

20
Universidad Nacional Autónoma de México
FACULTAD DE INGENIERIA



ESTUDIO GEOLOGICO - MINERO DEL
AREA DE ZACUALPAN, EDO. DE MEXICO

TESIS PROFESIONAL

FRANCISCO PEREZ GONZALEZ

1982

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



REPUBLICA NACIONAL
GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA
SECRETARIA DE
SERVICIOS ESCOLARES
EXAMENES PROFESIONALES

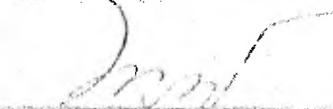
Sr. Ing. Javier Jiménez Esprú
Director de la Facultad de Ingeniería
P r e s e n t e .

El suscrito PEREZ GONZALEZ FRANCISCO
pasante de la carrera de INGENIERO GEOLOGO,
con número de cuenta 7016773-5, habiendo satisfecho los
requisitos académicos necesarios para su recepción profesional,
le ruega atentamente autorizarle el siguiente jurado de examen
profesional:

PRESIDENTE: ING. GERMAN ARRIAGA.
VOCAL: ING. LEOVIGILDO CEPEDA DAVILA.
SECRETARIO: ING. DR. FRANCISCO QUEROL SUNE.
1ER. SPTE.: ING. ALFREDO MORALES VICTORIA.
2DO. SPTE.: ING. MIGUEL VERA OCAMPO.
INVITADO:

Cd. Universitaria, D.F., a 5 de enero de 1982

Vd. Bo.
EL JEFE DE LA DIVISION


ING. MARIANO RUIZ VAZQUEZ


Firma del alumno

C O N T E N I D O

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

I RESUMEN

II INTRODUCCION

II.a. Objetivo del estudio

II.b. Trabajos Previos

II.c. Metodología

II.d. Localización Geográfica

d.1. Localización del Área

d.2. Población y cultura

d.3. Actividades Económicas

d.4. Fisiografía

d.5. Hidrografía

d.6. Clima y Vegetación

d.7. Orografía

d.8. Historia Minera

II.e. Localización Geológica

III RESULTADOS

III.a. Observaciones Generales

a.1. Estratigrafía

a.2. Geología Estructural

a.3. Metamorfismo

III.b. Yacimientos minerales

Introducción

b.1. Estructuras Mineralizadas

b.2. Mineralogía y Paragénesis

b.3. Geología Histórica

b.4. Génesis (Metalogenia)

b.5. Reservas

b.6. Método de Exploración y Beneficio.

IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V REFERENCIAS

VI APENDICE

a) Petrográfico

b) Potográfico

I. RESUMEN

La litología de la región de Zacualpan esta representada por rocas de metamorfismo regional de origen ígneo y sedimentario; el grado de metamorfismo al que corresponden tales rocas es de baja intensidad perteneciendo a la facies de esquistos verdes.

Estas rocas constituyen una secuencia vulcanosedimentaria, --compuesta en la base por una alternancia de esquistos de sericita (filitas) y pizarras, y hacia la cima por rocas andesíticas metamorfizadas. Existen, además, a lo largo de la secuencia, intercalaciones de pizarras carbonosas, meta-tobas, filitas, cuarcitas, meta-areniscas, pizarras claras, meta-lahares y un meta-conglomerado.

El espesor de los horizontes de metasedimentos varía de centímetros a varias decenas de metros, intercalados regularmente en toda la secuencia metamórfica. La secuencia volcano-sedimentaria de acuerdo con su mineralogía y texturas se ubica en la facies de esquistos verdes; las estructuras principales de los meta-sedimentos consisten en intenso fracturamiento, foliación de dos orientaciones, pliegues en chevron, micropliegues, vetillas de cuarzo, y, en algunas paquetes de meta-sedimentos, estratificación.

El metaconglomerado presenta una estructura muy peculiar consistente en clastos de tamaño hasta de 30 centímetros en forma de ojos, con matriz de limo, arcilla y arena suavemente foliada en dirección paralela. Estos fragmentos muestran por sus rasgos físicos el sentido de los esfuerzos a que fue sometido el meta-conglomerado.

En la pizarra bituminosa y en la pizarra clara casi siempre --

se observa la foliación paralela a la estratificación original. La meta-teba casi siempre esta presente con la meta-andesita - en derrames e coladas, y subyaciéndola.

Estos paquetes de meta-teba a su vez presentan intercalaciones de materiales muy finos en estratos muy delgados. El espesor de cada uno de los paquetes es variable; se presenta con menos de un metro hasta 70 metros.

Las meta-andesitas aparecen en forma de coladas, depósitos teobáceos y cuerpos irregulares con intensa fracturamiento, coloración verdosa, vetillas de cuarzo, foliación tenue y bien - marcada, además de presentarse, también, masivas y con estructuras en almohadilla. Su mineralogía principal comprende: clerita y cuarzo; y como accesorios: andesina, sericita, piroxenos, anfíbeles y micas como la biotita; la mayoría de estos minerales se distinguen a simple vista y le dan a la meta-andesita - una textura perfídica. Los espesores de las coladas varían de de un metro aproximadamente, hasta más de 10 metros.

Por las características, ya mencionadas, de las rocas vulcanosedimentarias metamorfizadas se deduce que se formaron en un - ambiente submarino, reductor y de circulación restringida con gran apert de terrígenos.

El metamorfismo de la columna se considera como regional dinámico (según Winkler, 1974) producto del cambio del "sentido del desplazamiento de América del Sur (apertura del Atlántico Sur), en cuya época se origina el cierre del dominio Caribe" (A. De Sant-R. Mauveis- E. Silva, 1976).

El Cuaternario fue testigo de los últimos movimientos tectónicos y volcánicos de la región y del relleno de los valles por los sedimentos producidos durante la denudación de las rocas - subyacentes de la misma secuencia metamorfizada.

Las fracturas y fallas son abundantes en la región y constituyen el principal control de los yacimientos minerales, ofreciendo orientaciones N-S, NW-SE y E-W principalmente.

Los depósitos minerales del distrito de Zacualpan se definen, de acuerdo con la clasificación de Lindgren modificada, como epitermales. Las condiciones genéticas que representan señalan bajas temperaturas (50° - 200° C) y bajas presiones hidroestáticas (menos de 1000 metros de profundidad).

La empresa minera más importante de la región es la Compañía Campana de Plata de Peñoles, S.A., la cual desarrolla los principales trabajos de exploración y explotación minera de Zacualpan. La plata, el plomo y el zinc son las sustancias principales que se extraen y se benefician.

Las estructuras mineralizadas se presentan en forma de vetas, siendo éstas más potentes y de mayor valor cuando se encuentran en la meta-andesita y cuando se intersectan entre sí. A su vez las vetas presentan tres tipos de orientación, principales: Norte-Sur, Norte-Oeste y Este-Oeste.

II INTRODUCCION

II.a. OBJETIVO DEL ESTUDIO.

El objetivo principal de este trabajo consiste en presentar un bosquejo geológico y minero del área de Zacualpan, Estado de México, para contemplar la posibilidad de localizar otros depósitos minerales en la secuencia vulcano-sedimentaria metamorfizada, así como describir la génesis de los yacimientos minerales presentes en la región. Con el auxilio de la tectónica de placas y de los conceptos referentes a los yacimientos vulcanogénicos se pretende también actualizar el prototipo "Zacualpan como distrito minero" y como región geológica interesante.

El metamorfismo de bajo grado que afectó a la columna vulcano-sedimentaria, presente en Zacualpan, se atribuye a los efectos de subducción, que fué consecuencia de la penetración de la placa oceánica del Pacífico bajo la corteza continental en la costa sur-occidental del país. Este y la naturaleza de los depósitos minerales se argumentarán en este trabajo, entre otros objetivos inherentes al mismo.

II.b. TRABAJOS PREVIOS

Dellfus y Montserrat, en 1867⁽¹⁾ realizaron el primer estudio geológico minero en Zacualpan, en el que describen la geología y las minas Guadalupe y el Alacrán; refieren también la existencia de un alto potencial minero por la abundancia de vetas en el lugar. Más tarde J. Platt (1909) y Carpenter (1909) describen en su estudio la mineralización y las rocas superficiales de la región.

Ortega y Larsen (1933) se abundan en la descripción de las rocas presentes y sólo las separan en tres tipos principales, ---

(1) Los datos que aportan estos autores se tomaron del trabajo de Díaz G.V. (1977) por lo que no aparecen en la biografía.

considerando como más abundantes a los esquistos verdes y esquistos fillos, los cuales, afirman, son consecuencia del metamorfismo de las lutitas y andesitas presentes.

Rebles R. (1937-40) efectuó el estudio geológico-minero más completo hasta ese tiempo. Emuncia la primera columna estratigráfica y cita que las edades de las rocas presentes varían desde el Paleozoico hasta el Cuaternario. A las andesitas alteradas, rocas presentes en abundancia, decide llamarlas andesitas metamórficas y las asigna al Mesozoico. Al aspecto minero le da importancia especial, presentando por ello un plano de la veta de la Mina Guadalupe y otro sobre una faja mineralizada cuya extensión comprende los distritos mineros situados entre Huitzoco, Gre. y Tlalpujahuá, Michoacán pasando entre otros por el de Zacualpan. También presenta resultados de estudios minerográficos realizados a muestras procedentes de vetas del fondo minero "La Esmeralda", de donde deduce tres generaciones de mineralización, y clasifica al yacimiento estudiado como epigenético-mesotermal formado durante el Mioceno.

Es una de sus conclusiones respecto a la faja mineralizada afirma, que ésta "es función de un magma diferencial en distintos procesos de tiempo y que esta faja es un caso típico dentro de las zonas magmáticas de un proceso plutónico hidrotermal".

E. Gutiérrez G. (1973) describe la geología en base a análisis petrográficos de muestras de rocas aisladas, y concluye en una columna estratigráfica similar a la de Rebles R. (op. cit.).

Considera también a las pizarras como las rocas más antiguas, a las andesitas como del Oligoceno-Mioceno, al pórfido lo ubica en el Mioceno-Plioceno y le relaciona con el emplazamiento de los yacimientos minerales. Así mismo abunda con amplitud en la descripción de los depósitos y los clasifica como hidrotermales de la fase epitermal.

Flores B. (1976), en su estudio geológico-minero-económico de

ga mayor énfasis al aspecto minero. Describe superficial y so-
meramente las estructuras mineralizadas dividiéndolas en dos --
tipos: simples y complejas; designa a las segundas como las --
más "comunes y económicas". Sobre la mineralogía no menciona-
mineral alguno, pero respecto a su distribución cita cuatro zo-
nas de formación mineralógica y de ellas a la zona primaria la
considera más "importante económicamente"; dicha zona, según --
el mismo autor, es una mena compuesta de "argentita, proustita,
galena, esfalerita". En síntesis este trabajo posee un carác-
ter informativo con punto de vista en general cualitativo.

Existen varios trabajos regionales, que tienden a descifrar --
las incógnitas geológicas del Distrito de Zacualpan; aunque no
han abocado por sí mismas directamente sus estudios sobre esta
localidad, implícitamente sí la incluyen. Como un ejemplo de-
los trabajos de esta clase, se menciona el realizado por Campa
(1977) sobre una franja mineralizada que contiene importantes--
distritos mineros del tipo de Teascoaltepec, Sultepec, Zacual-
pan, Taxco, Huahuaxtla. De todos ellos describe las característi-
cas de los depósitos minerales y de las correspondientes re-
cas encajonantes. La importancia de este estudio reside en la
integración cronológica, geológica y tectónica de los distri-
tos mineros mencionados.

En el caso de Zacualpan, dicha autora aborda su descripción --
desde el punto de vista geológico-minero, principalmente. Al-
go que reviste interés de mencionarse y con el fin de utilizar
se como incentivo para incrementar posteriores investigaciones, --
es la alusión que hace a un depósito "Vulcano-genético" en la
Mina el Regenerador de la Cía. Campana de Plata, del cual men-
ciona que se encuentra asociado a un "diáquestrato o lava ande-
sítica metamorfoseada". La razón de esta observación radica en
que los geólogos de la mina no concuerdan con este criterio.

Sobre otro tipo de estudios la Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL) recientemente ha publicado "La Hoja - Pilecaya, Escala 1:50000, que contiene la topografía y la geología (litología y estructuras geológicas) de la zona, siendo éste un estudio de enfoque puramente regional.

Además, se cuenta también con fotografías aéreas de la Campaña Mexicana de Aereofoto en escala 1:50,000 y de DETENAL, escala 1:10,000 (vuelos patrocinados por la Cía. Campana de Plata).

II.c. METEOROLOGIA

c.1 DE CAMPO

El trabajo de campo se realizó en dos visitas: la primera se verificó en la Unidad Campana de Plata y en sus alrededores, con los muestreos, observaciones y reconocimientos respectivos. Comprendió 26 días efectivos del mes de octubre de 1979. En la segunda se siguió un procedimiento similar y en la misma localidad, pero en otros puntos interesantes; comprendió 27 días efectivos del mes de octubre de 1980.

En ambas visitas se muestrearon las formaciones observadas, además de la Veta Lipton, que es la más importante económicamente y pertenece a la Mina Guadalupe; también se practicaron levantamientos geológicos en las minas Guadalupe, Pachuquillo y Carmelitas, adscritas a la Unidad Campana de Plata.

c.2. DE GABINETE

Previamente al trabajo de campo se recopiló información sobre el área, se interpretó un plano fotogeológico a partir de fotografías aéreas escala 1:20,000 y se utilizó la carta geológica-topográfica de DETENAL correspondiente, a la escala 1:50,000.

En la interpretación fotogeológica se dio mayor énfasis especial

a las estructuras que pudieran ser trampas mineralizadas.

En el trabajo de gabinete se interpretaron los catos de campo, los cuales se vaciaron en el plano geológico correspondiente.

Se hicieron los análisis de laboratorio, que consistieron en - estudios petrográficos y minerográficos, según el caso, y finalmente se elaboró el informe definitivo.

II.d. LOCALIZACION GEOGRAFICA

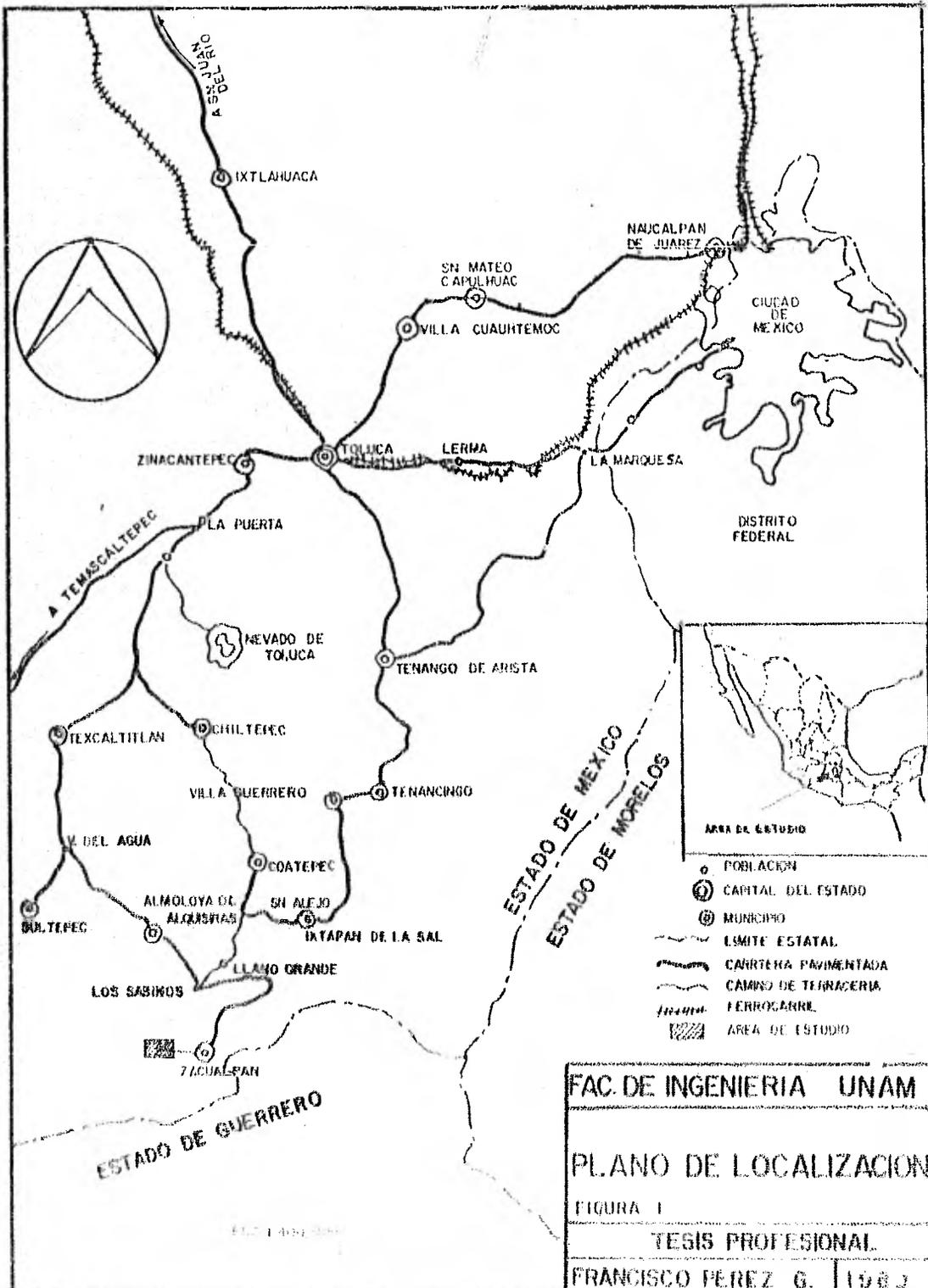
d.1 LOCALIZACION DEL AREA

La Unidad Minera Campana de Plata se localiza al sur de la Ciudad de Toluca, capital del Edo. de México, en el municipio de Zacualpan y en el distrito minero del mismo nombre.

Las minas Guadalupe y Pachuqueño (que son las que se encuentran en mayor producción) tienen una altitud de 1960m; geográficamente, Campana de Plata se precisa por las siguientes coordenadas: Latitud N $18^{\circ} 44' 00''$, Longitud W $99^{\circ} 47' 45''$; se ubica al W de Zacualpan y se comunica con éste por dos kilómetros de terracería.

El distrito de Zacualpan se comunica por la carretera pavimentada federal No. 134, que parte de la Cd. de México hacia Toluca y de ahí continúa hasta terminar en Zacualpan (Fig. 1). Otra vía de acceso importante, parte también de la Cd. de Toluca hacia Ixtapan de la Sal; de esta localidad continúa por un tramo de camino recién pavimentado que entronca en el kilómetro 64 de la carretera que va de Toluca hacia Zacualpan. Se comunica, además por numerosos caminos de terracería con poblaciones de los Estados de México y Guerrero.

Las estaciones ferroviarias más cercanas, se encuentran en las ciudades de Toluca y Fuente de Ixtla, Gro.



FAC. DE INGENIERIA UNAM

PLANO DE LOCALIZACION

FIGURA 1

TESIS PROFESIONAL

FRANCISCO PEREZ G. | 1962

d.2. POBLACION Y CULTURA

Zacualpan, población beneficiada por la actividad minera de Campana de Plata, cuenta con 5,500 habitantes aproximadamente, y algunos servicios como: transportes de primera y segunda categoría (autobuses directos a México-vía Toluca, e Ixtapan de la Sal), teléfono de larga distancia, correo, dos hoteles, alumbrado público, agua potable. Cuenta también con una escuela primaria y una secundaria.

Zacualpan, que es también cabecera municipal, se encuentra limitada por los siguientes municipios: al W por el municipio de Sultepec; al NW por el de Almoloya de Alquisiras; al N por el Municipio de Coatepec de Harinas; al NE por el Municipio de Ixtapan de la Sal; al SE y S por el lindero con el Edo. de Guerrero. La altitud media en el Municipio es de 2,300 m.

d.3. ACTIVIDADES ECONOMICAS

Las actividades económicas principales en el distrito son: la agricultura de temporal que, por cierto, se practica -raquiticamente por falta de recursos económicos y materiales, y no obstante lo rudimentario de sus técnicas, de cultivo es común para la mayoría de los habitantes. Entre los productos que se cultivan se encuentran: el maíz, frijol, cacahuete, caña de azúcar y hortalizas, entre otros.

La ganadería se practica en pequeña escala con ganado caprino, vacuno (es el principal), porcino, bovino, caballo y mular.

Además de la minería, actividad sumamente importante que beneficia a gran parte de la población de Zacualpan y poblaciones aledañas, se ejercita el comercio que constituye la mayor actividad, dado que a Zacualpan concurre gente de muchos poblados pequeños para comprar sus mercancías.

d.4. FISIOGRAFIA.

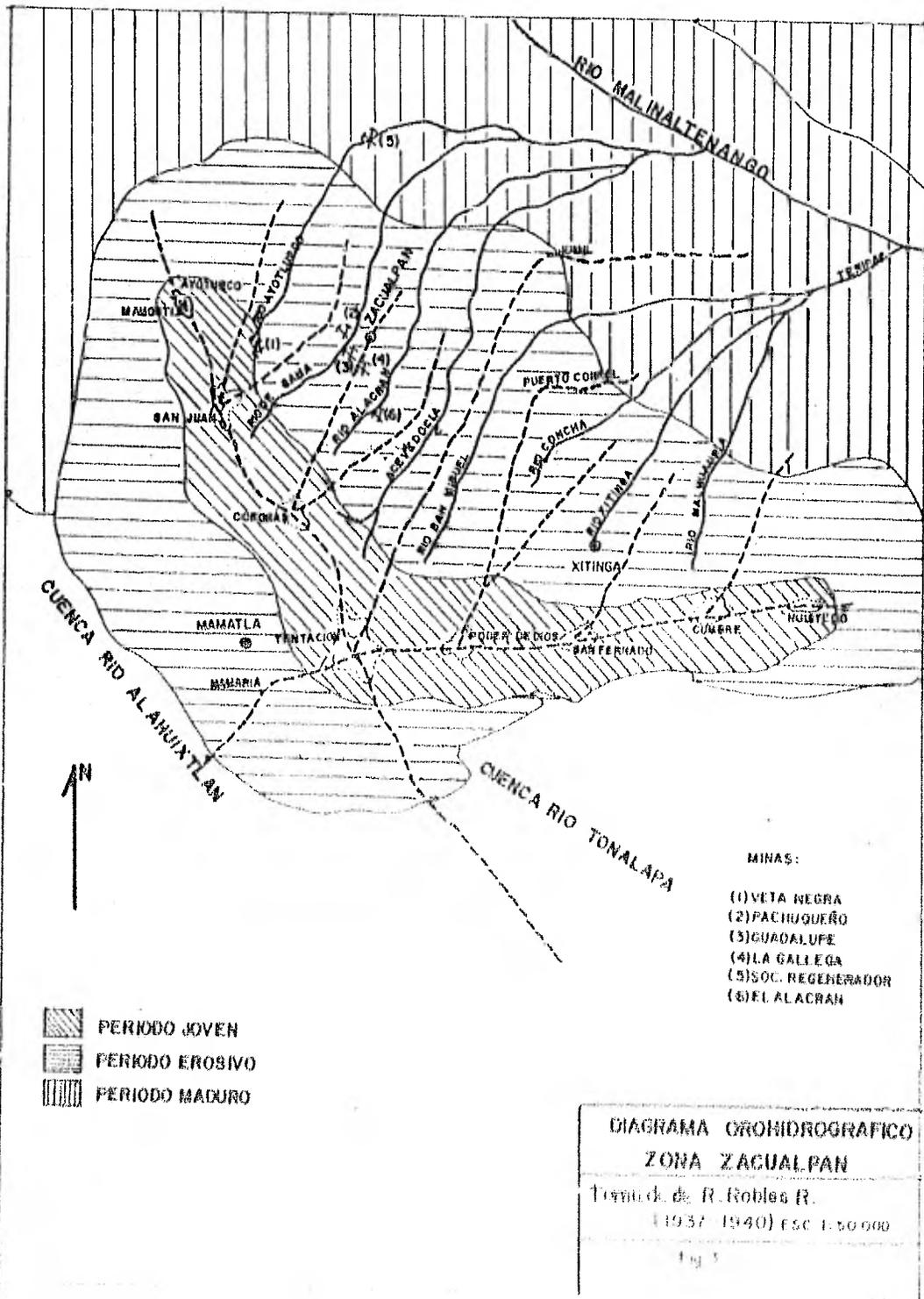
El área de Zacualpan se localiza en el borde septentrional de la sub-provincia denominada Cuenca del Río Balsas-Mexcala, dominio de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur, según Raíez (1959) (Fig. 2). Esta cuenca presenta una disección abundante, manifestada por fracturas, fallas, y cortes de arroyos. Los afleramientos observables varían en edad desde el Jurásico Superior hasta el Cretácico Inferior y están constituidos principalmente por rocas meta-volcánicas y meta-sedimentarias.

La topografía de la región refleja características geomorfológicas heterogéneas, pues en algunas partes la etapa geomorfológica corresponde a la de juventud tardía y en otras a la de madurez.

Los relieves más altos y abruptos están representados por el parteaguas que une los cerros Memesle, San Juan, Cerenas y La Tentación. Sobre el flanco noroeste de este parteaguas se localizan al menos la mayoría de todas las minas estudiadas y las rocas que le componen son meta-andesitas, pérfidos meta-andesíticos, meta-tobas andesíticas, piroclásticos alterados, meta-lahares y meta-sedimentos plegados, generalmente. Las pendientes de este lineamiento montañoso (NW-SE) son relativamente suaves al NE del mismo y excesivamente fuertes al NW, pudiendo alcanzar hasta los 75° de inclinación.

Siguiendo el relieve topográfico a partir del parteaguas hacia el NW del mismo, específicamente hacia las localidades del D_{os} poblado, Piedra Parada, Pachuquilla, Apetlahuacán y Valle de Apetlahuacán, éste se hace más suave. En las dos últimas poblaciones mencionadas el relieve termina en superficies completamente horizontales, cuyo origen es el relleno por aluvión de valles labrados en el complejo metamórfico.

La dirección de los ríos, que siguen orientaciones de flujo al



NE en la región estudiada y cuyas aguas desembocan en el Río-Apetlahuacán, forman lomeríos que se alinean en la misma dirección. Todos estos lomeríos están labrados en la misma serie metamórfica. En el área de estudio no existe relleno de valles y las terrazas son escasas.

U.5. HIDROGRAFIA

Las aguas circulantes en el área de Zacualpan se configuran en los sistemas de drenaje dentrítico, en enrejado y paralelo, predominando el primero. Estas aguas riegan la Cuenca de Alahuixtlan que se divide de la cuenca del Río Balsas Mexcala (ver fig. 3) por el parteaguas de "Coronas" que se alinea al SW de Zacualpan. Fig. 3.

Los arroyos son intermitentes, sólo con circulación perenne en tiempo de lluvia. Estos no tienen nomenclatura definida en todo su transcurso sobre la región, puesto que sus nombres varían de acuerdo con la localidad por la que transitan. Ejemplos: Arroyo de San Jerónimo, Arroyo del Alacrán, Arroyo de Gama, Arroyo de Santiago, Arroyo Ayotusec.

En ocasiones el río es el mismo pero con nombre diferente, ébien diferente nombre se aplica a las ramificaciones de un río principal. En la región de Zacualpan el río más importante parece ser el de Ayotusec y corresponde al tipo consecuente. Los arroyos sobre los que se realizaron los caminamientos pertenecen también a este tipo.

Del Cerro de la Tentación se desprenden dos parteaguas: uno con dirección N 25 W y el otro al N 80 E ó este franco del mismo cerro. Este último forma la división hidrológica que limita la cuenca del río Malinaltenango al NE (el que al unirse con el río Tetipac toma el nombre de Amacuzac) y la cuenca del río Alahuixtlan se proyecta al SW de la cuenca del río Tonlalapa.

En consecuencia, el sistema hidrográfico del área de Zacualpan forma parte de la cuenca del Río Balsas.

3.6. CLIMA Y VEGETACION.

CLIMA.- Para describir el clima se consultó la carta de climas "MEXICO 14 Q-V". Los datos de esta carta fueron recopilados y procesados por el Instituto de Geografía de la U.N.A.M y vaciados sobre las hojas escala 1:500,000 de la Secretaría de la Defensa Nacional. La clasificación es la de Köppen (1948) (modificada); los parámetros que utiliza son: el grado de humedad (húmedos y sub-húmedos) y la temperatura (cálidos y muy cálidos) semi-cálidos, templados; semi-fríos y muy fríos). Zacualpan acusa un grado de humedad sub-húmedo y temperatura templada.

Por tanto, el clima de la región es (Cwz), C(x2) X°, según las claves utilizadas en la carta consultada.

La isoterma promedio que pasa por la región es de 18 grados y la precipitación pluvial anual en Zacualpan es de 1,350 mm. --- aproximadamente.

Hobbs R.R. (1937-40) reportó "Tres tipos de climas, a saber: en las partes elevadas de los montes (Cerro de la Tentación a 2,800 m de altitud sub-tropical extremo; en Zacualpan, a 2,060 m, tropical de altura tipo A, y en los llanos de Malinaltenango y Apetlahuacán (menos de 1,500 m) cálido estepario". Y E. Gutiérrez G. (1973), cita que "en general la temperatura varía de 14 a 22 grados, es decir, es una zona semi-cálida con climas templados, húmedos y su precipitación promedio anual es entre 800 y 1,000 mm."

VEGETACION.- La flora de la región es característica principal por las siguientes especies:

FAMILIA FAGACEA

- Quercus* cf. candinas (Encino Blanco)
" insignis (Encino Amarillo)
" corrugata (Encino Prieto)

FAMILIA ERICACEA

Arbutus glandulosa (Madroño)

FAMILIA PINACEA.- Sus especies existen en las partes altas.

Pinus sp. (Ocote)

FAMILIA CONVULSULACEA.- Sus especies habitan a 1,900 metros de altitud.

Ipomoea cf. murucida (Casahuate)

Existen también especies como el cucharillo, cedros y tepehuaje (este abunda en la parte oriental del Distrito).

Hacia el sur, oeste y centro de la región se encuentran los encinos y ocote.

d.7. OROGRAFIA.

Las elevaciones más prominentes de la región son: El Cerro de la Tentación con una altitud barométrica de 2,710 metros. De este cerro se desprende un partaeguas con orientación N25° W, sinuoso y con elevaciones correspondientes a las eminencias de Coronas, con 2,540m, San Juan con 2,475 m, Momostle con 2,470m. y Ayotusco con 2,326m. Al este del cerro de la Tentación se desprende otra alineación montañosa que tiene como principales edificios rocosos a Cerro Alto, Pedar de Dios, San Fernando, La Cumbre y el Anuisteco, este último cercano a Taxco.

d.8. HISTORIA MINERA.

El nombre de Zacualpan es de origen náhuatl, y literalmente significa "lugar en el encerradero o tapadero".

