



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**"ESTUDIO GEOLOGICO MINERO DEL  
YACIMIENTO FERRIFERO DE LOS POZOS  
ARTEAGA MICHOACAN"**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO GEOLOGO  
P R E S E N T A :  
SALVADOR MOTA MOTA

DIRECTOR DE TESIS,  
ING. GERMAN ARRIAGA GARCIA



CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO, D.F.

1990



## **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.

# I N D I C E

Página

## RESUMEN

1. Introducción general -----	4
1.1. Método de trabajo -----	5

## PRIMERA PARTE, ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA

2. Geografía -----	7
2.1. Localización y extensión -----	7
2.2. Vías de comunicación -----	7
2.3. Economía -----	8
3. Fisiografía -----	9
3.1. Hidrografía -----	9
3.2. Geomorfología -----	11
3.3. Orografía -----	12

## SEGUNDA PARTE, GEOLOGIA

4. Introducción a la geología -----	14
4.1. Estratigrafía y litología -----	16
4.2. Complejo metamórfico -----	16
(Triásico-Jurásico Inferior)	
4.3. Granodiorita -----	21
(Jurásico Superior)	
4.4. Secuencia Volcanosedimentaria-----	23
(Cretácico Inferior)	
4.5. Calizas -----	24
(Cretácico Aptiano-Albiano-Cenomaniano)	
4.6. Granito -----	25
(Cretácico Superior)	

4.7. Depósitos recientes -----	30
5. Tectónica y estructuras -----	36
5.1. Descripción de estructuras -----	46
5.2. Tectónica del área estudiada -----	50
5.3. Geología histórica -----	51
5.4. Geología local del yacimiento -----	57

TERCERA PARTE, YACIMIENTOS MINERALES

6. Yacimientos minerales -----	64
6.1. Tipo de yacimientos de hierro -----	66
6.2. Control estructural -----	66
6.3. Alteraciones -----	72
6.4. Mineralización -----	73
6.5. Génesis del yacimiento -----	75
6.6. Geología económica -----	76
6.7. Conclusiones -----	78
6.8. Recomendaciones -----	80
Bibliografía -----	81
Dibujos y diagramas -----	87

3.- Existe otro sistema de fallamiento premineral N-S y de carácter normal.

El yacimiento ferrífero es de estructura tabular y tiene aproximadamente 1 200 m de extensión y de 25 a 30 m de ancho en superficie con rumbo N 75° W y echado variable. Ahora bien con la extensión del programa de barrenación (5 barrenos realizados) se determinó un espesor real de 60 m y una profundidad de 200 m.

Los minerales de mena son: magnetita y en mucho menor-proporción hematita. La ganga está constituida por pirrotita, y algo de calcopirita, calcita, cuarzo, actinolita, trmolita, diopsida, limonita y minerales arcillosos.

Con base en las observaciones de campo y el estudio metalogenético en proceso, se han establecido una serie de hipótesis con respecto a la génesis; se propone como la más acertada, que el yacimiento se originó como efecto de infiltraciones de soluciones magmáticas emplazadas en una zona de debilidad con evidentes indicios de procesos de metasomatismo de contacto.

A través de 1 941 m de barrenación (únicamente realizadas en el sector del cerro Blanco Sur) y con una longitud de 400 m con profundidad de 200 m un espesor de 60 m y una densidad de 4, se han calculado 20 millones de toneladas con carácter de probables.

Con base en el levantamiento aeromagnetométrico de la zona occidental del estado de Michoacán realizado por las Naciones Unidas y C.R.M. en 1961 se delimitaron varias zonas con mayor probabilidad de ocurrencia de mineral de fierro, (Las Truchas, La Guayabera, El Jovero, Los Pozos, etc.).

Se estableció el programa de barrenación a lo largo de

la anomalía magnética y con base en la correlación geológico-geofísica.

Desde el punto de vista económico, puede decirse que este trabajo es un estudio preliminar que puede apoyar la búsqueda de yacimientos ferríferos y no se descarta la ayuda que puede ofrecer para el conocimiento metalogénico del territorio mexicano.

## 1.- INTRODUCCION GENERAL

El objeto del trabajo que a continuación se presenta, es aportar una serie de datos que conformen una verdadera información sobre un lugar donde anteriormente se habían realizado estudios geológicos muy someros.

Se trata de un trabajo preliminar, bastante general por lo que se deja abierta la posibilidad para cambiar conceptos o anular otros. Así queda implícita la necesidad de algunas modificaciones inherentes al progreso científico de la investigación geológica.

En el contenido, se proponen algunas hipótesis sobre todo para la génesis de la mineralización.

Se pretende que las ideas aquí expuestas, sean el inicio de más trabajos que deberán concluir de una manera afirmativa o negativa los postulados aquí ofrecidos.

El estudio geológico de la zona se apoyó con estudios petrológicos y geoquímicos por lo que la investigación del mismo se realizó en tres partes; las ideas se desarrollaron de acuerdo al siguiente temario:

- 1.- Aspectos generales
- 2.- Esquema geológico
- 3.- Petrología y geoquímica.

Con base en lo anterior, se puede decir que el objetivo principal del estudio, fue realizar el trabajo geológico de una zona mineralizada, someramente estudiada para obtener una nueva información que sirva como base para elaborar trabajos más detallados sobre esta región, o que sea utilizada como eslabón de verificación en los trabajos regionales de investigación desarrollados sobre la Sierra Madre del Sur.

### 1.1.- METODO DE TRABAJO

Como primera fase se realizó la recopilación de la información existente y el dibujo de los planos topográficos, geológicos y geofísicos del área. Con las fotografías aéreas se efectuó el estudio de fotogeología Esc. 1:50 000 para analizar las diferencias litológicas, el comportamiento estructural y la topografía.

En la segunda fase se llevaron a cabo recorridos a nivel regional aplicando métodos directos e indirectos de prospección geológica así como geofísica y geoquímica.

Para la tercera fase se programaron trabajos directos para poner en evidencia nuevos depósitos o la ampliación de los ya conocidos, tales trabajos consistieron en barrenación de diamante y muestreo.

Como cuarta fase se efectuó la cubicación y cuantificación del yacimiento.

**PRIMERA PARTE****ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA**

## 2.- GEOGRAFIA

### 2.1.- LOCALIZACION Y EXTENSION

El área de estudio se localiza casi en la intersección de los siguientes estados: sur-sureste de Michoacán y noroeste de Guerrero (Fig. 1). Entre los meridianos  $102^{\circ}20'$  y  $102^{\circ}40'$  de longitud, al W de Greenwich y los paralelos  $18^{\circ}15'$  y  $18^{\circ}30'$  N.

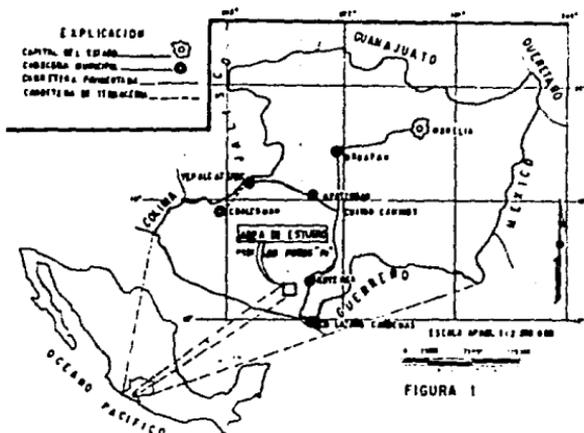


FIGURA 1

(Fig. 1) Localización del Área de Estudio

La superficie del área la cubre la carta topográfica DETENAL No. El4 B78 Esc. 1:50 000 denominada "Playitas" que tiene una superficie aproximada de  $950 \text{ Km}^2$  y el sector de estudio es de aproximadamente  $20 \text{ Km}^2$ .

### 2.2.- VIAS DE COMUNICACION

El área se ubica aproximadamente a 387 Km, al suroeste en línea recta de la ciudad de México.

Su acceso puede realizarse por la carretera No. 15 que une a la ciudad de Morelia con la ciudad de México y posteriormente tomar la No. 37 que une al puerto Lázaro Cárdenas con la ciudad de Morelia hasta el poblado de Arteaga, y por la costa puede ser por la carretera No. 95 que une la ciudad de México y el puerto de Acapulco con el puerto de Lázaro Cárdenas y aquí tomar la carretera No. 37 a Morelia hasta el poblado de Arteaga, de esta manera se señala que la única vía de acceso es la carretera No. 37 del puerto de Lázaro Cárdenas en dirección a la ciudad de Morelia hasta el poblado de Arteaga. Dentro del área de estudio existen sólo dos terracerías que comunican al poblado de Tumbiscatío y el poblado de Arteaga con la ranchería de Plan de Armas. Al poblado de Playitas se llega a partir del poblado de tumbiscatío. Estas últimas vías no son transitables en época de lluvias.

### 2.3.- ECONOMIA

Los poblados más grandes e importantes dentro de la zona de estudio son: Playitas, Ahijadero, Los Pozos y Plan de Armas; ningún poblado rebasa 5 000 habitantes, y tampoco cuenta con los servicios indispensables como agua potable, energía eléctrica, teléfonos y bancos; el único poblado que cuenta con telégrafos y médicos es Playitas, no existe servicio de autobuses en ninguno de los poblados antes mencionados, el nivel máximo de estudios es primaria que se imparte en el poblado de Playitas; en los demás poblados sólo cuentan con un profesor que imparte clases a niveles de 1º, 2º y 3º de primaria.

### 3.- FISIOGRAFIA

El área de estudio se encuentra ubicada dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur, según William Humprey (1956), (fig. 1.2). Como Sierra Madre del Sur se define a la estructura que se extiende en la porción sur de los estados de Jalisco y Colima, luego atraviesa Michoacán, Guerrero y Oaxaca; conforma el parteaguas de la vertiente del Golfo y Pacífico. Esta estructura está constituida por rocas volcánicas predominantemente, metamórficas y en menor grado ígneas plutónicas y sedimentarias.

Con base en los estudios de William Humprey (1956) se divide la Sierra Madre del Sur en tres partes:

- a) Cuenca Balsas-Mezcala
- b) Vertiente Sur
- c) Planicie Costera.

LOCALIZACION.- El sector de interés se ubica en la Vertiente Sur limitada ésta, al sur por la Planicie Costera, al norte por la meseta norte y la cuenca Balsas-Mezcala, así como a las entrantes sedimentarias correspondientes a la cuenca Morelos-Guerrero y a la cuenca de Tlaxiaco. Como su nombre lo indica, esta subprovincia de la Sierra Madre del Sur bordea a la parte continental de la República Mexicana por el S desde el meridiano 104° Latitud Norte a la altura de la ciudad de Colima en el estado del mismo nombre, y corre de NW a SE, en los estados de Colima, Michoacán y Guerrero hasta el meridiano 98° Latitud N y al E en el estado de Oaxaca, en donde está formada por varias sierras de diverso origen y composición.

#### 3.1.- HIDROGRAFIA

La red fluvial que es el resultado del relieve y dureza de la roca tiene un comportamiento paralelo a subparalelo



lo, y los ríos son rápidos y escabrosos con saltos de varios metros de altura, arrastran en su corriente material - de suspensión. Por saltación pequeños guijarros y enormes bloques corren por las grandes fallas y fracturamientos más antiguos. Estos factores como los grandes rápidos y los saltos indican la etapa de juventud de estos ríos y dan una idea de lo sinuoso de su relieve. Algunos ríos como El Chu cutitlán y El Chuta han erosionado el terreno apreciando desniveles de aproximadamente 600 m.

El río Chuta es el principal medio fluvial de la zona con cauce permanente y los demás arroyos como el Organal, Barranca Blanca y otros son de tipo torrencial sólo en épocas de lluvia. El río Chuta nace en las cercanías del poblado de Tumbiscatío y después de que se le unen diferentes -- arroyos a lo largo de 100 Km aproximadamente desemboca en el Océano Pacífico.

### 3.2.- GEOMORFOLOGIA

El paisaje del área muestra varias formas, entre las - que se tienen montañas (volcánicas), cerros (intrusivos graníticos), acantilados (producto de fallas y fracturas) y domos (producto de intrusivos).

En la evolución morfológica de la zona han intervenido procesos constructivos, endógenos, principalmente el volcánismo; así como procesos destructivos exógenos.

Los procesos construccionales son muy importantes por su influencia en la configuración del paisaje, ya que todas las montañas del área son de tipo ígneo ya sea exhalaciones volcánicas o intrusivos ácidos.

Las fallas y fracturas son abundantes en este lugar y dan como resultado escarpes y acantilados, abruptos, muy notorios en el paisaje.

lo, y los ríos son rápidos y escabrosos con saltos de varios metros de altura, arrastran en su corriente material de suspensión. Por saltación pequeños guijarros y enormes bloques corren por las grandes fallas y fracturamientos más antiguos. Estos factores como los grandes rápidos y los saltos indican la etapa de juventud de estos ríos y dan una idea de lo sinuoso de su relieve. Algunos ríos como El Chucutitlán y El Chuta han erosionado el terreno apreciando desniveles de aproximadamente 600 m.

El río Chuta es el principal medio fluvial de la zona con cauce permanente y los demás arroyos como el Organal, Barranca Blanca y otros son de tipo torrencial sólo en épocas de lluvia. El río Chuta nace en las cercanías del poblado de Tumbiscatío y después de que se le unen diferentes -- arroyos a lo largo de 100 Km aproximadamente desemboca en el Océano Pacífico.

### 3.2.- GEOMORFOLOGIA

El paisaje del área muestra varias formas, entre las que se tienen montañas (volcánicas), cerros (intrusivos graníticos), acantilados (producto de fallas y fracturas) y domos (producto de intrusivos).

En la evolución morfológica de la zona han intervenido procesos constructivos, endógenos, principalmente el vulcanismo; así como procesos destructivos exógenos.

Los procesos construccionales son muy importantes por su influencia en la configuración del paisaje, ya que todas las montañas del área son de tipo ígneo ya sea exhalaciones volcánicas o intrusivos ácidos.

Las fallas y fracturas son abundantes en este lugar y dan como resultado escarpes y acantilados, abruptos, muy notorios en el paisaje.

Los procesos destruccionales imprimieron sus características en el panorama, entre ellos destacan, por su fuerte impresión, la erosión por la acción del agua corriente, ocasionando la formación de carcavas en los depósitos suaves, como las tobas, que presentan profundas cañadas que se han formado a través de las fracturas y fallas de las rocas.

### 3.3.- OROGRAFIA

La conformación orográfica comprende la sierra de Ferrería con estribaciones en Cerro Blanco y Los Pozos como partes más altas, con altitudes de hasta 1 400 m sobre el nivel del mar y desniveles de cerca de 1 000 m. Esta orografía originada por procesos tectónicos ocasionados por la subducción de la Placa del Pacífico bajo la Placa Americana es resultado de los empujes de comprensión en las partes cercanas a la costa; la mayor parte del área se encuentra con una topografía muy abrupta, tal es el caso donde se encuentra emplazado el mineral, donde existen precipicios de hasta mil m de diferencia de altura. La orografía en sí la componen, sierra de Ferrería, Cerro Blanco, sierra de los Pozos, con pendientes muy fuertes.

**SEGUNDA PARTE****G E O L O G I A**

#### 4.- INTRODUCCION

En este trabajo se identificaron las rocas más antiguas, representadas por esquistos, pizarras, filitas y un intrusivo granodiorítico; posteriormente, se tiene la secuencia volcanosedimentaria, además remanentes de calizas - arrecifales que han sido afectados por un intrusivo granítico ocasionando metamorfismo de contacto en algunas zonas. - Se pueden citar también a los depósitos aluviales de menor importancia, que están confinados a pequeñas porciones del terreno, en los cauces del río y arroyos, así como a los depósitos de talud junto a las montañas.

Se establecerá una secuencia estratigráfica regional tentativa de las diversas unidades que afloran en una zona afectada por un fuerte tectonismo. Localmente es difícil establecer una secuencia, ya que los diferentes derrames -- del Paleozoico son demasiado irregulares; en ocasiones cuando su volumen es importante rodean derrames más antiguos y dan la impresión de que el más antiguo está sobre el más joven. La distribución horizontal de algunos derrames - es muy extensa, en otros lugares poseen una corta extensión. En fin, una serie de circunstancias que son características de los terrenos volcánicos hacen más complejo el problema de ordenar en el tiempo y espacio las diferentes rocas, a esto se añade el intrusivo granítico que las metamorfosea. Los terrenos cristalinos del sur de México se dividen en cuatro complejos con sus tentativas edades; Oaxaqueño del Paleozoico Medio, Acatlán del Paleozoico, Xolapa y tierra Caliente del Paleozoico sup. El área de los Pozos (fig. 2) se encuentra ubicada en la porción sur del complejo de Tierra Caliente el cual está expuesto en la parte oriental del estado de Michoacán, suroccidente del estado de México y norte del estado de Guerrero, su nombre se debe al clima extremoso imperante en la zona. Dicho complejo parece representar la parte supracortical de un arco magmático y

cuencas sedimentarias asociadas y desarrolladas en el margen convergente del pacífico, principalmente durante la era mesozoica del régimen tectónico cordillerano.

