



20/16  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"ESTUDIO GEOQUIMICO DEL AREA DE SULFUROS  
MASIVOS, EN TIZAPA, MUNICIPIO DE  
ZACAZONAPAN, ESTADO DE MEXICO".

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO GEOLOGO**

**P R E S E N T A :**

**ALICIA VERONICA LEON MATZ**

México, D. F.

1988



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## INDICE

RESUMEN.	Pags.
I.- INTRODUCCION.....	1
I.1.- LOCALIZACION.....	1
I.2.- OBJETIVO.....	3
I.3.- ANTECEDENTES.....	3
I.4.- ESTUDIOS PREVIOS.....	4
I.5.- METODO DE TRABAJO.....	6
I.6.- FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA.....	7
I.6.1.- OROGRAFIA.....	9
I.6.2.- HIDROGRAFIA.....	9
I.6.3.- CLIMA Y VEGETACION.....	11
II.- MARCO GEOLOGICO.....	13
II.1.- BOSQUEJO GEOLOGICO REGIONAL.....	13
II.2.- LITOLOGIA DEL AREA.....	14
II.3.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	36
II.4.- TECTONICA.....	36
II.5.- METAMORFISMO.....	39
II.6.- VACIANTOS MINERALES.....	41
II.6.1.- INTRODUCCION.....	41
II.6.2.- DESCRIPCION DE LA MINERALIZACION.....	42
II.6.3.- GENESIS DE LA MINERALIZACION.....	49
III.- GEOQUIMICA.....	57
III.1.- INTRODUCCION.....	57
III.2.- ASPECTOS GENERALES.....	57
III.3.- INTEMPERISMO Y FORMACION DE SUELOS.....	60
III.4.- GEOQUIMICA DE LOS ELEMENTOS INDICADORES UTILIZADOS.....	68
III.5.- ESTADISTICA.....	76
III.5.1.- PARAMETROS ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS.....	77
III.5.2.- CORRELACION DE LAS VARIABLES.....	81
III.5.3.- TENDENCIA SUPERFICIAL (TREND SURFACE).....	88
III.5.4.- REPRESENTACION GRAFICA.....	88
III.5.5.- GEOESTADISTICA.....	88
III.6.- DESCRIPCION E INTERPRETACION DE ANOMALIAS.....	103
III.6.1.- ANOMALIAS DE CONJUNTO.....	132
IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	135
BIBLIOGRAFIA.....	138

## RESUMEN.

Con el propósito de complementar las etapas de exploración llevadas a cabo en el área de Tizapa, se decidió utilizar el método de exploración geoquímica de suelos para conocer el reflejo de la mineralización en superficie, debido a que la mayoría se encuentra a profundidad, en forma de mantos y lentos concordantes con la foliación de la roca encajonante, lo cual serviría para localizar la continuidad de los mantos conocidos o la localización de nuevos cuerpos en el área estudiada, así como, para tener un comportamiento geoquímico de multielementos que sirva como comparación en la exploración de nuevas áreas en ambientes geológicos-geomorfológicos similares.

El objetivo fue el de establecer el comportamiento geoquímico de dispersión secundaria de los elementos metálicos más importantes de los yacimientos de sulfuros masivos vulcanosedimentarios de Tizapa y La Esmeralda, en base a los factores geoquímicos, a su comportamiento estadístico y geoestadístico.

El área estudiada se localiza en línea recta a 67 km de Toluca, Méx., -- con dirección S63°W, y a 3.5 km al S34°W del poblado de Zacazonapan, Méx.; al SE del municipio de Zacazonapan y al poniente del municipio de Temascaltepec.

La descripción de la secuencia litológica se hizo en base a la observación de la posición actual (estructural), y no estratigráfica, debido a que se desconoce la edad de las rocas y su posición original, ya que se encuentra enmascarada por el metamorfismo y la deformación que sufrieron la mayoría de las rocas. El metamorfismo varía de facies de esquisto verde a la parte baja de las facies de anfibolita. Las rocas que se encuentran en la base corresponden al augengneis "Arroyo Frío", el cual presenta un metamorfismo de grado medio y polideformación, su protolito fue una roca granodiorítica, y esta sobre yacida por esquistos cuarzo-feldespáticos, siendo su protolito una arenisca -- cuarzo-feldespática, la cual pudo ser una superficie de erosión y marca el inicio del depósito de una secuencia vulcano-sedimentaria, constituida por orden estructural en lutitas negras, lutitas, rocas volcánicas, lutitas negras calcáreas y calizas, esta secuencia fue afectada por un metamorfismo correspondiente a facies de esquisto verde. Las rocas metamórficas se encuentran sobre yacidas por conglomerados y sedimentos lacustres, los cuales fueron cubiertos por derrames de basaltos. Las rocas metamórficas sufrieron cuatro eventos intrusivos formando diques y cuellos volcánicos, los cuales varían en composición de ácidas a intermedias.

El metamorfismo que afectó a las rocas fue en tres eventos, los dos primeros fueron contemporáneos a dos etapas de deformación, y la última corresponde a un metamorfismo retrogrado. Las etapas de deformación corresponden a tres etapas compresionales y una distintiva. La tercera etapa de deformación compresional es post-metamórfica y originó una estructura anticlinal regional.

En el área estudiada existen dos localidades de yacimientos minerales, -- que son Tizapa y La Esmeralda. La mineralización se encuentra encajonada en la secuencia meta-volcano-sedimentaria y se presenta en forma de mantos, lentos, sulfuros bandeados, disseminados y vetillas, constituida principalmente por pirita, esfalerita, calcopirita, galena y en menor cantidad sulfosales, -- pirrotita y arsenopirita. La génesis de la mineralización corresponde a eventos sinécticos (sulfuros masivos vulcanosedimentarios) y pirita sinsedimentaria en lutitas carbonosas) y epigenéticas (por soluciones hidotermales o removilización de sulfuros preexistentes, originando disseminación y vetillas).

El método de exploración geoquímica de suelos se basa en el comportamiento de la dispersión secundaria de los elementos debido a la movilidad de estos, la dispersión es provocada por procesos supergénicos e intemperismo. Las muestras recolectadas de suelo se analizaron por seis elementos que fueron: - Cu, Zn, Pb, Ag, Hg y Ni. Con los resultados del análisis químico se procesaron los datos por el método estadístico de Sinclair, obteniéndose el background de cada elemento, los rangos de las anomalías bajas, medias y altas. - Después se obtuvo la correlación que presentan los elementos, en la cual se observó que solamente el Cu y Zn tienen cierta correlación; asimismo se obtuvieron las gráficas de los datos en tercera dimensión por cada elemento, observándose en estas las zonas anómalas. También se aplicó el método de tendencia superficial de grado tres para obtener la tendencia regional y residual de cada elemento; el valor residual representa los valores anómalos, los que definen zonas de interés. Finalmente se aplicó el método geoestadístico con el cual se obtuvo el rango de correlación de los elementos, así como zonas anómalas, en este método se definió más claramente las zonas anómalas, ya que la geoestadística comprende dos aspectos, el aleatorio y el estructural. De estos análisis se obtuvieron varias zonas anómalas las cuales reflejan a la mineralización conocida (Tizapa y La Esmeralda), y por otra parte se detectaron áreas de interés que pueden contener menas económicas.

## CAPITULO I.- INTRODUCCION.

Las etapas de exploración llevadas a cabo en el área de Tizapa, iniciadas a partir de un proyecto regional llevó a la localización de la mina de Tizapa. En el área existen algunos afloramientos de lentes de sulfuros masivos vulcanosedimentarios (SHV), pero hay zonas de ambientes similares en los que puede existir este tipo de mineralización no aflorante. Dada la necesidad cada vez mayor, de aplicar nuevas técnicas para la exploración de mineralización de interés económico en México, resulta imprescindible su complementación con las ya utilizadas. Los métodos geoquímicos son una herramienta relativamente reciente, con la cual se ha llegado a la localización de yacimientos minerales ocultos.

Teniendo en consideración lo anterior, se planeó utilizar la técnica de geoquímica de suelos en la exploración de este yacimiento, con la finalidad de estudiar el comportamiento geoquímico de dispersión secundaria del mismo, por medio de los mecanismos de dispersión (factores físicos y del ambiente) que influyeron en la migración de los diferentes elementos metálicos. Asimismo se tiene el interés de conocer los alcances del método para aplicarlo posteriormente en la exploración de ambientes geológicos similares del país, y para la localización de la continuidad de los mantos conocidos y de nuevos cuerpos en el área de Tizapa.

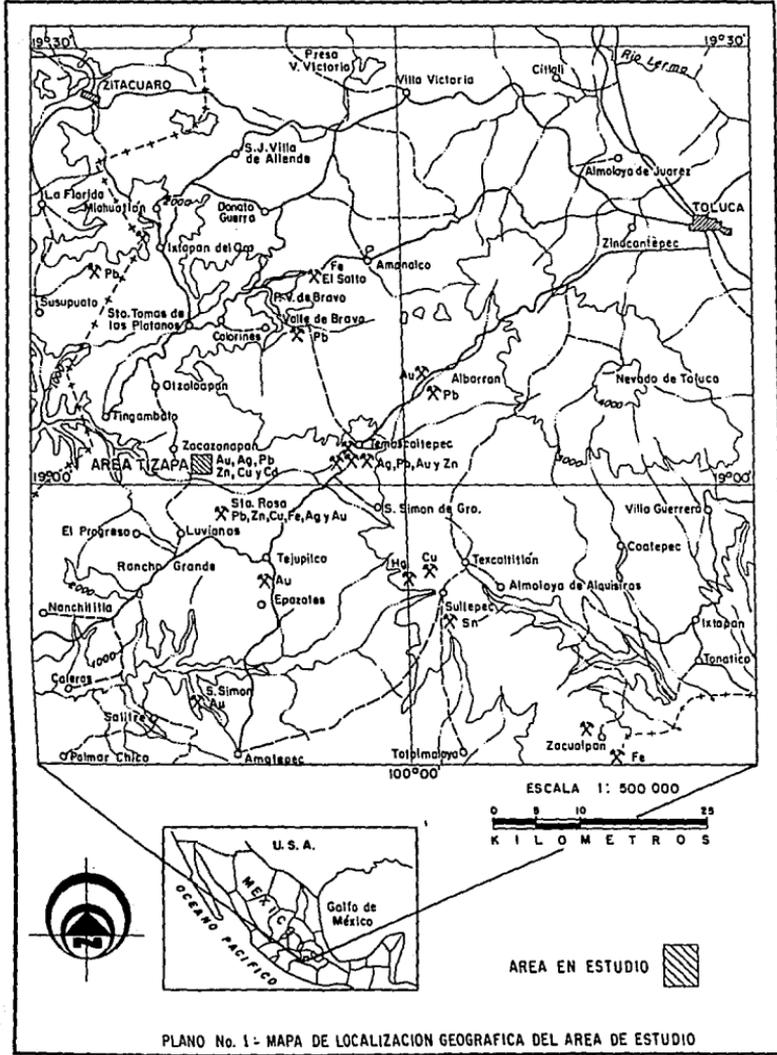
### I. 1.- LOCALIZACION.

El área en estudio se localiza en línea recta a 67 km de la Cd. de Toluca, Méx., con dirección S 63°W, y a 3.5 km al S 34°E del poblado de Zacazonapan, Méx., ubicándose en dos municipios del estado de México, al SE del municipio de Zacazonapan y al poniente del municipio de Temascaltepec (fig. 1).

El camino de acceso al área de estudio se realiza por una desviación de terracería que comunica a Zacazonapan con Temascaltepec, de una longitud aproximada de 22 km, localizándose el área a 5 km de Zacazonapan. Se puede llegar a Zacazonapan por la carretera pavimentada Toluca-Valle de Bravo-Colorines-Su Luapan, de donde se toma una desviación a Zacazonapan, y que cubre un trayecto de 209 km (fig. no. 1, plano de localización).

Una segunda vía de acceso es por la carretera Toluca-Temascaltepec tomando el camino de terracería a Zacazonapan (plano 1), y 5 km antes de llegar al poblado de Zacazonapan se localiza el área en estudio.

Las coordenadas de la mina de Tizapa son 100°14' longitud oeste y 19°02'



PLANO No. 1- MAPA DE LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL AREA DE ESTUDIO

latitud norte.

### 1.2.- OBJETIVO.

El objetivo del presente estudio es el establecer el comportamiento geoquímico de dispersión secundaria de los metales del yacimiento de sulfuros masivos vulcanogenéticos (SMV) de Tizapa-La Esmeralda en base a sus parámetros geoquímicos (movilidad y dispersión de los elementos), a los factores que afectan una dispersión secundaria, y a su comportamiento estadístico. Esto con el fin de utilizarlo como herramienta de prospección en la investigación de la investigación de la posible continuidad de los cuerpos conocidos de SMV -- (mantos y lentes) y la existencia de otros no conocidos, así como también para aplicarlo en la exploración de este tipo de depósitos en ambientes geológicos similares en el país.

### 1.3.- ANTECEDENTES.

En el año de 1977 fue creado dentro del Consejo de Recursos Minerales -- (CRM) el proyecto de exploración regional "Eje Neovolcánico", cuya finalidad principal era la de llevar a cabo la verificación de campo de la interpretación de imágenes de satélite LANDSAT I y II efectuada por Salas (1975), para evaluar el potencial minero de un área de 10,000 kilómetros cuadrados comprendida dentro de la provincia metalogenética Eje Neovolcánico. Esta provincia fue propuesta por Salas (op. cit.), quien la catalogó como tal: "por la incidencia de fenómenos volcánicos explosivos y pasivos a lo largo de esta Faja, implica una relación genética de tectónica continental entre vulcanismo y metalogenia". De esta forma, en el año de 1978 al verificar una zona de interés marcada por el cruce de lineamientos que se manifiestan por el cauce de los ríos Temascaltepec y El Ahogado, se llegó a la localización de un pequeño cuerpo de sulfuros masivos que aflora en el arroyo de Tizapa, en donde existen pequeñas obras de desarrollo minero (socavones), las que fueron trabajadas en intervalos de tiempo discontinuos, siendo la última vez en el año de 1936; con base en lo anterior se hicieron estudios geológicos (regionales y tectonoestratigráficos de detalle) por Parga-Pérez, et al. (1979 a 1984), geofísicos por los métodos TURAM y PI en un área de 4 kilómetros cuadrados, realizado por Hernández-P., (1979). Asimismo, se desarrolló barrención con diamante (perforación de 100 barrenos), estudios metalúrgicos de las menas del socavón Tizapa No. 2 y de algunos barrenos, geoquímica de vapor de mercurio -

en un área de 1 km<sup>2</sup>, por Gutiérrez-Tapia, et al., (1982), y estudios mineralógicos realizados con auxilio de la microsonda electrónica de muestras de los barrenos, por Rubínovich-K. y Gasca-Durán, (1984), con lo cual se obtuvo como resultado el descubrimiento de un yacimiento de sulfuros masivos polimetálicos de tipo vulcanosedimentario.

Dentro del ámbito de la exploración minera del País, el depósito de sulfuros masivos vulcanogénico de Tizapa, es uno de los principales descubrimientos de los últimos años. La existencia de este tipo de depósitos sin evidencias superficiales que los manifiesten es frecuente y debido a su origen sin-sedimentario, son concordantes con la roca encajonante, ocasionando que sean las menas más difíciles de prospectar, debiendo utilizarse métodos indirectos; de estos, algunos métodos geoquímicos han dado resultados satisfactorios en otros países, razón por la cual se programó su aplicación.

La importancia de establecer el modelo geoquímico de dispersión, es el bajo costo que se tiene comparado con otros métodos, además de ser una herramienta que da buenos resultados. Otras técnicas tienen inconvenientes debido a los altos costos, al tipo de yacimiento, la topografía abrupta, el equipo usado y el tipo de roca encajonante (filitas gráficas), siendo estas últimas un problema en la exploración por métodos geofísicos, debido a que llegan a obtenerse falsas anomalías, sobre todo con los métodos eléctricos ya que la presencia del grafito en las rocas provoca interferencias debido a su baja resistividad y alta conductividad, confundiendo con zonas mineralizadas (sulfuros polimetálicos).

#### 1.4.- ESTUDIOS PREVIOS.

Los estudios de carácter regional y local del complejo metamórfico que destacan a partir de 1960 son:

Fries, (1960), publicó un estudio geológico del estado de Morelos y de áreas contiguas del estado de Guerrero (Cuenca Morelos-Guerrero).

Campa-Uganda, M. F., et al., (1974) estudia la secuencia vulcanosedimentaria metamorfozada del área Ixtapan de la Sal-Teloloapan, en la cual considera a la secuencia metamórfica como una sola unidad obteniendo una edad Jurásico Superior-Cretácico Inferior, debido a la presencia de amonitas del grupo *Berberiellidius* y *douvilliceratidos*; posteriormente el mismo autor (et al., 1977) describe la evolución tectónica del área de Valle de Bravo, Méx., e Iguuala, Gro. Posteriormente en 1981, hace referencia a la evolución tectónica de la -

Sierra Madre del Sur; con estas consideraciones y las diferencias estratigráficas existentes, agrupa distintas áreas y características geológicas semejantes en conjuntos de similar estratigrafía y evolución tectónica (terrenos tectonoestratigráficos).

Cserna, Z. de, (1974), afectó estudios geocronométricos de circones obteniendo por el método plomo-alfa una edad Precámbrica para el Esquisto Taxco, en el estado de Guerrero; posteriormente en 1978, publica la geología regional del área denominada Tierra Caliente, y en 1981 y 1983, la geología en las hojas Taxco y Tejupilco a escala 1:100 000 (respectivamente).

Díaz-García, V. M., (1977), hace la descripción del miembro superior de la Formación Esquistos Taxco.

Zamorano-Montiel, G., (1977), estudió los sulfuros masivos vulcanosedimentarios de Rey de la Plata, edo. de Guerrero y las relaciones geológicas -- del yacimiento.

Vecchio-Carranza, M. A., (1978), hace un estudio petrográfico y metalogénico del área Tlanilpa-Azulaquez, el cual describe los diferentes miembros del Esquisto Taxco, considerando uno de los miembros de origen pelítico como horizonte guía.

Colorado-Lievano, D., (1979), cartografía en forma detallada un área de 16 km<sup>2</sup>, la cual queda al SW del área de estudio, y la génesis del yacimiento de SMV de Santa Rosa, Méx.

Garza-González-Vélez, C., *et al.*, (1980) hacen la interpretación de imágenes de satélite, denotando la relación geomorfológica con la mineralización de las áreas de Tejupilco y Zacualpan.

Ellas-Herrera, M., (1981) describe parte de la secuencia meta-volcano-sedimentaria y su evolución metamórfica en la región de Almoloya de las Granadas (a 6 km al SSE de Tizapa).

Ortega-Gutiérrez, F., (1981), estudia los cinturones metamórficos del SE de México (Xolapa, Tierra Caliente, Acatlán y Oaxaqueño), y su significado tectónico.

González-Partida, E., (1982), hace un análisis de la geología y de la mineralización de una parte de la provincia filoniana de Au-Ag Taxco-Guanajuato.

Pérez-González, F., (1982), describe la geología de la zona de Zacualpan y las características de la mineralización del área.

Salas-Castellanos, J. E., (1982), describe la geología de la región Amatepec-Tlatlaya, edo. de México.

Mendoza-Flores, A. A., (1983), propone la evolución geológica del área - sur de Amatepec, edo. de México.

Oropeza-Ortiz, C., (1983), realizó un estudio geológico y geoquímico de suelo de la zona de vetas de Zacualpan.

Montes-Napoles, J. V. S., (1984), realizó un estudio geológico del área Namatla-Tlanilpa enfocándolo a la relación con los yacimientos que existen en la región.

Moran-Zenteno, D., (1984), realizó una compilación de los trabajos más - importantes realizados en la región, en el cual analiza y complementa en parte lo que han escrito del área. El trabajo geológico realizado es de toda la República Mexicana.

Montero-Urrusquieta, R., (1985), describe la geología y las obras mine- ras comprendidas entre Zacazonapan-Temascaltepec.

Los trabajos geológicos realizados en el área se enfocaron como se men- cionó antes, a determinar el control stratigráfico y estructural de la misma, y a la cartografía geológica de detalle, así como las características del ya- cimiento que lo definen como un SMV (Parga-Pérez, 1980, 1981; Parga-Pérez, et al., 1980 a 1983; Rodríguez-Salinas, 1982).

El método de prospección geofísica usado fue el TURAM, obteniéndose va- rias anomalías falsas, ya que al barrenar no se encontró ningún cuerpo minera lizado, estas anomalías se pueden deber a la presencia de grafito en las ro- cas, (Hernández-P., 1979).

Posteriormente con base en los datos geológicos obtenidos, se programó - un estudio geoquímico por el método de vapores de mercurio (Gutiérrez-Tapia, et al., 1982), cubriendo un área de 2.69 km<sup>2</sup>. En este estudio se configuraron diferentes anomalías de importancia, las cuales se relacionaron con la exis- tencia de mantos de SMV.

#### 1.5.- METODO DE TRABAJO.

El trabajo realizado para la elaboración de la presente tesis, se divi- dió en varias etapas que fueron:

- 1) Compilación y análisis de la información existente del área de estudio y - de las regiones aledañas.
- 2) Tomando como base un mapa geológico escala 1:2 000 elaborado por Parga-Pé- rez, et al., (1984), se programó un levantamiento geoquímico sobre una malla de muestreo de suelos con líneas N-S equidistante 50 m de separación entre ca

da una de ellas, la malla tiene una longitud de 1,250 m de largo y de ancho - 900 m; el área total es de 1.125 km<sup>2</sup>. Las muestras de suelo se recolectaron - en el horizonte B a cada 50 m de distancia, omitiéndose de muestrear la cu- - bierta de suelo de los basaltos de la Mesa de Tizapa. El muestreo fue realiza- do por una brigada del Consejo de Recursos Minerales (CRM).

3) Se realizaron varias visitas al área para obtener datos geológicos, fisio- gráficos, vegetación, etc., complementarios al levantamiento geoquímico. Con dicha información se obtuvieron diferentes parámetros a considerar en el mode- lo, los cuales se tratan como variables. Estos parámetros son algunos facto- res que intervienen en la formación del suelo y en la dispersión secundaria.

4) Las muestras fueron analizadas por Ag, Pb, Zn, Cu, Ni y Hg por el método - de absorción atómica en el laboratorio del CRM en la Cl. de México.

5) Se hizo la evaluación de los resultados de laboratorio determinando los va- lores más dispersos y erráticos (muy altos), de los cuales se verificó su re- lación en el campo.

6) Análisis estadístico y geoestadístico de los datos de laboratorio para ob- tener las zonas de anomalías y la relación entre las diferentes variables uti- lizadas (elementos), considerando a los diferentes factores físico-químicos - que pueden influir en los resultados (formación de suelo, clima, vegetación, etc.). Estos análisis se efectuaron primero por estadística descriptiva en la cual se obtuvieron los valores de fondo (background), umbral (threshold), y el límite de las anomalías. Posteriormente por estadística inferencial se obser- varon las relaciones entre las diferentes variables. También se realizó un - análisis geoestadístico para observar el comportamiento espacial de los ele- mentos químicos, así como la graficación de los datos químicos en tercera di- mensión. Con esta información se observó el comportamiento geoquímico de la - dispersión de los yacimientos.

7) Localización de las anomalías geoquímicas y su correlación con los barre- nos realizados por el CRM, principalmente los que cortaron cuerpos de SMV.

8) Interpretación de los datos en conjunto, para la obtención del modelo geo- químico de dispersión secundaria en el área, conjuntando todas las caracterís- ticas geológicas, fisiográficas, etc., así como los resultados de barrenación.

#### I.6.- FISTIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA.

La zona de estudio se encuentra ubicada en el límite meridional de la -- provincia fisiográfica denominada "Eje Neovolcánico", y cerca del borde sep-

tentrional de la subprovincia llamada "Cuenca del Balsas-Mexcala", de la provincia fisiográfica de la "Sierra Madre del Sur" (Raiz, 1959).

El Eje Neovolcánico se caracteriza por la actividad volcánica que se desarrolló durante el Cenozoico Superior; con lo anterior el relieve predominante está constituido por aparatos volcánicos, los cuales emitieron una gran variedad de rocas volcánicas calcoalcalinas, existiendo también derrames de fisura basálticos que cubrieron extensas planicies, que al sufrir procesos de erosión en zonas de fracturas o contactos, dieron origen a las actuales mesetas. "La actividad volcánica en esta franja ha dado lugar a un gran número de cuencas endorreicas con el consecuente desarrollo de lagos", (Moran-Zenteno, 1984). Los derrames volcánicos cubrieron una topografía que cambió drásticamente el drenaje hasta entonces desarrollado, por lo que esta actividad también tiene una relación directa con la formación de suelos, el drenaje superficial y subterráneo. La erosión fluvial se manifiesta por el desarrollo de barrancas, siendo esto característico del relieve volcánico con lluvias de temporada (Lugo-Hubp, 1984).

La fisiografía de la subprovincia Cuenca Balsas-Mexcala está controlada por rocas plegadas y afalladas, en su mayoría de edad Mesozoica, que dan origen a sierras y valles, los cuales son de diferentes dimensiones, existiendo en algunos casos escarpados cañones (Ordoñez, 1946). A causa de las fuertes pendientes existe poco desarrollo de suelo. En esta subprovincia predominan las rocas sedimentarias de posible edad Mesozoica, aunque se pueden observar también rocas ígneas intrusivas como extrusivas de edad Cenozoica, estas últimas llegan a formar serranías (Sierra de la Goleta, etc.), y rocas metamórficas de edad precretácicas.

Las características geomorfológicas en relación con la distribución de los yacimientos minerales del área en estudio, fueron interpretadas por Garza-González-V., *et al.*, (1980) de la imagen de satélite N-6 (LANDSAT-2), "en primer término se marcaron en las imágenes de satélite, aquellos entornos o rasgos geomorfológicos notables que se hallen delimitando ambientes geológicos generales. Asimismo, se limitaron los rasgos estructurales más sobresalientes, en donde se conformaron las depresiones de Tejupilco y Zacualpan; rasgos que se encuentran controlando la disposición de los tipos de yacimientos". La mineralización de mayor importancia ocurre hacia las márgenes o zonas de levantamiento de estos rasgos, guardando un control de distribución con respecto al contorno de la configuración de los límites geomorfológicos -

mencionados.

Es importante indicar el alcance que pudiesen tener las observaciones de imágenes de satélite, como una herramienta para definir paleoestructuras regionales. Los rasgos inferidos de este tipo son propios del ambiente geológico que prevalece en este sector del complejo metamórfico, siendo su relación de configuración muy objetiva, con respecto a la distribución de los depósitos, (Garza-González-V., et al., op. cit.).

En el área en estudio la geomorfología está gobernada por la relación -- discordante que guardan las rocas metamórficas con los derrames de basaltos y conos volcánicos, asociaciones típicas del Eje Neovolcánico en la región. Las rocas metamórficas antes de la actividad volcánica del Cenozoico, quedaron -- expuestas a procesos de erosión, por lo que afloraron algunos mantos de SMV - (barreno T#19). Posteriormente parte de estas rocas fueron cubiertas por un conglomerado constituido por fragmentos de rocas metamórficas y rocas volcánicas del Terciario; sobreyaciendo al conglomerado se depositaron sedimentos lacustres. Finalmente, la región fue afectada por la actividad volcánica calcoalcalina que dió origen al Eje Neovolcánico, (fotografía 1).

#### I.6.1.- OROGRAFIA.

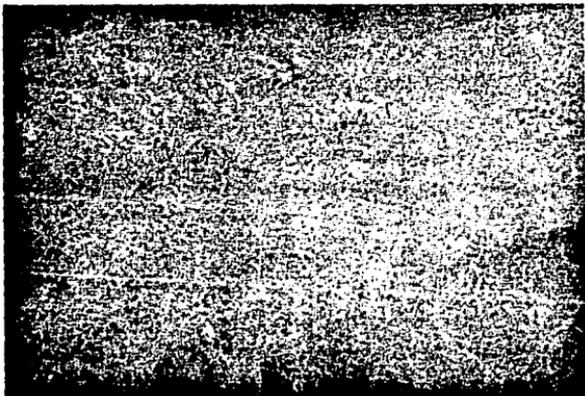
En general las pendientes de las montañas no son muy pronunciadas a excepción de las zonas de cañadas, en las que se pueden observar pendientes -- acentuadas y algunos escarpes. La barranca formada por el Río Temascaltepec -- es la más profunda y llega alcanzar diferencias altimétricas de hasta 600 m -- entre el fondo de la misma y la cima de algunas elevaciones montañosas que la rodean.

En la región existen varias mesetas formadas por basaltos (Mesa de Tizapa, Potrero de Tenayac, etc.), siendo estas las zonas más planas de la región, aunque en algunas se aprecian lomeríos. En las cercanías de Zacazonapan existe un cono cinerítico (Cerro Pelón). Las mesetas son cortadas por los arroyos, dando origen a los escarpes.

La región de la Sierra de La Pila es la más característica, siendo otro rasgo fisiográfico importante La Sierra del Sauz, ya que es la máxima elevación topográfica del área, ubicándose al sur del Río Temascaltepec.

#### I.6.2.- HIDROGRAFIA.

La zona está comprendida en la cuenca del Río Balsas, siendo el sistema



FOTOGRAFIA No. 1. Relaciones geomorfológicas de la Mesa de Tizapa, constituida de basaltos sobreyaciendo a la secuencia meta-volcano-sedimentaria.



de drenaje dendrítico, y en general intermitente, teniendo en época de lluvias un fuerte caudal. En el área existen algunos manantiales, por lo que el arroyo denominado "El Ahogado" lleva agua todo el año, siendo el principal del área en estudio. Los arroyos tienen fuertes pendientes y en algunos casos existen saltos de hasta 40 m.

En la parte norte del área de Tizapa se unen al arroyo "El Ahogado" varios arroyos, para finalmente desembocar en el Río Temascaltepec, que junto con el Río Tilostoc forman el Río Tuzantla, afluente del Río Balsas.

Los manantiales se localizan al oriente de la meseta de Tizapa en el contacto de los basaltos (que constituyen una formación muy permeable) con las rocas metamórficas, que son relativamente impermeables.

### 1.6.3.- CLIMA Y VEGETACION.

El clima de la región es cálido con época larga de secas y lluvias principalmente en verano y parte del otoño (Av, según García, 1964), siendo subhúmeda con precipitación anual media promedio de 830.9 mm. La temperatura media anual es de 18 a 22 grados centígrados, el mes más frío es Enero, con temperaturas cercanas a los 12 grados centígrados (Rzedowski, 1981).

La vegetación se encuentra integrada como mosaico, existiendo tres tipos mayores diferentes, los cuales son: bosque de encinos, selva baja caducifolia y bosque ripario, pero también existe vegetación secundaria.

El bosque de encinos es subperenifolio de hoja ancha, y se localiza principalmente en zonas donde esta el augengneis, y el suelo en este tipo de bosque es generalmente de reacción ácida moderada (pH 5.5 a 6.5, Miranda, 1963).

La selva baja caducifolia esta compuesta de grupos como las leguminosas y los mezquites, además de encontrar representantes de los géneros Burcera, Ceiba, Opuntia y Ficus. En las zonas de cañadas existen plantas trepadoras, así como, epífitas de las familias Bromeliaceae y Orchidaceae.

El bosque ripario o selva de galería esta dominado por los géneros Taxodium (ahuehuate), Salix (sábino) y la especie Psidium sartorianum (arrayán), y se distribuye en la parte baja de las cañadas, donde el agua es permanente. Además existen algunos representantes de la familia Agavaceae creciendo sobre los taludes y escarpes que forman las paredes de las cañadas.

La vegetación secundaria de la selva baja caducifolia esta caracterizada por abundantes leguminosas como el huizache, o por pastizales. La zona ha sido frecuentemente perturbada (talada y pastoreo), por lo que este tipo de ve-

getación predomina, notandose sobre todo en la meseta de basalto, en donde se taló toda la selva.

En la selva baja caducifolia el suelo esta poco desarrollado, y es de na  
turaleza pedregosa, con drenaje de penetración regular. En cambio en los enci  
nares, al parecer el drenaje es de superficial a mediano, propiciando esto un  
mayor desarrollo de suelo.

## CAPITULO II.- MARCO GEOLOGICO.

## II.1.-BOSQUEJO GEOLOGICO REGIONAL.

El contexto geológico regional donde se ubica el área, está basado en el propuesto por Ortega, (1981), quien lo denomina informalmente "Complejo Tierra Caliente", en el cual la mayoría de las rocas expuestas son metamórficas. Este Complejo se localiza en la parte centro-septentrional del estado de Guerrero, extendiéndose hasta parte de los estados de México y Michoacán, y está constituido por una secuencia vulcanosedimentaria afectada por metamorfismo de bajo grado (facies de esquisto verde), siendo las rocas premetamórficas lutitas, lutitas carbonosas, grauvacas tobáceas, andesitas, felsitas, y algunas calizas. Esta secuencia metamórfica tiene en algunas partes una cobertura mesozoica (Teloloapan, Taxco, etc.) o cenozoica (Sierra de la Goleta, Tizapa, etc.). Las rocas mesozoicas en ocasiones están sobreyacidas por rocas cenozoicas.

La edad del complejo metamórfico está en controversia, debido a la discrepancia de interpretación, ya que la existencia de fósiles es escasa y las edades radiométricas existentes presentan el problema de un rango sumamente amplio. Algunos autores lo consideran de diferente edad: Aptiana (Burckhardt, 1930, referencia obtenida de Ortega, op. cit., con base en que se localizaron amonitas de esta edad, en la región de Campo Morado); Campa (et al., 1974) obtiene una edad Jurásico Superior-Cretácico Inferior con base en amonitas de las familias beriaselidids y douvilliceratidos, denominando la "secuencia vulcanosedimentaria de Ixtapan de la Sal, Méx.-Teloloapan, Gro."; Fries (1960) divide a esta secuencia en dos grupos: Esquistos Taxco en la base (considerando la el basamento), y en la cima Roca Verde Taxco Viejo la considera de edad Triásica, por encontrarse discordantemente con las unidades que la sobreyacen y la subyacen; Cserna, et al. (1974), por estudios geocronométricos de circones obtuvo una edad Precámbrica por el método plomo-alfa para el Esquisto Taxco, en el Estado de Guerrero, pero posteriormente, en 1982 por determinaciones isotópicas del argón que aflora al suroriente de Zacazonapan, Méx., le da una edad Paleozoica Tardía correspondiente al Esquisto Taxco, y a la Formación Roca Verde Taxco Viejo una edad Triásico Tardío-Jurásico Superior por semejarse con rocas de las cercanías de la ciudad de Zacatecas (Burckhardt y Scalia, 1906, referencia obtenida de Cserna, Z. y Fries, C., Jr., 1981; Elías-Herrera (1981) y Parga-Pérez (1981) basándose en estudios geoló-

gicos y petrográficos de detalle marcan diferencias entre las dos unidades, - por lo que consideran a la secuencia metamórfica de edad Prejurásica.

Este complejo metamórfico esta en contacto discordante con rocas marinas de edad Cretácica que le sobreyacen, las cuales varían de rocas detríticas a químicas, agrupándose en diferentes formaciones que son de la base a la cima: Formación Acuitlapan (calizas y lutitas), Formación Xochipala (dividiéndose - en dos miembros, el inferior constituido por rocas volcánicas andesíticas y - andesítico basáltico; y el miembro superior que consta de calizas laminadas y lutitas), Formación Arcelia (a esta formación también se le conoce como Forma ción Mal Paso, constituida por lutitas silíceas, con limolitas y grauvacas, - con algunos intervalos de calizas). La secuencia de rocas mesozoicas esta sobreyacida por rocas cenozoicas de ambiente continental, siendo la Formación - Balsas (brechas, conglomerados, areniscas, arcosas, limolitas, tobas y derrames andesíticos y basálticos) la que marca el fin de depósitos marinos y el - inicio del depósito continental. Durante el Terciario existe una gran actividad volcánica que da origen a rocas con una amplia variación litológica que - va desde riolitas a andesitas basálticas, intercaladas con abundante material piroclástico, y durante el Cuaternario se manifiestan conos cineríticos y derrames basálticos que sobreyacen indistintamente al Esquisto Taxco (Cserna, - 1982), y a las rocas mesozoicas y terciarias. También existen rocas intrusivas de diferente composición que varían de máficas a félsicas, con edades que van de mesozoicas a cenozoicas.

## II.2.- LITOLOGIA DEL AREA.

La descripción de las diferentes unidades litológicas que afloran en el área en estudio está basada en los trabajos realizados por Parga-Pérez, J.J., et al. (1980, 1983), Parga-Pérez, J. J., (1980, 1981), y Rodríguez-Salinas, J. (1982). Estas unidades se describirán en la posición estructural actual, de - la base a la cima, debido a la complejidad del área y a la falta de precisión en el fechamiento de la secuencia metamórfica, ya que el metamorfismo y las deformaciones que existen enmascaran su posición y relaciones estratigráficas reales, por lo que la secuencia normal pudo haber sido invertida, repetida, - etc., antes del metamorfismo por eventos tectónicos. Por otro lado Parga-Pérez, J. J., et al., (1980), argumenta que "las unidades de roca que aquí se - describen no necesariamente indican diferencias litológicas premetamórficas,

ya que algunas diferencias mineralógicas en las que se ha basado dicha división puede ser de origen metamórfico debido a variaciones en el gradiente geotérmico, disponibilidad de fluido, etc., durante el metamorfismo, o bien a cambios debido a procesos de metamorfismo regresivo", por lo que no se puede precisar la ubicación de las unidades en la escala del tiempo.

La mayoría de las rocas expuestas en el área de estudio (Tizapa) son metamórficas, variando de facies de esquistos verde a la parte baja de la facies de anfibolita (tabla 1). Otra parte de las rocas expuestas en el área están constituidas por rocas ígneas extrusivas e intrusivas, y son cubiertas por sedimentos lacustres y aluvión, (fig. II.1).

#### AUGENGNEIS ARROVO FRÍO (Agn).

A esta unidad se le ha designado con el nombre informal de "Augengneis - Arroyo Frío" (Parga-Pérez, *et al.*, 1980), siendo rocas con metamorfismo de grado medio que afloran en el área de Tizapa. Esta roca aflora en la parte SE (plano no. 3), en el arroyo del Ahogado, cerca de su confluencia con el arroyo de Tizapa.

La unidad se encuentra estructuralmente en la parte más baja de toda la secuencia metamórfica y puede ser la más antigua de la secuencia, por lo que se podría considerar como el basamento. Su espesor es desconocido, ya que su base no está expuesta y su cima está erosionada. Sobre esta se depositó una arenisca impura en parte conglomerática, la cual se metamorfizó, y actualmente se presenta como esquistos cuarzo-feldespático, iniciándose con esta última el depósito de la secuencia metavolcano-sedimentaria. Cabe señalar que sobre el cauce del arroyo "El Ahogado" donde aflora el augengneis se observa un contacto con los esquistos de clorita por fallamiento normal.

El augengneis es una roca compacta de color gris claro, que al intemperizarse adquiere una coloración ocre, teniendo abundancia de porfiroclastos de feldespatos potásicos, plagioclasas y cuarzo, estando estos en forma de ojos, rodeados por una matriz en bandas de filosilicatos y cuarzo. Ocasionalmente se presentan dentro de esta roca algunas inclusiones de color gris oscuro, que aparentemente "corresponden a fragmentos de una roca originalmente ígnea intrusiva de grano medio (metaxenolitos), también cabe la posibilidad de que se trate de segregaciones de origen magmático", (Parga-Pérez, *op. cit.*).

Otra característica estructural de esta unidad, es la presencia de un cruceo plisante que demuestra polideformación en la roca.

TABLA 1.- UNIDADES LITOLÓGICAS DE LA SECUENCIA METAMÓRFICA DE TIZAPA

## SECUENCIA META-VOLCANO-SEDIMENTARIA

## METACALIZAS (cúma estructural).

Calizas recristalizadas con variaciones a calizas arcillosas recristalizadas con horizontes de metapelita.

## FILITAS GRAFITICAS CALCAREAS.

Filitas grafiticas calcáreas con variaciones a filitas de grafito-sericita y filitas sericíticas.

## META-RIOLITA LAS HUERTAS.

Meta-riolita (esquistos de muscovita).

## ESQUISTOS DE TRENOLITA/ACTINOLITA.

Esquistos de tremolita/actinolita con abundantes bandas de cuarzo de segregación.

## ESQUISTOS DE BIOTITA.

Esquistos de biotita con textura porfidoclastica a esquistosa.

## ESQUISTOS DE CLORITA-MUSCOVITA.

Esquistos de clorita-muscovita.

## ESQUISTOS DE MUSCOVITA.

Esquistos de muscovita.

## ESQUISTOS DE CLORITA.

Esquistos de clorita.

## FILITAS GRAFITICAS.

Filitas grafiticas con cuarzo de segregación.

## ESQUISTOS CUARZOFELDESPÁTICOS.

Esquistos cuarzofeldespáticos que presentan variaciones texturales premetamórficas de conglomerática en la base, a una arenisca de grano muy fino en la -- cúma.

## AUGENGNEIS ARROYO FRIO.

Augengneis de naturaleza milonítica.

## COLUMNA LITOLÓGICA DE TIZAPA-LA ESMERALDA



- Aluvión.
- Basaltos y tobas.
- Sedimentos lacustres y conglomerado.
- Riolita fluidal.
- Diques andesíticos.
- Diques felsíticos.
- Diques ácidos caolinizados.
- Metacalizas.
- Filitas graffíticas calcáreas.
- Metarriolita "Las Huertas".
- Esquistos de tremolita/actinolita.
- Esquistos de biotita.
- Sulfuros masivos vulcanosedimentarios
- Esquistos de clorita-muscovita.
- Esquistos de muscovita.
- Esquistos de clorita.
- Filitas graffíticas.
- Esquistos cuarzo-feldespáticos.
- Augengneis "Arroyo Frío".

Secuencia Meta-volcano-sedimentaria

FIGURA 11.1.  
Modificada de Parga-Pérez y Rodríguez-Salinas.