Los aztecas, desde antes de la llegada de los españoles, ya conocían algunos depósitos de donde extraían mineral, siendo ellos quienes exhibieron estos bienes a los iberos. Al principio del Siglo XVI existió Zacualpan de Indias y Real de Zacualpan donde residieron los primeros mineros. La primera mina de la región se descubrió en el año de 1529 y fue la de Cápula, después las llamadas Gabrestante, Canal, Guadalupe, Masiratl, Gelendrina y Rosario. Debido a la abundancia de minerales argentíferos que se extrajeren se denominó "La Provincia de las Platas". Durante la colonia y aún en el siglo pasado, el municipio se distinguió por la riqueza de sus minas.

La Mina Cápula fue descubierta por unos arrieros que iban de Sultepec a Taxco. Posteriormente se descubrió la Mina Tiansguille (La Cuchara actualmente) y la Mina Cerenas, en la que estaba interesado directamente el Rey de España, por lo que fué de las que más se trabajó.

La exploración de la región prosiguió durante los siglos XVI, XVII, XVIII. A principio del siglo XIX con motivo de la Independencia, se suspendieron los trabajos desde 1810 hasta 1815 año en que se descubrió un clave en el Secavén Diez nes Guile. En 1845 y en 1893 se encontraron otras bonanzas regulares recuperándose el auge de la zona a partir de 1826 en adelante.

La Mina el Alacrán tuvo como hecho notable la primera bonanza en 1835, dando lugar a la primera fundición denominada Los Arcos, en Alacleya de Alquisiras, que beneficiaba mineral que se exportaba por su baja ley.

En 1846 se puso en funcionamiento el primer horno en el que se fundía mineral de El Alacrán y de otras minas de Zacualpan, principalmente de Guadalupe de Arco.

La primera época de prosperidad de El Alacrán provocó el establecimiento de plantas de beneficio, de las que se observan

algunas ruinas en el Arroyo del mismo nombre.

Las minas de Chontalpan, Carboncillos, Socavón San Fernando, y otras, iniciaron su apogeo a fines del siglo XIX y duraron trabajando hasta 1910, año en que ocurrió la paralización de la explotación en la mayoría de las minas.

Únicamente las minas Guadalupe y Chontalpan continuaron sus labores, pero más tarde esta última suspendió sus trabajos, quedando solo la de Guadalupe todavía por muchos años.

Anteriormente a la Compañía Campana de Plata, S.A. de C.V., algunas de las minas que se explotaban eran trabajadas por la Compañía Continental. En la actualidad aquella es la que explota con más regularidad el Distrito de Zacualpan, aunque otras como Minera Escorpio, S.A. de C.V. y Minera Laureles, S.A., también trabajan en el área, pero en menor escala.

PLANTAS DE CONCENTRACION.

En un principio muchos de los yacimientos se localizaban cerca de la superficie, como lo testimonian las obras a tajo abierto (muchas ya ocultas). La concentración de plata y oro eran abundantes, por lo que se podía explotar con métodos rudimentarios obteniendo grandes utilidades que permitían que con el mineral simplemente pagando se pagaran gastos de "transporte largo". A medida que avanzaban los trabajos de explotación se dificultaba más el método tan sencillo utilizado para obtener mineral concentrado. La necesidad de utilizar un sistema que beneficiara mineral de composición más compleja dio lugar a la construcción de las haciendas de patio, que se edificaron en las riberas de algunos ríos de la región debido al requerimiento enorme de agua para el procesamiento del mineral. A lo largo de los arroyos de Gama, del Alaurán y del Acevedo existían ruinas de lo que antiguamente fueron haciendas de patio.

Las haciendas de beneficio que fueron consideradas como más im-

portantes son: San José y San Jerónimo, sobre el Arroyo de Gamma; El Progreso, San Nicolás, San Juan, El Moral, San Felipe, Santa Ifigenia, Santa Inés, El Calvario, y la Cuchara, sobre el Arroyo de El Alacrán; Santa María, El Fraile, y San Francisco, sobre el Arroyo Acevedocla.

La gran cantidad de haciendas de beneficio, los socavones ó minas viejas y las obras a tajo abierto sobre algunos crestones en la región, son indicadores de la gran explotación y producción, efectuadas en el pasado. No obstante, cuantitativamente no es posible evaluarlas, debido a que no hay registro fidedigno y progresivo sobre estas actividades.

PRODUCCION

Debido a lo anterior, solo se cuenta con información verbal aportada por los lugareños. Por lo demás se tiene la noción de que durante la época comprendida desde la Guerra de la Independencia hasta el inicio de la Revolución Mexicana, la producción alcanzó varios millares.

Posteriormente a la Revolución la producción declinó y tampoco se tiene información alguna. Lo que se conoce también es por transmisión verbal y se calcula que la producción fué de alrededor de 50,000 toneladas anuales desde 1930 hasta 1960. A partir de este año es cuando comienzan a trabajar en la región las compañías Guadalupe y Anexos, S.A. y Campana de Plata, S.A. (Peñoles), es cuando se aplica un mejor control sobre la producción.

En la siguiente tabla (1) se resume la producción extraída en el período 1930-1978.

TABLA I: PRODUCCION DEL DISTRITO DE ZACUALPAN

AÑO	ORO (Kg)	PLATA (Kg)	PLOMO (Ton)	ZINC(Ton)	TOTAL (Ton)
1930-60	---	150000	---	---	150,000
1960	---	1414	---	---	1,414
1961	---	2828	13	---	15,828
1962	---	2085	9	---	11,085
1963	---	744	3	---	3,744
1964	---	433	2	---	2,433
1965	1	624	21	---	21,625
1966	1	872	12	---	12,873
1967	2	2454	2	---	4,456
1968	7	11832	6	---	17,839
1969	15	17066	16	---	33,081
1970	57?	28700	57.4	---	86,157
1971	69?	34500	69	---	103,569
1972	37?	18500	37	---	55,537
1973	41?	20750	41.5	---	62,291
1974	54?	27150	54.3	---	81,504
1975	55.8?	27900	55.8	---	83,756
1976	61.5?	30750	61.5	---	92,312
1977	61.7?	30850	61.7	---	92,617
Enero-Jul.					
1978	7.79	13940.162	194.7	311.51	520.151
Reservas				13946.68	
Probadas	96.184	220742.28	6732.88	13946.68	20900.399
Probables					
Probables	39.480	92728	2172.40	4145.40	6410.568
TOTAL	606.454	736892.28	9621.18	18403.23	28677.153

NOTA:

Los datos de 1930-1960 se calcularon con leyes de 3 Kg Ag/Ton., los de Enero-Julio/1978 con leyes de .2 gr. Au/Ton., 358 gr. Ag/Ton., 0.5% Pb, 0.8% Zn; y las reservas probadas y probables con leyes promedio de 462 gr. Ag/Ton., 1.3% Pb, 2.7% Zn y .2 Au/Ton. Y para calculos recientes: 1 a 2 gr. Au/Ton. (promedio 1.5 Au/Ton 500 gr. Ag/Ton., 0.1% Pb, 2.5% Zn.

II.6 LOCALIZACION GEOLOGICA.

Respecto a este problema Colorado L.D. (1979) menciona que "El Depósito fue en un dominio marino epicontinental poco profundo" Esta observación la apoya en una correlación de características litológicas de la serie metamórfica, entre ciertas regiones de los Edos. de Guerrero, México, Michoacán, Guanajuato y Zacatecas. Aunque, como se mencionó al principio de este trabajo, -- existen divergencias en cuanto a la edad de la secuencia metamórfica y, en consecuencia, aún impiden la reconstrucción de la paleogeografía respectiva. Además y apoyándose en otros autores, coloca a la región en un cuadro estructural de volcanismo de arco, pero ello no es evidente"... Y, (según el mismo autor) "La gran semejanza litoestratigráfica en toda la serie: de Zitácuaro, -- quizá Guanajuato y Zacatecas al norte, hasta Guerrero al sur -- (comprendiendo los yacimientos de Campo Morado y Teloloapan para citar los más conocidos), nos permiten esquemáticamente limitar la cuenca".

Por otro lado Nieto et al (1977) respecto al ambiente de depósito en cuestión sostienen ... que de cualquier manera tales secuencias - incluida la de Zaeualpan - ..., corresponden con toda seguridad a ambientes eugeosinclinales deformados, y metamorfizados a causa de la subducción de una placa oceánica Pacífica (?) debajo de un elemento sílico o placa continental, y por lo tanto - además - constituyen ambientes favorables para el depósito de los sulfuros masivos, tipos "próximos" y "distantes". Esta aseveración es apoyada en las consideraciones de Large Rijn (1977) sobre la relación entre este tipo de yacimientos (sulfuros masivos) y las secuencias eugeosinclinales. Tales consideraciones también son discutidas en el estudio de Nieto et al -- (op. cit.)

III RESULTADOS

III.a. OBSERVACIONES GENERALES SOBRE LA ESTRATIGRAFIA.

De la estratigrafía de la región, ningún trabajo se había realizado a detalle con anterioridad a 1977, por lo que a la columna estratigráfica metamórfica de esta localidad se le adjudicaba cierta similitud con la columna, también metamórfica de la localidad de Taxco, Guerrero.

Esta comparación fue eliminada por el estudio estratigráfico de Díaz G.V. (1977) ejecutado en el Arroyo Ayotusco, ubicado a 3 kilómetros al noroeste de Zacualpan. Al haber encontrado un paquete de meta-sedimentos (pizarra y filitas principalmente)-sub-yacentes concordantemente a la roca verde Taxco Viejo.

Por otra parte, en cuanto a la edad de esta columna aún hay duda. Al respecto De Cserna y M.P. Campa, investigadores que han estudiado el área en forma regional y continua, en sus opiniones acusan grandes controversias. En sí De Cserna et. al. (1974) considera a la serie metamórfica de la región como correlacionable con la Formación Esquisto Taxco del Precámbrico (Greenvilleano), información que apoya en un estudio geocronométrico realizado con el método plomo alfa a varios zircones autígenos de dicha formación, mediante el cual se obtuvo una edad entre 1,020[±] 110 millones de años, en contraposición con la edad paleozoico-tardía que le atribuye Fries (1960).

La edad que aporta De Cserna et. al. (op. cit.) "no está sólidamente argumentada; en efecto, el método plomo alfa cada vez es más discutible y los zircones podrían ser detríticos ya que la serie es más bien sedimentaria que volcánica" (op.cit.) Por otro lado Campa (1974) apoyada en un estudio estratigráfico paleontológico de la serie metamórfica afirma que "entre los sedimentos más finos de esa secuencia se encontraron ammonitas del grupo berriascélidos y devilligerátidos así como lamelibranchias y tintinidas, cuya determinación permitió datar la secuencia

dentro del Titoniano-Neocomiano (?)- Aptiano".

Aparentemente, los resultados obtenidos por Campa tienen mayor fundamento, razón por la cual han sido adoptados por la mayoría de los geólogos en México y, por tanto, se considera en forma preliminar a los meta-sedimentos de Zacualpan como del Jurásico Superior-Cretácico Inferior.

GENERALIDADES LITOLÓGICAS.

La secuencia litológica de Zacualpan se compone de dos grupos principales: rocas meta-sedimentarias y rocas meta-volcánicas.

Las rocas meta-sedimentarias consisten de esquistos de clerita y muscovita, filitas, pizarras claras, pizarras carbonosas, cuarcitas, meta-grauvacas, calizas negras metamorizadas y un meta-conglomerado.

La base de esta columna, hasta donde se logró observar, comienza con meta-sedimentos de textura esquistosa (filita de clerita y sericita) de color verde violáceo, con un espesor aproximado de 10 metros, que se encuentran cubiertos por meta-sedimentos finos, los cuales presentan a su vez intercalaciones finas de filitas y pizarras. De aquí hacia arriba regularmente se presentan los meta-sedimentos intercalados con derrames gruesos y delgados, cuerpos dómicos y diques de meta-andesita. Esta última abunda a medida que asciende estratigráficamente hasta el Cerro de la Tentación.

La posición de la meta-andesita respecto a los meta-sedimentos generalmente es de discordancia, en ocasiones muy marcada.

Las rocas meta-volcánicas (rocas verdes) en su mayoría consisten de meta-tebas, que conforman depósitos gruesos y delgados, cuerpos dómicos y diques y meta-lahares de composición andesítica-dacítica. Estas rocas verdes se presentan con estructura masiva o bien con foliación tenue y bien marcada y a veces también con

estructuras en forma de almohadillas.

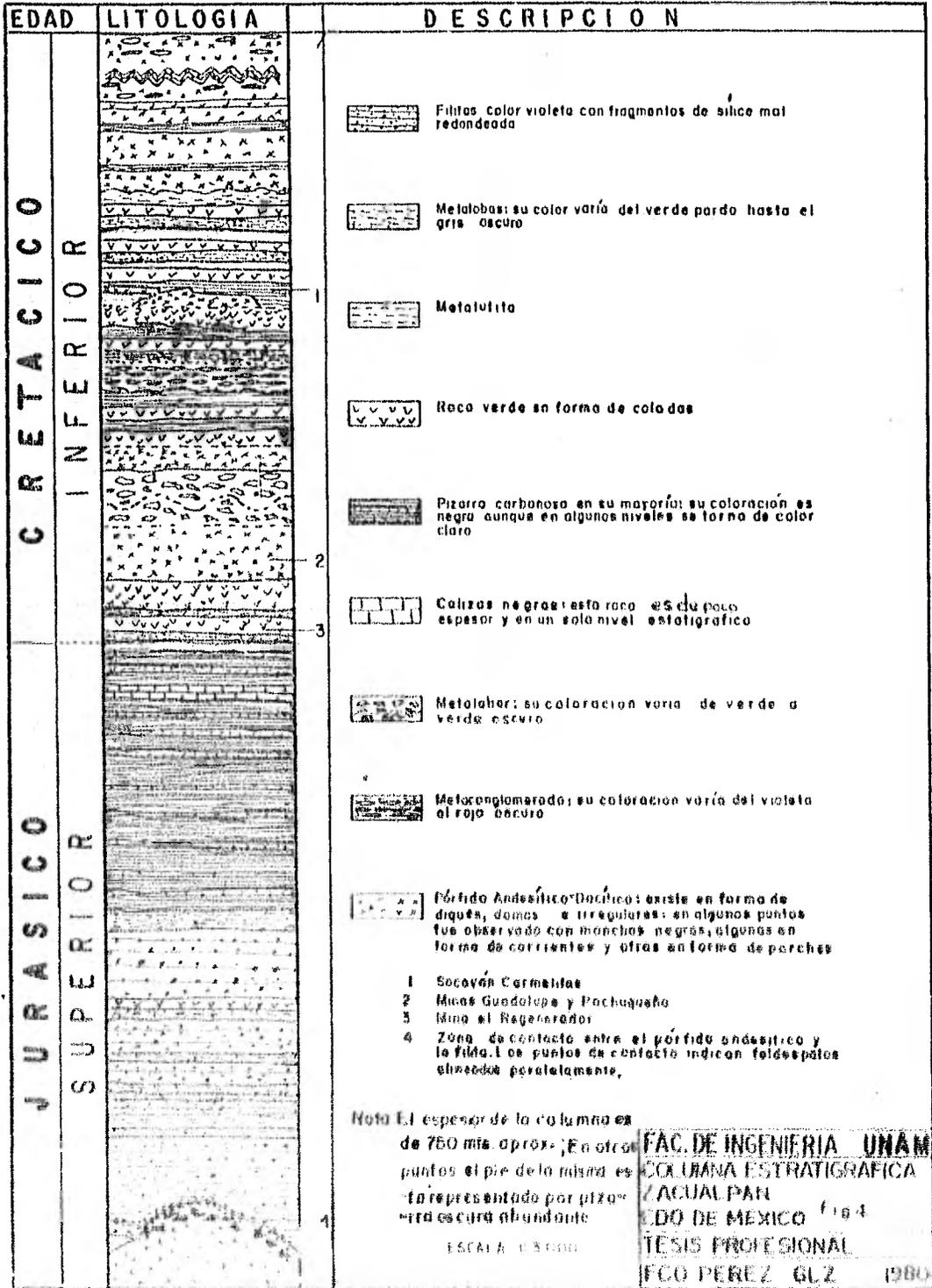
Gran parte de la columna metamórfica se encuentra afectada por la silicificación en forma de reemplazamiento y vetillas, debido a las etapas de megmatismo de fines del Cretácico y principios del Terciario. En cuanto al metamorfismo, éste es de bajo grado, regional dinámico y caracteriza a las rocas en la facies esquistos verdes. El origen del metamorfismo, "tuvo lugar en el Cretácico Medio" (Demant et al, 1976), dió lugar a la foliación, principalmente, lo que aparece en mayor o menor grado en la columna.

Demant et al (op. cit.) considera al metamorfismo como del Cretácico Medio por que es cuando cambia (según el mismo autor) el sentido del desplazamiento de América del Norte y empieza la deriva de América del Sur (apertura del Atlántico Sur), y se origina el cierre del dominio Caribe.

a.l. Estratigrafía.

Como ya se mencionó anteriormente, la columna vulcano-sedimentaria metamorfizada de Zacualpan comprende filitas y pizarras con intercalaciones de meta-pelitas y meta-areniscas en horizontes delgados, calizas negras metamorfizadas, un meta-conglomerado, meta-andesitas, en las que existen pórfidos de la misma clase, meta-dacitas, meta-tobas y dos meta-laberes, todos ellos en alternancia regular (ver columna estratigráfica, Fig. 4, y plano geológico, Fig. 5)

La mayoría de los cuerpos de rocas meta-sedimentaria que presentan forma tabular en cuanto a su emplazamiento ofrecen estructuras como foliación en varias direcciones y estratificación visible, la que en ocasiones se oculta por la foliación. El espesor de estos paquetes de roca varía desde algunos milímetros, como en el caso de las meta-pelitas intercaladas en las filitas, meta-tobas y pizarras, hasta poco más de 70 metros que mide el meta-conglomerado rojo.



FAC. DE INGENIERIA UNAM
 COLUMNA ESTRATIGRAFICA
 ZACUALPAN
 EDO. DE MEXICO 1984
 TESIS PROFESIONAL
 FCO PEREZ GLZ 1980

En el caso de las rocas verdes, algunas se presentan en forma de coladas como las meta-andesitas y meta-dacitas, también con foliación en varias direcciones, sólo que varía de tenue a bien marcada, pudiendo inclusive estar ausente y cuando esto sucede la roca acusa un aspecto masivo. Los espesores de estas coladas varían desde poco menos de un metro hasta más de 100 m, -- siendo indefectiblemente de poco espesor las meta-tobas y los meta-sedimentos que se encuentran intercalados casi siempre en los paquetes potentes de las coladas.

Sólo existen espesores de meta-tobas de aproximadamente 6 en el flanco SW de la elevación en donde se encuentra el poblado de Zacualpan.

Los pequeños paquetes de meta-sedimentos se diferencian de los paquetes grandes de rocas meta-volcánicas, las cuales a su vez se encuentran intercaladas en paquetes más grandes de meta-sedimentos. Entre las rocas meta-volcánicas se cuentan también meta-lahares a la altura de Zacualpan, que en conjunto alcanzan más de 150m de espesor; estos cuerpos presentan fragmentos de roca basáltica y escorias de diferentes tamaños, y textura orbicular, la cual le ofrece un aspecto como manchado en algunos puntos de la superficie de esta roca.

En relación al espesor total del paquete metamórfico presente en la región de estudio y tomando como echado promedio el valor de 25° para su cálculo, se afirma que el espesor máximo susceptible de levantarse no supera los 750 m, tomando como base los cuerpos de roca verde en forma irregular, textura porfídica, con fenocristales de plagioclasa y anfíbol, textura orbicular y en ocasiones augen, localizados en los arroyos El Alacrán, San Jerónimo, De Gama y una afluente del Arroyo Ayotusco (a la altura de la Mina Veta Negra). Sobre este tipo de roca verde localizada en el Arroyo del Alacrán se afirma que acusa claramente un cambio transicional hacia arriba a una roca finamente laminada del tipo filitica. La transición está marcada

por un bandeamiento representado por fenocristales alineados de plagioclasa que en conjunto le dan un aspecto de arenisca de grano grueso, hasta finalmente coincidir concordantemente en la roca filítica finamente laminada, ya citada. En otros puntos en donde se localiza este tipo de roca su posición es completamente discordante como si se tratara de un tipo diferente a la ya descrita y a la roca verde que se encuentra regularmente en todo el espesor de la columna hasta la cima del Cerro de la Tentación.

En sí cabe mencionar que la expresión fisiográfica más alta de la región, la cual se ilustra con el parteaguas de Cerenas, es resultado del emplazamiento de cuerpos ígneos perfidicos del tipo andesítico-dacítico, por debajo de él y entre el paquete meta-volcánico-sedimentario, el cual también sufrió un levantamiento que marca con él una diferencia tectónica regional entre el sur y el nor-noreste del parteaguas mencionado. El suroeste del mismo está representado por un paquete meta-sedimentario con meta-tebas de mayor espesor y de depósito más continuo y estable que en el caso de Zacualpan y del Valle de Apatlahuacán, en la cima de esta región (SW de Cerenas) las coladas de roca verde con meta-sedimentos intercalados resafirman las mismas características de sedimentación, sólo que en un depósito vertical y más superficial que en el norte del parteaguas de Cerenas.

La base litológica en esta porción de la región ofrece características similares a las de la roca verde considerada también como base de la columna de Zacualpan, localizada en los arroyos del Alacrán y San Jerónimo, sólo que en menor magnitud espacio-temporal.

El basamento sobre el cual descansa la columna meta-volcánica sedimentaria de Zacualpan aún se considera indefinido, pero estratigráficamente y cronológicamente la filita, (o pizarra) según los niveles de afloramiento más profundos, se considera

como la base de la columna de la localidad. En el Arroyo -- Acevedo en la zona de Mamatla, la filita oscura con materia carbonosa en hilillos, arenisca con intenso plegamiento y silicificación y fragmentos mayores de roca básica, se presenta estratigráficamente más abajo según el grado de erosión que ha sufrido la región. Por demás se considera que el metamorfismo de las rocas aumenta a medida que se avanza hacia el occidente de esta área aunque, como ya se citó, también en esta zona en la base de los arroyos aparece una roca verde similar a la que aflora como intrusivo en los arroyos San Jerónimo y El Alacrán. En algunos casos no es posible identificar plenamente los espesores de los diferentes tipos de roca debido al intenso fracturamiento y plegamiento, a los productos de la erosión y a la tectónica, que se traduce en pequeños pliegues de tamaño considerable como anticlinales y sinclinales, así como bloques desplazados y caídos, que forman pequeños "grabens" y "horsts".

Todas estas características configuran una topografía media, con lomeríos abundantes que sólo presentan pendientes fuertes cuando se trata del meta-conglomerado y la roca meta-volcánica intermedia. El echado de la foliación de todas las rocas que la tienen se orienta preferentemente hacia el noroeste, con una inclinación de 15 a 25 grados en promedio. En relación a las rocas de la región a continuación se describen los diferentes tipos de las mismas.

FILITA.

A este tipo de roca pertenecen aquellos afloramientos de paquetes finamente laminados, con foliación o en su caso estratificación deleznable; de color crema, verde grisáceo y mercurado, al fresco; y, seco en tonos blancos a la intemperie. Algunas horizontes presentan aspecto brillante como consecuencia de la abundante sericita. El tamaño de los granos varía del fino a la arcilla. Los fragmentos de roca que presenta son-

redondeados y se encuentran circundados por mica blanca y por los sedimentos finos. Este tipo de roca aparece interestratificada en casi toda la columna.

La presencia de los fragmentos de roca del tamaño mayor que los demás componentes no permite que las capas laminadas sean estrictamente paralelas debido a que son desviadas por los fragmentos de roca citados, los cuales aparecen en forma de ojos redondeados e irregulares.

La mineralogía principal de esta roca se constituye de clorita, sericita (en ocasiones abundante), cuarzo y albita; la piritita y a veces la materia orgánica aparecen como accesorios considerables.

La foliación como característica principal en la mayoría de las rocas aparece en la filita como resultado de dos etapas: una, la principal, y la otra, diagonal al rumbo del echado de la primera. La segunda etapa de foliación claramente se observa que fué resultado del deslizamiento de los horizontes en el sentido del echado de éstos, y como un ejemplo de tal proceso dinámico, se hacen presentes en los contactos con otras rocas de diferente consistencia la milenita y los "jaboncillos" producto del cizallamiento. Entre otras estructuras se presentan también los micropliegues, macropliegues, "kink bands", además del fracturamiento y la silicificación en vetillas y como reemplazamiento, según si se encuentra la filita afectada por algún cuerpo ígneo intermedio asociado a los fenómenos magnéticos ocurridos posteriormente al depósito de los metasedimentos. La textura finamente foliada fue producida por laminillas de mica blanca orientada, que incluyen cuarzo, y feldespatos.

La filita generalmente se encuentra encima o debajo de meta-tobas, pizarras, meta-arcosus y rocas verdes. También intercalándose con la roca que se describe se encuentran horizontes muy delgados (1 a 3 cm) de meta-sedimentos finos de color gris pardo.

META-ARENISCA

En este grupo se ubica la meta-grauvaca localizada entre filitas y meta-tobas en diferentes niveles y su espesor varía de más de 50 cm. hasta más de un metro. Su color varía del gris verdoso en muestra fresca y café amarillento en superficie intemperizadas.

Los componentes de esta roca son fragmentos de filita, serpentina? cuarzo y feldespato de diferente tamaño cuya forma está entre angulosa, sub-angulosa y sub-redondeada. El tamaño de los componentes es muy variable y entre los más finos existen micas, cuarzo, minerales opacos (ferromagnesianos?), plagioclasa y calcita secundaria. El cementante es parcialmente cuarzo secundario, calcita secundaria y óxido de hierro. La foliación en esta roca se encuentra bien marcada y sus rasgos tenues se destacan por la presencia de clorita. No se observan estructuras secundarias importantes en esta roca.

Al microscopio, se observan vestigios de estructuras cataclásticas, además del fracturamiento ocasional rellenado de sílice o de calcita.

META-CUARCITA.

La cuarcita es la roca que se presenta en forma estratificada con mayor definición que las demás; por lo regular está siempre interestratificada en la pizarra y en la filita y su asociación con ellas es permanente. Incluso aparece en el meta-lahar entre materiales piroclásticos.

El color de la cuarcita varía de blanco lechoso a gris en muestra fresca y pardo tendiendo a amarillo al intemperismo. Su espesor parte desde un centímetro hasta 30 cm y siempre sigue el compartimiento estructural que le permite la pizarra.

Los componentes de esta roca consisten de cuarzo primario como --

cementante y en vetillas, calcita secundaria, muscovita y plagioclasa. Los contactos con la filita son transicionales.

En la cuarcita cercana al contacto con la pizarra se observa --- abundancia de micas alineadas plegadas y se presenta con textura granuda. La clasificación del tamaño en la cuarcita es irregular y desordenada en razón a que el tamaño de los granos varía desde la arena hasta la arcilla, sin graduación.

Las estructuras se caracterizan por pliegues de diferentes tipos, pliegues en "chevron", "boudinages", cuarzo de segregación en forma de lentes y horizontes ciertos, foliación microscópica combinada con estructura cataclástica. Los horizontes de cuarcita dentro de la pizarra se repiten en grupos de 3 a 5 formando aparentemente junto con su roca encajonante paquetes diferenciados en espesores mayores de pizarra, los cuales en ocasiones son menores que los paquetes de meta-cuarcita.

PIZARRA CARBONOSA.

La pizarra carbonosa está íntimamente asociada a casi todas las --- rocas. Los contactos entre los planos de estratificación de la pizarra, con los de meta-cuarcita, meta-toba y filitas, son los --- únicos que se muestran paralelos y perfectamente definidos. Los contactos con las demás rocas (incluyendo la roca verde en celadus) acusan ligeras discordancias, es decir las superficies de contacto no son estrictamente paralelas, y en otros casos los contactos concordantes aunque irregulares. En el caso de los contactos entre la pizarra y las pérfidas andesíticas - dacíticas observadas en los arroyos El Alacrán, San Jerónimo y una afluente del Arroyo Ayotuaque, en los alrededores de la Mina Veta Negra, la roca intermedia intrusiva perpendicular o diagonalmente a la pizarra,

Esta roca también se encuentra distribuida en casi todo el perfil de la columna metamórfica y presenta los mayores espesores de ---

de todos los meta-sedimentos, pues varía desde un metro hasta - poco más de 90 metros y su color oscila entre gris y negro int en superficie fresca y entre gris verdoso y gris pardo en su perficie intemperizada.

La estratificación es delgada y fina; la foliación aparece de -- igual modo en dos etapas perfectamente definidas, la primera diagonal en sentido horizontal al rumbo de la estratificación y perpendicular en sentido vertical y la segunda diagonal a los rumbos de la estratificación y de la foliación de la primera etapa, regpectivamente. Una característica importante en relación a la -- foliación es que las superficies se separan en forma facoidal.

La mineralogía se compone fundamentalmente de cuarzo detrítico - en delgadas y gruesas bandas, de modo que se observa una gradua- ción en cuanto a tamaño perfectamente definida; existe además el cuarzo metamórfico como resultado de los esfuerzos de deformación en filamentos, manchas y fajas intersticiales y continuamente en la mayor parte de la roca (60%). Algunos minerales como la sericita y la clorita determinan en cierto modo la orientación de la foliación. Se dice que en ciertos casos, por que en otros apare- cen como productos de alteración hidrotermal en forma aislada. Estos minerales determinan el aspecto sedoso brillante y verde de la roca. En algunas zonas de contacto con la meta-toba se obser- van en la pizarra algunos minerales ferromagnesianos alineados - en forma de ojos dándole a la roca una textura "augen". También son notorias la calcita secundaria y la sílice relleno de fractu- ras y reemplazando a fragmentos de caliza (?) y de roca ácida (?).

La pirita ingenética es continua y bien desarrollada, lo mismo - que en las otras rocas. Generalmente las superficies de contacto entre las capas presentan un tinte de oxidación.

Las estructuras que presenta la pizarra son en su mayoría las mismas de la filita, por lo demás la pizarra es muy quebradiza y forma una topografía muy suave.

En los contactos en los que la roca verde en coladas se ha deslizado por encima de la pizarra, se han formado zonas mineralizadas caracterizadas por milonitas y propilita en los respaldos. En algunos niveles vería en cuanto al tamaño del grano a arenosa y a su vez presenta menor cantidad de materia orgánica.

Los afloramientos afectados por el hidrotermalismo presentan gran cantidad de fracturas y fallas rellenadas con cuarzo y en ocasiones por calcita.

CALIZAS NEGRAS METAMORFIZADAS.

En el Arroyo Ayotusco, a la altura de la Mina el Regenerador, afloran horizontes delgados y medianos de caliza negra, que se encuentra entre pizarra grisácea con fracturas muy finas, y que además, tiene intercalaciones de horizontes de meta-toba delgados (desde más de 50 cm) y gruesos. La pizarra y meta-toba se hallan debajo y cubren a la caliza, respectivamente.

La caliza se observa en estratos delgados que varían de pocos centímetros hasta un metro; las capas se interrumpen por interestratos de cuarcita de estructura en forma de morcillas cuyo espesor promedio es de 25 cm. Algunos niveles de caliza se encuentran interestratificados con pizarra filítica en estratos muy delgados. En total el espesor de esta roca no supera los 20 metros.

Las calizas son de color gris a negro con aspecto sacaroides; en superficies intemperizadas el color es más gris, tendiendo a pardo.