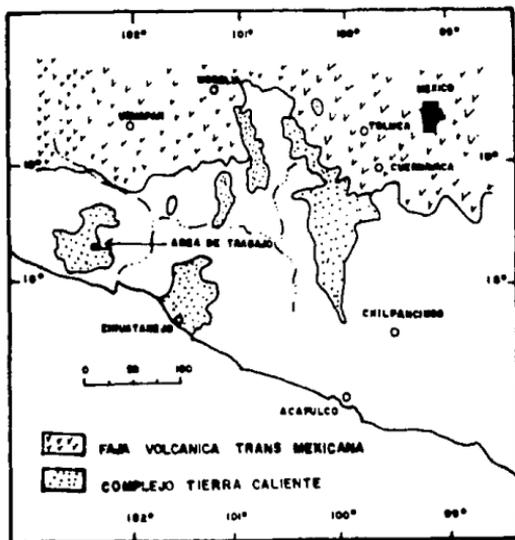
#### 4.1.- ESTRATIGRAFIA Y LITOLOGIA

Por correlación en los estudios hechos por Mújica M.R. (1984) del complejo metamórfico en la parte suroeste del estado de Michoacán; y el reconocimiento y verificación de datos en el campo se pudo obtener información geológica para establecer la columna estratigráfica (fig. 3), cuyas características litológicas se describen en seguida, y se aprecian con la secuencia litológica de la fig. (4), cartografiada en el plano escala 1:2 000.

#### 4.2.- COMPLEJO METAMORFICO (Triasico Jurásico)

Las rocas más antiguas y con mayor distribución regional corresponden al complejo metamórfico de Tierra Caliente que consiste de varias unidades de origen volcánico y sedimentario intercaladas que se encuentran al sur de la provincia fisiográfica Franja Volcánica Transmexicana. Según Ortega Gutiérrez (1981), estas rocas afloran alrededor y dentro del área de estudio, al sur de Cerro Blanco y al este del poblado de los Pozos. Consisten en esquistos de bitita (muestra B-1-2) que presentan las siguientes características: buena foliación, muy compactas de grano medio, la coloración es gris con ligera tendencia a verde claro al fresco y por el efecto del intemperismo adquiere una coloración parda y muy deleznable; en cuanto a la mineralogía se aprecia cuarzo, feldespatos; sulfuros como pirita, óxidos como magnetita y hematita.

En secciones delgadas (muestra B2.2) se observa una estructura lepidoblástica con matriz esquistosa constituida por cuarzo y feldespatos (ortoclasa-albita).



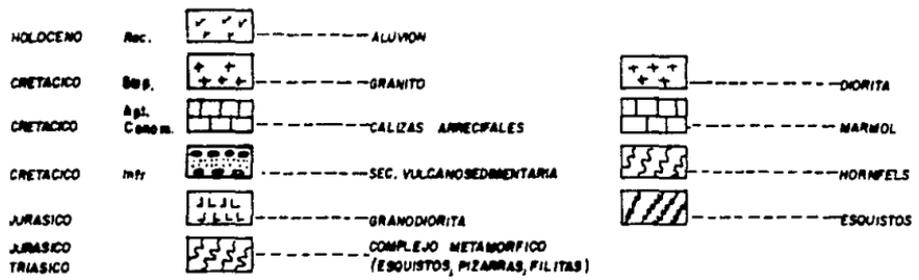
MAPA GEOLOGICO QUE MUESTRA LA UBICACION DEL AREA DE LOS POZOS DENTRO DEL COMPLEJO METAMORFICO DE TIERRA CALIENTE (MODIFICADO DE ORTEGA GUTIERREZ 1981).

HOLOCENO	Rec.		----- ALUVION
CRETACICO	Sup.		----- GRANITO
CRETACICO	Agd. C. med.		----- CALIZAS ARRECIFALES
CRETACICO	Inf.		----- SEC. VULCANOSEDIMENTARIA
JURASICO			----- GRANODIORITA
JURASICO TRIASICO			----- COMPLEJO METAMORFICO (ESQUISTOS, PIZARRAS, FILITAS)

	----- DIORITA
	----- MARMOL
	----- HORNFELS
	----- ESQUISTOS

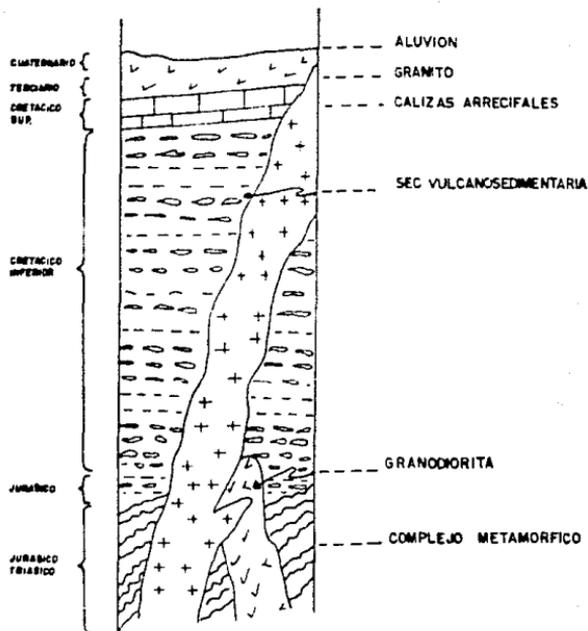
**COLUMNA ESTRATIGRAFICA  
A NIVEL REGIONAL**

**COLUMNA ESTRATIGRAFICA  
A NIVEL LOCAL DEL YACIMIENTO**



**COLUMNA ESTRATIGRAFICA  
A NIVEL REGIONAL**

**COLUMNA ESTRATIGRAFICA  
A NIVEL LOCAL DEL YACIMIENTO**



SECUENCIA LITOLÓGICA A NIVEL REGIONAL

En orden de abundancia se observan cuarzo, feldespatos (ortoclasa-albita), biotita-hornblenda-sericita-clorita como accesorios se tiene hematita-limonita, minerales arcillosos y magnetita.

De acuerdo a las características petrográficas y de campo, se infiere que las rocas originales pudieran haber sido areniscas cuarzo feldespáticas. Esquistos de sericita (muestra PO-6).

Estas rocas se presentan al sur de Cerro Blanco en aparente interdigitación con los esquistos de biotita y esquistos de clorita; presentan foliación subparalela a los esquistos de biotita. Son rocas muy compactas de grano fino a medio y de color gris claro a blanco.

El ataque del intemperismo les da tonos amarillentos a verdosos; megascópicamente se aprecian cuarzo, sericita y clorita dispuestos en bandas finamente onduladas y paralelas, además se aprecian sulfuros como piritita y pirrotita y óxidos de hierro como magnetita.

Descripción microscópica: se observa una estructura esquistosa, constituida por orden de abundancia, por cuarzo, feldespatos como minerales esenciales; mica blanca (sericita), hematita y minerales arcillosos como minerales secundarios y magnetita como accesorios.

La clase química correspondiente es pelítica y de facies de esquistos verdes.

#### ESQUISTOS DE CLORITA (PT-9-B)

Se encuentran distribuidos en la parte norte de Barranca Blanca y al norte también del caserío de Rancho Viejo; - estas rocas están aparentemente en concordancia con los es

quistos de sericita y biotita, en ocasiones ocurren en discordancia con depósitos de talud modernos y existe interdigitación con algunos horizontes de pizarras grafiticas, esto es hacia el oriente de Rancho Viejo, en muestra de mano se aprecia una buena foliación; su coloración es de gris a verde por la abundancia de clorita. En los bandeamientos se aprecian porfidoblastos amarillentos y plagioclasas. El ataque del intemperismo lo hace deleznable de color blanco marfil o aperlado, en lámina delgada se observa una textura esquistosa perfectamente desarrollada con cuarzo y clorita en los bandeamientos, aparecen biotita, sericita y hematita, su clase química es cuarzo-feldespática, se interpreta que el protolito de los esquistos de clorita pudo haber sido -- una roca de origen volcánica tal vez piroclástica.

Las rocas pertenecen al dominio del depósito eugeosin clinal y muestran en general un metamorfismo de bajo grado equivalente a las facies de esquistos verdes. Las unidades de origen sedimentario están formadas por metapelitas, esquistos sericiticos, pizarras grafiticas y esquistos cuarzo feldespático de biotita. Las unidades de origen volcánico -- están constituidas por metalavas, metaaglomerados y meta grauvacas.

En cuanto a la edad no está claramente definida; se han determinado fechas radiométricas por Potasio-Argón. -- "Las edades para rocas afectadas por metamorfismo regional varían de Jurásico-Cretácico temprano", Mújica M.R. (1980). Mientras por otro lado se han realizado estudios geológicos donde se define una secuencia volcanosedimentaria metamorfoseada cuya edad de sedimentación fue asignada al Triásico con base en el análisis de los radiolarios; también mediante el método de K-Ar se determinó una edad Jurásico Temprano y Medio (190-187-m.a.) que indican probablemente la edad del metamorfismo que las afectó (Grajales N.J.M. y López I. M., 1984). Por otro lado, "El hallazgo de amonites dentro

de la secuencia volcánica de Ixtapan de la sal en el estado de México y su correlación con el esquisto taxco y la roca verde de Taxco Viejo", lleva a Campa Uranga y colaboradores (1974) a asignar a toda la secuencia una edad de Jurásico-Cretácico. Ortega Gutiérrez (1981), concluye, a partir de los datos mencionados, que el complejo Tierra Caliente representa un terreno orogénico compuesto cuya evolución se inició, probablemente en la mitad superior del Paleozoico y continuó hasta el Cretácico.

#### 4.3.- GRANODIORITA (Jurásico Superior)

Su distribución se extiende hacia el suroeste del área de estudio en forma de franja con orientación este-oeste. Sus afloramientos se localizan en las márgenes del río Chuta y se extiende por toda su longitud hasta el lugar en que éste da vuelta abruptamente hacia el norte en dirección hacia el Ahijadero.

La porción expuesta del intrusivo presenta la forma general de un cuerpo alargado, y muy irregular, que tiene un ancho medio de 150 m y una longitud de 400 m. De todas las rocas plutónicas, ésta es la única que se encuentra deformada; por otra parte, sus afloramientos son muy pobres y solamente en el lecho del río Chuta se puede observar verdaderamente fresca y con buenas exposiciones. Los contactos están cubiertos por detritos, en su mayor parte, motivo por el cual no fue posible discernir su actitud; en los pocos lugares en que fueron observados se nota que son gradacionales, pasan paulatinamente a una diorita. Megascópicamente esta roca es en su mayoría equigranular su grado de cristalización es holocristalina y de textura hipidiomórfica. Las plagioclasas se presentan siempre en marcado exceso sobre los feldespatos potásicos, su coloración es verde oscuro y el intemperismo la torna gris verdosa, su estructura es muy compacta. En lámina delgada (muestra JL-1) se aprecia que

las plagioclasas están representadas principalmente por oligoclasa y andesina; las primeras mucho más abundantes que las segundas y juntas forma aproximadamente un 30% de la roca.

Los componentes minerales presentan comunmente bandeamientos zonales. Se observa que los feldespatos se encuentran opacos o nebulosos esto es quizá debido a que se han alterado a caolín o quizá a pequeñas laminillas de sericita.

El cuarzo se encuentra como relleno intersticial en los feldespatos y ferromagnesianos y se presume que fue el último en cristalizar. El ferromagnesiano más prominente es la biotita de color verde fuertemente pleocroica; en casi todos los casos se observa que fue rodeada por los feldespatos y cuarzo por lo cual se infiere su primera cristalización. Los minerales esenciales son cuarzo, oligoclasa-andesina y microlina; con respecto a los accesorios, se tiene biotita, hornblenda y magnetita; los correspondientes a los secundarios se tiene clorita, calcita, sericita, hematita y minerales arcillosos. De los diversos trabajos geológicos - que se han realizado, se le correlaciona con el tronco granodiorítico de dos micas de Tumbiscatío del Jurásico Superior-Cretácico Inferior (155 a 133 m.a.) (Grajales N.J. M., 1984) fechado por el método de K-Ar. En cuanto a las rocas intrusivas, éstas se manifiestan como troncos complejos que posiblemente conforman un cuerpo de dimensiones batolíticas de composición variable: granito, tonalita, diorita, granodiorita y monzonita.

Por el método K-Ar, se obtuvo la fecha de edad de dos muestras de tonalita de hornblenda. La primera con localización en el río Mexcalhuacán reportó edades de  $118 \pm 9$  (hornblenda) y de  $56 \pm 5$  m.a. (plagioclasas); la diferencia en edad se asocia a un recalentamiento por intrusiones en el

Paleozoico Tardío (Castro M.F.R., 1980). Se concluye que estos datos confirman lo expuesto por Ortega-Gutiérrez (op. cit.)

#### 4.4.- SECUENCIA VOLCANOSEDIMENTARIA (Cretácico Inferior)

Estas rocas se encuentran al sur del área de estudio y cercanas a la costa, en la parte alta del rancho de la Ceiba. Estos afloramientos son más extensos al sur de Aguillilla y oeste de Coalcomán. En general la secuencia está constituida por lutitas gráficas en Zapotillos, tobas al este de El Ahijadero, derrames andesíticos al oeste del Plan de Armas, aglomerados y lechos rojos a 40 Km de Playa Azul-Cuayame. Las lutitas son de color oscuro y se presentan en laminillas de 2 a 3 mm se encuentran plegadas, el tipo de grano es fino, la coloración al fresco es negra y al intemperismo es gris oscuro. Las tobas se aprecian en capas bien definidas, su textura es arenosa, la coloración es pardo-amarillenta, se encuentran bien compactadas, no se apreció la composición mineralógica. Los derrames andesíticos son por lo general, de extensión corta, muy compactos se puede apreciar fenocristales de epidota y clorita. Los aglomerados contienen piroclastos redondeados y compactados en una matriz tobácea de color pardo-verdosa y los tamaños de los clastos van desde lapillis a bombas. Lechos Rojos.- Están constituidos por areniscas y areniscas conglomeráticas de color rojo con intercalaciones de material tobáceo color rojizo. Por sus características litológicas parecen corresponder a un ambiente litoral y marino somero con condiciones de circulación restringida depositadas durante una etapa de actividad volcánica, lo cual es manifiesto por las tobas y derrames andesíticos. En cuanto a la edad, Ferrusquía Et al (1978), reportan huellas de dinosaurio en afloramientos a la altura del Km 29 entre Playa Azul y Coayame al oeste de Playa Azul. Con base en estas impresiones el autor consideró a la unidad litoestratigráfica como del Jurásico

## Tardío y Cretácico Temprano.

Esta posee las mismas características que la formación Tecatitlán que consiste en una secuencia de tobas, areniscas y aglomerados con derrames andesíticos e intercalaciones esporádicas de tobas, limolitas y lutitas (Rodríguez 1980, Aguayo C.J. 1983) a esta formación se le asigna una edad Barremiano-Aptiano. Castro Moreno con base en micro y macro fauna data a esta secuencia como de edad Aptiana Cenomaniana en sus partes estratigráficas más altas por posición estratigráfica, su base se le correlaciona con la -- Formación Tecatitlán de edad Barremiense y por K-Ar a esta secuencia volcano-sedimentaria se le considera de edad Cretácico Inferior.

### 4.5.- CALIZAS.- Cretácico (Aptiano-Albiano-Cenomaniano)

Estas rocas afloran en la parte oeste de El Ahijadero y al norte de Playa Azul, su porción expuesta se localiza en la parte media de los cerros El Mirador y el Cacao; su extensión se encuentra en forma irregular, su ancho aproximadamente de 400 m y su longitud de 2 Km, esto es en las cercanías del área de estudio, no fue posible medir su espesor. Estas rocas litológicamente están constituidas por calizas con rudistas, algas, microfauna bentónica y corales.

Estas calizas son de color gris claro, en algunas partes se aprecian fósiles como rudistas y microfauna. Estos organismos se encuentran incrustados y constituyen la estructura de la roca. La matriz es cristalina, presenta oquedades y huellas de disolución en forma de estrías. Posiblemente se forman en regiones de alta energía, donde abunda el oxígeno y la profundidad del agua no es muy grande; puede estar formada por algas estromatopóridos, corales, colonias de rudistas y otros tipos de fósiles que poseen estas condiciones de vida.