El augengneis es de naturaleza milonítica, puesto que los grandes cristales de feldespato y cuarzo son "porfidoclastos" que sobrevivieron a la crenulación responsable de la estructura que presenta la matriz que rodea los porfidoclastos (ojos), (Parga-Pérez, 1981). En láminas delgadas se observan porfidoclastos de microclina, peritita y cuarzo que están dispuestos con sus ejes mayores paralelos a bandas de biotita (generalmente cloritizada con la forma de peninita), muscovita y fengita, alternando con bandas de plagioclasa sodíca, feldespato potásico y cuarzo. En menor abundancia y en forma diseminada se tiene albita, piritita de grano fino, apatita, zircón, magnetita, hematita, epidota en plagioclasas, esfena; como minerales secundarios se presumen arcillas, limonita (rellenando diminutas fracturas y como pequeñas costras) y sericita (en la matriz, en los bordes de diminutas fracturas de los feldespato- -tos), (Dana, 1973; Foucault, A. y Raoult, J. F., 1985).

Las bandas (matriz) están dispuestas en forma paralela a los planos de cizalla definiendo la foliación  $S_1$ . La foliación  $S_1$  a su vez se encuentra microplegada y microañallada, con desarrollo de bandas de filosilicatos paralelos a los planos de falla, originando una segunda foliación  $S_2$  (Rodríguez-Salinas, 1982). Esta segunda foliación va acompañada de un segundo evento metamórfico de bajo grado, que desarrolló filosilicatos a lo largo de los planos de falla, cortando a la foliación  $S_1$  y originando un crucero plizante.

"Las micas blancas (muscovita y fengita) se han originado en dos etapas de metamorfismo, la primera paralela a la foliación  $S_1$ , con rumbo NW-SE y se inclina al NE; y las segundas paralelas a la foliación  $S_2$ , con rumbo NE-SW y con una inclinación al NW" (Rodríguez-Salinas, op. cit.).

La paragénesis determinada por el estudio microscópico biotita-muscovita-cuarzo-microclina-plagioclasa Na, indican que el metamorfismo alcanza un grado medio (parte baja de las facies de anfíbolita).

Un tercer evento de metamorfismo reconocido, corresponde a una retrogresión del mismo, durante el cual la biotita sufrió un proceso de cloritización e inclusive la degradación llegó hasta hematita, y algunas microclinas, perititas y plagioclasas inician su transformación a epidota y sericita, (Parga-Pérez, op. cit.).

El origen propuesto por Parga-Pérez, (1981) es "de acuerdo con las observaciones de campo, estudios petrográficos y composición química (tabla no. 2), el autor propone a estas rocas como un ortoaugengneis de composición granodiorítica emplazado anteriormente al depósito de la secuencia volcánico-sedimenta-

TABLA 11.2.- Análisis químico de algunas unidades de la secuencia metamórfica de Tizapa, Zacazonapan, México, (por Parga-Pérez, 1981).

MUESTRA	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	67.10	68.40	65.97	75.00	66.88	74.57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.22	13.15	15.97	10.00	15.66	12.58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.90	0.60	2.00	0.90	1.33	1.30
FeO	3.52	4.50	2.70	0.60	2.59	1.02
MgO	2.79	2.60	2.18	2.50	1.57	0.11
CaO	2.23	1.80	2.59	0.31	3.56	0.61
Na <sub>2</sub> O	3.05	2.05	2.97	4.00	3.84	4.13
K <sub>2</sub> O	3.46	3.90	1.98	6.00	3.07	4.73
H <sub>2</sub> O <sub>p</sub>	0.72	0.20	0.25	0.59	—	0.66
H <sub>2</sub> O <sub>m</sub>	—	1.00	3.07	—	—	—
TiO <sub>2</sub>	0.48	0.58	—	0.04	0.57	0.17
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.17	1.20	0.08	0.06	0.65	0.07
MnO	0.08	0.09	—	—	0.07	0.05
ZrO <sub>2</sub>	0.25	—	—	—	—	—
SO <sub>3</sub>	—	—	0.24	—	—	—
F	0.03	0.03	—	—	—	—
CO <sub>2</sub>	—	0.24	—	—	—	—
SUMA	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
NORMA C.T.P.V. (NORMALIZADA A 1002)						
cz	23.758	31.716	26.430	32.384	21.900	31.100
c	4.206	5.557	4.731	—	—	—
z	0.372	—	—	—	—	—
or	20.443	23.042	11.698	35.450	18.300	27.800
ab	25.795	17.338	23.547	18.029	32.500	35.100
an	3.419	—	12.323	—	16.400	2.000
th	—	—	0.426	—	—	—
ac	2.603	1.736	5.785	2.603	—	—
ns	5.317	3.578	3.953	2.990	—	—
wo	—	—	—	0.478	—	0.100
en	6.946	6.319	5.427	6.224	3.900	0.300
fs	5.819	7.471	4.957	1.036	2.900	0.600
il	0.912	1.102	—	0.076	1.100	0.300
ap	2.771	2.843	0.190	0.142	0.500	0.200
cc	—	0.393	—	—	—	—
mg	—	0.129	—	—	1.900	1.900

NOTA: 1: Augengneis Arroyo Frio (TQ-1)  
 2: Augengneis Arroyo Frio (TQ-2)  
 3: Esquistos de Biotita (TQ-9)  
 4: Metafelsita La Pila (TQ-5)  
 5: (Nockolds, 1954) granodiorita promedio  
 6: (Nockolds, 1954) riolita alcalina promedio  
 Análisis químicos hechos en el laboratorio química del C.R.M.  
 bajo la dirección del Dr. L. de Pablo G.

ria metamorfoseada de Tizapa".

En cuanto a la edad de esta roca Cserna, (1983) expone que "Por determinaciones isotópicas preliminares hechas en la Universidad de Columbia Británica en Canada (por el Dr. R. L. Armstrong) del augengneis que aflora en el fondo de la barranca de uno de los pequeños afluentes del Río Temascaltepec - al suroriente de Zacazonapan. Sus resultados actuales permiten visualizar una edad paleozóica tardía para esta roca, y que el cese de las condiciones metamórficas en el área tuvo lugar durante el Eoceno". Estas rocas que se dataron corresponden al augengneis Arroyo Frío.

#### ESQUISTOS CUARZOFELDESPÁTICOS (Eqf).

El esquisto cuarzofeldespático aflora al SE del área en estudio, en los arroyos de Tizapa y el Ahogado (plano no. 3), y sobreyace al Augengneis Arroyo Frío en aparente discordancia erosional. En el arroyo de Tizapa estos esquistos son sobreyacidos en forma concordante y gradual por las filitas graffíticas, siendo estas últimas un miembro (litosoma) de la secuencia meta-volcano-sedimentaria.

El espesor de esta unidad es aproximadamente de 120 m (Parga-Pérez, --- 1981).

Es una roca de color gris claro, que al intemperizarse adquiere una coloración ocre, es compacta, y sus rasgos estructurales son la presencia de foliación y la formación de pliegues isoclinales y asimétricos. Presenta rasgos texturales premetamórficos, los cuales son variaciones texturales del tamaño de grano que, varía de conglomerático en la base a una arenisca de grano muy fino en la cima. Su textura metamórfica corresponde a un esquisto donde se -- aprecian cuarzo, feldespatos y micas, los dos primeros en forma de ojos que -- aumentan de tamaño hacia la parte inferior de la unidad.

En láminas delgadas de esta roca se puede observar una textura esquistosa formada por bandas orientadas de cuarzo, feldespatos y micas (muscovita y fengita), y ocasionalmente textura granoblástica inequigranular constituida -- esencialmente por granos recrystalizados de cuarzo y algunos feldespatos, que casi han perdido su naturaleza original clástica sin orientación alguna, el -- cuarzo presenta extinción ondulante, y algunos de los cristales xenoblásticos, originados a partir de cuarzo detritico por recrystalización, están alargados formando bandas orientadas paralelamente con los filosilicatos. La microclina y micropertita exhiben una extinción ondulante; estas se representan en gra--

nos subredondeados derivados precisamente del augengneis, pudiendo observar gran similitud entre los feldespatos del augengneis y los de esta roca (Parga Pérez, 1981). La paragénesis cuarzo+muscovita+microclina+albita se ubica en la subfacies de biotita, de la facies de esquisto verde (Tabla IX-3).

Las micas cuando son abundantes están dispuestas en bandas rodeando al cuarzo y a los feldespatos, y al ser escasa se distribuye sin orientación.

El metamorfismo regresivo se manifiesta en estas rocas por una incipiente sericitización de los feldespatos y manchas de hematita en la microclina, que aparentemente fueron derivadas de biotita que estuvo como huésped en los porfiroclastos del augengneis y que ha degradado hasta hematita pasando por clorita, (Parga-Pérez, op. cit.).

Con respecto a la génesis de esta unidad, se infiere que se originó por metamorfismo regional a partir de una arenisca cuarzo-feldespática, a su vez producto de la erosión de una roca ígnea intrusiva cuarzo-feldespática, sepultada rápidamente antes de sufrir cambios químicos considerables. Posteriormente, estas areniscas sufrieron los efectos de un metamorfismo regional del grado medio (parte baja de la facies de anfíbolita) y se transformaron en un esquisto cuarzo-feldespático con intercalaciones de cuarcita feldespática hacia la base, (Parga-Pérez, 1980).

Esta unidad marca el inicio (transición) del depósito de la secuencia -- vulcano sedimentaria metamorfizada.

#### SECUENCIA VOLCANO-SEDIMENTARIA METAMORFIZADA.

En este trabajo se agrupan varios litosomas (Bates, R. L. and Jackson, - J. A., 1980) de rocas metamórficas de diferente origen y composición mineralógica. Esta secuencia está constituida por filitas grafiticas, esquistos de muscovita, esquistos de clorita, esquistos de clorita-muscovita, esquistos de tremolita/actinolita, filitas grafiticas calcáreas y metacalizas, las cuales por la relación que guardan entre sí denotan un ambiente premetamórfico correspondiente a una secuencia vulcano-sedimentaria (depósitos compuestos en parte de material volcánico y en parte de sedimentos marinos; Foucault, A. y Raoult, J.-F., 1985). Esta secuencia alberga los depósitos de sulfuros masivos vulcanogénicos en forma concordante con los litosomas de filitas grafiticas, esquistos de muscovita, esquistos de clorita y esquistos de clorita-muscovita; la mayoría de los sulfuros están encajonados en estos litosomas, pero también se encuentran mantos de sulfuros en sus contactos.

Con el análisis de los perfiles geológicos realizados por el personal -- del Proyecto Rocas Metamórficas del C.R.M., a partir de la barrenación con -- diamante, se observa que existen repeticiones de los diferentes litosomas que constituyen la secuencia, los cuales se encuentran sobreyaciéndose indistintamente; a excepción del litosoma de metacalizas el cual es subyacente por filitas grafiticas calcáreas teniendo un contacto gradual que indican la cima de la secuencia vulcanosedimentaria metamorfozada. Las repeticiones pueden deberse a las características del ambiente de depósito, ya que se presentan variaciones texturales y de composición, por lo que corresponde con diferentes protolitos, los cuales pueden estar relacionados por interdigitaciones, intercalaciones y cambios graduales, lo que podría definir una serie heterópica (conjuntos sedimentarios contemporáneos en los que las facies son muy diferentes unas de otras; Foucault, A. y Raoult, J.-F., 1985). Estas características fueron modificadas por eventos tectónicos cambiando la posición de los diferentes litosomas, variando su espesor y su posición estratigráfica (ya que por fallamiento y plegamiento puede existir repeticiones u omisiones, o bien, puede haber inversión en la secuencia); aunado a esto, el metamorfismo enmascara estructuras y características de los protolitos y sus relaciones estratigráficas.

Las rocas sedimentarias varían de pelíticas grafiticas en la base, a calcáreas hacia la cima, las rocas ígneas varían de composición félsica a máfica (ver columna litológica tentativa, fig. II.1.).

#### FILITAS GRAFITICAS (Fg).

Las filitas grafiticas afloran en el área de la mina de Tizapa, a lo largo del arroyo de Tizapa, y cerca del arroyo El Ahogado en la parte centro, y al sur y SW del área en estudio (plano no. 3). En la localidad de la mina de Tizapa se pueden observar lentes de SMV encajonados en las filitas, y en algunas zonas cercanas a la mina, se han observado manifestaciones superficiales de mineralización. Los litosomas se presentan en forma de grandes lentes cuyo contacto con los esquistos de clorita frecuentemente es gradual. Algunos litosomas de estas filitas sobreyacen al esquisto cuarzo-feldespático, siendo este contacto concordante y gradual, pudiéndose observar claramente en el lecho de los arroyos de Tizapa y El Frío.

La filita grafitica es una roca foliada poco compacta de color negro que en superficie intemperizada adquiere un color gris terroso y ocre oscuro, --

tornándose muy deletneable. Presenta una textura esquistosa en la cual se reconoce grafito, cuarzo, pirita, óxidos de hierro y abundantes filosilicatos que le dan como propiedad a la roca un lustre satinado sobre los planos de esquistosidad, en los que se ha observado que la textura esquistosa bien desarrollada coincide con la foliación  $S_1$  y en ocasiones con la foliación  $S_2$ . Algunos litosomas presentan estructuras de pliegues isoclinales, y abundante cuarzo de segregación.

En láminas delgadas se reconoce grafito, muscovita (sericita), clorita, biotita (bastante cloritizada, con distribución errática), dispuestos en una textura esquistosa, caracterizada por bandas intercaladas de grafito, cuarzo, sericita y clorita. Las caras mayores de los minerales son paralelas a la foliación, (Rodríguez-Salinas, 1982), y en menor proporción pirita, hematita, magnetita, zínco, ilmenita (generalmente alterada), rutilo, esfena y leucoceno, (Parga-Pérez, 1981).

Las filitas grafiticas sufrieron un metamorfismo  $M_1$  de bajo grado correspondiente a la facies de esquistos verde, subfacies de biotita, siendo indicado por la paragénesis biotita+muscovita+clorita+cuarzo. Posterior a  $M_1$  se desarrolló ampliamente el metamorfismo  $M_2$ , inclusive en muchas ocasiones predomina el metamorfismo  $M_2$  sobre  $M_1$ . El metamorfismo  $M_2$  es contemporáneo con la deformación  $D_2$  y que define la foliación  $S_2$ , y consistió en una recrystalización de muscovita, porfidoblastos de cuarzo elongados con líneas de inclusiones de grafito rotacional de origen sincinemático, y la alineación de grafito en bandas paralelas según los planos de foliación  $S_2$ . En los horizontes ricos en biotita se observa una incipiente neoformación de biotita en los planos  $S_2$ . El metamorfismo desarrollado en este segundo evento de deformación es de bajo grado correspondiendo a facies de esquistos verde, (Parga-Pérez, op. cit.), definiéndose esta facies por la paragénesis muscovita+cuarzo+biotita en la subfacies de biotita (tabla IX-3).

La retrogresión  $M_3$  fue de regular intensidad y condujo a la cloritización de la biotita con formación de algo de rutilo y reemplazamiento parcial de ilmenita por leucoceno y hematita.

El protolito de esta roca se infiere que fue una roca sedimentaria pelítica, debido a la presencia del grafito que indica un ambiente euxínico, evidenciando un ambiente favorable para la depositación de sulfuros, (Rodríguez-Salinas, op. cit.).

### ESQUISTOS DE CLORITA (Ecl).

Se presenta en forma de grandes lentes de amplia distribución horizontal, en general sus contactos con otros litosomas también son graduales. Aflora -- principalmente en ambas márgenes del arroyo El Ahogado, en la parte SE del -- área de estudio y al SW, cerca de la mina de Tizapa (plano no. 3).

Es una roca de color verde, que al intemperizarse adquiere un color ocre verdoso, es compacta y presenta una textura esquistosa en la cual es posible identificar clorita, cuarzo, muscovita, así como abundantes óxidos de hierro, hematita y limonita.

Esta unidad fue afectada por tres eventos de metamorfismo, el primero -- ( $M_1$ ) originó la formación de clorita, muscovita, biotita y albita, las cuales se dispusieron en bandas paralelas que definen la foliación  $S_1$ . Su paragénesis es muscovita+biotita+clorita+cuarzo, correspondiendo a la subfacies de -- biotita de la facies de esquisto verde (tabla IX-3).

El segundo evento de metamorfismo ( $M_2$ ), consistió únicamente en una re-- cristalización de muscovita, clorita y cuarzo a lo largo de los planos de fo-- liación  $S_2$ . La paragénesis muscovita+clorita+cuarzo, define la subfacies de - clorita de la facies de esquisto verde (tabla IX-3).

El tercer evento corresponde a un metamorfismo regresivo ( $M_3$ ) que produ-- jo un reemplazamiento casi total de la biotita por clorita (Parga-Pérez, --- 1981).

La muscovita sufrió un proceso de hidratación, por lo que dió origen a - la sericita.

Esta roca se formó posiblemente a partir de sedimentos ricos en Fe-Mg y material tobáceo de composición básica a intermedia depositados en un ambiente marino, (Rodríguez-Salinas, op. cit.).

### ESQUISTOS DE MUSCOVITA (Em).

Los esquistos de muscovita afloran en el Cerro de los Pinos sobre el cau-- ce del arroyo de Tizapa (en la porción SW del área en estudio), localizándose otros afloramientos en la parte SE, cercana al centro del área (plano no. 3).

Son cuerpos en forma de lentes variando sus dimensiones de unos cuantos metros a varias decenas. Tiene contacto transicional con algunos litosomas de esquistos de clorita, y está en contacto en forma indistinta con los demás li-- tosomas de la secuencia volcan-sedimentaria metamorfizada, a excepción de los litosomas de metacalizas. En el barreno B#99, los esquistos de muscovita al - parecer se interdigitan con filitas gráficas calcáreas. Los litosomas de es

quistos se encuentran en diferentes posiciones estructurales (y quizá estratigráficas) en la secuencia volcánico-sedimentaria, observándose esto en los diferentes perfiles de los barrenos.

La roca presenta color blanco semicompacta, muy bien foliada, que interperiza a un color rojizo debido al alto contenido de óxidos de hierro. Su textura es esquistosa, en donde se reconocen micas blancas, cuarzo, pirita y --- abundantes óxidos de hierro.

En láminas delgadas se observa una textura esquistosa determinada por -- bandas orientadas de muscovita-sericita que alternan con bandas de cuarzo y feldespatos. En cantidades subordinadas se observa clorita, pirita, hematita, limonita y minerales arcillosos (Rodríguez-Salinas, 1982).

Estos litosomas sufrieron tres eventos metamórficos, el primero ( $M_1$ ) originó la paragénesis muscovita+cuarzo+clorita correspondiente a un metamorfismo de bajo grado de facies de esquisto verde, subfacies de clorita (tabla --- IX-3). El segundo evento metamórfico ( $M_2$ ) está representado por cristales de muscovita alineados en bandas que cortan a la foliación  $S_1$ , el grado de metamorfismo de  $M_2$  es igual que el de  $M_1$ . El tercer evento metamórfico ( $M_3$ ) corresponde a una retrogresión originando la sericitización de los feldespatos.

Con lo que respecta al origen de los esquistos de muscovita es posible suponer la existencia de diferentes protolitos, debido a la relación estratigráfica (intercalaciones, interdigitaciones, y cambios bruscos de litología), y a variaciones texturales, por lo que se pudieron formar a partir de rocas pelíticas ricas en alúmina, o de aquellas en las que ha aumentado notablemente el cuarzo y los feldespatos provenientes de rocas piroclásticas depositadas en ambientes marinos (Rodríguez-Salinas, 1982) como tobas ácidas y riolitas (Parga-Pérez, 1981). Con lo que respecta a los protolitos de riolita sus contactos son bruscos y en algunos se han observado vetillas de sulfuros polimetalicos. Los mantos de sulfuros masivos vulcanogénicos se encuentran encajados en los esquistos, pero algunos de ellos se localizan en los contactos con otros litosomas.

#### ESQUISTOS DE CLORITA-MUSCOVITA (Ecl-m).

Los esquistos de clorita-muscovita afloran sobre el cauce y las márgenes del arroyo El Ahogado y en la localidad de La Esmeralda. Está en contacto gradual con otros litosomas (esquistos de tremolita/actinolita) e interdigitando

se con filitas grafiticas calcáreas y con metacalizas al norte del área (plano no. 3); en los perfiles de los barrenos se observa el contacto con los demás litosomas de la secuencia meta-volcano-sedimentaria. En algunas partes -- son cubiertos en forma discordante por depósitos epiclásticos recientes y por la meta-ríolita Las Huertas. Los contactos graduales entre los litosomas de la secuencia vulcano-sedimentaria metamorfozada se diferencian unicamente por pequeñas variaciones mineralógicas y texturales. Tiene diferentes posiciones estructurales (niveles) dentro de la secuencia, lo cual se infiere de la información obtenida de los barrenos, en la cual se reportan litosomas de esquistos de clorita-muscovita en la base de la secuencia subyaciendo a las filitas grafiticas, conteniendo algunos mantos de SMV. También se reportan cuerpos mineralizados en el contacto de estas dos unidades, (Parga-Pérez, et al., 1983).

En la parte NE del área estudiada, en la localidad de La Esmeralda, los esquistos de clorita-muscovita son las rocas encajonantes de la mineralización de SMV, y en algunos litosomas se tienen cuerpos de sulfuros masivos bañados con gran contenido de cobre (calcopirita), con espesor de algunos centímetros, (Parga-Pérez, et al., op. cit.).

Los esquistos de clorita-muscovita son rocas de color verde que al intemperizarse adquieren un color ocre y presentan buena foliación. En muestras de mano se observan clorita, cuarzo y feldespatos.

En lámina delgada se observa una textura esquistosa determinada por bandas de feldespatos y cuarzo con extinción ondulante, alternando con bandas de muscovita y clorita que rodean porfidoblastos de albita y determinan la foliación  $S_1$ , esta se observa plegada y microfallada, desarrollándose algo de muscovita a lo largo de los planos de falla, originando una segunda foliación --  $S_2$ , (Rodríguez-Salinas, 1982).

Estos litosomas de esquistos han sufrido tres eventos de metamorfismo, - el primero fue el de mayor intensidad determinando la foliación  $S_1$ , y estableciéndose la paragénesis muscovita+clorita+cuarzo+albita, que determina la subfacies de clorita de la facies de esquisto verde (tabla IX-3). El segundo -- evento metamórfico solamente se manifiesta por el desarrollo de muscovita a lo largo de los planos de falla, originando la foliación  $S_2$ . El tercer evento corresponde a una retrogresión del mismo, en el cual se observa una incipiente sericitización de los feldespatos.

Dadas las características petrológicas, petrográficas y sus relaciones -

de campo de estos litosomas se les infiere un origen volcánico de composición intermedia depositados en un ambiente marino de cuenca, (Rodríguez-Salinas, op. cit.).

#### ESQUISTOS DE BIOTITA (Eb).

Los esquistos de biotita afloran en el pozo de El Ahogado, siendo su extensión reducida (plano no. 3). Su geometría es aproximadamente tabular, presentan buena foliación paralela con sus contactos. Su espesor se estima en -- aproximadamente 30 m, y su persistencia longitudinal es de unos 350 m. También se observan diferentes litosomas de esquistos de biotita en los perfiles geológicos de los barrenos realizados.

Los esquistos de biotita son rocas compactas foliadas de color gris claro verdoso, que al intemperizarse adquieren una coloración café amarillenta. Megascópicamente se pueden reconocer cuarzo, biotita, feldespatos y óxidos - hierro.

En láminas delgadas se observa una textura porfidoclastica con matriz esquistosa, constituida por bandas de cuarzo, muscovita, sericita y clorita, -- que rodean fenocristales de cuarzo, plagioclasa (andesina, albita) y biotita. Los filosilicatos y los minerales prismáticos han crecido con sus ejes mayores paralelos a la foliación  $S_1$ , determinando la esquistosidad de la roca; en menor cantidad se tiene clinozoisita formando manchones íntimamente asociados con las plagioclasas, clorita (variedad peninita) en manchones aislados y en diminutas vetillas, calcita en aislados cristales anhedrales íntimamente asociados con las plagioclasas y epidota, pirita, magnetita, esfena, zircón y hematita. La foliación  $S_1$  fue plegada y microfallada desarrollándose una segunda foliación  $S_2$ , y una segunda generación de muscovita distribuida a lo largo de los planos de falla, desarrollándose un crucero plisante.

En la mayoría de los casos la biotita corresponde a cristales relictos -- que presentan sus contornos muy fracturados, deformados y han sufrido un intenso proceso de cloritización, (Rodríguez-Salinas, 1982).

Estos litosomas fueron afectados por tres eventos metamórficos. El primero consistió esencialmente en la formación de biotita, muscovita, clorita, albita y cuarzo. Los filosilicatos, en pequeñas hojuelas, se orientaron formando bandas paralelas que definen una foliación ( $S_1$ ). Estos esquistos muestran una asociación paragenética biotita+muscovita+cuarzo+albita, típica de metamorfismo de bajo grado, de la subfacies de la biotita correspondiente a la fa

cies de esquistos verde.

El segundo evento metamórfico  $M_2$  se manifiesta ocasionalmente por la presencia de cuarzo recristalizado, muscovita y diminutas hojuelas de clorita; - estos minerales se orientan oblicuamente con respecto a los filosilicatos de  $M_1$ . De la paragénesis muscovita+clorita+cuarzo, se infiere que el metamorfismo  $M_2$  fue de bajo grado correspondiendo a la subfacies de clorita de la facies de esquistos verde (tabla IX-3).

El tercer evento corresponde a un metamorfismo regresivo  $M_3$ , que actuó - produciendo un reemplazamiento parcial o total de la biotita por clorita y esfena. En ocasiones la roca se transformó en un esquisto de clorita, (Parga-Pérez, 1981).

De acuerdo a su morfología, distribución, caracteres petrogenéticos y -- composición química, es factible inferir que los esquistos de biotita se originaron a partir de cuerpos intrusivos de composición diorítica. También cabe la posibilidad de que estos esquistos se originaron a partir de horizontes de areniscas cuarzo-feldespáticas, que posteriormente, por efectos de metamorfismo de grado bajo dieron origen a esquistos de biotita, (Parga-Pérez, et al., 1983).

#### ESQUISTOS DE TREMOLITA/ACTINOLITA (Eta).

Son cuerpos que se localizan a diferentes niveles estructurales dentro - de la secuencia vulcano-sedimentaria. Sus mejores afloramientos se encuentran sobre el cauce del arroyo El Ahogado (plano no. 3).

Presentan abundantes bandas de cuarzo de segregación con formas de boudinage, las cuales se encuentran muy plegadas, con sulfuros bandeados, vetillas de sulfuros y diseminaciones de pirita.

Estos esquistos son compactos, con buena foliación, de color gris verdoso, que al intemperizarse adquieren una coloración pardo rojiza. En muestra - de mano se observa una textura esquistosa, en la que se reconocen cuarzo, clorita, epidota, anfíboles y plagioclasas. Presenta variación textural de grano fino hacia la parte media y grano grueso hacia los contactos superiores e inferiores.

En láminas delgadas se observa una textura esquistosa con bandas de tremolita/actinolita alternando con bandas de cuarzo, albita, epidota (clinozoisita principalmente, acompañando a las plagioclasas) y calcita, que rodean algunos porfidoblastos de albita. La calcita se presenta en menor abundancia en:

forma de cristales avedrales aislados. Como minerales accesorios se tiene esfena, ilmenita, magnetita, pirita y hematita.

Los esquistos de tremolita/actinolita fueron afectados por tres eventos metamórficos, el primero  $M_1$ , está representado únicamente por la asociación paragenética siguiente: albita+epidota+clorita+esfena+cuarzo+calcita+tremolita/actinolita, la cual corresponde a la subfacies de clorita de la facies de esquistos verde (tabla IX-3).

El segundo evento metamórfico  $M_2$  actuó sobre estos esquistos produciendo solamente una escasa neoformación de diminutos blastocristales de tremolita/actinolita, epidota, calcita, clorita con una orientación oblicua respecto a los minerales formados por  $M_1$ . De la anterior asociación paragenética se infiere que  $M_2$  fue de bajo grado, correspondiendo a la subfacies de clorita de la facies de esquistos verde (tabla IX-3).

El tercer evento metamórfico ( $M_3$ ) consistió en una retrogresión del mismo, en el que esencialmente las plagioclasas se epidotizaron, originándose -- también algo de calcita y ocasionalmente cloritización de la tremolita/actinolita.

De acuerdo con su morfología y significado petrogenético es posible inferir que los esquistos de tremolita/actinolita se originaron a partir de diques premetamórficos básicos, probablemente de composición gabroide, que se emplazaron en diferentes niveles estructurales y fueron afectados por metamorfismo de bajo grado (facies de esquistos verde); posteriormente estuvieron sujetos a un proceso de metamorfismo regresivo. También cabe la posibilidad de que estos esquistos se hayan originado a partir de tobas o lavas básicas depositadas en un medio acuoso simultáneamente con sedimentos pelíticos carbonosos y tobáceos o solamente tobáceos, (Parga-Pérez, 1981).

#### META-RIOLITA LAS HUERTAS (Mr).

Con el nombre de meta-riolita Las Huertas fue designada informalmente -- por Parga-Pérez (1981) a las rocas expuestas al W y SW del cerro de La Esmeralda (plano no. 3). Esta roca está cubierta por derrames de basolto en la mesa de Tizapa; hacia el NE está sobreyacida en aparente concordancia por intervalos de filitas gráficas calcáreas intercaladas con esquistos de muscovita-clorita, pero a rumbo de las riolitas no se observa su continuidad.

La meta-riolita es una roca con foliación, compacta, de color blanquizco, que al intemperizarse adquiere tonalidades amarillentas a cremosas o rosa

das. Se puede reconocer cuarzo, muscovita y óxidos de hierro.

En láminas delgadas presentan una textura esquistosa bien desarrollada, definida por bandas paralelas de cuarzo y muscovita interrumpidas por feldespatos potásicos (sanidino); los minerales que se presentan en menor proporción son: zircón, pirita, magnetita, ilmenita, hematita y sericita. Esta roca con base en las características y mineralogía se puede clasificar como esquistos de muscovita. Por la asociación paragenética cuarzo+muscovita+feldespato potásico corresponde a un metamorfismo de bajo grado indicando facies de esquistos verde.

De acuerdo a su distribución de campo, morfología, homogeneidad litológica y por los estudios petrográficos realizados se infiere que estas rocas se originaron a partir de rocas riolíticas emplazadas en un ambiente submarino, contemporáneo con las metapelitas y metatobas, y posteriormente sufrieron los mismos procesos de deformación y metamorfismo que los esquistos y filitas (Parga-Pérez, 1981).

#### FILITAS GRAFITICAS CALCAREAS (Fgc).

Estas rocas se encuentran distribuidas ampliamente en el Cerro de la Esmeralda, precisamente al N y NE de dicho cerro, se interdigitan con esquistos de clorita-muscovita, sobreyaciendo en aparente concordancia a la meta-riolita Las Huertas y subyaciendo a la metacaliza en un contacto gradual. Las filitas grafiticas calcáreas varían de filitas grafito-sericita a filitas sericiticas.

Las filitas grafiticas calcáreas son rocas de color gris oscuro a negras, foliadas con lustre satinado, que al intemperizarse adquieren una coloración parda rojiza. Estas rocas al variar a filitas sericiticas adquieren una coloración gris muy clara. Asimismo, se observa una textura esquistosa, grafito, algo de cuarzo, filosilicatos y óxidos de hierro.

En láminas delgadas estas rocas presentan una textura esquistosa a semi-esquistosa, observándose cuarzo, calcita, muscovita, grafito, y en agregados amorfos de aspecto terroso hematita, pirita, ilmenita y zircón. El grafito está dispuesto en bandas intercaladas con cuarzo, el cual está dispuesto en forma de xenoblastos. El rasgo distintivo de las filitas sericiticas es el predominio de sericita sobre el grafito y cuarzo, (Parga-Pérez, 1981; Parga-Pérez, et al., 1983).

Estas filitas fueron afectadas por un metamorfismo de bajo grado correspondiendo a facies de esquistos verde según la paragénesis cuarzo+calcita.

El protolito de estas rocas debieron ser lutitas negras y lutitas calcáreas originadas en un ambiente nerítico, frecuentemente invadido, y ocasionalmente dominado por una gran parte de material volcánico (Parga-Pérez, et al., op. cit.).

#### CALIZAS RECRISTALIZADAS (Cz).

Estos litosomas están expuestos en la parte NW del área. El contacto inferior es gradual con las filitas gráficas calcáreas, las calizas recrystalizadas corresponden a metacalizas, las cuales están cubiertas en parte por material piroclástico y por sedimentos lacustres y conglomerados; así como en contacto por fallamiento inverso con la Metarriolita La Huerta, (plano no. 3).

Las metacalizas son de color gris, que al intemperizarse adquieren una coloración gris claro, están recrystalizadas, plegadas y presentan una foliación incipiente, acentuándose en donde las calizas son arcillosas; la estratificación es delgada a masiva, la foliación es paralela a la estratificación. Su textura varía de calcilutita a calcarenita, contiene horizontes intercalados de metapelita. Los pliegues que forma son del tipo isoclinal, y en esta parte el plano axial es paralelo con la foliación. Se observan vetillas de calcita que cortan perpendicularmente a la estratificación y a la foliación. Un hecho bastante notable lo constituye la presencia de una zona extensamente silicificada en las cercanías y a lo largo del contacto de la metacaliza con las filitas gráficas calcáreas, (Parga-Pérez, et al., 1983).

En láminas delgadas, las metacalizas muestran una textura de granoblástica en las más puras a semiesquistosa en las arcillosas. En las primeras la textura granoblástica esta constituida por un mosaico de granos xenoblásticos de calcita recrystalizada con escasos granos de cuarzo y ocasionalmente grafito, muscovita, pirita, magnetita y hematita finamente diseminados. Las metacalizas impuras tienen algunas bandas de muscovita y granos de cuarzo con extinción ondulante, orientados paralelamente con bandas calcíticas y ocasionalmente son cruzados por vetillas de calcita.

Las filitas calcáreas constituyen la base de la unidad, son de color gris claro con lustre satinado y cuarzo de segregación formando filones abundantes; en los planos de foliación, que son paralelos con los planos de estratificación, se pueden observar muscovita. En láminas delgadas se observa -

una textura esquistosa constituida por bandas orientadas de xenoblastos de -- calcita, cuarzo y escasas hojuelas de muscovita que definen la foliación de - la roca. Pequeñas cantidades de grafito se presentan concordante con la foliación, y como accesorios magnetita y hematita en cubos pseudomorfos de pirita (Parga-Pérez, 1981).

De acuerdo con las características petrológicas de las rocas de esta unidad, se infiere que las rocas sedimentarias premetamórficas se depositaron en una cuenca poco profunda y que durante el depósito hubo ciertas perturbaciones en el control tectónico de la sedimentación. Este se manifestó provocando una variación caracterizada por un considerable aporte de sedimentos pelíticos hasta lodos calcáreos ligeramente carbonosos.

El aporte de terrígenos cesó progresivamente hasta desaparecer casi por completo, ocasionando que se depositaran únicamente lodos calcáreos. La presencia de grafito y pirita singénica en esta unidad, indican que estas rocas se depositaron originalmente en un ambiente reductor y circulación restringida, (Parga-Pérez, 1981).

"La recristalización y la evidente foliación de las calizas es un hecho bastante contundente para considerar a las calizas como rocas metamórficas, - aunque si bien el grado y tipo de metamorfismo no es comparable con las unidades litológicas que subyacen a la metacaliza, ya que la presión confinante que ocasionó la foliación de las unidades subyacentes no manifestó los mismos efectos en las calizas ya que estas ocupan niveles estratigráficos superiores de la secuencia, lo que originó una foliación incipiente y una intensa e irregular recristalización de las calizas. Por lo tanto, la paragénesis calcita-cuarzo-sericita de las rocas calcáreas indican un metamorfismo regional dinamotérmico de bajo grado metamórfico perteneciente a la parte baja de la facies de esquistos verde", (Parga-Pérez, et al., 1983).

#### ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS.

##### DIQUES ACIDOS CAOLINIZADOS (Dac).

Son cuerpos de dimensiones que fluctúan entre 1 y 4 m de ancho, y longitudes de 10 a más metros; se emplazaron en forma de diques que cortan la foliación a diferentes ángulos y en forma de sills que se alojan paralelamente a los planos de foliación. Estos cuerpos afloran únicamente en los alrededores del cerro de Los Pinos, en el Arroyo de Tizapa y en los socavones Tizapa

Norte y Sur, (plano no. 3). Estos cuerpos también fueron cortados por varios barrenos con diamante que se realizaron en el área en estudio.

Son rocas compactas de color blanco, que al intemperizarse adquieren una coloración ocre rojiza, reconociéndose cuarzo en una matriz arcillosa, producto de la alteración de los feldespatos posiblemente debida a soluciones asociadas a la presencia de las riolitas del cerro de Los Pinos, (Rodríguez-Salinas, 1982).

La edad absoluta de estos cuerpos se desconoce, pero con base en las relaciones de campo y a que muestran deformación, posiblemente se emplazaron antes de los períodos de deformación, o en el primer período de deformación.

#### DIQUES FELSICOS Y MICROGRANITO (Df).

Son diques y cuerpos irregulares que intrusionan al paquete metamórfico en diferentes niveles estructurales y están aflorando al E y al S del área de estudio (plano no. 3). Por los perfiles geológicos realizados a partir de la barrenación con diamante es posible comprobar su presencia en toda la secuencia.

En muestra de mano presentan un color blanco y al intemperizarse adquieren una coloración ocre. Su textura varía de afanítica a porfídocolástica, pudiéndose observar cuarzo, feldespatos y biotita.

En lámina delgada se observa cuarzo, microclina y plagioclasas. Como minerales accesorios se reconoce biotita y apatita y como secundarios clorita, sericita y óxidos de hierro. La presencia de sericita derivada de feldespatos y la clorita de ferromagnesianos, indican la acción de soluciones hidrotermales, (Rodríguez-Salinas, 1982).

En algunas muestras de los barrenos se observan sulfuros diseminados y en pequeñas vetillas yace la piritita y calcopiritita.

En estas rocas no se observa efecto alguno de deformación, lo cual puede indicar que son post-taramídicos, y basados en la evolución geológica de la región, se piensa que están asociadas al vulcanismo terciario (Mioceno) que afectó principalmente la parte central y noroccidental de México, (Rodríguez-Salinas, 1982).

#### DIQUES ANDESITICOS (Dan).

En el área en estudio estos diques no afloran; se han observado en los perfiles geológicos de los barrenos, intrusionando a las rocas metamórficas,

sin embargo en algunas ocasiones estos han sido emplazados a lo largo de planos de falla, en los planos de foliación o estratificación y se comportan como diquesstratos.

Estos diques están constituidos por rocas muy compactas de grano fino a mediano con textura que varía de holocristalina porfídica a holocristalina - equigranular con un color que varía de gris a gris oscuro. Su espesor varía de unos cuantos centímetros hasta varios metros.

Megascópicamente se distinguen cuarzo, feldespatos, anfíboles y óxidos de hierro.

En láminas delgadas se observa una textura que varía de porfídica a equigranular, su mineralogía está constituida por oligoclasa, andesina y hornblenda, y en menor proporción cuarzo, magnetita y pirita. Como minerales secundarios existen clorita, calcita, sericita, hematita y lomonita (Parga-Pérez, -- 1981).

Generalmente todos estos diques presentan alteración hidrotermal que se manifiesta por cloritización de los anfíboles y sericitización de las plagioclasas (Parga-Pérez, op. cit.). Estos diques están intrusionando algunos de los diques felsíticos, por lo que son posteriores a ellos.

#### RIOLITA FLUIDAL (Rf).

Corresponde a pequeños diques y domos riolíticos que intrusionan gran parte de la secuencia metamórfica. Afloran al sur del área en estudio (plano no. 3), presentándose como cuerpos alargados con una dirección preferencial E-W.

Presentan zonas de asimilación o brechamiento que alcanzan hasta 1.5 m de ancho en la cual pueden observarse grandes xenolitos de esquistos que alcanzan 80 cm de diámetro. En general tienen una estructura de flujo, característica de los domos riolíticos.

Es una roca de color gris claro que al intemperizarse adquiere un color ocre rojizo, de textura porfídica en la cual se reconocen fenocristales de -- cuarzo y feldespatos parcialmente caolinizados, incluidos en una matriz cristalina de color blanco. Se reconoce malaquita, azurita y algunos fragmentos de esquistos.

En lámina delgada se muestra una textura porfídica en la cual se observan fenocristales de cuarzo, ortoclasa y oligoclasa en una matriz criptocristalina en la que se reconocen vidrio parcialmente divitrificado y abundantes fragmentos de esquistos asimilados, (Rodríguez-Salinas, 1982).

En esta unidad no se observan deformaciones. Basados en la evolución geológica de la región, se piensa que estas rocas están asociadas al vulcanismo terciario (Oligoceno Tardío) que afectó a la región. Estas rocas son semejantes a unas riolitas que se dataron (32 millones de años) cercanas al área en estudio (comunicación personal con Parga-Pérez), por lo que se podría correlacionar.

#### SEDIMENTOS LACUSTRES Y CONGLOMERADOS (Cgl).

Esta unidad se distribuye irregularmente sobreyaciendo a las rocas metamórficas y subyaciendo en parte a la meseta de basalto (plano no. 3).

El conglomerado es basal siendo la base de esta unidad, y esta constituido por fragmentos de esquistos, sulfuros masivos vulcanogénicos, riolitas, -- cuarzo, fragmentos brechoides de filitas grafiticas, basaltos, tobas y brechas volcánicas. Sobreyaciendo al conglomerado se tienen a los sedimentos lacustres, que están constituidos por limos y arenas de diferente composición (brechas volcánicas, riolitas, basaltos e ignimbritas). Algunos de los depósitos de sedimentos lacustres están constituidos principalmente por diatomitas, (Parga-Pérez, et al., 1980).

Esta unidad se originó durante el Plio-cuaternario, en zonas lacustres - pequeñas cuando el drenaje fue obstruido por derrames volcánicos.

#### ROCAS IGNEAS EXTRUSIVAS.

##### BASALTOS (Ba) Y DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS (Tb).

Las rocas ígneas extrusivas están constituidas por derrames de basalto y por depósitos piroclásticos; los primeros son los de mayor afloramiento, correspondiendo a la meseta de Tizapa, y los segundos se encuentran localizados al NE del área (plano no. 3). Estas rocas cubren discordantemente a la secuencia metamórfica.