Al microscopio se le observan rasgos de estructura cataclástica, espatítica y en granos gruesos, materia orgánica en filamentos y entre los cristales.

El cuarzo está soldado en sus contornos, formando manchas de diferentes formas y tamaños. También se observan minerales arcillosos, pero en menor cantidad (menor del 7 por ciento). Entre las estructuras secundarias más importantes que presenta se encuentra la foliación bien desarrollada en el sentido de la estratificación, estructura en bordado de diferentes tamaños y rasgos de disolución con estilolitas escasas. También en esta roca se observa una segunda etapa de foliación que se desarrolló en sentido diagonal a la primera. Otras estructuras, principalmente,

como los plegamientos pequeños de diferentes forma y posición se encuentran en la caliza, en la misma forma que en la pizarra y en la filita.

META-TOBA.

Esta roca aparece en lentes y en capas de espesor variable, el cual parte desde pocos centímetros hasta casi dos metros. Su presencia en la mayoría de los casos indica subsecuentemente la presencia de la roca verde en coladas aunque, en ocasiones aparece únicamente interestratificada en los meta-sedimentos.

El color que presenta en muestra fresca es de gris oscuro a verde, y pardo a amarillo en muestra intemperizada. Su textura es esquistosa con diferentes etapas de foliación y ocasionalmente imperfecta, de igual forma que los metasedimentos foliados y plegados. Su foliación es facoidal. Presenta abundante fracturamiento relleno en su mayoría por cuarzo o calcita microcristalina; el cuarzo también existe en lentes reemplazando partes de la roca o silicificándola. La meta-toba aflora en casi todo el espesor de la columna, produciendo siempre perfiles suaves.

Su composición consiste de mica blanca y de clorita, minerales que forman planos de foliación pobremente definidos; la clorita se presenta también en grupos aislados; el feldespato está sericitizado parcial y completamente; los piroxenos y hornblenda se observan en forma de ojos perfectamente alineados; también están presentes fragmentos ovalados de lava verde cuyos contornos ofrecen zonas de alteración a clorita (?); el cuarzo en cristales se destaca por su tamaño y algunos de estos cristales se encuentran soldados formando mosaicos distribuidos en forma irregular y también se les observa individualmente; la calcita, la clorita y la muscovita aparecen asimismo entre los demás componentes y esta última, además, en forma de grupos e individual que semejan zonas de alteración

o como parte de la matriz. El zircón es apenas perceptible. Como en el caso de la milonita, la roca se define como una meta-toba híbrida de cuarzo y mica, con textura semiesquistosa.

Las estructuras son similares a las de la filita. La diferencia estriba en que en la meta-toba se presenta una destrucción en fragmentos más pequeños, hojosos y terrosos. Los espesores mayores de meta-toba (hasta 6 metros o más) fueron localizados en el camino de terracería que baja por el flanco este de Za--cualpan hacia el Arroyo del Alacrán.

ARCOSA METAMORFIZADA.

Este tipo de roca se encuentra en lentes delgados, como de 50- a 70 cm de espesor, su color es blanco lechoso con tintes ne--gros y tonalidades verdosas. En muestras intemperizadas es -- blanco con manchones pardos y ocreos. El contacto es transicio--nal con la filita y franco con la pizarra carbonosa y sus afloramientos en la columna son escasos. Macroscópicamente se le--observan minerales como el cuarzo detrítico de tamaño mayor -- que el de la arena, cuya forma varía de semiredondeada a com--pletamente angulosa. La mica y los feldespatos visibles están como intercrecimientos con el cuarzo que también se encuentra formando mosaicos debido a la sílice que lo cementa. Al micros--copio la matriz se compone de cuarzo microcristalino y clorita escasa que, junto con la mica, forman alineaciones delgadas e--interrumpidas. Los cristales de plagioclasa, también presen--tes, son escasos y maclados, en grupos alterados y entre los -- cristales de cuarzo y de mica. La calcita existe en cristales de reemplazamiento, en los contornos de las plagioclasas y co--mo relleno de pequeñas fracturas.

Las tonalidades rojas que se observan macroscópicamente son fe--romagnesianas oxidadas en forma de hidróxidos de hierro, que--se encuentran en pequeños cristales y relleno de pequeñas frac--

turas y espacios intersticiales. El zircón también se localizó como en la mayoría de los meta-sedimentos, aunque en algunos casos no es importante su cantidad ni su tamaño.

La arcosa en su transición a la filita tiene un color púrpura y fragmentos de roca con superficies lisas y sedosas. En esta roca los plegamientos son escasos y menos pronunciados que en los meta-sedimentos finos. En algunos casos la silicificación y el fracturamiento son importantes.

META-CONGLOMERADO.

Debido a su coloración roja tendiendo a rosa y a los fragmentos de roca redondeados y semiredondeados en forma de "ojos" - de diferente tamaño, además de la matriz areno-limosa se conoce a esta roca en la región como "conglomerado rojo" pero en realidad presenta un ligero metamorfismo. Aparece en los arroyos de Gama, de San Jerónimo y del Alacrán. En el de Gama cubre a pizarra carbonosa como la descrita anteriormente, su contacto es concordante y a primera vista transicional; el contacto superior no logró observarse debido a que se encuentra cubierto por aluvión. En el Arroyo San Jerónimo el meta-conglomerado descansa sobre la pizarra, en contacto de falla que hace que la pizarra penetre en forma de desprendimientos en el meta-conglomerado y viceversa; el contacto superior es transicional a metulutita. En el Arroyo del Alacrán el meta-conglomerado cubre a las filitas de modo casi transicional, sólo que en este lugar la filita muestra fragmentos de roca de tamaño - de la grava o mayor, con superficies sedosas y de color similar al meta-conglomerado; el contacto superior no fue observado debido al aluvión que lo cubre, pero en general, se calculó a la roca un espesor aproximado un poco mayor de 70 m.

Esta roca presenta foliación fina y fragmentos redondeados en forma de hojitas que muestran los esfuerzos de deformación que -

produjeron la foliación y el estado de los fragmentos deformados. De acuerdo con la forma de los fragmentos que, en su mayoría se aproximan a la elipse, el tamaño de los mismos se mide en función de sus ejes; el largo varía desde un centímetro hasta 60 cm y el ancho desde menos de uno hasta 25 cm.

El espesor de los planos de la foliación oscila desde pocas milímetros hasta 3 cm. El meta-conglomerado pasa transicionalmente a meta-lutita, la cual lo cubre, según se observó sobre el Arroyo San Jerónimo. En la meta-lutita los fragmentos de roca prácticamente han desaparecido. Entre las estructuras más importantes del meta-conglomerado se cuentan las cataclásticas y un plegamiento ligero. Existen también fracturas amiento y el relleno de cavidades por cuarzo microcristalino y por calcita.

Al microscopio se observa que la foliación está formada por los minerales de mica blanca y clorita en fajas alteradas como en los otros meta-sedimentos. Estas micas rodean a fragmentos de roca y minerales en los que además la foliación choca contra éstos. Los fragmentos consisten de riolita sedosa-lavas andesíticas y dacíticas con abundante clorita; pequeños ojos de piroxeno y anfíbol, y fragmentos de cuarzo micro-cristalino de colores lechoso y rojo. La clorita y la calcita se encuentran ocupando cavidades y formando los planos de foliación. El cuarzo presente ofrece extinción ondulante como en la mayoría de las rocas. Tanto la calcita como el cuarzo forman mosaicos mezclados que, en ocasiones, se encuentran unidos por hilos del mismo mineral, respectivamente.

La calcita, en algunos casos, es un producto de alteración de las plegioclasas macladas. Las estructuras más importantes del meta-conglomerado son las que ofrecen los fragmentos en forma de ojos en "boudinage", cuya alineación aparece entre la foliación que forman los minerales micáceos, el cuarzo y la

los ferromagnesianos. En esta roca se tienen también las dos etapas de deformación que, en consecuencia, produjeron foliación en las dos direcciones citadas anteriormente para los meta-sedimentos que presentan esta estructura. Según las características de la deformación de los fragmentos líticos se deduce que se produjeron por movimientos de deslizamiento en el sentido de los contactos. Otra característica importante es la fractura cenceidea de igual modo que en la pizarra y en la meta-toba. Los micropliegues parecen ser de origen cataclástico, pues su charnela casi siempre es quebradiza. Por otro lado se presentan también los "kink bands" escasos y aislados estratigráficamente.

PIZARRA CLARA.

Aflora en el Arroyo San Jerónimo, en donde cubre al metaconglomerado, en forma aparentemente transicional. También se ha observado en el camino de brecha que parte del poblado de Zacualpan a la Unidad minera Campana de Plata. Este cuerpo corresponde al mismo que se localiza a la altura de Zacualpan.

La parte superior de la metalutita en el Arroyo San Jerónimo, aunque se pierde unos 4 metros debido al aluvión, se puede asegurar que hace contacto con una capa de meta-toba y encima de ésta una colada de roca verde de 1.5 m. de espesor, en razón a que ésta es la roca que se encuentra estratigráficamente más arriba del aluvión. El contacto inferior y superior observado y respectivamente en el tramo de terracería mencionado, donde también aflora, consiste del meta-lshar y la meta-toba. El espesor de este cuerpo de meta-lutita tiene aproximadamente 4 m. pudiendo ser poco menor pero no mayor. Existen otros afloramientos como el que se encuentra a la altura del acueducto ubicado en el parterguas de donde parte un afluente que nutre al arroyo San Jerónimo. Este cuerpo es delgado y no supera los 10 metros, sus contactos superiores e inferiores corresponden a la filita y roca verde respectivamente.

Estos horizontes se repiten en varios niveles en el paquete metamórfico.

La consistencia de esta roca es muy débil, es fácil destruir la o deshacerla con las manos y también es muy susceptible al derrumbe.

Su estado es de sumo intemperismo por lo que muestra un color predominante que es el marrón claro, aunque con tonos de color violeta y marrón oscuro. La oxidación también es notable, la estratificación que es la principal estructura, es delgada y no mayor de 5 cm. Se observan también pliegues pequeños -- muy quebrados y algunos de sobrecorrimiento. Las superficies de contacto presentan una sedosidad notable, en algunos niveles, producida por las micas. Gran cantidad de fragmentos de sílice blanca constituyen un componente importante de esta roca. Existen también dos direcciones de foliación, como los mencionados, pero debido a su estado quebradizo que ya se citó no se observa con claridad.

Al microscopio el cuarzo tiene tamaño del limo en fajas que se diferencian por su color, constituyen un 60% del total de la roca aproximadamente y se presenta en fragmentos hasta de 5mm; la mica blanca y la clorita se observan en hilillos en los intersticios del cuarzo en fajas paralelas a los horizontes de este mismo mineral.

La clorita que está presente, más bien parece de alteración. La plagioclasa está casi completamente alterada formando manchones relativamente grandes y esporádicos. La calcita no aparece y sólo se observan las huellas de que existió. En cuanto a la granulometría de la roca, en su mayoría es homogénea.

META-LAHAR.

Esta roca, al igual que la pizarra, representa los mayores --

espesores del paquete metamórfico. Su afloramiento es intenso y regular y se correlaciona claramente entre los interfluvios que forman por un lado los arroyos del Alacrán y Santiago y por el otro lado éste y el Ayotusco.

Sus contactos son concordantes, pues el superior coincide con la metalutita y el inferior consiste de roca verde con meta-sedimentos intercalados. En este paquete se observan rasgos peculiares que indican diferentes épocas de emplazamiento del meta-lahar. Existen relieves en forma de paleocanales de 2 a 3 m de altura de valle por 1.5 m aproximadamente de anchura, en donde se distingue claramente que hubo una época de depósito, otra de erosión y finalmente la del depósito del resto del meta-lahar, por lo que se deducen dos paquetes de este último. Estos relieves en forma de canales se observaron escasos, pero no se descarta la existencia de otros más horizontalmente. Las localidades donde fueron observados claramente son el camino de brecha que parte de la Unidad Campana de Plata hacia la curva donde cruza el Río de Gama y en el último tramo de carretera antes de entrar a Zacualpan (viniendo de Toluca). La topografía que forma es definitivamente escarpada y sólo en donde se encuentra excesivamente intemperizada adopta pendientes ligeramente suaves. El espesor de este cuerpo varía de 90 a 120 m. Su color al fresco es verde oscuro con tonos negros, azulosos y blancos, vendiendo a crema; en su superficies intemperizadas es excesivamente pardo y amarillento con fracturamiento. El tipo de fractura de esta roca es en forma de capas con zonas de contacto lisas y algo alabeadas.

Respecto a sus componentes consiste en fragmentos de roca redondeados y alargados de color blanco, crema y de color más verde que el de la matriz, cuya posición sigue al sentido de la foliación la cual está perfectamente marcada. En los frag

mentos mencionados se encuentra porfidoclastos de piroxeno, anfíbol, olivino y plagioclas.

Algunos fragmentos oscuros de material basáltico poseen textura esmerilada. La matriz de esta roca está constituida de microlitos de plagioclasa sódica, cuarzo apenas perceptible, y propilita, que ocasionalmente reemplaza a los ferromagnesianos.

También están presentes las arenas, minerales arcillosos como la sericita y algunos manchones de ceniza volcánica. Así mismo la clorita, que es abundante, se encuentra dispersa en toda la roca y junto con la sericita y otros minerales arcillosos no identificados están perfectamente alineados. Algunos de los fragmentos, consisten de milonita y serpentina como una transformación metamórfica del piroxeno. El tamaño de los fragmentos ~~son de~~ de 10 hasta 60cm, su forma varía del alargado al casi esférico. En cuanto a la relación entre los fragmentos y la matriz, el predominio de los primeros sobre la matriz se invierte frecuentemente. Se observaron únicamente dos cuerpos de meta-lahares en la secuencia y además intercalaciones filíticas en paquetes delgadas, lo mismo que de pizarras con sus intercalaciones de meta-cuarcita. En un punto dentro de esta roca sobre la Mina Pachuqueño fue observada una porción de forma dómica con lentes silicificados en forma de ojos que daban el aspecto de textura eugen, que no fué estudiada en lámina delgada.

ROCA VERDE.

A este tipo de roca, al igual que al meta-lahar descrito, corresponden los cuerpos de roca ígnea metamorfizada en forma de coladas, intrusiones en domos de diferentes tamaño y diques. Las rocas en forma de coladas consisten de andesita y dacita y ambas metamorfizadas. Los cuerpos dómicos y en forma de dique consisten también de basaltos andesíticos metamorfizados.

Estos últimos son posteriores a las coladas y meta-sedimentos. A continuación se describen estos dos tipos de roca:

METANDESITAS EN COLADAS.

Este tipo de roca aflora en casi todos los niveles de la columna y su espesor varía desde un metro hasta 100 aproximadamente, este último observado en el corte de la carretera en construcción que pasa por la localidad de Mamatla, al sur de Zacualpan.

Su presencia no se manifiesta en la base de la secuencia. En la mayoría de los casos los mayores espesores de este tipo de roca presentan intercalaciones de horizontes delgados de pizarra y filitas.

En aquellos niveles en los que se logró observar tanto al contacto superior como el inferior de la roca verde con los meta-sedimentos respectivos se apreció que no son estrictamente concordantes sino que dichas capas de meta-sedimentos se encuentran afectados por las superficies burdas de contacto de las meta-andesitas.

La coloración al fresco de esta roca es verde limón tendiendo a azul y al intemperismo es parda y verde oscura en varios tonos. La foliación que, como se ha mencionado, es la estructura principal y predominante, en este tipo de roca aparece burda, tenue, moderada o bien marcada, incluso llega a no presentarse.

Esta estructura, como en las rocas anteriores, aparece con la misma orientación. Otras estructuras también están presentes como el fracturamiento, las diaclasa y vetillas de cuarzo. Estas últimas aparecen rellenando cavidades o bien como reemplazamiento de minerales; la calcita, la sericita y el "talco", se observan como productos de alteración rellenando fracturas, reemplazando minerales o formando recubrimientos sedosos.

Macrocópicamente su textura varía de afanítica a porfídica con feno cristales de plagioclasa, hornblenda, augita y además pirri

ta. La cantidad de estos fenocristales es menor del 30%. Otra estructura característica de este tipo de roca depositada en ambiente marino es la almohadilla (pillow-lava), la cual aunque se observó esporádicamente y en paquetes de 15 metros no se descarta que aparezca en la mayor parte de la roca verde, asociada a los cuerpos intrusivos.

Al microscopio la textura que se observa es relictiva como se dedujo de las muestras de núcleos estudiadas. Entre la mineralogía que se presenta destacan los feldespatos con características de plagioclasa, productos de alteración como la sericita y la clorita, esta última rellenando fracturas y en los contornos de la roca; la augita en ocasiones se encuentra en proceso de uralitización.

Se observan también minerales duros como el granate en cristales semidesarrollados. La matriz en la mayoría de las rocas porfídicas está constituida de microlitos de andesina y augita, minerales arcillosos en poca cantidad, clorita y epidota. La textura relictiva se encuentra representada por fragmentos de roca ígnea ácida y fragmentos de roca caliza silicificada, cuyo tamaño varía gradualmente en el sentido estratigráfico hasta desaparecer completamente hacia arriba.

Por otro lado el cuarzo primario, cuya presencia marca la diferencia de clasificación en cuanto a este tipo de rocas, existe escasamente en pocos cuerpos de metalavas y su presencia es en forma de fenocristales desarrollados de modo imperfecto. Su presencia no muestra ninguna orientación de conjunto, su forma es semi-redondeada con tamaño hasta de dos milímetros y en la mayoría de las veces muestra rasgos de metamorfismo dinámico. Las localidades en donde se encontraron las meta-lavas con cuarzo se ubican en los arroyos San Jerónimo y del Alacrón. Las características de este tipo de rocas como la mineralogía, las estructuras y texturas son similares a las de las meta-lavas andesíticas ya mencionadas y se pueden clasificar como una

transición a las meta-dacitas. La forma de emplazamiento de las meta-lavas y los meta-sedimentos es un caso típico de sedimentación marina.

CUERPOS IRREGULARES.

Estos cuerpos son importantes de describir debido a que se consideran causantes de la posición inclinada del paquete metamórfico hacia el noreste del distrito de Zacualpan. Su estructura se ubica dentro del grupo de las hipabisales (porfídicas) y se consideran posteriores a los metasedimentos y meta-lavas, ya que de acuerdo con las observaciones de campo, estos cuerpos irregulares cruzan a los meta-sedimentos en forma de cuerpos dómicos pequeños y de grandes diques que se emplazan en ocasiones paralelas o diagonalmente a los contactos. Como ejemplo de estos cuerpos se citan -- los que se encuentran en el Arroyo del "Alacrán, a través de cuyo contacto se abrieron obras mineras de gran importancia; el que se encuentra sobre el Arroyo San Jerónimo ubicado pocos metros aguas abajo del Socavón Carmelitas, y el que se encuentra en una de las afluentes del Arroyo Ayotusco, a través de cuyo contacto se encuentra la Mina Veta Negra.

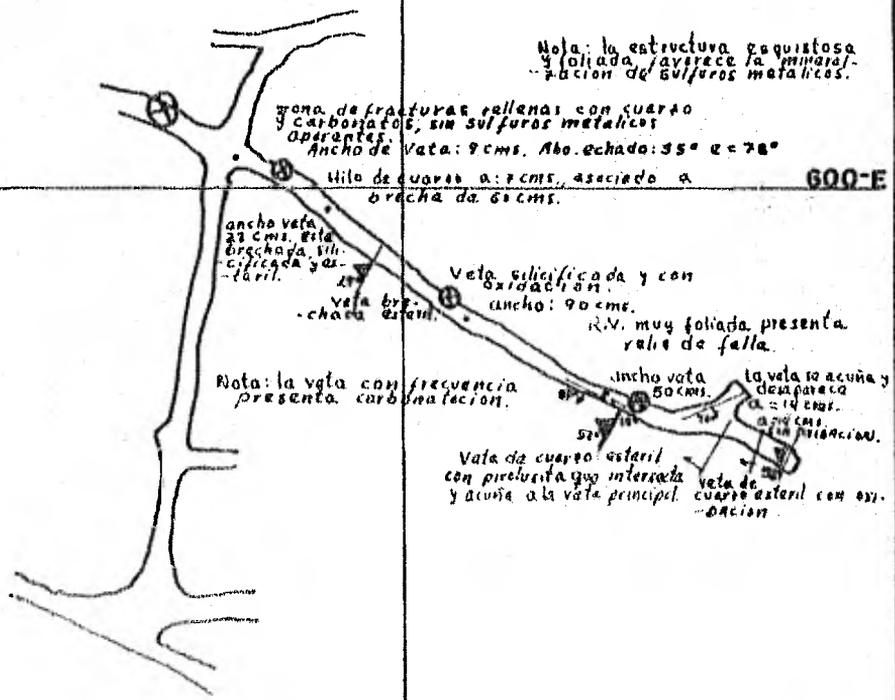
Los ejemplos más prominentes de las formas fisiográficas que se produjeron por el tipo de emplazamiento de los cuerpos irregulares son el parteeguas que une los cerros Huitzaco, Cumbrey San Fernando, Peder de Dios y el de la Tentación. Este parteeguas que corre con orientación este-este, se bifurca 150° hacia el noroeste aproximadamente a partir del Cerro de la Tentación, uniendo sucesivamente los cerros Coronas, San Juan y Mamostle; por el otro lado se desvía 65° al sureste aproximadamente con dirección a la cuenca del Rfo Alahuiztlan (ver fig. 3)

Las minas de Campana de Plata, Guadalupe, Pachuqueña, Veta Negra y El Alacrán, se encuentran en las fallas que se abren en el contacto de los meta-sedimentos con las meta-lavas.

un cuerpo del tipo mencionado. En la Mina el Regenerador, aun que sus cuerpos en superficie se encuentran sobre pizarra, a profundidad se observan su relación con tales cuerpos ígneos.

La mineralogía de estas rocas consiste en su mayoría de feldespatos, clorita, anfíboles y piroxenos orientados, algo de cuarzo, fracturamiento intenso, silicificación como reemplazamiento de cavidades; con matriz de microlitos de andesina, epidota y minerales alterados a sericita y calcita. La foliación aparece también tenue, bien marcada y ausente. En la zona de las minas tuvo lugar la formación de varios tipos de rocas ígneas—
mente los siguientes: existe encima topográficamente de la Mina Pachuqueño una roca sumamente alterada cuya mineralogía en general consiste de feldespato sódico, feldespatos alterados a sericita, matriz de microlitos de plagioclase intermedia (andesina) y ferromagnesianos alterados; su textura es porfídica, sin foliación ni silicificación; su consistencia es excesivamente frágil, pues al simple esfuerzo con la mano se deshace y su color es pardo en varios tonos. Esta roca parece ser una diferenciación de los porfidos andesíticos, sólo que sin rasgos marcados de metamorfismo, ni hidrotermalismo. Sus afloramientos cruzan un paquete de pizarras con intercalaciones de cuarcitas a la altura del camino de terracería que parte de Campana de Plata hacia el pueblo de Gama. Su cima se logró observar hasta el partaguas, cerca del Cerro San Juan, en donde cambia a roca verde del tipo meta-andesita.

Otra roca peculiar, cuyo afloramiento observado es relativamente pequeño, con características no estudiadas petrográficamente, se localiza frente al panteón de Gama, a un lado del camino que va hacia el pueblo del mismo nombre. Lo más que se puede decir respecto a esta roca es que presenta un afloramiento débilmente liso con textura "augen" orientada, cuyas "huellas" en forma de ojos no pudieron ser diferenciadas de la matriz en razón a que toda la roca parecía estar silicificada. La mineralogía

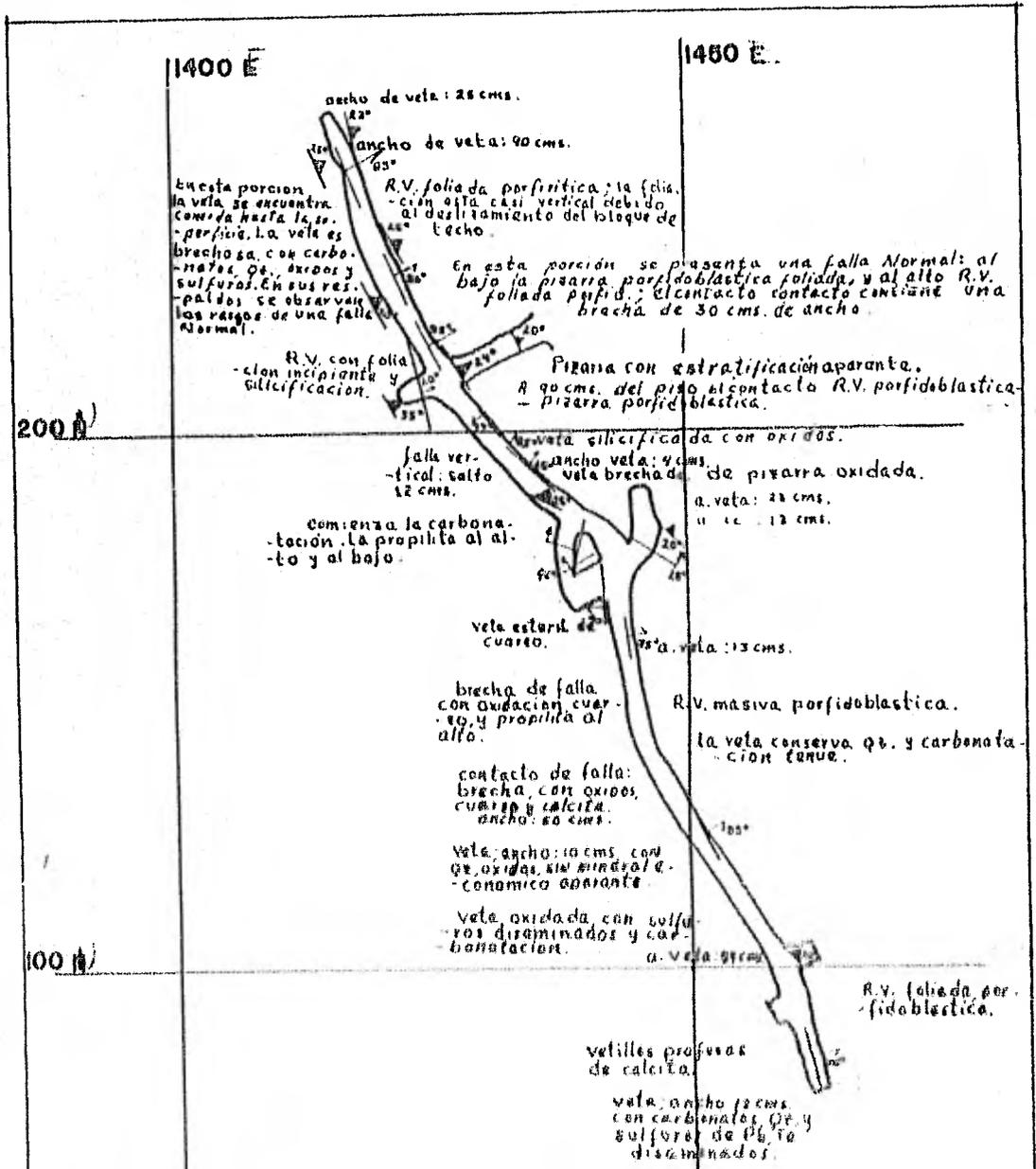


LEVANTAMIENTO GEOLOGICO
DE MINA

FAC DE INGENIERIA UNAM
VETA STA ROSA NIVEL 38
MINA PACHUQUEÑO
FIGURA 7
TESIS PROFESIONAL.
FRANCISCO PEREZ G. 1980

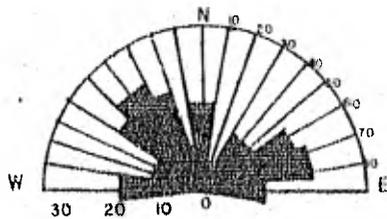
7-1980

7-1980

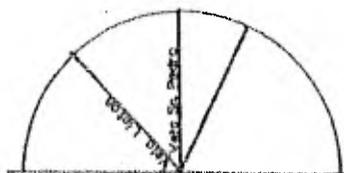


LEVANTAMIENTO GEOLOGICO DE MINA

FAC. DE INGENIERIA UNAM
 SOCAVON CARMELITAS
 NIVEL 0 VETA CARMELITAS
 FIG 6
 TESIS PROFESIONAL
 FRANCISCO PEREZ G. 1980



Roseta de diaclasas medidas en la región de Zacualpan, Mex., que muestran claramente las direcciones preferentes de la ruptura.



Direcciones principales de la mineralización en la Mina Guadalupe, Zacualpan, Mex.

FAC. DE INGENIERIA UNAM
 ORIENTACION DE DIACLASAS Y
 MINERALIZACION EN ZACUALPAN
 ESTADO DE MEXICO FIG. 5
 TESIS PROFESIONAL
 FRANCISCO PEREZ G. 1980

gia definitivamente no fue posible observarla a simple vista - debido a que su textura es afanítica tanto para la matriz como para los lentes en forma de ojos cuyo tamaño varía de 20 hasta 60 cm.

La roca presenta dos colores: blanco en la matriz y gris tendiendo a blanco en los clastos en forma de "ojos".

a.2. GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

Las microestructuras peculiares de las rocas ya se relataron en el capítulo de Estratigrafía, por lo que se procede a describir sólo las estructuras de la localidad con base en la Geología Superficial y la Geología de Minas. Las observaciones del primer tipo se realizaron en los Arroyos de Gama y San Jerónimo y mediante un reconocimiento general que incluyó la zona de la Mina Veta Negra y el Socavón el Regenerador. Las del segundo tipo se verificaron en los niveles 0, 110 y 140 de la Mina Guadalupe, los 0 y 35 de la Mina Pachuqueño, y el Nivel 0 del Socavón Carmelitas (ubicado perpendicularmente al Arroyo - San Jerónimo) aguas arriba de la Mina Guadalupe. También se hicieron observaciones de muestras del núcleo extraídas de meta-andesitas y pizarras de esta última.

Las estructuras observadas consisten en plegamientos pequeños abundantes muy locales en la pizarra en la que también ocurren pliegues "chevrón" y crenulaciones que en algunos puntos, han sido reemplazados por cuarzo hidrotermal de modo que en algunos niveles de la pizarra ésta se halla completamente sílicificada, adquiriendo la compactidad y textura de la cuarcita; cabalgaduras de considerable desplazamiento posiblemente también están presentes con su plano de corrimiento representado en la mayoría de los casos por el contacto pizarra - Roca Verde, sobreyaciendo esta última.

Parece ser que las características que presenta el "conglomerado rojo": foliación muy gruesa, clásticos ovalados (aproximadamente elipsoidales) y las estructuras "boudinage", reflejan que este paquete pudo haber fungido como un contacto de deslizamiento de una cabalgadura regional.

Otras estructuras están representadas por fallas, fracturas -- (ver levantamiento de mina) y diaclasas (ver plano geológico y fig. 5). Las primeras son normales e inversas y conforman los sistemas de vetas y de drenaje de la región, mientras que las fracturas se disponen en dos grupos principales: uno con rumbo N 45 E y otro N 40 W y un tercero aparece normal a los dos anteriores. Las fallas son de poco desplazamiento, con rumbo general norte-sur. En las fallas normales la inclinación no supera los 70 grados y en las inversas no excede los 30 grados.