La estratificación que presentan es debido a condiciones de profundidad y temperatura, así como otros parámetros; estos indican zonas tectónicamente estables, también indican un hundimiento muy lento del piso oceánico y dan tiempo a la acumulación de organismos y la precipitación de elementos favorables para su formación. En cuanto a la edad, esta unidad litológica posee las características que corresponden a la Formación Tepalcatepec, que consiste de calizas con rudistas y microfauna de aguas someras alternando con capas gruesas de tobas andesíticas y brechas volcánicas -- (Cuevas 1981), se le asigna una edad desde el Aptiano Superior en Tepalcatepec, hasta el Albiano-Cenomaniano en Ju chitlán en el pozo de exploración Jalisco (Ponce de León - 1983, en Aguayo C.E.J.).

#### 4.6.- GRANITO (Cretácico Superior)

Estas rocas afloran en las inmediaciones del poblado de Arteaga, en forma alargada, sus dimensiones son de aproximadamente 60 Km de largo por 25 Km de ancho con variaciones, pues en algunas partes se angosta, de todos los intrusivos plutónicos ésta es la que se encuentra más fresca y con mayor extensión; megascópicamente se aprecia su textura fanerítica, muy compacta y de coloración verde claro, se puede observar abundancia de feldespatos en toda la roca. - En lámina delgada (muestra Li-24) exhibe textura holocristalina-hipidiomórfica; su composición mineralógica por orden de abundancia se compone de un 30% de cuarzo, 50% de feldespatos potásico representado por microlina, un 15% de plagioclasas sódicas representadas por albita. Además se observan minerales accesorios como hornblenda-titanita-diopsida; en los secundarios se tiene epidota, sericita, clorita-hematita limolita y minerales arcillosos.

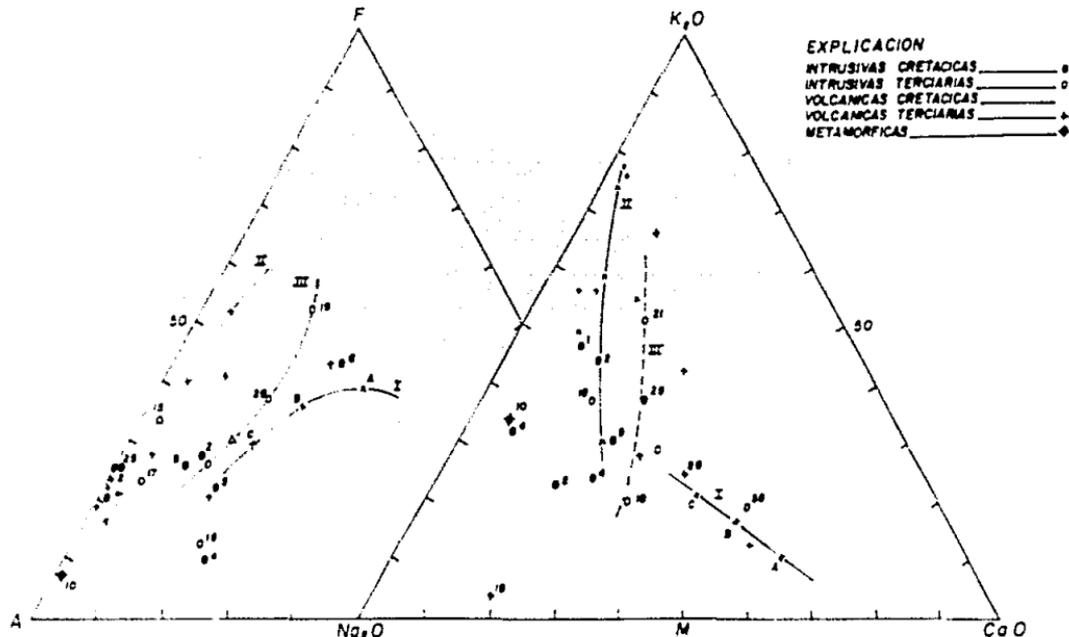
Con respecto a la edad. Pantoja Alor (1983) analizó 36 edades isotópicas de intrusivos terciarios al que pertenece

este granito, de los cuales 15 se obtuvieron por el método Pb/Alfa y 21 por el método K-Ar. Las determinaciones isotópicas abarcan desde los 100 m.a. (Cenomaniano-Temprano) hasta los 26 m.a. (Oligoceno-Tardío), aunque el magmatismo probablemente se inició en el Jurásico Tardío. Estas dataciones abarcan Jalisco, Guerrero y Michoacán. Grajales N.J.M. y López I.M. asignan al tronco granodiorítico de Arteaga de 92 a 44 m.a. del Cenomaniano al Eoceno; a Maruata-Punta San Telmo de 55 a 30 m.a. Eoceno; a Jilotlán 38 m.a. Eoceno Superior y de Uruapan de 34 m.a. Oligoceno Inferior.

Pantoja Alor (1983), llevo a cabo análisis de 8 muestras de rocas ígneas colectadas en la Cuenca del Balsas para determinar sus parámetros geoquímicos. Los resultados de estos análisis indican una composición intermedia con un contenido normal a alto de andesitas a dacitas. El diagrama A.F.M. de la fig. (5) acusa una amplia dispersión de los nuevos análisis químicos de los granitoides cretácicos de la franja batolítica costera con una marcada localización hacia el polo A, alejamiento del M y muy poco o nulo enriquecimiento en Fe.

Para conocer el grado de alcalinidad de las rocas de la Sierra Madre del Sur se elaboró el diagrama  $Na_2O + K_2O / S_1 O_2$  (según Schwrser y Roger 1974) de la figura (6). De su observación se deduce que el magmatismo cretácico terciario tiene carácter calcoalcalino, con excepción de dos rocas intrusivas cretácicas y una volcánica terciaria que se agrupan dentro de las series subalcalinas, y dos volcánicas terciarias y una intrusiva cretácica que se agrupan en el campo de las series moderadamente alcalinas.

En el diagrama de alcalinidad  $CaO/Na_2O+K_2O$  de la fig. (7) se observa que la mayoría de las rocas del magmatismo cretácico-terciario se agrupan dentro de un cortejo calcoalcalino.



DIAGRAMAS AFM y Na-O-K-O-C-O DE ALGUNAS ROCAS CRETACIAS Y TERCARIAS DE LA SIERRA MADRE DE SUR  
 I.- Línea de evolución de las andesitas calcialcalinas del Eje Neovolcánico (en Demant 1975, Tabla X, p. 25)  
 II.- Línea de evolución de las ignimbritas oligocénicas de la Sierra Madre Occidental (Najera) (Nieto del Ol. 1980, Fig 2, p. 34)  
 III.- Línea de evolución de las intrusivas granodioríticas de la Sierra Madre del Sur (Pantoja 1983)

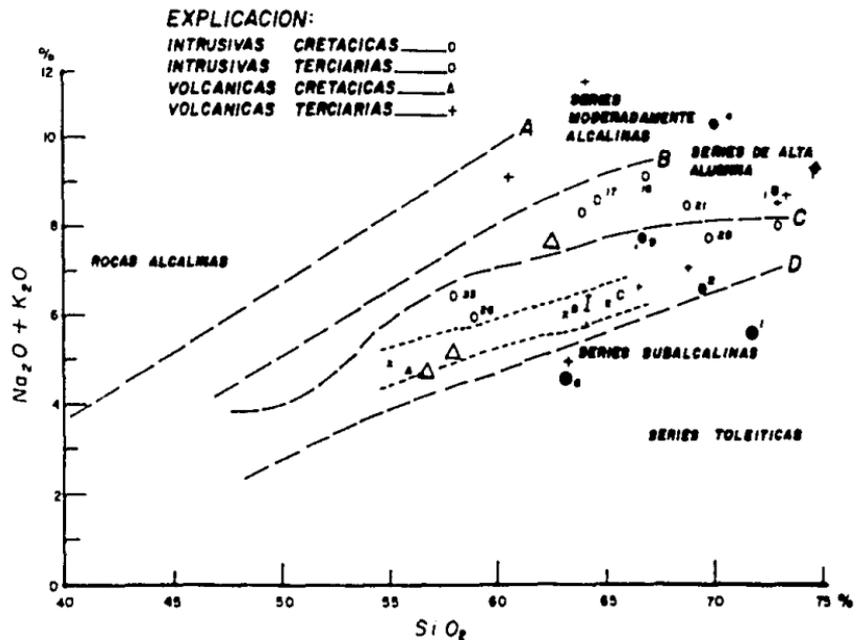


Figura 6. DIAGRAMA DE ALCALINIDAD  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$  DE ALGUNAS ROCAS CRETACICAS TERCIARIAS DE LA SIERRA MADRE DEL SUR  
 I- DOMBIO DE LAS ANDESITAS CALCICALINAS DEL EJE NEOVOLCANICO  
 (DEBANT, A., 1975, TABLA X, p 29)

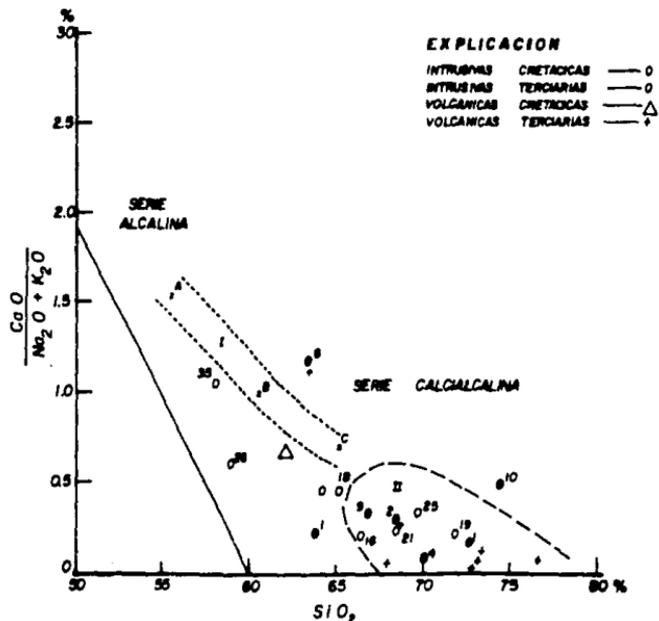


Figura 7. **DIAGRAMA 6 DE ALCALINIDAD  $CaO/MgO + K_2O$  DE ALGUNAS ROCAS CRETACICAS Y TERCARIAS DE LA SIERRA MADRE DEL SUR**

I: Dominio de las andesitas bajas en sílice (A), de las andesitas normativas (B) y de las andesitas del eje Neovolcánico (C)

II: Dominio de las ignimbritas oligocénicas de la Sierra Madre Occidental (Report)

El patrón enmarcado (dominio II) para el cortejo calco alcalino de las ignimbritas de la Sierra Madre Occidental (Nieto Et al, 1981) se encuentra nuevamente una cierta dispersión de algunas rocas intrusivas cretácicas terciarias.

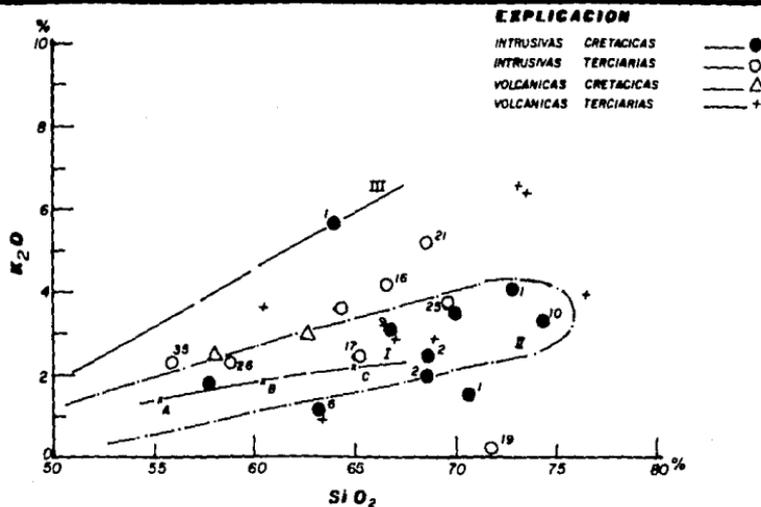
Lo mismo sucede al observar en el diagrama  $K_2O/S_1O_2$  - de la fig.(8), en donde casi todas las rocas intrusivas cretácicas se agrupan dentro del área del dominio de las series calcoalcalinas del arco magmático insular (Gill, 1970). H.J. Tobschall Et al (1986), colectaron 116 muestras de 13 complejos volcánicos y granitos batólicos entre Puerto Vallarta y Acapulco con base en iones litófilos y elementos traza de alto campo de intensidad definieron con diagramas A.F.M. que las rocas calcoalcalinas corresponden al granito tipo I esto es en rocas cretácicas-terciarias. Ishihara -- (1977) en J.R. Fankhurst (1979) define los granitos tipo I y tipos S, (tabla I). Se concluye que el granito pertenece al cortejo calcoalcalino y de composición dacítica a andesítica por los trabajos antes mencionados y relacionando los intrusivos graníticos de las costas de Jalisco hasta Guerrero se observa que son comparables al Arco Volcánico Granítico de Chile fig. (9).

En la fig. (10) se "muestran las relaciones iniciales- de  $Sr^{87}/Sr^{86}$  iguales o menores de 0.703 y suponen que los magmas generadores de estas rocas tienen origen en el manto profundo con poca o nula contaminación cortical", Pantoja Alor (1983).

#### 4.7.- DEPOSITOS RECIENTES

El río Chuta forma pequeñas terrazas desde incipientes hasta bien desarrolladas en toda su extensión.

Las alturas de estas terrazas aumentan a medida en que se baja topográficamente hasta llegar a casi 4 m sobre el



**Figura-8** DIAGRAMA  $K_2O/SiO_2$  DE ALGUNAS ROCAS CRETACICAS Y TERCARIAS DE LA SIERRA MADRE DEL SUR.

**I**: Línea de evolución de las andesitas del Eje Neovolcánica (Demant, A., 1975).

**II**: Línea que delimita el dominio de la serie calcálcica de Arco Insular (Bill, J.B., 1970).

**III**: Línea que corresponde a las series alcalinas intracálcicas de Hawaii (Mac Donald G., Katzura, T., 1964).

PANTOJA (1983)

Tabla (1) rasgos característicos de los granitos tipo I y granitos tipo S propuesta por Ishihara 1977.

Tipo I ó Series graníticas magmaticas	Tipo S ó Series graníticas de I
Control de la acidez y un amplio espectro de ácido a básico. Alto contenido de sodio.	Contenido único de composición <u>ácida</u> , relativamente bajo contenido de sodio. 3.2a Na <sub>2</sub> y aprox. 5% K <sub>2</sub> O.
Relación inicial baja de Sr <sup>87</sup> /Sr <sup>86</sup> c.708.	Una inicial proporción alta de Sr <sup>87</sup> /Sr <sup>86</sup> c. 708
Rango normal de <sup>18</sup> O valor aproximado a 10% SMOW.	Enriquecimiento en <sup>18</sup> O C <sup>18</sup> . valores mayores de 10% SMOW
Magmas con alta fugacidad de oxígeno.	Magmas con baja fugacidad de oxígeno.
Alta proporción de férricos y ferrosos caracterizada por el contenido de magnetita, hornblenda y esfena comúnmente presentes.	Baja proporción de férricos y ferrosos caracterizada por limonita, muscovita, monacita y cordierita son comúnmente presentes.
Estas rocas son características de márgenes continentales, principalmente granito, granodiorita, tonalita y cuarzomonzonita.	Estas rocas son características de placas estables - lejanas a las márgenes continentales.