Los basaltos constituyen parte de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico y están en estrecha relación con material piroclástico y brechas -- volcánicas que rellenaron antiguas depresiones. Los basaltos son rocas muy compactas de color gris oscuro, que al intemperizarse adquieren un color -- ocre rojizo; su textura es de grano muy fino (criptocristalino) en donde únicamente se puede reconocer pequeños cristales de olivino y plagioclasas en -- una matriz criptocristalina. Estas rocas en ocasiones se presentan pseudoestratificadas pero es más común en forma masiva con innumerables diaclasas, prin-

incipalmente columnares. El espesor de los basaltos en el área en estudio es de unos cuantos metros hasta 86 m.

#### ALUVION (Qal).

En el área, los depósitos de aluvión, están restringidos a las partes topográficamente bajas, y a lo largo del arroyo de El Ahogado (plano no. 3).

#### EDAD.

"La edad de las rocas metamórficas de Tizapa se considera tentativamente como Paleozoica Tardía, tomando como base unicamente su posición estratigráfica-estructural y su grado de deformación y de metamorfismo", (Parga-Pérez, J. J., y Rodríguez-Salinas, J. J., 1983).

### II.3.- GEOLÓGIA ESTRUCTURAL.

La secuencia metamorfozada se encuentra intensamente deformada; los elementos estructurales que se manifiestan son: a) una foliación predominante de carácter regional (NW-SE) generalmente plizada; b) una foliación secundaria, que generalmente constituye un crucero plizante; c) micropliegues y mesoplegues de diversos estilos; d) milonitización incipiente; e) una foliación paralela al plano axial de los mesoplegues (esta lineación es muy escasa, aunque se presenta en casi todas las unidades litológicas de la secuencia metamórfica); f) sobrecorrimientos compresionales de poca magnitud asociados a pequeñas cabalgaduras, y h) fallamiento normal de diferentes magnitudes que afectan toda la secuencia metamórfica, (Parga-Pérez, 1981).

### II.4.- TECTÓNICA.

Con base en los elementos estructurales Parga-Pérez, et al., (op. cit.) y Rodríguez-Salinas, (1982) opinan que, se han originado por efectos de tres fases compresionales y una disensiva, las dos primeras fases deformantes se asociaron con eventos de metamorfismo que originaron dos foliaciones.

#### FASES COMPRESIONALES.

1a. FASE: La primera fase de deformación (D<sub>1</sub>) es la más intensa y notable, -- con recristalización asociada (N<sub>1</sub>) que originó a la foliación (S<sub>1</sub>) definida por la orientación de los filosilicatos. Esta foliación (S<sub>1</sub>) primaria es penetrativa y denominada "foliación de plano axial", correspondiendo por lo gene-

ral a la foliación regional.

El plegamiento ( $P_1$ ) asociado a ( $S_1$ ) fue muy difícil de reconocer debido a la intensa recristalización metamórfica que borró casi totalmente todo rasgo primario (Parga-Pérez, *et al.*, 1983).

La milonitización incipiente presente en algunas partes de esta secuencia probablemente se desarrolló durante esta fase deformante.

Durante esta deformación, se llevó a cabo la cristalización de minerales metamórficos sintectónicos, en la que los filosilicatos crecieron orientados y la mayor parte de ellos se dispusieron paralelamente según los planos de foliación.

Generalmente los contactos litológicos de los diferentes litosomas son paralelos a la foliación.

Esta fase de deformación produjo principalmente al augengneis Arroyo Frío, aunque también a los esquistos cuarzo-feldespáticos y a la secuencia meta-volcano-sedimentaria.

2a. FASE: La segunda fase de deformación ( $D_2$ ) se caracteriza por el plegamiento ( $P_2$ ) de la foliación ( $S_1$ ) durante esta deformación se desarrolló una esquistosidad de fractura o "cruceiro plisante" ( $S_2$ ). El cruceiro plisante ( $S_2$ ) es definido por una orientación y probablemente recristalización de los filosilicatos, observándose claramente en el augengneis Arroyo Frío y en algunos litosomas de esquistos de biotita. El comportamiento de ( $S_2$ ) en los pocos lugares en donde se observa tiene una dirección de NW  $80^\circ$  a casi W con una inclinación al NNE  $30^\circ$  y es paralela a los planos axiales de los pliegues de segunda generación. La foliación ( $S_2$ ) también se observa tanto macroscópicamente como microscópicamente en las filitas grafiticas, esquistos de clorita, esquistos de muscovita, esquistos de clorita-muscovita y esquistos de tremolita/actinolita.

La geometría más común de los pliegues ( $P_2$ ) son angulares y asimétricos con planos axiales horizontales a casi horizontales.

En algunos afloramientos se observa la foliación ( $S_1$ ) borrada casi totalmente por ( $S_2$ ), en otros se observa ( $S_1$ ) intensamente plisada con desarrollo incipiente de  $S_2$  (originando un cruceiro plisante).

También se reconocen mesoplegues de la foliación  $S_1$  de tipo chevrón, -- con crestas angulosas y flancos inclinándose a un mismo ángulo, pero con un flanco más corto, conocidos como tipo "kink bands". Por lo que respecta a las

bandas de cuarzo segregadas en la primera deformación, durante esta segunda - fase de desarrollaron estructuras en boudinage (Rodríguez-Salinas, 1982), predominando en las filitas gráficas y metacalizas.

La segunda fase de deformación también afectó a los diques ácidos caolinitizados, los cuales se emplazaron anteriormente a esta.

3a. FASE: La tercera fase de deformación es post-metamórfica y se caracteriza por la posición que guardan actualmente las rocas metamórficas que conforman regionalmente una estructura anticlinal doblemente buzante con eje mayor orientado al NW 45° e inclinado al NW de dicha posición; está definida por el comportamiento estructural de la foliación regional que generalmente corresponde a S<sub>1</sub>.

La orientación de la foliación axial S<sub>1</sub> en el área está restringida a un solo dominio que corresponde al flanco nororiental de la mencionada estructura. La posición estructural de la foliación en este flanco corresponde a un rumbo promedio de N 40°W con inclinación de 25-30° al NE. Asociados a esta fase se deforma D<sub>3</sub> se observan gran cantidad de pequeños sobrecorrimientos con truncamiento de macroestructuras, (Parga-Pérez, et al., 1983).

Esta estructura anticlinal fue descrita por De Cserna (1978) quien la asocia con un levantamiento del basamento, que plegó las rocas cretácicas al deslizarse estas hacia los flancos.

Esta tercera fase de deformación afectó a todas las rocas metamórficas.

#### FASE DISTENSIVA.

La fase tectónica distensiva se caracteriza por una serie de fallamientos normales de magnitud variable que afectó a las rocas metamórficas y a las rocas ígneas terciarias relacionándose probablemente a la tectónica del Eje Neovolcánico (Parga-Pérez, et al., op. cit.).

Las fallas normales observadas en el área tienen una dirección general NW-SE y NE-SW con desplazamientos de pocos metros; estas fallas son evidentes por zonas de brechamiento, estructuras truncadas, y planos de fallas estriadas con inclinación casi vertical.

Las fallas que se ubican paralelamente y cerca del anticlinal regional P<sub>3</sub> tienen una dirección general WNW-ESE a casi E-W, con inclinación que varía de 60° a 80° y en la zona de los socavones de Tizapa tienen un desplazamiento de 40 m, aproximadamente.

El estudio de estas estructuras es de gran importancia, ya que frecuentemente desplazan a los cuerpos mineralizados.

La fase distensiva afecta a todas las rocas metamórficas, así, como a -- las rocas ígneas intrusivas.

## II.5.- METAMORFISMO.

En las rocas metamórficas que se encuentran expuestas en el área, se han reconocido tres eventos de metamorfismo sobrepuestos, los dos primeros progresivos y sintectónicos con las fases de deformación  $D_1$  y  $D_2$  que originaron las foliaciones  $S_1$  y  $S_2$ ; el tercer evento de metamorfismo se manifiesta por una intensa e irregular retromorfosis.

El primer evento metamórfico  $M_1$  es el más intenso y uniforme, ya que ha sido reconocido en todos los niveles estructurales y está íntimamente relacionado con  $S_1$ , considerándolo además contemporáneo con  $D_1$ .

La heterogeneidad litológica de la secuencia meta-volcano-sedimentaria, provocó que el metamorfismo desarrollado durante la primera fase, no se registrara en la misma forma en todo el paquete, y que cada litosoma desarrollara su paragénesis mineral de acuerdo con la composición mineralógica original. Sin embargo, puede apreciarse que el metamorfismo de esta fase aumenta rápidamente con la profundidad presentando un zonamiento muy estrecho (Rodríguez-Salinas, 1982).

Según Parga-Pérez, (1981), corresponde  $M_1$  a un metamorfismo de baja presión/alta temperatura, evidenciándose por un zonamiento muy cerrado de las paragénesis minerales desarrolladas durante el metamorfismo, alcanzando la -- parte baja de la facies de anfíbolita, estimándose que se desarrolló a una -- temperatura entre 500 y 550°C, presión alrededor de 2kb y bajo una cubierta -- litológica de aproximadamente 7,500 m y un gradiente geotérmico alto del orden de 70°C/km (Parga-Pérez, J. J., y Rodríguez-Salinas, J.J., 1983).

El segundo evento metamórfico  $M_2$  también sintectónico con  $D_2$  fue de menor intensidad que  $M_1$  y no es uniforme en las unidades litológicas expuestas en el área; este metamorfismo  $M_2$  únicamente es evidente en donde se observa plegada  $S_1$  y consiste en una recrystalización de los filosilicatos después -- a lo largo de los planos  $S_2$ . De lo anterior se infiere que el metamorfismo  $M_2$  fue de bajo grado correspondiente a la facies de esquisto verde, y se cree que se desarrolló dentro de un rango de temperaturas entre 350° a 400°C, y presión menor de 2 kb, (Parga-Pérez, J.J., y Rodríguez-Salinas, J.J., 1983).

Unidades Litológicas	Textura	Mineralogía	Evento T <sub>1</sub>	Metamérico M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	Características	Prostitutos	Grupo de metamorfismo
Supergresos arenos P <sub>10</sub> (SpH)	Porfiroclástica	HC, PR, QZ, PL, B, BQ, MS, FEN, EP, AP, Z, IR, AC, MAC, FEN, CLG, EP, PR, CLD, B, LIN, ISF	X	X	X	Saturados metamórficos.	Diagenéticos (granocristal).	P <sub>10</sub> = facies de metamorfismo. P <sub>10</sub> = facies de esquistos verda.
Esquistos cuarzo-felsolíticos (E <sub>1</sub> )	Troncales y granoclásticas (magmáticas)	QZ, FEL, MS, FEN, HC, AC, PR, MS, MS, MS	X	X	X	Textura original clásica	Arenitas cuarzo-felsolíticas.	Facies bajo en las facies de metamorfismo.
Fajas gráficas (E <sub>2</sub> )	Esquistosa	CA, MS, IR, CLD, BQ, QZ, PR, MS, MAC, ZIR, ILM, RUT, ISF, EU	X	X	X	Añadido a las Sm, con sulfuros hematita y diseminados.	Listita carbonosa	Facies de esquistos verda (P <sub>10</sub> , M <sub>2</sub> ).
Esquistos de clorita (E <sub>3</sub> )	Esquistosa	CLD, MS, QZ, BQ, SP, IR, BQ	X	X	X	Con Sm y sulfuros diseminados.	Materiales clorita básica e intermedia.	Facies de esquistos verda.
Esquistos de muscovita (E <sub>4</sub> )	Esquistosa	MS, IR, QZ, FEL, CLG, PR, MS, ILM, ZIR, AC	X	X	X	Con Sm, y sulfuros hematita, diseminados y un venado.	Posiblemente listita y facies proclíticas y metac.	Facies de esquistos verda.
Esquistos de clorita-muscovita (E <sub>5</sub> )	Esquistosa	FEL, CLG, MS, CLD, BQ	X	X	X	Fragmente sulfuros hematita vulcanogénicos, hematita y diseminados.	Vulcanoclastica	Facies de esquistos verda.
Esquistos de biotita (E <sub>6</sub> )	Porfiroclástica con metacristalografía	CL, MS, IR, CLD, MS, BQ	X	X	X		Posiblemente de listitas cloríticas y hornblendas de arenitas cuarzo-felsolíticas.	Facies de esquistos verda.
Esquistos de tremolita-cornblenda (E <sub>7</sub> )	Esquistosa	A-1, QZ, ALB, EP, ZAL, ISF, ILM, MAC, PY, MS	X	X	X	Sulfuros hematita, pirita diseminada y un venado.	Hornblenda básica e intermedia con met. diseminado.	Facies de esquistos verda. (P <sub>10</sub> , M <sub>2</sub> ).
Micas (entre las mareas) (M)	Esquistosa	QZ, MS, Sm, ZIR, PR, MAC, ILM, MS, IR	X	X	X	Contiene sulfuros diseminados y un venado.	Metac.	Facies de esquistos verda.
Fajas gráficas calcáreas (E <sub>8</sub> )	Esquistosa a metacristalografía	QZ, CAL, MS, CA, MS, PR, ILM, ZIR, ILM	X	X	X		Textos negros y listitas calcáreas con esferas de met. vulcanoclastica.	Facies de esquistos verda.
Calcaren recristalizadas (E <sub>9</sub> )	Granoclástica a microcristalina	CAL, QZ, CA, MS, PR, AC, MS, MS	X	X	X		Calcaren calcáreas.	Facies bajo de esquistos verda.

SÍMBOLOS:

FEL = feldespato	SM = grafito	PL = plagioclaso	SM = sanidino
ILM = ilmenita	MAC = magnetita	AC = arcillas	PI = perita
LIN = limonita	IR = hierro	ISF = esfena	PR = perovita
QZ = cuarzo	BQ = biotita	BQ = biotita	PL = plagioclaso Na
PL = plagioclaso Ca	MS = muscovita	ZIR = zircón	MS = muscovita
CLD = clorita	EP = epidoto	CA = calcita	IR = hierro
PR = pirita	MS = hematita	RUT = rutilo	EU = tourmalina
A-1 = actinolita-verde	ALB = albita		

El tercer evento metamórfico  $H_3$  consiste en una retromorfosis que afectó a las unidades metamórficas de una manera muy irregular, acaecida antes de la deformación  $D_3$ . Esta retromorfosis se manifiesta principalmente por el reemplazamiento casi total de la biotita y tremolita/actinolita por clorita, sericitización de los feldespatos, hematización de la epidota y epidotización de las plagioclasas, (Parga-Pérez, et al., 1983).

Los diferentes eventos metamórficos que afectaron a las diferentes unidades litológicas están resumidos en la tabla no. 3.

## 11.6.-YACIMENTOS MINERALES.

### 11.6.1.- INTRODUCCION.

El área en estudio comprende dos yacimientos minerales de sulfuros polimetálicos, los cuales han sido denominados como: a) la localidad de Tizapa, - que se encuentra al SW del área de estudio (plano no. 3), en el municipio de Zacazonapan, en la que existen obras de desarrollo minero (tres pequeños socavones y un tiro); y b) la localidad de La Esmeralda, que se ubica al NE del área en estudio (plano no. 3), en el municipio de Temascaltepec, en la que se encuentra una pequeña cata. Estas localidades han sido descritas en trabajos realizados por personal del CRM. Además se realizó un programa de barrenación con diamante por personal de esta institución.

La mineralización existente en el área se presenta como:

- sulfuros masivos de forma de mantos y lentes, que en ocasiones presenta bandeamiento y brechamiento,
- sulfuros bandeados, ocasionalmente brechados,
- sulfuros diseminados en la roca encajonante,
- pequeñas vetas de sulfuros.

Los sulfuros masivos polimetálicos se diferencian de los bandeados únicamente por el espesor, ya que estos últimos son pequeños horizontes de concentraciones de sulfuros de escasos centímetros de espesor, mientras que los sulfuros masivos son de varios decímetros o metros de espesor, los cuales en algunas ocasiones presentan bandeamiento de la mineralización, marcándose por bandas de mena amarilla alternando con mena negra.

Las obras mineras que existen en la localidad de Tizapa son cuatro, y se encuentran localizadas en ambos márgenes del arroyo de Tizapa. del cual toma el nombre la mina.

La obra de mayor desarrollo es el socavón Tizapa Sur, con un cuele total de aproximadamente 40 m, de los cuales 30 m corresponden a la obra principal labrada de norte a sur y los 10 m restantes corresponden a un crucero al poniente a 4.5 m de la bocamina; en general la sección de esta obra varía de -- 1.5 a 2 m de ancho por 1.7 m de alto.

El socavón Tizapa Norte-1 presenta una forma irregular, con una dirección hacia el NE de 13 m, con un desnivel de 5 m, entre la bocamina y la frente; presenta un crucero hacia el NW a los a m de la entrada. Como ya se indicó la sección de esta obra es muy irregular, ya que la inestabilidad de las rocas provoca frecuentes derrumbes que forman la sección original de la obra.

El socavón Tizapa Norte-2 es paralelo al socavón Tizapa Norte-1 localizándose a 15 m aproximadamente aguas arriba del arroyo de Tizapa. El desarrollo horizontal es de 30.4 m, con una sección de un ancho promedio de 2 m, por una altura de 1.9 m. Existe un pozo en dirección NW a 9.2 m de la entrada con una profundidad de 15.4 m, con una sección de 1.7 por 1.5 m.

El tiro denominado "14 Enanos", tiene una profundidad de 21.6 m, en el cual se encuentra un crucero a 16.6 m en dirección NE, de 5.8 m de longitud, con una sección de 1.9 m de ancho por 1.8 m de altura. La sección del tiro es semicircular con un diámetro aproximada de 2.5 m.

En la localidad de La Esmeralda existe únicamente una pequeña obra minera (cata).

#### II.6.2.- DESCRIPCIÓN DE LA MINERALIZACION.

Los sulfuros polimetálicos que componen los yacimientos se encuentran en plazados en la secuencia volcánico-sedimentaria metamorfozada de bajo grado (¿sies de esquisto verde), en diferentes niveles estructurales de la misma.

La mineralización más importante corresponde a cuerpos en forma de mantos y lentes de sulfuros masivos polimetálicos concordantes con la foliación, la cual es concordante con la estratificación en esta zona. El comportamiento de los cuerpos en el subsuelo está regido por un plegamiento secundario aparentemente suave de las rocas encajonantes que afectó también a los cuerpos mineralizados (Parga-Pérez, J.J., y Rodríguez-Salinas, J.J., 1983).

Es frecuente encontrar lentes de sulfuros masivos separados por intervalos de roca estéril encontrándose sucesivamente alineados según el rumbo de la estructura de la roca encajonante. Intercalados con estos cuerpos de sulfuros masivos se encuentran sulfuros bandeados que ocasionalmente están brecha-

dos. También se observa una escasa a intensa diseminación de sulfuros y vetillas de sulfuros en la roca encajonante; algunos de estos intervalos son susceptibles de explotación económica debido a sus altas leyes.

Los mantos de sulfuros masivos se encuentran encajonados en las filitas grafiticas, en los esquistos de clorita, en los esquistos de muscovita y en los esquistos de clorita-muscovita; los sulfuros bandeados yacen en las filitas grafiticas, en los esquistos de muscovita, en los esquistos de tremolita/actinolita, en los esquistos de clorita-muscovita y en las filitas grafiticas calcáreas, (tabla 4).

Los litosomas en los que se ha observado diseminación de sulfuros corresponden con filitas grafiticas, esquistos de clorita, esquistos de muscovita, esquistos de tremolita/actinolita, esquistos de clorita-muscovita, filitas grafiticas calcáreas y diques andesíticos, (tabla 4).

La distribución de las vetas en los diferentes litosomas se muestra en la tabla 4.

#### a) LOCALIDAD DE TIZAPA.

En la única parte que afloran los cuerpos de sulfuros masivos es al SW del área de estudio, en las márgenes del arroyo de Tizapa, al nivel de la mina del mismo nombre.

Las dimensiones de los cuerpos de sulfuros masivos tanto en espesor, como en extensión son variables; así pues se encuentran cuerpos desde varios centímetros hasta 23.85 m (barreno T#48), considerándose como espesor medio 6 m. Respecto a la extensión lateral y tomando como base la correlación de los cuerpos, se puede decir que algunos varían decenas de metros y otros de 100 a 200 m, siendo la máxima longitud comprobada para un cuerpo de 420 m.

Hacia el sur de la meseta de Tizapa, en el arroyo de Tizapa, estos cuerpos de sulfuros masivos están desplazados por fallas normales y cuerpos pequeños de riolitas fluidales, que hacen difícil conocer claramente la continuidad de los mismos en esta dirección.

El cuerpo de sulfuros más profundo (en relación a la superficie de la meseta de Tizapa) que ha sido cortado por barrenación esta a 296 m (barreno T#50); el más superficial fue atravesado a 67.57 m (barreno T#59; plano no. 3). En el barreno T#19 se cortaron sulfuros masivos, los cuales se encontraban aflorando antes del depósito del conglomerado basal.

Los sulfuros polimetálicos se encuentran encajonados en filitas grafiti-

TABLA I

## DISTRIBUCION DE LA MINERALIZACION EN LOS DIFERENTES LITOSOMAS

Litosomas	Mineralización			
	SM	S B	SD	VS
Fillitas grafíticas	X	X	X	X
Esquistos de clorita	X		X	
Esquistos de muscovita	X	X	X	X
Esquistos de tremolita/actinolita		X	X	X
Esquistos de clorita-muscovita	X	X	X	
Fillitas grafíticas calcáreas		X	X	X
Metarriolita Las Huertas (esquistos de musc.)			X	X
Diques félsicos				X
Diques andesíticos			X	X
Riolita fluidal				X

## Simbología

SM = sulfuros masivos

SB = sulfuros bandeados

SD = sulfuros diseminados

VS = vetas de sulfuros

cas, esquistos de muscovita, esquistos de clorita y esquistos de clorita-muscovita. Los cuerpos de sulfuros se observan en estas rocas son mostrar una --tendencia determinada y notable a uno de ellos, sólo puede mencionarse que el cuerpo de sulfuros masivos de mayor potencia y continuidad se encuentra en un litosoma de esquistos de muscovita subyaciendo a filitas grafiticas.

Estos cuerpos de sulfuros polimetálicos son concordantes con la folia--ción predominante, así como en algunos contactos entre diferentes litosomas.

Los minerales en orden de abundancia del yacimiento son pirita, esfalerita, galena, freibergita, arsenopirita y calcopirita; se reconocen en algunas muestras tetraedrita, jamesonita, burnonita, boulangerita y estannita; la gan ga está constituida por cuarzo, calcita, clorita, muscovita y grafito (tabla 5).

Los minerales formadores de la mena, generalmente son de grano fino, con formando una textura masiva granular, la cual se define por cristales anhedra les de pirita, embebidos en masas de cristales anhedrales de esfalerita y algo de calcopirita y se presentan intercrecimientos con los sulfuros y sulfosa les citados. También se observa que la freibergita y la galena se presentan como inclusiones en la esfalerita (Parga-Pérez, et al., 1982). Cuantitativa--mente se han reportado valores de itrio, pero no se sabe en que mineral se encuentra. Algunos cristales de sulfuros presentan sombras de presión, (lo que podría evidenciar una depositación pretectónica; Parga-Pérez, J.J., 1983).

Parte de la mena presenta un bandeamiento constituido por capas amari--llas formadas predominantemente de pirita y algo de calcopirita y capas gri--ses de esfalerita y galena con muy poca tetraedrita. Este bandeamiento tam--bién es concordante con la foliación predominante de la roca encajonante y --presenta un bandeamiento rítmico original, (Parga-Pérez, 1981; Parga-Pérez, --et al., op. cit.). También se observan estructuras de brechamiento, tanto en las menas como en los metasedimentos anfitriones, (Parga-Pérez, 1983). Al ana lizar los perfiles de barrenación este brechamiento se encuentra tanto en la cima como en la base de los mantos.

#### b) LOCALIDAD LA ESMERALDA.

En el yacimiento denominado "La Esmeralda", la mineralización consiste --de cuerpos lenticulares de sulfuros polimetálicos concordantes con la folia--ción de las rocas encajonantes, las cuales consisten en esquistos de muscovi--ta-clorita y esquistos de muscovita. En los esquistos verdes se tienen algu--

1

TABLA II  
MINERALES QUE CONSTITUYEN LOS YACIMIENTOS

Minerales	Yacimiento		
	Tizapa	La Esmeralda	
		Ecl-m	Ecl-Eta
PIRITA	X	X	X
ESFALERITA	X	X	*
GALENA	X	X	*
FREIBERGITA	X	X	
ARSENOPIRITA	X	*	
CALCOPIRITA	X	*	X
TETRAEDRITA	*		
JAMESONITA	*		
BOURNONITA	*	*	
BOULANGERITA	*	*	
ESTANNITA	*		
PIRROTITA		*	
OWYHEEITA		*	
BERTHIERITA		*	
BORNITA			*

Simbología:

X = minerales de mayor abundancia.

\* = minerales de menor abundancia.

Ecl-m = esquistos de clorita-muscovita.

Ecl = esquistos de clorita.

Eta = esquistos de tremolita/actinolita.

nas zonas de mineralización bandeada de cobre de baja ley.

La dimensión de dichos cuerpos, tanto en espesor como en extensión es variable; en cuanto a espesor, se han atravesado cuerpos de sulfuros desde unos cuantos centímetros hasta 4.8 m, siendo su espesor promedio de aproximadamente 2 m. Respecto a su extensión lateral, la mineralización se ha reconocido en una longitud máxima de 435 m en la dirección norte-sur, y de aproximadamente 100 m en la dirección este-oeste. Los cuerpos mineralizados más someros lo calizados están a 21.5 m y los más profundos a 130 m, (por medio de barrenación con diamante).

Los sulfuros polimetálicos se encuentran encajonados en los esquistos de clorita-muscovita y constan por orden de abundancia de pirita, esfalerita, galena, freibergita y en pequeñas cantidades arsenopirita, pirrotita, calcopirita, boulangerita, bournonita, owyhecita (jamesonita argentífera) y berthierita (Parga-Pérez, *et al.*, 1983). (Tabla 5). La textura de estos sulfuros es --bandeada de grano fino a medio y esta caracterizada por cristales anhedrales de esfalerita diseminada y en vetillas, frecuentemente con inclusiones de --freibergita y galena; también son frecuentes los cristales anhedrales de freibergita con intercrecimientos de bournonita.

Con respecto a los sulfuros encajonados en los esquistos de clorita y --tremolita/actinolita y rocas metavolcánicas constan por orden de abundancia --de pirita y calcopirita con cantidades pequeñas de esfalerita, galena y bornita; esta asociación esta conformando una textura bandeada de grano fino a medio, llegando en ocasiones a ser casi masiva. De acuerdo con los resultados --de análisis químicos cuantitativos practicados a estas menas cupríferas, no --presentan importancia económica en la actualidad.

Los minerales de ganga son por orden de abundancia cuarzo, minerales micáceos, calcita y clorita, los cuales incluyen ocasionalmente siderita, ankerita y albita.

La mineralización se caracteriza por ser rica en Fe-Zn-Pb y deficiente --en Cu. Los sulfuros y sulfosales son, por orden de abundancia pirita, esfalerita, galena y freibergita, (tabla 5). En mucho menor proporción se encuentran arsenopirita, pirrotita, calcopirita, boulangerita, bournonita, owyhecita (jamesonita de Ag) y un sulfoantimoniuro de Fe (berthierita?), no presentes en todas las muestras estudiadas con la microsonda electrónica por Rubíno vich-K., R. y Gasca-Durán, A., (1984).

Del estudio con microsonda electrónica se tiene que los elementos presen

tes en los sulfuros y sulfosales metálicos son Fe, Zn, Pb, Cu, Ag, Sb y As, - de acuerdo con Rubínovich-K., et al., (1984). A continuación se describen cada uno de ellos:

**HTERRO:** está contenido principalmente en forma de piritita, que es el sulfuro - más abundante en las muestras estudiadas; en la esfalerita constituye aproximadamente el 8.5 % (en peso). En las freibergitas se cuantificó alrededor de 4.5 % (en peso). El Fe se encuentra también en los siguientes minerales: calcopirita, berthierita (?), arsenopirita y pirrotita, pero ellos están en proporciones menores en algunas muestras.

**ZINC:** se encuentra principalmente en forma de esfalerita y constituye aproximadamente el 3 % (en peso) en las freibergitas.

**PLOMO:** contenido fundamentalmente en la galena y en tres sulfoantimoniuros: - uno de Pb (boulangerita), otro de Pb-Ag (owyheelta) y un tercero de Pb-Cu --- (bournonita). Estas sulfosales fueron encontradas sólo en algunas muestras.

**COBRE:** el elemento es muy escaso en las muestras. Se encuentra en la freibergita (entre 15 y 37 % en peso, dependiendo del contenido de Ag) y en calcopirita y bournonita, identificados sólo en dos muestras.

**PLATA:** el mineral argentífero más abundante es la freibergita, donde el elemento constituye entre 4.5 y 26 % (en peso), dependiendo del contenido de Cu. En dos muestras se encontró una sulfosal doble de Pb-Ag (owyheelta), en la -- cual la Ag constituye entre el 10.6 y 11 % (en peso). En una muestra la Ag es está en la galena argentífera, donde el elemento está alrededor del 2 % (en peso).

**ANTIMONIO:** principalmente en la freibergita en donde constituye alrededor del 21 % (en peso). También en owyheelta, berthierita (?), boulangerita y bournonita.

**ARSENICO:** muy escaso. En freibergita, sustituyendo al Sb, en rangos hasta el 4 % (en peso).

La disminución en el contenido de Ag no se debe a la reducción del contenido de freibergita en las muestras, sino al reemplazo de Cu por Ag. Esto --- coincide con la abundancia de otras sulfosales (boulangerita y bournonita).

Comparando los yacimientos de La Esmeralda y de Tizapa se tiene que: - en el yacimiento de La Esmeralda en general los sulfuros y sulfosales ocupan bandas paralelas a la foliación y predominan en las muestras los minerales no metálicos, diferencia fundamental con los ejemplares estudiados del --

área aladeña de Tizapa, en que los sulfuros son masivos,

- La textura observada en las muestras de La Esmeralda indica mineralización lenticular y diseminada, muy distinta a la observada en Tizapa, que es consis-  
tentemente masiva.

Con lo que respecta a la mineralización diseminada y en vetas se tiene:

- algunos intervalos con diseminación de sulfuros son susceptibles de ser apro-  
vechados económicamente, debido a los buenos valores de plata que se reportan. Existen otros casos en donde la diseminación pirítica es abundante y los valo-  
res de plata y zinc son bajos. Los sulfuros diseminados están constituidos de pirita, calcopirita, esfalerita y galena. En algunos cristales de pirita dise-  
minada se puede observar que está en forma anhedral, de aproximadamente 7 mm de diámetro, y en el centro del cristal existe pirita cuedral, lo que indica-  
ría dos eventos en la formación de pirita.

- La mineralización de las vetas está constituida principalmente de pirita, y en menor cantidad calcopirita, esfalerita, galena y arsenopirita.

Estos tipos de mineralización esta difundida en toda el área en estudio,

### II.6.3.- GENESIS DE LA MINERALIZACIÓN.

El origen de la mineralización existente en el área en estudio puede explicarse por diferentes hipótesis genéticas:

a) SINGENETICA: debido a el paso de soluciones hidrotermales producto de una actividad volcánica-fumarólica (exhalación de soluciones mineralizantes), las cuales dieron origen a los mantos, lentes, sulfuros bandeados y diseminación. En el caso de la pirita diseminada en las filitas grafíticas puede ser de ori-  
gen sedimentario (sinsedimentario) formada en un ambiente euxínico denotado por la presencia de grafito (carbón procedente de materia orgánica).

b) EPIGENETICO: origen posterior a los sulfuros masivos vulcanogénicos por so-  
luciones hidrotermales (formación de vetas), o por la removilización de los - sulfuros preexistentes (vetas y diseminado).

De los diferentes tipos de mineralización singenética (mantos, lentes, - sulfuros bandeados y diseminados), la más importante es la que originó los --

mantos y lentes, que tienen como características generales las siguientes:

- cuerpos lenticulares concordantes con la foliación, que en general es paralela a la estratificación.

- Textura masiva granular fina y de grano grueso, textura brechada.

- Textura bandeada concordante con la foliación en la que alternan mena amarilla (pirita y calcopirita) con mena negra (esfalerita y galena).

- Asociación de Pirita-Cu-Zn-Pb con importantes cantidades de Au, Ag y Cd, en la localidad de Tizapa; y en la localidad de La Esmeralda de Pirita-Pb-Zn con altos contenidos de Ag y deficiencia de Cu.

- Presencia de sombras de presión rodeando algunos cristales de sulfuros que evidencian una depositación pretectónica.

- Asociación de las menas en rocas premetamórficas tobáceas y pelíticas, indicando un ambiente volcánico-sedimentario.

- Asociación con rocas volcánicas calco-alcalinas (felsicas).

- Depósitos de los mantos en una secuencia rítmica volcánico-sedimentaria.

- Plegamiento simultáneo de los mantos y roca encajonante con dislocación posterior.

Debido a que las características mencionadas son similares a las que describen diferentes autores en los trabajos que han realizado con respecto al tipo de mineralización de sulfuros masivos vulcanosedimentarios, las cuales son:

- Asociación de menas con sedimentos marinos y vulcanismo marino.

- Depósito de menas singenéticas intraformacionales.

- Geometría de la mena en forma de mantos y lentes, con desarrollo en dos dimensiones, paralelo a la roca encajonante con un área continua por gran distancia relativa a su espesor y un límite de desarrollo perpendicular a este.

- Zonamiento de la mena y asociación de alteraciones.

- Una distribución espacial no uniforme de los depósitos de mena, los cuales existen en grupos (lentes y mantos) en uno o un número restringido de horizontes dentro de una secuencia.

- Pueden existir zonas de mineralización en stockwork subyaciendo a las menas.

- Contenido de más del 60 % de sulfuros, principalmente de Fe, Cu, Zn, Pb, -- así como importantes cantidades de Ag y Au con Ba, yeso, Cd, Hg, Bi, Co y Sn.

- Texturas bandeadas, brechadas y coloformes.

Esta mineralización de sulfuros masivos forman menas *singenéticas* por la exhalación de soluciones mineralizantes en la interfase sedimento-agua, así como un desarrollo en la interfase (contacto) de unidades volcánicas o en la interfase sedimentaria-volcánica (Evans, 1980), en episodios recurrentes de actividad fumarólica del piso marino durante prolongados períodos de vulcanismo subacuoso, por lo que los lentes que se forman están suprayacidos por zonas extensas de lava alterada e impregnada de sulfuros (Hutchinson, 1973).

En este trabajo se consideran a las soluciones hidrotermales como las -- que aportan la mineralización tanto en la roca, como en la interfase roca-agua, por lo que se les menciona como soluciones exhalativas o hidrotermales.

Las soluciones hidrotermales que dan origen a la mineralización (fluidos cargados de metales), se mezclan con el agua marina precipitándose en el piso marino y dentro de la zona alimentadora en las rocas volcánicas-subyacentes, la precipitación se hace en orden contrario de la solubilidad a lo largo del gradiente temperatura-composición dentro de la zona de apertura por donde pasan las soluciones, (Wolf, 1981).

Los procesos de formación de sulfuros incluyen directamente depositación sedimentaria, estado temprano de diagénesis, mineralización de aguas subterráneas y depositación de menas hidrotermales. La reducción de azufre por bacterias puede tener un importante papel en la interpretación de sulfuros metálicos en sedimentos y rocas sedimentarias. Los factores que pueden ser importantes en la formación de sulfuros son la permeabilidad del sedimento y abundancia de materia orgánica (modificación de Eh y pH), y otros agentes precipitantes en el sedimento. La abundancia y la actividad de organismos (metabolismo) pueden ser importantes; asimismo, la pirita puede ser un factor consecuente a la formación de sulfuros. En los depósitos en que el origen es claro, la intensidad y duración de la actividad fumarólica submarina fue el factor más importante para determinar su espesor, (Singer, *et al.*, 1975).

Apoyando los estudios sobre las soluciones mineralizantes hidrotermales Spooner (1980) en investigaciones realizadas sobre la mineralización de cobre-pirita, menciona que el mayor descubrimiento de los recientes años es el comportamiento físico y químico de la Tierra (sólido/oceano) donde se manifiesta un fenómeno de circulación de agua marina de una forma convectiva dentro de 3 a 5 km de la corteza oceánica en la apertura de las dorsales. Un punto importante concerniente a la circulación hidrotermal, ha resultado del estudio de rocas ofiolíticas en la formación de depósitos de mena cuprífero-pirítico

de significancia económica. Esta sugerencia tiene recientemente un considerable apoyo para el descubrimiento de la mayoría de los sulfuros masivos. También se indica que la geometría del flujo en la secuencia ofiolítica de Cyprus, se caracteriza por tener una simetría axial, conteniendo en el centro áreas de fluido ascendente, los cuales estuvieron operando durante un tiempo. Estudios de inclusiones fluidas y modelos técnicos, sugieren que los principales factores que causaron la depositación en la superficie son la mezcla con el agua de mar y pérdida de calor. Un efecto lateral de la transferencia de fluido de masa, asociada con la transferencia convectiva de calor en el espacio oceánico, se manifiesta en la formación de depósitos de sulfuros.

A partir de un centro exhalativo los precipitados químicos varían constantemente en composición, por lo que todos los depósitos de sulfuros masivos muestran características diferentes aunque son comunes en ciertos aspectos. Los procesos de mineralización en la formación de depósitos vulcanogénicos, están íntimamente asociados a fenómenos sedimentarios, en especial al concepto de cambio de facies, lo que significa que se tienen cambios de Eh y pH que varían rápidamente a partir del centro exhalativo. La presencia de algunos minerales están asociadas a condiciones de Eh y pH específicas, (Rosas, 1983). La acumulación de sulfuros masivos puede ser sobre o cerca del piso oceánico por precipitaciones próximas o distantes a los sitios de descarga de fluidos hidrotermales. De acuerdo a la distancia que existe del cuerpo de sulfuros masivos al centro exhalativo, recibe el nombre de "proximal" cuando la distancia es poco considerable, manifestándose por una textura masiva de grano grueso a mediano, y "distal" cuando la distancia es mucho mayor evidenciado por un retrabajamiento de los minerales y una textura de grano fino, (Franklin, et al., 1981, en Macías y Solís, 1985).

Los procesos contemporáneos que se desarrollan durante la migración lateral de fluidos hidrotermales hacia zonas externas del centro de descarga, llevan como resultado una disminución de temperatura e incremento de pH lejos del centro exhalativo (Ohmoto y Skinner, 1983), originando halos geoquímicos de alteración, los cuales no indican necesariamente la presencia de sulfuros masivos; únicamente evidencian el paso de soluciones hidrotermales que formaron productos de alteración, estos tipos de alteración pueden ser cloritización, silicificación, sericitización y caolinización (Rosas, op. cit.).

Distinta mineralogía y zonamiento químico es evidente dentro de la mayoría de los depósitos; las menas masivas son relativamente ricas en cobre en

el centro y el porcentaje externo es rico en zinc. La porción central e inferior de los lentes de sulfuros masivos comunmente poseen un brechamiento, aparentemente en bloques, hacia las partes altas y márgenes laterales tienen un bandeamiento natural, definido por la alternancia de capas de esferalerita y capas ricas en pirita, estructuras de presión y de flama, estratificación graduada y fragmentos angulares de la mena en la base de la precipitación de las soluciones mineralizantes sobreyacentes al piso oceánico. El contenido y presentación de los sulfuros masivos varía hacia abajo a menas semi-masiva hasta mineralización en vetillas (vetillas de aproximadamente 2 a 30 cm de ancho), las cuales pueden persistir por cientos de metros en el vulcanismo subyacente. Los sulfuros masivos se encuentran con menos frecuencia inclinados dentro de una pequeña zona de mineralización en vetillas diseminadas, cuyos grados van de estéril a diseminado en la parte interna inferior de la roca (un metro o más). En general una delgada parte exterior rica en Zn de la zona de vetillas contiene pirita, esferalerita y en menor proporción calcopirita, (Wolf, -- op. cit.).

Hutchinson (op. cit.) menciona que el zoneamiento metálico es prominente y los techos estratigráficos de los lentes masivos son piríticos y ricos en Zn o Zn-Pb, donde sus pisos estratigráficos son ricos en Cu y frecuentemente pirrotíticos. Las texturas de brecha primaria son también comunes, particularmente están en los techos de los cuerpos masivos. Estos están aparentemente relacionados a alguna forma de actividad volcánica irruptiva tal como las explosiones de vapor en lavas suprayacentes, con fragmentación de sulfuros depositados primariamente. Estos fueron aparentemente seguidos por redepositación involucrando actividad de turbidez, slumps sedimentarios inducidos por gravedad, y movimiento hacia abajo sobre paleopendiente volcánica vieja.

Las texturas clásticas indican movimiento, brechamiento, transportación mecánica y redepositación de granos minerales y fragmentación de la mena durante y posterior a la acumulación de la mena. La mayoría de los sulfuros masivos exhiben textura clástica, pero en algunos casos no (Oimoto, y Skinner, op. cit.).

Estudios recientes de tipo petrográfico y minerográfico, de Eldridge, et al., (1983), proponen un nuevo modelo sobre el crecimiento de los yacimientos de sulfuros masivos. Este modelo involucra cinco "fases" o procesos, de los cuales dos de ellos (primero y tercero) son los de mayor importancia. La primera fase involucra la precipitación de una mena negra primaria de grano fino

y a menudo coloforne, de esfalerita, galena, pirita y barita como resultado de la mezcla de fluidos hidrotermales no muy calientes con aguas marinas a menor temperatura. En la segunda fase existe una recristalización de estos mismos minerales, con la consecuencia de un aumento en su tamaño de cristal. En la tercera fase interviene la interacción de esta mena primaria con fluidos tardíos más calientes y ricos en cobre, provocando una serie de transformaciones metamórficas, como la recristalización de la mena negra primaria, una alteración a minerales de mena amarilla (calcopirita) en las partes bajas de los cuerpos de mena y la migración de las fases dos y uno a zonas externas. En la cuarta fase se introducen fluidos calientes (baja saturación de calcopirita) en la mena, resultando la disolución de calcopirita y formándose mineralización pirítica en la parte más baja de la mena, con una migración de calcopirita y de la mena negra hacia la parte superior y externa de la misma. En la quinta fase existe precipitación de pedernal-hematita en la parte superior de la mineralización masiva.

