Caliza)		
		Teg Conglomerado de Caliza	40	AHUICHILA	
		MESOZOICO	TURONIANO	Xsl Lutitas y Calizas	232
	MEDI		CENOMANIANO	Areniscas Lutitas y Calizas	
		ALBIANO	Nmcc Calizas Wackstone Facies - tan con bandas y lenticulas de "derrama" negra. Algunas intercalaciones de Lutitas	450	CUESTA DEL CURA

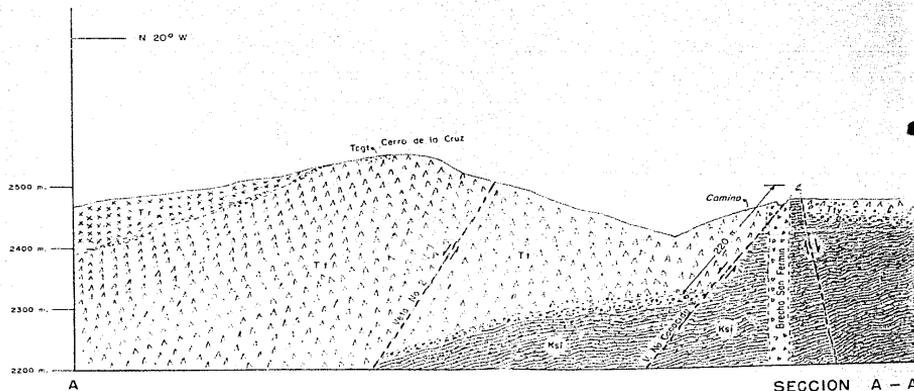
ESCALA APROX : 10,000

MODIFICADO DE TAYLOR ALBINSON (1973)

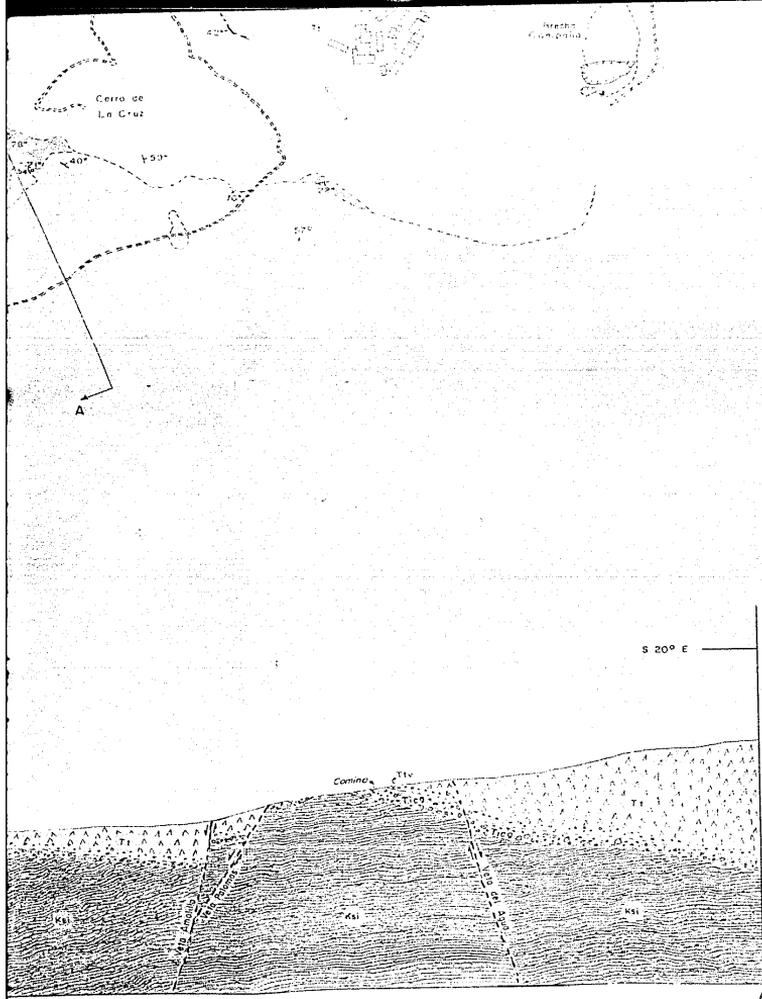
ESCALA 1:5,000

100 200 300 400 500 m.

PLANO GEOLÓGICO EN BASE A FOTOGRAFÍA AEREA  
ESCALA 1:5,000 APROXIMADAMENTE



SECCION A - A  
VIENDO AL SW



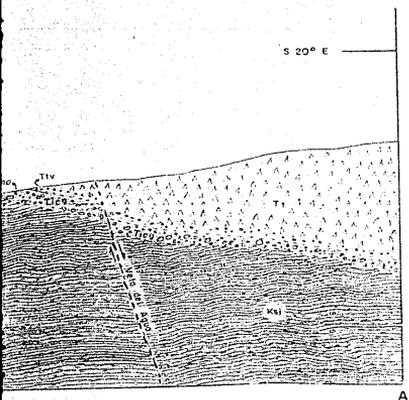
S 20° E

A - A'  
L SW

DIVISI
DISTRITO: A
PLANO
MEXICO, D.F.
1986

Heccho  
Compana

S 20° E



U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA  
INGENIERO GEOLOGO

DISTRITO MINERO DE LA COLORADA, ZAC.  
PLANO GEOLOGICO DE SUPERFICIE

MEXICO, D.F.  
1986

FIGURA No 17

TESIS  
PROFESIONAL

SOTO  
M. MARTIN