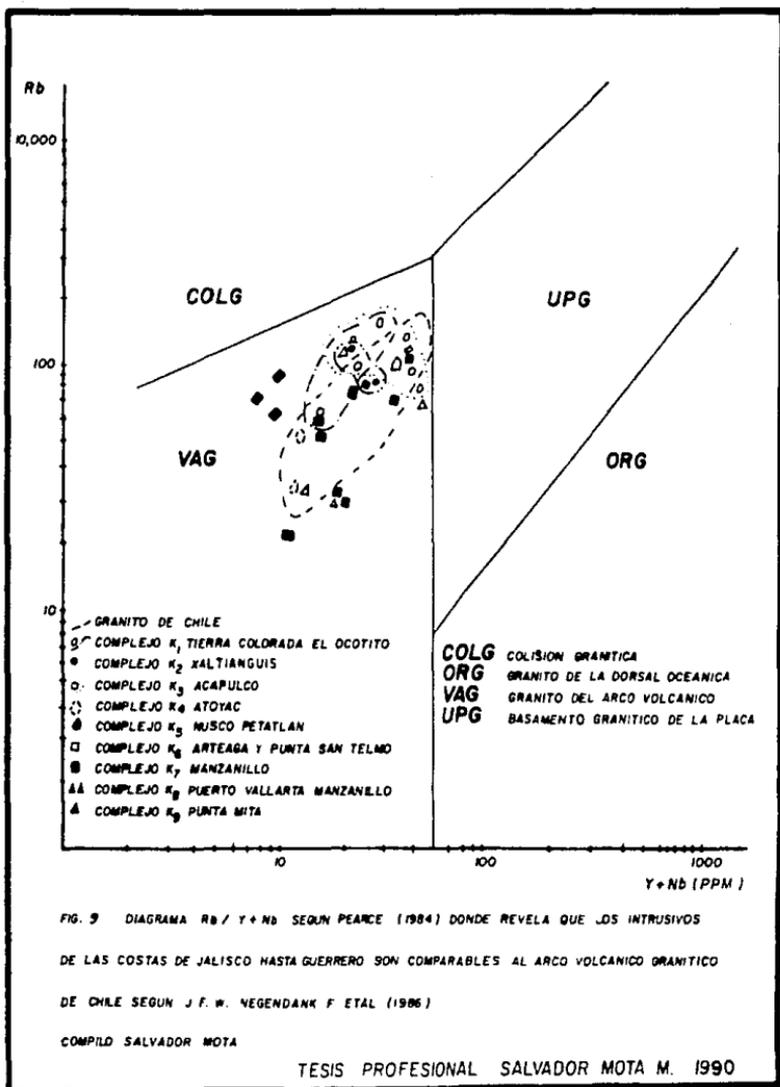


FIG. 9 DIAGRAMA Rb / Y+Nb SEGUN PEARCE (1984) DONDE REVELA QUE LOS INTRUSIVOS DE LAS COSTAS DE JALISCO HASTA GUERRERO SON COMPARABLES AL ARCO VOLCANICO GRANITICO DE CHILE SEGUN J. F. W. WEGENDANK F ETAL (1986)

COMPILÓ SALVADOR MOTA

TESIS PROFESIONAL SALVADOR MOTA M. 1990

actual lecho.

Estan constituidas por una capa de material de color amarillo y están pobrementemente consolidados y conformadas por guijas y arena de rocas variadas, tales como ígneas que son redondeadas y rocas metamórficas que son fragmentos más angulosos. Es notoria la falta o pequeña cantidad de fragmentos de caliza aunque es probable que ocurran algunos pero no fue posible identificarlos.

TERRENO DE JALISCO-COLIMA-MICHOACA-GUERRERO

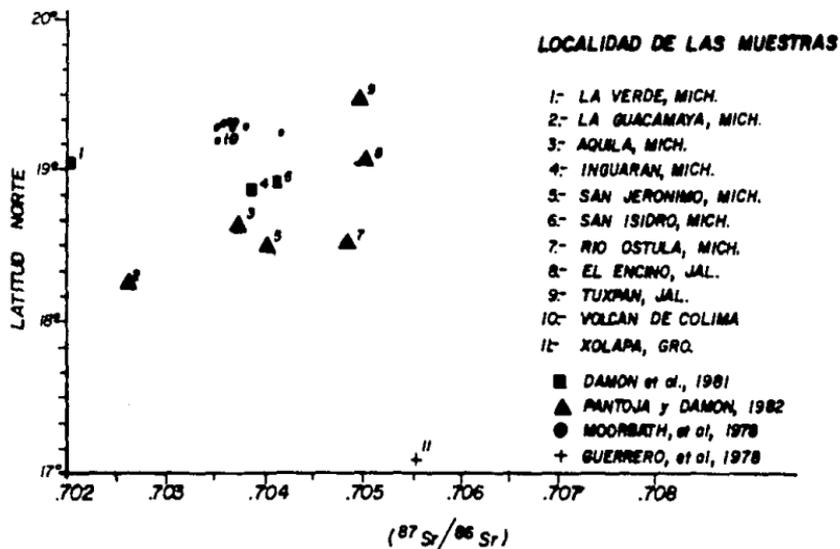


Figura - 10 RELACIONES ISOTOPICAS DE ESTRONCIO RADIOGENICO DE ROCAS DE LA SIERRA MADRE DEL SUR

## 5.- TECTONICA Y ESTRUCTURAS

México se encuentra enmarcado entre los límites de varias placas (fig. 11). La primera es la placa Norteamericana, que al sur está limitada por la fosa Mesoamericana o la fosa de Acapulco, que corresponde a la zona de subducción.- Al oeste se tiene una zona de fallas de desplazamiento lateral que se conoce en Guatemala como fallas Polochic-Motagua, que se prolongan hasta la fosa Caimán o de Bartieu y este sistema de fallas atraviesa la fosa de Puerto Rico y llega a la fosa de Pequeñas Antillas; éste es el límite sur de la Placa Norteamericana.

Al sur se tiene la Placa de Cocos, está limitada al oeste por la cresta del Pacífico o Est Pacífico Ridge, al -- sur por el rift de las Galápagos y al noroeste por la fosa Mesoamericana. Al sur del rift de las Galápagos, hay otra - placa oceánica que es la Placa de Nasca. Existe una zona de subducción en la costa de Chile y Perú que pone en contacto la Placa Nasca y la Placa Sudamericana. La Placa del Caribe que está limitada por dos zonas de subducción opuestas a la fosa de las pequeñas Antillas. La fosa Mesoamericana, al norte está limitada por un sistema de fallas sinistral y por otro de fallas dextrales. En la figura (12) se aprecia la dirección de las placas según Uyeda, S. (1980).

Evolución tectónica.- Con base en la información de datos paleomagnéticos se ha podido reconstruir la paleogeografía y así probar la movilidad de los continentes propuestos por Wegener (1920) en Uyeda (1980), quien suponía que antño los continentes actuales formaban un protocontinente, -- llamado Pangea esto es al final del Carbonífero.

Se ha inferido que la separación de los continentes a partir de la ruptura de la Pangea, tuvo como mecanismo geodinámico la expansión oceánica expresada en la teoría de la

Fig-11

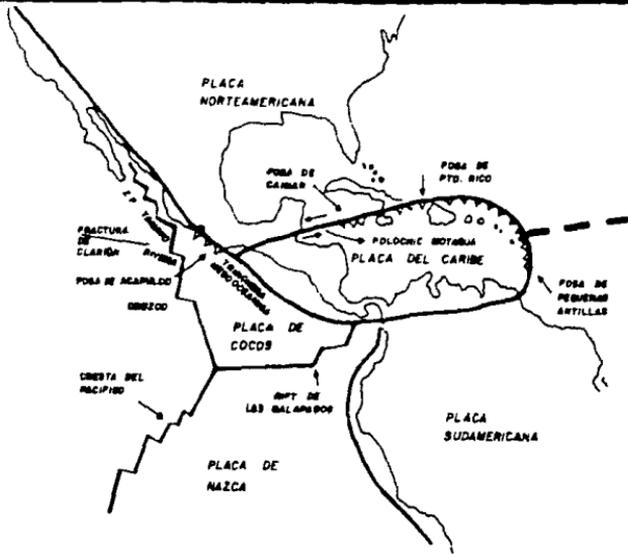


Fig-12



Tectónica de Placas (Tectónica Global). Así América del norte y Africa se alejan por la acción y desarrollo de una zona de acreación (rift), que genera nuevo piso oceánico y ocasiona la formación del Océano Atlántico. En cada margen continental se desarrolla un sistema geosinclinal sobre la plataforma continental y un dominio eugeosinclinal sobre el piso oceánico desde el Precámbrico Superior al Paleozoico Superior. Este océano tiende a cerrarse hacia fines del Paleozoico Superior: se genera una zona de subducción con margen continental de América del Norte (Laurasia) y la placa oceánica que arrastra al continente Africano (Gondwana). Se produce una tectogénesis sobre la cobertura marina y su posterior deformación orogénica Ouachita, por la colisión de Africa con Norteamérica. La cordillera Apalachiana es intrusionada y metamorfoseada durante el ciclo orogénico -- Herciniano entre el Carbonífero y el Pérmico. La orogénesis soldaría a Laurasia y Gondwana en un supercontinente La Pangea, hace cerca de 200 m.a. (Dietz, 1972) fig. (13).

Durante el Triásico la cordillera Apalachiana presenta una típica fisonomía intracratónica de bloques levantados y cuenca de los antiguos terrenos del ciclo orogénico caledoniano (Paleozoico Inferior). La margen occidental de México ha sido activa a partir de este período (Fries 1962; De Serna Et al 1978; Mújica 1980 y otros).

Al final del Triásico-Jurásico Inferior y Medio, suceden cambios importantes en el régimen de placas adyacentes en la faja orogénica Apalachiana. Se inician rifts continentales con generación de suelo oceánico y se produce la ruptura de la Pangea. En la margen continental del Pacífico se inicia la subducción circumpacífica. Mientras que en la cordillera Apalachiana se produce ruptura, se abre el Atlántico Central por un sistema de rift y fallas transformes de pendientes del dominio Caribe (Coney, 1978, en Dickinson, - 1981).

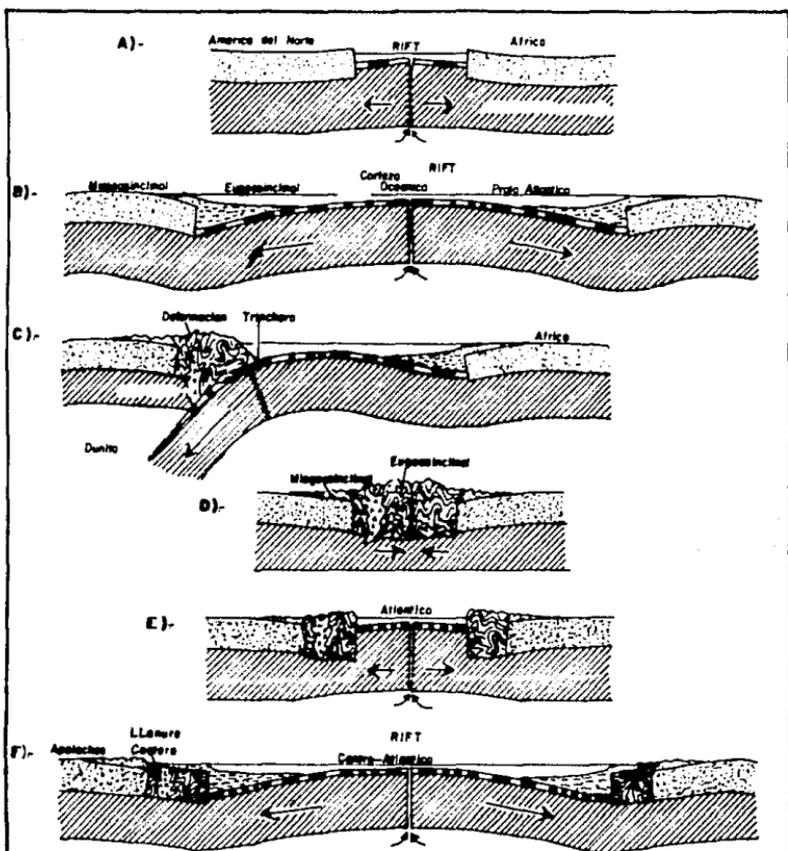


Fig. (13) Mecanismo de la deformación de zona orogénica Apalachiana a partir de la concepción de la tectónica global.

- A)- Separación de América del Norte y África por la expansión oceánica.  
 B)- Formación del ancestral océano Atlántico, formándose en cada margen continental un sistema Geosinclinal.  
 C)- Generación de una subducción entre la placa oceánica Africana y la placa continental Norte-Americana.  
 D)- Colisión de África y Norte-América formando la cordillera orogénica Ouachita.  
 E)- Separación de la placa Africana y Norte-Americana hace 180 m a.  
 F)- Formación del océano Atlántico.

En la parte occidental de México se genera una actividad magmática y metamórfica que constituye el basamento de la provincia tectónica de Michoacán, Guerrero, Colima y Jalisco. De acuerdo a los datos aportados por geofísica, este basamento tiende a profundizarse hacia el NE y está sepultado por una secuencia volcanosedimentaria constituida por derrames andesíticos, tobas, aglomerados, calizas y lutitas - interestratificadas y con cambios de facies laterales, consecuencia del continuo hundimiento de las fosas Colima-Jalisco a partir del Mesozoico hasta el Reciente y en continua colisión, en un principio con la placa Farallón y posteriormente con la de Cocos en el Océano Pacífico.

En este período parece ser que se estableció un arco magmático a lo largo de toda la cordillera sur, lo cual es sugerido por la siguiente secuencia de eventos:

- 1.- El emplazamiento de un batolito durante el Pérmico de tipo Andino en Nevada.
- 2.- El desierto de Mojave en el Triásico Medio.
- 3.- La extensión de este arco volcánico a lo largo de la Cordillera Sur durante el Jurásico Medio.
- 4.- Abertura del Golfo de México en el Jurásico Medio. (Damon P. Et al 1981, fig. 15).

Durante el Jurásico Superior-Cretácico Inferior se inicia la gran transgresión marina de origen tethisiano en la parte occidental de México; la placa Farallón (fig. -14) continúa una subducción (Coney et al); debido a que la dirección de movimiento es transversal a la margen continental, se producen esfuerzos distensivos y se forma una fosa en el borde del continental, en la que se depositan los sedimentos de este período, constituidos por arcillas, cali-

zas arcillosas intercaladas con rocas volcánicas andesíticas. El ambiente sedimentario se localizó entre la zona litoral y marina somera, ya que hay evidencias de rudistas y gasterópodos. Estos bancos calcáreos están intercalados con tobas y derrames andesíticos, en las cercanías de Apatzingán y la Garita Edo. de Jalisco.

A finales del Cretácico Inferior se interpreta una ligera subsidencia del área, ya que la secuencia estratigráfica del Neocomiano tiende a ser continental-litoral y de plataforma marina somera, en la parte central de Colima. Durante el Barremiano y el Aptiano el ambiente fue marino -- hacia el occidente de Michoacán y límites con Colima en el que se desarrollaron bancos calcáreos hacia el actual intruivo de Arteaga; cambia a facies someras de posible origen paludal y litoral hacia Coalcomán, Michoacán. Esta subsidencia persiste durante el Albiano y el Cenomaniano causada por los esfuerzos de tensión que afectaron el área, lo cual se refleja en la secuencia sedimentaria que tiende a ser aún más calcárea que las subyacentes; no obstante, persisten los cambios laterales a facies más terrígenas. La actividad ígnea aparentemente era mayor hacia el norte del área y disminuyó notablemente hacia la actual costa del Pacífico en donde las calizas contienen algunos horizontes tobáceos.

Lo anterior, sugiere la presencia de un arco magmático de edad cretácica temprana cuyo límite superior posiblemente alcance el inicio del Cretácico Tardío y el eje de mayor actividad se localiza entre los 100 y 150 Km de la actual línea de costa lo que hoy constituye el núcleo de la Sierra Madre del Sur (Damon P. Et al, 1981). Diag. (2).