Evans (op. cit.) divide a los sulfuros masivos en tres categorías de depósitos: a) Zn-Pb-Cu, b) Zn-Cu y c) Cu. La clase de cobre está usualmente asociada con vulcanismo máfico, pero no está restringido a esta asociación volcánica. El vulcanismo más félsico desarrollado en un estado tardío en la evolución de arcos de islas, tiene más variedad de asociaciones de metales, siendo menas de Cu-Zn-Pb, a menudo contienen Au y Ag, y pueden haber asociadas barita, cuarzo y yeso. La presencia de menas de Pb está solamente asociada con rocas de composición riolítica, la cual constituye la roca encajonante (huesped). Estos horizontes pueden representar cambios en composición de las rocas volcánicas, un cambio en el ambiente de depósito de volcánicas a sedimentarias o simplemente un hiato volcánico. Existe una asociación restringida con rocas volcanoclasticas, por muchos cuerpos de mena que sobreyacen a productos explosivos de domos riolíticos. Estos depósitos son usualmente subyacidos por un stockwork que puede por sí mismo ser una clase de mena y la cual manifiesta haber sido el canal alimentador de fluidos mineralizantes ascendentes.

Por otra parte Hutchinson (op. cit.) reconoce diferencias entre varios depósitos, las cuales sirven para dividir a la familia dentro de tres grupos: a) Zn-Cu, b) Pb-Zn-Cu-Ag y c) cuproso-pirítica. En el segundo tipo las rocas volcánicas asociadas son más félsicas sobre todo en las que acompañan la formación de los depósitos. Los basaltos son usualmente raros en la vecindad de los cuerpos, aunque ellos pueden estar presentes a profundidad en la misma --

sección o en rocas lateralmente correlacionables. Investigaciones sobre las afinidades petroquímicas de esas rocas volcánicas muestran una asociación calco-alcalina. Las rocas volcánicas pueden ser lavas porfiríticas (a lo largo), brechas, y varias rocas piroclásticas, todas son distintivas y abundantes. - El vulcanismo explosivo que genera estas rocas aparentemente toma el lugar en el centro dómico que quizás estuvo brevemente y localmente subaerial. Los domos riolíticos endógenos contienen tanto lavas félsicas como riolitas porfídicas. De hecho, las menas del tipo Pb-Zn-Cu-Ag son más frecuentemente encontradas en rocas sedimentarias clásticas y sedimentarias de textura fina (cerca de rocas volcánicas félsicas), que en las rocas dómicas endógenas. Limonitas, areniscas, y raramente calizas están también asociadas con este tipo de depósitos.

Un vulcanismo félsico explosivo evidentemente juega un papel en el fracturamiento y la apertura superior de canales hacia un rápido ascenso de las soluciones mineralizantes (Wolf, op. cit.).

La asociación de basalto-andesita-dacita-riolita y rocas sedimentarias - descritas por Wolf (op. cit.) define la secuencia que alberga este tipo de mineralización. Los depósitos estratiformes están casi siempre asociados genéticamente con la fase postuma félsica (riolítica) en donde predomina pirita con variables cantidades de sulfuros de Zn, Pb y Cu. El ejemplo más conocido de mineralización es el tipo Kuroko, en el que la tendencia del contenido de Pb y Zn es mucho más alto que el contenido de Cu.

En el área de estudio la asociación de los sulfuros masivos con los protolitos de las rocas metamórficas, los cuales son lutitas carbonosas, rocas pelíticas, tobas (intermedias y ácidas) y riolitas, evidencian un origen marino-volcánico. En base con lo descrito en este inciso, se observan grandes similitudes por lo que el origen de los mantos, lentes, sulfuros bandeados y algunos de los sulfuros diseminados son de origen vulcanosedimentario (vulcanogenético).

La mineralización de los mantos y lentes correspondería según Evans (op. cit.) y Hutchinson (op. cit.) a el tipo de Pb-Zn-Cu, pero hasta la fecha no se ha podido observar la relación con domos riolíticos o dacíticos, debido a que el metamorfismo y las deformaciones enmascaran las relaciones estratigráficas; probablemente los esquistos de muscovita en su protolito sean provenientes de rocas riolíticas, las cuales pueden estar relacionadas con la mine

ralización vulcanogénica, así como, algunas zonas de vetas (posible stockwork) y menas diseminadas, pudieron haberse formado por el paso de las soluciones hidrotermales.

Al respecto de la diseminación Singer, *et al.*, (op. cit.) opina que los depósitos diseminados en cinturones sedimentarios se cree que se formaron por el depósito de fragmentos de sulfuros finos esparcidos en el fondo marino por la actividad de las erupciones.

Así pues, la circulación de las soluciones hidrotermales por la actividad volcánica que existió en esta zona dió origen a la mineralización dentro de la secuencia vulcano-sedimentaria, originando los mantos, lentes, sulfuros -- bandeados y parte de los sulfuros diseminados, y quizá algunas de las vetas -- (como canales alimentadores).

Los halos geoquímicos de alteración que pudieron producirse por el paso de las soluciones mineralizantes (hidrotermales) han sido enmascaradas por -- los procesos metamórficos.

En el caso de la diseminación piritica en las filitas grafiticas se pudo haber formado en un ambiente euxínico (circulación restringida de agua y condiciones anaeróbicas), lo que le confiere un carácter reductor propicio a la conservación de la materia orgánica que se acumula sobre el fondo marino (Foucault, *et al.*, 1985). Baumann (1976) menciona que en la zona de agua estancada (en las cuencas), prevalecen fuertes condiciones de reducción debido a la abundante disminución de materia orgánica (Eh con valor negativo), aquí el -- ácido sulfídrico ( $H_2S$ ) se genera y el hierro es precipitado en forma de sulfuro.

En cuanto a la mineralización epigenética puede deberse a la removilización de los sulfuros durante la diagénesis o el metamorfismo (Singer, *et al.*, op. cit.); es posible también que se deba a la removilización de sulfuros por fluidos provenientes de intrusiones ricas en volátiles (Tetsuro, 1985), o -- bien por soluciones hidrotermales posteriores a los eventos metamórficos asociados a los eventos intrusivos (diques).

### III.- GEOQUÍMICA.

#### III.1.- INTRODUCCIÓN.

Con base en los estudios geológicos, geofísicos, geoquímicos (vapor de Hg), y barrenación de diamante, realizados en el área en estudio, se decidió aplicar además geoquímica de suelos utilizando varios elementos (Cu, Zn, Pb, Ag, Hg, Ni), tendientes a detectar la posible continuidad de los cuerpos de sulfuros masivos vulcanogénicos (SMV) y la localización de nuevos lentes de SMV. Como ya se señaló, estos depósitos de SMV se encuentran a profundidad en forma concordante en una secuencia meta-volcano-sedimentaria, la cual está cubierta por suelo y derrames basálticos plio-cuaternarios.

El efecto del intemperismo y la erosión que afectan a la región son intensos y han actuado por un período grande de tiempo, por lo que en algunas partes el desarrollo de suelo es considerable (zonas de pendientes no pronunciadas), mientras que en otras partes es de escasos centímetros (zonas de talud, y donde la pendiente es fuerte).

La utilización de muestras de suelos es el medio directo y de detalle -- más importante en la exploración geoquímica minera atendiendo a la dispersión de elementos y generalmente es el paso siguiente a los levantamientos geoquímicos regionales.

El estudio geoquímico de suelos es importante para conocer el comportamiento de la dispersión secundaria de un yacimiento conocido, para poder obtener un modelo de comportamiento, el cual se puede usar comparativamente en -- nuevas áreas donde la mineralización puede estar a profundidad en áreas de -- condiciones similares, sobre todo geológico-geomorfológicas.

En este estudio geoquímico se hizo un análisis estadístico univariable para obtener los parámetros estadísticos y así establecer los límites de las poblaciones anómalas y del background, posterior a este análisis univariable, se realizó uno de multivariables, para observar el comportamiento entre las -- variables utilizadas (los seis elementos indicadores) y un análisis de interpolación geoestadístico para una mayor definición de las zonas anómalas.

#### III.2.- ASPECTOS GENERALES.

El método de exploración geoquímica de suelos se basa en el comportamiento geoquímico de dispersión secundaria. en base a los parámetros de movilidad y dispersión de elementos. estas características son el resultado de varios --

procesos, ya que la Tierra es un sistema dinámico en el cual los minerales -- son movidos de un lugar a otro y cambiados en forma y composición por una variedad de procesos incluyendo la fusión, cristalización, erosión, disolución, precipitación, vaporización y destrucción radioactiva, (Hawkes, H. E., y Webb, J. S., 1962).

La conducta detallada de la materia en este sistema es muy compleja, por lo que el ambiente geoquímico es definido por la presión, temperatura y disponibilidad de los componentes químicos más abundantes, lo cual determina la estabilidad y las fases de fluidos en cualquier punto. Sobre las grandes diferencias en presión, temperatura y química, el ambiente geoquímico de la Tierra puede ser clasificado dentro de dos grandes grupos: primario y secundario.

El ambiente primario se extiende hacia abajo de los niveles inferiores de agua meteórica, hacia el nivel más profunda, en el cual las rocas pudieron ser formadas; este es un ambiente de alta temperatura y presión, restringido a circulación de fluidos y relativamente bajo contenido de oxígeno libre.

El ambiente secundario es el ambiente de intemperismo, erosión y sedimentación en la superficie de la tierra. Está caracterizado por baja temperatura, presiones bajas constantes, movimiento libre de soluciones, y abundante oxígeno libre, agua y bióxido de carbono (Hawkes, H.E. y Webb, J. S., op. cit.).

Una determinada masa de material en la tierra normalmente no mantiene su identidad como una determinada fase a través de mayores transformaciones de un ciclo geoquímico, ya que tiende a ser redistribuida, fraccionada y mezclada con otras masas de material. Este proceso, en el cual los átomos y partículas se mueven a nuevas localidades y ambientes geoquímicos, es llamada dispersión geoquímica. Toda dispersión existe en sistemas dinámicos en los cuales los materiales de la tierra son cambiados a otros ambientes geoquímicos (definidos por temperatura, presión, rasgos mecánicos, u otras condiciones físicas). Las rocas o minerales estables en un ambiente, y los granos y átomos -- contenidos en ellos son liberados al ser dispersados por procesos mecánicos y químicos (Rose, et al., 1979).

La dispersión puede ser primaria o secundaria, de acuerdo al ambiente -- geoquímico en el que estén. Los principios fundamentales aplicados a los procesos de dispersión son semejantes. La dispersión primaria incluye todos los procesos de conducción a emplazamientos de elementos durante la formación en los canales y sitios de redeposición que generalmente son fisuras y averturas intergranulares de rocas que están a profundidad; esta dispersión incluye

todos los procesos de conducción o emplazamiento de elementos durante la formación de un depósito mineral. La dispersión secundaria es aplicada a la redistribución de los patrones primarios por un proceso posterior, usualmente en ambientes superficiales, en o cerca de la superficie de la tierra, donde los patrones son formados en las fisuras y juntas de las rocas cercanas a la superficie, en los espacios porosos de la sobrecarga, o en el nivel aflorante: arroyos, lagos y vegetación, (Hawkes, y Webb, 1962; Rose, et al., 1979).

Para menas formadas por soluciones hidrotermales a profundidad los dos grupos de términos tienen un significado paralelo; sin embargo, para depósitos sedimentarios singenéticos, los patrones primarios pudieron ser formados durante la sedimentación. Los patrones secundarios pudieron ser formados en un tiempo posterior si el depósito de mineral estuvo expuesto al intemperismo, o si fue metamorfoseado después de su formación. Aunque la terminología "primaria y secundaria" puede ser confundida en tiempo, es importante distinguir entre el ambiente y el tiempo en el cual existen, ya que estas determinan las características de los resultados de los procesos de dispersión.

La exploración geoquímica cuantifica trazas del material que ha sido dispersado de los cuerpos de mena que se están investigando (explorando), por lo que se tiene una relación con patrones de distribución de elementos en rocas normales. Por tal motivo, se deberán distinguir los patrones normales de los anómalos asociados con los cuerpos minerales.

La respuesta de un elemento a los procesos de dispersión es gobernada -- por la movilidad, que es la facilidad con la cual puede ser dispersado relativamente a la matriz de otros materiales circundantes a él. En algunos ambientes, la movilidad depende de las propiedades mecánicas de la fase móvil, tal como la viscosidad de magmas y soluciones o al tamaño, forma y densidad de -- los granos clásticos en el flujo de arroyos.

Los factores que afectan a una dispersión secundaria son químicos, mecánicos, biológicos y ambientales.

#### FACTORES QUÍMICOS:

- Composición química original de los elementos y su distribución en las rocas y depósitos mineralizados.
- Procesos supergenéticos responsables de los cambios en el mineral tanto en las rocas como en los depósitos mineralizados.
- Movilidad de los elementos o sus compuestos en diferentes medios, acuoso u

otros medios en la presencia o ausencia de materia orgánica.

- Presencia o medios capaces de precipitar metales y por lo tanto, limitar la extensión de su dispersión (calizas, bacterias).

#### FACTORES MECANICOS:

- Gravedad (ángulo de inclinación, deslizamiento de los suelos, presencia de vegetación que estabiliza las pendientes).

- Dispersión en aguas superficiales.

- Dispersión en aguas subterráneas.

- Dispersión debido a glaciares.

- Dispersión eólica (efecto superficial).

- Acción de animales que viven en madrigueras, su acción está restringida a unos pies de profundidad.

#### FACTORES BIOLÓGICOS:

- Vegetación (tipo de planta, profundidad de penetración de las raíces).

- Microorganismos (estos juegan un papel muy importante en la producción de humus, oxidaciones y reducciones, asimilación y concentración de minerales).

#### FACTORES AMBIENTALES:

- Clima (cantidad y distribución de la lluvia con sus efectos resultantes).

- Topografía.

- Geología.

- Tiempo (en general un período largo de intemperismo y su consecuente formación de suelo).

### III. 3.- INTEMPERISMO Y FORMACION DE SUELOS.

Los cambios físico-químicos más severos tienen lugar en donde las rocas son expuestas a la superficie terrestre, pudiéndose esperar un ambiente, en general, de máximo desequilibrio químico en el sistema rocas primarias-hidrosfera-atmósfera-biosfera. Aquí el proceso de intemperismo actúa para establecer el equilibrio químico entre los componentes del sistema, ya que este puede ser definido como la desintegración y alteración de materiales cerca o en la superficie de la tierra, a productos que son más cercanos a un equilibrio con la atmósfera, hidrosfera y biosfera; por lo que la prospección geoquímica debe de considerar estos procesos, los cuales suministran con el muestreo, da

tos para la localización de la mineralización oculta, y la posible existencia de una mayor o menor mineralización en una extensa región, (Rose, et al., --- 1979; Siegel, 1974)

Según Siegel (1974), el intemperismo puede actuar, dependiendo del ambiente, con un efecto tripartita que resulta de tres procesos básicos: subefecto físico o mecánico, subefecto químico o subefecto biológico-bioquímico.

El subefecto físico o mecánico puede ser debido a la acción del hielo -- (encuñamiento, trituración, procesos de erosión glacial), al incremento de -- cristales minerales o del hielo, a la descarga de material por traslado, expansión y contracción de grado variante en diferentes minerales debido a repetidas variaciones de temperaturas considerables que actúan durante un gran período de tiempo (en combinación con humedad) y la actividad de organismos (acción de las raíces, perforación, huellas, y destrucción por el hombre); este subefecto sirve para preparar a la roca para el ataque químico y biológico, exponiendo áreas de mayor superficie para tal ataque.

El subefecto químico comprende la lixiviación que tiene lugar por medio de la solución por agua, varios ácidos inorgánicos ( $H_2CO_3$ ,  $HNO_3$ ,  $H_2SO_4$ ), de los cuales el ácido carbónico es el más importante en el intemperismo, y ácidos orgánicos (húmicos); también los procesos químicos comprenden hidratación, ionización e hidrólisis, carbonatación, oxidación, reducción, y gelación por compuestos orgánicos.

Los subefectos biológicos-bioquímicos, como ya se mencionó ayudan a preparar la roca para la descomposición por su acción física destructiva, además existe liberación y atrapamiento de iones por medio de compuestos orgánicos.

Durante el intemperismo de una roca quizá las dos propiedades químicas del agua que más influyen en las diferentes reacciones químicas producidas -- son el pH y el Eh.

Todos los subefectos mencionados actúan con mayor o menor intensidad y -- su variación cinética depende de cinco factores clásicos, los cuales son: el clima (precipitación y temperatura), el relieve (topografía), la vegetación, la roca madre y el tiempo geológico.

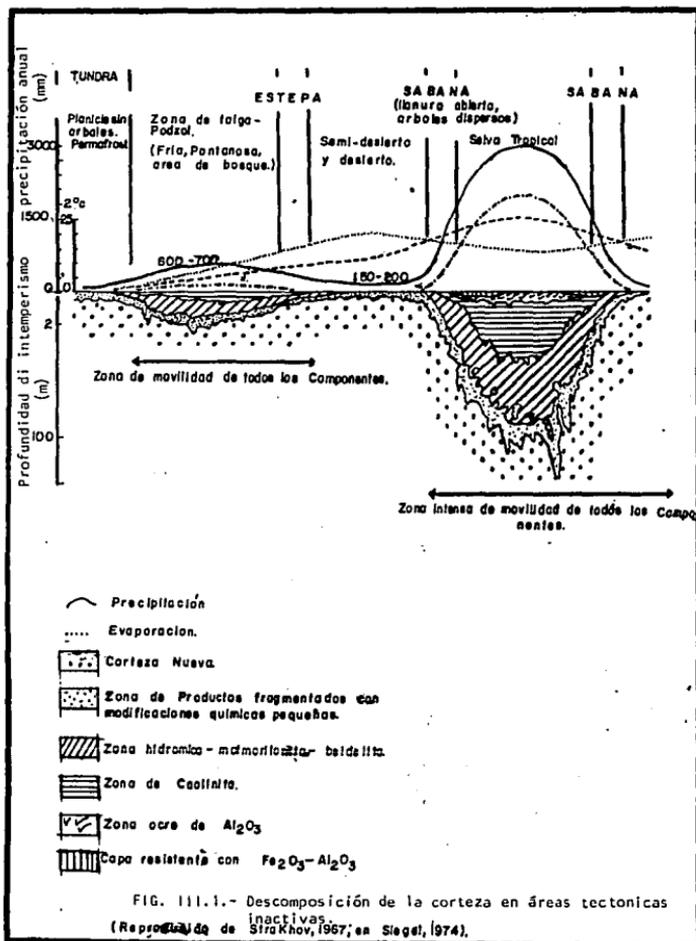
Los tres productos básicos de la desintegración y descomposición son: 1) material detrítico que puede ser corroído y transportado provisionalmente o -- finalmente depositado en zonas por gravedad, agua, viento y glaciares; 2) material soluble o partículas de materia en suspensión que entran al sistema hidrologico y es mantenido en solución o formar una suspensión coloidal hasta --

que reacciona químicamente para formar sólidos o unirse físicamente para formar grandes masas coloidales y 3) material detrítico, material soluble y en suspensión el cual queda en o cerca del sitio de intemperismo y como parte de un suelo residual.

Para una prospección geoquímica se puede usar una clasificación basada en el relativo aumento de precipitación, de la temperatura, y de la observación de la vegetación (fig. III.1), pero siempre con el uso complementario de la geología, geomorfología, e hidrología conocida de la zona de estudio.

Para el geoquímico que utiliza el suelo como prospección, la mejor definición de un suelo puede ser la dada por Hawkes y Webb (1962): "un suelo es un cuerpo natural de mineral y constituyentes orgánicos, diferenciados en horizontes de variable profundidad, el cual difiere del material inferior en morfología, carácter superior físico, propiedades y composición química, y características biológicas". Idealmente el suelo con un perfil clásico muestra tres horizontes principales (A, B y C), que pueden ser divididos en subhorizontes en base a características dadas.

El horizonte A comienza formándose de la roca madre, durante la primera fase de desarrollo de un suelo (por la alteración física y descomposición química con un resultado vertical y una dispersión lateral de los elementos químicos y partículas detríticas), el cual es designado como horizonte C. Como el proceso de formación de suelo continúa, el horizonte A se mantiene desarrollándose como una consecuencia de cambios físico, químico y biológico que evolucionan durante el proceso. En general, el horizonte A evoluciona por la pérdida de material en solución y traslado físico (influencia de la gravedad, el movimiento de precipitación vertical descendente o lateralmente sobre la topografía). El material perdido por el horizonte A, por ejemplo sesquioxidos y las arcillas, pueden acumularse en el horizonte B (zona de iluviación) o puede entrar en el sistema hidrológico en solución y suspensión, o solamente en suspensión, y ser llevado fuera de la zona inmediata de la formación de suelo, por lo que la pérdida de material no es solamente cambio en el horizonte. Si en el suelo se tiene vegetación en crecimiento, se presenta una transferencia de nutrientes de las diferentes partes fisiológicas de la vegetación, y la muerte o caída de estas partes puede dar como resultado un retorno de nutrientes, incluyendo metales, a la superficie; estos metales pueden entrar al ciclo de intemperismo nuevamente o pueden ser fuertemente retenidos en un ambiente por complejos orgánicos que son formados por la descomposición de la



materia orgánica, dependiendo de las condiciones que son dominantes en el ambiente. Asimismo, el material soluble puede ser añadido al perfil inferior -- por medio de la actividad capilar o a fluctuaciones del nivel freático. Así -- pues, en regiones subhúmedas y áridas los suelos tienen concreciones o bien -- definidas capas de sales, especialmente carbonatos de calcio. Estos dos proce -- sos posteriores son muy importantes en la prospección geoquímica, ya que el reconocimiento geoquímico de una redispersión que tiene lugar debido a la ac -- ción subsecuente de aquellos que envuelve en la formación inicial de un suelo. Dependiendo de la importancia del detalle en un horizonte principal, este -- puede ser dividido en varios subhorizontes. El horizonte A, es una zona de má -- xima actividad biológica, y puede ser presentada arbitrariamente en varios -- subhorizontes conforme a las necesidades del estudio científico que se reali -- ce. Los mismos factores que influyen en la dispersión y la distribución de -- los elementos químicos durante el intemperismo general, también afectan a los procesos de formación de suelo, pero en un cierto sentido son incrementados -- por el desarrollo de cada horizonte y subhorizonte con sus propias caracte -- rísticas físicas, químicas, biológicas, pH y Eh, estado de material orgánico con respecto a la cantidad, descomposición, complejos y su propio contenido de e -- lementos metalíferos, mineralogía (especialmente resistentes, hidrolizados, -- coloides, y arcillas con sus distintas capacidades para intercambiar iones), posición con respecto al permanente o estacional nivel freático y el grado de maduración. Generalmente es posible trabajar bien en una prospección geoquí -- mica de suelos usando como una base un simple y común perfil de suelo. Es muy -- importante el hecho que el número de estudios que detallan claramente los per -- files de un suelo de investigación sean incrementados dependiendo de la expe -- riencia, del equipo de prospección geoquímica y de su comparación con datos -- de otros suelos, siendo importante para los programas de exploración a futuro.

Al respecto del horizonte B Mason y Moore (1982) opinan que este horizon -- te está enriquecido en arcillas y a menudo tiene un color café rojizo y café -- amarillento por una acumulación de óxidos de hierro.

El área en estudio es de clima cálido y la mayor parte del año es de se -- cas, con una temporada de lluvias abundante; en este último periodo, la ero -- sión y el intemperismo se intensifican y se incrementa el desarrollo de la ve -- getación, decaendo en la temporada de secas. El clima no tiene variaciones -- extremas en cuanto a la temperatura (inciso I.6.3).

En la región existen variaciones locales de clima (microclimas) y de li --

tología, lo que pudo originar los distintos grupos de vegetación, aunado a es to la presencia del hombre ha provocado el aumento de la vegetación secunda- ria.

En la época de lluvias la infiltración por las fracturas de las rocas -- produce alteración en las rocas subyacentes, por consiguiente un aporte de - soluciones y partículas en el agua subterránea, las cuales son redepositadas en otros sitios, principalmente cuando el agua vuelve a la superficie (manan- tiales).

El área en cuestión al estar expuesta a periodos discontinuos de intempe- rismo y erosión (inciso 1.6), provocaron la dispersión de los diferentes ele- mentos de la mineralización, así como de la roca incajonante, originando mate- rial detrítico, en suspensión y soluble; los dos últimos pueden entrar al sis- tema hidrológico o depositarse cerca del lugar de intemperismo, observándose sales en las zonas superficiales de la mineralización que se deposita en frac- turas, lo que indica su removilización secundaria.

La secuencia metamórfica sufrió un periodo de erosión, con un depósito - posterior del material que se estaba erosionando, dando origen al conglomerado, el cual está sobreyacido por sedimentos lacustres y derrames de basalto; en- este tiempo hubo interrupción de la erosión. Actualmente se tiene otra etapa de erosión e intemperismo de todas las rocas expuestas en la región, por lo - que la formación del suelo es relativamente reciente. Apoyando esto Mason y - Moore (op. cit.) menciona que "la única característica del suelo es la organi- zación de sus constituyentes y propiedades en capas que son relativas a una - superficie actual y cambios verticales con la profundidad. Las capas indivi- duales son referidas como horizontes de suelo y pueden variar en espesor de - unas pocas pulgadas a varios pies".

Los límites de las mesetas de basalto de la Mesa de Tizapa y del Potrero de Tenayac, definen un talud, en el que la erosión es un factor importante, - originando un pequeño valle (cañada), en el que los procesos erosivos son por gravedad y fluviales; en las márgenes del arroyo El Ahogado se ha depositado aluvión. El material detrítico por la erosión se encuentra generalmente des- plazado, sobre todo en las zonas de talud por gravedad alrededor de las mese- tas de basalto.

El agua ha transportado sales, material soluble y en suspensión de las - zonas mineralizadas, ya que el agua meteórica drena por las fracturas de los basaltos y llega a las rocas metamórficas que contienen la mineralización. En

temporada de lluvias se observan pequeños manantiales al este de la Mesa de Tizapa y al oeste del Potrero de Tenayac (en algunos de los pequeños manantiales se observan depósitos de sales), por lo que se podría inferir que la dirección del drenaje subterráneo es en dirección al arroyo El Ahogado.

Las características observadas del suelo fueron exclusivamente físicas, atendiendo a cambios de color, el tipo de roca subyacente, contenido de fragmentos de rocas, penetración de las raíces y el espesor. El comportamiento de los efectos químicos y biológicos no se estudiaron, por lo que no se tienen los datos de los productos derivados de la lixiviación, como serían tipos de óxidos y arcillas, y la interacción de los diferentes tipos de vegetación con el suelo, ya que por referencia bibliográfica se tiene que en el bosque de encinos generalmente desarrolla un pH entre 5.5 y 6.5 (Miranda, 1963), mientras que la selva baja caducifolia tiende a desarrollarse en suelos alcalinos.

En el talud se tienen fragmentos de basalto y de las rocas metamórficas; sobreyaciendo a estas se tiene una capa de suelo que varía de escasos centímetros a 45 cm, en esta zona se desarrolló la vegetación de selva baja caducifolia, de la cual quedan remanentes, ya que esta ha sido perturbada (talada) y actualmente predomina la vegetación secundaria y zonas de milpa. En algunas áreas existe la presencia de encinos (fig. III.4).

En la parte sur del área predomina el bosque de encinos y pendientes de gran inclinación, donde el desarrollo del suelo varía de pocos centímetros -- (áreas escarpadas) a 70 cm (cerro de Los Pinos). En el cerro de Los Pinos, -- los encinos (*Quercus*) fueron reemplazados por ocotes (*Pinus*) plantados hace aproximadamente 50 años; en esta zona en la superficie del suelo existe una capa de aprox. 5 cm en promedio de materia vegetal muerta (hojas de ocotes), la cual sobreyace a un subhorizonte de color café oscuro de 3 cm (fig. --- III.2).

Al sur de la meseta de basalto, entre esta y el arroyo de Tizapa (área de la Mina Tizapa) el tipo de vegetación corresponde a la selva baja caducifolia cerca de la zona de talud, el desarrollo de suelo varía de 30 a 70 cm, variando las tonalidades del horizonte B de color café-grisáceo a café debido al tipo de roca metamórfica subyacente (fig. III.3).

En la unidad de metacalizas el desarrollo de suelo es escaso, variando de pocos centímetros a 20 cm; en esta zona actualmente existe vegetación secundaria y zonas de milpa. En las pequeñas cañadas la vegetación corresponde a selva baja caducifolia (fig. III.5).

AREA: TIZAPA - ESMERALDA

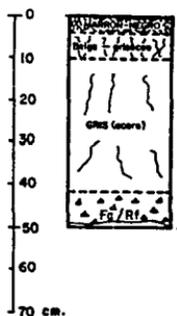


Fig. III. 2

Bosque de pinos reciente, posiblemente zona de bosque de encinos.

Óxidos en Fg

Cerro de los Pinos

Anomalía I

X<sub>1</sub>



Fig. III. 3

Vegetación secundaria y selva caducifolia.

Sales en Fg y Em.

Entre la meseta de Tizapa y la mina (camino).

Anomalía I'

X<sub>2</sub>



Fig. III. 4

Vegetación secundaria, selva baja caducifolia y milpa.

Sales en el contacto Ba/Rocas metamórficas.

Talud al E. de la meseta de Tizapa. (Zona de milpa).

Anomalía II

X<sub>3</sub>

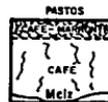


Fig. III. 5

PASTOS  
Vegetación secundaria y selva baja caducifolia. En el arroyo: selva baja caducifolia y encinos.

Al NNW de la meseta de Tizapa.

Anomalía IV

X<sub>4</sub>

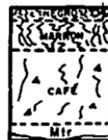


Fig. III. 6

Predominan encinos, aguas abajo selva baja caducifolia

Sobre el arroyo San José, en las fracturas de la roca, existe sales. (Alteración supergénica).

Localidad de "La Esmeralda."

Anomalía III

X<sub>7</sub>

En el sector de La Esmeralda predomina el bosque de encinos variando a selva baja caducifolia; en donde se localizan los encinos, la cubierta de solo está sobrecubierta por materia vegetal muerta (hojas, etc.). El horizonte A contiene gran cantidad de raíces. El espesor de suelo promedio es de 33 cm -- (fig. III.6).

### III.4.- GEOQUIMICA DE LOS ELEMENTOS INDICADORES UTILIZADOS.

Dado que la mineralización en el área está constituida principalmente de sulfuros polimetálicos, se seleccionaron como elementos indicadores Cu, Zn, Pb, Ag, Hg y Ni. Los cuatro primeros elementos constituyen sulfuros y sulfosales, los cuales constituyen las menas. Los otros dos elementos se encuentran como trazas en los sulfuros, aunque, todos los elementos que se consideran -- pueden estar como elementos menores y traza en los diferentes sulfuros, observándose esta relación en la tabla III.1.

TABLA III.1

GALENA	ESFALERITA	CALCOPIRITA	PIRITA	PIRROTITA	ARSENOPIRITA
Cu	Cd	Se	Se	Cu	Mn
Ag	Se	Ag	Ni	Se	Co
Sb	Mn	Sn	Cu	Ni	Ni
Bi	Ag	In	Co	Mn	
Fe	Cu	Ni	V	Ag	
Mn	Ga	Co	Pb	Co	
Ni	In	Mn	As		
Tl	Co		Ti		
Sn	Ge		Mn		
As	Sn		Ag		
	Hg		Sn		
	Ni		Zn		
	As		Tl		
	Tl		Bi		
	Sb		Sb		
	Bi				

En esta tabla se resumen los elementos menores y traza contenidos en la galena, esfalerita, calcopirita, pirita, pirrotita y arsenopirita, dispuestos en orden decreciente a su relativa existencia dentro de cada mineral obtenida por Levinson (1974).

A continuación se mencionan las propiedades geoquímicas de los seis elementos que se utilizaron como indicadores (Cu, Zn, Pb, Ag, Hg y Ni). Estas --

propiedades se obtuvieron de los siguientes autores: (1) Rose, *et al.*, (1979), (2) Reedman (1979), (3) Levinson (1974), (4) Hawkes y Webb (1962), (5) Siegel (1974), y (6) Rankama y Sahama (1954); las cuales son:

#### COBRE

No. Atómico: 29.

Peso Atómico: 63.54.

Radio atómico: 1.28 amstrons.

No. de oxidación 1, 2, (+3).

Rocas Igneas (ppm): ultramáficas 42, máficas 72, granito 12 (1).

Rocas sedimentarias (ppm): calizas 5, areniscas 10, lutitas 42 (1).

Suelos (ppm): 15 (1); de 5-100, las anomalías mayores de 150 pueden indicar - mineralización, background alto en rocas básicas (2).

Plantas (ppm): 130 (1); 90, valores mayores de 140 pueden indicar anomalías - (2).

Agua (ppb): 3 (1); 8, mayores de 20 puede ser anómalo (2).

Sedimentos de Arroyo (ppm): 5-80, mayores de 80 pueden ser anómalos (2).

Asociaciones: calcófila. Pb, Sn, Mo, Ag, Au, Sb, Se, Ni, Pt, y As, en depósitos de sulfuros (1). Cu-Bi-As-Co-Mo-Ni en depósitos tipo veta y U. Pd-Cr-Cu-Ni-Co con platino en rocas ultramáficas. Mg-Fe-Cr-Ni-Co-Cu en rocas ultramáficas. Cu-Pb-Zn-Mo-Au-Ag-As-Hg-Sb-Se-Te-Co-Ni-U-V-Bi-Cd asociación general hidrotermal (3). Au-Ag-Cu-Co-As metales preciosos. Ni-Cu-Pt-Co con rocas máficas. U-Cu-Pb-Zn-Cd-Ag-Au-V-Mo-Ni-As-Bi-Sb con lutitas negras (3). Al-Ag-As-Au-Bi-Cd-Mo-Ni-Pb-Sb-V-Zn lutitas negras (4). Fe-Cu-Mo-Re en pórfidos cupríferos. Fe-Mg-Mn-Cu-Zn-Co-Ni minerales ferromagnesianos. S-Cu-Zn-Pb-Fe-Ag-Au-Hg-Cd-In-Se-Te-As-Sb-Bi-Ni-Co-Mo metales del Pt asociación general de sulfuros. Fe-Zn-Pb-Ag-Cu-Se-Sb-Bi complejos de metales base. Ag-Au-As-Sb-Zn-Cu-Pb-Hg complejos de metales preciosos.

Minerales de roca en los que se encuentra: minerales máficos.

Minerales primarios: calcopirita, Cu nativo, y varios sulfuros.

Minerales secundarios: sulfatos, carbonatos.

Minerales industriales: calcopirita, bornita, calcocita, minerales complejos de Cu-As-Sb-S.

Productos de intemperismo: sulfuros, óxidos, carbonatos básicos, sulfatos y silicatos sobre menas de calcopirita, óxidos de Mn, limonita, materia orgánica, óxidos y carbonatos en suelo.

Especie acuosa:  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cu}(\text{OH})_2^0$ ,  $\text{CuHCO}_3^+$ ,  $\text{CuCl}_2^-$ ,  $\text{CuCl}_3^-$ .

Respuesta biológica: el Cu es uno de los más importantes elementos traza en la nutrición de plantas. Donde el contenido de Cu en suelos es abajo de 10 ppm, la deficiencia sintomática puede desarrollarse en la vegetación, altas concentraciones pueden ser tóxicas. Se han reportado gran número de plantas indicadoras para Cu.

Movilidad: Intermedia; controlada por la sorción de óxidos de Fe y Mn, y materia orgánica, y precipitación por hidrólisis a pH mayor de 5.0. Alta en condiciones de acidez. Muy baja movilidad en condiciones alcalinas y reductoras. En ambientes silíceo tiene movilidad intermedia y en zonas de oxidación con pH menor de 4. El Cu es uno de los más fácilmente transportados migra y forma zonas supergénicas de sulfuros/zona superior de oxidación.

Utilización en la prospección: la determinación de Cu en suelos y sedimentos ha llegado a ser uno de los más usados y útiles métodos geoquímicos de localización y delineamiento de depósitos de Cu. El contenido de Cu en la vegetación se ha observado ser una guía viable a descubrir mineralización, pero no ha sido usado extensamente. En hidrogeoquímica es raramente usado debido a su limitada movilidad. El Cu ayuda a distinguir anomalías debido a rocas básicas no mineralizadas de aquellas anomalías que resultan de la mineralización haciendo uso del ratio Co/Ni (mayor a 1).

Ciclo geoquímico (6): Los resultados obtenidos demuestran que en la fase silicatada suele existir muy poco Cu o ninguno, mientras que el contenido en la fase metálica tiene un valor apreciable, y la sulfarada puede contener todavía más.

Durante la meteorización se oxidan las partes superficiales de las menas de Cu. Los sulfuros de Cu y Fe se descomponen, y el Cu se disuelve en forma de sulfato cúprico estable, mientras que el sulfato ferroso se oxida con bastante rapidez formando ácido sulfúrico e hidróxido férrico. Las soluciones de sulfato de Cu se infiltran por el suelo, y al llegar a cierto nivel, situado inmediatamente debajo de la zona de oxidación, pero todavía por encima del manto de agua, reaccionan con los sulfuros no descompuestos, formando Cu nativo y sulfuros ricos en Cu. También se pueden depositar otros minerales de Cu, como la cuprita, tenorita, azurita y malaquita. En consecuencia, el Cu se encuentra en la zona de cementación. Además, las soluciones cupríferas pueden emigrar desde la zona de meteorización a las rocas adyacentes siguiendo las grietas y endiduras depositando sulfato y carbonato de Cu.

El Cu se disuelve en forma iónica durante la meteorización, depositándose después gran porción como sulfuro. Otra parte queda retenida por sorción en los sedimentos hidrolizados. Una última parte se incorpora a los oxidados, p. ej., al Fe de los lagos y de los pantanos y a los nódulos de Mn, junto con el Ni, Co, Zn, Pb y otros metales, pudiendo formarse compuestos de adsorción como  $\text{CuH}_2\text{O}_5$ .

#### PLOMO

No. Atómico: 82.

Peso atómico: 207.19.

Radio atómico: 1.75 amstrons.

No. de oxidación: 2, 4.

Rocas ígneas (ppm): ultramáficas 43; máficas 72; granito 12 (1).

Rocas sedimentarias (ppm): calizas 5; areniscas 10; lutitas 25 (1).

Suelos (ppm): 17 (1); 5-8, valores mayores de 100 pueden indicar mineralización de Pb (2).

Plantas (ppm): 70 (2).

Agua (ppb): 3 (1).

Sedimentos de arroyo: 5-50 ppm.

Asociaciones: Calcófila. Asociación general de sulfuros. Pb-Zn-Cu-Ag depósitos de sulfuros en general. Hg-As-Sb-Se-Ag-Zn-Cd-Pb sulfuros complejos. Lutitas negras (3 y 4). Asociación hidrotermal general (3). Pb-Zn-Cd-Ba depósitos de metales base. K-Ba-Pb feldespatos potásicos. Zn-Pb-Ba-F-Sr reemplazamiento en calizas. Fe-Zn-Pb-Ag-Cu-Se-Sb-Bi complejos de metales base. Ag-Au-As-Sb-Zn-Cu-Pb-Hg complejos de metales preciosos.

Minerales de roca en los que se encuentra: micas; feldespatos potásicos.

Minerales primarios: galena y otros sulfuros mixtos.

Minerales secundarios: cerusita, anglesita.

Minerales industriales: galena.

Productos de intemperismo: cerusita, anglesita, piromorfitita, plumbojarosita - sobre depósitos de sulfuros de Pb; óxidos de Mn y Fe, piromorfitita en suelos.

Especie acuosa:  $Pb^{2+}$ ,  $PbCO_3^0$ ,  $Pb(OH)^+$ ,  $Pb(OH)_2^0$  soluble en materia orgánica, -- complejos con  $Cl^-$  y  $HCO_3^-$ .

Respuesta biológica: el Pb es generalmente tóxico a la vegetación y vida animal con presencia en forma iónica.

Movilidad: relativamente baja en zonas de oxidación (alguna movilidad en presencia de sulfatos ferricos y cloruros), restringida por la tendencia a ser adsorbido por óxidos de Mn-Fe, e insoluble en materia orgánica, pero asistido por formación de materia orgánica soluble y aniones complejos. Inmóvil en ambientes silíceos calcáreos y de reducción. Movilidad baja en ambientes de oxidación (pH entre 5-8).

Utilización en la prospección: se utiliza en prospección por suelos residuales y tiene una gran indicación de depósitos ricos en Pb, ya que es relativamente inmóvil. El Pb es particularmente usual como guía de depósitos argentíferos de galena. También se utiliza en el reconocimiento en la prospección basado en el contenido de Pb en sedimentos de arroyo y arroyos. El contenido de Pb en suelos residuales y sedimentos de arroyo es una buena y susceptible guía a localizar depósitos. El radio de Pb-isotopo puede -- ayudar en la identificación de tipos de menas, indicando mayores partes de mineralización en los distritos. El Pb también ha sido usado como un indicador para la mineralización de flourita y barita.

Ciclo geoquímico (6): el Pb muestra en la litosfera una gran afinidad para el azufre y también para el oxígeno.

El Pb es extraído con bastante facilidad de sus minerales durante la meteorización y transportado en forma de compuestos solubles estables. La oxidación de la galena a sulfato de Pb es bastante lenta. El proceso es activado por la pirita, que produce sulfato ferrico, actuando de esta forma como agente oxidante. El  $PbSO_4$  solo es medianamente soluble, por lo que no emigra mucho. En presencia de dióxido de carbono y de bicarbonato los minerales de Pb, y entre ellos la anglesita, se transforman en carbonato de Pb, que es todavía más soluble que el sulfato y constituye por tanto, el compuesto de Pb más estable en la zona de oxidación. También se puede formar en esta zona fosfatos, arseniatos, vanadatos y cloruros de Pb. En la zona de reducción no precipita nunca el Pb en forma de sulfuro, mientras que la Ag contenida en la galena se -- concentra mucho en estos medios. El bicarbonato de Pb es mucho más soluble -- que el carbonato normal, por lo que el Pb puede ser transportado en esa forma.