A las fracturas Robles R. R. (1937-40) las clasificó atendiendo esencialmente a su importancia económica en cinco variedades a saber:

- a) Fracturas reticulares de escasa potencia, con mineralización, pobres o estériles, conteniendo pirita, cuarzo y calcita.
- b) Fracturas de N a S aproximadamente, siendo las de mayor extensión y potencia, con echados al E y W.
- c) Fracturas con rumbo aproximado N 40 W, con echado al NE y SW.
- d) Fracturas E-W con echados al S.
- e) Fracturas en material sedimentario producido en los planes de menor resistencia, por donde se infiltraron soluciones ricas como las vetas de Ayotusco.

Las diaclasas son paralelas a las fallas y fracturas. Campa, Flores, Guerrero, Gimón, Ramírez, B. Ramírez) J. y Vazquez (1977) realizaron una roseta de diaclasas, medida en la región de Zacualpan y cuya ilustración se cita en la fig. 5. Las características particulares de estas estructuras se representan y describen en las ilustraciones de los levantamientos de

las minas (figuras 6 y 7).

Al respecto Robles R.R. (op.cit.) indica "que la mayor parte de las diaclasas deben considerarse como fallas inversas, como lo demuestra el material autoclástico, representado por jabones de consistencia arcillo-talcosa, formados en el alto y cerca de la superficie, debido a la calonitización de los feldspatos".

Existen también estructuras dómicas formadas por macizos meta-andesíticos que intrusionan a las rocas adyacentes y diques en las mismas condiciones. En el contacto de estos macizos con las pizarras se observan corrugaciones de estas últimas rocas mostrando la penetración perpendicular de la meta-andesita. Los sulfuros se presentan en fallas y dentro de la meta-andesita y pizarra aunque en ocasiones en poca cantidad.

Se presentan figuras de tensión que se consideran producto del cizallamiento, las cuales se rellenaron posteriormente de sílice y carbonatos.

a.3 METAMORFISMO.

Debido a las asociaciones de minerales metamórficos como cuarzo-muscovita (o sericita) clorita en rocas meta-sedimentarias tales como la pizarra clara que tienen micas blancas y clorita y las meta-areniscas que contienen cuarzo y muscovita, ambas rocas intercaladas entre la pizarra, ubican al paquete vulcané sedimentario como de metamorfismo de muy bajo grado.

Los sulfuros de plata, plomo, hierro y zinc emplazados en vetas aparecen como productos del relleno de fracturas durante el hidrotermalismo y tectonismo de la región.

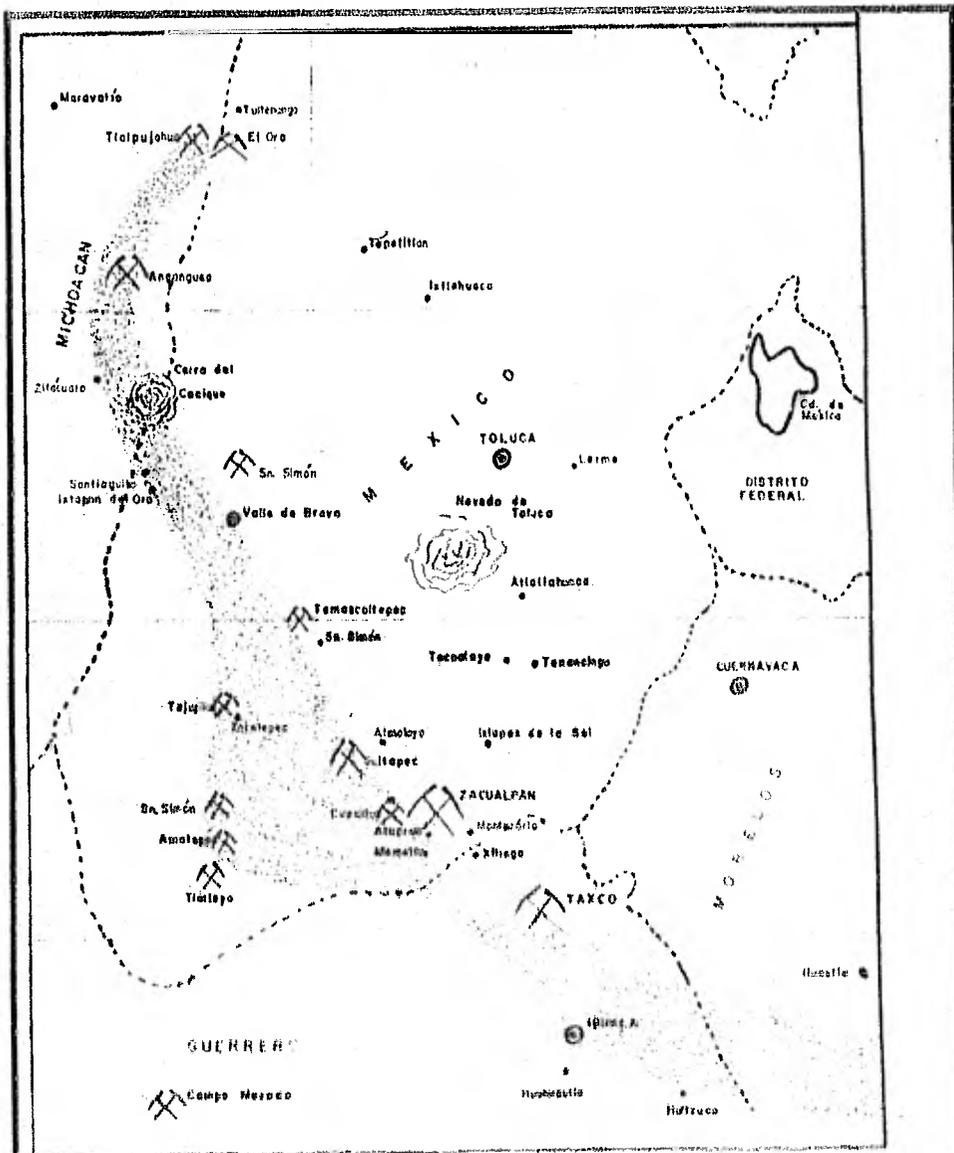
En sí la secuencia meta-vulcano-sedimentaria posee el metamorfismo de bajo grado que corresponde a la facies de esquistos verdes, sub-facies cuarzo-silita-clorita-muscovita.

La clorita, mineral típico del metamorfismo de bajo grado, im
prime a la roca un color peculiar que la hace observarse azul
grisáceo encendido, precisamente de aquí se deriva el término
"azulaque" aplicado a esta roca por los mineros de la región.
Toda la gama de colores presentes se debe también al conteni-
do de minerales como el piroxeno (augita), el anfibol (hornblenda
da) y a la alteración del primero a uralita.

YACIMIENTOS MINERALES

MINAS DE LA UNIDAD CAMPANA DE PLATA

GUADALUPE	EN PRODUCCION
PACHUQUENO (ZORRA)	EN PRODUCCION
REGENERADOR	EN PRODUCCION
VETA NEGRA	EN EXPLORACION
GALLEGA	EN EXPLORACION
CHICHARRA	SUSPENDIDA LA PRODUCCION
ALACRAN	SUSPENDIDA LA PRODUCCION



Faja Mineralizada y yacimientos de Ag Pb Zn

FAC. DE INGENIERIA UNAM

FAJA MINERALIZADA

FIG. 10.

TESIS PROFESIONAL

FRANCISCO PEREZ G. 1980

Tomado de Ramiro Robles R. (1937-1940)

III.b. YACIMIENTOS MINERALES

b.1. INTRODUCCION

Los depósitos de Zacualpan son representativos de una amplia provincia metalogenética localizada en la margen del Macizo - Taxco- Zitacuáro, la cual comprende varios reales de gran importancia como Taxco, Zacualpan, El Alacrán, Sultepec, Tejuapilco, Tlalpujahua y El Oro, entre otros (fig. 8). Robles R.R (op. cit.) adjudicó el origen de esta provincia a la diferenciación de un magma, señalando que la faja mineralizada corresponde a un límite neumatolítico periférico de la zona magmática. A tal consideración parecen contraponerse los resultados recientes sobre el contenido metálico en los magmas (ver génesis). No obstante Robles apoya su idea en estudios geofísicos gravimétricos, en las que "la curva isoanómala cero, o sea -- sin anomalía, se desarrolle en la faja mineralizada y es límite para las positivas hacia el N y NE, y de las negativas al S y SW.

Cita, además, su interpretación y refiere "que la persistencia de isoanomalías positivas corresponde a regiones de exceso isostático y aquí en nuestro caso particular, se compone -- del nacimiento de un material geológico que visitó la superficie durante el Cenozoico, Mesozoico y Paleozoico". Y que "las isoanomalías negativas son producto de una estructura montañosa continental concordante en nuestro caso con las rocas paleozoicas de la Sierra Madre Occidental".

Campa, Flores, Guerrero, Limón, Ramírez D., Ramírez J., y Vazquez (op.cit.) formulan que la faja mineralizada se asocia a "el combamiento finimiocénico (tectónico de extensión o neotectónico; caracterizada por fracturamiento normal y trascurrente)", y que gran parte de la mineralización de la zona es resultado de "las ulteriores deformaciones tensionales plicocénicas, cuyos rasgos corren paralelos a lo largo del combamien

to Valle de Bravo - Taxco - Huitzucó. Las fallas, diaclasas y fracturas se encuentran dispuestas en redes, como en el caso de Zacualpan. Estas estructuras, ocasionalmente están mineralizadas e intrusionadas por diques ácidos.

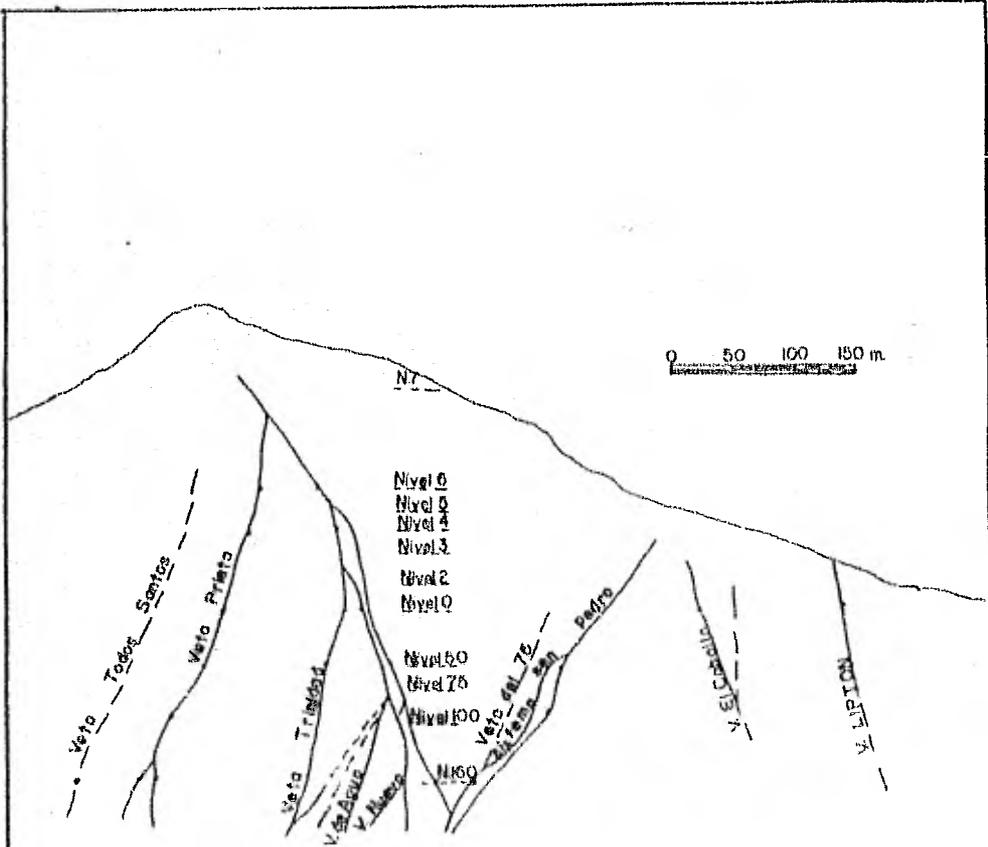
A continuación se resume en la siguiente tabla las características de algunos distritos contenidos en la faja mineralizada.

GEOLOGICO-MINERAS
TABLA 2

CARACTERISTICAS DE ALGUNOS DISTRITOS LOCALIZADOS EN LA PAJA MINERALIZADA

DISTRITO MINERO	ORIENTACION DE ESTRUC TURAS MINERALIZADAS.	LITOLOGIA (ENCAJONAN TE)	EDAD DE MINERA LIZACION.
Temascaltepec, Méx.	NW-SE y E-W	Intrusivo granítico. (ligado al combamiento finimiocéni co) y ande- sitas terci rias.	Finimiocénica
Sultepec, Méx. (Ag, Pb, Zn)	Vetas NW-SE, N45W N 30 W y N50W	Metasedimen tos y meta- ígneas Idem. que Zacualpan.	Finimiocénica
Zacualpan, Méx. (Ag, Pb, Zn)	N-S y N 25 E, N 35 W	Secuencia -- volcánica-se dimentaria no tamorfizada.	Oligo-Mioceno y finimioceno. Mioceno.
Taxco, Gro. (Ag, Pb, Zn)	N 45 W, 80 E N 48 W, N 50 W W N 32 W, N 40 W y N 42 W	Rocas metamór ficas, caliza y Mio-Plioceno, y flysch, an- desitas félsí cas y basaltos.	Oligo-Mioceno Superior y/o Mioc no Inferior.
Huahuatla y Huixtusco, Gro. (Hg y Sb) (Se localizan en el Mioceno olinal)	NW-SE	Caliza y flich	Finimiocénica
Ixtapan del Oro (Ag)	Vetas NW-SE	Secuencia vulca- no-sedimentaria metamorfizada.	Oligoceno - Superior al Mioceno.
Tlalpujahua El Oro (Ag, Pb, Zn)	Vetas NW-SE	Secuencia vulca no-sedimentaria metamorfizada.	Oligoceno - Superior al Mioceno.

(Datos tomados de Campa y Colaboradores, 1977; y Robles D.R., 1937-
40; M. Gutiérrez G. op. cit.)



SISTEMA DE VETAS MINA GUADALUPE

SW NE

(Ver planogeológico)

FAC. DE INGENIERIA UNAM	
PERFIL DEL SISTEMA DE VETAS DE LA MINA GUADALUPE, DISTRITO DE ZACUALPAN FIGURA 9	
T E S I S P R O F E S I O N A L	
FRANCISCO PEREZ G.	1980

III.b.1 ESTRUCTURAS MINERALIZADAS.

Las estructuras son el principal control de la migración de los fluidos mineralizantes y el depósito de los minerales. Es común que durante la tafrogenia se emplacen muchos minerales, dados los esfuerzos de tensión a que son sometidas las rocas. Bajo un sistema de esfuerzos triaxiales, los fluidos tienden a migrar a lo largo de los planos de tensión, que son normales a los ejes del mínimo esfuerzo principal. Las fracturas, planos de crucero y límites cristalinos proporcionan las vías de circulación. La migración por grandes distancias de fluidos mineralizantes, está controlada indudablemente por la relativa permeabilidad de los sistemas de falla, fracturas y de juntas. Las rocas de la región presentan estas condiciones.

DESCRIPCION DE LAS VETAS.

Los tres sistemas en los que se agrupan las vetas de Zacualpan se citan a continuación:

RUMBO	EXPLICACION
Fallas y fracturamientos (de extensión) N-S	Constituyen el alojamiento de vetas de mayor potencia y persistencia; contiene valores altos, presentan milonitización y proilitización en los respaldos de algunas vetas (Mina Guadalupe y Socavón Carmelitas)
Fracturas N 25° E y N 45° W	Echados variables al NE y NW respectivamente (Mina Guadalupe)
Fracturas N 45° E	Contiene mineralización incipiente con cuarzo y carbonates.

TABLA 3

SISTEMA DE VETAS EN LAS MINAS DE CAMPANA DE PLATA

(ver Fig. 9)

Las estructuras mineralizadas de Zacualpan consisten en vetas dispuestas en tres sistemas principales, dos de cizalla y uno de extensión; los dos primeros tienen rumbos N45W y N 25 E y el último N-S (ver tabla 3).

Las estructuras del sistema N 45 W tienen afloramientos bastante definidos, observándose por más de dos kilómetros de longitud, con anchuras que varían de 1 a 6m y buzamientos entre 60 y 80° hacia el NE: la mineralización general se presenta en clavos de plata nativa, proustita, pirargirita, galena-argentífera y esfalerita. Ejemplos: Veta Lipton y Veta Negra.

La veta Lipton en el Nivel 50 presenta carbonatación intensa que ha tapizado de blanco al techo y paredes en este desarrollo. Los minerales son carbonatos de plomo y de zinc - por alteración - y sulfuros en la veta original y en la roca encajonante (meta-andesita). La silicificación que afecta a las rocas en forma de vetillas también es intensa y en el cuerpo de las vetas preserva un ancho de 2 metros.

La Veta Lipton (Mina Guadalupe) en el Nivel 110, corresponde claramente a una falla brechada que constituye la parte mineralizada de sulfuros. Su estructura es cataclástica y presenta serpentina e intensa silicificación. Tiene pirita diseminada y visible; algunos hilillos de cuarzo y calcita se encuentran surcando la veta en varias direcciones. Los respaldos ofrecen una capa de 20 cm. de propilita de color verde a azul claro (ver anexo petrográfico). La plata nativa aparece en hilillos rizados, en botoncitos y en manojos capeliformes en cavidades de fracturas, rellenas con carbonatos de calcio y sílice.

La galena tiene un brillo plateado sobresaliente, mientras que la tetraedrita en este nivel se presenta en cantidades considerables. El ancho de la veta es de 4 m. en el Nivel 140, pre

senta características similares que en el Nivel 110; solo que su anchura en aquel nivel es mayor de los 6 metros en otro -- punto del mismo, principalmente hacia el frente sur-este.

Las vetas de rumbo N 25° E tienen una potencia que varía de 1 a 2 m. con buzamiento de 50 a 60° al NW, con mineralización igual a las anteriores; además contienen pequeñas diseminaciones de calcopirita, como le ejemplifican las vetas El Caballo y San Diego.

La Veta El Caballo (Mina Guadalupe) presenta mineralización de galena argentífera de grano grueso, proustita, esfalerita y pirita escasa dentro de una ganga de calcita, con poco cuarzo y, grandes fragmentos de rocas (caballos) dentro de la estructura. Las vetas de extensión (fallas normales) tienen -- una potencia que varía de 0.20 a 3 m. y valores de plata altos; la mineralogía respecto a las estructuras enunciadas no varía. Las menas son el resultado claro del relleno de cavidades, -- producido por las soluciones hidrotermales:

Ejemplos: Veta Trinidad y Orilla Baja.

La Veta Orilla Baja contiene sulfuros de plata, plomo y zinc, con ganga de calcita principalmente y su potencia media es de 1.60 m.; la roca encajonante es meta-andesita y hacia el sur se encuentra en contacto con pizarras. Otra de las vetas importantes económicamente es la Kena (Mina Pachuqueño), que es una veta falla de 2.80 m. de anchura promedio, que presenta mineralización de sulfuros como la galena, esfalerita y pirita y sulfosales como la proustita. Las rocas encajonantes son meta-andesita y pizarras.

Existen también actualmente el proyecto La Gallega que persigue explorar la continuación de la Veta Iipten al SE.

El comportamiento de las estructuras cambia con el tipo de roca; la meta-andesita es bastante más favorable y persistente en cuanto a su fracturamiento -- vertical -- que la pizarra. En

esta última, debido a su impermeabilidad y a la plasticidad, - las fracturas mayores no se conservan por su misma naturaleza, evitando con ello el emplazamiento de excelentes receptáculos mineralizados.

Los cambios de rumbo, desprendimientos, acñamientos y brechas de arrastre son evidentes y las estructuras con esta variedad tienen leyes mas altas. Ocasionalmente están en la intersección de las vetas. La metandesita es la roca que encajona la mayoría de las vetas importantes, las que en superficie presentan marcada alteración. Es cosa común en Zacualpan que las vetas a medida que aumentan en anchura disminuyen en su ley y viceversa y que en la intersección con otras vetas la concentración del mineral económico es de alta ley. Las vetas hasta la actualidad se han explotado a profundidades conocidas de 360m y de acuerdo con los desarrollos se han podido percibir cuatro zonas, cada una de las cuales involucra un tipo de mineralogía característica:

- a) Zona de Lixiviación: carbonatos, sulfatos de plomo, zinc y plata.
- b) Zona de óxidos de hierro y manganeso.
- c) Zona de enriquecimiento secundario: sulfosales de plata, plomo y zinc.
- d) Zona de sulfuros primarios, que económicamente es la más importante y contiene en abundancia argentita, proustita, pirita, tetraedrita y esfalerita; estas dos últimas se incrementan a profundidad, indicando aumento de temperatura.

III.b.2. MINERALOGIA Y PARAGENESIS.

1. MINERALOGIA.

De acuerdo con el Informe Geológico de la Unidad Campana de Plata (1978) La mineralogía, predominante en los tres sistemas de vetas del Distrito de Zacualpan es la siguiente:

COMPUESTO QUIMICO	MINERAL	FORMULA QUIMICA
Nativa Sulfuros	Plata	Ag
	Argentita	Ag ₂ S
	Galena	Pb ⁻² S
	Galena Argentífera (1)	
	Esfalerita	Zn S
	Jacsonita	2PbS Sb ₂ S ₃
	Pirita	Fe S ₂
	Tetraedrita-	
	Tenantita	(Cu, Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃
	Calcopirita	Fe Cu S ₂
Sulfosales	Proustita	3Ag ₂ S As ₂ S ₃
	Polibasita	9Ag ₂ S Sb ₂ S ₃
	Pirargirita	3Ag ₂ Sb ₂ S ₃
Carbonatos	Calcita	CaCO ₃
	Rodocrosita	Mn ²⁺ CO ₃
	Siderita	Fe CO ₃
Oxidos	Hematita	Fe ₂ O ₃
	Limonita	2Fe ₂ O ₃ 3H ₂ O
Silicatos	Pirolusita	MnO
	Guarzo	SiO ₂

Las minerales: Argentita y Polibasita, no fueron observados por el autor de este trabajo.

(1) La galena argentífera es un interrecambio complejo de dos minerales: Galena y matildita. Pero no se puede distinguir por microsonda electrónica ni ópticamente, De Caern, Delavaux, Harris: 1977). Como se conoce (Wernick, 1960) la galena puede tener en solución sólida hasta 8% mol. de Ag₂S, lo que equivale a 3.4 % de Ag.

2. PARAGENESIS.

A fin de investigar la paragénesis, clasificación microscópica y relaciones texturales de los minerales entre sí, se analizaron superficies pulidas de muestras tomadas en los niveles 50, 110 y 140 de la Veta Lipton en la Mina Guadalupe; los resultados obtenidos son los siguientes:

a) Análisis Macrocópico.

En su mayoría los minerales de mena y de ganga se perciben a simple vista. Entre éstos se encuentran según su abundancia: la calcita, cuarzo, esfalerita, galena, pirargirita, tetraedrita, pirita y calcopirita; con excepción de la pirita y la tetraedrita-tenantita, ambos cristalizados parcial y completamente en ocasiones, todos los demás no tienen forma cristalina definida. El cuarzo, criptocristalino y lechoso, se presenta en forma de hilillos y vetillas intrincadas y en "zig zag" siguiendo el echado de las vetas.

El cuarzo contiene en ocasiones pirita, calcopirita, esfalerita y galena; la primera está diseminada y en forma de "broches"; la segunda se encuentra en forma similar, pero en menor cantidad; mientras que la esfalerita es escasa y aislada.

La calcita también está presente, destacando como un producto de alteración de la meta-andesita, existe en los desarrollos tapizando paredes y techos como es el caso del Nivel 50 en la Veta Lipton de la Mina Guadalupe. Las reacciones químicas entre sustancias carbonatadas y los sulfuros de plomo y zinc dieron lugar a los carbonatos respectivos que son observables a simple vista. Otro caso de carbonatación abundante lo muestra la presencia de probilita (ver anexo) en los resaldos de algunas vetas económicas; la galena en este tipo de material es claramente visible y aparece con lustre muy brillante, en masas continuas y abundantes dentro de vetas que alcanzan 7m. de anchura.

La pirargirita, mineral asociado íntimamente con la galena aparece cruzando como hilillos a la galena y también está presente como "botoncitos rojos".

La plata nativa, en las vetas económicas existe en cavidades en forma de "maraña" y rizos. La tetraedrita, en los niveles profundos, se encuentra en abundancia lo mismo que la esfalerita. Todos estos minerales observados de manera natural en sus muestras correspondientes, presentan una textura alotriomórfica.

b) Análisis Microscópico. (ver laminas Nos. 1 y 2).

- Calcita.- Se identificó en dos tipos de crecimiento: uno, desarrollado con mayor grado de libertad en su cristalización, ya que sólo presenta interferencia en los contactos con masas de esfalerita; sus texturas son en consecuencia hipautomórfica cuando presenta contornos cristalinos, y alotriomórfica cuando sus contornos de contacto constituyen irregularidades. El cuarzo con hábito prismático cristalino, según esta característica, es contemporánea y presenta textura idiomórfica. El otro tipo de formación de calcita identificada por su crecimiento limitado se verificó en espacios preexistentes y terminó con textura alotriomórfica; pequeños cristales de galena bien desarrollados y cuarzo en masas aisladas aparecen en los planos de cruce de la calcita. En algunos puntos de las muestras estudiadas fue posible distinguir calcita hidrotermal de la calcita secundaria o supergénica (ver estudio petrográfico de la propilita en el apéndice a)).

- Esfalerita.- Presenta características de desarrollo similares a las de la calcita, teniendo de igual modo espacio suficiente para tomar su hábito cristalino; aunque predominantemente la textura alotriomórfica es su común denominador; la calcita de los dos tipos, la galena, la pirita, la calcopirita y el cuarzo son minerales que siempre circundan a la esfalerita. Esta

última con frecuencia se presenta en masas divididas por fracturas pequeñas a escala del mineral, en ocasiones abundantes, las cuales son ocupadas por pirargirita. La calcopirita esporádicamente está presente en el interior de las masas de esfalerita.

- Galena.- Aparece en forma de masas con la pirita, la calcopirita, la calcita, la esfalerita y la tetraedrita, pero la calcopirita se encuentra en menor proporción que los demás. La galena en ocasiones es argentífera por la presencia de solución sólida de plata en ella.

La calcita secundaria, cuando esta en contacto con la galena y la andesina tiene textura alotriomórfica, pero en puntos aislados de la roca en donde se presentan estructuras como las drusas y rellenas de fracturas, la calcita primaria se encuentra en cristales gruesos y con textura automórfica.

En los contactos de la galena con calcita primaria y cuarzo bien desarrollado se presenta el fenómeno de pseudomorfosis.

- Pirargirita.- Se identificó solo en fracturas y grietas de escaso tamaño que surcan la esfalerita, la calcita de primera y segunda generación y la tetraedrita (observación en el nivel 140, Veta Lipton, Mina Guadalupe). Los botones de pirargirita no son extraños, sino profusos y asociados a minerales como la tetraedrita y la esfalerita.

- Plata Nativa.- Se presenta en hilillos configurados en rizos y acañas depositadas en fracturas ocupadas también por calcita secundaria masiva y roca verde.

- Pirita.- Se identificó en cristales bien desarrollados, como pasta, pequeños y de tamaño observable a simple vista. También se encuentra tapizando los respaldos de fracturas de diferente tamaño similar a la pirargirita. Aparece también en forma de cristales aislados y bien formados, ocupando fracturas en el

esquisto, la pizarra y la roca verde. En la matriz de estas dos últimas rocas es evidente su forma hexaédrica.

- Tetraedrita.- Su presencia en masa granular es característica en el Nivel 140, Mina Guadalupe. Los tetraedros maclados de este mineral siempre son observables, es decir aparece en todos los minerales estudiados. En algunos puntos su alteración tiene un color verde botella. A este mineral se asocia con frecuencia, según muestras observadas, la pirargirita en hilillos, el cuarzo y la calcita secundarios, lo mismo que la esfalerita.

La Tetraedrita en las vetas donde se ha encontrado generalmente ha sido al mismo nivel de los desarrollos verticales en las minas estudiadas.

PARAGENESIS.

De los estudios megascópicos y minerográficos se deduce el siguiente cuadro paragenético:

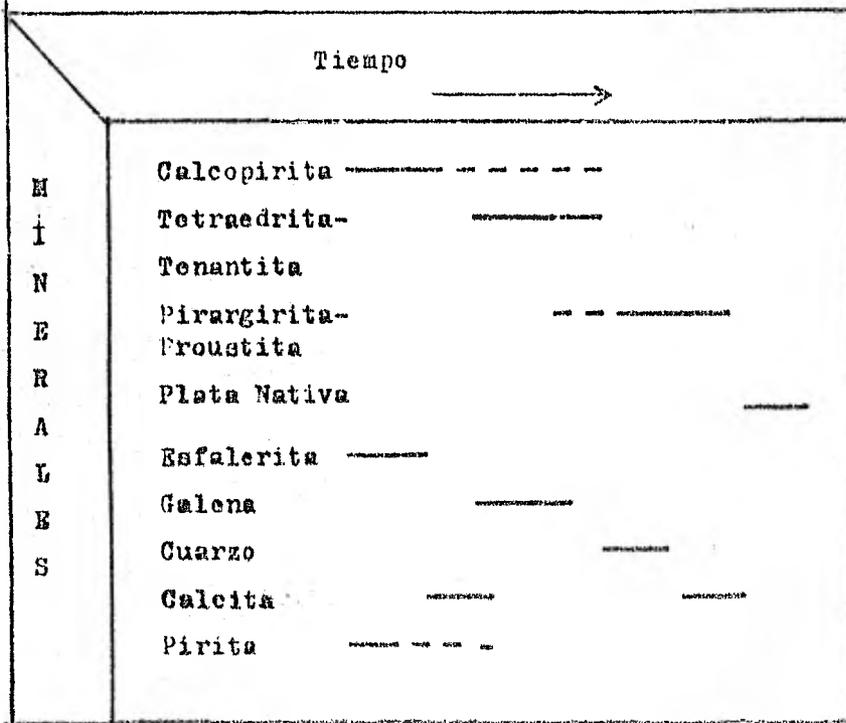
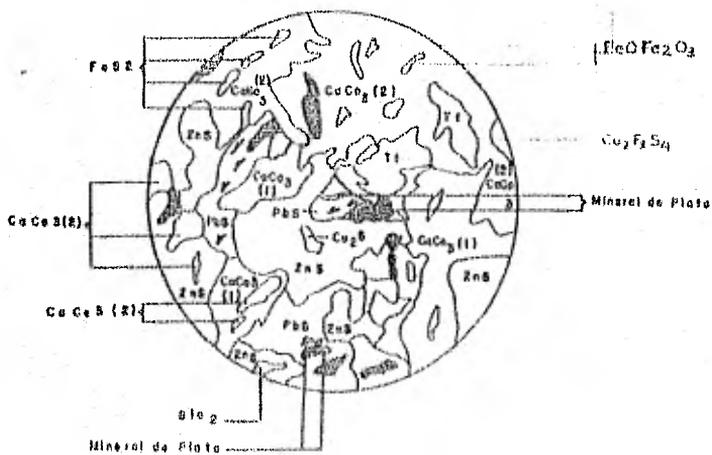


Tabla 4.- Diagrama de sucesión de Depósito.