A partir del Cretácico Tardío y durante el Terciario Temprano, el dominio comprendido por Michoacán, Guerrero, Colima y Jalisco estuvo sujeto a un proceso de emersión continua, debido a que la margen occidental de la placa Norte

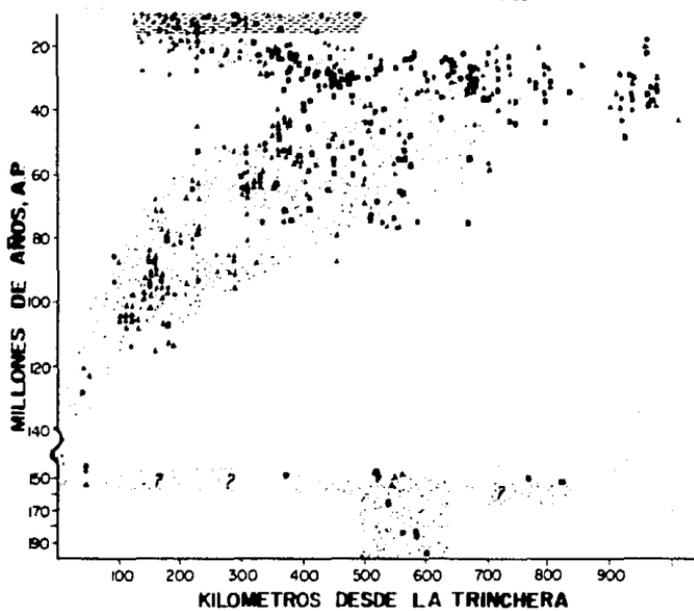


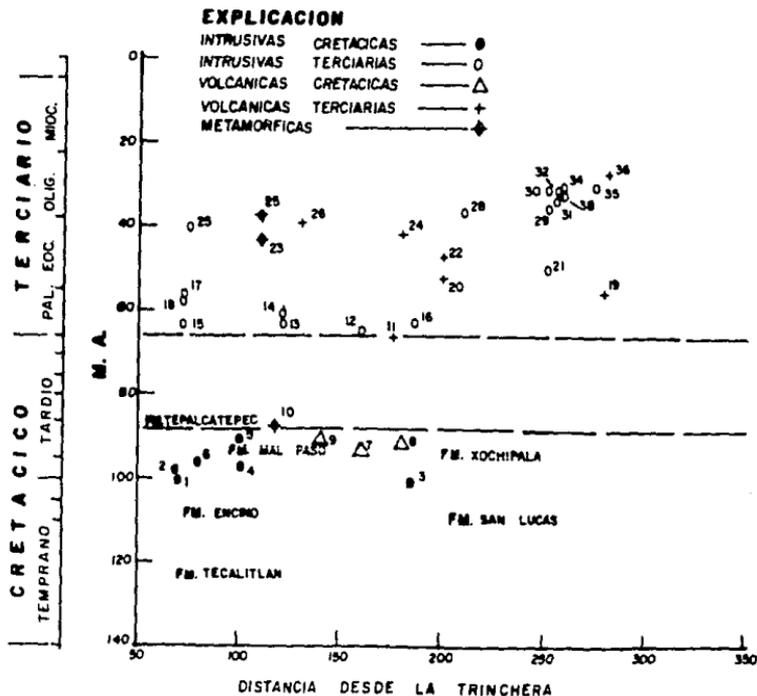
Diagrama que muestra la migración de los arcos magmáticos en el norte de México desde el Triásico. Las rocas del arco magmático del Jurásico Temprano se encuentran en el interior de México. Aparentemente, el arco magmático del Jurásico Temprano migra lentamente por varios cientos de kilómetros. En el Jurásico Tardío-Cretácico Temprano, el arco magmático se encontraba cerca de la margen convergente, migrando lentamente al oriente, hasta haberse hacia 80 ma, incrementando la migración hasta alcanzar una distancia de 1000 km, desde la paleotrinchera. En el Oligoceno y Mioceno Temprano el arco regresó a la costa. Esta regresión fue seguida por extrusión y por extrusión de lavas basálticas primarias a lo largo de toda la cordillera sur Cuadrados, triángulos y círculos están referidos a rocas de composición sílica intermedia y basáltica respectivamente. El área referida para el post-Jurásico encierra el 95% de los datos. Note el cambio de la composición en el magmatismo durante la migración de los arcos magmáticos, el que es cataclítico cerca de la costa y alcalino entre 700 y 1000 km, dentro del continente. Se necesitan más estudios para demostrar si el cambio en composición a 57.5% SiO<sub>2</sub> es gradacional o cortejos aislados como se muestra en la figura 8. Modificado de Clark y colaboradores (1979) y de datos de la figura 5.

americana empezó a cabalgar sobre la dorsal del Pacífico - oriental, por lo que la placa Farallón fue casi totalmente consumida y sólo una porción de ésta, en México, continúa en subducción, conformando la actual placa de Cocos; como consecuencia de este proceso tectónico los estratos se plegaron y fallaron. Hace 90 m.a. México estuvo bordeado por un arco tipo Andino, lo que evitó que al menos una tercera parte de Norteamérica fuese inundada por mares epicontinentales (Damon y Mauger, 1966 en Damon, 1981), fig. (15).

El período que comprende del Cretácico al Terciario se interpreta a partir de los datos de la tabla 3, en donde se puede observar que disminuye la actividad magmática al relacionar las edades isotópicas con las distancias de su ubicación desde la actual trinchera Mesoamericana; resalta además la carencia de eventos magmáticos a todo lo largo de la gráfica sobre una franja cuyo límite inferior se marca a los 89 m.a. y el límite superior a los 66 m.a. (Pantoja -- 1983). Para explicar el hiatus se cree que la cuña de subducción tiende a ser horizontal hasta el punto en que el magmatismo de la zona de Benioff cesa y queda bloqueado --- (Keith 1978, en Pantoja, 1983).

En el Terciario y durante el Cuaternario esta región se colapsó hacia el interior del continente, en bloques formados por pilares y fosas. Estos movimientos tectónicos, de levantamiento regional y de dislocamientos locales, dieron como consecuencia un incremento de los procesos continentales de erosión y de depósito, acompañados de actividad ígnea, tanto plutónica como extrusiva, constituida ésta última por piroclastos y derrames de lavas de naturaleza andesítica.

Después del hiatus del Cretácico Tardío, se inicia un continuo y amplio evento plutónico acompañado de un volcanismo que duró más de 36 m.a. y cuyas evidencias más anti-



Diag. -3 DISTRIBUCION Y EDAD DEL MAGMATISMO DEL CRETACICO-TERCIARIO DE LA SIERRA MADRE DEL SUR.

PANTOJA (1983).

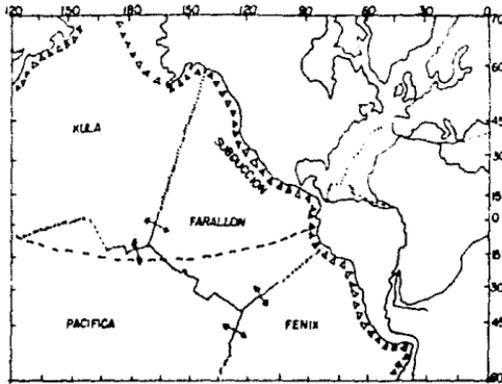


Fig. (14) **Platotección en el Cretácico medio (110m.a.)** Según J. Francheteau (1979)  
 Comp. Salvador Mota M.

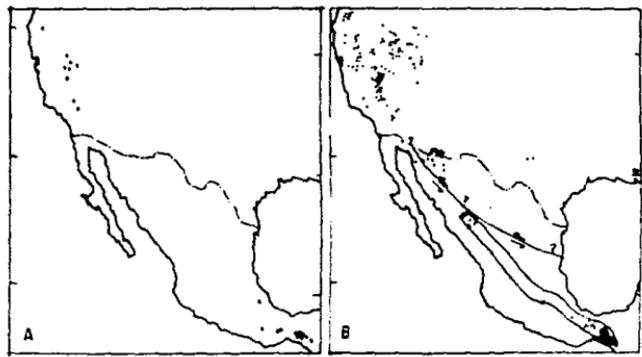


Fig. (15) **A.-Rocas Igneas fechadas isotópicamente como Permicos y Triosicas**  
 en la Cordillera Sur. **B.-Rocas igneas fechadas isotópicamente como Jurasicas**  
 en la Cordillera Sur. Los datos para las fig. A y B fueron compilados por  
 Damon P. Et al (1980).

guas corresponden a los cuerpos batolíticos de Pihuamo en Jalisco, Aquila en Michoacán, Los Salinas y el Papayo en Guerrero, todos de edad Paleocénica. Este evento continúa durante todo el Eoceno con el batolito de Ostula en la Costa de Michoacán. La Guacamaya y Alcholola en Guerrero. En El Oligoceno se genera una franja volcánica a todo lo largo de la cuenca del Balsas (Pantoja 1983). De la información aportada por López Ramos (1977), Damon (1981) deduce que hace 60 m.a. el arco magmático había migrado al oriente -- centrándose en la Sierra Madre Occidental; para el Eoceno el arco había migrado al oriente y es posible que en este período alcanza su máxima amplitud; para el Mioceno Tardío el arco se repliega para la costa del Pacífico en la Península de Baja California y sigue replegándose en el Plioceno hasta formar su situación actual (fig. 16). Durante este período los levantamientos y la denudación fueron continuos exponiendo algunos de los depósitos minerales de la Sierra Madre Occidental y posiblemente bastantes de los yacimientos de la costa del Pacífico.

### 5.1.- DESCRIPCION DE ESTRUCTURAS

La manera más conveniente de describir las estructuras es a través de los diferentes eventos relacionados con la aparición y desarrollo de los arcos magmáticos en la margen continental pacífica.

Durante el Jurásico Temprano, al parecer se estableció un arco magmático a lo largo de toda la cordillera, desde Nevada hasta Chiapas, (Damon 1981), esto es debido a la penetración de la placa Farallón en la placa Americana; tal hecho se infiere por la presencia de material volcanoclástico con una alternancia de sedimentos predominantes pelágicos con un cierto metamorfismo (no se descarta la presencia de lavas almoadillas posiblemente metamorfoseadas) deno minadas Esquistos Arteaga. Posteriormente y por efecto de

EVOLUCION DE LOS ARCOS MAGNETICOS EN MEXICO

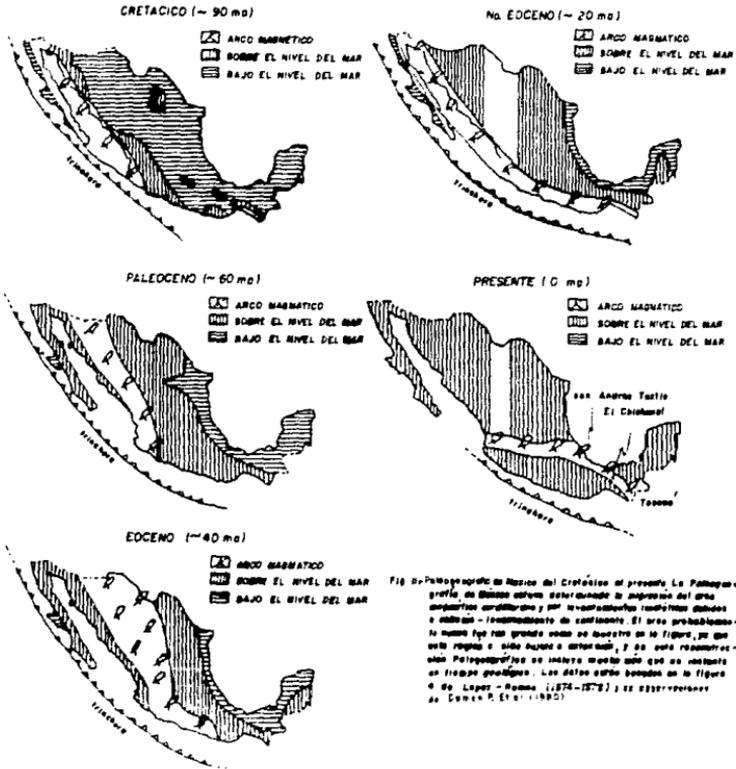


Fig. 2- Paleogeografía de México del Cretácico al presente. La Paleogeografía de México estuvo gobernada por la migración del arco magmático andino y por la subducción de las placas de Nazca y de Cocos - fundamentalmente de Colombia. El área probablemente la mayor que sea grande como se muestra en la figura, es que esta región a sido hacia el sur, y se está reestructurando. Los Paleogeógrafos se interesan mucho más que en cualquier otro tiempo geológico. Los datos están basados en la figura 4 de Lopez - Romaña (1974-1978) y se observaron de Gómez P. Et al (1980).

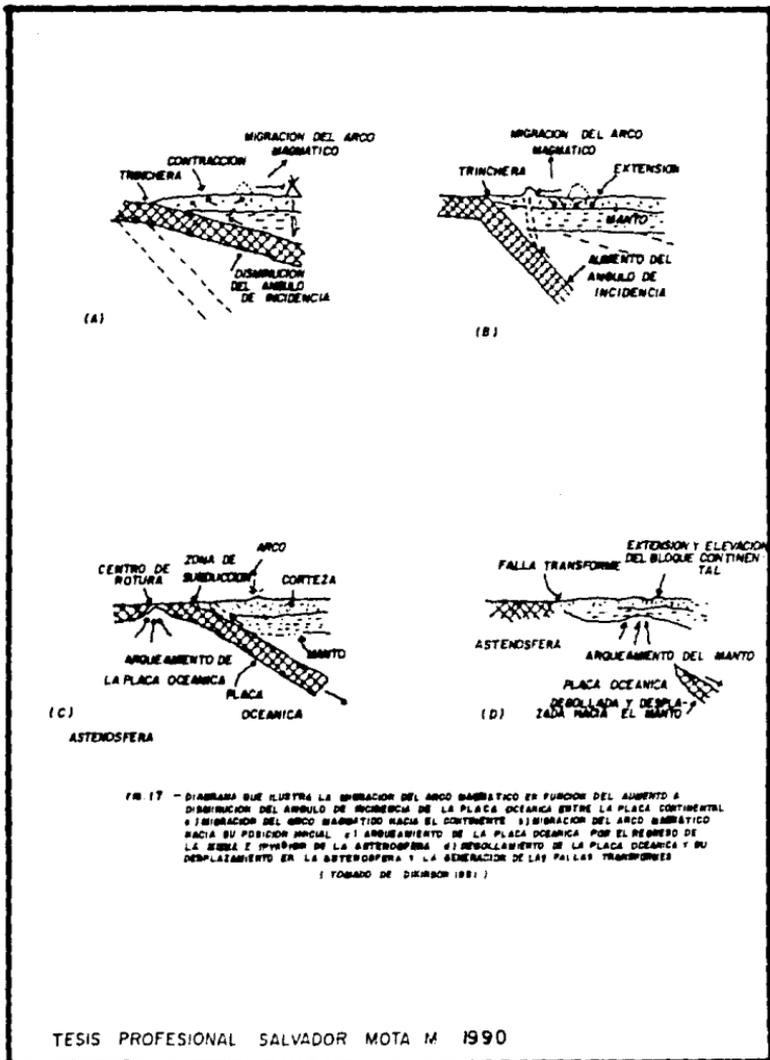
la subducción-circumpacífica, se generó el intrusivo que penetra en la secuencia hacia el fin del Jurásico; en el Cretácico Inferior se inicia una segunda actividad magmática denotada por la presencia de una secuencia volcanosedimentaria compuesta por tobas aglomeráticas y derrames andesíticos con intercalaciones de limos y arenas calcáreas. Posteriormente, ocurrió una disminución de eventos magmáticos.

Durante este período, los levantamientos se alternan con los ciclos de denudación y hundimiento. Al este de Ahijadero, la secuencia se encuentra coronada por calizas de plataforma.

En el Cretácico Superior se tiene un incremento de la actividad ígnea; esto se produce por la subducción circumpacífica generada por un régimen de placas convergentes (Océanica y Continental en el Cenomaniano) debido a la disminución del ángulo de incidencia entre la placa oceánica y la placa continental. De esta manera, la migración del arco magmático está en función del ángulo de incidencia; así logra avanzar grandes distancias hacia el continente y después regresa a su posición inicial, con un cierto estrangulamiento (Dickinson, 1981 fig. 17).

Este régimen de placas convergentes y la consecuente migración del arco magmático, fueron determinantes para el cambio de las condiciones de sedimentación a predominante pelágicas. La revolución Laramide afectó el complejo metamórfico, a la secuencia volcanosedimentaria y a los emplazamientos plutónicos que afectaron la secuencia descrita.

Al suroeste del área de estudio, sobre el cauce del río Chuta, la deformación y fracturamiento que sufrió el complejo metamórfico de Arteaga (Esquistos Arteaga), está representada por una deformación plástica, con aplastamientos; se observa por tanto muy fracturado, pero tiene una

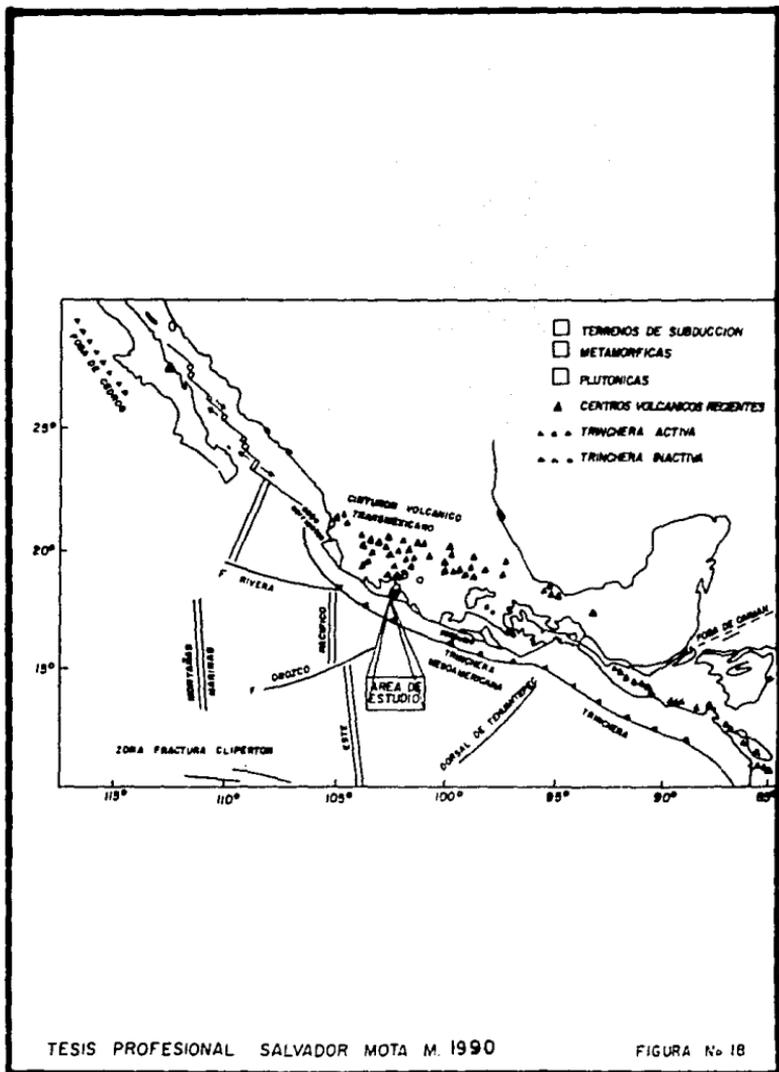


orientación preferencial NNW-SSE en sus planos de esquistosidad; se reconoce cierto alineamiento en una serie de pliegues simétricos.