## MERCURIO

No. atómico: 80.

Peso atómico: 200.59.

Radio atómico: 1.57 amstron.

No. de oxidación: 2, 1.

Rocas ígneas (ppm): ultramáficas 0.004; máficas 0.01; granito 0.04.

Rocas sedimentarias (ppm): calizas 0.04; areniscas 0.03; lutitas 0.02-0.04.

- Suelos (ppm): 0.056 (1); menor de 10-300 ppb, valores mayores de 50 ppb pueden indicar mineralización tal como Pb-Zn-Ag (2).
- Plantas (ppm): 0.01.
- Agua (ppb): 0.07 (1); 0.01-0.05, valores mayores de 0.1 pueden indicar mineralización de Hg.
- Sedimentos de arroyo: menores de 10-100 ppb.
- Asociaciones: calcófila; asociación general hidrotermal. Au-Ag-Te-Hg metales preciosos. Hg-As-Sb-Se-Ag-Zn-Cd-Pb sulfuros complejos.
- Minerales primarios: cinabrio
- Minerales secundarios: calomel ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ), oxiclóruros.
- Minerales industriales: cinabrio.
- Productos de intemperismo:  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ , HgO, Hg sobre menas de Hg; probablemente - materia orgánica,  $\text{HgCl}_2$  en suelos.
- Especie acuosa:  $\text{Hg}_2^{2+}$ ,  $\text{Hg}(\text{OH})_2^0$ ,  $\text{HgCl}_2^0$ ,  $\text{Hg}^0$ , soluble en materia orgánica.
- Respuesta biológica: compuestos orgánicos de Hg son extremadamente tóxicos a los animales.
- Movilidad: alta en fase de vapor, relativamente alta limitada por la adsorción de materia orgánica sólida. En ambiente de oxidación con pH menor de 4, moderadamente móvil. Inmóvil en medios alcalinos y reductores.
- Utilización en la prospección: la prospección geoquímica se basa en el análisis de la superficie cercana de suelo y roca por trazas de Hg, pudiendo revelar una aureola adyacente o sobre depósitos de Hg. La asociación cerrada de Hg con metales preciosos y elementos - de depósitos vulcanogénicos usados usualmente como indicador para Au, Ag, Sb y sulfuros masivos, también como Hg contenido en roca encajonante y suelo residual. Anomalías de Hg en rocas y - se observan cerca de zonas de falla. La fase de vapor puede ser detectada en cantidades muy pequeñas en suelo (gas) o la atmósfera teniendo un potencial como indicador de muchas menas. Sin embargo, este solamente es verdadero si el Hg está presente en estado elemental. Muchas menas las cuales contienen Hg en sulfuros no se relacionan a cualquier vapor de Hg, a menos que este abajo de la zona de intemperismo.
- Ciclo geoquímico (6): el Hg puede migrar en estado nativo en forma de cloruro mercuríco soluble,  $\text{HgCl}_2$ . En presencia de agentes oxidantes el cinabrio se oxida a sulfato.
- Los sedimentos de hidrolizados constituyen el medio adecuado para la concentración del Hg.

#### NIQUEL

No. atómico: 28.

Peso atómico: 58.71.

Radio atómico: 1.24 amstrons.

No. de oxidación: 2, 3.

Rocas ígneas (ppm): ultramáficas 2000; máficas 130; granito 4.5.

Rocas sedimentarias (ppm): calizas 20; areniscas 2; lutitas 68.

Suelos (ppm): 17 (1); 5-500, valores mayores de 500 pueden indicar mineralización (2).

Plantas (ppm): 18 (1); 65 (2).

Agua: menor 1-10 ppb (2); 1.5 ppb (1).

Sedimentos de arroyo: 1-150 ppm.

Asociaciones: siderófila, a un grado menor calcófila; con Mg y Co en ultramáficas y máficas con Co, Cu y Pt en depósitos de sulfuros. Cr-Co-Ni-Cu rocas ultramáficas. Ni-Cu-Pt-Co rocas máficas. Asociación general hidrotermal. En lutitas negras (3 y 4). Cu-Bi-As-Co-Mo-Ni tipo veta y en U. Pd-Cr-Cu-Ni-Co-Pt en rocas ultramáficas.

Minerales de roca en los que se encuentra: minerales máficos.

Minerales primarios: sulfuros y arseniuros.

Minerales secundarios: arsenatos.

Minerales industriales: sulfuros de Ni-Fe, lateritas ricas en Ni.

Productos de intemperismo: óxidos de Fe y silicatos níquelíferos.

Especie acuosa:  $Ni^{2+}$ .

Movilidad: relativamente inmóvil, limitado por coprecipitación con limonita, e hidrólisis donde el pH mayor de 6.5. Movilidad moderada - en ambientes de oxidación con pH menor de 4; en pH entre 5-8 movilidad baja, e inmóvil en ambientes reductores. En ambientes silíceo movilidad intermedia. Muy móvil en soluciones de sulfatos.

Utilización en la prospección: el Ni en suelo residual es una buena guía útil para sulfuros de níquel subyacentes, el Ni en sedimentos de arroyo puede ser útil en el reconocimiento geoquímico, pero en áreas de rocas ultramáficas, el alto contenido de Ni en el bank ground puede enmascarar el patrón o diseño de los sulfuros existentes. En trabajos experimentales indican que el análisis residual de suelo y vegetación muestra ser un usual método de encontrar un sulfuro primario de Ni o silicatos secundarios de menas de Ni en lateritas. Los sedimentos de arroyo muestreados pueden ser usados en el reconocimiento por depósitos de Ni. Anomalías de Cu mayores de 200 ppm normalmente acompañan anomalías de Ni en suelos sobre la mineralización.

Ciclo geoquímico (6): el Ni pertenece a la familia del Fe, y desde el punto de vista geoquímico el Ni es siderófilo, y cuando en el sistema físico-químico en que se encuentran existe Fe metálico, la mayor parte del elemento está contenido en este, se combina con facilidad con el azufre.

Durante la meteorización, el Ni se queda, en gran parte, en los productos sólidos de la desintegración y se deposita en los sedimentos hidrolizados. El

$Ni^{2+}$  es muy estable en soluciones acuosas, por lo que puede migrar a distancias considerables en condiciones adecuadas.

La gran afinidad del Co y Ni para con el azufre se manifiesta, además, en que ambos metales en condiciones reductoras, tienen tendencia a concentrarse en los cienos ricos en organismos y en sus residuos precipitándose en forma de sulfuros en dichos sedimentos.

## PLATA

No. atómico: 47.

Peso atómico: 107.88.

Radio atómico: 1.44 amstrons.

No. de oxidación: 1.

Rocas ígneas (ppm): ultramáficas 0.06; máficas 0.1; granito 0.37.

Rocas sedimentarias (ppm): calizas 0.1; areniscas 0.25; lutitas 0.19.

Suelos (ppm): menor de 0.1-1, valores mayores de 0.5 pueden indicar mineralización (2).

Plantas (ppm): 0.1-1.

Aguas (ppb): 0,3 (1); 0.01-0.7 (2).

Asociaciones: calcófitas; Au, Sb, As, Pb, Zn, Cu y Hg en depósitos de sulfuros (1). Asociaciones general de sulfuros. Fe-Zn-Pb-Ag-Cu-Se-Sb-Bi complejos de metales base. Ag-Au-As mena simple de metales preciosos. Ag-Au-As-Sb-Zn-Cu-Pb-Hg complejos de metales preciosos. En lutitas negras (3, 4). Asociación general hidrotermal, Au-Ag-Cu-Co-As depósitos de metales preciosos. Au-AgTe-Hg depósitos de metales preciosos.

Minerales de roca en los que se encuentra: constituyentes traza de sulfuros y minerales máficos.

Minerales primarios: argentita, Ag nativa, telururos en sulfosales y sulfuros.

Minerales secundarios: cerargirita.

Minerales industriales: Ag nativa, argentita; sulfosales complejas; por productos de Cu, Pb y Zn.

Productos de intemperismo: cerargirita, jarosita de Ag sobre menas de Ag; en el suelo probablemente asociada con materia orgánica y óxidos de Mn-Fe.

Especie acuosa: en aguas ácidas,  $Ag^+$ ; aguas con alto cloro,  $AgCl^0$ ,  $AgCl_2^-$ ,  $AgCl_3^{2-}$ ,  $AgCl_4^{3-}$ ; en aguas normales,  $Na(AgCl_2)^0$ .

Movilidad: controlada por adsorción de óxidos de Mn-Fe y materia orgánica, muy alto contenido en aguas, relativamente en la roca, sugiere alta movilidad en ambientes de no mena. Movilidad en presencia de  $Fe_2(SO_4)_3$ , menor movilidad que Cu y Zn. Moderadamente móvil en ambiente de oxidación y calcáreo. Móvil en ambiente silíceo. Movilidad alta en ambiente ácido, inmóvil en ambiente reductor.

Utilización en la prospección: por su común asociación con el Au, la Ag puede ser aplicable como traza en geoquímica de suelos para menas de Au. Un alto contenido de Ag en sedimentos de arroyo es un indicador de un depósito de sulfuros en la inmediata vecindad. Los depósitos de Ag son los más efectivamente prospectados por análisis de suelo y sedimentos por Pb, Cu, Zn, Hg y Ag, y si se presenta también As. El Pb es el más usual como guía de depósitos de Ag, la Ag está comunmente abajo de los límites de detección de la mayoría de los métodos analíticos.

Ciclo geoquímico (6): la Ag se disuelve en forma de sulfato. En la zona de cementación de los yacimientos minerales se reprecipita la Ag, por lo general formando el cloruro clorargirita ( $AgCl$ ), que es una mena de Ag, o el sulfuro. Del mismo modo, en las partes superiores de los yacimientos de Ag se encuentran bromuros, y yoduros de este metal, formados a consecuencia de reacciones secundarias producidas por aguas descendentes. Las soluciones argentíferas que se forman durante la meteorización depositan su Ag en forma de sulfuro, cloruro o sulfato en los sedimentos de hidrolizados.

## ZINC

No. atómico: 30.

Peso atómico: 65.37.

Radio atómico: 1.38 amstrons.

No de oxidación: 2.

- Rocas Igneas (ppm): ultramáficas 58; máficas 94; granito 51.  
 Rocas sedimentarias (ppm): calizas 21; areniscas 40; lutitas 100.  
 Suelos (ppm): 36 (1); 10-300, valores mayores de 300 pueden indicar mineralización, pero anomalías residuales sobre buena mineralización generalmente es mayor de 1 000 (2).
- Plantas (ppm): 570 (1); 1 400 (2).  
 Agua (ppb): 20 (1); 1-20, valores mayores de 20 pueden indicar mineralización, (2).
- Asociación: calcófila; Cu, Pb, Ag, Au, Sb, As y Se en metales base y depósitos de metales preciosos; Zn en algunos silicatos. Asociación general de sulfuros. Zn-Pb-Ba-F-Sr reemplazamiento en calizas. En complejos de metales base. En complejos de metales preciosos. En lutitas negras (3 y 4). Asociación general hidrotermal.
- Minerales de roca en los que se encuentra: minerales máficos.  
 Minerales primarios: esfalerita, óxidos y sulfuros.  
 Minerales secundarios: smithsonita, calamina.  
 Minerales industriales: esfalerita.
- Productos de intemperismo: sulfatos de Zn, carbonatas, silicatos hidratados, arcillas de Zn sobre menas de sulfuros de Zn; óxidos de Mn y Fe, materia orgánica en suelos normales.
- Especie acuosa: porción variable entre  $Zn^{2+}$ ,  $Zn(OH)_2^0$ , complejos orgánicos solubles, y organismos vivos flotantes.
- Respuesta biológica: el Zn es un nutriente esencial para casi todas las plantas. Por este motivo las algas en crecimiento en arroyos y lagos pueden adsorber una gran parte del Zn disuelto en el agua. En adición a su efecto nutriente, el Zn es también tóxico para muchas formas de plantas si esta presente en cantidades que exceden ciertos límites.
- Movilidad: Moderadamente alta, limitada por la tendencia a ser adsorbido por  $MnO_2$  y por materia orgánica insoluble. El Zn en sulfatos y cloruros es muy soluble, difícil en carbonatos y silicatos. El Zn es generalmente móvil, fácilmente se oxida en presencia de pirita, lo cual es común. Movilidad alta en ambientes de oxidación y acidez. Moderada en ambientes de oxidación con pH 5-8, móvil en ambientes silicio. Inmóvil en ambiente de reducción y alcalino.
- Utilización en la prospección: la prospección geoquímica basada en análisis de suelos residuales ha sido un método muy exitoso. El Zn forma un útil diseño de dispersión en aguas subterráneas, en agua de arroyos, sedimentos de arroyo y lacustres. Bajo algunas condiciones, el Hg en materiales superficiales muestra una afinidad como una guía para depósitos ricos en Zn. El zinc ha sido usado en exploración por Zn, Pb y depósitos complejos de metales base.
- Ciclo geoquímico: el zinc se disuelve con facilidad en forma de sulfato o de cloruro durante la meteorización, y es arrastrado por las aguas superficiales y subterráneas. Los yacimientos de Zn pueden experimentar un enriquecimiento en la zona de la meteorización, durante el cual se vuelve a depositar el Zn en forma de sulfuro, óxido, carbonato o silicato, y el proceso, puede terminar con la extracción completa del Zn de las partes superiores de las masas minerales de Zn.

Debido a que la mineralización esta constituida por sulfuros, se mencio-

nar a continuación las propiedades geoquímicas del azufre:

#### ASUFRE

No. atómico: 16.

Peso atómico: 32.064.

No. de oxidación: 6, 4, -2.

Rocas ígneas (ppm): ultramáficas 300; máficas 300; granito 300.

Rocas sedimentarias (ppm): calizas 1 200; areniscas 240; lutitas 2 400.

Suelos (ppm): 100-2 000 (1).

Plantas (ppm): 500.

Agua (ppb): 3 700 (1).

Asociaciones: calcófila; como sulfato en depósitos salinos (1). Asociación general de sulfuros. Asociación general hidrotermal.

Minerales de roca en los que se encuentra: sulfuros, yeso, anhidrita.

Minerales industriales: depósitos de azufre nativo, por productos de gas natural y petróleo refinado.

Productos de intemperismo: jarosita; sulfatos de Ca y complejos de azufre solubles.

Especie acuosa:  $SO_4^{2-}$ ,  $H_2S$ ,  $HS^-$ .

Respuesta biológica: aunque el azufre es un nutriente esencial para plantas y animales, el ciclo biológico no afecta materialmente la movilidad del sulfato; sobre algunas condiciones, la bacteria puede catalizar la oxidación de sulfuros a sulfatos, y vice versa. -- Plantas indicadoras de azufre son reconocidas en la Placa del Colorado.

Movilidad: como sulfato extremadamente alta, limitada solamente por Eh en el cual el sulfato es reducido a sulfuro, y la solubilidad de algunos minerales salinos, principalmente yeso.

El análisis químico del Cu, Zn, Ag, Pb y Ni se hizo primero por disolución ácida y medición por espectrofotometría de absorción atómica. El Hg se analizó sin flama y medición por espectrofotometría de absorción atómica.

#### III.5.- ESTADISTICA.

A partir del análisis químico cuantitativo de las muestras de suelo obtenidas, se prosiguió a realizar primero el análisis estadístico descriptivo -- (parámetros estadísticos), complementándolo con métodos estadísticos "más sofisticados" (análisis multivariable) para delinear con mayor claridad las zonas de anomalías, así como, el comportamiento en grupos. Finalmente se hizo el análisis estadístico estructural, en el cual se intenta observar el comportamiento estadístico regionalizado.

La interpretación estadística es con el objeto de observar su comportamiento y establecer los límites de poblaciones anómalas y el background, para

delimitar las zonas donde se localizan. Las anomalías en la prospección geoquímica son una desviación (generalmente positivas) de las características medidas que son consideradas como normales para un área de desarrollo geológico-geoquímico-geomorfológico.

### III.5.1.- PARAMETROS ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS.

La obtención de los parámetros descriptivos de las poblaciones de cada variable (Cu, Zn, Pb, Ag, Hg y Ni), fue a partir del comportamiento de la distribución que tiene cada una de ellas, analizando los histogramas de frecuencia relativa y la gráfica de probabilidad de la distribución acumulada de frecuencias, tanto aritmética como logarítmica. Con base a estas gráficas se seleccionó el comportamiento más adecuado de la distribución de la población de cada variable y se delimitaron los rangos de anomalías. Este análisis estadístico se realizó por el método de Sinclair (1976).

A continuación se describe el comportamiento de cada variable:

**COBRE.-** Se comporta como una distribución lognormal, constituida por dos poblaciones, considerando los valores anómalos la segunda población, de la cual el umbral corresponde a los valores anómalos  $x+3s$  de la primera población. De la segunda población que es la anómala se obtuvieron los límites de las anomalías (gráfica III.1); fig. III.7).

**ZINC.-** Se comporta como una sola población con una distribución lognormal, -- con sesgo a la derecha (positivo), el cual corresponde a los valores anómalos. Con estos valores anómalos se delimitaron los tres tipos de anomalías y el -- background (gráfica III.2; fig. III.8).

**PLOMO.-** La muestra está constituida por dos poblaciones con distribución lognormal. La población que se consideró para obtener los límites de anomalías -- fue la del 60 %, ya que la población del 40 % se podría considerar un sesgo a la izquierda de una distribución lognormal, siendo valores bajos que no son -- indicativos (gráfica III.3; fig. III.9).

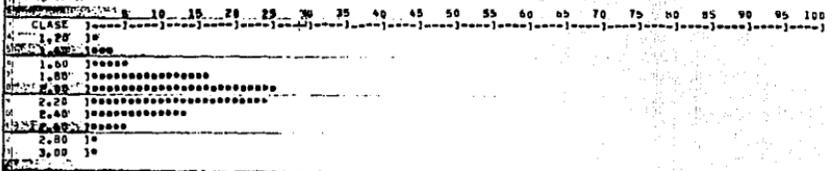
**PLATA.-** Se consideró como una distribución normal, la cual si se divide en -- dos poblaciones, la segunda población (valores altos) esta sesgada a la iz-- quierda, por lo que se tendrían valores anómalos negativos. El 74 % correspon



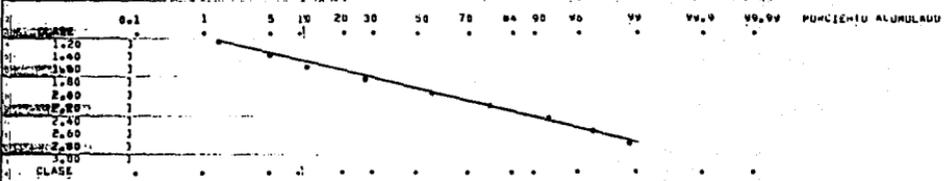
INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA  
 PARA EL ELEMENTO DE ZN TRANSFORMADA LOGARÍFICA  
 ESTADÍSTICA

PROYECTO I GEOQUÍMICA  
 AREA I TIZAPA  
 ESTADO I MEXICO

HISTOGRAMA DE FRECUENCIA RELATIVA



GRAFICA DE PROBABILIDAD DE LA DISTRIBUCION ACUMULADA DE FRECUENCIA



background de 4 a 180 ppm  
 anomalía baja de 181 a 339 ppm  
 anomalía media de 340 a 598 ppm  
 anomalía alta valores mayores de 598 ppm

GRAFICA 111.2.

ESTA TESIS NO DEBE  
 SALIR DE LA BIBLIOTECA

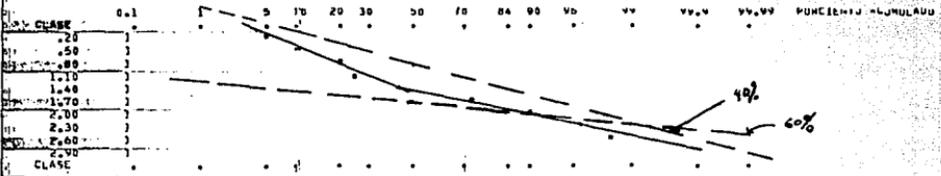
INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA  
 PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS DE TRANSFORMADA LOGARÍFICA

PROYECTO I QUIMICA  
 AREA I TIZAPA  
 ESTADO I MEXICO

HISTOGRAMA DE FRECUENCIA RELATIVA

CLASE	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0.20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.70	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2.30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2.60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2.90	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

GRAFICA DE PROBABILIDAD DE LA DISTRIBUCION ACUMULADA DE FRECUENCIA



background de 0 a 67 ppm  
 anomalía baja de 68 a 206 ppm  
 anomalía media de 206 a 563 ppm  
 anomalía alta valores mayores de 563 ppm

GRAFICA III.3.

de a dos intervalos de valores (de los cuales la mayoría son valores entre 0 y 2), por lo tanto es donde comienza la anomalía baja (de 10 a 15 ppm). La -- primera población son valores uniformes que corresponden al 50 % (gráfica --- III.4; y fig. III.10).

MERCURIO.- Se consideró como una distribución lognormal, constituida la muestra como dos poblaciones, considerando a la segunda población para delimitar las anomalías (gráfica III.5; fig. III.11).

NIQUEL.- Se consideró como una distribución normal con sesgo a la derecha, la cual se dividió en dos poblaciones, de las cuales la segunda población (25 %) es la anómala; de esta segunda población se obtuvieron los rangos de las anomalías (gráfica III.6; fig. III.12).

Con los rangos de anomalías (baja, media y alta) se obtuvieron zonas anómalas, las cuales se ubicaron en el plano geológico (figuras: III.7, III.8, - III.9, III.10, III.11 y III.12).

### III.5.2) CORRELACION DE LAS VARIABLES.

La correlación entre las variables que se efectuó fue lineal (tabla III. 2). No existe correlación entre ninguna de las variables; esta correlación se realizó con los valores aritméticos. Al realizar el análisis de correlación - con valores logarítmicos el coeficiente de correlación aumenta entre las variables de Cu y Zn, siendo de 0.54 (gráfica III.7).

Posteriormente se agruparon los elementos por medio de una matriz de correlación (cluster analysis) del cual se obtuvo el dendrograma. En este análisis el agrupamiento es realizado numéricamente. En el dendrograma se ubican - en orden de la mayor relación de las variables a la menor (gráfica III.8).

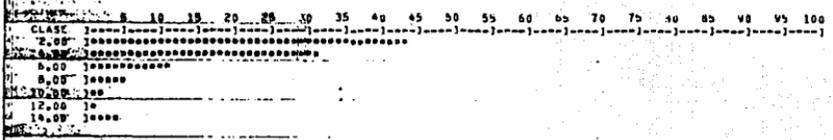
El análisis de grupo (cluster analysis) es una clasificación de objetos dentro de un grupo más o menos homogéneo de una manera tal que la relación entre grupos es vista, donde la colección de objetos es arreglada dentro de una clasificación jerárquica (Davis, 1973). Compara pares de variables de muestras, o pares de pares, y así sucesivamente obteniéndose grupos en un diagrama de dendrograma en el cual las variables son agrupadas de acuerdo a su nivel de semejanza. Estos niveles están basados en los valores de coeficientes de correlación que existen entre las parejas (Chaffee, 1975).

00000000

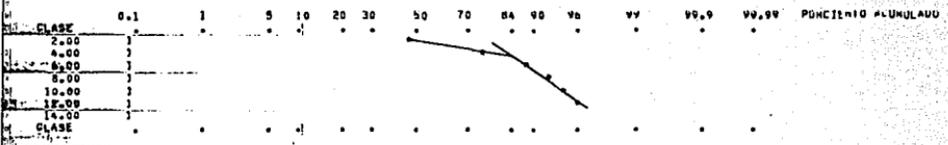
INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA  
SECRETARÍA DE ECONOMÍA

PROYECTO I GEOQUÍMICA  
ÁREA I TIZAPA  
ESTADO I MÉXICO

HISTORAMA DE FRECUENCIA RELATIVA



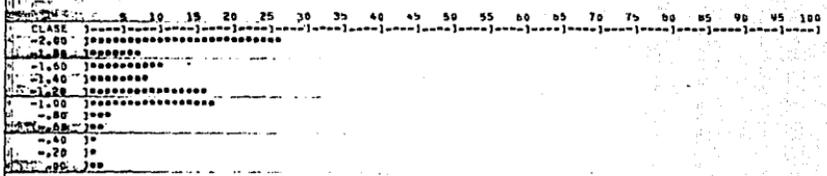
GRAFICA DE PROBABILIDAD DE LA DISTRIBUCION ACUMULADA DE FRECUENCIA



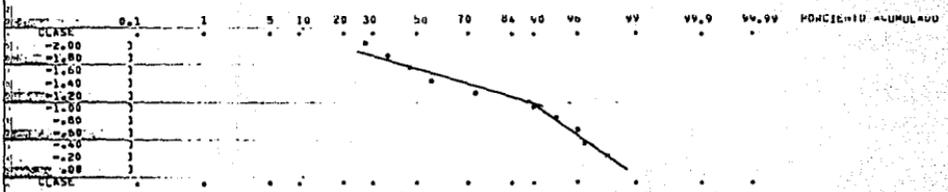
background de 0 a 9 ppm  
 anomalía baja de 10 a 15 ppm  
 anomalía media de 16 a 20 ppm  
 anomalía alta valores mayores de 20 ppm

GRAFICA III.4

HISTOGRAMA DE FRECUENCIA RELATIVA

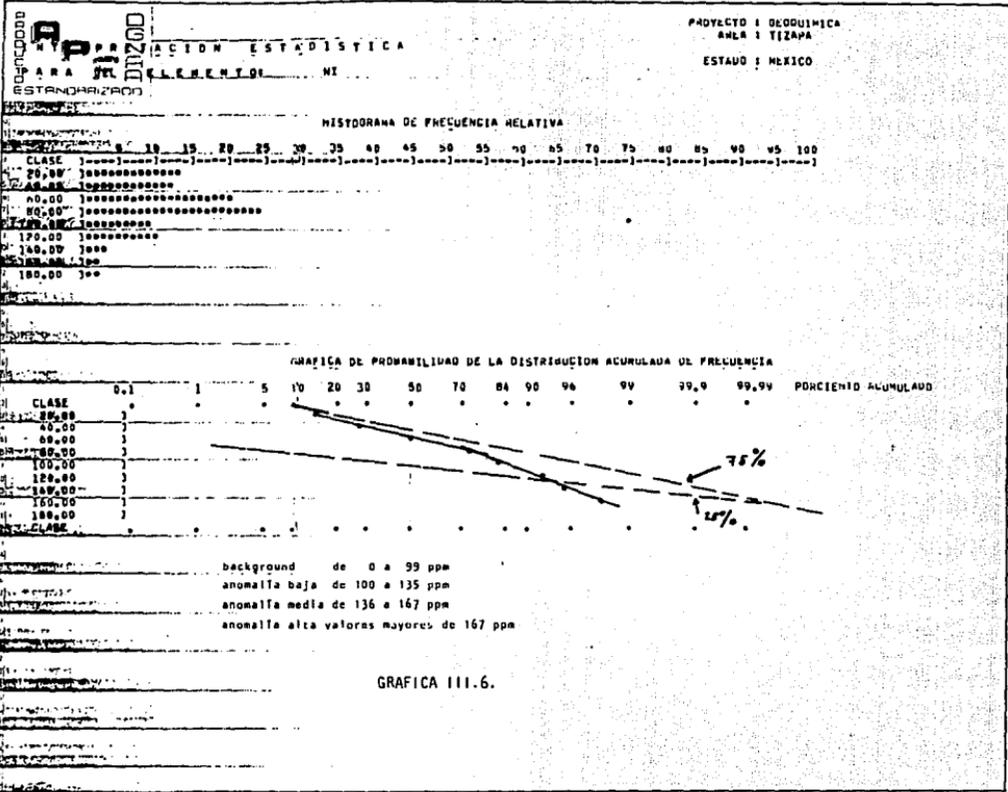


GRAFICA DE PROBABILIDAD DE LA DISTRIBUCION ACUMULADA DE FRECUENCIA



background de 0.00 a 0.07  
 anomalía baja de 0.08 a 0.26  
 anomalía media de 0.27 a 0.69  
 anomalía alta valores mayores de 0.70

GRAFICA 111.5.



VALORES ESTADÍSTICOS					
POR					
PAÑES DE ELEMENTOS					
	7N	AG	PR	NI	MG
	66775,800	86631,553	8175161,416	4908900,400	1300,536
	3795,256	22,812	583,472	11169,367	-6,894
CU	289	.026	.057	-.012	-.001
	8,376	.084	.323	.016	.006
	595	.003	.091	-.000	-.000
	97,823	7,305	71,594	59,111	.076
	234550,000				3038,993
	95666,713	506145,575	44586,604		21,266
	318,869	1687,245	188,622		.071
EN	.167	.090	.022		.002
	2,783	.644	.054		.006
	.012	.053	.006		.000
	1,543	48,258	58,021		.375
		104947,110	76362,360		93,180
		44661,701	13391,171		12,992
		144,372	44,637		.043
AD		.099	.095		.017
		.094	.904		.034
		1,096	.329		.000
		52,979	57,046		.075
			778666,800		1593,371
					282,256
			-755,160		.041
PS			-.145		.033
			2,114		.119
			-.006		.000
			61,371		.073
					1310,190
					-35,813
					-.119
NI					-.014
					.026
					-.000
					.080
NOTA:					
		SUMA (X1)*X2			
		SUMA [(X1-MEDIA1)*(X2-MEDIA2)]			
		COVARIANZA			
		COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL			
		CONFIANZA DEL DICO COEFICIENTE			
		PENDIENTE			
		ORDENADA			

TABLA III.2



Número de muestras: 301.

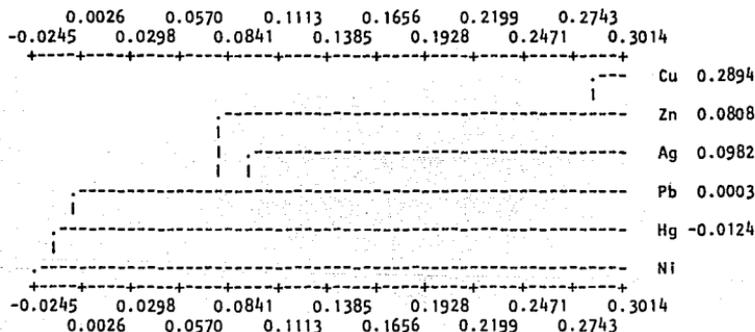
	Cu	Zn	Ag	Pb	Ni	Hg
Cu	1.0000	0.2894	0.0218	0.0568	-0.0118	-0.0141
Zn	0.2894	1.0000	0.1646	0.0799	0.0222	-0.0112
Ag	0.0218	0.1646	1.0000	0.0982	0.0911	-0.0029
Pb	0.0568	0.0799	0.0982	1.0000	-0.1456	0.0294
Ni	-0.0118	0.0222	0.0911	-0.1456	1.0000	-0.0139
Hg	-0.0141	-0.0112	-0.0029	0.0294	-0.0139	1.0000

MATRIZ DE SIMILITUD:

Cu	Zn	0.28937
Ag	Pb	0.09820
Cu	Ag	0.08077
Cu	Hg	0.00029
Cu	Ni	-0.01245

COLUMNAS 1 Y 2 - OBSERVACIONES COMBINADAS EN GRUPOS

COLUMNA 3 - NIVEL DE SIMILITUD DE AGRUPADO



DENDROGRAMA - LOS VALORES A LO LARGO DEL EJE X SON SIMILARES

GRAFICA 111.8

### III.5.3) TENDENCIA SUPERFICIAL (TREND SURFACE).

Este método es un proceso por el cual la tendencia general de un área -- (valor de fondo) es separado de las variaciones casuales locales en una serie de datos en la forma de una tendencia superficial y ciertos valores residuales. La configuración precisa de la superficie calculada es aquella en la cual la suma de los cuadrados de los residuos (o la diferencia entre el valor observado y el calculado) tienen valor mínimo. De esta manera, la tendencia superficial abarca sistemáticamente la componente regional de las variaciones de los datos geoquímicos y las residuales incluyendo las locales (o erráticos) de datos geoquímicos no relacionados a la distribución elemental principal. Por lo que las evidencias químicas que pueden ser causadas por depósitos de mena son separadas de otras evidencias y de perturbaciones (Siegel, -- 1974).

Por este método se analizaron cinco elementos (Cu, Ag, Zn, Ni y Pb) utilizados en la prospección, obteniéndose mapas por cada elemento en donde se marca la tendencia del valor regional y los valores residuales (anómalos). Figuras: III.13, III.14, III.15, III.16 y III.17. por computadora.

### III.5.4) REPRESENTACION GRAFICA.

La representación gráfica de los valores químicos se realizó en tercera dimensión, en donde las coordenadas de localización de cada punto de muestreo se representan en los ejes "X" (E-W), "Y" (N-S), y "Z" (cota) corresponde a los valores químicos de los elementos en ppm.

Se realizaron dos tipos de gráficas para cada uno de los elementos indicadores (Cu, Zn, Pb, Ag, Hg, y Ni). La primera representa los valores tal como se encuentran, uniéndose y formando curvas sin ser modificadas, por lo que las pendientes de estas son pronunciadas (gráficas III.9, III.11, III.13, --- III.15, III.17 y III.19); mientras que en las segundas gráficas la pendiente de las curvas se suavizan (gráficas III.10, III.12, III.14, III.16, III.18 y III.20).

Estas gráficas se realizaron con una computadora personal Printaform en la unidad de computo de la División de Ciencias de la Tierra de la Fac. de Ingeniería, UNAM.

El valor mínimo considerado para graficar fue cero.

### III.5.5) GEOESTADISTICA.

La geoestadística es una teoría reciente, en la cual Georges Matheron --

FIGURA III:13.- Tendencia superficial del Cobre.

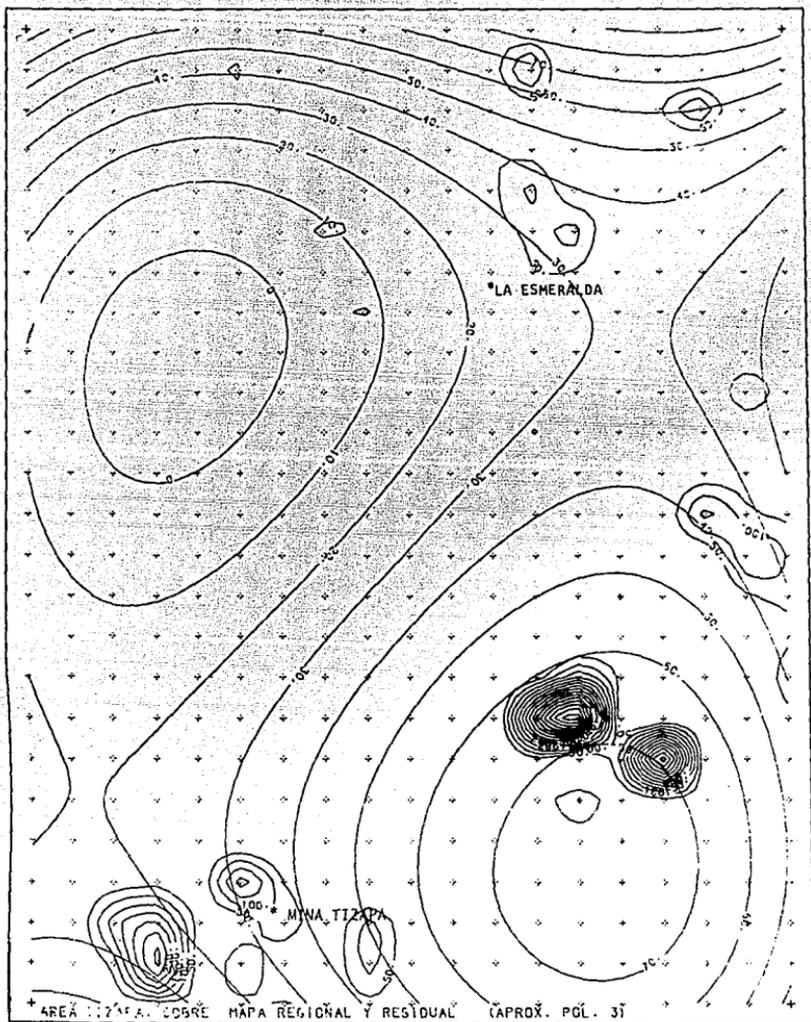


FIGURA III. 14.- Tendencia Superficial del Zinc.

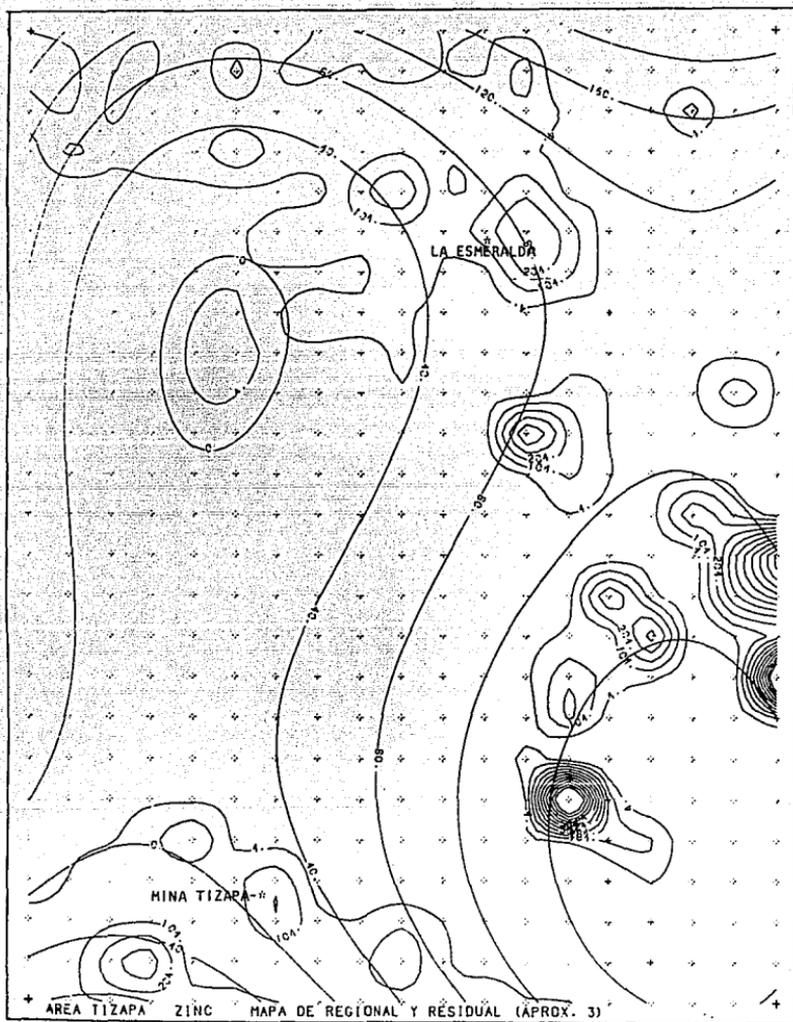


FIGURA III.15.- Tendencia superficial del plomo.

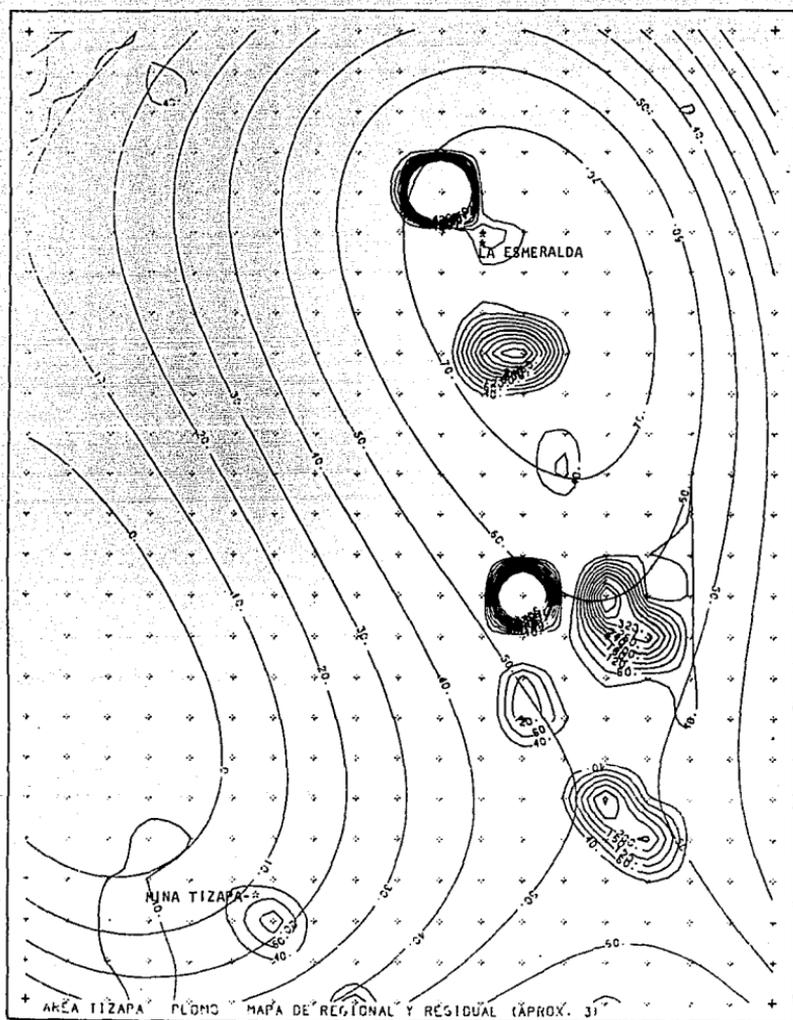


FIGURA III.16.- Tendencia superficial de la plata.