III.b.3. GEOLOGIA HISTORICA.

Respecto al origen de la serie metamórfica de la región, Demant, Mauvois y Silva (1976) citan que "la fase volcánica más antigua que se puede estudiar con bastante detalle es la de edad - Jurásica Superior - Cretácico Inferior, la cual aflora desde - Baja California Norte hasta Valle de Bravo, Méx. y Toluca, Gro. y en muchos lugares de la margen occidental de México". - Campa, Oviedo y Tardy (1976) mencionan además que "el límite - de los afloramientos en la zona sur de la serie metamórfica se corresponde al límite tectónico, ya que en esta parte las unidades vulcano-sedimentarias cabalgan facies sedimentarias no metamorfozadas". Sobre el tipo de depósito y su origen Demant, - Mauvois y Silva (op. cit.) refieren que "esta cadena corresponde a un arco volcánico que se desarrolló en respuesta a la fase compresiva del Jurásico-Cretácico. Considerando la posición de la Placa Norteamericana en el período comprendido entre los 160 100 m. se puede relacionar la fase compresiva con el movimiento de América del Norte hacia el noroeste (apertura del Atlántico Norte) y con la subducción del Paleopacífico (Fig. 10)).

Campa (1977) a su vez en su estudio sobre las regiones mineralizadas de Guadalupe, Tlalpujahua, El Oro, Angangueo, Ixtapan del Oro, Tenascaltepec, Sultepec, Zacualpan, Taxco y Huitzaco, considera que el Mesozoico está representado por dos regiones contrastantes que tienen por contacto una línea tajante localizada en las cercanías de Zumpahuacan, Méx., que pasa por Toluca, Gro. y continúa hasta el Río Balsas en la cuadrilla de Muertecillas, La Perota, Gro. y al este de esta línea de contacto aflora una secuencia de bancos y capas de caliza de plataforma y sedimentos flysch del Cretácico, que se encuentran plegados en grandes estructuras anticlinales y sinclinales orientados norte-sur. Al occidente de dicha línea aflora la



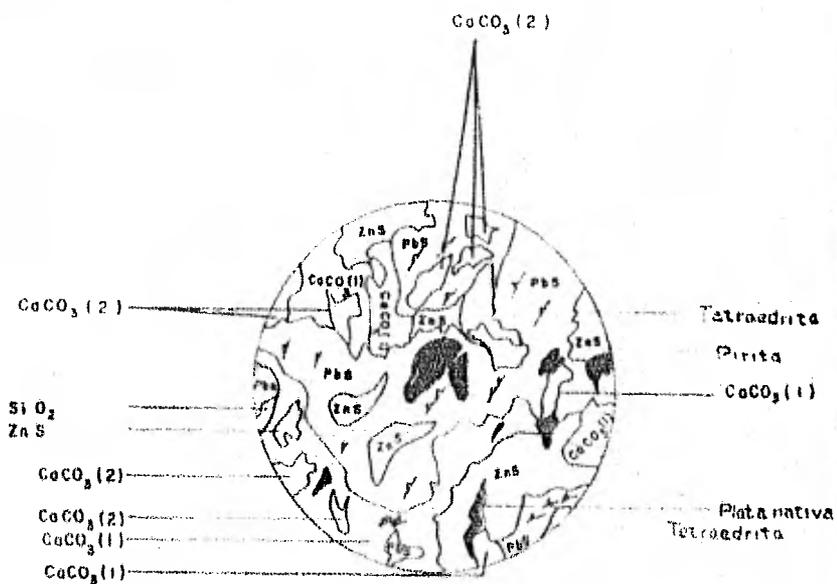
AUMENTO 40 DIAMETROS

EXPLICACION

- CaCo₃ (1) CALCITA PRIMARIA
- CaCo₃ (2) CALCITA SECUNDARIA
- Tt TETRAEDRITA
-  OQUEDADES

LAMINA No 1 "ESTUDIO MINERAGRAFICO"

VEYA LIPTON MINA GUADALUPE
Nº 1 50



AUMENTO 40 DIAMETROS

E X P L I C A C I O N

- | | |
|--------------------|--------------------|
| $\text{CaCO}_3(1)$ | Calcita primaria |
| $\text{CaCO}_3(2)$ | Calcita secundaria |
| | Oquedades |

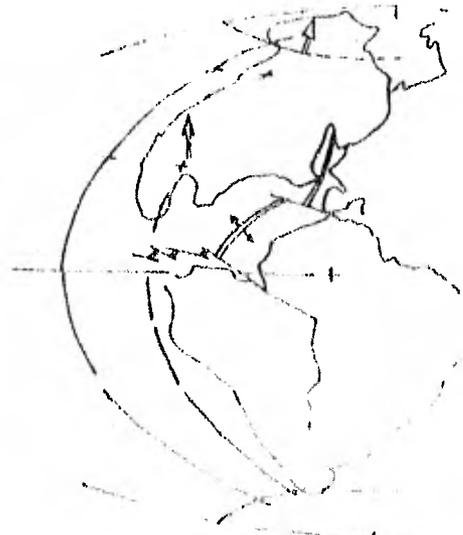
ESTUDIO MINERAGRAFICO

FAC. DE INGENIERIA UNAM
 POSICION DE ZACUALPAN EN
 TRES EPOCAS Y RELACION CON
 LA TECTONICA DE PLACAS
 TESIS PROFESIONAL
 FRANCISCO PEREZ G. 1980.

EL METAMORFISMO DE LA SECUENCIA
 VULCANO-SEDIMENTARIA SE PUEDE
 UBICAR EN ESTE PERIODO.



A. ARCO VOLCANICO - JURASICO - CRETACICO



B. JURASICO SUPERIOR 135 M.A.



C. CRETACICO SUPERIOR 60 M.A.

FIGURA

Evolución Geodinámica Jurásico Cretácico
 B y C. Según S. Dietz y C. Holden, G.R. (1970)

FIG. 10

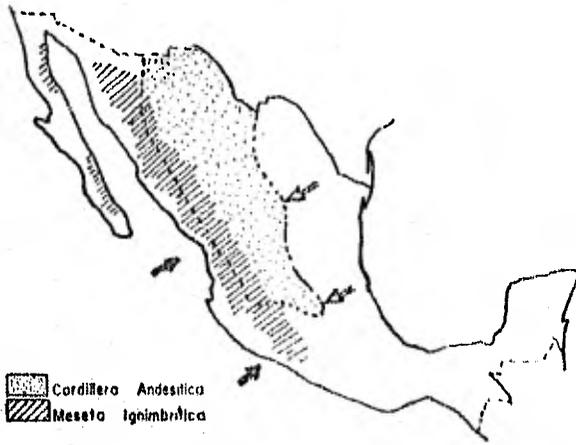
secuencia volcánica sedimentaria metamorfozada, en la que se encuentra Zacuálpan, del Jurásico Superior - Cretácico Inferior. De aquí que estime dos dominios paleográficos: uno oriental y otro occidental, ambos referidos a la línea mencionada.

De la secuencia volcánica metamorfozada del dominio occidental Campa (op. cit.) señala que corresponde a un antiguo arco insular y marginal dispuesto en un cinturón que bordeaba el antiguo continente mesozoico, desde California hasta Honduras y representa una zona interna más alejada del continente antiguo.

En relación a si la secuencia corresponde a una zona interna alejada o cercana, cabe mencionar que es relativo, dado que en la meta-andesita y en algunos estratos de pizarra fueron localizados fragmentos de roca ácida de color blanco, la cual en ocasiones esta silicificada, pero dejaba entrever la forma del fragmento y su textura: porfirítica tendiendo a equigranular.

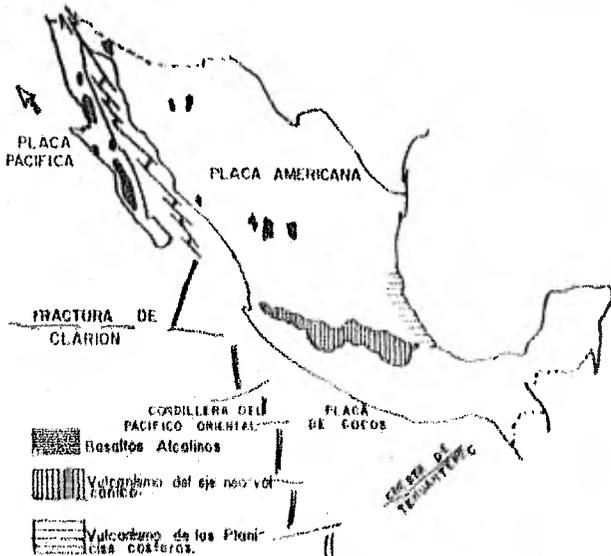
En cuanto a las fases de deformación que tuvieron lugar posteriormente al depósito de las rocas metamorfozadas Fries (1960) y Campa (1974 y 1977) realizaron estudios al respecto, el primero demostró la existencia de dos fases, atribuyendo a la Laramídica mayor importancia, evidenciada por una discordancia del Cretácico (Albiano) sobre la secuencia vulcano-sedimentaria metamorfozada.

Campa (ya citada), deduce cuatro fases sucesivas de deformación: La Primera Fase (Cretácico Inferior), está caracterizada por una carga litostática relativamente importante; estructuras regionales, pliegues pequeños más cerrados en los niveles pelíticos que en los horizontes arenosos. Esta fase esta acompañada de un metamorfismo regional de bajo grado, manifestado por una orientación de los minerales filíticos (sericita, clorita y augita). Del metamorfismo, Benant, Hauvois y Silva op. cit. mencionan que "en el Cretácico Medio al cambiar el sentido del



 Cordillera Andésica
 Meseta Igimbrática

(A) OLIGO-MIOCENO



 Basaltos Alcalinos
 Volcanismo del eje neo volcánico
 Volcanismo de las Planicies Costeras

(B) PLIO-CUATERNARIO

Evolución Geodinámica Oligoceno-Cuaternario

FAC. DE INGENIERIA	UNAM
EVOLUCION GEODINAMICA	
EN DOS EPOCAS A y B	
FIGURA 11	
TESIS PROFESIONAL	
FRANCISCO PEREZ G.	1980

TOMADO DE DI MANTI, SAUVOIS Y SILVA, 1976

desplazamiento de América del Norte y empezar la deriva de América del Sur (apertura del Atlántico Sur), se origina el cierre del dominio del Caribe.

El metamorfismo de la secuencia vulcano-sedimentaria se puede ubicar en este período (Fig.10)

Segunda Fase.- Esta fase se representa localmente por una esquistosidad de fractura (S_2) de tipo "foliación de desplazamiento" en pliegues paralelos subverticales reordenando la foliación S_1 .

La fase S_2 representa la expresión de los cambios tangenciales, responsables de las cabalgaduras.

Es posible considerar un episodio de deformación tardía para referir a esta fase 2 (distensión?) porque el levantamiento de la serie metamórfica afectó fuertemente a la paleogeografía -- del Cretácico (Albiano - Cenomaniano) hasta formar no una isla (C. Fries 1960) pero al menos una península alargada desde Taxco hasta El Oro - Tlalpujahuá. (Colorado, 1979).

Tercera fase: Fase Paleoceno (Laramídica)

Esta fase se traduce en pliegues que abarcan un radio del orden de varios kilómetros, cuyos ejes tienen orientación N-S.

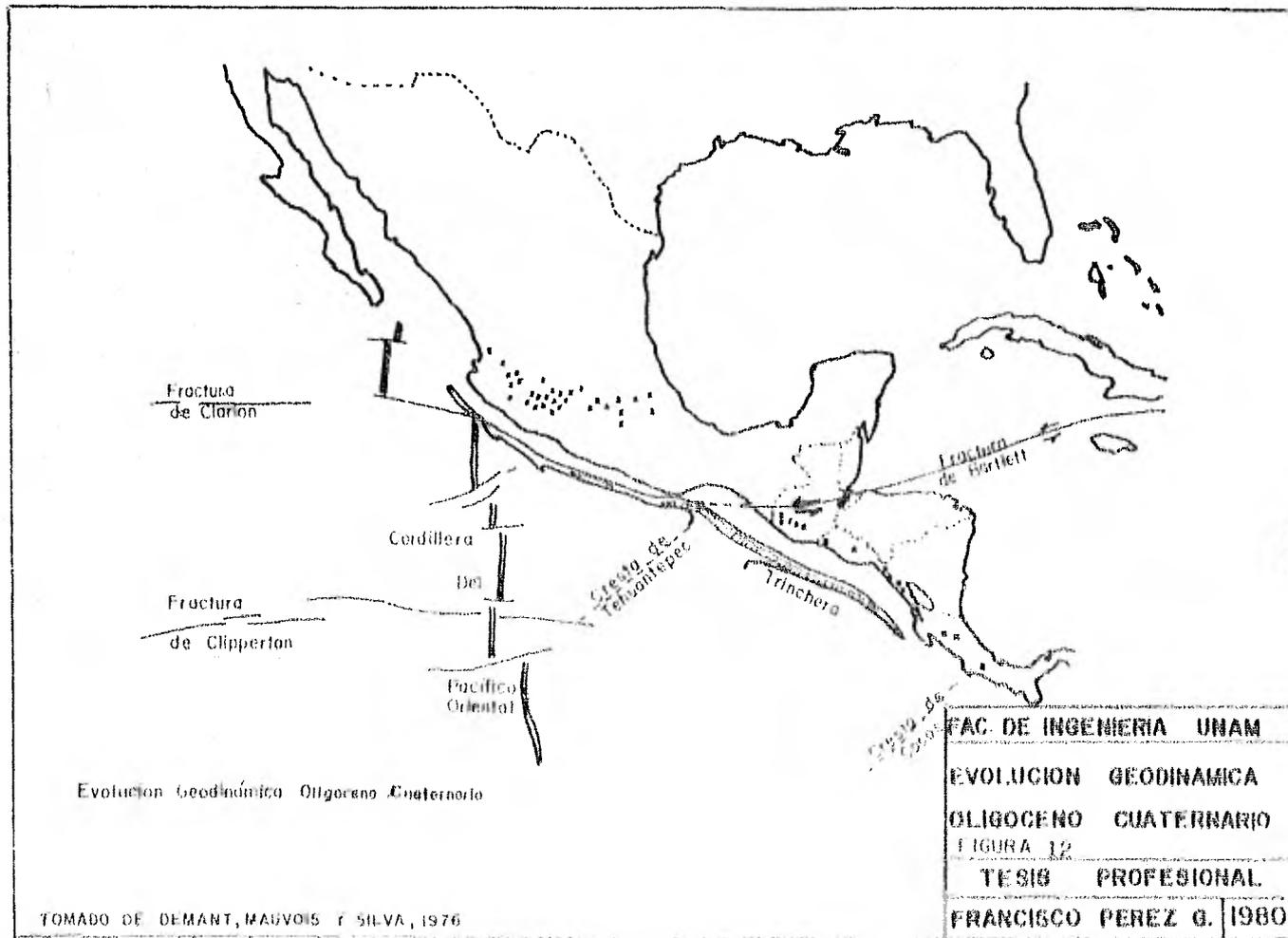
Esta fase es responsable también de una deformación de gran amplitud hacia el este ... (Colorado, op. cit.), en donde se encuentran las cabalgaduras de origen tectónico en este sentido.

Según el mismo autor la tectónica tangencial es una de las características fundamentales de la tercera fase.

Cuarta fase: Se caracteriza por los ejes de las estructuras de gran radio curvatura orientados generalmente NNW-SSE.

En relación a la alternancia de las rocas metasedimentarias en las meta-volcánicas Campa, Campos, Flores y Oviedo (1974) indican que "al finalizar el Triásico y más tarde durante el Tito-
niano (cima del Jurásico) comenzaron a depositarse sedimentos-
terrágenos con algunas intercalaciones de material terrígeno -
calcáreo. Las rocas metavolcánicas se emplazaron contemporá-
neamente en forma de macizos y cuerpos irregulares de donde --
se desprendieron las coladas de lava antecedidas por tobas de-
la misma composición (y ácidas) que se intercalan regularmente
en casi toda la secuencia". Así mismo se encuentran diques y-
cuerpos dómicos cortando diagonal y perpendicularmente a la --
misma secuencia. La presencia de cuerpos de forma irregular --
andesíticos - dacíticos con cristales de hornblenda mayores de
4 milímetros y en promedio alineadas hacia el noreste indican-
que corresponden a una etapa diferente a la que se formaron --
las rocas verdes típicas y que se encuentran foliadas y a altu-
ras topográficas entre 1700 y 2400 m. Estos cuerpos andesíti-
cos-dacíticos fueron perfectamente identificados entre los ---
1850 y 2100 m.s.n.m. sobre el Arroyo del Alacrán y entre 2100-
y 2300 en el Arroyo San Jerónimo; sobre estos tipos de roca --
descansan rocas meta-sedimentarias.

De acuerdo con Campa et. al. (op. cit.) "Parece ser que duran-
te todo el Cretácico Inferior continuó el mismo ambiente de de-
pósito hasta terminar en el Aptiano Superior" e infieren que, --
debido a la presencia de bancos de caliza en forma discordante
y metamorfozada cubriendo a la secuencia vulcano-sedimentaria,
la deformación regional que metamorfozó a la dicha secuencia-
debió realizarse a finales del Cretácico Inferior. Por otro -
lado, ésta "presenta minerales metamórficos típicos del meta-
merfismo regional de bajo grado y foliación general según una-
dirección preferente S_1 , pliegues superpuestos según otra ---
orientación S_2 y una tercera acumulada S_3 . Estos hechos pueden
interpretarse como simultáneos, producidos durante una deforma-



ción, pero también como producido por deformaciones superpuestas efectuadas en lapsos diferentes ... (Campa, Campos, Flores y Oviedo, op. cit.).

En base a la posición anormal inclinada en que se encuentra la serie metamórfica, entre otros hechos, Campa 1978 y De Cserna- (1978) sugirieron la existencia de esta cuarta fase.

La tectónica de extensión o neotectónica (distensión) comienza al terminar el Mioceno con la actividad volcánica intermedia - y la generación de fosas rellenas de depósitos epiclásticos -- (Formación Cuernavaca) y actividad volcánica andesítica (Campa 1977). Caracterizándose por una red de fallas muy densas. - "Esta tectónica atraviesa el continente de grandes "horst" (Ej Sierra Madre Occidental) y "graben", siendo el más característico en nuestra región el Valle de Ixtapan de la Sal (Colorado 1976). El fracturamiento normal y transcurrente es característico de esta tectónica y ... las diaclasas y fallas normales - corren paralelas a lo largo del combamiento de Valle de Bravo-Taxco - Huitzuc, y en ocasiones están mineralizadas, e intruccionadas por diques ácidos. Los cruces en la red de figuras - producen las vetas mineralizadas (Campa, 1977).

Respecto a las mineralizaciones De Cserna (1971) piensa que fueron originalmente acumulaciones sinvolcánicas.

La posición paleogeográfica de la región está aun muy debatida. Algunos como Campa (1977) se inclinan por que corresponde a un arco insular y mar marginal, pero aún no hay las suficientes pruebas. Tomando en cuenta la opinión respecto al movimiento - de las placas en el Pacífico Atwater F. (1970) refiere que en - Plie-Cuaternario (Fig. 11) la Placa Paralién desapareció completamente debajo de la Placa Americana.

Y "Más al sur, los movimientos de subducción al nivel de la Fosa de Acapulco (Fig. 12) son responsables del vulcanismo calcicolesilíceo que se desarrolla a lo largo del Eje Neovolcánico --

(Transmexicano (Campa, Oviedo y Tardy, 1976).

Por lo tanto, sobresale de esta reconstitución un cambio manifiesto progresivo en el sentido del hundimiento de la corteza oceánica debajo del Continente Americano, durante el Cretácico-Eoceno con orientación este-oeste, mientras que en la actualidad subsiste únicamente un movimiento orientado norte-sur, al nivel de la parte meridional del país, de acuerdo con estos últimos autores.

III.b.4. GENESIS

Origen de los metales

Comentarios Generales

Removilización y Transporte

La primera etapa de formación de los fluidos hidrotermales ocurre a partir del calor del magma o de sus productos cristalinos. Los fluidos se separan del magma a presiones totales menores de 2,000 atmósferas y temperaturas menores de 1,800°C. Su composición consiste de agua en 1 a 8% (es el constituyente móvil principal y desempeña el papel de la parte transportadora de muchas menas), azufre, concentración de cloruros (NaCl, KCl, HCl, CaCl₂), dióxido de carbono y arsénico.

El azufre es uno de los constituyentes magmáticos más comunes y extendidos en los depósitos minerales de afiliación ígnea, y el azufre elemental es un producto común de emanaciones volcánicas, por lo cual su origen magmático no presenta duda en este caso.

Las sales disueltas en los fluidos mineralizantes atrapados en los minerales forman alrededor del 30% del líquido por peso y están representadas por cloruros, sulfatos y carbonatos de sodio, potasio y calcio. Las concentraciones de metales tales como plomo, zinc, cobre, manganeso y hierro en aguas de alta temperatura están relacionadas directamente con la salinidad (Park and Diermid, 1975)

En cuanto al origen del azufre (La mayoría de los elementos de mena y de ganga contienen este elemento) se debe a que en forma de trisulfato ($M(S_2O_3)_n$) se transporta y sirve como vehículo a los metales, siendo la estabilidad del trisulfato mayor en soluciones neutras o levemente ácidas (pH de 5 a 10).

En relación a la precipitación, geólogos de campo han sugerido que los fluidos mineralizantes pueden actuar con suficiente -- fuerza, manteniendo fisuras abiertas, dejando a los fluidos -- circular libremente y dando tiempo para la reacción y depósito o cristalización, controlada está última, principalmente por -- el descenso de la temperatura y la salinidad.

Análisis matemáticos recientes y modelos estudiados aplicados al problema han reortado que la presión, atribuida a presie-- nes parciales de sustancias importantes como O_2 , CO_2 y S, del fluido en el interior, puede tener importancia significativa, -- puesto que los compuestos químicos en medios acuosos son esta-- bles cuando se encuentran en dichas circunstancias, (Park and Diarmid, 1975). Los estudios anteriores sostienen que los flui-- dos son capaces de fracturar las rocas y pasar a través de ellas a áreas de menor presión. El agua puede servir de lubricante entre las fracturas. Por otro lado es conocido que la solubi-- lidad de la sílice hidrotermal es ligeramente independiente de la concentración de las sales disueltas y esencialmente indepen-- diente del Ph, pues sólo depende de la temperatura y presión; -- su mayor rango de depósito es de 600 a 700°C y al bajar la tem-- peratura y presión decrece la solubilidad. Esto se menciona pa-- ra explicar la abundancia de zonas de cuarzo en forma de steck-- works, vetas, vetillas y como reemplazamiento de rocas.

Sobre otro factor que pudo haber intervenido en el proceso de removilización (aguas connatas) se sabe que "bajo circunstancias favorables, aguas connatas meteóricas contenidas en rocas bajo la superficie de la tierra pueden ser removidas y reaccionar químicamente por medio de calor, si se acompañan de alguna intrusión magnética o metamorfismo regional (Shand, 1843). Gray (1959) argumenta que aguas connatas o meteóricas son activadas durante el metamorfismo regional, y el mineral es lavado de las rocas y concentrado en áreas de presión o de temperaturas reducidas o en áreas con paredes de rocas muy reactivadas. Pero Sales (1960) dice - contraponiendo su opinión - que los fluidos mineralizados están directamente relacionados a cuerpos ígneos. No obstante Park and Diarmid (1975) considera que el agua metamórfica que conduce metal sería la misma si fuera activada por un magma cercano o bien por metamorfismo regional.

Es común que las aguas connatas contengan grandes cantidades de sales solubles que, una vez calentadas y puestas en movimiento, cambiarían a solventes insólitamente fuertes y tendrían tendencia a extraer metales por reacciones químicas, de la roca (Park, op.cit.).

Brown (1965) afirma que los metales, especialmente el plomo, se concentran en aguas connatas que se activan por procesos ígneos y sostiene que la génesis de los depósitos con contenidos de plomo es un proceso acompañante de la sedimentación marina, siendo el principal fluido mineralizante esencialmente el agua connata concentrada por procesos diagenéticos.

De acuerdo con lo anterior y si se establece la relación de fenómenos de este tipo con la región de Zacualpan se puede decir que si el ambiente y la forma de depósito de la secuencia metamórfica determinan la posible presencia de yacimientos vulcanogénicos y que si posteriormente a la formación de una roca

cas tuvo lugar el metamorfismo, de alguna manera éste afectó a las rocas, de modo que el mineral singenético del que probablemente se encontraba en forma de cuerpos estratiformes (vulcano-genéticos) se hizo susceptible de removilización durante las fases de deformación y magmatismo en las épocas de mineralización de las estructuras de Zacualpan.

Sintetizando: El mecanismo hidrotermal, las reacciones con -- las rocas encajonantes y los cambios físico-químicos del paleoambiente de aquella época (Terciario Temprano) favorecieron -- la concentración y depósito de las menas.

Por otra parte, en relación a los sulfuros masivos vulcano-genéticos, este tipo de yacimientos se refiere a la mineralización compuesta en parte de sulfuros minerales.

El término "Vulcano-genético", se utiliza para forzar la conexión genética entre la mineralización y el vulcanismo. Su disposición es "estratiforme"; esta expresión de acuerdo con Stanton (1972) significa que las capas son concordantes respecto -- de la estratificación de los materiales sedimentarios encaj-- nantes. Los yacimientos confinados a estratos (Stratabound) -- son yacimientos que siguen horizontes específicos dentro de -- secuencias sedimentarias que muestran marcada preferencia por ciertos tipos de roca.

Este tipo de sulfuros muestran amplia distribución tanto en espacio como en tiempo en donde existieron medios submarinos y -- aparecen en regiones volcánicamente activas tales como arcos -- insulares y dorsales oceánicas. En cuanto al tipo de roca asociada a los sulfuros masivos, varía de basaltos -- riolitas. En el caso de Zacualpan se alojan precisamente en andesitas, -- rocas intermedias entre las dos mencionadas.

Aplicando a Zacualpan el criterio litológico consistente en -- que las formaciones volcánicas contienen los depósitos de este

tipo en localidades cercanas al área de estudio en cuerpos -- tabulares se puede pensar que las menas de las vetas de Zacualpan tuvieron su origen en algún yacimiento del tipo mencionado y por la remobilización de metales diseminados en las rocas de la secuencia. Como ejemplo de algunos yacimientos vulcanogénicos cercanos al Distrito de Zacualpan se tienen: Azulaquez, Tlanilpa y Hante Rico, Gro., todos localizados a 22 kilómetros aproximadamente al sur del área estudiada.

MINERALIZACION.

En Zacualpan la mineralización aparece en vetas y el mayor porcentaje de la plata de beneficio de la galena, aunque también existe nativa y en forma de sulfosales. La tetraedrita también se presenta, pero parece ser que sólo funge como indicador horizontal de la plata, pues su presencia se asocia generalmente con las sulfosales de plata en los niveles 50, 110, 140; en algunas vetas, como es el caso de Veta Prieta, las sulfosales se encuentran hasta el Nivel 195, y en el caso de las vetas Santa-Rosa (Mina Pachuqueño), Las Papas y Santa Isabel, contienen las sulfosales en los niveles 1, 35, 65 y 90.

METALOGENIA.

El origen de la mineralización es hidrotermal según lo indican las estructuras, texturas y mineralogía del yacimiento. Sin embargo la fuente de los metales no está bien determinada aunque se plantean dos hipótesis:

A) Que los metales sean de origen epigenético, es decir que provengan de afuera del complejo metamórfico, probablemente de un sistema magmático.

B) Que los metales provengan de la lixiviación de:

III. Metales diseminados en las rocas adyacentes y subyacentes.

B.2. Metales concentrados en depósitos estratiformes preexistentes en el complejo metamórfico.

Discusión de las Hipótesis.

A.- Origen magmático de metales y soluciones. La ausencia de cuerpos magmáticos intrusivos plutónicos de gran volumen que pudieran haber dado origen a las aguas y metales del sistema hidrotermal, hace pensar que esta hipótesis no es probable, puesto que:

En soluciones saturadas de H_2S , la solubilidad del ZnS a $200^\circ C$ y 200 atmósferas de presión es de 4 mg/litro.

Teniendo en cuenta la producción de Zn en las minas de la zona que es de 18.4×10^{12} mg., el transporte de esta cantidad de zinc requerirá 4.5×10^{12} litros de solución, es decir un volumen de 4.5×10^{12} Kg. ó 4.5×10^9 m³ aproximadamente.

Conociendo que los magmas tienen un máximo de 2% de agua (exceptuando aquellos de tipo pegmatítico) se necesitaría un volumen total de roca de 225×10^9 m³ de este material, o sea 2.25×10^5 Km³ de magma, lo cual resulta verdaderamente imposible, por lo que se rechaza la hipótesis de un origen magmático puro para este sistema.

B.1. Lixiviación de metales diseminados en las rocas encajonantes adyacentes y subsacentes por medio de aguas conotas y meteoricas en un sistema hidrotermal. Asumiendo según la tabla 6 que las rocas encajonantes pueden haber cedido el mineral en cuestión, se puede calcular el volumen de roca que se necesitará lixiviar para formar el yacimiento.

Otra vez para este cálculo se utiliza el zinc:

Producción total: 18.4×10^6 Kg = 18.4×10^9 g.

contenido en las rocas más abundantes (max) = 100 ppm/ton

$$\frac{18.4 \times 10^9 \text{ g}}{100 \text{ ppm/ton}} = 18.4 \times 10^7 \text{ Ton}$$

Densidad de los esquistos (aprox. pizarra): 2.8 ton/m^3

$$\text{Volumen de roca} = \frac{18.4 \times 10^7 \text{ ton}}{2.8 \text{ ton/m}^3} = 6.6 \times 10^7 \\ = 6.6 \times 10 \text{ Km}^3 = 66 \text{ Km}^3$$

Este valor nos indica que la hipótesis sí es válida por lo cual requiere de futuras investigaciones para comprobarla.

En la siguiente tabla se muestran las concentraciones medias de los principales metales que ocurren en las rocas comunes. Del análisis se deduce que tanto las meta-andesitas, los pérfidos andesíticos como las pizarras (lutitas metamorfozadas) tienen normalmente cantidades suficientes de los metales como para producir este yacimiento, por el proceso postulado en esta hipótesis.

B.2. Lixiviaciones de yacimientos minerales preexistentes estratiformes de origen vulcano-genéticos en rocas subyacentes.

La presencia de yacimientos estratiformes de origen vulcano-génico en Azulaques y Tlanilpa, que está al sur de la zona de estudio, emplazados en el mismo tipo de rocas y a una distancia no mayor de 30 Km hacen esta hipótesis muy posible. Es decir la mineralización en Zacualpan puede provenir de la lixiviación de mantos y lentes de sulfuros masivos en un sistema hidrotermal.

CONCLUSION.