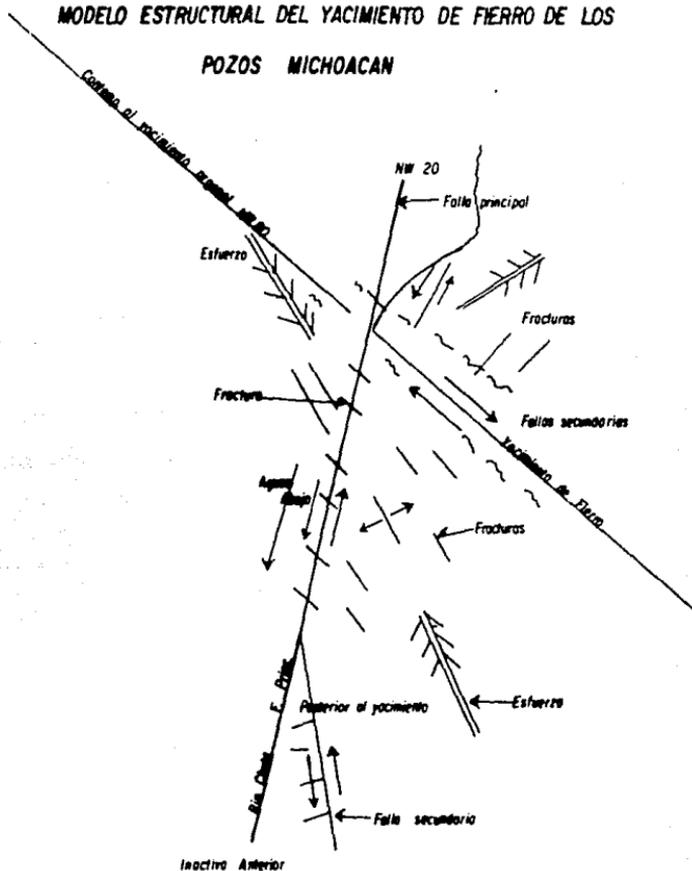
Los dos elementos paleotectónicos determinaron dos tipos de deformación en el siguiente evento magmático (secuencia volcanosedimentaria del Ki: el primero consiste de pequeños pliegues en donde la parte alta se fractura y erosiona; el segundo tipo está definido por pliegues un poco más largos con flancos muy fracturados, los ejes están alineados a la antigua costa mesozoica. Se puede concluir que la deformación es más intensa en los bordes continentales que forman los paleoelementos debido a que en estas áreas se generan esfuerzos directos de acción y de reacción... "compresionales que transmiten los esfuerzos de la orogénia y los esfuerzos de reacción que generan los elementos, mientras que en las zonas más alejadas son menos intensos los esfuerzos compresionales" (Humphrey y Dias, 1956).

## 5.2.- TECTONICA DEL AREA ESTUDIADA

El área de estudio queda comprendida en la región occidental del estado de Michoacán precisamente, en la parte frontal a la costa del Pacífico fig. (18). En esta región, se tienen como rasgos tectónicos particulares, las fallas de corrimiento del río Chuta y sus consecuentes, fallas secundarias y fracturas casi todas desarrolladas en tres direcciones: una de orientación NW-SE, el otro sistema E-W y un tercer sistema ENE-WSW (fig. 19). El juego de fracturas de NW-SE posiblemente corresponde al sistema de fracturas provocado por el empuje, perpendicular a la dirección de comprensión máxima, originada por la actividad tectónica de la trinchera mesoamericana y el juego E-O y ENE-WSW corresponde al sistema de fallas paralelas al rumbo de esta comprensión. Las fallas normales existentes en el área, pug



MODELO ESTRUCTURAL DEL YACIMIENTO DE FIERRO DE LOS  
POZOS MICHOACAN



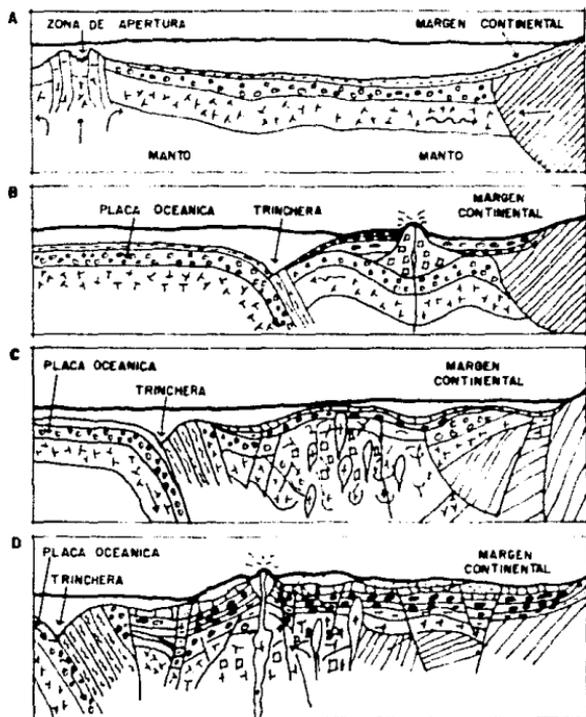
den explicarse como fallas de tensión causados también por dicha compresión, y por el mecanismo transcurrente entre la parte Norteamericana y posiblemente la Caribeña. Muchas veces, esta fractura puede observarse claramente en el campo, en las imágenes de satélites o en las fotografías aéreas, pero en otras ocasiones se infieren por el alineamiento de escarpes como sucede en la Barranca del Organal que se presenta con una dirección casi E-O paralela a las fracturas a nivel regional que existen en este sector.

Así mismo se tienen alineamientos de estructuras de menor tamaño como los domos granodioríticos, la mayoría con dirección NNW-SSE o con orientación E-W; estos rasgos se observan en el camino de Arteaga al rancho de Los Pozos.

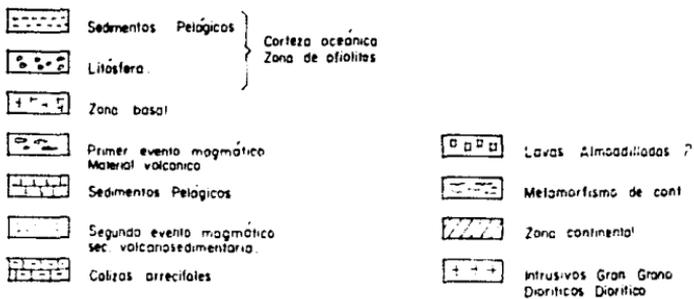
El área de Los Pozos se presenta como bloques escalonados y paralelos en una dirección NW-SE; este escalonamiento producto de un fallamiento normal, se originó por la tectónica miocénica que corta unidades terciarias. Por otra parte, un análisis regional de alineamientos de fracturas anteriores al último evento volcánico, permitió correlacionar a este tipo de accidentes con los rasgos geológicos anteriores.

### 5.3.- GEOLOGIA HISTORICA

La geología histórica que se registra en el área se puede reconstruir desde el Triásico Superior. En ese tiempo, el área se encontraba inundada por aguas marinas debido a una gradual transgresión iniciada a principios del Mesozoico. La fase tectónica de subsidencia originó la formación de una pseudoestratificación de material volcánico, intercalado con sedimentos finos como limos y areniscas calcáreas; después, sobrevino un período de relativa calma en cuanto a eventos magmáticos. Los levantamientos y períodos de denudación son constantes, sumados a los hundimientos



SECUENCIA HIPOTETICA DE LA PALEOGEOGRAFIA DEL AREA DE ESTUDIO



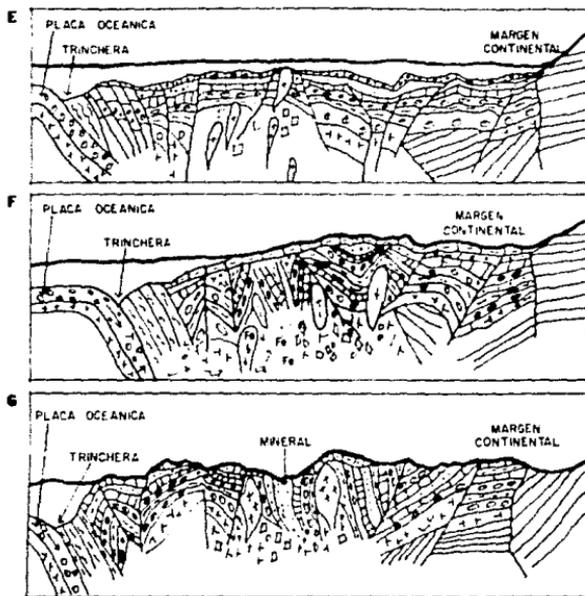


FIG. (21).- SECUENCIA HIPOTETICA DE LA PALEOGEOGRAFIA DEL AREA DE ESTUDIO.

- A - Paleogeografía del Pérmico se inician los empujes de la placa farallón y el nacimiento del rift Pacifico
- B - Finales de Pérmico comienza la penetración de la placa farallón al continente, ocasionando el primer evento de esalaciones magmáticas.
- C - Posiblemente en el Jurásico se lleven a cabo levantamientos, levantamientos intercalados con períodos de denudación.
- D - Se genera un segundo evento magmático en el Cretácico Inferior, da origen a la sec. volcanosedimentaria
- E - El hundimiento del área tal vez en el Hauteriviense da origen a las calizas que sobrepocen a la sec. volcanosedimentaria
- F - Comienza la emersión del área para no hundirse más en el Eoceno
- G - Posición actual.

posiblemente debido al aumento de presión y por consiguiente de temperatura que da lugar a que se metamorfosee el paquete volcanosedimentario, "afectando también el intrusivo granodiorítico, esto en el Jurásico Superior Cretácico Inferior" (Grajales et al 1980), fig. (20-21).

Estos fenómenos se suceden, si se toma en cuenta la posición de la placa Norteamericana, en el período comprendido entre los 100 y 160 m.a. Se puede relacionar la fase compresiva con el movimiento de la placa Norteamericana hacia el noroeste (apertura del Atlántico) y la subducción de la placa Farallón.

Posteriormente, a fines del Cretácico Inferior y Cretácico Medio, se genera una segunda fase de efusiones volcánicas, compuestas de tobas, aglomerados y derrames andesíticos; estas rocas se encuentran alternando con calizas de plataforma. Se podría inferir que prosiguieron las transgresiones producto del hundimiento y al mismo tiempo intrusión del granito de Arteaga. Hacia el final del Cretácico Medio (Campaniano-Mestrichiano) la sumersión continúa y la sedimentación cambió gradualmente y aumentó el espesor de las calizas de plataforma; "En esta época aumenta intensamente el magmatismo calcoalcalino en toda la costa de Michoacán" (Emmermann et al, 1986). Este fenómeno indica las primeras pulsaciones de la orogenia Laramide, en un ambiente que perduró hasta la terminación del sistema cretácico; en este tiempo los paquetes sedimentarios empezaron a emerger para no volver a sumergirse.

Los movimientos epeirogénicos se iniciaron en el principio del Terciario (Paleoceno) y continuaron hasta el Eoceno provocados por la orogenia Laramide. A principios del Oligoceno, vino una etapa de acomodo (tafrogenésis) originado por el cese de los esfuerzos compresionales y provocó estructuras tales como fosas y pilares tectónicos y numero-

sas fallas normales. Estos fenómenos cesaron a finales del Oligoceno; en ese tiempo comenzó una etapa de volcanismo -- postorogénico que perduró hasta el Plioceno Temprano con la intrusión de cuerpos dioríticos que favorecieron la mineralización del área

#### 5.4.- GEOLOGIA LOCAL DEL YACIMIENTO

##### SISTEMA TRIASICO JURASICO

##### COMPLEJO METAMORFICO DE TIERRA CALIENTE

DEFINICION.- Esta unidad ha sido cartografiada con diferentes nombres, formales e informales: Esquistos Arteaga (J. Gutiérrez 1975 en Campa, 1982), Secuencia Metamórfica Volcanosedimentaria de Teloloapan-Ixtapan de la Sal (Campa-Uranga, 1974) pero se le considera por correlación estratigráfica y litológica con el Complejo Metamórfico de Tierra Caliente propuesto por Ortega Gutiérrez (1981), el cual consiste de varias unidades de origen volcánico y sedimentario intercaladas. Las rocas constituyentes pertenecen al dominio eugeosinclinal y presentan, en general un metamorfismo de bajo grado equivalente a las facies de esquistos verdes.

DISTRIBUCION.- La secuencia se encuentra expuesta en casi toda el área que circunda al yacimiento; también al norte y sur del granito de Arteaga, en el municipio de Tumbiscatío, y en toda la parte centro occidental del estado de Michoacán.

LITOLOGIA.- La unidad consiste de una secuencia de esquistos de biotita y clorita, cuya roca original pudo ser de tipo volcanoclástico, intercalado con metapelitas constituidas por sedimentos marinos de plataforma; el espesor de la unidad llega a alcanzar los 450 m (en la localidad de Plan

de Armas).

#### RELACIONES ESTRATIGRAFICAS

Su contacto inferior debe ser discordante con el basamento, y su contacto superior evidencia un hiatus con la secuencia volcanosedimentaria del Cretácico Inferior.

#### EDAD Y CORRELACION

A esta unidad se le asigna una edad del Triásico con base en radiolarios; pero según dataciones de K-Ar, se obtuvieron edades del Jurásico Temprano y Medio (190-187 m.a.)- y que indican, la edad del metamorfismo que los afectó (Grajales et al, 1980); es correlacionable con las rocas del Complejo Metamórfico de Tierra Caliente.

#### AMBIENTE DE DEPOSITO

Por sus características litológicas, esta unidad se depositó en un eugeosinclinal, relacionado al margen pacífico como parte de un arco insular de tipo cordillerano.

#### HORNFELS

#### SISTEMA BARREMIANO APTIANO

DEFINICION.- Esta unidad fue clasificada originalmente por Héctor López (1967) como una serie de rocas volcánicas afectadas por el proceso de metamorfismo dinámico y de contacto a las cuales clasificó como hornfels.

DISTRIBUCION.- Estas rocas se encuentran expuestas en los márgenes del río Chuta, cerca de los afloramientos de fierro y en Arroyo Blanco.

**LITOLOGIA Y ESPESOR.**- Esta unidad consiste de tobas, meta-glomerados andesíticos, derrames andesíticos intercalados con areniscas y limolitas; se presentan con una seudoestratificación: la coloración es de gris a verde pálido, muy compacta y afectada por un tectonismo intenso, (fracturada), su espesor es de 300 m.

**RELACIONES ESTRATIGRAFICAS.**- su contacto inferior es discordante con el Complejo Metamórfico; existe un período de no depósito entre el Complejo Metamórfico y la depositación de la secuencia volcanosedimentaria (hornfels) de aproximadamente 60 millones de años. Su contacto con las calizas de plataforma (mármol) es concordante transicional.

**EDAD Y CORRELACION.**- Por su posición estratigráfica y su litología, se le asigna una edad del Aptiano-Barremiano. Correlacionable con la Formación Tecalitlán en la región de Colima. En el estado de Guerrero se correlaciona con la Formación Morelos.

**AMBIENTE DE DEPOSITO.**- En general, la secuencia se desarrolla en un ambiente inestable dentro de una cuenca de depósito caracterizada por un régimen tectónico activo.