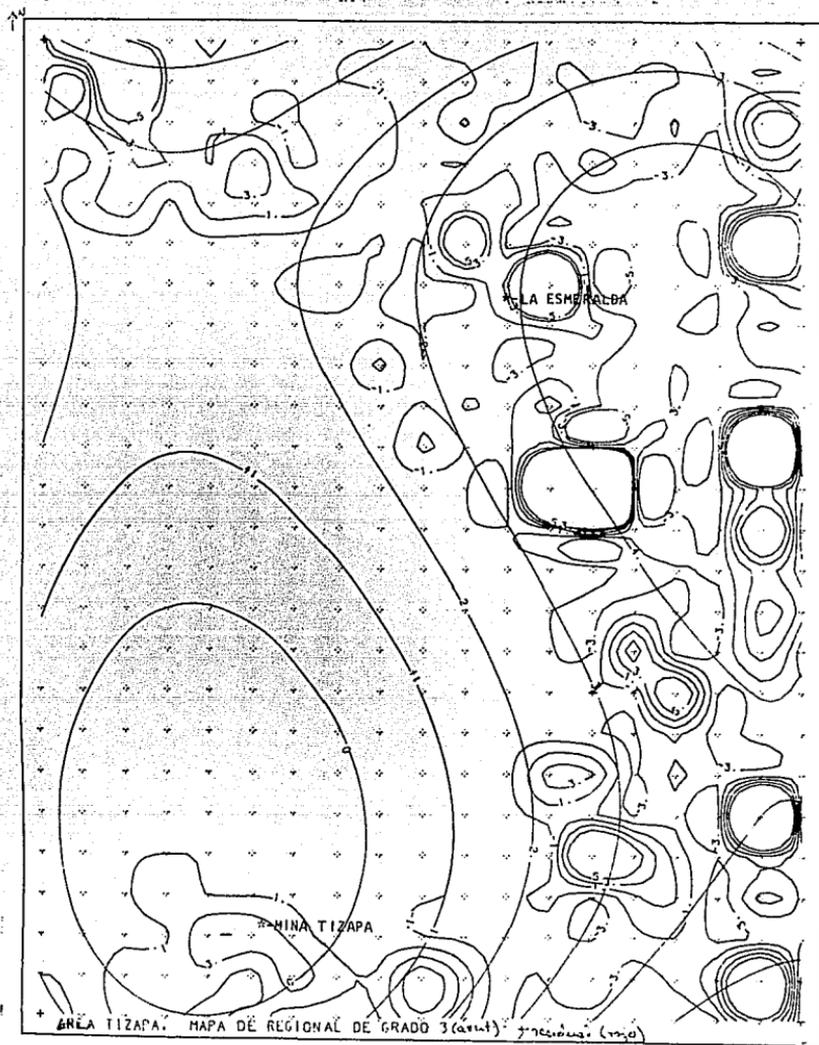
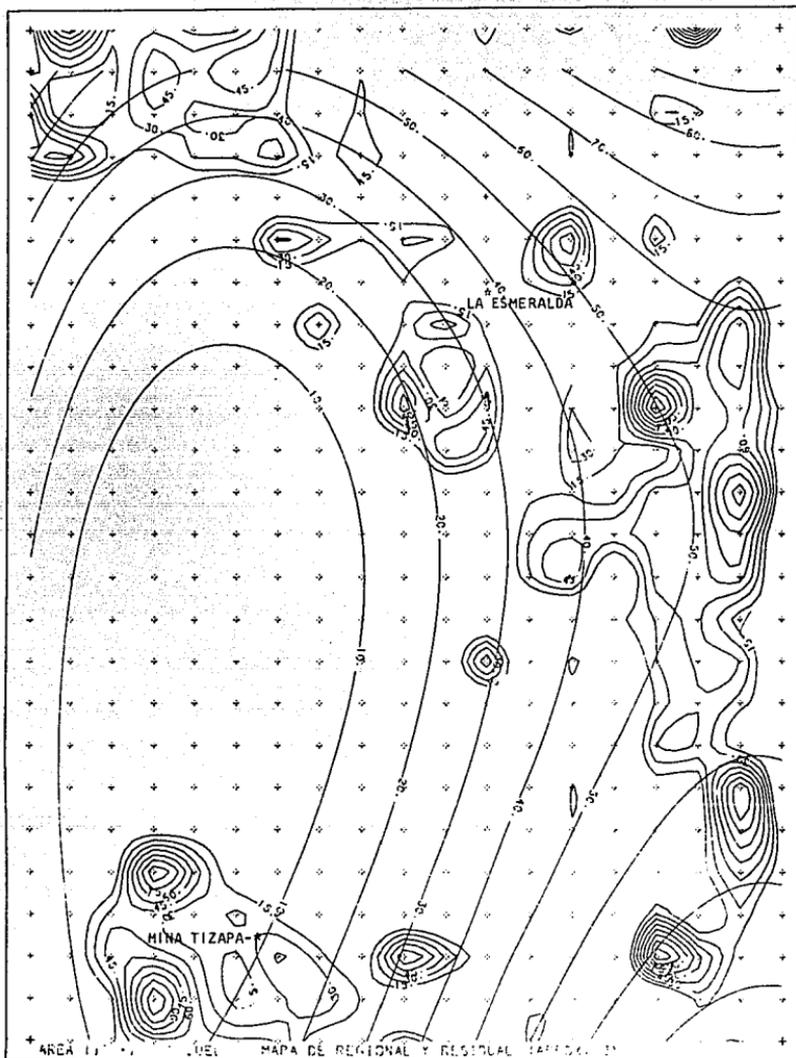


FIGURA III.17.- Tendencia superficial del niquel.



(1962, en Berlanga y Obregón s/f) fue el primero en darle formalidad a esta teoría, la cual definió como: "la aplicación de las funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales". Las bases para aplicar esta teoría en geoquímica fueron tomadas de los apuntes de Berlanga y Obregón (op. cit.), debido a que la premisa básica en geoestadística es considerar -- que las variables de fenómenos naturales son de carácter mixto, es decir, están compuestas por dos aspectos, uno espacial o estructural y otro aleatorio. Aplicando esto a yacimientos va a depender del tipo de depósitos, el grado de continuidad podrá ser más o menos aparente, por lo que se supone que en una dispersión geoquímica va a existir una cierta continuidad a partir de la mineralización a las zonas anómalas, considerando a estas últimas como una aureola de dispersión secundaria.

En el proceso de los fenómenos naturales la mineralización no es tan caótica como para anular cualquier método de estimación, ni lo suficientemente regular como para permitir el empleo de métodos determinísticos. Es por ello, que toda estimación realista debe necesariamente tomar en cuenta ambos aspectos, el estructural y el aleatorio, el primero siendo observado primordialmente por geólogos y el segundo por estadísticos.

Actualmente, en geoestadística, se considera que cada valor muestreado en un punto (soporte) de una región, representa únicamente una realización de una variable aleatoria. Estas por estar distribuidas en el espacio, se les conoce con el nombre de variables aleatorias regionalizadas (v. a. r.), y al fenómeno representado por las v. a. r. se le denomina regionalización. Por lo que se consideró que el método de exploración geoquímica de suelos puede representarse y analizarse desde un punto de vista geoestadístico.

Para realizar el análisis geoestadístico es importante llevar a cabo primero un análisis estadístico descriptivo de la información (histogramas, diagramas de correlación, etc.), siendo esto de especial importancia, ya que cualquier error en los datos se reflejaría sistemáticamente en cada etapa del análisis geoestadístico.

Una parte fundamental del análisis estructural lo constituye la formulación del problema y el análisis crítico de la variable aleatoria regionalizada, lo que comprende, entre otros, los aspectos siguientes:

- a) representatividad y ejecución del muestreo.
- b) Propósito del estudio.
- c) Significado y homogeneidad de los datos o de la variable que se estudia.

- d) Soporte o volumen en el cual la variable esta definida.
- e) Extensión o dominio del campo sobre el cual la distribución espacial de la variable se definirá. Esta extensión puede cubrir una cuenca geológica, un yaacimiento petrolero o una zona de mineralización.

Analizados los datos y definida la variable se procede al cálculo del semivariograma. Los datos pueden estar distribuidos en una, dos y tres dimensiones.

Los aspectos más relevantes contenidos en los semivariogramas son:

- 1.- Representa el grado de continuidad de los valores de las v. a. r.; el semivariograma es una función que se define como la varianza del incremento de dos variables aleatorias regionalizadas, siendo una función creciente, es decir, que entre más alejada se encuentre una v. a. r. de otra, sus valores tendrán a ser más diferentes.
- 2.- Responde a la tradicional noción de zona de influencia entre v. a. r. El grado de crecimiento de un semivariograma representa el grado de decrecimiento de la influencia de una v. a. r. sobre su vecindad.
- 3.- Anisotropía en los valores de v.a.r. pueden ser revelados a través de distintos comportamientos de los semivariogramas construidos a lo largo de diferentes direcciones dentro del dominio de la v.a.r.
- 4.- Continuidad y regularidad de los valores están representados por el mayor o menor comportamiento regular del semivariograma cerca del origen.
- 5.- Arriba de una distancia llamada alcance, rango de correlación, o simplemente rango de las v.a.r. practicamente no presenta correlación.
- 6.- La función semivariograma no representa en su totalidad los detalles locales del fenómeno, sólo expresa, en forma sintética, sus características esenciales.

Estudiando el semivariograma en varias direcciones, se puede determinar la existencia de posibles anisotropías, tales como el cambio de rango con determinada dirección.

Tomando en cuenta estas peculiaridades, es posible asignar a cada valor estimado, un intervalo de confianza, y tomando en cuenta todos estos factores (y los ya mencionados), el método de "interpolación geoestadística" proporciona el mejor estimador lineal imparcial posible de las variables estudiadas. - "Mejor" es entendido aquí, en el sentido de que mínimiza la varianza (o error) de estimación. El objetivo de la estimación local es encontrar el mejor estimador del valor medio de una variable regionalizada asociada a un dominio li-

mitado de dimensiones menores a las dimensiones de la zona de quasi-estacionaridad del fenómeno. Una estimación global, por lo contrario, considera dimensiones mayores a las del límite de quasi-estacionaridad, llegando a abarcar - en ocasiones zonas heterogéneas.

La información requerida por el método de interpolación geostatística - consiste de un conjunto de datos (permeabilidad, porosidad, leyes de mineral, tiempos de reflexión, etc.), e información estructural, es decir, el modelo - del semivariograma que caracteriza la variabilidad de la zona estudiada.

El objetivo de aplicar un análisis geostatístico en el área en estudio a los datos geoquímicos fue para establecer mejor las zonas de anomalías y el comportamiento de los elementos analizados, para así compararlo con las técnicas usuales empleadas, con el fin de obtener mejores resultados. Este análisis se basa en la posición espacial de cada variable (elementos) y la variabilidad de estas en cuatro direcciones: N-S ( $0^\circ$ ), E-W ( $90^\circ$ ), NE-SW ( $45^\circ$ ), y SE-NW ( $135^\circ$ ). En las dos primeras direcciones el espaciamiento considerado fue de 50 m, y en las otras dos direcciones de 70.71 m. Con lo que se obtuvo el semivariograma de cada uno de los elementos (Cu, Zn, Pb, Ag, Hg, Ni). Posteriormente se prosiguió a un ajuste teórico de un modelo esférico para cada caso, para así poder hacer la interpolación geostatística, y definir las zonas de anomalías.

Para definir las zonas de anomalías se considera el rango de influencia, en el cual las v.a.r. tienen correlación, y a partir de este rango se hace la interpolación, por lo que las zonas resultantes solamente tendrán la influencia de las muestras vecinas, y no como en el método estadístico descriptivo - en el que interviene toda la población para definir los límites de las anomalías.

Los semivariogramas del Cu (gráfica III.9) y Zn (gráfica III.10) se consideraron isotrópicos, mientras que los de Pb (gráfica III.11), Ag (gráfica - III.12), Ni (gráfica III.13) y Hg (gráfica III.14) son anisotrópicos. Esta - anisotropía se puede deber:

- A un error en el muestreo, o en el análisis del muestreo.
- A las diferentes unidades litológicas que dieron origen al suelo.
- A la topografía.
- A los diferentes tipos de mineralización.
- Que la mineralización se encuentra en diferentes niveles estructurales, como en algunos litosomas.

## LOG - Cu

Gráfica III.9

- $\gamma_2$  Dirección a  $90^\circ$   
 $\gamma_1$  Dirección a  $0^\circ$   
 $\gamma_3$  Dirección a  $45^\circ$   
 $\gamma_4$  Dirección a  $135^\circ$

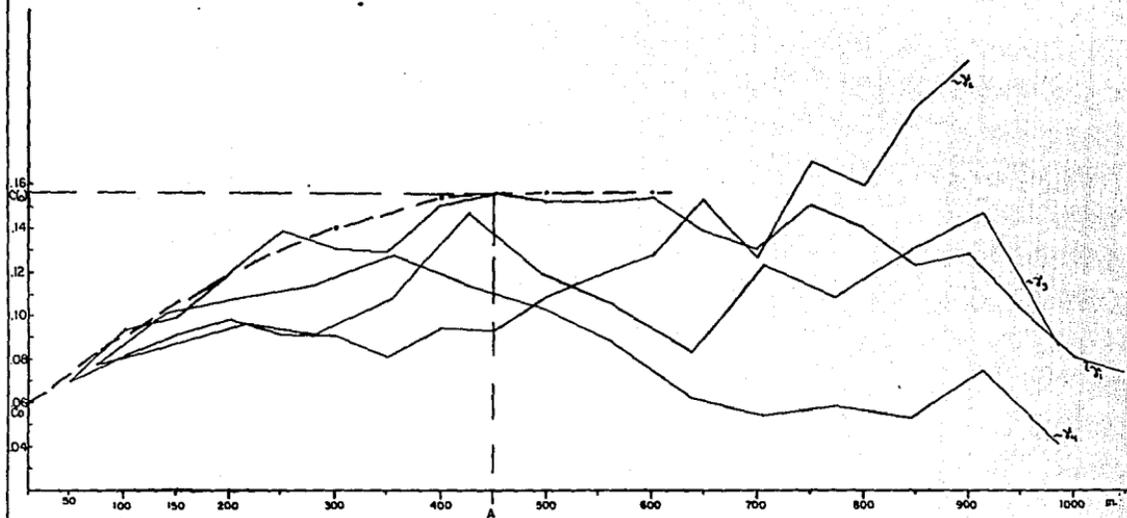
Parámetros:

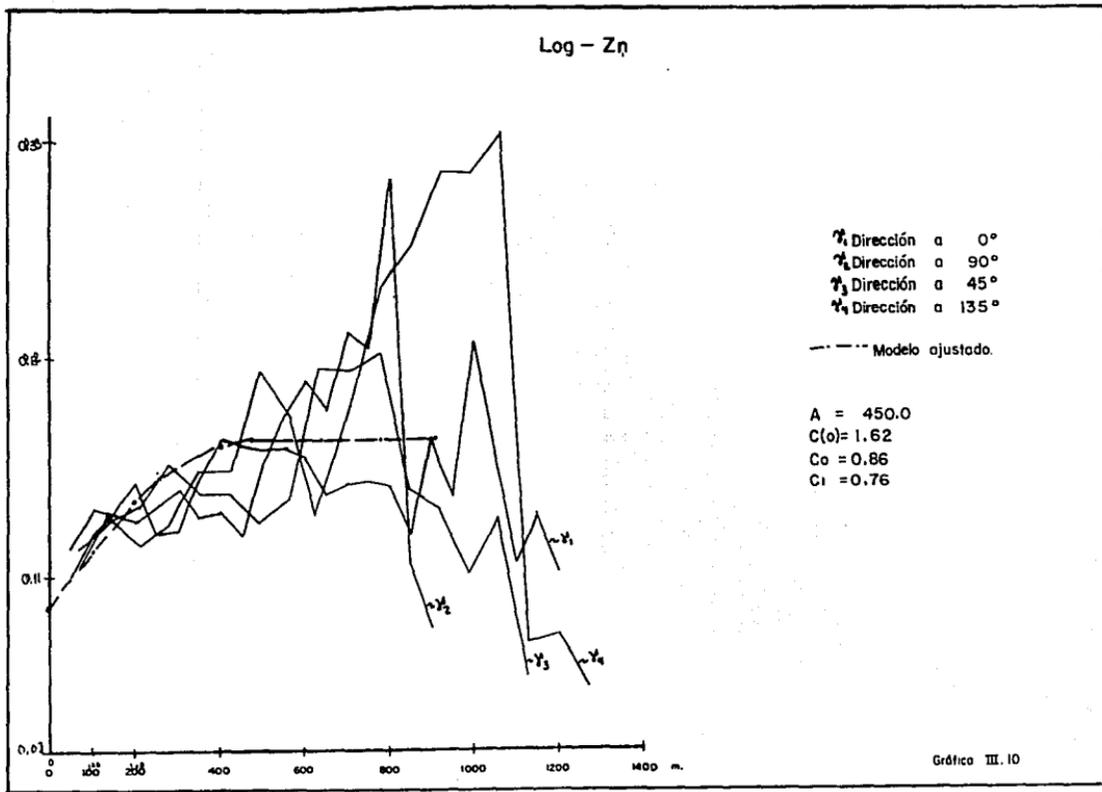
A = 450.0 m.

C(o) = 0.156

C<sub>o</sub> = 0.060C<sub>i</sub> = 0.096

— Modelo ajustado.





### Log - Pb

- ∇ Dirección a 90°
- ∇ Dirección a 0°
- ∇ Dirección a 45°
- ∇ Dirección a 135°
- Modelo ajustado.

A = 500.0 m.  
 C(a) = 1.48  
 C<sub>0</sub> = 0.30  
 C<sub>1</sub> = 1.18

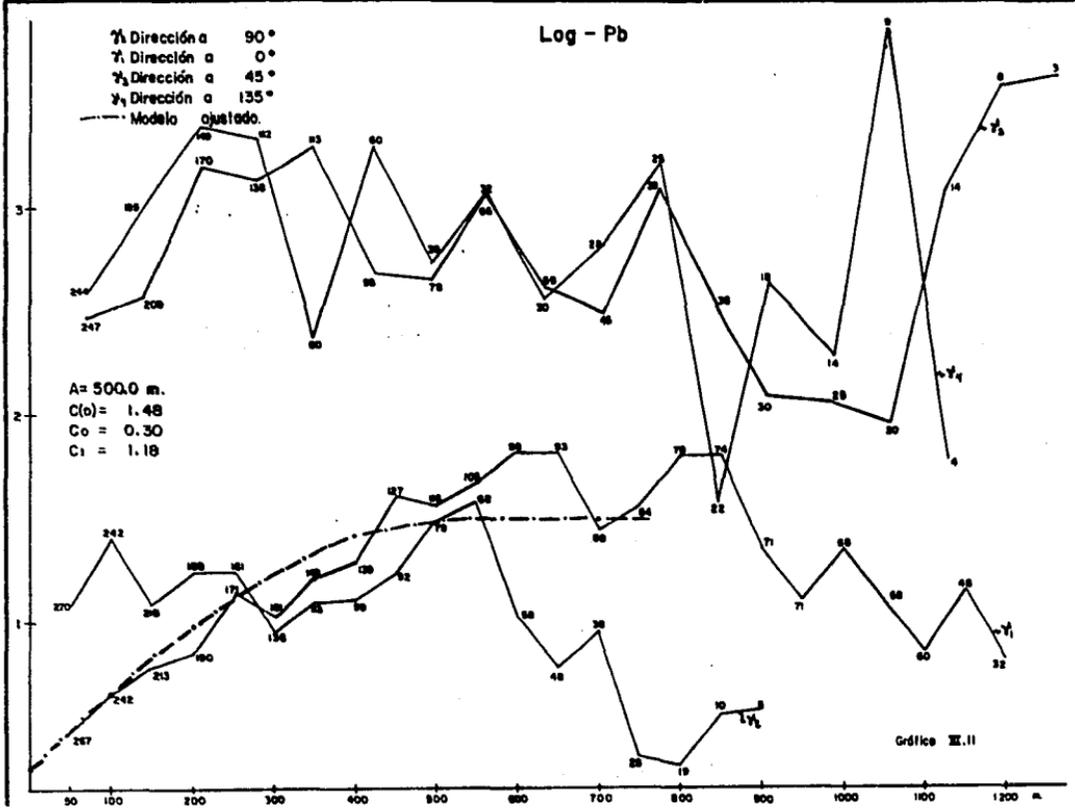
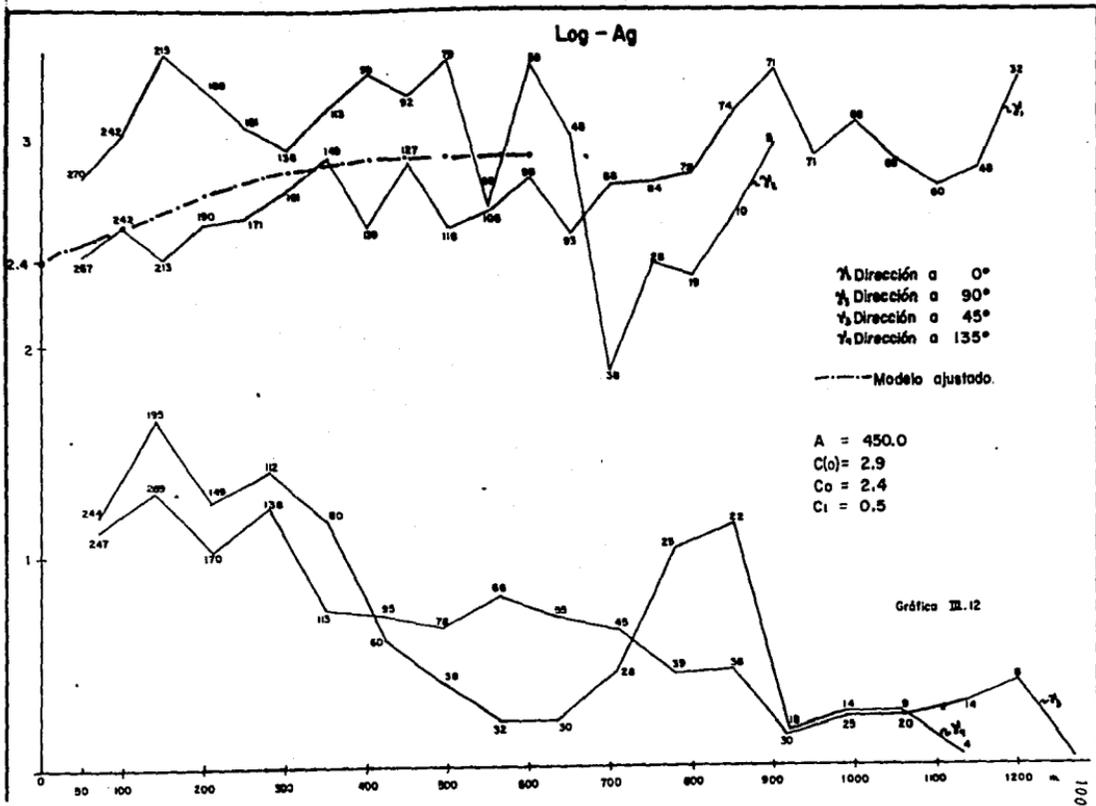
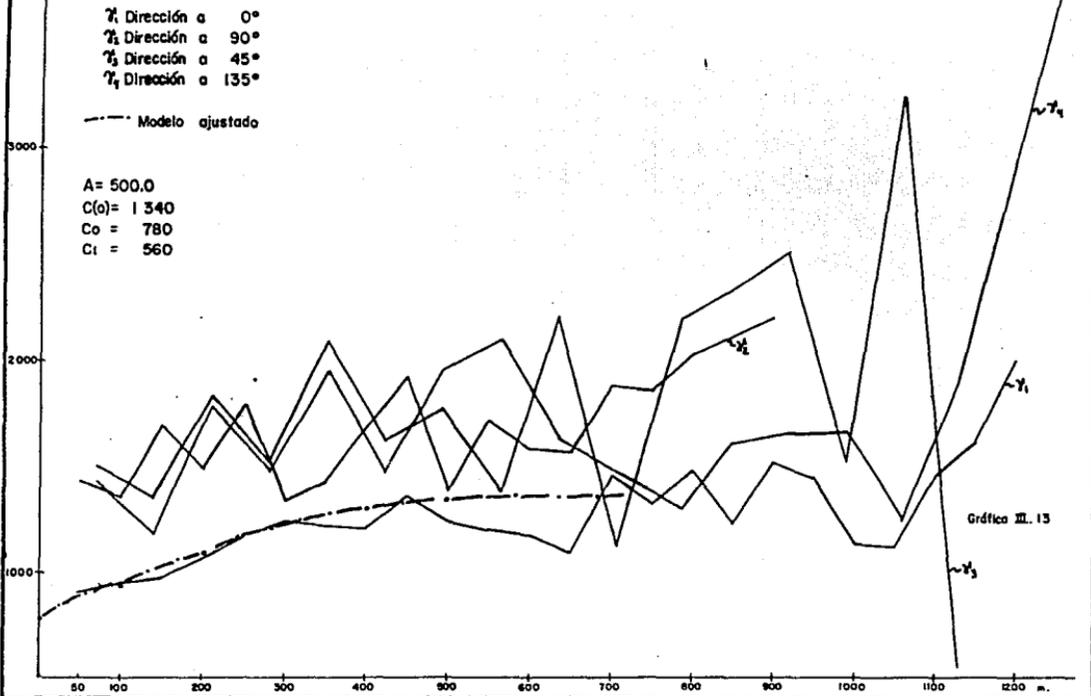


Gráfico III.11



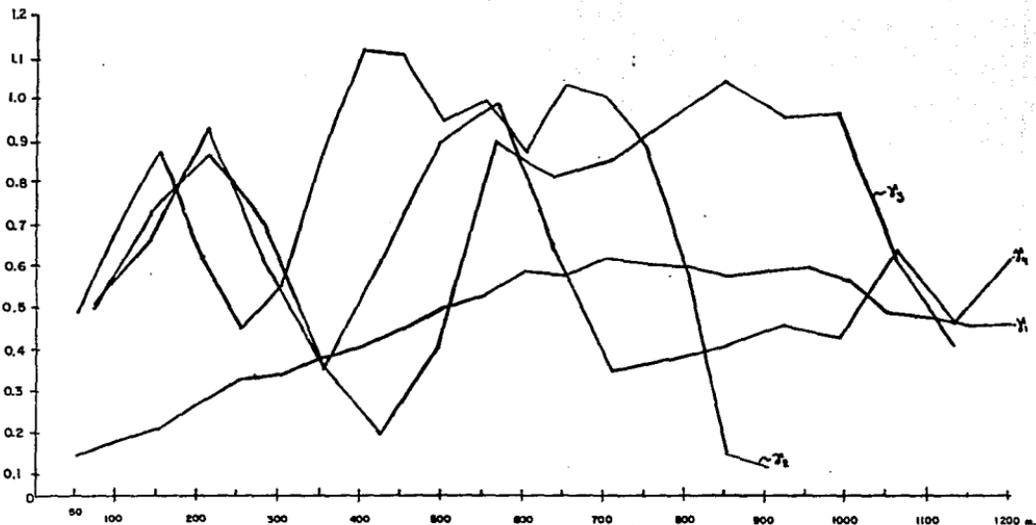
# Log - Ni



# LOG - Hg

Gráfico III. 14.

- $\gamma_1$  Dirección a 0° (N-S)
- $\gamma_2$  Dirección a 90° (E-W)
- $\gamma_3$  Dirección a 45° (NW-SE)
- $\gamma_4$  Dirección a 135° (NE-SW)



- Al comportamiento geoquímico de los elementos (movilidad),

La anisotropía que se presenta es de tipo zonal, por esta razón en los semivariogramas de Pb (gráfica III.11), Ag (gráfica III.12), Ni (gráfica III.13) y Hg (gráfica III.14) se ajustaron a un modelo esférico en la dirección de 0° (N-S) por tener un comportamiento esférico y la dirección de mayor número de pares.

Para el caso del Hg (gráfica III.14) no se ajusto a un modelo esférico, por lo que no se prosiguió a la interpolación geoestadística para este caso.

Después de obtener el modelo ajustado del Cu, Zn, Pb, Ag y Ni, se prosiguió a la interpolación geoestadística, la cual consiste en evaluar de cada área formada por cuatro puntos de muestreo que forman una malla regularmente espaciada. Para evaluar este cuadrado se consideran todas las muestras que están dentro del rango de correlación (este rango se obtiene del modelo ajustado de los semivariogramas) en el que las muestras más alejadas tienen un peso de influencia menor, las de mayor peso de influencia son los valores que se encuentran en el vértice del cuadrado, por lo que el valor que se obtiene corresponde a el área de este cuadrado. El valor que se marca en las figuras es a partir del valor medio, marcándose los valores mayores a este.

Este procedimiento se aplicó para los elementos: Cu (fig. III.18), Zn (fig. III.19), Pb (fig. III.20), Ag (fig. III.21) y Ni (fig. III.22).

### III.6.- DESCRIPCIÓN E INTERPRETACIÓN DE ANOMALÍAS.

Las zonas de anomalías que se definieron por los métodos estadísticos y geoestadísticos son el reflejo de la dispersión de los elementos que constituyen la mineralización que se encuentra en el área. Esta dispersión es debida a la movilidad que tienen los elementos por procesos supergénicos (lixiviación) y en algunos casos mecánicos (gravedad).

A continuación se hace la descripción de las anomalías por cada elemento.

#### MERCURIO.

La obtención de las anomalías de mercurio se realizaron por el método de Sinclair y por las gráficas en tercera dimensión, por lo que se consideraron 5 zonas anómalas.

Anomalia I.- Se localiza al SW del área en estudio, en la localidad de Tizapa; esta anomalía refleja la mineralización de la Mina Tizapa, así como, la mineralización (vetillas) que contienen las riolitas fluidales, la cual puede ser

removilización de mineralización preexistente (SMV); las anomalías son de tres tipos: baja, media y alta, (fig. III.11),

Anomalia II.- Se localiza al este del área, cerca del Potrero de Tenayac, por lo que puede estar indicando un cierto tipo de mineralización en esta zona, o puede indicar mineralización abajo de los basaltos que constituyen el Potrero de Tenayac. Las anomalías son bajas y medias (fig. III.11).

Anomalia III.- Se localiza al NE de la Mesa de Tizapa, en la localidad La Esmeralda, indicando la mineralización existente en esta zona; las anomalías son: bajas, medias y altas (fig. III.11).

Anomalia IV.- Puede indicar cierto tipo de mineralización en la zona de las metacalizas. Los valores de las anomalías varían de valores bajos a altos, -- (fig. III.11).

Anomalia V.- Se localiza al SE de la Mesa de Tizapa, la cual puede indicar la mineralización de mantos y lentes que subyacen a los basaltos, correspondiendo a valores anómalos bajos y medios (fig. III.11).

En el área existen valores aislados anómalos, los cuales pueden deberse a la mineralización diseminada y en vetillas, (fig. III.11).

Los rangos de las anomalías bajas, medias y altas se pueden ver en la gráfica III.5.

Los valores químicos están representados en la gráfica III.9, los cuales están ubicados en la malla de muestreo, estos datos fueron suavizados obteniéndose la gráfica III.10. En las dos gráficas se pueden observar los puntos de valores; en la gráfica suavizada se denotan las zonas anómalas (altos anómalos), y la zona baja representa la Mesa de Tizapa.

#### COBRE.

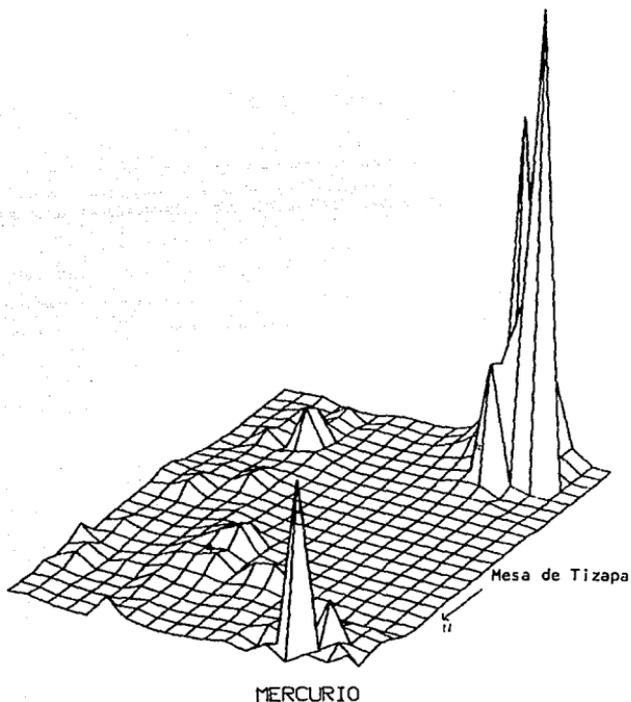
Las anomalías de cobre que se consideraron por el método de Sinclair fueron seis, debido a que también se manifiestan por el método de tendencia superficial. Por el método de geoestadística y por la gráfica suavizada (gráfica III.10) se pueden observar cuatro zonas anómalas.

Anomalia I.- Se ubica en el cerro de los Pinos (al SW del área en estudio), - la anomalía está constituida por valores bajos, medios y altos (método de Sinclair). Puede deberse a la existencia de mineralización diseminada y en vetillas encajonada en filitas grafiticas y riolitas fluidales; estas últimas al intrusonar la secuencia meta-volcano-sedimentaria pudo haber removilizado algunos sulfuros preexistentes, los cuales pueden estar denotando esta anomalía.



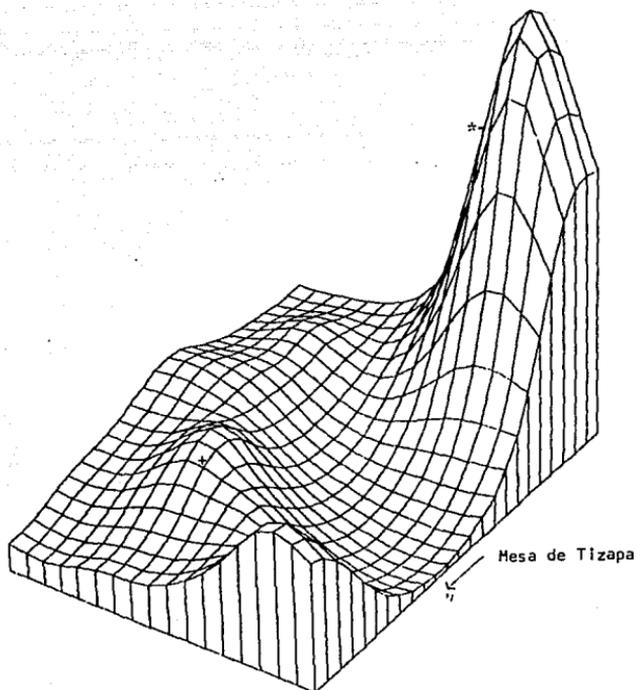
GRAFICA III.9.- Diagrama en perspectiva generado por computadora de la distribución del mercurio, en el que se puede observar las zonas de mayores y menores concentraciones de este elemento. Las coordenadas X y Y son las de ubicación de los puntos de muestreo, y la coordenada Z representa las concentraciones en ppm del elemento.

\* localidad de Tizapa  
+ localidad de La Esmeralda



GRAFICA III.10.- Diagrama en perspectiva generado por computadora en el cual los datos de las concentraciones del elemento han sido suavizados, denotando zonas de interés.

- \* Localidad de Tizapa
- + Localidad de La Esmeralda



MERCURIO

La mineralización diseminada y en vetillas está constituida principalmente de pirita y calcopirita, (Fig. III, 7).

Anomalia II.- Se localiza en las inmediaciones de las obras mineras de Tizapa, por lo que está reflejando la mineralización existente (lentes y mantos) en esta parte. Los valores de la anomalía son bajos y medios (fig. III, 7).

Anomalia III.- Se encuentra al Sur de la Mesa de Tizapa (principalmente en esquistos de clorita, los cuales contienen diseminación de pirita y calcopirita, presentando también una alteración supergénica) y corresponde a un valor medio (fig. III, 7).

Anomalia IV.- Es la más extensa y contiene anomalías baja, media y alta, localizándose al SE de la Mesa de Tizapa (cerca de la Mesa); en esta anomalía se realizaron tres barrenos, en los que no se reportó mineralización a profundidad, por lo que la anomalía puede ser desplazada, ya que los mantos de gran espesor localizados por barrenación se encuentran abajo de la meseta de basaltos y al oeste de la anomalía (aproximadamente a 300 m); además, en el contacto de los basaltos con la secuencia metamórfica se tienen pequeños cuerpos de sulfuros y alteraciones supergénicas.

Anomalia V.- Se encuentra al este del área en estudio, cerca de la meseta de basalto que constituye el Potrero de Teneyac, la cual podría estar reflejando mineralización a profundidad, tanto abajo de ella como al este, debajo del Potrero de Teneyac. La anomalía corresponde a valores bajos y medios (fig. III, 7).

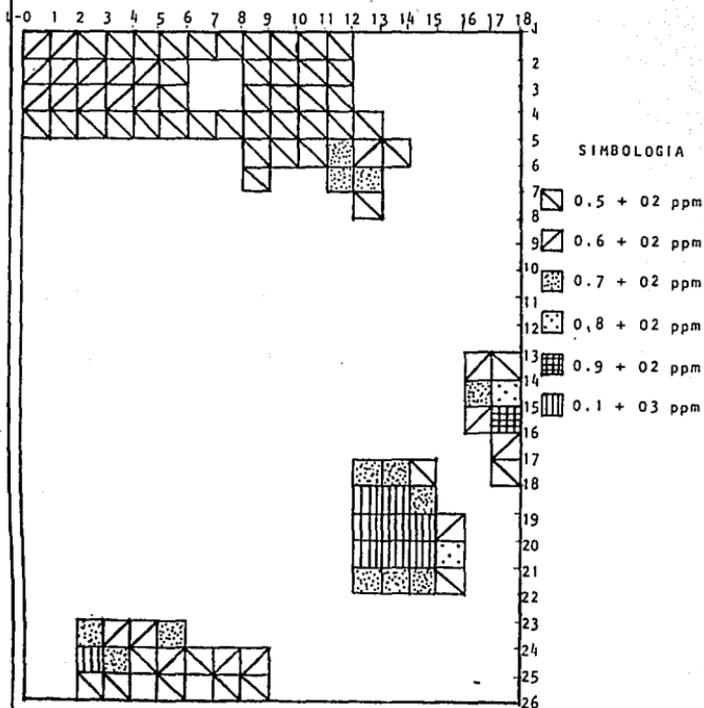
Anomalia VI.- Se localiza a 100 m al NW de La Esmeralda y al este del barreno T#31; esta anomalía es el reflejo de la mineralización existente en esta localidad, siendo una anomalía baja. Esto se puede deber a que en esta parte la mineralización tiene un bajo contenido de Cu. Con referencia a las obtenidas en la tendencia superficial, tiene un ligero desplazamiento, aproximadamente 50 m al W (figuras III.13 y III, 7).

Estas anomalías descritas coinciden (del I al V) con las obtenidas por el método de tendencia superficial (fig. III.13).

Por el método de geoestadística se ubicaron cuatro zonas anómalas, de las cuales la que se localiza en las metacalizas es la más extensa, incluyendo la localidad de La Esmeralda, siendo de valores anómalos bajos a medios (zona de La Esmeralda, fig. III, 18).

La de menor dimensiones se ubica cerca del Potrero de Teneyac correspondiendo a valores desde bajos a altos.

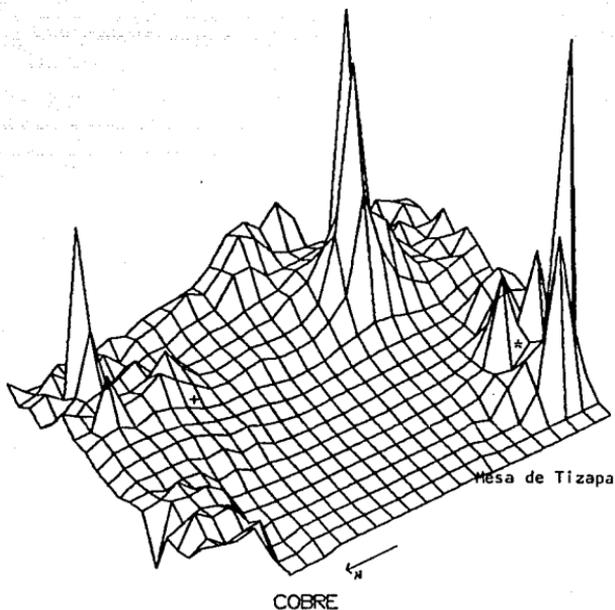
FIGURA 111.18.- Interpolación geoestadística para cobre.





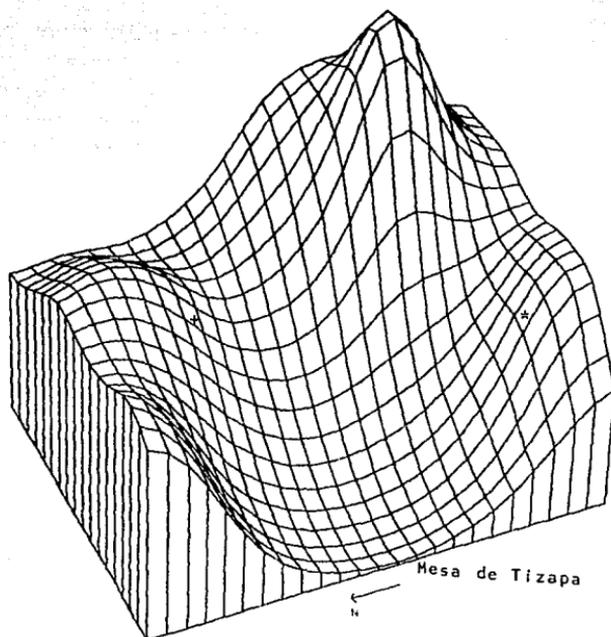
GRAFICA III.11.- Diagrama en perspectiva generado por computadora de la distribución del cobre, en el que se puede observar las zonas de mayores y menores concentraciones de este elemento. Las -- coordenadas X y Y son las de ubicación de los puntos de muestreo, y la coordenada Z representa las concentraciones en ppm del elemento.

\* localidad de Tizapa  
+ localidad de La Esmeralda



GRAFICA 111.12.- Diagrama en perspectiva generado por computadora en el cual los datos de las concentraciones del cobre han sido suavizados, denotando zonas de interés.

- \* localidad de Tizapa
- + localidad de La Esmeralda



La anomalía al SE de la Mesa de Tizapa corresponde a los valores más altos y puede deberse a los mantos y lentes que se encuentran subyaciendo a los basaltos de la mesa, encontrándose al oeste, (fig. III, 18).