De los datos aportados arriba se concluye que el yacimiento mineral de Zacualpan se formó por el depósito de sulfuros metálicos a partir de soluciones hidrotermales que lixiviaron estos metales de roca encajonante, ya sea que estuvieran diseminados o precencentrados en forma de sulfuros mineros. La circulación de las aguas fue principalmente a través del sistema de fracturas NW-SE y N-S. El depósito de los metales fue producido por

los cambios físicos de las soluciones al atravesar rocas más o menos permeables. Se sugiere que, dado que las meta-andesitas son más frágiles que la pizarra como lo demuestran el comportamiento de las fracturas, las meta-andesitas son más permeables y por lo tanto permitieron la expansión adiabática del fluido y así un enfriamiento, produciendo el depósito de los sulfuros.

Tabla No. 6 Concentración del Zinc, cobre, plomo, plata y azufre en el granito, basálto, rocas intermedias, lutita, agua marina, areniscas y calizas. Datos tomados de: Geochemistry de Rankama y Sahama, 1950 e, introducción To Geochemistry de Krauskopf, 1967. Las cantidades se expresan en partes por millón (ppm)

Elemento	R O C A S						
	Granite	Basalto (rocas- basálti- cas).	Rocas Inter- medias	Lutita	Agua Mari- na.	Areniscas	Calizas
Zn	40	100	16	80	.005-0.014	20	50
Cu	10	100	38	57	.001- .09		20.2
Pb	20	5		20	.004- .005	20	5-10
Ag	.04	.1		.1	.00015- .0003	.44	.2
S	270	250		220	885	2800	1100

CLASIFICACION GENETICA.

CARACTERISTICAS GENERALES DEL YACIMIENTO

Estructuras	Vetas con estructura brechoide, en forma de morcillas y bandeada, esta última con bolsadas de alta concentración de mena.
Roca Encajonante	La meta-andesita porfídica predomina sobre los meta-sedimentos.
Alteraciones	Silicificación, Propilitización, Caolinitización, Sericitización. Los dos primeros tipos son los más importantes.
Minerales de Mena Típicos	Argentita, estibinita, plata nativa, sulfocarseniuros, sulfocantimenuros y telururos de oro y plata. Asociación blenda (y/o esfalerita) pirita-galena (y/o galena argentífera) y Tetraedrita-Tenantita.
Minerales de Ganga	Cuarzo amorfo criptocristalino, carbonatos y sulfatos de Fe, Pb, Zn y Cu y propilita.
Elementos metálicos en orden de importancia económica.	Ag, Pb, Zn y Au
Rango de Temperatura	50-200 grados centígrados ^{base} Epitermal.
Presión Hidrostática	Baja, correspondiente a 1000 metros de profundidad (254.84 bars)

Origen

Removilización y concentración en vetas de metales económicos a partir de cuerpos volcánico-genéticos preexistentes o bien, a partir de la alteración de las rocas cruzadas por el fluido hidrotermal.

CLASIFICACION GENETICA.

Según las texturas y mineralogía descrita anteriormente los yacimientos minerales de Zacualpan se clasifican de acuerdo con la clasificación de Lindgren modificada, como Epitermales tipo vetas. Las condiciones genéticas que representa son bajas temperaturas (50°-200°C) y baja presión hidrostática (1000 m. de profundidad - 6'254.87 bars).

III.b.5 RESERVAS

1 POTENCIAL.

Las estructuras principales que representan alto potencial son -- las siguientes: Veta Lipton.- Esta estructura aflora continuamente en más de un kilómetro de longitud presentando un ancho promedio de 6m. y profundidad conocida mayor de 300m.

CUETZILLOS.

Otro prospecto se presenta al noroeste del distrito; la estructura principal tiene rumbo N 45°W, con ancho promedio de 3 metros y se encuentra entre pizarras y rocas meta-volcánicas.

La Betija.- Este prospecto se localiza al noroeste de la Mina Veta Negra y reviste también interés económico; las estructuras mineralizadas están en esquistos y la veta importante observada presenta un rumbo N 40°W, y anchura entre 2 y 3 metros.

La Barrenación hecha en la Mina Guadalupe (veta Lipton Nivel - 140) ofrece esperanzas de incrementar las reservas.

2. RESERVAS

MINAS: Guadalupe, Pachuqueño, Regenerador, Veta Negra y la Gallega.

Probadas 432,490 Tons. Ley 473 g/Ton Ag, 1.4% Pb, 2.8% Zn

Probables 198,820 Tons. 502^{ug}/Ton Ag, 1.5% Pb, 3.2% Zn

Vida Estimada.- 7.0 años, con producción anual de 90,000 Ton.

METODO DE EXPLOTACION Y BENEFICIO UTILIZADO EN CAMPANA DE PLATA.

METODO DE EXPLOTACION.

En esta unidad minera se emplea el método de explotación de Tumbe sobre Carga, el cual se describe de una manera general de la siguiente forma: Una vez determinada la veta mediante obras de exploración se prepara para su tumbado y extracción por medio de la apertura y rompimiento de contrapozos, dos laterales que limitan el bloque a minar y uno central a partir del cual se efectúa el tumbado. Las preparaciones siguientes consisten en contrapozos espaciados cada 10 metros, con longitudes aproximadamente de 5 metros, los cuales a su vez quedan comunicados por contrapozos a 45°. A partir de aquí se efectúa el tumbado del rebaje, - el cual puede conseguirse mediante dos etapas: La barrenación y la extracción del mineral tumbado.

La barrenación se efectúa formando cortes escalonados descendentes a partir del contrapozo central y los laterales; después de la barrenación se efectúa la extracción por medio de tolvas por las cuales se extrae una tercera parte del mineral tumbado; el tumbado continúa hasta llegar aproximadamente a 4.00 metros del nivel superior, en donde se finaliza quedando únicamente por extraer el mineral quebrado.

PLANTA DE BENEFICIO.

A continuación se da una breve explicación del proceso que sigue el mineral desde que es acarreado con las locomotoras del interior de la mina y se vacía en las tolvas, hasta que bruta es concentrado de metales económicos (contaminados en pequeña cantidad).

SEPARACION MECANICA.

El mineral en bruto es vaciado de la locomotora en las tolvas (en estas se vacía también el mineral de compra) de mineral de gruesos para tamaños de 6 1/2"; al salir por los canales de descarga o "chutes" viaja en una banda transportadora, para desembocar en la quebradora primaria de impacto Hazemag, - los fragmentos menores de 3 1/4 o iguales continúan su viaje por otra banda transportadora hasta la criba vibratoria para tamaños variables (1 1/12", 1 1/4" y 1 3/4"); esta variabilidad está en función de la humedad del mineral (a mayor humedad, mayor tamaño); los tamaños que no pasan por la malla de la criba, en circuito cerrado regresan a la malla hasta que pasan. Los tamaños que pasan la malla de la criba continúan su recorrido por otra banda hasta la tolva de finos. El mineral sale por otra banda transportadora y antes de llegar al molino de bolas "Denver" de 5' X 25', se le agrega H₂O y Zn SO₄; el tamaño que resulta es de limo y arcilla y el reactivo que se aplica es para deprimir el zinc.

FILOTACION.

Al salir del molino de bolas el material se reparte a las celdas de flotación y se les agrega Xantato 350 (espumante) y el reactivo C-3 (colector); los gruesos que no pasan se retornan al molino de bolas y se les agrega al reactivo 404 para promover la plata, hasta que adquieren el tamaño adecuado (1000 mallas) y pasar al fin a las celdas de flotación. Aquí se les agrega a las colas del zinc para deprimir el fierro y CuSO₄ para flotar el Zn. Las cabezas pasan el clasificador de plomo, de éste al filtro y, finalmente, se obtiene el concentrado de Pb (junto con otros componentes o metales en cantidades bajas); las colas pasan al acondicionador (agitador) y después a las celdas de flotación del Zn y de aquí al acondicionador primario en donde se

aumenta la densidad por pérdida de agua. Las cabezas de las celdas de flotación de Zn pasan a los espesadores y queda concentrado el Zn (junto con otros compuestos o metales en pequeña cantidad).

CIANURACION.

Del asentador primario pasan las colas a tres agitadores, los cuales sirven para mezclar el NaCN que se les agrega en el primer agitador; continúan sucesivamente del primero al segundo agitador, mezclándose el NaCN con las colas.

Del tercer agitador el material pasa sucesivamente por cuatro asentadores de lavado a contracorriente, esto quiere decir que la pulpa pasa sucesivamente de un agitador hasta el último, -- agregándole agua, y regresa hasta el primer agitador pasando -- por los otros dos ya con la plata en solución, la cual se separa debido al NaCN.

La pulpa (celas) del cuarto agitador es estéril de plata y pasa a las presas de jales.

La solución de plata, en el primer asentador, pasa a un filtro de arena en donde se atorán las lamas que pueda llevar la solución. Los dos filtros se usan recíprocamente para limpiarse mutuamente durante períodos de alrededor de un mes; de estos filtros las soluciones de plata pasan a un clasificador, que se auxilia de un tanque de vacío con su bomba, en donde se filtra por medio de vacío para quitar aun más impurezas. Más tarde pasan al precipitador en donde por medio de Zn agregado, se precipita la plata y por último pasa al filtro prensa en donde queda el precipitado, y la solución se retorna al tanque de solución estéril (cianurada adn); a partir de este tanque de solución estéril se le da la misma utilidad al agua.

Después de castrar los filtros ya enunciados, el precipitado --

se coloca en hornos para quitar la humedad última que pueda -
tener, y finalmente el concentrado se envasa en botes de hie-
rro.

IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

IV.a. CONCLUSIONES

La explotación de mayor relevancia en la región actualmente está en manos de Industrias Peñoles a través de la Unidad Campana de Plata, S.A. Los medios de comunicación y servicios presentes en la localidad son los necesarios para facilitar la extracción y beneficio del mineral.

El potencial minero - mencionado en la tabla de producción extraída desde la llegada de los españoles hasta el dato últimamente citado demuestra que la región ha sido muy generosa, no obstante la gran cantidad de obras mineras abandonadas encontradas - a flor de tierra. Por lo mismo, debido a que las mismas minas de Campana de Plata se encuentran casi vírgenes verticalmente, - la profundidad a la que se localizan sus desarrollos no es tan importante.

Según se observó en la mayoría de los casos la roca encajonante es la metandesita, mientras que los meta-sedimentos aparecen en menor escala. Aunque en fecha reciente se han incrementado los programas de exploración y explotación, no ha sido posible localizar cuerpos de importancia económica comparables - con los que ya se explotaban de mucho tiempo atrás. Este señalamiento advierte que se podrían localizar otros yacimientos - e bien seguir regionalmente los que ya se conocen si se abrieran opciones al conocimiento, y que éste se apoyara de manera compartida en la confianza y en la responsabilidad de los que lo aplican y los que lo sustentan económicamente (?).

La secuencia vulcano-sedimentaria aún no se encuentra situada con precisión en la estratigrafía regional y posiblemente el paquete que aflora en la región corresponda a la parte superior del "Equisto Taxco y parte de la Roca Verde Taxco Viejo, dadas ciertas características litológicas semejantes que presentan dichas rocas en ambas localidades. El control principal que

favoreció el depósito mineral fue el tectónico, al dar lugar a las estructuras que, con posterioridad, fueron rellenas por soluciones minerales.

Las concentraciones más importantes de menas económicas se emplazaron en las meta-andesitas más que en los meta-sedimentos, debido a que el fracturamiento y fallas ofrecen dimensiones -- que se pueden preservar regionalmente, características que no -- presentan los meta-sedimentos.

El rumbo del echado general de la foliación original de las -- formaciones de la localidad busa hacia el NE, evidenciando el -- sentido del proceso dinamotérmico.

Con esta razón se muestra el origen de las estructuras de so-- brecorrimiento tan comunes en la región.

La secuencia vulcano-sedimentaria según sus características -- mencionadas se depositó en un ambiente sedimentario marino-re-- ductor, de circulación restringida y con gran aporte de terrí-- genos que al parecer corresponde a un arco insular relacionado con alguna zona de subducción.

Los pliegues que presentan los meta-sedimentos fueron produci-- dos por su comportamiento diferencial respecto a las rocas meta-- volcánicas durante las épocas de deformación.

De la tabla de producción, comportamiento geoquímico de los me-- tales, historia local y discusión de los yacimientos, se des-- prende que los metales que se explotan pueden tener un origen -- sin-sedimentario y vulcano-genético y que el hidrotermalismo -- y los procesos tectónicos removilizaron y permitieron su con-- tracción de tal manera que se formaron las vetas.

La tectónica regional se encuentra poco estudiada y no es posi-- ble aplicar su interpretación en la región de tal manera que -- pueda ser utilizada como guía estructural que, por cierto, a -- criterio del autor, es la más importante.

III.b.6. METODO DE EXPLOTACION Y BENEFICIO

La edad de los depósitos de Zacualpan se ha fechado, según varios autores en el Oligoceno-Mioceno,⁽¹⁾ Mioceno Tardío,⁽²⁾ Mioceno,⁽³⁾ Mio-Plioceno.⁽⁴⁾

Las características de este Distrito presentan similitudes -- con los de Taxco, Gro. Sultepec, Méx., Ixtapan del Oro, Méx., Tlapujahua, Mich., El Oro, Méx. y Fresnillo, Zac. Su época de emplazamiento corresponde al vulcanismo del Terciario, lo que puede indicar similitudes geológicas regionales. Los estudios minerográficos realizados en muestras de la Veta Lipton revelaron que la mineralización se depositó en secuencia continua; -- aunque esto significa discrepancia con los datos de R. Robles ² (op. cit), cabe señalar que tal vez no se analizaron muestras suficientes.

También en este estudio minerográfico se dedujo que los desarrollos a profundidad revelan una mineralogía de mayor temperatura y presión.

De acuerdo con la mineralogía y las relaciones de las vetas -- estos depósitos se pueden clasificar como epigenéticos, hidrotermales de la fase epitermal, en vetas.

La región en terminos mineros sigue y seguirá siendo importante aún por muchos años, debido a que las minas que actualmente se explotan se han trabajado desde tiempos coloniales o precoloniales, por lo cual se afirma que intensificando programas -- de exploración se hallarán nuevos prospectos mineros en áreas no estudiadas debidamente hasta la fecha.

(1) Campa y Colaboradores, 1977.

(2) Campa, 1978.

(3) Robles R.R., op. cit.

(4) E. Gutiérrez G., op. cit.

IV.b. RECOMENDACIONES.

En primera instancia se propone utilizar la terminología adecuada en las descripciones geológicas, para facilitar su relación con la evolución del conocimiento de otros distritos mineros - y aprovechar lo más posible las conclusiones obtenidas de estudios científicos realizados en otras localidades.

La necesidad de emprender un estudio que clarifique la geología estructural de la región es imperante puesto que, como se ha citado antes, la tectónica ha sido el principal control de las menas. La descripción correcta de las características de las fallas, fracturas y diaclasas así como su orientación dará luz sobre los motivos del emplazamiento de la mineralización - y el compartimiento de ésta al surcar los diferentes tipos de roca. (Hipótesis B)

El estudio geoquímico es recomendable en muestras tomadas vertical y horizontalmente en los meta-sedimentos adyacentes a las estructuras mineralizadas, para denotar su variación en el contenido metálico en las dos direcciones aludidas y cuantificarlo. Esta proposición se sugiere para comprobar la existencia o no de la relación de concentraciones singenéticas con el origen de las menas de las vetas.

La exploración directa en base a perforaciones también es requerimiento necesario para descubrir variantes litológicas y el estado o condiciones de una posible existencia de mineral.

Las barrenaciones se aplicarían principalmente con el objeto de cortar diagonal o perpendicularmente estructuras de posible contenido mineral para así conocer las relaciones de la misma estructura con la roca encajonante. Esto tendría un enfoque más científico que económico.

V REFERENCIAS

- Alton-Mattox (1963) Elementos de Cristografía y Mineralogía Ediciones Omega, S.A. Barcelona.
- Atwater, T., 1970, Implications of Plate tectonics for the Cenozoic Tectonic evolution of western North-America: Geol. Soc. Am. Bull., 81, p. 3513-3536.
- Campa, Oviedo y Tardy (1976) La cabalgadura Laramídica del dominio volcánico sedimentario (Arco de Alisites - Teloloapan) sobre el Miogeosinclinal Mexicano en los Límites de los Estados de - Guerrero y México. Memoria III Cong. Geol.-Lat.
- Campa, Ma. Fernanda, Flores, R., Guerrero, Patricia, Limón Ramírez, B.R., Ramírez, Joel, y Vazquez, Marcial, 1977, La evolución tectónica y la mineralización en la región de Valle de Bravo México, C. Iguala, Gro. Memoria de la XII - Convención Nacional A.I.M. M.G.M. Acapulco, pp. 143-170.
- Campa M.F. (1978) La evolución tectónica de Tierra Caliente, - Guerrero. Bol. Soc. Geol. Méx. IV Convención Geológica Nacional (Memoria) Tomo XXXIX No. 2 sept. 1978.
- Carpenter, M.H. (1909) The Zacualpan District. - Min. World, --- Vol. 31, No. 1, pp. 79-81.
- Cepeda D.L. (1975) Apuntes de Yacimientos Minerales I y II. P.I. U.N.A.M.

- Colorado, L.D., 1979, Estudi D'une partie de la ceinture metamorphique (Mesozoique) dusud du Mexique -- (Etats du mexique et Guerrero): Tesis doctoral Universidad Pierre er Marie Curie, Paris, Fran cia.
- Cserna, Zoltande et. al. 1974 Datos Geocronométricos terciaria de los Estados de México, Morelos y Guerrero Boletín Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros Vol. XXVI, Nos. 4-6, pp. 263-373.
- Cserna, Zoltande, Fries, Jr., Carl, Rincón Orta, Cesar, Westley Harold, Solorio Munguía, José y Schmitter, -- Villalda, Eduardo, 1974, Edad Precambrica Tardía del Esquistos Taxco, Estado de Guerrero. - Bol. Asoc. Méx. Geol. Petroleros, Vol. 26, pp 183-193.
- Cserna, Zoltande, 1976, México - Geotectonics and mineral deposit: New México Geological - Society, Special Publication 6, pp. 18 - 25.
- Cserna, Zoltande, Delavaux, Harris, 1977, Datos Isotópicos, Mineralógicos, y Modelo Genético propuesto para los yacimientos de plomo, zinc y plata de -- Fresnillo, Zacatecas U.N.A.M. Instituto de -- Geología Rev. Vol. 1 No. 1 (1977) pp. 110-111
- Demant. A., Mauvois R., Silva L. (1976). El Eje Volcánico Transmexicano. III Congreso Latinoamericano de Geología. Excursión No. 4.

- Diaz G.V. (1977) En Contacto Taxco - Roca Verde Taxco Viejo, e en la región de Acapulpan, Edo. de México. - F.I. U.N.A.M. Tesis Profesional Inédita.
- Escandón V.P.J. (1972) Notas sobre la Geología y los yacimientos Minerales del Distrito de Taxco, Guerrero Méx. Tesis Profesional, U.N.A.M. (Inédita).
- Flores B. (1976) Estudio Geológico Minero y Potencial Económico de la Unidad Minera Campana de Plata, S.A. Tesis Profesional I.P.N. (Inédita)
- Flores, Teodoro, 1920, Estudio Geológico Minero de los Distritos de El Oro y Talpujshua; Inst. Geol. Bol. 37, 85 p.
- Fries Carl, Jr. (1960) Geología del Estado de Morelos y de Partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México. Boletín 60 Instituto de Geología, U.N.A.M.
- García G.L. (1977) La tectónica de las placas y su relación con los yacimientos minerales. GEOMIMET 2a. - Epoca Septiembre - Octubre 1977, No.89.
- Gobierno del Edo. de México (1971) Panorámica Socio-Económica en 1970 Toluca, Edo. de México, Méx. 1971 Tomo 1.
- Fries Carl, Jr. (1960) Geología del Edo. de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México. Boletín 60 Instituto de Geología, U.N.A.M.

- García G.L. (1977) La tectónica de las placas y su relación con los yacimientos minerales. GEOMIMET 2a. Época Septiembre/Octubre 1977, No. 89.
- Gobierno del Edo. de México (1971) Panorámica Socio-Económica - en 1970 Toluca, Edo. de México, Méx. 1971 To mo 1.
- Gray A. 1959, The future of mineral exploration, Inst. Mining - Metall. London Trans. 68 (pt. 2): 23-34
- Gutiérrez G.E. (1973) Estudio Geológico-Minero del Dto. de Zaa- cualpan, Edo. de México. Tesis Profesional - I.P.N. (Inédita)
- Koepfen, Wilhelm von, (1948) Climatología, con un estudio de -- los climas de la tierra. México, Fondo de -- Cultura Económica. Título original: Grundriss der Klimakunde.
- Krauskopf, K.B., 1967. Introducción To Geochemistry, New York:-- Mc Graw- Hill.
- Krumbein and sloss (1969) Estratigrafía y Sedimentación. Prime- ra edición. edit. UTHBA.
- Large R.R. 1977, Chemical Evolution and Zonation of massive sul- fides deposits in volcanic terrains. Econ. Geol. V. 77. pp. 549-573.
- Marland P. Billings. (1974) Geología Estructural. Cuarta Edición Editorial Universitaria de Buenos Aires.

Max Derruau (1970) Geomorfología. Edit. Ariel.

Mooser P., 1972, The Mexican volcanic belt: structure and tectonics: Geof. Inter., 12 (2), p. 55-70.

(1978) Informe Geológico de la Unidad Minera Campana de Plata, S.A. (Peñoles) Inédita.

Nieto, O.J. et al., 1977, Elementos Tectónicos y metalogénicos para considerar el potencial económico-minero de la región comprendida entre Zacualpan y El Ore, Méx.: VI Seminario Interno - sobre exploración Geol. Min. Consejo de Recursos Minerales, p. 644-677.

Ortega y Larsen, 1933, Generalidades sobre las zonas de Zacualpan y Tetipac, Gro. Revista Técnica, pp. - 491-612.

Park and Mc Diarmid (1975) Ore Deposit

Third Edition. Edit. W.H. Freeman.

Pérez J.C.R. (1976), Estudio Geológico de la Región de Sultepec Hde. de México. Tesis Profesional I.P.N. --- (Inédita)

Peterson Ulrich B. (1975) Mecanismos de Deposición de Plata y manera de explorar yacimientos de este metal. XI Convención Nacional A.I.M.M.G.M.

Platt, James M (1909) The Zacualpan District México. Eng. and Min Journal, Vol. 88, No. 14 pp. 670-671.

Pence Sibaja J.B. (1976) El Estudio de Oclusiones Fluidos en las rocas como tectónica de exploración mi

nera. Tesis Profesional U.N.A.M. (Inédita).

Rankama y Sahama, 1950. Geochemistry. The University of Chicago Press.

Robles R.R. (1937-40) Generalidades sobre Zacualpan y Paragénesis de la veta "La Esmeralda". Bol. Soc. Geol. -- Méx. Tomo X Nos. 1-2, 1937.

Sagredo José (1974) Diccionario Rieduero. Geología y Mineralogía. Ediciones Rieduero, de la Editorial Católica, S.A. Madrid.

Salas, G.P. 1974 Estudio de Tectónica Continental Metalegénesis con fotografías de ERTS-1. GEOMINET No. 75 2a. época.

Salas, R.H., 1954, Genetic relations between granites, porphyries, and associated copper deposits, Amer. Inst. - Mining. Eng. Trans. 199: 499-505.

Sato Takes (1977) Los sulfuros masivos volcanogénicos su metalogénia y clasificación.
Publicación No. 1 Universidad de Sonora Depto. de Geología.

Schmitter E. (1937-40) Estudio Minerográfico de una muestra de veta procedente de la Mina "La Esmeralda", Zacualpan, Edo. de México Bol. Soc. Geol. Méx. Tomo X - Nos. 1-2 1937.

Shand, B.J., 1943. Eruptive Rocks: Their Genesis, Composition, and classification, New York: Wiley.

Urrutia J.H. y Luis del Castillo G. (1977) Un modelo de Eje-
volcánico México. Bol. Sec. Geol. Méx. Tomo -
XXXVIII No. 1 Junio de 1977.

Walter T. Huang (1968) Petrología Primera Edición Edit. UTEHA

Whitten D.G.A. With Brooks J.R.V. (1979) The Penguin Dictionar
y of Geologi. Edit. Penguin Books 7a. Edi-
ción la. Edición: 1972.

Winkler H.G.F., 1974, Petrogénesis of metamorphic rocks: New-
York, Springer Verlag, 3 rd. ed., 320 p.

VI A P E N D I C E S

a) PETROGRAFICO

MUESTRA	CONCEPTO	LOCALIDAD
1	Filita	Arroyo El Alacrán
2	Filita	Arroyo Santiago
3	Meta-arcosa	Arroyo Ayotusco
4	Pizarra	Arroyo de Gama
5	Meta-Toba	Arroyo Ayotusco
6	Meta-andesita	Arroyo San Jerónimo
7	Meta-andesita Porfídica	Mina Guadalupe
8	Galiza Metamorfizada	Arroyo Ayotusco
9	Meta-lahar	Base del Poblado de Zacualpan.
10	Meta-andesita	Arroyo de Gama
11	Pizarra	Arroyo Ayotusco
12	Meta-andesita Porfídica	Arroyo San Jerónimo
13	Pizarra Clara	Arroyo San Jerónimo
14	Pizarra	Arroyo El Alacrán
15	Milonita	Arroyo San Jerónimo Socavón Carmelitas.
16	Prepilita	Respaldo de la Veta Lipton, Mina Guadalupe.
17	Muestra de veta	Veta Lipton, Mina -- Guadalupe, Nivel 50.
18	Muestra de veta	Veta Lipton, Mina -- Guadalupe, Nivel 140
19	Muestra de veta	Veta Lipton, Mina -- Guadalupe, Nivel 140
20	Muestra de veta	Veta Lipton, Mina -- Guadalupe, Nivel 140
21	Análisis de núcleos (Meta andesita y pizarra)	Mina Guadalupe.

ESTUDIO PETROGRAFICO DE LA FILITA

MUESTRA: 1

LOCALIZACION: Arroyo El Alacrán

ASPECTO MEGASCOPICO:

COLOR: Verde con superficies sericitizadas y en oca
siones oxidadas.

ESTRUCTURA: Compacta, orientada.

ALTERACION: Sericitización y oxidación.

ESTUDIO MICROSCOPICO:

TEXTURA: Esquistosa.

MINERALOGIA: Clerita, cuarzo, muscovita, minerales-
arcillosos y minerales opacos (pirita-
y magnetita.)

CLASIFICACION:

Filita de cuarzo, clerita, muscovita.

ORIGEN: Metamerfismo Regional

FACIES: Esquistes verdes CLASE: Pelítica.

OBSERVACIONES: Ejemplar estudiado en lámina. Superficie pu-
lida y muestra de mano.

ESTUDIO PETROGRAFICO DE LA FILITA

MUESTRA: 2

LOCALIZACION: Arroyo Santiago.

ASPECTO MEGASCOPICO:

COIOR: Pardo claro con vidos grises y tendencia al ne
gro.

ESTRUCTURA: Filitosa.

ALTERACION: Oxidación.

ESTUDIO MICROSCOPICO:

TEXTURA: Piazarrosa

MINERALOGIA: Cuarzo, sericita, clorita, epidota, mine
rales arcillosos y oxidos de fierro.

CLASIFICACION:

Filita

ORIGEN:

Sedimentario continental con metamorfismo regional pos
terior.

OBSERVACIONES:

Ejemplar estudiado en la línea delgada y muestra-
de mano.

ESTUDIO PETROGRAFICO DE LA META-ARCOSA

MUESTRA: 3

LOCALIZACION: Arroyo Santiago

ASPECTO MEGASCOPICO:

COLOR: Gris oscuro con la superficie amarilla.

ESTRUCTURA: Compacta y lujosa

ALTERACION: Sericitización superficial.

ESTUDIO MICROSCOPICO:

TEXTURA: Epiclástica

MINERALOGIA:

Esenciales: Cuarzo, plagioclasas, cuarzo microcristalino.

ACCESORIOS: Arcillas, epidota.

SECUNDARIOS: Micas alteradas, cuarzo secundario.

CLASIFICACION: Meta-arcosa

ORIGEN: Continental

OBSERVACIONES:

Al microscópico la roca se observa con abundantes detritos de minerales estables.

ESTUDIO PETROGRAFICO DE LA PIZARRA

MUESTRA: 4

LOCALIZACION: Arroyo de Gana

ASPECTO MEGASCOPICO:

COLOR: Negro

ESTRUCTURA: Compacta orientada, afenítica.

ALTERACION: Oxidación superficial.

ESTUDIO MICROSCOPICO:

TEXTURA: Pizarrosa

MINERALOGIA: Cuarzo, epidota, materia bituminosa, mine
reles arcillosos, turmalina, clorita, cal
cita.

CLASIFICACION:

Pizarra bituminosa.

ORIGEN:

Metamorfismo regional: facies esquistos verdes, clase -
química pelítica.

OBSERVACIONES:

Ejemplar estudiado en lámina delgada, superficie
pulida y muestra a mano.

ESTUDIO PETROGRAFICO DE LA META-ANDESITA

MUESTRA: 6

LOCALIZACION: Arroyo San Jerónimo

ASPECTO MEGASCOPICO:

COLOR: Verde con tonos grises

ESTRUCTURA: Compacta cristalina

ALTERACION: Silicificación, sericitización y oxidación

ESTUDIO MICROSCOPICO:

TEXTURA: Esquistosa

MINERALOGIA:

ESSENCIALES: Clorita, andesina, cuarzo, eli
goclasas alteradas.

PRIMARIOS:

ACCESORIOS: Calcita, magnetita, ferromagne
sianos alterados.

SECUNDARIOS: Epidota, pirita.

CLASIFICACION:

Meta andesita esquistosa

ORIGEN: Ignea extrusiva con metamorfismo de bajo grade.

OBSERVACIONES

Ejemplar estudiado en lámina delgada, superfi-
cial pulida y muestra de mano.

ESTUDIO PETROGRAFICO DE LA META-ANDESITA PORFIDICA

MUESTRA: 7

LOCALIZACION: Roca Verde, Veta Lipton, en "Campana de Plata"

ASPECTO MEGASCOPICO:

COLOR: Verde con piritita y galena visible

ESTRUCTURA: Compacta cristalina

ALTERACION: Cloritización.

ESTUDIO MICROSCOPICO:

TEXTURA: Porfídica (producida por líticos), helecristalina alotriomérica, matriz fanerítica.

MINERALOGIA:

Plagioclasas sódicas alteradas, líticos alterados a clorita. Minerales arcillosos, sericita, cuarzo, clorita y minerales opacos (pirita, galena, esfalerita).

CLASIFICACION:

Meta-andesita porfídica.

ORIGEN: Metamorfismo regional de bajo grado sobre una roca volcánica (andesita).

OBSERVACIONES:

Al microscopio petrográfico los líticos se observan alterados a clorita y con predominio de minerales arcillosos.

ESTUDIO PETROGRAFICO DE LA CALIZA METAMORFIZADA

MUESTRA: 8

LOCALIZACION: Arroyo Ayotusco

ASPECTO MEGASCOPICO:

COLOR: Gris oscuro con superficies claras.

ESTRUCTURA: Estratificada con rasgos de pizarrosa.

ESTUDIO MICROSCOPICO:

TEXTURA: Cataclastica, afanítica.