#### CALIZAS-MARMOL

#### APTIANO TARDIO

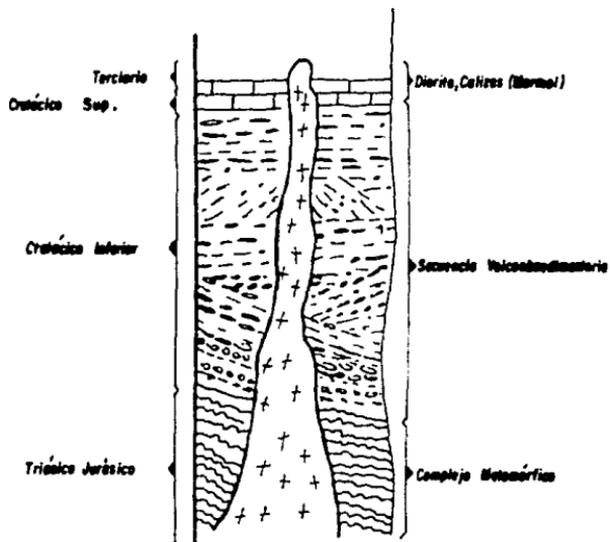
**DEFINICION.**- Esta unidad la definió Héctor López (1967) como un paquete que descansa en forma discordante sobre la secuencia volcanosedimentaria; sin embargo, en la actualidad se le define como una secuencia transicional depositada en un período de hundimiento de la secuencia volcanosedimentaria, a finales del Aptiano.

Aparentemente es una gradación de granito-granodiorita-diorita su espesor no ha sido determinado.

RELACIONES ESTRATIGRAFICAS.- Su contacto inferior es tectónico con las rocas donde intrusión. Fig. (22).

EDAD Y CORRELACION.- Se infiere que sea del final del Oligoceno pues no se presenta fracturado ni deformado, esto sucede al final de la orogenia Laramide.

AMBIENTE DE DEPOSITO.- Por las características se emplazó en un ambiente tectónico activo relacionado a la subducción circumpacífica.



SECUENCIA LITOLÓGICA A NIVEL LOCAL

**TERCERA PARTE****YACIMIENTOS MINERALES**

## 6.- YACIMIENTOS MINERALES

### INTRODUCCION

El hierro es el segundo elemento metálico más abundante en la tierra: su conocimiento se remonta a 4000 años a.C. cuando los faraones Egipcios lo apreciaban mejor que el oro y probablemente se comienza a manufacturar alrededor del año 1200 a.C. Sin embargo, se utilizó en forma industrial, -800 años a.C., en Inglaterra. En esta época comenzó a utilizarse en forma desmensurada el carbón como combustible, y se desarrollaron los hornos para la fundición de hierro.

Alrededor del siglo XVII, principia la gran época industrial en Inglaterra culminando con el descubrimiento del acero por Bessemer's en 1856, con esto Inglaterra se impone como la nación más industrializada de principios de este siglo.

### USOS

El hierro es la espina dorsal en el desarrollo industrial de una nación. La dependencia de este mineral es de tal magnitud, que su ausencia es una desventaja enorme con respecto a países poseedores de esta materia prima. El empleo de hierro es muy amplio, desde materiales para el hogar hasta la creación de diferentes tipos de aceros y aleaciones utilizadas en las diferentes industrias.

Su aprovechamiento es utilizado en diferentes industrias: Transporte, agrícola, construcción, electrónica y petrolera, etc.

En transporte es necesario para la construcción de autos de todo tipo, de carga y transporte de pasajeros, construcción de furgones y máquinas diesel en el transporte ferroviario.

El transporte aéreo requiere mucho acero para crear nuevos diseños de naves.

Para los trabajos agrícolas se requiere para la construcción de máquinas trilladoras, segadoras, tractores, etc.

En la construcción es de vital importancia para la fabricación de varillas y alambón de diferentes resistencias.

En la industria eléctrica, para la creación de torres para sostener cables de alta tensión, transformadores, etc.

La producción a nivel mundial es de alrededor de 1000 millones de toneladas métricas anuales y se calcula que para el año 2000, se duplicará.

Para 1981 se calcula que las reservas exploradas mundiales de mineral de fierro eran de 184 mil millones de toneladas, de las cuales 90 mil millones corresponden a los países capitalistas y en vías de desarrollo y el resto a países socialistas.

Los países que poseen mayores reservas de mineral de Fe son la U.R.S.S. (62 mil millones de toneladas), Brasil (48 mil millones), Canadá (33 mil millones), Australia (22 mil millones); estos países poseen 80% de reservas mundiales de mineral de fierro.

En nuestro país se encuentra uno de los más importantes yacimientos de fierro denominado Las Truchas, ubicado en el municipio de Lázaro Cárdenas, estado de Michoacán, donde también se localiza el complejo metalúrgico SICARSA.

## 6.1.- TIPOS DE YACIMIENTOS DE FIERRO

Para la depositación del mineral de hierro deben de existir ciertos procesos termodinámicos así como condicio nes físico químicas, además de una preparación de la roca donde se encuentra alojado el mineral; esto para los dos tipos singenéticos y epigenéticos. Para este estudio se ana lizará el segundo caso.

Yacimientos epigenéticos.- Son aquellos formados poste riormente a la roca encajonante (Park 1981) la mena es in troducida generalmente (aunque no es necesariamente) duran te la actividad tectónica, muchos son producto de una fase tardía de actividades ígneas o metamórficas asociadas.

Bajo esta circunstancia la preparación de las rocas puede ser efectuada por fluidos que se originan a partir -- del mismo origen de la mena.

Los controles estructurales, tales como fallas y frac turas son importantes para la exploración, ya que han con ducido al descubrimiento de muchos yacimientos.

Las estructuras y texturas que controlan la posición - del yacimiento pueden ser primarias o sobreimpuestas, de acuerdo si se formaron al mismo tiempo que la roca o des pues.

## 6.2.- CONTROL ESTRUCTURAL

Para realizar el análisis del control estructural es necesario una previa introducción a la tectónica.

La tectónica es uno de los grandes parámetros para po der conocer el emplazamiento de un yacimiento mineral epigé nico. Con el conocimiento de la tectónica de una región es

posible explicar la formación de provincias metalogénicas.

Durante el Triásico se manifiesta la depositación de una secuencia volcánico-sedimentaria, que posteriormente sufrió metamorfismo regional de bajo grado e intrusiones diversas de cuerpos plutónicos. A fines del Cretácico Medio se generó un segundo evento de exhalaciones volcánicas; sobre esta secuencia se depositó, en un período de hundimiento, caliza arrecifal. Como ya se indicó, en esta época se establece en la región costera del Pacífico un arco magmático que migra hacia el continente debido a su posible disminución del ángulo de incidencia entre la placa oceánica y la placa continental. A partir de este avance, se generan las condiciones estructurales para el posterior emplazamiento de mineralización debido a los empujes de la placa oceánica sobre la continental; conforme se lleva a cabo este proceso, se desarrolla deformación y consecuentemente fallamientos y fracturas alcanzando su máximo posiblemente a finales del Cretácico Superior. Durante la migración al oeste del arco magmático, existen las condiciones estructurales necesarias para que se emplace mineralización a partir de procesos ortomagmáticos.

Las series magmáticas de este tipo produjeron líquidos enriquecidos en hierro que se desarrollaron en la Sierra Madre del Sur entre Puerto Vallarta y Acapulco (Pantoja, -- 1983).

Las rocas que integran esta serie son:

Basaltos, calcoalcalinos-andesitas hornblédicas-dacitas y riolitas.

Sus equivalentes plutónicos:

Diorita-granodioritas-granito. Esto es en las zonas aledañas al arco.

Esta serie calcoalcalina es típica de franjas orogénicas (Hubbard 1978), en ella los términos volcánicos intermedios (andesíticos) son los constituyentes mayores. Este carácter diferencia a la serie calcoalcalina de las series toleítica y alcalina. En cuanto a la profundidad donde se generan estos fluidos, diferentes hipótesis estiman que se llevó a cabo de 15 a 100 Km de profundidad.

Por diferencia de densidad los iones metálicos más pesados tienden a ir al fondo de las posibles cámaras-magnéticas; a consecuencia del empuje tectónico los iones se mueven hacia las zonas de mayor debilidad como fallas y fracturas. fig. (20-21).

La falla de desplazamiento del río Chuta, es de carácter premineral; su relleno por mineral de fierro se lleva a cabo por efecto de la tectónica compresiva determinada por el empuje de la Placa Oceánica, y consecuentemente por la propia actividad ígnea. (fig. 23). Posteriormente, a consecuencia de la subsidencia se generan fallas menores con sus consiguientes fracturamientos lo que provoca algunas fallas postminerales.

Sillitoe propone para México un modelo de zoneamiento regional, parecido al de Michael M.A., (1972) al igual que W. Guilde (1972). Se determina el zoneamiento oeste-este de las provincias metalíferas en la parte occidental del Norte y Sudamérica relacionado con la fusión parcial, a diferentes profundidades de las placas a lo largo de las zonas de subducción (fig. 24).

Se puede concluir que existe una clara correlación entre tectónica, volcanismo y el yacimiento mineral, pero resulta muy complejo si se trata a detalle. Se presenta un esquema de causa-efecto en la Tabla (2) que indica que tanto el vulcanismo como determinadas estructuras geológicas, son



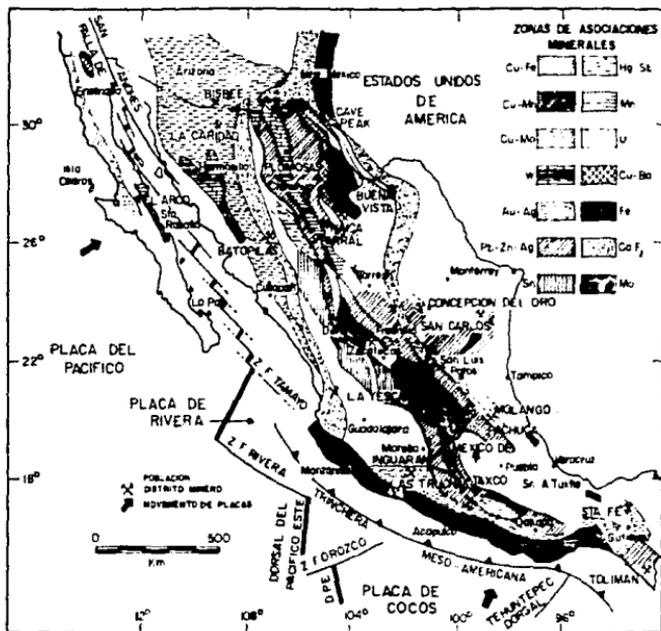


Figura 24. Provincias metalogenéticas de México (modificado de Clark et al. 1981) Nótese la sucesión de dirección NNW de la tendencia de las zonas metalogenéticas

# VOLCANISMO

*EL VOLCANISMO EN LOS PROCESOS DE LA DINAMICA GLOBAL*

EMPLAZAMIENTO DEL VOLCANISMO	BUTIRA DE PLACAS		BORDES DE LAS OTRAS PLACAS ACTUALES		BORDES DE PLACAS INCIDENTES O ABORTADAS		ZONAS ESTABLES									
	INTRAPLACAS				INTRAPLACAS											
MOVIMIENTO RELATIVO DE PLACAS	CONT. → ← CONT.		CONTINENTAL → ← OCEANICA		OCEAN → ← OCEAN	CONT. ← → CONT.										
PROCESOS DINAMICOS	COMPRESION				DISTENSION											
	OROGENIA - SUBDUCCION				DESPLAZAMIENTO DIAPIRISMO											
AMBIENTE GEOTECTONICO	INTERPLACAS		CORRIENTES CONTINENTAL ACTIVO		ARCOB ISLANDIARES		DORSALES OCEANICAS		RIFTS INTERCONTINENTALES		LINEAR		CENTRAL			
					INCIDENTES MADUROS				INCIDENTE MADUROS ABORTADOS		PLATEAUX		ISLAS OCEANICAS		ZONAS CONTINENTALES ESTABLES	
	ALPES HIMALAYA		CORDILLERA ANDINA		ISLAVILES ALEUTINAS JAPON KAMCHATKA		ATLANTICA PACIFICA		AFAR RIFT VALLEY POBA DEL BYRN		DECCAN ETHIOPIA		HARARI CANARIAS		W KIMBERLEY (AUS) KIMBERLEY (CAN)	
ALCALINA					██████████		██████████		██████████		██████████		██████████		██████████	
TOLEITICA					██████████		██████████		██████████		██████████		██████████		██████████	
TRANSICIONAL					ASOCIADA A LAS SERIES		ALCALINA		Y/O		TOLEITICA					
CALDO-ALCALINA	██████████		██████████		██████████											
POTASICA			██████████		██████████				██████████						██████████	

consecuencia de un mismo proceso geodinámico, lo cual explica la generalizada aparición de determinadas series volcánicas en ciertos ambientes geotectónicos, (Araña et al, 1974)

### 6.3.- ALTERACIONES

En las cercanías del área de estudio existe una estructura de cuarzo con mineral aurífero conocida como la Michoacana. Existen otras localidades de interés con presencia de vetas y vetillas mineralizadas, lo que es una evidencia de un importante proceso hidrotermal. Sin embargo lo más notable en el área es la presencia de cuerpos vetiformes de magnetita y hematita, dentro de una secuencia de rocas afectadas por un metamorfismo de contacto. A continuación se describe este yacimiento de fierro.

En el área del yacimiento las rocas encajonantes se encuentran fuertemente recristalizadas como resultado del metamorfismo de contacto a que fueron sometidas por acción de cuerpos intrusivos. Esta recristalización de los sedimentos pelíticos y rocas volcánicas, produjo la formación de hornfels principalmente de facies albita-epidota, con variaciones a hornfels básicos. Al microscopio los hornfels presentan, generalmente textura granoblástica, con importante desarrollo de clorita férrica, epidota y clinozoisita.

La formación de los hornfels tuvo lugar un poco antes de la conformación de la mineralización de fierro. Posteriormente, junto con la mineralización se desarrolló una nueva etapa de alteración que conformó restringidas zonas de contacto tipo skarn en algunos respaldos de la estructura mineralizada. Estas zonas están constituidas de epidota, carbonatos, wollastonita y limitada presencia de granates. Por último, durante el emplazamiento de la mineralización de fierro, hubo una gran actividad hidrotermal que afectó parcialmente la roca encajonante ya recristalizada, produ-

ciendo en ellas abundante presencia de vetillas de cuarzo y epidota y en menor grado sulfuros, lo cual es propio de una propilitización moderada.

Con base en los estudios petrográficos sistemáticos en varios barrenos y en el estudio textural de la roca encajonante, se deduce que originalmente la roca consistió en -- una secuencia de sedimentos volcánicos y pelíticos representada por tobas finas, microaglomerados, brechas volcánicas, lavas, areniscas tobáceas, rocas limolíticas y areniscas finas con algunas intercalaciones de calizas, que por acción del metamorfismo de contacto se convirtieron finalmente en hornfels, skarn y mármoles.

Sólo resta agregar que en las partes superiores de los cuerpos de fierro y a veces también, a la profundidad en algunos barrenos se observó la presencia importante de mármol, producto probablemente de la recristalización de algunas intercalaciones de roca calcárea. Al microscopio el mármol -- presenta silicatos deformados como la tremolita y el cuarzo dentro de una matriz granoblástica de carbonatos.

#### 6.4. MINERALIZACION

En el área de Cerro Blanco la estructura de mineral de fierro se presenta generalmente tabular, con un rumbo general que varía de N 70 W a N 85 W. El rumbo de estas estructuras coincide, a grandes rasgos, con la dirección de foliación de las rocas andesíticas encajonantes y con el rumbo de la pseudoestratificación que a veces se presenta en dicha roca.

Con base a lo observado en los diferentes núcleos de barrenos estudiados, se ha determinado que el comportamiento de la mineralización de fierro es más complejo que en la superficie; a profundidad se manifiestan claramente inter

digitaciones de mineral de fierro, con roca encajonante altamente contaminada de Fe y sectores de roca encajonante relativamente sana. Estos rasgos se han podido observar perfectamente en los barrenos BD-2, BD-4, BD-5, BD-4A y BD-5A a diferentes profundidades. En cambio en el barreno BD-3 se determino un cuerpo masivo de magnetita y pirrotita que sobrepasa los 80 m de espesor y en donde tiende a disminuir - la presencia de cuerpos angostos y las zonas de roca contaminada.

La parte superficial de la mena de fierro presenta, al microscopio, unos cristales anedrales inequigranulares, de magnetita con hematita y con desarrollo de óxidos e hidróxidos como la goethita y limonitas; estos minerales conforman agregados pequeños hacia los espacios intersticiales. Con la profundidad de los barrenos, se observan más bien intercrecimientos de magnetita y pirrotita de textura alotriomórfica con presencia pobre de otros sulfuros como la pirita y calcopirita. Es importante destacar que en estos sectores - de los barrenos, en algunas superficies pulidas, se ha detectado la presencia de vetillas de carbonato, cuarzo, epidota, esfalerita, calcopirita y pirita que cortan la mineralización masiva de magnetita y pirrotita, lo que sugiere un proceso hidrotermal posterior a la formación de la mineralización principal de fierro, que rellenó fracturas y espacios intersticiales.