La última zona con valores de bajos a altos, se ubica en el área de la mina de Tizapa, y al SW de esta. Al SE se encuentran valores bajos, los cuales pueden ser por la diseminación que existe en los esquistos de clorita y en parte por la influencia de los mantos y lentes que se encuentran al norte, no obstante, la gran migración (talud) del elemento denotan la anomalía, ya que el Cu tiene una gran movilidad. El rango de correlación geostatístico es de 450 m.

Estas cuatro zonas se definen también por las gráficas III,11 y III,12, en las que se puede observar que las metacalizas y La Esmeralda son zonas anómalas separadas.

Por el método de geostatística los valores dispersos se eliminaron.

#### ZINC.

Las anomalías obtenidas por el método de Sinclair I, II, III, IV y VI de zinc se localizan en las zonas de las anomalías I, II, IV, V y VI de Cu, por lo que se puede inferir un origen similar a las de Cu.

Por el método de Sinclair se obtuvieron siete anomalías de Zinc.

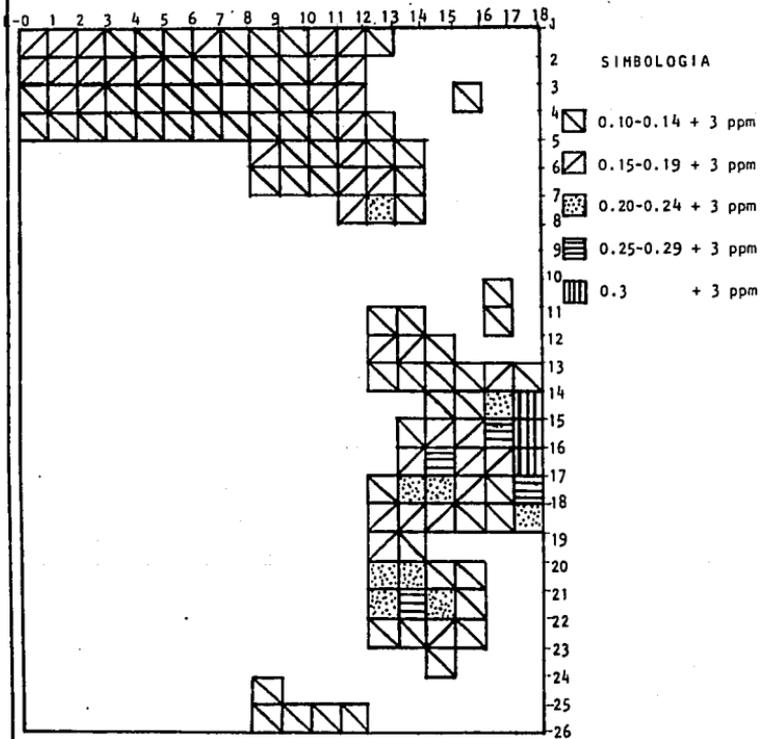
Anomalía V.- Al Este de la Mesa de Tizapa. Puede estar reflejando los sulfuros contenidos en el litosoma de la meta-riolita Las Huertas, ya que se localiza en el contacto de esta con los esquistos de clorita-muscovita que es por fallamiento, así como la mineralización diseminada contenida en los esquistos.

Anomalía VII.- Se localiza al NW del área, en el litosoma de metacalizas; en esta se agrupan tres anomalías bajas de Zn. Esta consideración se hizo con base a la tendencia superficial (fig. III.14), ya que en este método esta zona aparece como anómala incluyendo la zona de La Esmeralda. Esta anomalía puede estar reflejando cierto tipo de mineralización contenida en las metacalizas - (fig. III.8).

Por el método de tendencia superficial se marca la zona de Tizapa como anómala (fig. III.14), marcando mayor extensión que las obtenidas en esta parte por el método de Sinclair.

Por el método de geostatística se obtuvieron dos zonas anómalas extensas las cuales se pueden deber a la gran movilidad del zinc, dispersándose en grandes áreas, (fig. III.19). En la gráfica III.14, en la que se suavizaron -

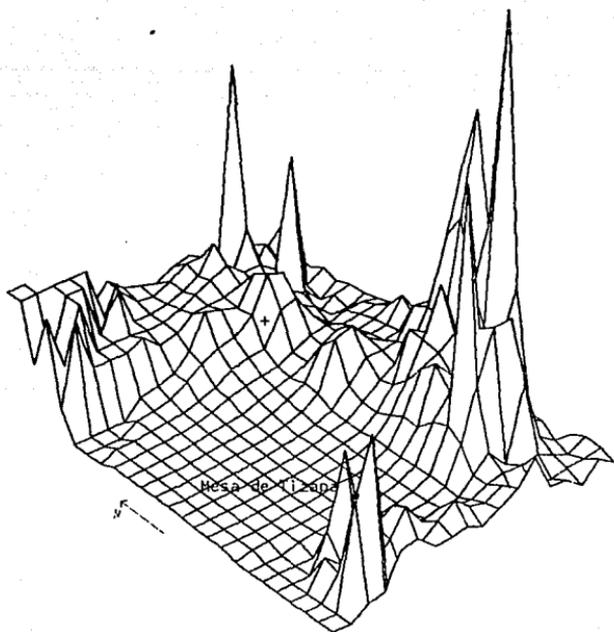
FIGURA III.19.- Interpolación geoestadística de zinc.





GRAFICA 111.13.- Diagrama en perspectiva generado por computadora de la distribución del zinc, en el que se puede observar las zonas de mayores y menores concentraciones de este elemento. Las coordenadas X y Y son las de ubicación de los puntos de muestreo, y la coordenada Z representa las concentraciones en ppm del elemento.

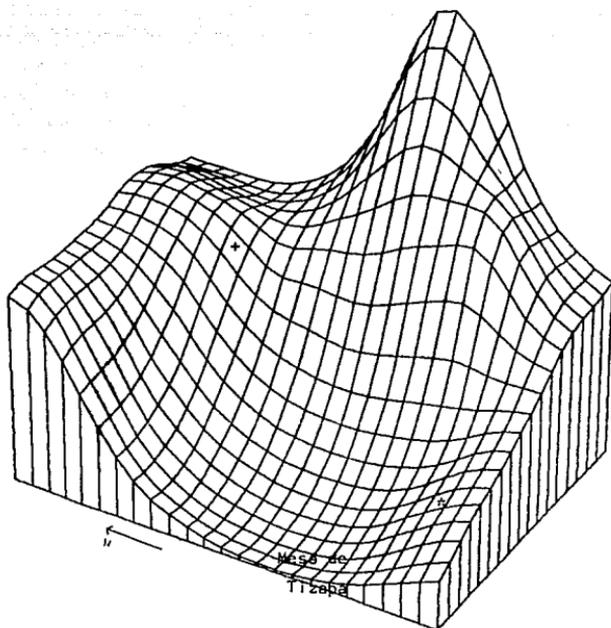
\* localidad de Tizapa  
+ localidad de La Esmeralda



ZINC

GRAFICA III.14.- Diagrama en perspectiva generado por computadora en el cual los datos de las concentraciones del zinc han sido suavizados, denotando zonas de interés.

- \* localidad de Tizapa
- + localidad de La Esmeralda



ZINC

Los datos también se definen estas dos zonas anómalas, en cambio en la gráfica III.13 se puede observar también como zona anómala la localidad de la mina de Tizapa. La zona anómala que se encuentra al Norte se puede separar en dos, una que corresponde a la zona de metacalizas, y la otra a la localidad de La Esmeralda (esto apoyándose con las gráficas III.13 y III.14, ya que en La Esmeralda existen valores anómalos medios).

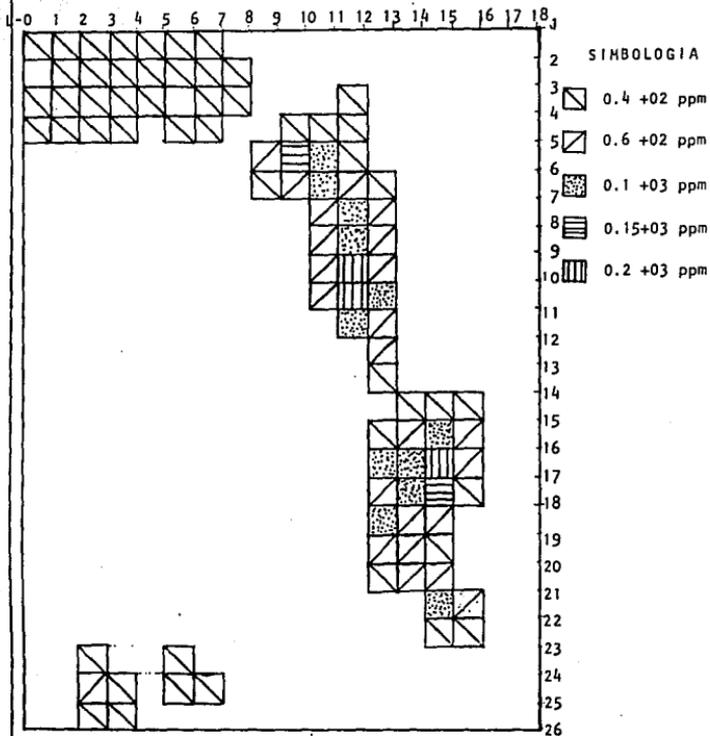
#### PLOMO.

- Se consideraron seis anomalías de Pb por el método de Sinclair, que son:
- Anomalia I.- Es baja, localizándose en el cerro de los Pinos, y puede deberse al cuerpo de riolitas y a la diseminación existente, ubicándose en las filitas grafiticas, y en el contacto con las riolitas fluidales, (fig. III.9).
- Anomalia II.- Se encuentra en las inmediaciones de la mina de Tizapa, en el contacto de riolitas fluidales y esquistos de clorita; puede deberse a los cuerpos que se localizan en la mina y a la influencia de las riolitas.
- Anomalia III.- En su mayor parte se encuentra en aluvi6n, y la otra parte en los esquistos de clorita, la cual puede deberse a un desplazamiento de esta a partir de los cuerpos conocidos existentes debajo de la Mesa de Tizapa, o in-car alg6n tipo de mineralizaci6n (lentes, diseminado o vetillas). Esta anomalia esta compuesta por valores an6malos bajos y medios. Se presenta una anomalia indicada por la tendencia superficial a 50 m al norte (fig. III.15).
- Anomalia IV.- Se localiza al Este de la Mesa de Tizapa, cerca del arroyo del Ahogado, la cual puede ser migrada a partir de los cuerpos que subyacen a la Meseta de basaltos de Tizapa y que se encuentran encajonados en la secuencia meta-volcano-sedimentaria (fig. III.9); en esta zona por el método de tendencia superficial la anomalia esta dividida en tres partes, abarcando pequeñas áreas (fig. III.15).
- Anomalia V.- Es la de mayor extensi6n y se encuentra en la localidad de La Esmeralda, por lo que esta anomalia igual que la VI (que se localiza al Norte de la anomalia V, aproximadamente a 150 m, fig. III.9) se deben a la presencia de la mineralizaci6n existente en esta zona.

Estas seis anomalías se localizan en zonas que también por el método de tendencia superficial son anómalas (fig. III.15).

Por el método geostatístico las zonas anómalas contienen las seis anomalías obtenidas por el método de Sinclair y además se marca la zona de metacalizas como anómala (valores bajos, fig. III.20); esta zona también esta deno-

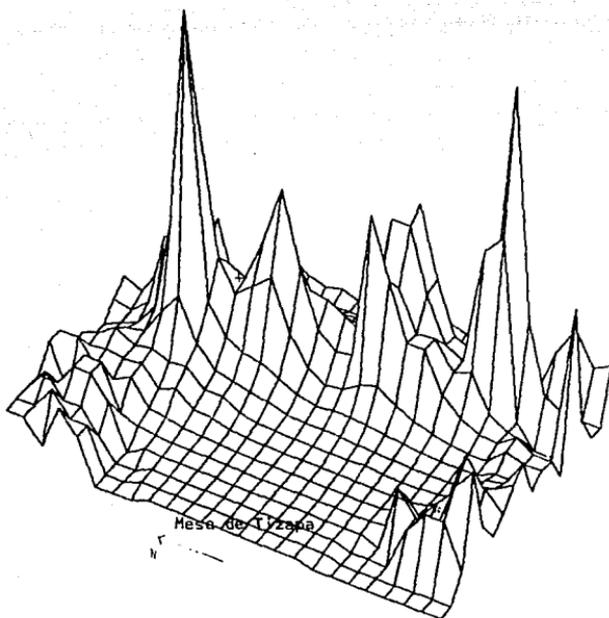
FIGURA III.20.- Interpolación geoestadística de plomo.





GRAFICA 111.15.- Diagrama en perspectiva generado por computadora de la distribución del plomo, en el que se puede observar las zonas de mayores y menores concentraciones de este elemento. Las -- coordenadas X y Y son las de ubicación de los puntos de muestreo, y la coordenada Z representa las concentraciones en ppm del elemento.

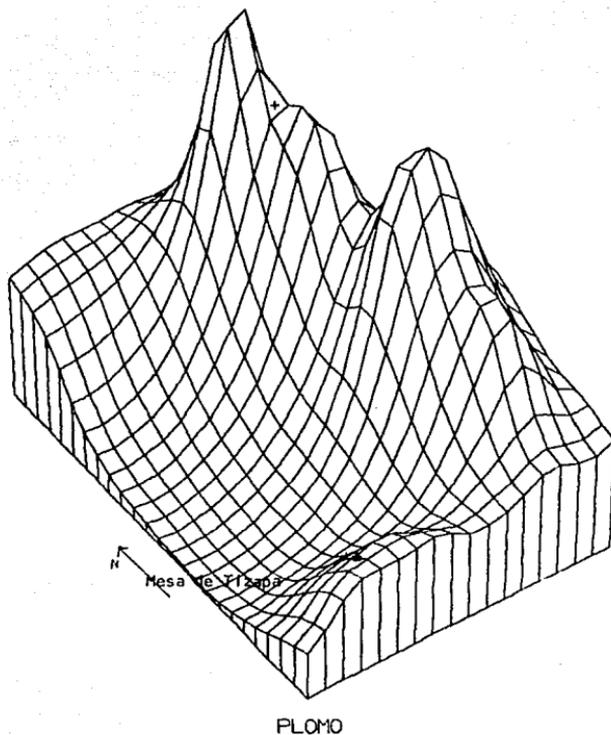
\* localidad de Tizapa  
+ ,localidad de La Esmeralda



PLOMO

GRAFICA III.16.- Diagrama en perspectiva generado por computadora en el cual los datos de las concentraciones del plomo han sido suavizados, denotando zonas de interés.

- \* localidad de Tizapa
- + localidad de La Esmeralda



tada por las gráficas III.15 y III.16. El rango de correlación geoestadística es de 500 m (gráfica III.11).

#### PLATA.

Las anomalías de plata obtenidas por el método de Sinclair se encuentran muy dispersas (fig. III.10), y cuando mucho abarcan tres valores, por lo que se consideró solamente analizar el comportamiento anómalo que se obtuvo por el método geoestadístico (fig. III.21) y con la gráfica III.18. Estos valores dispersos y las zonas anómalas pueden deberse a que la Ag tiene una movilidad media a alta en condiciones ácidas y oxidantes.

En la localidad de la Esmeralda aumenta el contenido de Ag en la mineralización (inciso II.6.2) reflejándose esto en la interpolación geoestadística (fig. III. 21) y en la gráfica III.18, zona anómala II.

En la zona de metacalizas se encuentra la zona anómala I (fig. III.21), la cual puede indicar cierto tipo de mineralización con contenido de Ag.

La zona III puede estar reflejando mineralización, la cual puede encontrarse debajo de los basaltos del Potrero de Tenayac, por lo que esta zona anómala se encuentra desplazada (fig. III.21).

La zona IV puede reflejar la mineralización diseminada y bandas de sulfuros que existen en el subsuelo (detectados por barrenación, fig. III.21).

El rango de correlación geoestadística es de 450 m, (gráfica III.12).

#### NIQUEL.

Se hizo la interpretación en conjunto (Sinclair, fig. III.12; tendencia superficial, fig. III.17; geoestadística, fig. III.22; y gráficas III.19 y -- III.20 en tercera dimensión de Ni) considerando cuatro zonas anómalas,

ZONA I.- En la localidad de Tizapa, la cual refleja la mineralización existente en esta zona (discutida con anterioridad).

ZONA II.- Al Este y SE del área en estudio, esta zona es la más extensa y se encuentra a lo largo del talud de la meseta de basalto del Potrero de Tenayac, la cual puede estar indicando mineralización en esta parte del área.

ZONA III.- En donde se encuentran las metacalizas, al NW del área en estudio, en esta parte también se encuentran las anomalías obtenidas de los demás elementos indicadores utilizados.

ZONA IV.- Al NE del área de estudio, la cual puede reflejar la mineralización

FIGURA III.21.- Interpolación geoestadística de plata.

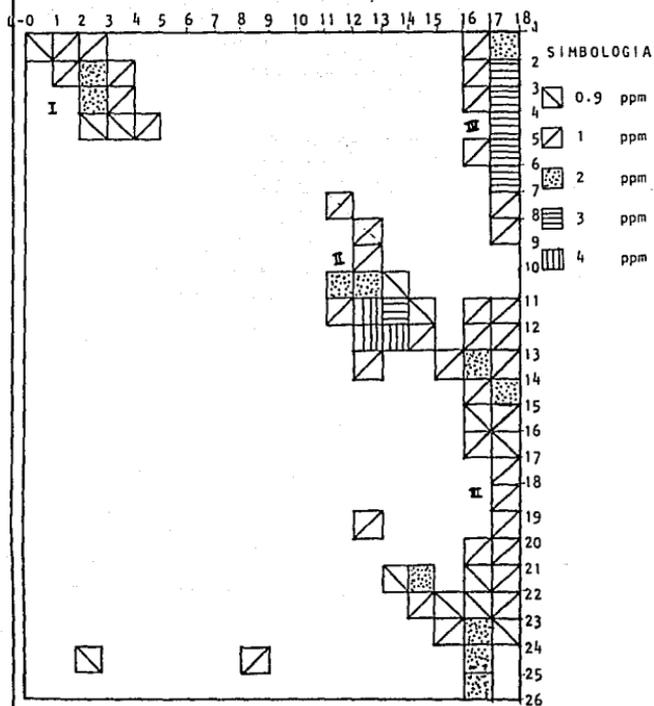
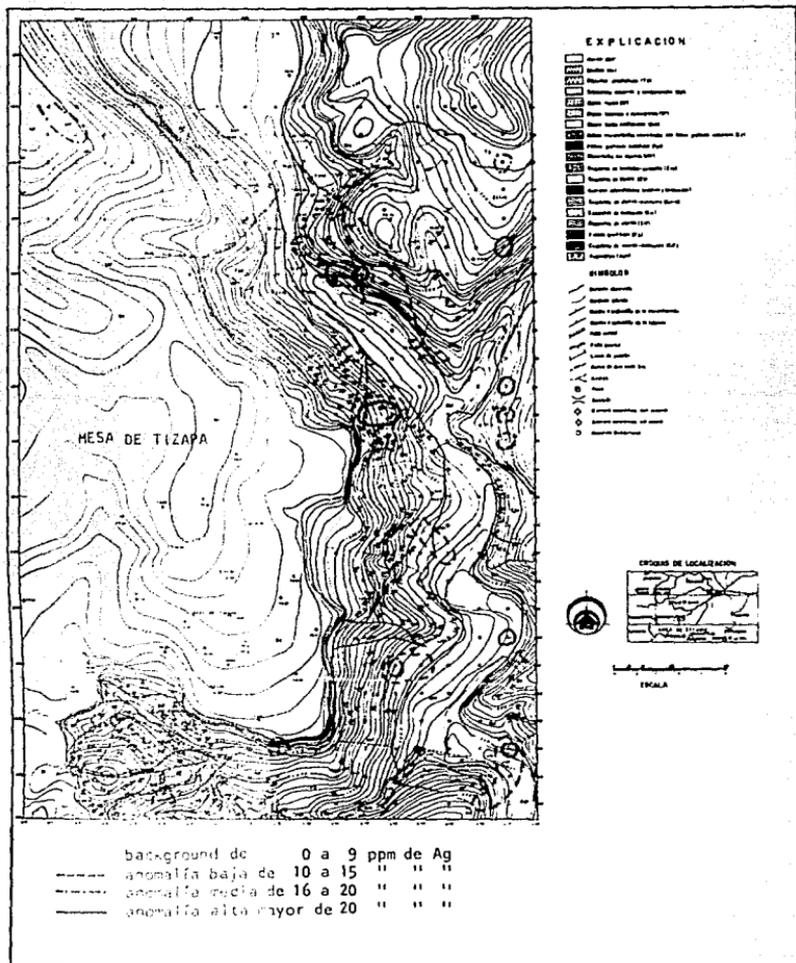
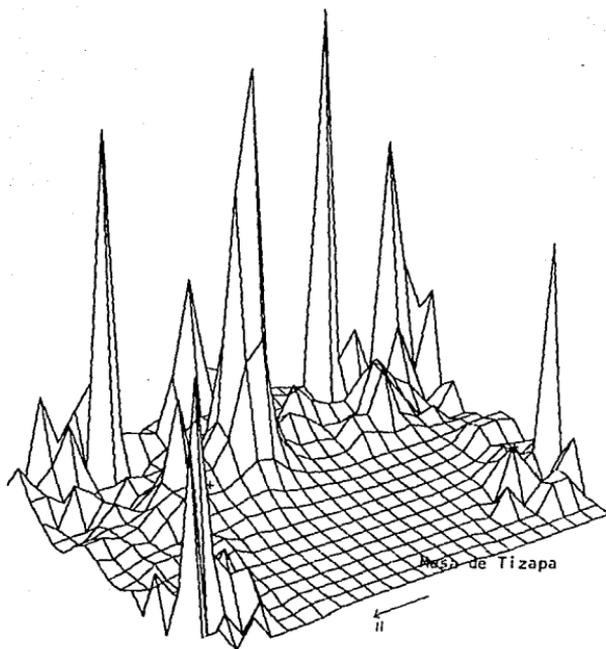


FIGURA III.10.- Anomalías de plata por el método de Sinclair.



GRAFICA III.17.- Diagrama en perspectiva generado por computadora de la distribución de la plata, en el que se puede observar las zonas de mayores y menores concentraciones de este elemento. Las coordenadas X y Y son las de ubicación de los puntos de muestreo, y la coordenada Z representa las concentraciones en ppm del elemento.

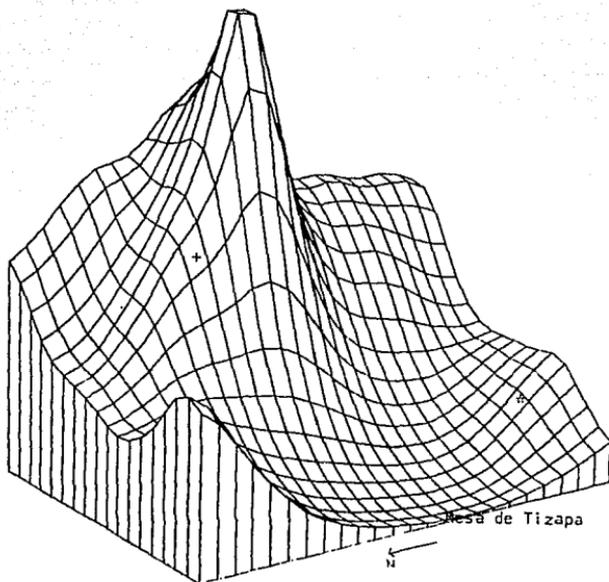
\* localidad de Tizapa  
+ localidad de La Esmeralda



PLATA

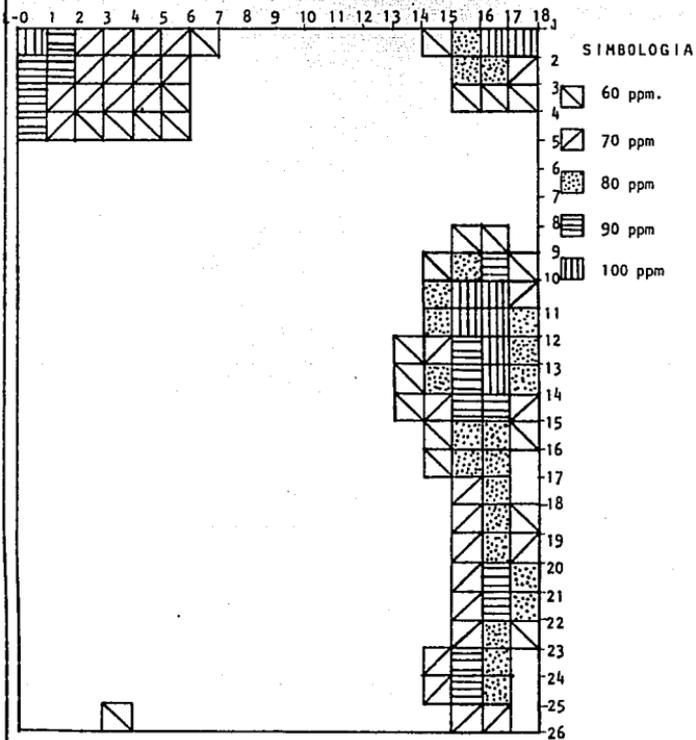
GRAFICA III.18.- Diagrama en perspectiva generado por computadora en el cual los datos de las concentraciones de la plata han sido suavizados, denotando zonas de interés.

- \* localidad de Tizapa
- + localidad de La Esmeralda



PLATA

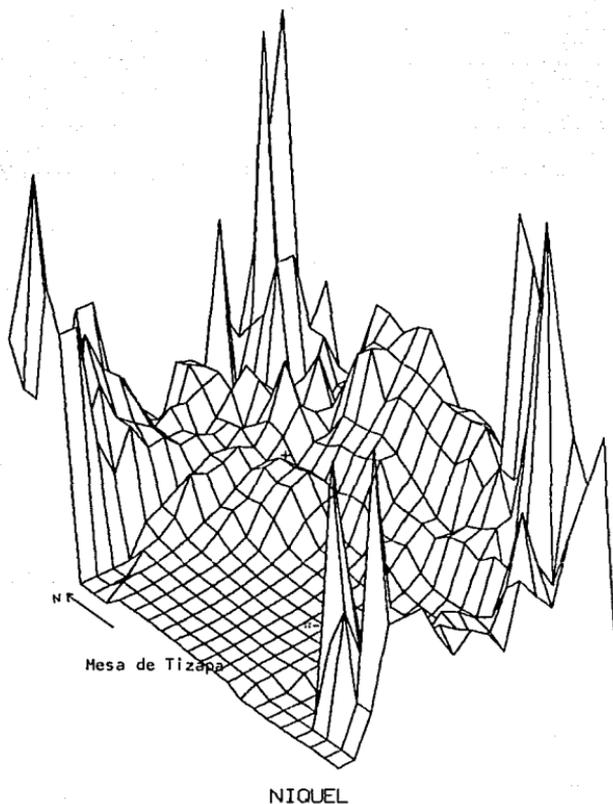
FIGURA III.22.- Interpolación geoestadística de níquel.





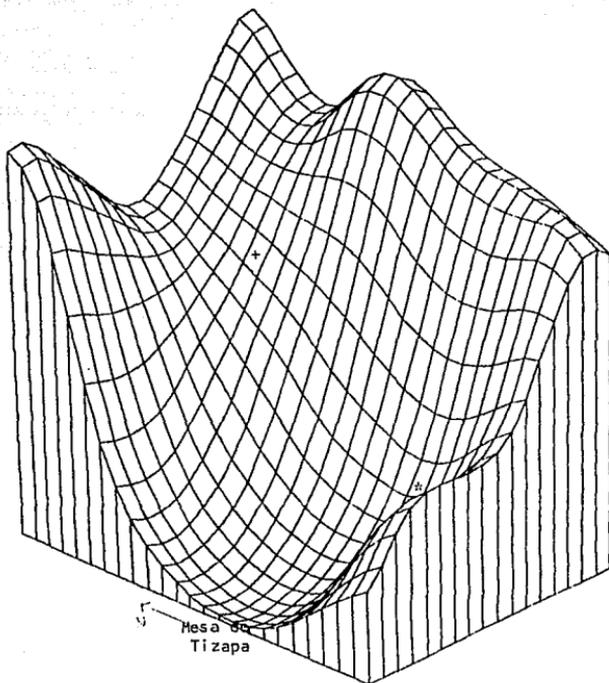
GRAFICA III.19.- Diagrama en perspectiva generado por computadora de la distribución del níquel, en el que se puede observar las zonas de mayores y menores concentraciones de este elemento. Las coordenadas X y Y son las de ubicación de los puntos de muestreo, y la coordenada Z representa las concentraciones en ppm del elemento.

\* localidad de Tizapa  
+ localidad de La Esmeralda



GRAFICA III.20.- Diagrama en perspectiva generado por computadora en el cual los datos de las concentraciones del níquel han sido suavizadas, denotando zonas de interés.

- \* localidad de Tizapa
- + localidad de La Esmeralda



NIQUEL

diseminada y bandas de sulfuros existentes en el subsuelo (debido a que por barrenación se cortaron horizontes con estos tipos de mineralización), ya que el Ni tiene una movilidad moderadamente alta.

### III.6.1.- ANOMALIAS DE CONJUNTO.

Las anomalías en conjunto (fig. III.12) resultaron al sobreponer las zonas anómalas de cada elemento (Cu, Zn, Pb, Ag, Ni, Hg) que se obtuvieron por el método de Sinclair (inciso III.4.1). De la sobreposición resultaron cinco zonas de anomalías de conjunto, que a continuación se describen:

ZONA I.- Se localiza al SW del área (fig. III.12), en donde se encuentran las obras mineras de Tizapa y unos pequeños lentes de SMV aflorando en el arroyo de Tizapa. En esta zona existen dos anomalías altas de Hg y una de Cu, anomalías bajas de Pb, Cu, Zn, Hg, Ni, y anomalías medias de Hg, Cu, Ni, Ag. Los barrenos que se encuentran en esta parte, cercanos a la meseta de basalto cortaron pequeños cuerpos de SMV, así como vetillas y diseminación, por lo que la zona anómala está reflejando esta mineralización.

En esta parte del área afloran filitas grafiticas, esquistos de muscovita y clorita (estos últimos contienen zonas con bastante diseminación), y riolita fluidal, la cual pudo removilizar sulfuros preexistentes a la intrusión, ya que la riolita fluidal contiene sulfuros polimetálicos.

Esta anomalía queda abierta al Este y al Sur.

ZONA II.- Se localiza al SE de la Mesa de Tizapa, entre esta y el arroyo del Ahogado. Esta zona anómala puede estar desplazada y estar influenciado el desplazamiento por la topografía y el drenaje, ya que se localizan varios barrenos, los cuales no cortaron cuerpos de SMV, por lo que pueden reflejar los mantos y lentes de SMV que se encuentran al Oeste de esta zona anómala.

En esta parte afloran filitas grafiticas, esquistos de muscovita y de clorita. Esta zona anómala esta constituida por: anomalías bajas de Cu, Zn, Hg, Ni, Ag, y Pb; anomalías medias de Cu, Hg, Zn, Pb, Ag; y anomalías altas de Cu y Zn.

ZONA III.- Se localiza al NE del área, en la localidad de La Esmeralda, reflejando la mineralización existente en esta parte y los mantos que se encuentran encajonados en la metarriolita Las Huertas (observados por barrenación). En esta parte afloran filitas grafiticas calcáreas, metarriolita Las Huertas, esquistos de clorita-muscovita y esquistos de tremolita/actinolita.

Las anomalías que conforman esta zona son: anomalías bajas de Hg, Cu, Zn, Ag, Pb y Ni; anomalías medias de Hg, Cu, Zn, Pb, Ag, y Ni; anomalías altas de Hg,



Pb y Ag.

ZONA IV.- Se localiza al Este en estudio entre el arroyo del Ahogado y la meseta del Potrero de Tenayac, encontrándose anomalías bajas de Hg, Cu, Zn, Ni; anomalías medias de Hg, Cu y Zn; y anomalías altas de Zn. En esta parte afloran esquistos de clorita-muscovita, esquistos de muscovita, esquistos tremolita-actinolita y un cuerpo felítico (fig. III.12). Esta zona anómala queda -- abierta al Oeste.

ZONA V.- Se encuentra al NW el área (fig. III.12), localizándose en las metacalizas, conteniendo anomalías altas de Ni y Hg, anomalías medias de Ni, Ag y Hg, y anomalías bajas de Zn, Hg, Ni, Pb y Cu. Esta zona anómala puede estar -- indicando la existencia de mineralización en la metacaliza, quedando abierta hacia el Oeste y el Norte.

#### IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Se estableció el comportamiento de la dispersión secundaria de los elementos (Cu, Zn, Pb, Ag, Ni, Hg) en base a las zonas de anomalías geoquímicas que se definieron por los métodos estadísticos (método de Sinclair), tendencia superficial, gráficos y geoestadísticos. Estas anomalías son el reflejo de la dispersión secundaria de la mineralización existente en el área estudiada, -- por lo que se concluye que la dispersión es el resultado de los procesos supergénicos y de intemperismo, así como de la interrelación con el drenaje, el clima, la topografía, y en algunos casos de factores mecánicos (gravedad en zonas de talud).
- El método de exploración geoquímica de suelos dió buenos resultados, ya que la mayoría de las anomalías reflejan los cuerpos minerales conocidos tanto -- con barrenación de diamante a profundidad como en las obras mineras (socavones). Esta conclusión se obtuvo de los análisis químicos de los elementos indicadores utilizados y de los factores físicos de la dispersión secundaria; -- por lo que es recomendable aplicarlo en áreas de condiciones geológicas y geomorfológicas similares. Este método es apropiado para la prospección de cuerpos de sulfuros masivos vulcanogénicos (SMV), los cuales la mayoría de las veces están acultos o sepultados, pero que hayan sido afectados por procesos supergénicos, ocasionando la movilización de los elementos que lo constituyen.
- En el área en estudio existen varias zonas de oxidación, principalmente en las localidades de Tizapa y La Esmeralda, indicando esto una mayor movilidad de los elementos indicadores (Cu, Zn) en estas zonas.
- La movilidad del Hg cuando esta en fase de vapor es relativamente alta, limitada por la adsorción de materia orgánica; pero en este trabajo no se analizó la fase de vapor, sino en estado sólido, por lo que la movilidad del Hg es menor dando como resultado en el área de estudio que la dispersión de este -- elemento no sea grande, la cual es indicada por las anomalías que se observan en y cerca de la mineralización, por lo que indica la presencia de mineralización.
- El Cu es uno de los elementos que más fácilmente se transporta y migra formando zonas supergénicas, denotado por la presencia de sales de cobre (secundarias) en zonas de alteración en la localidad de Tizapa.
- El Zn tiene una movilidad alta en ambientes de oxidación, por lo que debido a las condiciones topográficas del área, estas anomalías están o pueden estar desplazadas y provenir de los mantos conocidos a profundidad en la zona de la

Mesa de Tizapa, localizándose al SE de esta, y en el caso de las localidades de Tizapa y La Esmeralda las anomalías son pequeñas, posiblemente debido a -- que el Zn ha tenido una gran dispersión, y pudo haber sido extraído del suelo por la vegetación que utiliza pequeñas cantidades como nutrientes.

- El Pb tiene baja movilidad en zonas de oxidación, por lo que su dispersión no es grande, indicando zonas mineralizadas cercanas. En el caso de la localidad de La Esmeralda existe mayor contenido de Pb en los cuerpos mineralizados, dando como resultado que las anomalías sean más extensas en esta parte.

- La Ag es moderadamente móvil en ambientes de oxidación, por esta razón la dispersión no es muy grande, y además la mineralización principal en el área (mantos y lentes de SMV) está constituida de pirita, esfalerita y galena, con valores relativamente bajos de Ag, reflejándose con anomalías erráticas y de dimensiones reducidas.

- El Ni es relativamente inmóvil, pero en ambientes de oxidación es moderadamente móvil, por lo que su dispersión no va abarcar zonas extensas, dependiendo del contenido de Ni en las menas y en las rocas existentes en el área, ya que en las rocas básicas el contenido de Ni aumenta, a diferencia de los demás tipos de rocas. La anomalía localizada al Este del área puede estar influenciada por el contenido de Ni en los basaltos del Potrero de Tenayac, indicando que podrían ser derrames de lava diferentes a los de la Mesa de Tizapa, en donde no se detectaron anomalías por este elemento, o estar desplazada la anomalía por la influencia del drenaje (arroyo del Ahogado).

- Las anomalías de conjunto localizadas al SE de la Mesa de Tizapa, al Oeste del Potrero de Tenayac y en la localidad de La Esmeralda pueden ser anomalías desplazadas, parte del desplazamiento puede estar en función de la topografía (ya que las dos primeras se encuentran en zonas de talud y la tercera en la ladera de un cerro).

- Las anomalías en la zona de las metacalizas pueden indicar mineralización, o un comportamiento estadístico distinto, por lo que en esta parte el background puede ser diferente que para el resto del área, y se tendría que tratar por separado los resultados del análisis químico de estas muestras.

- Las gráficas en tercera dimensión ayudan a visualizar zonas anómalas, teniendo una mejor perspectiva de estas, las cuales pueden ser de interés, por lo que es recomendable su utilización siempre y cuando se tengan mallas regulares.

- El método de evaluación geoestadístico permitió definir mejor las zonas anó

malas, eliminando los valores dispersos, por lo que es recomendable su aplicación en este tipo de estudios en que se tienen mallas regulares. También con el rango de correlación se observa el rango de influencia de los elementos, - donde se observa si el espaciamiento del muestreo es el adecuado; para este - trabajo se observó que el espaciamiento fue idóneo.

- El método de exploración geoquímica de suelos es un método de detalle, por lo que en su planeación se deben de considerar estudios preliminares de geología y geomorfología, así como el tipo de mineralización que se está prospectando, para la localización de la mineralización en nuevas áreas o en áreas - adyacentes.

Las recomendaciones propuestas son:

- Como un apoyo complementario sería realizar un estudio metalogénico (zonamiento de elementos) para definir la correlación de una dispersión primaria con la dispersión secundaria (formación de minerales secundarios y su relación con los minerales primarios).

- Hacer un estudio metalogénico para definir el tipo de mineralización en - las metacalizas, ya que todos los elementos indicadores utilizados en este -- trabajo denotan anomalías en esta parte.

- También se recomienda hacer un estudio de geología estructural, así como, - de geoquímica de suelos en el área del Potrero de Tenayac, ya que presenta -- condiciones similares al área de la Mesa de Tizapa tanto geológicas, geomorfológicas como geoquímicas, por lo que podrían existir cuerpos de sulfuros vulcanogénicos hacia esa parte, por lo que conjuntando todos los datos se tendrían puntos de barrenación.