MINERALOGIA: Calcita, cuarzo, (Cuarzo microcristalino en vetillas), pisolitos, óxidos de fierro leves los minerales se encuentran orientados.

CLASIFICACION:

Caliza metamorfizada

ORIGEN:

Sedimentario marino con metamorfismo regional posterior.

OBSERVACIONES:

Ejemplar estudiado en lamina delgada y muestra de mano.

ESTUDIO PETROGRAFICO DEL METALAHAR

MUESTRA 2

LOCALIZACION: Base del poblado de Zacualpan

ASPECTO MEGASCOPICO:

COLOR: Verde a pardo con fragmentos redondeados de diferente tamaño de color blanco y gris.

ESTRUCTURA: Presenta foliación y se observa como cuerpos irregulares de considerable tamaño.

MINERALES:VISIBLES: Cuarzo, clorita, plagioclasa y -- hornblenda.

AFIORACION: Oxidación.

ESTUDIO MICROSCOPICO:

TEXTURA: Porfiritica

MINERALOGIA: Fragmentos de roca (porfidoclastos de plagioclasa, de piroxeno, olivino serpentinizado y de monzonita ?), cuarzo, hornblenda, clorita, minerales arcillosos y cuarzo en vetillas.

CLASIFICACION:

Lahar metamorfizado regionalmente.

ORIGEN:

Extrusivo volcánico con metamorfismo posterior.

OBSERVACIONES:

Ejemplar estudiado en lámina delgada y muestra de
5 cm.

ESTUDIO PETROGRAFICO DE LA METANDESITA

MUESTRA: 10

LOCALIZACION: Arroyo de Gama

ASPECTO MEGASCOPICO:

COLOR: Verde grisáceo al fresco y pardo en muestra in
temperizada.

ESTRUCTURA: Masiva

ALTERACION: Oxidación y silicificación parcial

ESTUDIO MICROSCOPICO:

TECTURA: Porfidica, holocristalina alotriomórfica, --
matriz fánérita.

MINERALOGIA: Esenciales: Andesina, clorita, cuarzo, -
plagioclasas alteradas.

Accesorios: Ferromagnesianos alterados, -
óxidos de fierro.

Secundarios: sericita, hematita, epidota-
y minerales arcillosos.

CLASIFICACION:

Metandesita porfidica

ORIGEN:

Extrusiva con metamorfismo regional posterior.

OBSERVACIONES:

Ejemplar estudiado en lamina delgada y muestra --
de mano.

ESTUDIO MINERAGRAFICO DE LA PIZARRA

MUESTRA: 11

LOCALIZACION: Mina el Regenerador, Arroyo Ayotusco.

ASPECTO MEGASCOPICO:

COLOR: Gris verdoso

ESTRUCTURA: Esquistosa

MINERALES VISIBLES: Cuarzo y materia carbonosa

ALTERACION: Cloritización y silicificación.

ESTUDIO MICROSCOPICO:

TEXTURA: Pizarrosa

MINERALOGIA: Cuarzo, materia bituminosa, pirita, limo
nita, minerales arcillosos, vetillas de-
cuarzo, minerales opacos.

CLASIFICACION:

Pizarra carbonosa

ORIGEN:

Sedimentario continental con metamorfismo e hidrotermal
lismo posteriores.

OBSERVACIONES:

Ejemplar estudiado en lamina delgada

ESTUDIO PETROGRAFICO DE METADACITA PORFIDICA

MUESTRA: 12

LOCALIZACION: Arroyo San Jerónimo

ASPECTO MEGASCOPICO:

COLOR: Gris azulado

ESTRUCTURA: Masiva

MINERALES OBSERVABLES: Cuarzo y anfíbol.

ALTERACION: Silicificación y oxidación.

ESTUDIO MICROSCOPICO:

TEXTURA: Holocristalina hipidiomórfica

MINERALOGIA:

Escenciales: Andesina, clorita, cuarzo, oli
goclasa, hornblena.

Accesorios: Magnetita, limonita, pirita.

Secundarios: Calcita, sericita, minerales -
arcillosos.

CLASIFICACION:

Metandesita porfídica

ORIGEN:

Extrusiva (dique) con metamorfismo regional posterior.

OBSERVACIONES:

Ejemplar estudiado en lamina delgada y muestra de
mano.

NÚMERO: 13

LOCALIDAD: Arroyo San Jerónimo

RELACIONES DE CAMPO

REGISTRO

I.- OBSERVACIONES MACROSCÓPICAS.

COLOR: Café claro

TEXTURA: Isoclástica

ESFERULATURA: Esferulización regular

CARACTERÍSTICAS DESCRITIVAS: Se encuentra en forma de altern
da.

II.- OBSERVACIONES MICROSCÓPICAS:

TEXTURA: Pizarrosa

HIERARQUÍA

Cuarzo 90% del tamaño del limo, clorita (identificada solo por su color), muscovita y biotita en bandas discontinuas.

Microlitos.

Silice en fragmentos y como cemento (sacoso)

Todos mostrando anisotropía en el tamaño, en frjas que se diferencian en la tonalidad (oscura y clara)

Presentan también dirección de la forma de ribos, lo que hace el desaparecer el mineral.

GRUESO: Esfinteria con interfoliación posterior.

CLASIFICACIÓN: Pizarra

COMENTARIOS:

Muestra similar a la microlítica petrográ-
fica.

ESTUDIO PETROGRAFICO DE LA PIZARRA

MUESTRA: 14

LOCALIZACION: Arroyo EL Alacrán

ASPECTO MEGASCOPICO:

COLOR: Negro

ESTRUCTURA: Pizarrosa

ALTERACION: Oxidación superficial

ESTUDIO MICROSCOPICO:

TEXTURA: Pizarrosa

MINERALOGIA: Cuarzo, materia carbonosa, feldspatos,
zircon, sericita y minerales arcillosos.

CLASIFICACION:

Pizarra bituminosa

ORIGEN:

Sedimentario continental con metamorfismo regional post
terior.

OBSERVACIONES:

Ejemplar estudiado en lasina delgada y muestra a
mano.

ESTUDIO PETROGRAFICO DE LA MILONITA

MUESTRA: 15

LOCALIZACION: Arroyo San Jeronimo (Socavón Gandelitas)

ASPECTO MEGASCOPICO:

COLOR: Gris verdoso

ESTRUCTURA: Esquistosa.

MINERALES OBSERVABLES: Cuarzo y sulfuros.

ESTUDIO MICROSCOPICO:

TEXTURA: Cataclastica.

MINERALOGIA: Andesina, cuarzo, clorita, calcita en
vetillas, sericita, minerales arcillo
sos y sulfuros de Fe, Zn, y Pb.

CLASIFICACION:

Milonita

ORIGEN:

Cataclastico

OBSERVACIONES:

Ejemplar estudiado en lamina delgada y muestra
de mano.

ESTUDIO PETROGRAFICO DE LA PROPILITA

MUESTRA: 16

LOCALIZACION: Margen Veta Lipton, Mina Guadalupe.

ASPECTO MEGASCOPICO:

COLOR: Negro con tonos verdes y pirita visible.

ESTRUCTURA: Compacta, holocristalina.

ALTERACION: Propilitización.

ESTUDIO MICROSCOPICO:

TEXTURA: Holocristalina alotriomórfica, afanítica y anhedral.

MINERALOGIA:

ESSENCIALES: Cuarzo, epidota, clorita, serpentina, calcita.

PRIMARIOS:

ACCESORIOS: Pirita, magnetita.

SECUNDARIOS: Minerales arcillosos.

CLASIFICACION:

Propilita.

ORIGEN:

Roca ígnea extrusiva alterada por soluciones hidrotermales.

OBSERVACIONES:

Al microscópico la propilita se observa de grano muy fino.

Ejemplar estudiado en lámina delgada, superficie pulida y muestra de mano.

ESTUDIO MINERAGRAFICO DE MUESTRA DE VETA

MUESTRA: 17

LOCALIZACION: Veta Lipton, Mina Guadalupe Nivel 50

ASPECTO MEGASCOPICO:

COLOR: Verde oscuro con galena, pirita y calcopirita
visibles.

ESTRUCTURA: Compacta.

ALTERACION: Propilitización.

ESTUDIO MICROSCOPICO:

TEXTURA: Relleno de cavidades.

MINERALOGIA: Galena, pirita, calcopirita, esfalerita, -
cuarzo, calcedonia, magnetita y calcita, -
minerales de plata (proustita)?.

CLASIFICACION:

Muestra mineralizada de veta.

ORIGEN:

Epigénica.

OBSERVACIONES:

Ejemplar estudiado en superficie pulida, lámina --
delgada y muestra de mano.

TEXTURA:

La mayoría de las texturas observadas en estudio minerográfico
de las vetas consiste en el relleno de cavidades y en
su mayor cantidad a el reemplazamiento.

ESTUDIO MINERAGRAFICO DE MATERIAL DE VETA.

MUESTRA: 18

LOCALIZACION: Veta Lipten, Mina Guadalupe, Nivel 140

ASPECTO MEGASCOPICO:

COLOR: Verde grisáceo con visos negros.

ESTRUCTURA: Cataclástica.

MINERALES OBSERVABLES: Pirita, galena, plata nativa.

ESTUDIO MICROSCOPICO:

Pirita, esfalerita, tetraedrita, plata na
tiva, cuarzo y calcita primaria y secunda
ria.

En este caso la galena es tardía.

CLASIFICACION:

Brecha mineralizada.

ORIGEN:

Epigenético.

OBSERVACIONES:

Ejemplar estudiada en superficie pulida.

ESTUDIO MINERAGRAFICO DE MUESTRA DE VETA

MUESTRA: 19

LOCALIZACION: Veta Lipton, Mina Guadalupe, Nivel 140

ASPECTO MEGASCOPICO:

COLOR: Gris verdoso tendiendo a negro.

ESTRUCTURA: Brechosa

MINERALES OBSERVABLES: Galena, esfalerita y pirita.

ALTERACION:

Prepilitización y oxidación.

ESTUDIO MICROSCOPICO:

TEXTURA: Relleno de cavidades.

MINERALOGIA: Galena, esfalerita, pirita, preustita, plata nativa, cuarzo rellenando fracturas de la veta y de minerales como galena y esfalerita, magnetita y calcita secundaria.

CLASIFICACION:

Brecha mineralizada.

ORIGEN:

Epigenética.

OBSERVACIONES:

Muestra estudiada en superficie pulida y en muestra de mano.

ESTUDIO PETROGRÁFICO Y MINERALÓGICO DE LA ROCA STOAJO
CENTE DE LA VETA LIPTON.

MUESTRA: 20

LOCALIZACIÓN: Veta Lipton, Mina Gasoluna, Nivel 140

ASPECTO MACROSCÓPICO:

COLOR: Gris verdoso con tonalidades claras.

ESTRUCTURA: Esquistosa con superficie acilosa.

MINERALES VISIBLES: Cuarzo, sulfuros, andesino, horn
blenda.

ESTUDIO MICROSCÓPICO:

TEXTURA: Catáclástica.

MINERALES: Primarios: Andesino, oligoclasa, clorita,
hornblenda, cuarzo.

Secundarios: Sericita, calcita y pirita.

Accesorios: Pirita, magnetita.

CLASIFICACIÓN:

Filonita.

ORIGEN:

Binamometasorfismo (Producto de falla)

OBSERVACIONES:

Ejemplar estudiado en láminas delgadas y superficie
pulida y muestra de mano.

21.- ANALISIS DE NUCLEOS

OBSERVACIONES EN MUESTRA DE ROCA FRESCA A PARTIR DE NUCLEOS OBTENIDOS CON PERFORACION DE DIAMANTE.

a) EN PIZARRA.

... La pizarra bituminosa presenta abundancia de vetillas de cuarzo, pirita singenética, algunos fragmentos de roca ácida de milímetros hasta centímetros, en otros niveles estos fragmentos se observan reemplazados por sílice. Presenta también corrugamientos como si los pliegues pequeños formados hubieran sufrido un esfuerzo en sentido diagonal al echado de los mismos. La pirita se encuentra diseminada y en vetillas de cuarzo, las cuales se observan con clorita. La silicificación ha seguido generalmente el sentido de los planos de la foliación.

El tramo de pizarra observado alcanzaba los 10 metros y se perforó en la mina el Regenerader...

b) EN METANDESITA.

... Metandesita, la foliación esta presente, su textura es perfoliolítica con textura augen. Los blastos y los lentes son rocas ácidas y calizas silicificadas, y fragmentos de cuarzo redondeados sin fracturas. La pirita aparece gradualmente en cuanto a tamaño, también se presenta abundante en algunos fragmentos de roca ígnea y caliza silicificada, el tamaño de estos fragmentos varía de 5 a 15 milímetros. La pirita en los blastos se hace abundante y estos tienden a presentarse más grandes lo mismo que las vetillas silicificadas; los minerales de pirita se observan en la matriz afanítica de la metandesita. Algunos fragmentos extraños de roca sedimentaria silicificada se encuentran contenidos en la meta-andesita de color oscuro.

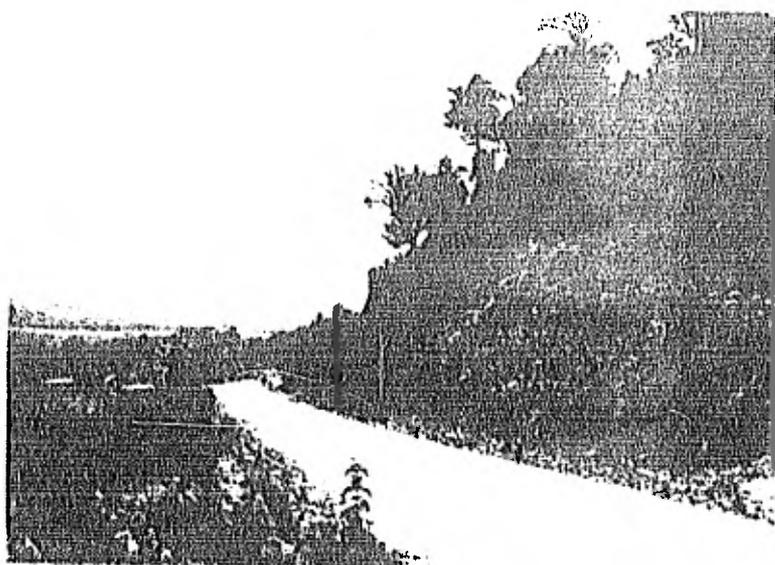
También existe la pirita bien desarrollada; las vetillas son abundantes en casi toda la roca, pero más anchas que en la pizarra (de 6 a 15 milímetros) y presentan carbonatos y ligeras manifestaciones de sulfuros (Pb, Zn, Fe, CuFe ?).

A los 20 metros de perforación la textura de comienza a observar más granoblástica y las fracturas se presentan mejor orientadas con sedosidad en las paredes de las mismas. La mineralización continúa de la misma manera a los 25 metros volviéndose la textura de la roca más fina y se le observa también - un fajeado distinguido por su tono de color ...

... El espesor cortado alcanza los 30 metros ...

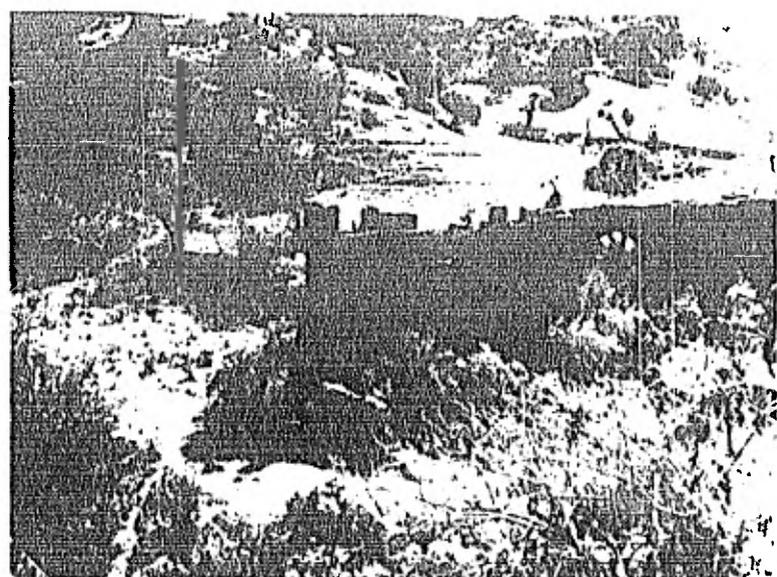
FOTOGRAFIA No. 1 Panorámica que muestra la roca verde de consistencia débil y que en partes presenta las características de meta-lahar, y al fondo de las partes bajas el Valle de Apetlahuacán.

FOTOGRAFIA No. 2 Vista hacia Chontalpan, al Este de Zacualpan. Al fondo se observa el Valle del Arroyo el Alacrán.



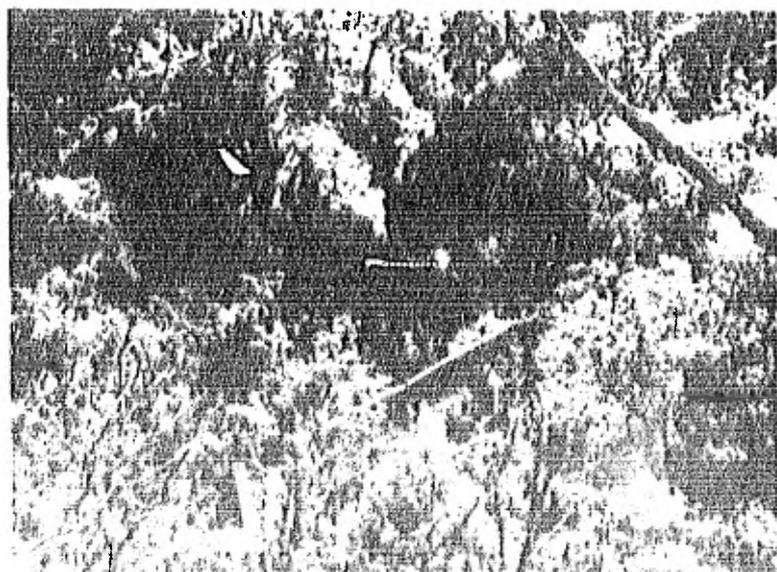
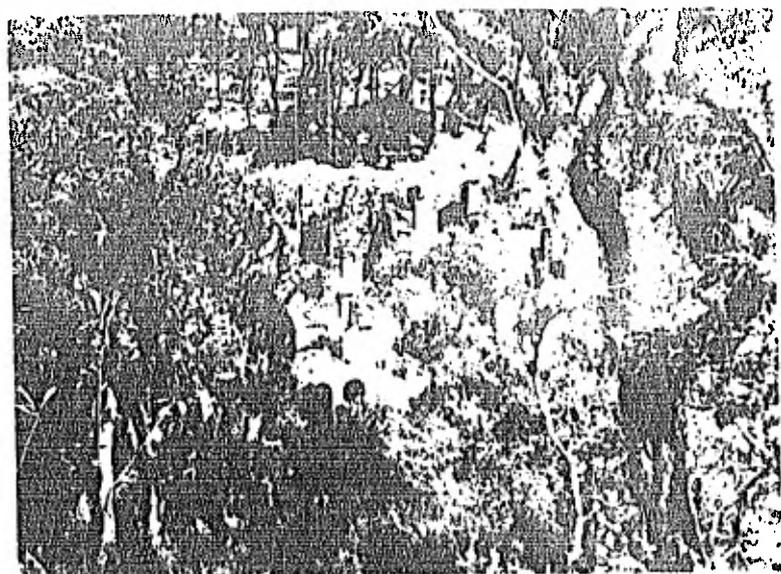
FOTOGRAFIA No. 3.- Restos de un Casco de Hacienda de Bene
ficio, localizada a un lado del Arroyo Santiago.

FOTOGRAFIA No. 4.- Restos de un casco de Hacienda de Bene
ficio, localizada donde más tarde se instaló la unidad mi
nera de la Mina el Alacrán.



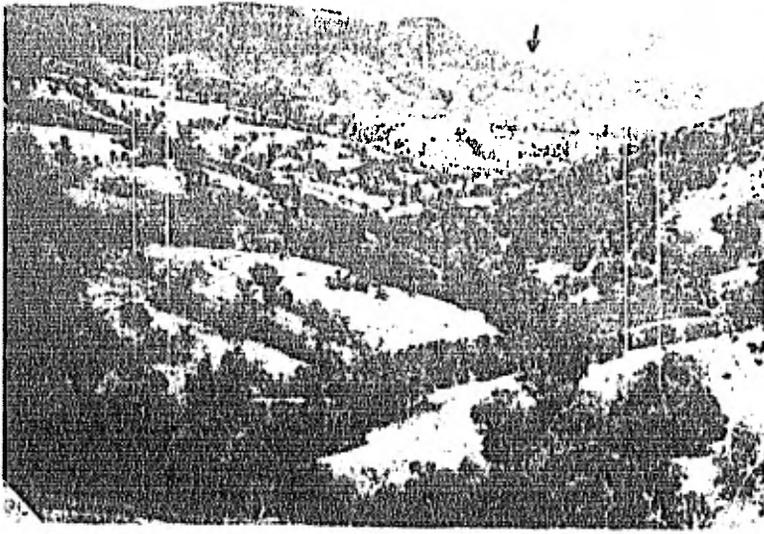
FOTOGRAFIA No. 5.- Restos del casco de la Hacienda de Beneficio San Fernando, localizada a un lado del Arroyo el Alacrán.

FOTOGRAFIA No. 6.- Otro aspecto de los restos del casco de -
la Hacienda de Beneficio San Fernando, localizada a un lado-
del Arroyo el Alacrán.



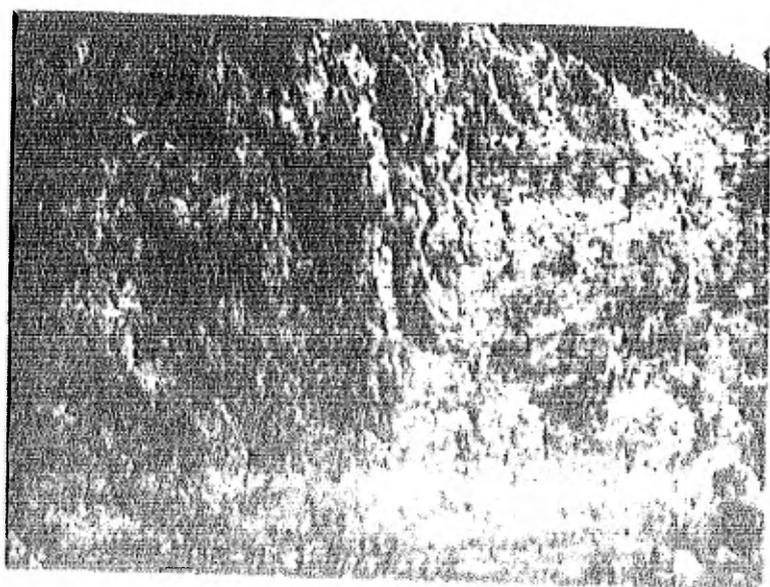
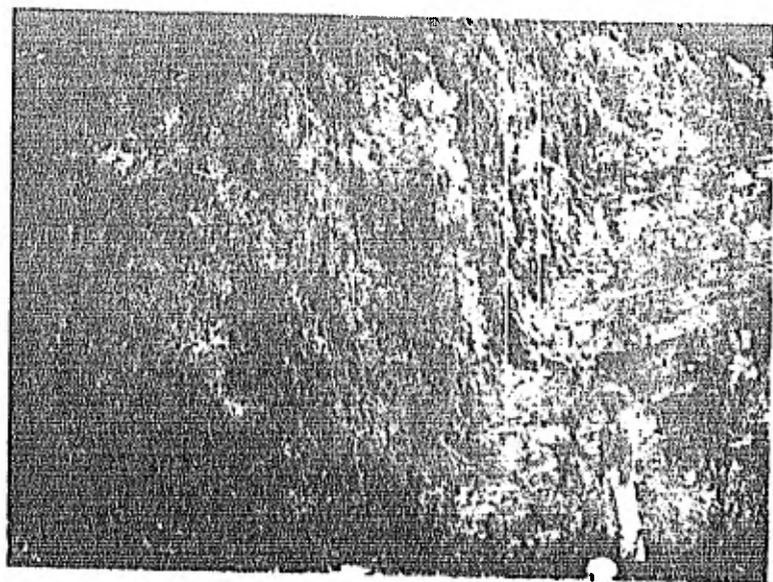
FOTOGRAFIA No. 7.- Panorámica tomada hacia el norte. Incluyendo el Arroyo Santiago, una meseta de roca violítica y -- el lugar llamado Piedra Parada, este último marcado con -- flecha.

FOTOGRAFIA No. 8.- Panorámica tomada hacia el sur aproximadamente. Incluye el Arroyo Ayotusco, la Mina Veta Negra -- (Marcada con flecha) y al fondo el parteagueo de Coronas.



FOTOGRAFIA No. 9.- Plegamiento anticlinal conformado por rocas filíticas oscuras. Este plegamiento parece deber su origen a los esfuerzos sufridos de parte de la roca verde masiva de la mina Veta Negra, cuando ésta se emplazó.

FOTOGRAFIA No. 10.- Ampliación de la vista del plegamiento que se muestra en la fotografía anterior.



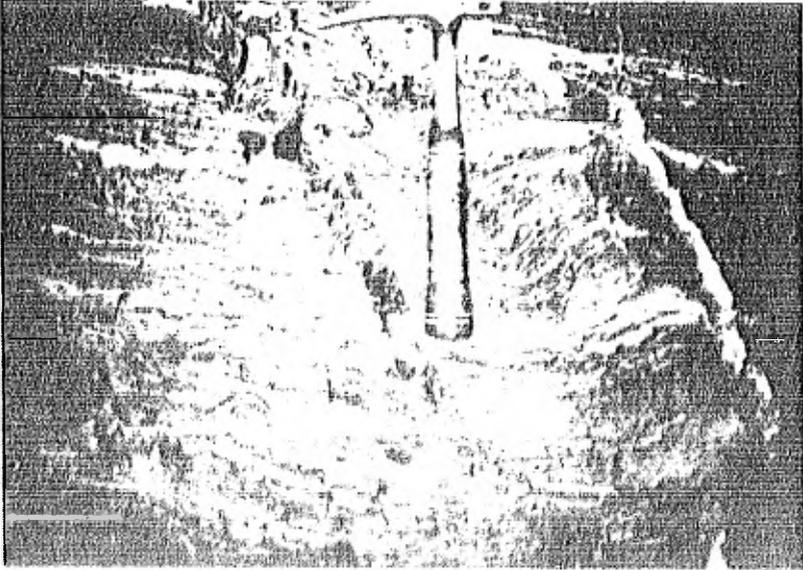
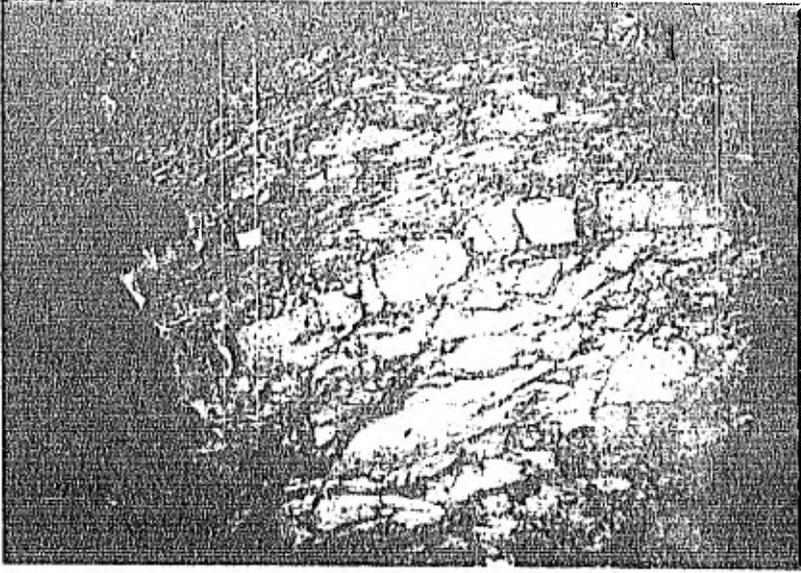
FOTOGRAFIA No. 11.-- Afloramiento de metalahar observado en el interfluvio localizado entre el arroyo de Gama y el San tiago.

FOTOGRAFIA No. 12.-- Afloramiento de meta-sedimentos finos in tercalados de manera no definida en el metalahar. Se locali zan en el tramo de terracería, inmediatamente después del ---
parteaguas de Coronas, hacia Mematla.



FOTOGRAFIA No. 13.- Observese la estructura en forma de salchichas de horizontes de meta-arenisca entre un paquete de filita. Afloramiento observado en el Arroyo - San Jerónimo.

FOTOGRAFIA No. 14.- Afloramiento que presenta una estructura de "kink bands" y un plegamiento suave; el material es del tipo flysch (pizarra y meta-arenisca) y está completamente silicificado. Nótese la vetilla de cuarzo cortando diagonalmente el paquete.



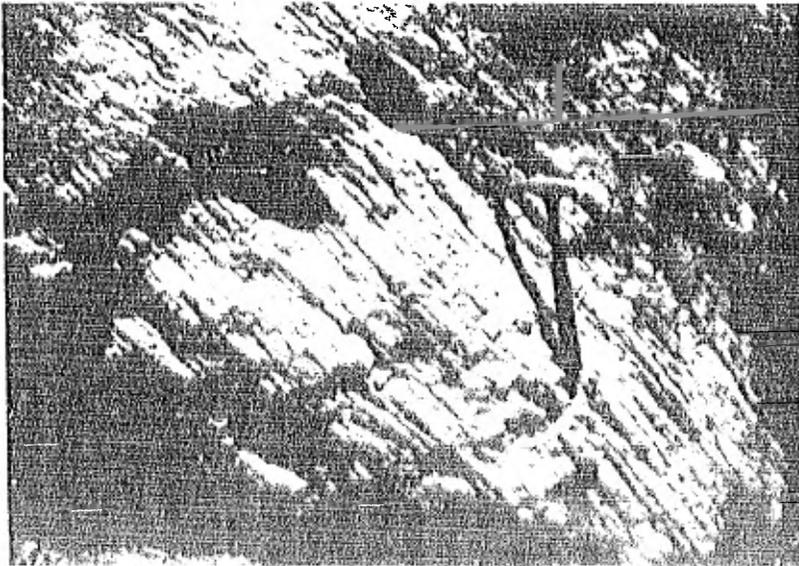
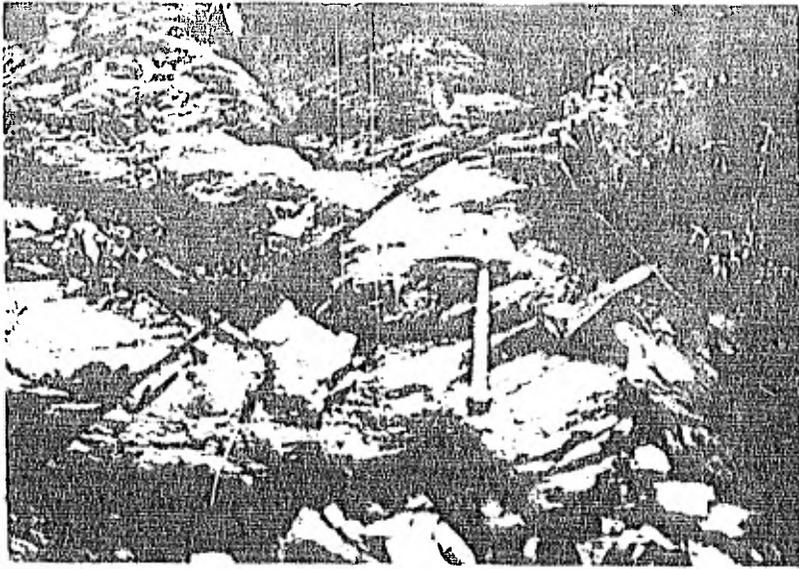
FOTOGRAFIA No. 15.- Afloramiento de meta-toba andesítica mostrando la presencia abundante de fracturas de cuarzo-hidrotermal. Notese la foliación.

FOTOGRAFIA No. 16.- Afloramiento de pizarras oscuras con es estructuras en "boudinage", localizadas en el cruce del Arroyo Ayotusco.



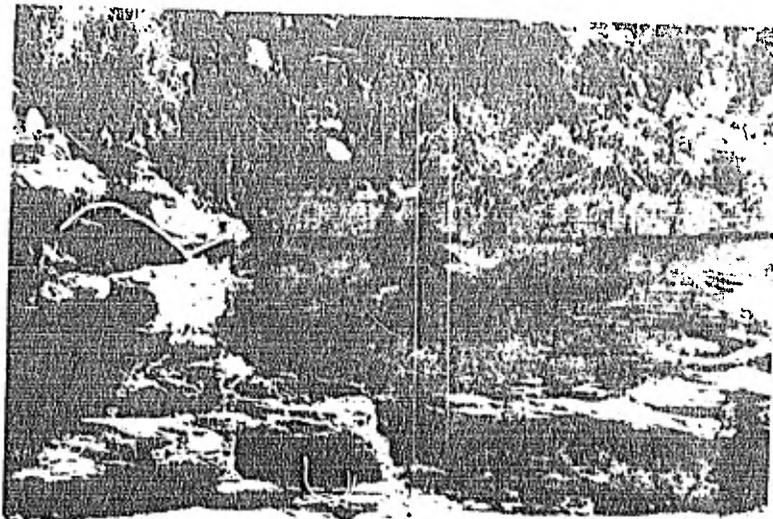
FOTOGRAFIA No. 17.- Palla local en material conglomerático silicificado y metamorfizado. Este material en este punto (Arroyo San Jerónimo) no presenta abundancia en fragmentos gruesos.

FOTOGRAFIA No. 18.- Afloramiento tipo flysch constituido de pizarras oscuras silicificadas con horizontes delgados de meta-arenisca. Los horizontes en ocasiones son completamente de cuarzo micro-cristalino.



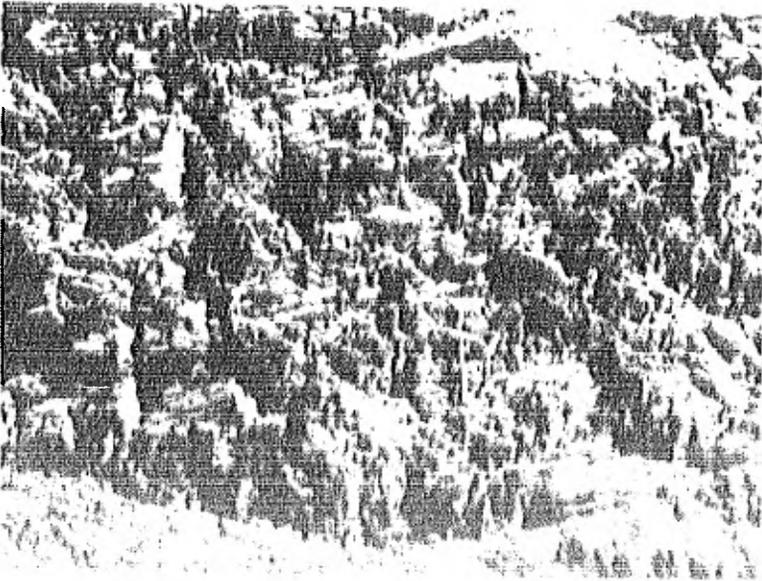
FOTOGRAFIA No. 19.- Contacto entre un horizonte delgado de meta-toba y pizarras negras, éstas últimas con lentes de - meta-areniscas y subyaciendo a las primeras. La estructura sobresaliente es el "boudinage" bien desarrollado.

FOTOGRAFIA No. 20.- Afloramiento de caliza negra. Esta roca estratigráficamente se ubica debajo de las pizarras negras - que se muestran en la fotografía anterior. Afloramiento observado a un lado de la mina El Regenerador.



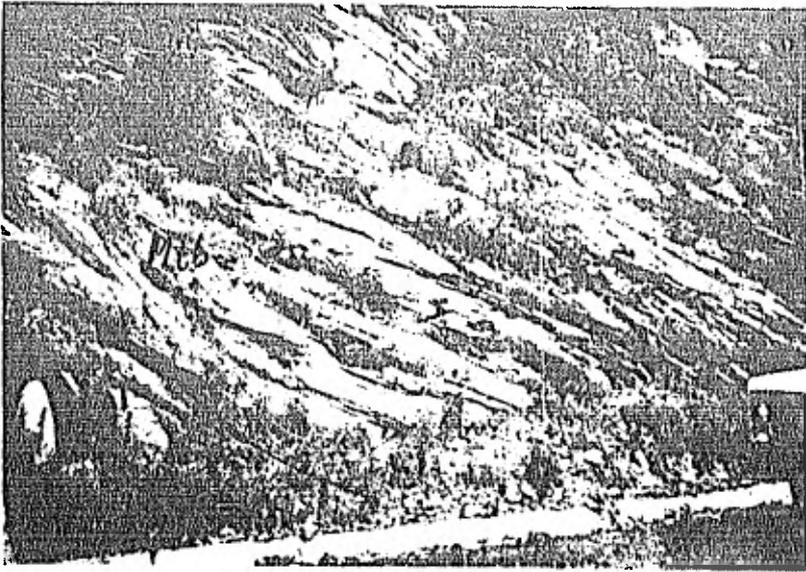
FOTOGRAFIA No. 21.- Contacto discordante de roca verde foliada sobre meta-sedimentos. Corte observado en el canino de terracería que comunica a la Mina Campana de Plata con el Regenerador.

FOTOGRAFIA No. 22.- Meta-toba ácida. Presenta foliación-marcada. Mismo punto que el de la fotografía anterior.



FOTOGRAFIA No. 23.- Contacto concordante entre un paquete de meta-toba piroclástica (MTb) y otro de meta-grauvaca,-- localizado en la proximidad del Puente de los Sabinos.

FOTOGRAFIA No. 24.- Afloramiento de pizarra oscura, brillante, y con intercalaciones esporádicas y muy delgadas de meta-arenisca. Notese el fracturamiento, la vetilla de calcita y --- las zonas de oxidación. Este afloramiento corresponde a los niveles topográficos más bajos.



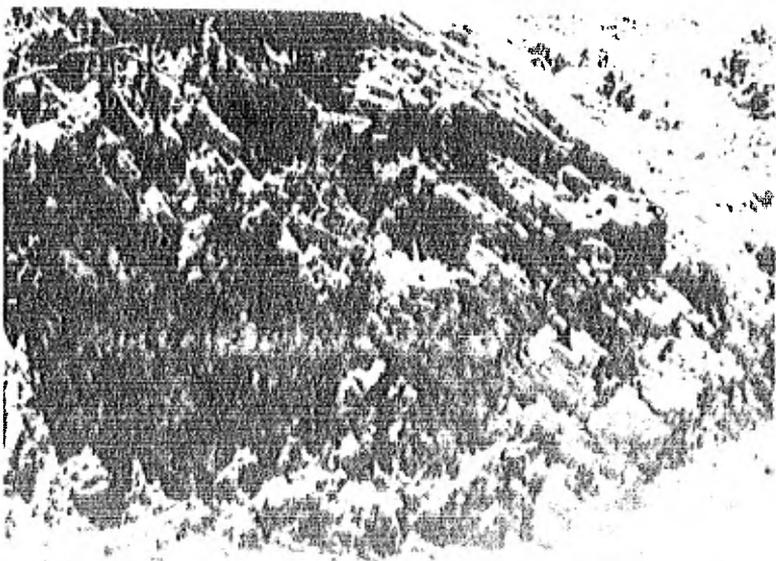
FOTOGRAFIA No. 25.- Afloramiento de meta-toba se localiza a un lado del camino de terracería que baja de Zacualpan hacia el Arroyo el Alacrán.

FOTOGRAFIA No.26.- Afloramiento de meta-toba y pizarra oxidada. Se localiza sobre el tramo de terracería que conduce a la Mina el Alacrán. Este corte se encuentra a un lado -- del arroyo del mismo nombre.



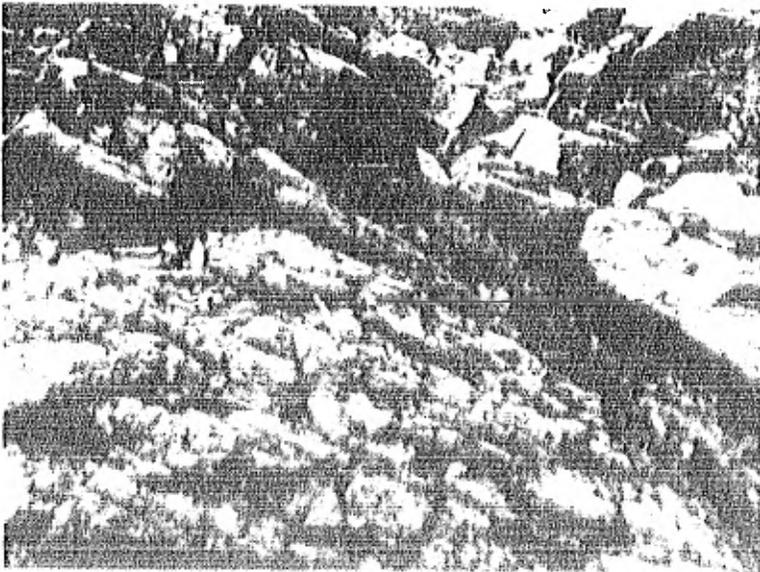
FOTOGRAFIA No. 27.- Afloramiento de pizarra clara con intercalaciones de meta-arenisca, meta-toba y pizarra negra oxidada. Esta secuencia se encuentra afectada por un dique -- ácido que corre casi paralelo al rumbo de los meta-sedimentos. Foto tomada sobre el camino de terracería que comunica el poblado de Zacualpan con el Arroyo del Alacrán.

FOTOGRAFIA No.28.- Afloramiento de pizarra clara con intercalaciones de meta-areniscas. Foto tomada sobre el mismo camino que la fotografía anterior.



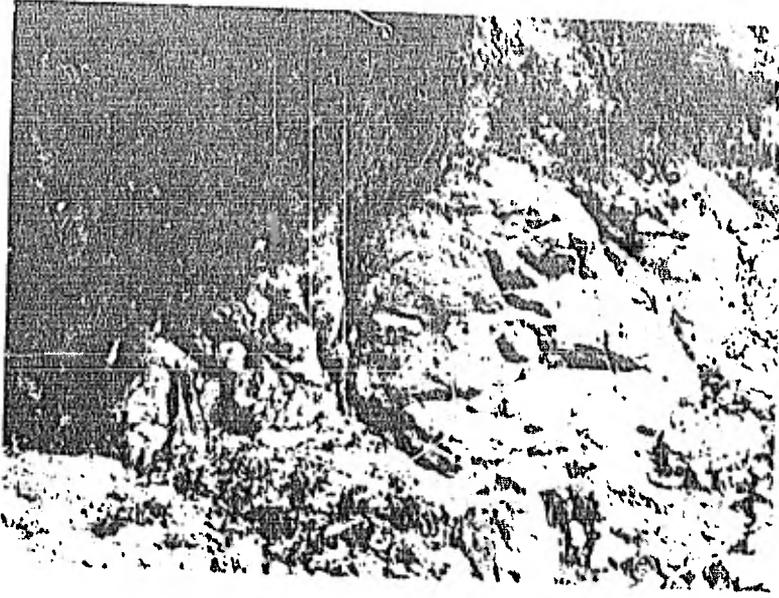
FOTOGRAFIA No. 29.- Meta-lahar, observado en el camino de terracería que comunica la Mina Guadalupe con la Mina el-Regenerador.

FOTOGRAFIA No. 30.- Contacto entre roca verde masiva con relictores y roca verde en coladas y con foliación marcada, ésta última encima de aquélla. Punto observado cerca de la Mina la Gallega.



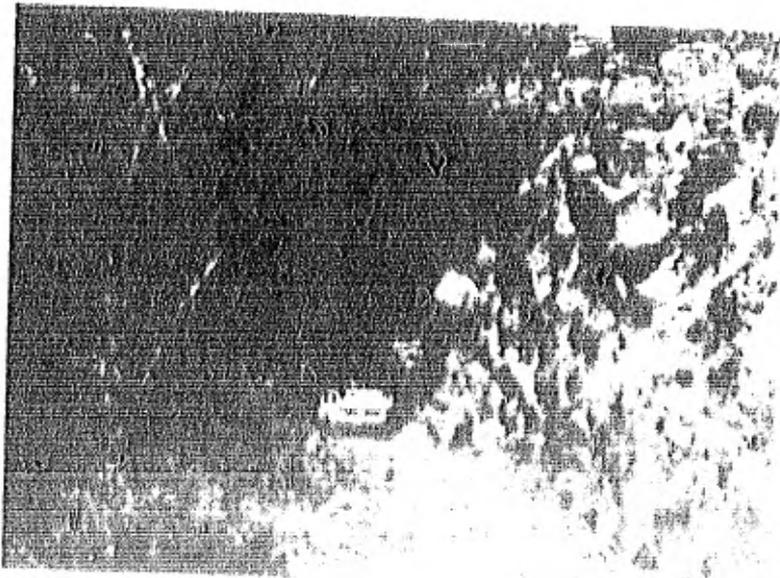
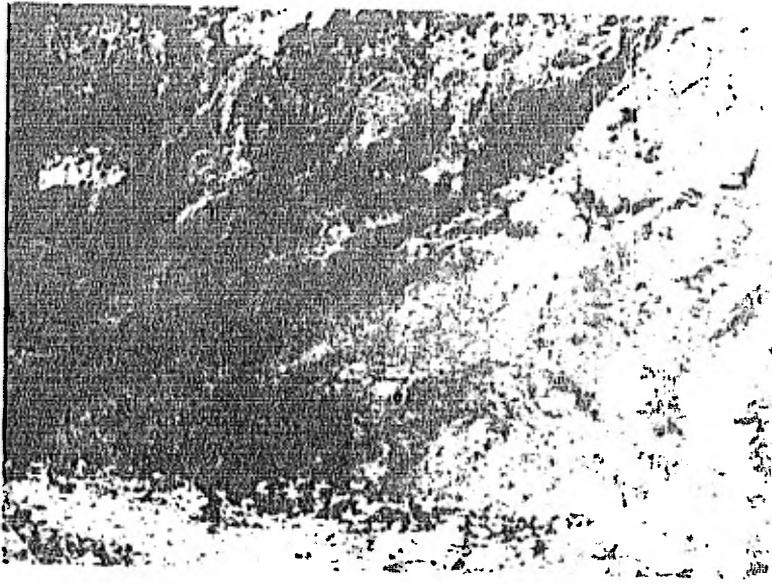
FOTOGRAFIA No. 31.- Cuerpo de roca verde de forma irregular, excesivamente dura y con fenocristales de feldespato sódico, anfíboles y silicificación secundaria. Foto tomada sobre el Arroyo San Jerónimo, frente a la Mina la Gallega.

FOTOGRAFIA No. 32.- Afloramiento de pizarra negra observado en la brecha que conduce a la Mina el Regenerador.



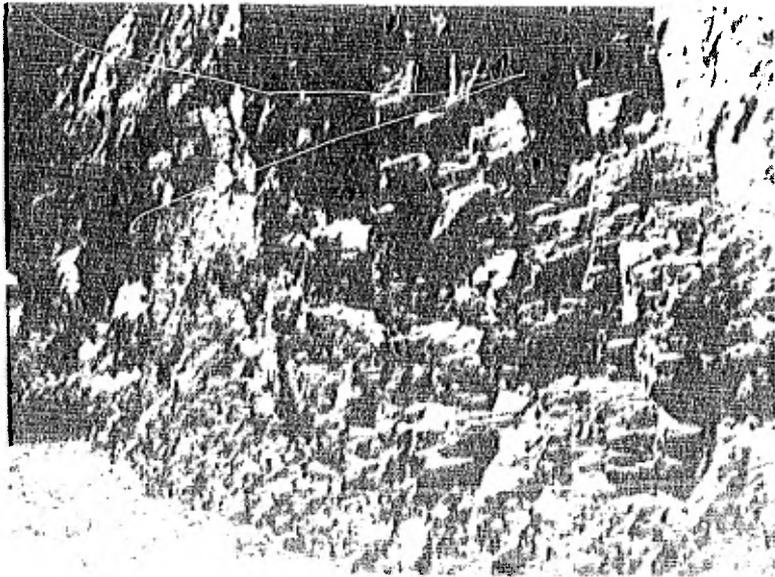
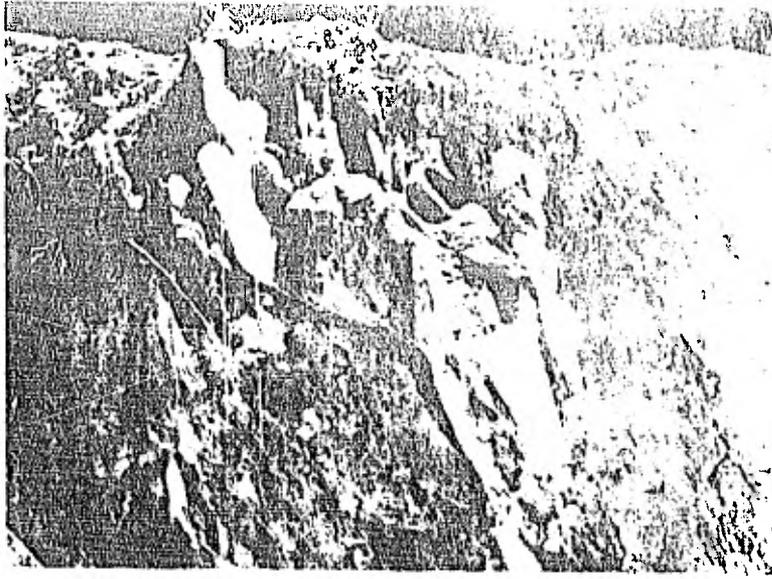
FOTOGRAFIA No. 33.- Contacto discordante entre roca verde foliada (a la izquierda) y meta-sedimentos filíticos, (a la derecha). Afloramiento observado a un lado y en las proximidades de la brecha que termina en la Mina Veta Negra.

FOTOGRAFIA No. 34.- Afloramiento de roca verde foliada que corresponde a la misma que se cita en la fotografía de arriba.



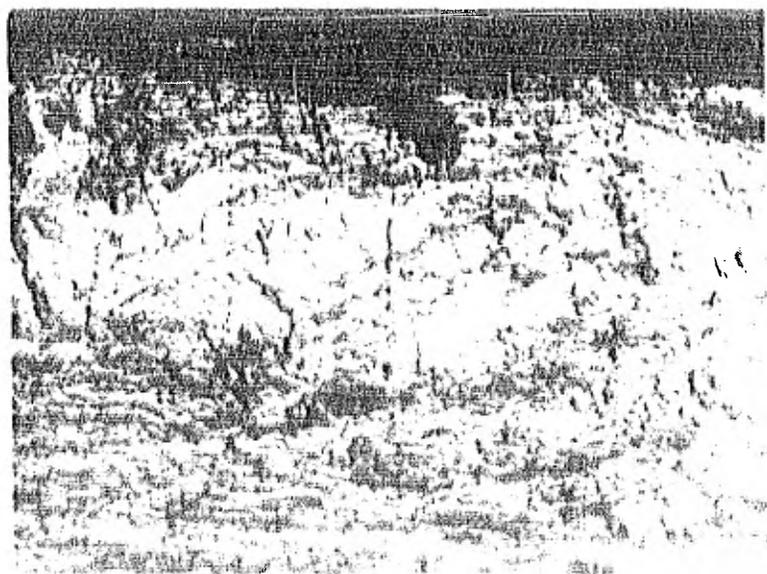
FOTOGRAFIA No. 35.- Afloramiento de pizarra, cuyo espesor alcanza en este punto aproximadamente 20 metros. Este -- afloramiento se observa en el camino de terracería que comunica Zacualpan con el arroyo del Alacrán.

FOTOGRAFIA No. 36.- Corte en roca verde foliada. Afloramiento observado en camino de terracería que comunica Zacualpan con el Arroyo del Alacrán.

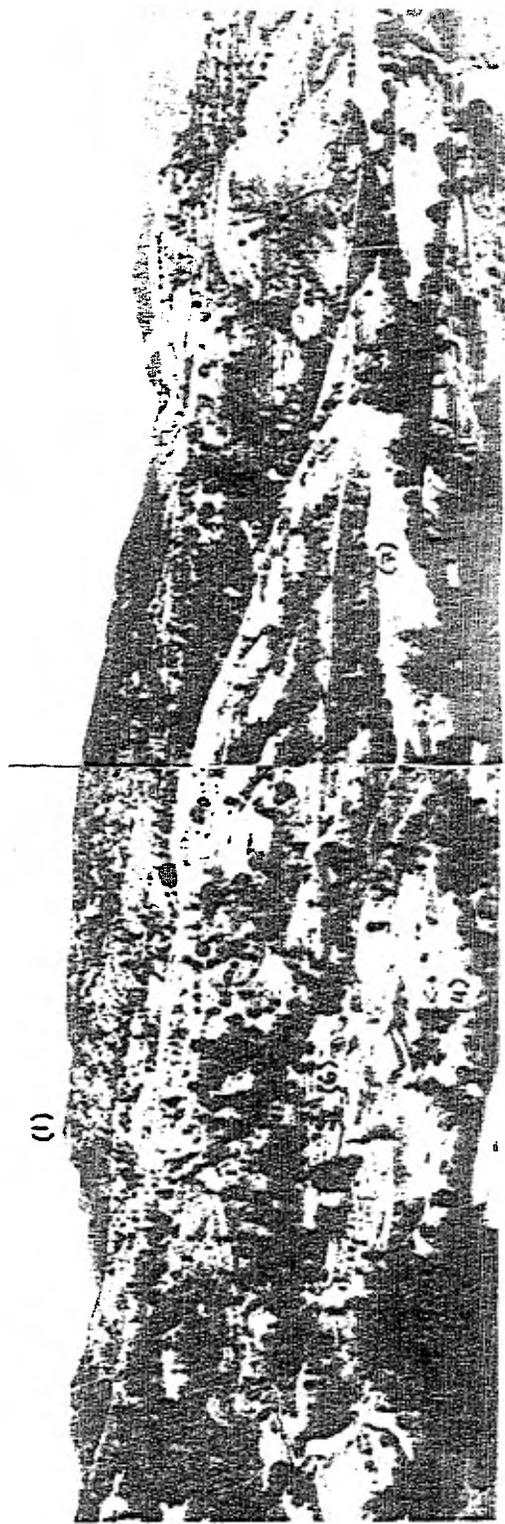


FOTOGRAFIA No. 37.- Obsérvese el emplazamiento discordante del dique de composición ácida (Pr) entre meta-areniscas - alteradas con horizontes de pizarra (Mr-Pz).

FOTOGRAFIA No. 38.- Obsérvese el emplazamiento irregular de un cuerpo de composición tobácea-andesítica entre pizarras-claras (verdes).

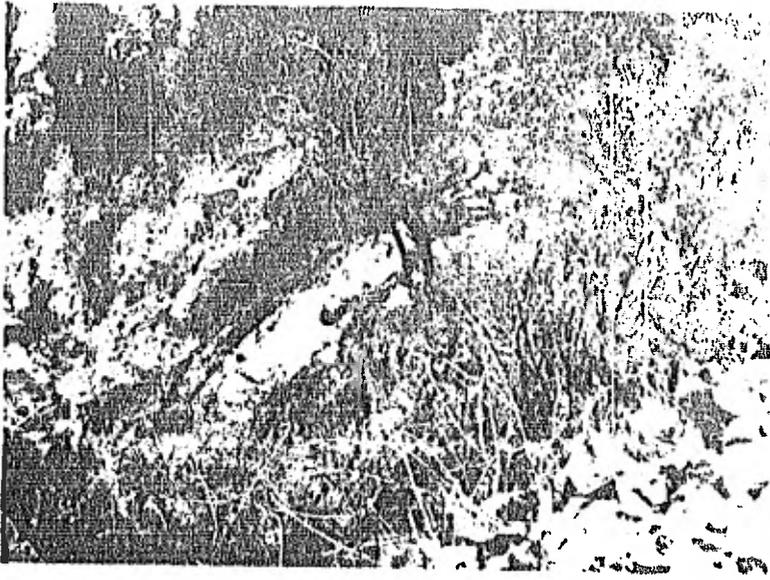


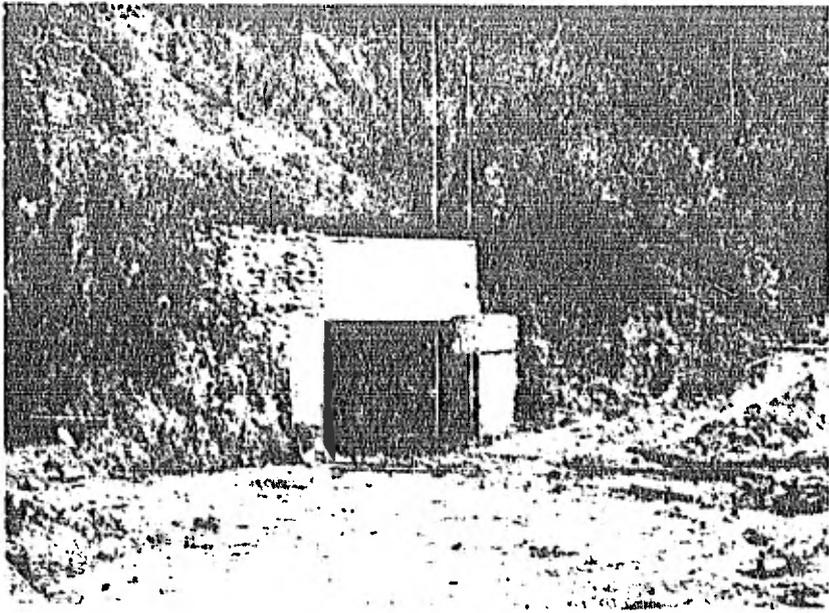
FOTOGRAFIA No. 39.- Panorámica que incluye, al fondo, el Ce
rre San Juan (1), Arroyo Ayotusco (2), Arroyo de Gama (3),-
Arroyo San Jerónimo (4), Arroyo Santiago (5), La Unidad Cam
pana de Plata (6) y su presa de jales (7)



FOTOGRAFIA No. 40.- Afloramiento que muestra un contacto en tre roca verde de foliación marcada y coloración parda con roca verde masiva, cuya coloración en la fotografía es evidente. El contacto entre ambas es concordante.

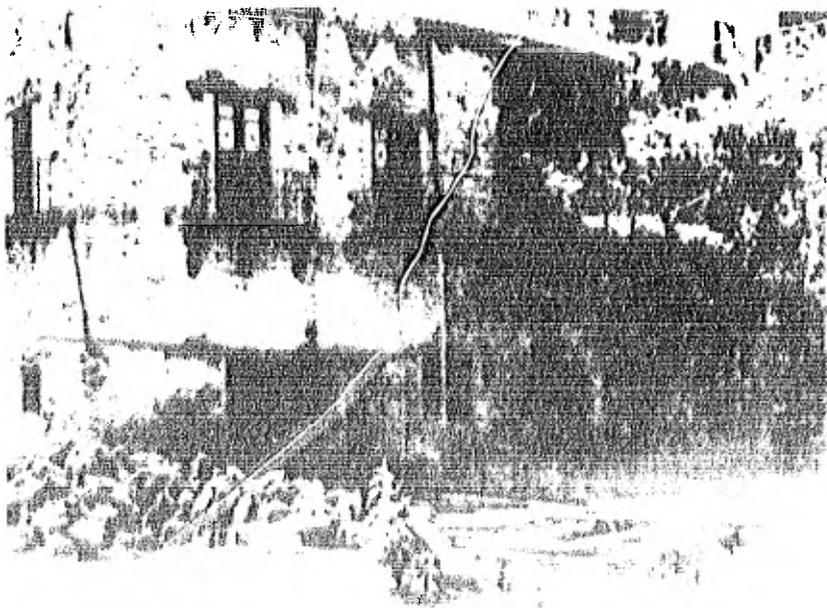
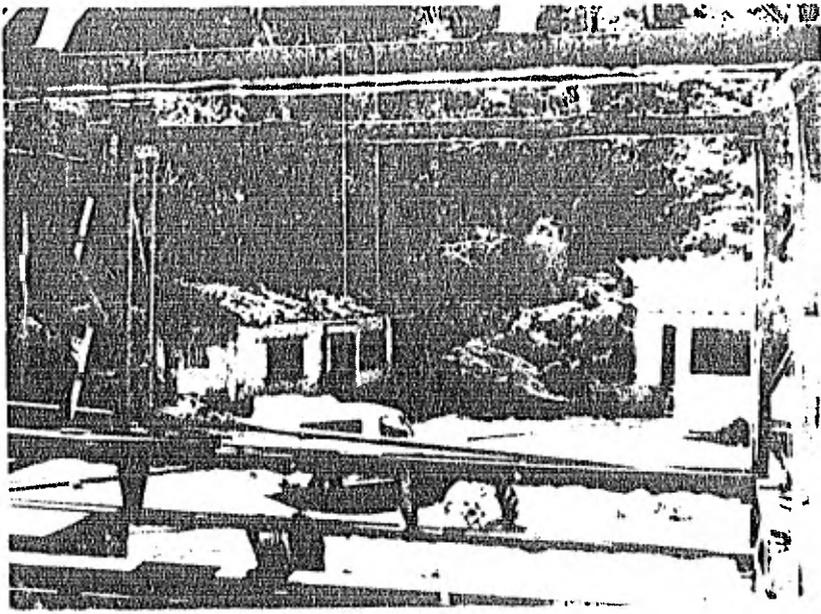
FOTOGRAFIA No. 41.- Entrada de la Mina Veta Negra.- Los desarrollos en esta mina se encuentran en roca verde masiva con características de roca de composición intermedia (párfido andesítico). Su forma de emplazamiento y propiedades litológicas así lo demuestran.





FOTOGRAFIA No. 44.- Intercalaciones abandonadas de la Mina del Alacrán.

FOTOGRAFIA No. 45.- Acceso a uno de los socavones de la Mina del Alacrán.



FOTOGRAFIA No. 42.- Acceso a la Mina la Gallega, localizada a un lado del Arroyo San Jerónimo.

FOTOGRAFIA No. 43.- Mina el Regenerador a un lado del Arroyo Ayotusco.