## BIBLIOGRAFIA

- Bargalló, M., 1972. *Tratado de Química inorgánica fundamental y sistemática*: Editorial Porrúa, S. A., México, 2da. edición, pt. 1153.
- Bates, R. L. and Jackson, J. A., 1980. *Glossary of geology: American Geological Institute, Falls Church, Virginia, U. S. A., 2a. ed., pt 748.*
- Boumann, L., 1976. *Introduction to ore deposits: John Wiley & Sons, New York, U. S. A., pt. 131.*
- Berlanga, J. M., 1982. *Determinación del espaciamiento entre pozos de explotación geoquímica empleando métodos Geoestadísticos: 1er. Seminario de aplicación de computadoras a la industria minera, División de Estudios de Posgrado, F. I., UNAM y PEMEX, México, D. F., pp. 262-284.*
- Berlanga-Gutiérrez, J. M. y Obregón-Andría, J. J., s/f. *Geoestadística: Fac. de Ingeniería, UNAM, No. Registro Derecho de Autor 32/81, pt 180.*
- Campa, M. F., Campos, M., Flores, R., Oviedo, R., 1974. *La secuencia Mesozoica volcánico-sedimentaria metamorfizada de Ixtapan de la Sal, -- Méx.-Teloloapan, Gro.: Bol. Soc. Geol. Mexicana, vol. 35, pp 7-28.*
- Campa, M. F., Flores, R., Guerrero, P. Limón, M., Ramírez, B. R., Ramírez, B. R., Ramírez, J., y Vázquez, H., 1977. *La evolución tectónica y la mineralización en la región de Valle de Bravo, Méx., e Iguala, -- Gro.: Memoria XII Convención Nacional ATMMGM, Acapulco, Gro., pp. 143-169.*
- Campa, M. F., Ramírez, J., Flores, R., Coney, P. J., 1981. *Terrenos tectonoestratigráficos de la Sierra Madre del Sur, región comprendida entre los estados de Guerrero, Michoacán, México y Morelos: Serie Técnico-científica de la Universidad Autónoma de Guerrero, No. 10, -- pt. 28.*
- Chaffee, M. A., 1975. *Geochemical exploration techniques applicable in the search for copper deposits: Geology and Resources of copper deposits, Geological Survey Professional Paper 907-A,B, U. S. A., pp. B1-B26.*
- Colorado-Liévano, D., 1979. *Etude D' une partie de la Ceinture Metamorphique (Mesozoique) du sud du Mexique (Etats de Mexico et Guerrero): - Diplome de Docteur Ingenieur à L'universite Pierre Et Marie Curie, Paris. Inédito.*
- Cserna, Zoltan de, Fries, Carl, Jr., 1981. *Hoja Taxco 14Q-h(7) con resumen de la Geología de la hoja Taxco, Estados de Guerrero, México y More*

- los: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Carta Geológica de México Serie de 1:100,000, mapa con texto.
- Cserna, Zoltan de, et al., 1974a (1975). Edad Precámbrica Tardía del Esquistos Taxco, Estado de Guerrero: Bol. Asoc. Mex. Geólogos Petroleros, v. 26, pp. 183-193.
  - Cserna, Z. de, 1978. Notas sobre la geología de la región comprendida entre Iguala, Ciudad Altamirano y Temascaltepec. Estados de Guerrero y México: Soc. Geol. Méx., Libro-Guía de la excursión geológica a Tierra Caliente, pp. 1-25.
  - Cserna, Z. de, 1982 (1983), Hoja Tejupilco 14Q-g(9), con resumen de la geología de la Hoja Tejupilco, estados de Guerrero, México y Michoacán: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Carta Geológica de México, Serie de 1:100,000, mapa con texto.
  - Dana, E. S., 1973. Tratado de mineralogía: Compañía editorial Continental, S. A., 3era impresión en español, pt. 912.
  - Davis, J. C., 1973. Statistics and data analysis in geology: John Wiley & Sons, U. S. A., Kansas Geological Survey, pt 550.
  - Díaz-García, V. M., 1977. El contacto Esquistos Taxco-Roca Verde Taxco Viejo en la región de Zacualpan, Edo. de México: México, D. F., Univ. Nal. Autón. de México, Fac. de Ingeniería, Tesis profesional, inédita.
  - Elías-Herrera, Mariano, 1981. Geología del área de Almoloya de Las Granadas-San Lucas del Maíz, Municipio de Tejupilco, Estado de México: México, D. F., Univ. Nal. Autón. México, Fac. Ciencias, tesis de maestría, pt 177, inédita.
  - Evans, A. M., 1980. An Introduction to ore geology: Geoscience texts Volume 2, Blackwell Scientific Publications, pt 231.
  - Foucoult, A. y Raoult, J.-F., 1985. Diccionario de geología: fondo editorial Masson, 1a. reimpresión 1986, México, pt 316.
  - Fries, Carl, Jr., 1960. Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Bol. 60, pp 236.
  - García, E., 1964. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana: México, D. F., UNAM., pp 71.
  - Garza-González-Vélez, C. E., et al., 1980. Relaciones geológicas y metaloge

- néticas para evaluar el potencial económico-minero y perspectiva de la prospección, en las depresiones de Tejupilco y Zacualpan, edo. - de México: CRM, Gerencia de Estudios Especiales, VIII Seminario interno sobre exploración geológica-Minera, pp 65-95, inédito.
- González-Partida, E., 1982. Le Province Filonienne Au-Ag Taxco-Guanajuato - (Mexique): tesis doctoral, Paris, Francia, inédita.
  - Gutierrez-Tapia, R. L. y Gómez-Moreno, V. H., 1982. Proyecto geoquímico de vapores de mercurio en las áreas Tizapa, Esmeralda y Ciruelo-Campañario, mpios. de Zacazonapan y Temascaltepec, edo. de México: Proyecto Geoquímica de Vapores de Hg I, CRM, Gerencia de Estudios Especiales, informe inédito.
  - Hawkes, H. E. and Webb, J. S., 1962. *Geochemistry in mineral exploration*: - Harper & Row, Publishers, New York and Evanston, Harper's Geoscience Series, pt 415.
  - Hernández-P., I., 1979. Informe de los trabajos geofísicos realizados en el área Tizapa, Municipio de Zacazonapan Edo. de México: CRM, Gerencia de Exploración Geofísica, pp 1-7, inédito.
  - Hutchinson, R. W., 1973. Volcanogenic sulfide deposits and their metallogenic significance: vol. 68, No. 8, *Economic Geology*, December, pp. - 1223-1246.
  - Lepeltier, C., 1964. A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation: *Economic Geology*, vol. 64, pp. 538-550.
  - Levinson, A. A., 1974. *Introduction to exploration geochemistry*: Applied -- Publishing Ltd., Calgary, Printed in U. S. A., Illinois, pt 612.
  - Lugo-Hubp, J., 1982. La geomorfología moderna y su importancia en los estudios del relieve mexicano: Univ. Nat. Autón. México, boletín del -- Inst. de Geografía, Núm. 12, pp 7-17.
  - Macías-Romo, C. y Solís-Pichardo, G., 1985. Minerografía, microtermometría e isotopía de algunos yacimientos del distrito minero de Cuale, Jalisco: México, D. F., Univ. Nat. Autón. México, Fac. de Ingeniería, tesis profesional, pt 128, inédito.
  - Mason, B. y Moore, C. B., 1982. *Principles of geochemistry*; John Wiley & Sons, Inc., U. S. A., pt 350.
  - Mendoza-Flores, A. A., 1983. Evaluación geológica minera del área sur de -- Amatepec, Edo. de México: México, D. F., Inst. Politécnico Nat., Escuela Sup. de Ing. y Arq., Ciencias de la Tierra, tesis profesional,

pt 90, inédita.

- Miranda, F. y Hernández-X., E., 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación: sobretiro del Bol. de la Sociedad Botánica de México, No. 28, septiembre.
- Morán-Zenteno, D. J., 1984. Geología de la República Mexicana: UNAM y el -- Inst. Nat. de Estadística Geografía e Informática, 2da. ed., pt 88.
- Montero-Urrusquieta, R., 1985. Geología y recursos minerales del área de Zacazonapan-Temascaltepec, Edo. de Méx.: México, D. F., UNAM, Fac. de Ingeniería, tesis profesional, pt 116, inédita.
- Montes-Napoles, J. V. B., 1984. Estudio geológico minero del área Mamatla-Tlanilpa, Estados de Guerrero y México: México, D. F., UNAM, Fac. de Ingeniería, tesis profesional, pt 99, inédita.
- Ohmoto, H., 1981. Diagenetic sulphide formation: Ore Deposits Research, Alvin Lewis, Associate Editor, E 6 MJ, pp 75-76.
- Ohmoto, H. and Skinner, B., 1983. The Kuroko and related volcanogenic massive sulfide deposits: Introduction and summary of new findings; The Kuroko and related Volcanogenic massive sulfide deposits, Economic Geology, monograph 5.
- Ordoñez, E., 1946. Principales provincias geográficas y geológicas de la República Mexicana: Inst. de Geología, Comité Directivo para la investigación de los recursos minerales de México, pp 103-142.
- Oropeza-Ortiz, C., 1983. Prospección geológica, en el Distrito Minero de Zacualpan, Edo. de México: México, D. F., UNAM, Fac. de Ingeniería, tesis profesional, pt 89, inédita.
- Ortega-Gutiérrez, F., 1981. Metamorphic belts of southern Mexico and their tectonic significance: Geofísica Internacional vol. 20, Núm. 3, pp 177-202.
- Parga-Pérez, J. J., 1980. Geología y metalogénesis del yacimiento estratiforme de sulfuros masivos de Tizapa, Zacazonapan, edo. de México: - CRM, Gerencia de Estudios Especiales, VIII Seminario Interno sobre la exploración geológica-mínera, pp 335-363, inédito.
- Parga-Pérez, J. J., 1981. Geología del área de Tizapa mpio. de Zacazonapan, México: tesis de maestría, M. C. Geología, Fac. de Ciencias, UNAM, pt 135, inédita.
- Parga-Pérez, J. J. y Rodríguez-Salinas, J. J., 1983. Geología de los sulfuros masivos polimetálicos de : Ag, Zn, Pb, Cu, Cd y Au de Tizapa, -

- Zacazonapan, México: XV Convención Nal. de la Asoc. de Ing. de Minas, Metalurgistas y Geólogos de Méx., A. C., Guadalajara, Jal., Octubre, 1983, pp 349-371.
- Parga-Pérez, J. J., et al., 1980. Geología estratigrafía y yacimientos minerales del área Tizapa-El Sauz, Edo. de México: CRM, Gerencia de Estudios Especiales, pp 219, inédito.
  - Parga-Pérez, J. J., et al., 1982. Estudio geológico-minero y evaluativo de Tizapa, Zacazonapan, edo. de México: CRM, Gerencia de Estudios Especiales, Dep. de Investigación Aplicada, Proyecto Rocas Metamórficas informe anual, inédito.
  - Parga-Pérez, J. J., et al., 1983. Estudio "preliminar" geológico-minero y evaluativo de La Esmeralda, Temascaltepec, Estado de México: CRM, Gerencia de Estudios Especiales, Departamento de Investigación Aplicada, Proyecto Rocas Metamórficas, pp. 37, inédito.
  - Pérez-González, F., 1982. Estudio geológico-minero del área de Zacualpan, Edo. de México: México, D. F., UNAM, Fac. de Ingeniería, tesis profesional, pt 114, inédita.
  - Raisz, E., 1964. Landforms of Mexico: Cambridge, Mass., mapa con texto, esc. aprox. 1: 3 000 000.
  - Rankama, K. y Sahama, Th. G., 1954. Geoquímica: traducción del inglés por Ignacio Bolívar Izquierdo, Aguilar, S. A., ediciones Madrid, España, pt 862.
  - Reedman, J. H., 1979. Techniques in mineral exploration: applied Science Publishers LTD, London, pt 533.
  - Rodríguez-Salinas, J. J., 1982. Geología del depósito de Ag, Pb, Zn de Tizapa, Mpio. de Zacazonapan, Edo. de México: México, D. F., UNAM, Fac. de Ingeniería, tesis profesional, pt 77, inédita.
  - Rosas-Solís, A., 1983. Zoneamiento geoquímico de los sulfuros masivos en México: Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, A. C., Memoria XV Convención Nacional, Guadalajara, Jal., pp 373-419.
  - Rose, A. W., et al., 1979. Geochemistry in mineral exploration: 2d. Edition, Academic Press, New York, U. S. A., pt. 657.
  - Rubinovich-K., R. y Gasca-Durán, A., 1984. Yacimiento "La Esmeralda", Mpio. de Temascaltepec, edo. de México: Informe de microsonda electrónica reporte interno, julio de 1984, Proyecto Rocas Metamórficas, CRM, La

boratorio Físico-Químico, inédito.

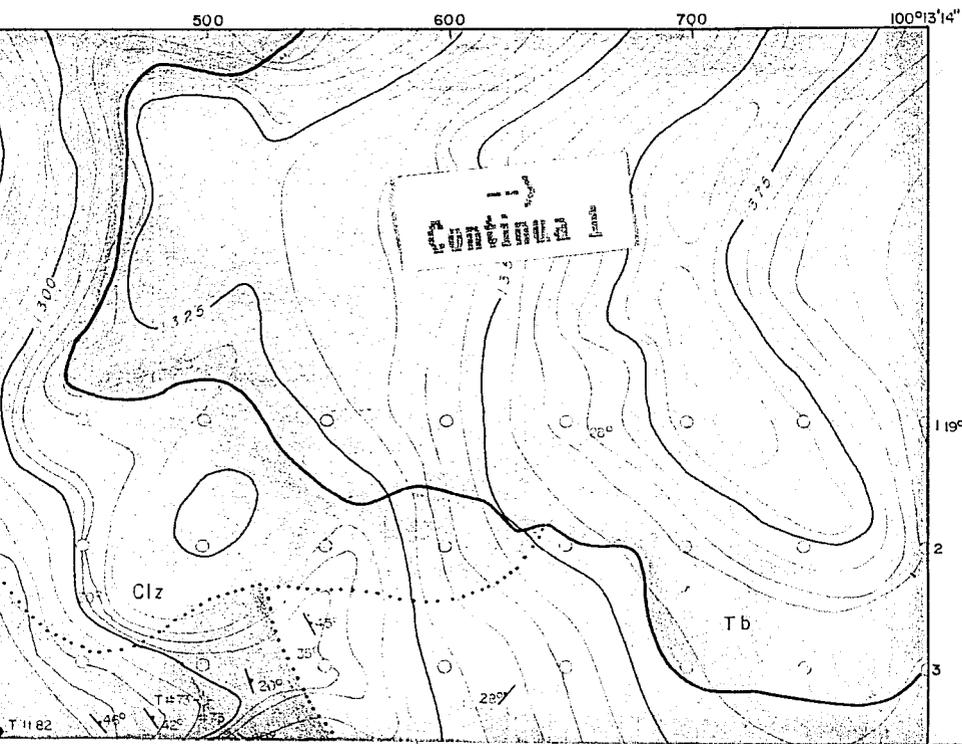
- Rzedowski, J., 1981. Vegetación de México: editorial Limusa, México, pt 432.
- Salas, G. P., 1975. Carta y provincias metalogenéticas de la República Mexicana: CRM, Pub. 21E, pt 242.
- Salas-Castellanos, J. E., 1982. Geología de la región de Amatepec y evaluación metalogenética del prospecto La Sierrita, Tlataya, Estado de México: México, D. F., Univ. Nat. Autón. México, Fac. Ingeniería, tesis profesional, pt 71, inédita.
- Sato, Takeo, 1977. Los sulfuros masivos volcanogénicos su metalogénia y clasificación: Universidad de Sonora, departamento de Geología, publicación No. 1, Mayo, México.
- Sato, T., 1974. Distribution and geological setting of the Kuroko deposits: Geology of Kuroko deposits, Mining Geology Special Issue, No. 6, Published by the Society of Mining Geologists of Japan, pt 435.
- Siegel, F. R., 1974. Applied Geochemistry: a Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, U. S. A., pt 353.
- Sinclair, A. J., 1976. Applications of probability graphs in mineral exploration: Special Volume No. 4, the Association of Exploration Geochemists, Richmond Printers LTD, Canada, pt 95.
- Singer, D. A., et al., 1975. Grade and tonnage relationship among copper deposits: Geology and resources of copper deposits, Geological Survey professional paper 907-A, B, U. S. A., pp A1-A11.
- Spooner, E. T. C., 1980. Cu-Pyrite mineralization and seawater convection in oceanic crust-the ophiolitic ore deposits of Cyprus: Geological Association of Canada, special paper 20, edited by D. W. Strangway, pp 685-704.
- Tetsuro, Uhabe, 1985. Aluminous granite as a source magma at hydrothermal ore deposits: and experimental studie; Economic Geology, vo. 80, pp 148-157.
- Vecchio-Carranza, M. A. del, 1978. Estudio petrográfico-metalogénico del área de Tlanilpa-Azulaquez, Gro.: México, D. F., Univ. Nat. Autón. México, Fac. Ingeniería, tesis profesional, pt 74, inédita.
- Wolf, K. H., 1981. Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits: -- Part III, volume 8 General Studies, Elsevier Scientific Publishing Company, pt 592.

- Zamorano-Montiel, G., 1977. Estudio geológico del yacimiento de sulfuros masivos El Rey de la Plata en Teloapan, edo. de Guerrero: México, - D. F., UNAM, Fac. de Ingeniería, tesis profesional, pt 141, inédita.

TABLA IX-3. Minerales típicos de las diferentes facies y clases de metamorfismo regional. Referencias:

- Turner, F. J., Verhoogen, J., 1963. *Petrología ígnea y metamórfica*. Trad. de la 2a. ed. Americana. Ediciones Omega, Barcelona.
- Turner, F. J., 1968. *Metamorphic Petrology*. Mc. Graw-Hill, New York.
- Winkler, H. G. F., 1967. *Petrogenesis of metamorphic rocks*. Trad. - de la 2a. edición alemana. Springer Verlag, New York.





# EXPLICACION

-  Aluvion (Al)
-  Escudos (Bc)
-  Depositos piroclasticos (Tb)
-  Sacmentos lacustres y conglomerados (Cgl)
-  Riolita fluidal (Rf)
-  Diques felsinicos y microgranito (Df)
-  Diques ácidos carbonizados (Dn)
-  Calizas recristalizadas intracaladas con filitas grafíticas
-  Filitas grafíticas calcáreas (Fgc)
-  Metarriolita las Huertas (Mtr)
-  Esquistos de tremolita-actinolita (Ets)
-  Esquistos de biotita (Eb)

# CION

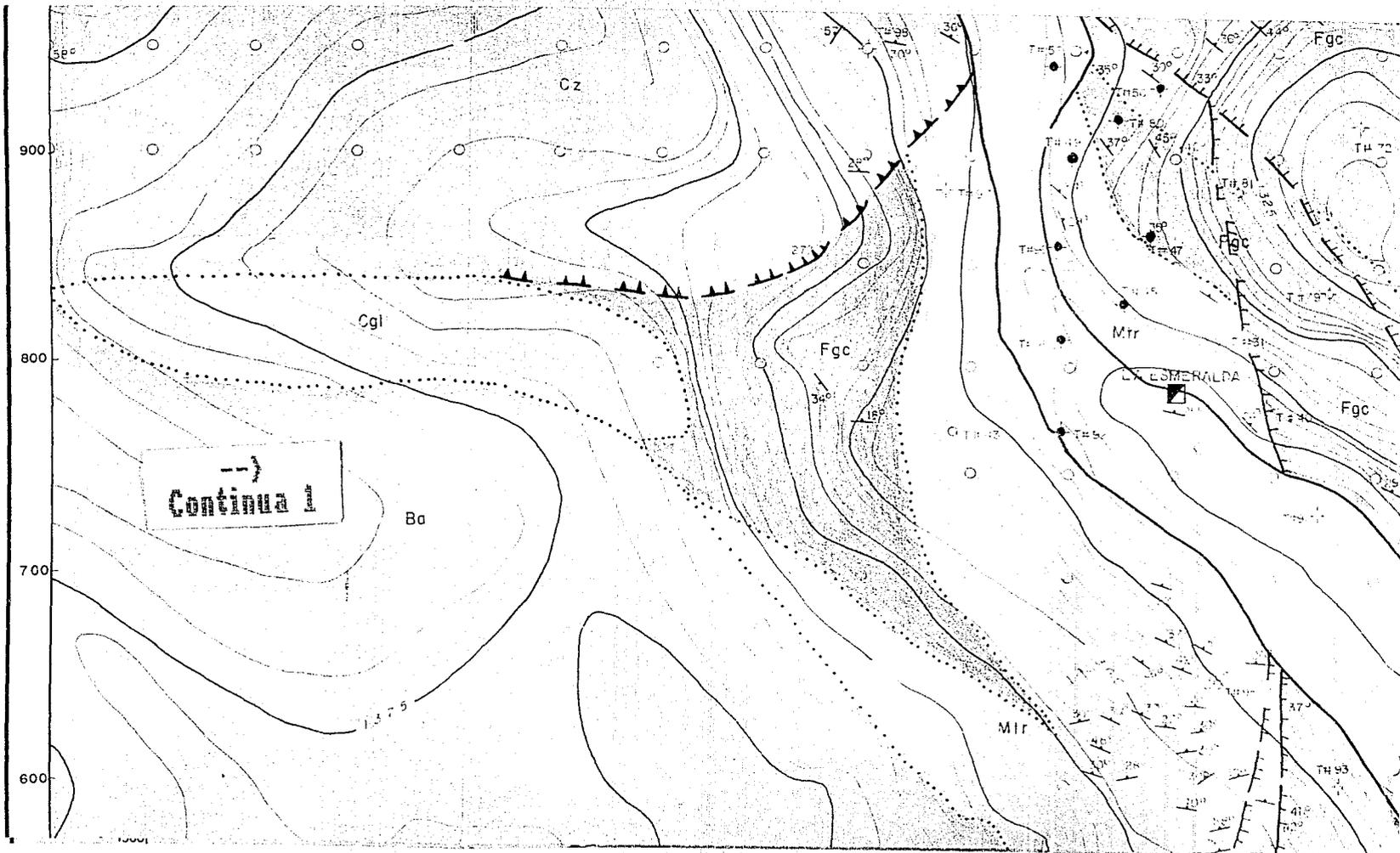
merados (Cgl)

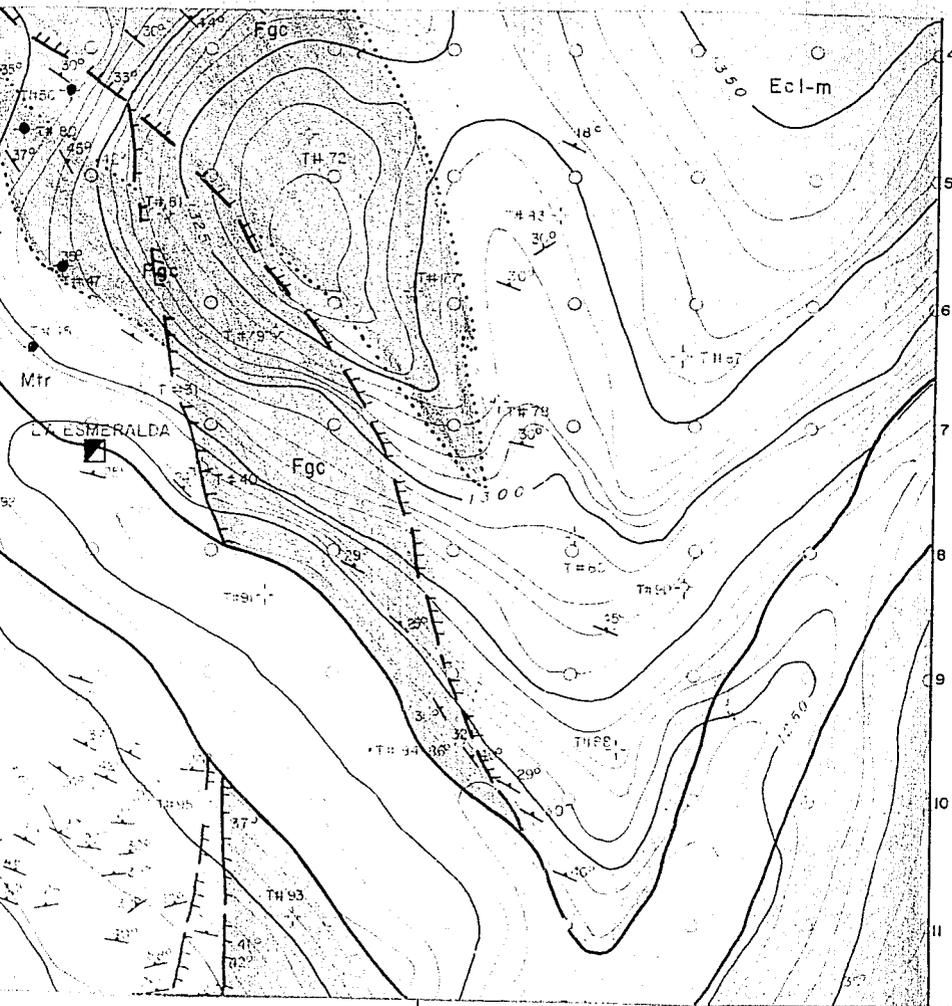
c (Df)

ads con filitas grafíticas calcareas (Cz)

gc)

lita (Eta)

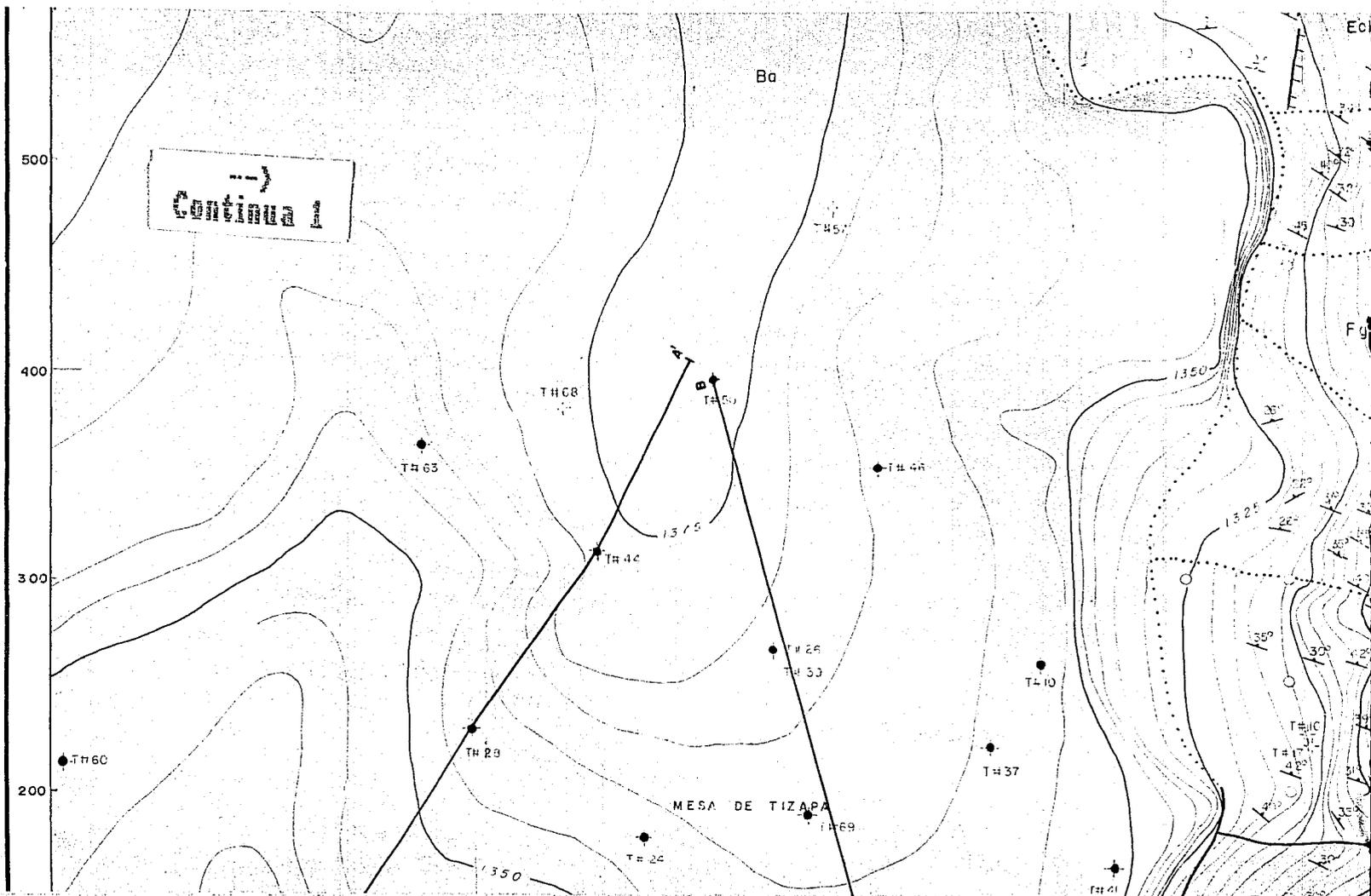


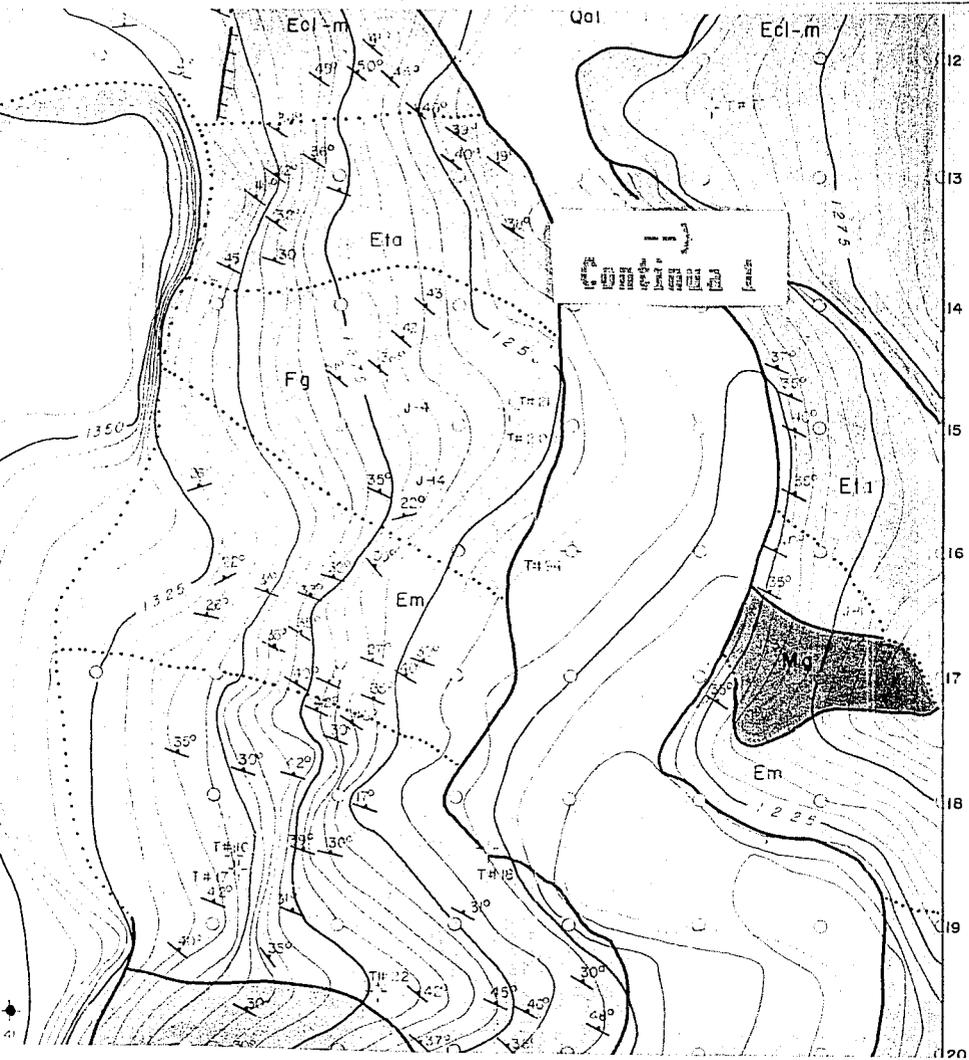


-  Cuerpos mineralizados (macivos y bandedados)
-  Esquistos de clorita-muscovita (Ecl-m)
-  Esquistos de muscovita (Em)
-  Esquistos de clorita (Ecl)
-  Filitas gráficas (Fg)
-  Esquistos de cuarzo-feldespato (Ecf)
-  Augengneis (Agn)

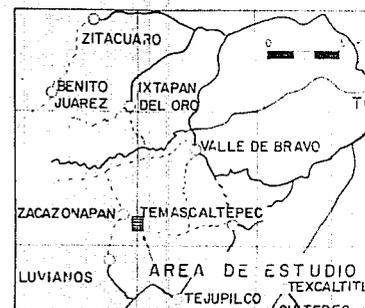
## SIMBOLOS

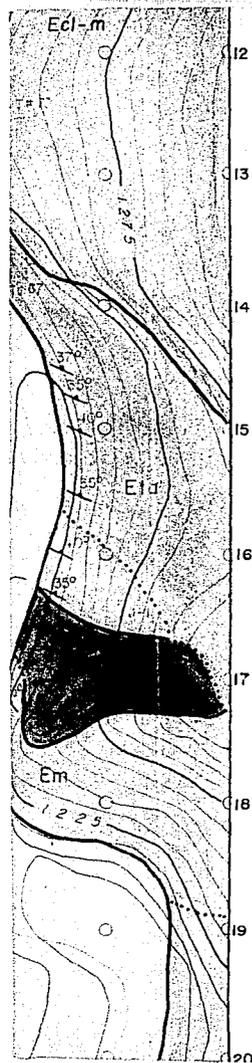
-  Contacto observado
-  Contacto inferido
-  Rumbo e inclinación de la estratificación
-  Rumbo e inclinación de la foliación
-  Falla normal
-  Falla inversa
-  Línea de sección
-  Curva de nivel cada 5m.
-  Arroyo
-  Pozo
-  Socavón



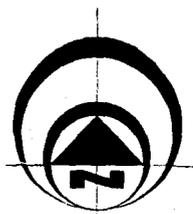


### CROQUIS DE LOCALIDAD

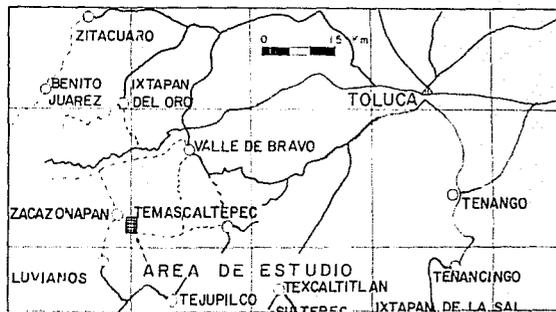


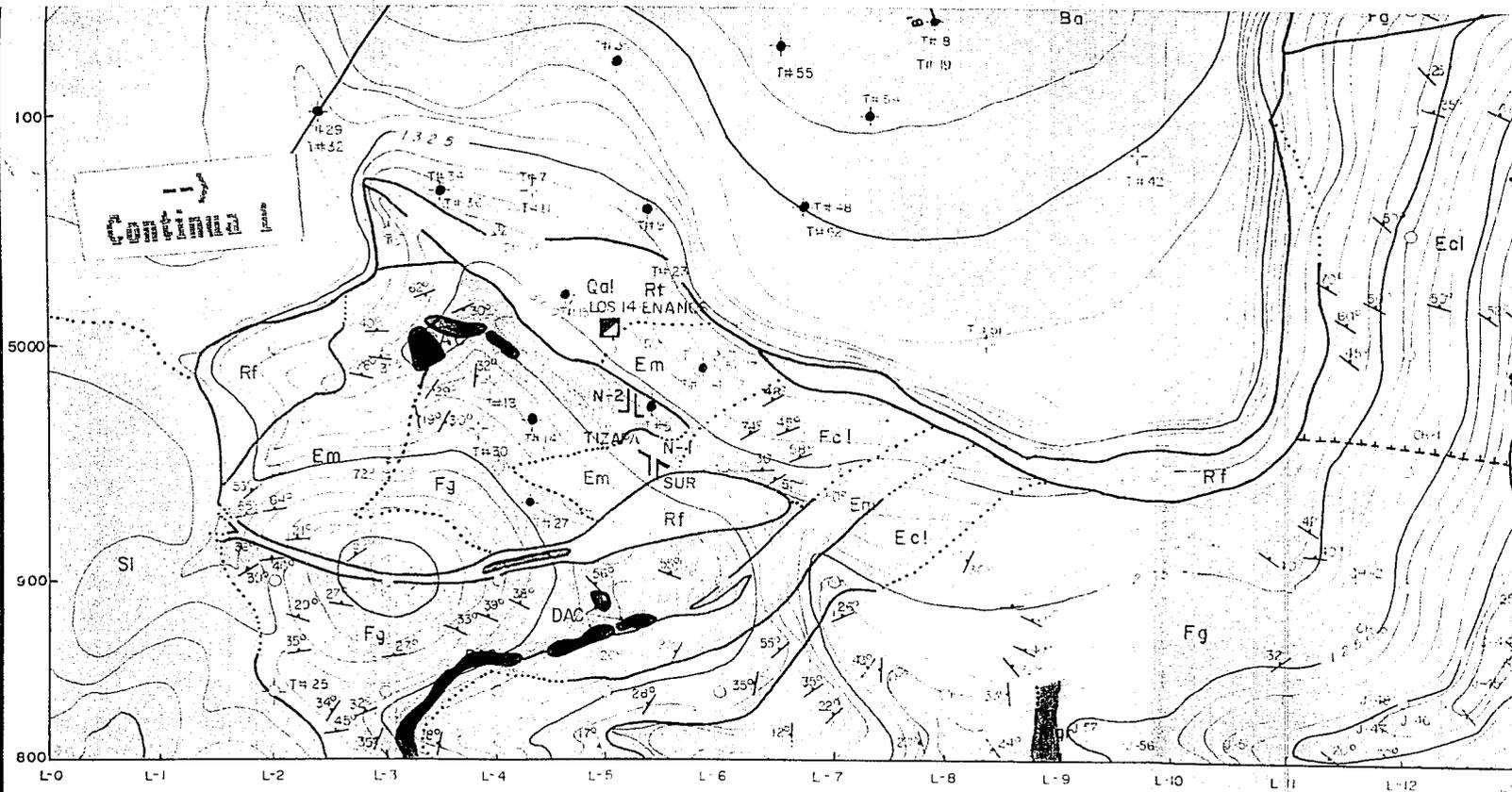


- Barreno terminado con mineral
- Barreno terminado sin mineral
- Muestreo Geoquimico



### CROQUIS DE LOCALIZACION





MSNM  
 1380  
 1370  
 1360

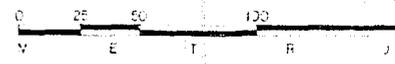
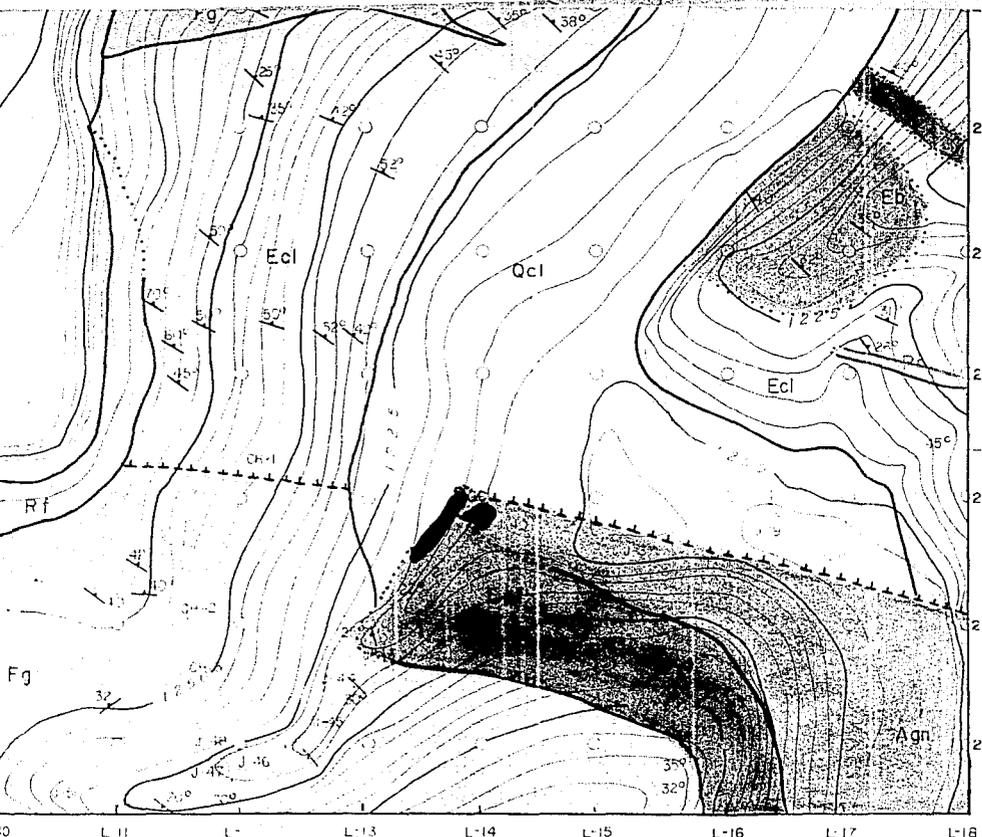
T# 28

T# 44

T# 50

1380  
 1370  
 1360

T# 50



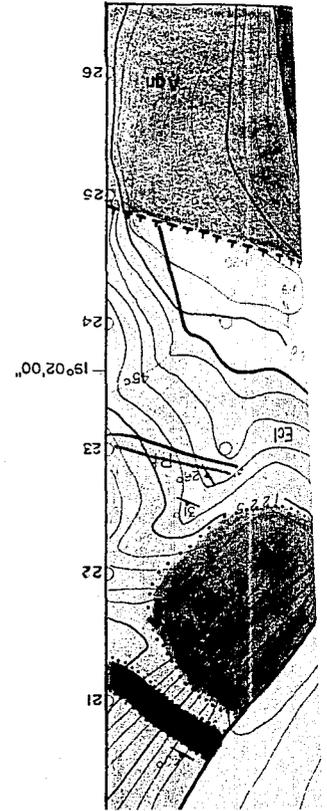
ESCALA 1: 2,000

Contour Lines  
 Elevation  
 Feet

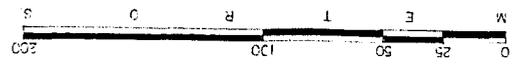


689  
L-17

L-18

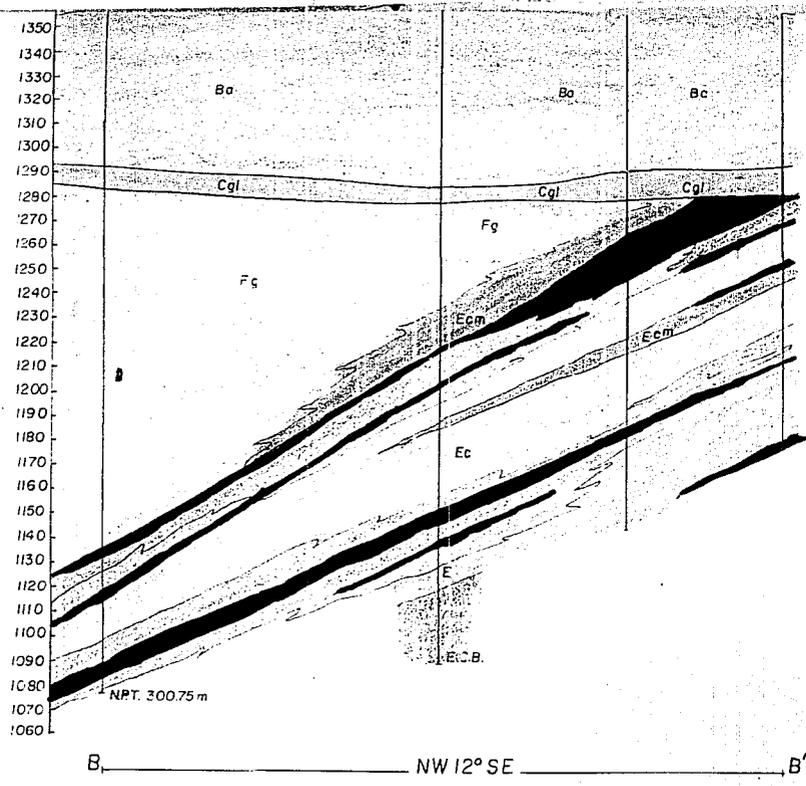


ESCALA 1: 2,000





10921

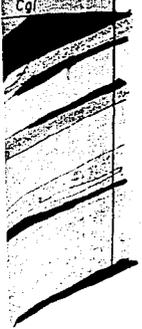


→  
**Continúa**

U N A M	FACULTAD
	TESIS
	ALICIA LEO
	Plano geológico  TIZAPA —  Mpios. de Zacazon  Estado de Me
	PLANO ELABORADO POR: J.J.PARGA PEREZ, J.J.RODRIGUEZ SALI

Bc

Cg



B'

U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS	PROFESIONAL
	ALICIA LEON MATZ	
	Plano geológico geoquímico del área  TIZAPA — LA ESMERALDA ,  Mpios. de Zacazonapan y Temascaltepec,  Estado de México, México.	
	PLANO ELABORADO POR :	FECHA
J.J.PARGA PEREZ, J.J.RODRIGUEZ SALINAS Y E.OBREGON R.	1988	