Cabe mencionar que en la actualidad se lleva a cabo un estudio metalogénico del yacimiento en donde se realiza un muestreo detallado para diferentes tipos de análisis (Difracción y Fluorescencia de rayos X, microsonda, mineragra y petrografía). Este estudio intenta determinar las características mineralógicas y texturales del yacimiento, así como las condiciones físico-químicas en que se originó el depósito.

## 6.5.- GENESIS DEL YACIMIENTO

Respecto al origen del yacimiento de los Pozos se han manejado varias hipótesis (removilización, volcanogénesis, -inyección magmática, etc.). La más aceptada es la propuesta por el Ing. Héctor López (1967) en la que se argumenta que los componentes más pesados de los intrusivos se movieron por diferenciación al interior de la cámara magmática y se enriquecieron de óxidos de fierro y dieron lugar a una segregación líquida que se desplazó a zonas de menor presión, como inyecciones en las rocas en las que se encuentra actualmente el yacimiento.

Sin embargo, con base en el estudio metalogénico que se está realizando, existen otros elementos de juicio que consideran nuevas ideas esenciales y complementarias acerca de la génesis del yacimiento

En términos generales se piensa que la secuencia de sedimentos pelíticos y volcánicos en la que está emplazada la mineralización fue sometida inicialmente (a finales del Cretácico y durante el Paleoceno) a un metamorfismo por la actividad de cuerpos intrusivos que provocaron la recristalización de las rocas de la secuencia a hornfels de variada composición. Posteriormente se desarrolló un evento magmático post-batolítico enriquecido de minerales máficos, acompañado de una gran actividad subvolcánica que originó stocks y diques de composición intermedia a básica (pórfido diorítico de hornblenda y diques de diabasa, frecuentes en el área). Durante esta etapa se desarrolló el metasomatismo de contacto que dió origen a la contaminación con el mineral de Fe de la roca encajonante y la formación restringida de pequeñas zonas de skarn. Simultáneamente a estos procesos se formaron las estructuras mineralizadas de magnetita y pirrotita, a partir de infiltraciones a lo largo de zonas de fracturamiento y debilidad tectónica preparadas en las

rocas previamente alteradas.

En consecuencia se puede proponer que el yacimiento de Fe "Los Pozos" se originó como efecto de infiltraciones de soluciones magmáticas, con evidentes indicios de procesos de metasomatismo.

#### 6.6.- GEOLOGIA ECONOMICA

Este estudio geológico es de naturaleza general por lo que se deja abierta la posibilidad para cambiar conceptos o anular otros; así queda implícita la necesidad de algunas modificaciones inherentes a la investigación geológica.

El yacimiento de fierro de los Pozos tiene un superficie aproximadamente 1 200 m de largo, con 25 a 30 m de ancho. Aunque su longitud puede ser mayor si se toman en cuenta las evidencias de mineralización tanto al poniente como al oriente del afloramiento principal.

En el área de Los Pozos se ha dividido en 2 zonas, denominadas El Organal y Cerro Blanco.

Actualmente los trabajos exploratorios con barrenación de diamante han sido enfocados al área Cerro Blanco por presentarse las condiciones más favorables para la geometriación del depósito.

En este sector se han perforado 5 barrenos de los cuales 4 han cumplido con el objetivo de cortar el cuerpo de fierro; en uno se tuvieron problemas estructurales.

Hasta el momento se han perforado 1,441 m. Los barrenos cortaron un espesor considerable de Fe, que reducidos a al espesor real da un promedio de 60 m.

Con los datos obtenidos se estimaron las siguientes re  
servas:

400 m largo x 200 m alto x 60 m x 4 p.e. = 20 millones  
de toneladas probables, con leyes de 50%-55% de fierro to-  
tal S 1%, P 1%, SiO<sub>2</sub> 12%, Mn 0% y peso específico de 4.3.

Con toda esta información, es posible afirmar que el  
yacimiento es de interés económico.

## 6.7.- CONCLUSIONES

- 1.- El área en exploración está constituida por un basamento subestrato metamórfico de esquistos y pizarras que infrayacen a una secuencia volcanosedimentaria recristalizada, en gran parte, a hornfels en las zonas aledañas al yacimiento. Estas unidades litoestratigráficas se encuentran afectadas, de una u otra manera, - por intrusiones del magmatismo que produjo el macizo granítico de Michoacán-Guerrero.
- 2.- Es probable que exista una estrecha relación entre las unidades antes mencionadas y el desarrollo de arcos insulares sumados a una tectónica tangencial con el contexto dentro de una margen continental como la actual.
- 3.- Existen tres sistemas estructurales principales en el área del yacimiento; uno con rumbo E-W que es el control estructural de la mineralización; otro postmineral con rumbo NE-SW y SW-NE y que disloca y desplaza la mineralización.
- 4.- El yacimiento ferrífero presenta una forma que se aproxima a la tabular, con cerca de 1,200 m de extensión y 25 a 38 m de ancho en superficie, con rumbo N 75° W y echado variable; con los 5 barrenos realizados se ha determinado un espesor real de 60 m con zonas de mineralización hasta de 200 m.
- 5.- La mineralogía del yacimiento está representada por magnetita, pirrotita, hematita, pirita (en superficie) esfalerita y calcopirita. La ganga está constituida por calcita, cuarzo, actinolita, tremolita, diopsida y algunos minerales arcillosos.
- 6.- Se han observado en afloramientos y núcleos de barre

nos, cierto zoneamiento vertical en donde con la profundidad hay disminución parcial de magnetita y aumento relativo de pirrotita y otros sulfuros.

- 7.- El estudio metalogénico en proceso ha recabado evidencias que indican que el yacimiento se originó como producto de infiltraciones de soluciones magmáticas emplazadas en una zona de debilidad, con evidentes indicios de procesos de metasomatismo.
  
- 8.- En los 1.941 m de barrenación realizados hasta la fecha, se han calculado 20 millones de toneladas de mineral de hierro, con carácter probable. El potencial del yacimiento puede crecer considerablemente al rumbo de la estructura.
  
- 9.- Con base en la interpretación de la información magnetométrica se ha determinado la potencialidad y continuidad del yacimiento. Cualitativamente el potencial detectado por este método es de más de 30 millones de toneladas de hierro.

### 6.8.- RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con el programa de exploración a semidetalle-detalle y la barrenación para definir la forma y dimensiones de los cuerpos y precisar la potencialidad del yacimiento.

Se deberá proseguir con el programa de barrenación a lo largo de la anomalía magnética y con base en la correlación Geológica-Geofísica.

## B I B L I O G R A F I A

Aguayo, C.J.; 1983; Integración y análisis de Información - Geológica-Geofísica de la Cuenca de Colima, Jalisco, Instituto Mexicano del Petróleo, Proyecto C-1144.

Auboin, J.; Brousse, R.; Lehman J-P.; 1980; Paleontología - Estratigráfica, Volumen y Ediciones, Omega, S.A. Barcelona.

-----; 1980; Tectónica,- Tectono-física, Morfología. 2 Ediciones Omega, S.A. Barcelona.

-----; 1980; Petrología- Volumen 1

Araña, V.S.; 1974; Volcanismo, Dinámica y Petrología de - sus productos. Ediciones Itsmo.

Beckinsole, R.D.; 1979; Granite Magmatism in the tin Belt - of south East Asia. In; Origin of granite Batholiths - Geochemical Evidence. Edited by M.P. Athorton and J. Torney Editorial Shiva Publishing Limited.

Best, M.G.; 1982; Igneous and Metamorphic Petrology Edito- rial H. W. Freeman and Company.

Black, R.M.; 1976; Elementos de Paleontología. Editorial Fon- do de Cultura Económica.

Burke, R.; 1978; Evolution of continental rift sitem in the light of Plate tectonics. In; Tectonics and Geophisics of Continental Rifts. Edited by I.B. Romberg and E.R. Newmann Editorial D. Reidel Publishing Company.

- Campa, M.F.; Campos, M.; Flores, R.; Oviedo, R.; 1974; La Secuencia Mesozoica Vulcano-sedimentaria metamorfisada de Ixtapan de la Sal, México-Teloloapan, Gro. Bol. Soc. Geológica Mexicana. XXXV, p. 7-28.
- Carmichael, I.S.E.; Turner, F.J.; Verhoogen, J.; 1974; --- Igneous Petrology. Editorial McGraw-Hill Book Company.
- Castro, M.F.R.; 1984; Análisis Estratigráfico y evolución tectónica de la hoja Playa Azul, Edo. de Michoacán. Resúmenes VII Convención de la Sociedad Geológica Mexicana.
- Cepeda, D.L.; 1986; Apuntes de rocas metamórficas. Editado por la Facultad de Ingeniería U.N.A.M.
- Damon, P.E.; Shafiqullah, M.; Clark, K.F.; 1981; Age Trends of Igneous Activity in Relation to Metalogenesis in the southern cordillera, in; relations of tectonics to ore deposits in the southern cordillera. Edited by Dickinson Payne W.D.
- Dewar, J.E.; 1982; La tectónica de placas. En el descubrimiento de la tierra. Editado por C.O.N.A.C.Y.T.
- Dickinson, W.R.; 1981; Plate Tectonics evolution of the southern cordillera; in; relations of tectonics Ore deposits in the southern cordillera. Edited by Dickinson, W.R. and Payne, W.D.
- Dietz, R.S.; 1972; Geosynclines, Mountains, and Continent-Building. In; continent Arift and continet, Agroun by Scientific American Editorial W.H. Freeman and Company.
- Francheteau, J.; Needhan D.; Juteau, T.; Rangin, C.; 1978;- Nacimiento de un Océano Pacífico este Editor por C.O.-N.A.C.Y.T.

Gastil, G.; Morgan, J.; Krummenacher, D.; 1981; The tectonic history of peninsular California and adjacent Mexico. In: the Geotectonic Development of California -- Edited by W.G. Ernest Editorial Prentice-Hall, Inter.

González, P.E.; 1983; Análisis Petrográficos cristalo químico e inclusiones fluidas de la serie metamórfica paleozoica de Tierra Caliente. Revista GEOMIMET No. 124 3º Epoca.

González, R.A.; 1984; Estudio Geológico-Geoquímico Regional de la Sierra la Purísima y San Marcos, en Mpio. de Cuatro Ciénegas, Coah. Tesis Profesional Facultad de Ingeniería U.N.A.M.

Grajales, N.M.; López, I.M.; 1984; Nuevos datos K-Ar y Petrografía de las rocas Igneas y metamórficas de la región suroccidental del estado de Michoacán. Resúmenes-VII Convención de la Sociedad Geológica Mexicana.

He inrich, E. Wm.; 1970; Identificación microscópica de los minerales. Editorial Urmo, S.A. de Ediciones Espartaco.

Jensen, M.L.; Bateman, A.M.; 1981; Economic Mineral Deposits. Editorial John W. ley J. Sons.

Karing, D.E.; Cardwell, R.K.; More, G.F.; More, D.G.; 1978; Late Cenozoico subduction and continental orogain -- truncation Along the Northern Midde American Trench.-- Edited by Geological Society of America Bolletin #78.

López, H.; 1979; Estudio Geológico Magnetométrico del yacimiento Ferrífero Los Pozos. Mpio. de Arteaga, Michoacán Boletín = 78 Consejo de Recursos Naturales No Renovables.

- te tectonics edited by J.B. wright Editorial Dowden - Hutchinson Ross Inc.
- Ragan, D.M.; 1978; Geología Estructural. Ediciones Omega. - S.A. Barcelona.
- Rubinovich, K.R.E.; 1988; Mineralogía y paragénesis del depósito de sulfuros masivos sinsedimentarios La Esmeralda, Estado de México U.N.A.M. Tesis de Maestría.
- Salas, G.P.; 1980; Carta y provincias metalogenéticas de la República Mexicana, Editado por Consejo de Recursos Minerales.
- Sawkins, F.J.; 1972; Sulfide ore deposits in relation to plate tectonics. In Mineral Deposits Continental Drift and tectonics Edited by J.B. Wriht. Editorial Dowedwn-Hutehinson & Ross Jne.
- Sawkins, F.J.; 1984; Metal Deposits in Relation to Plate -- Tectonics. Editorial Springer-Verlag.
- Sherbon, E.H.; 1972; Elementos de Geología Estructural, Editorial Ariel.
- Sillitoe, E.H.; 1972; Relation of metal Provinces in western America to subduction of oceanic Litosphera. In Mineral Deposits Continental Drift and Plate Tectonic- Edited by J.B. Wright Editorial Dowden, Hutehinson & Ross Inc.
- Sillitoe, R.H.; 1972; A Plate Tectonic Model for the origin of porphyry copper Deposits. In Mineral Deposits Continental Drift and Tectonics Edited by J.B. Wriht, Editorial Dowden, Hutchinson & Ross Inc.

- Stanton, L.R.; 1972; Ore Petrology, Editorial Mc Grow Hill-Book Co.
- Tatsumoto, M.; 1978; Isotopic Composition of lead in Oceanic Basalt and its implication to mantle evolution. In Trace elements in Igneous petrology edited by C.J. -- Allegre and S.R. Hart Editorial El Sevier Scientific - Publishing Company.
- Terrones, A.J.L.; González, P.E.; Torres, R.V.; 1984; Franjas metalogenéticas de la Sierra Madre del Sur de la República Mexicana VII Convención Sociedad Geológica - Mexicana. Resúmenes.
- Tobschall, H.J. et al; 1986; Geochemical Evolution of the - Sierra Madre del Sur, Mexico. VII Convención Geológica Nacional. Resúmenes.
- Turner, F.J.; 1981; Metamorphic Petrology Editorial Mc Graw Hill International Series The Earth and planetary --- sciences.
- Tuzo, W.J.; 1976; Continents Adrift and Continents Aground, Editorial W.H. Freeman and Company.
- Uyeda, S.; 1980; La Nueva Concepción de a Tierra, Editorial Blume.
- Vaughan, D.J.; Caign, J.R.; 1981; Ore Microscopy and ore Petrography Edited by John Wiley & Sons.
- Williams, H.; Turner, J.F.; Gilbert, Ch.M.; 1979; Petrografía Editorial C.E.C.S.A
- Wincler, H.G.F.; 1978; Petrogénesis de Rocas Metamórficas.- Editorial Blumer.

Yoder, H.S.; 1979; The evolution of the Igneous Rocks Edited  
do por Princeton University Press.

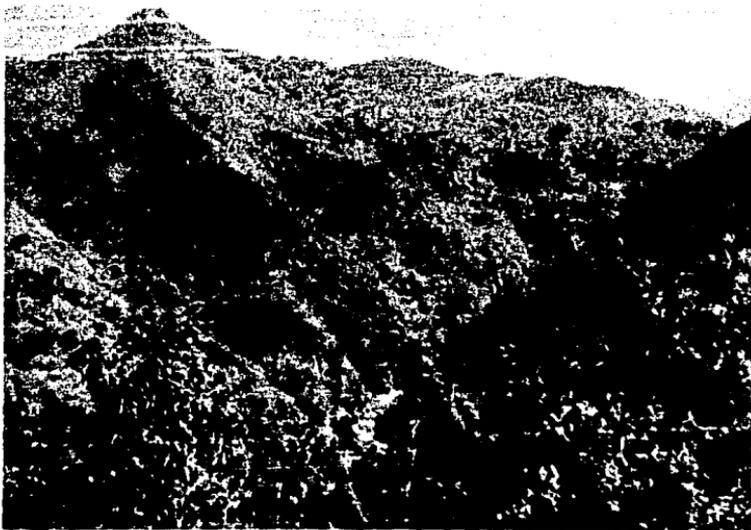
## LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

Figura Núm.	Título	Página
1	Ubicación del área.	7
1.1	Provincias fisiográficas.	10
2	Ubicación del complejo metamórfico.	15
3	Columna estratigráfica.	17
4	Sección litológica.	18
5	Diagrama A.F.M.	27
6	Diagrama de alcalinidad $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$	28
7	Diagrama de alcalinidad $\text{CaO}/\text{NaO}+\text{K}_2\text{O}$	29
8	Diagrama $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$	31
9	Diagrama $\text{Rb}/\text{y}/\text{Nb}$	33
10	Relaciones isotópicas de estroncio radiogénico en las rocas de la sierra madre del sur.	34
11	Marco tectónico regional del área.	37
12	Supuestos movimientos de las placas.	37
13	Mecanismo de la deformación del cinturón orogénico apalachiano a partir de la conexión de la tectónica global.	39
14	Paleotectónica en el Cretacio Medio.	44
15	Arco magmático en el Jurásico.	44
16	Paleogeografía en México del Cretacico al presente.	47
17	Migración de arco magmático en función del aumento o disminución del ángulo de incidencia de la placa oceánica entre la placa continental.	49
18	Ubicación del área de estudios con respecto a la trinchera oceánica.	52
19	Modelo estructural del yacimiento de Fierro de los Pozos Michoacán.	53
20-21	Secuencia hipotética de la paleogeografía del área de estudio.	55-56
22	Secuencia litológica a nivel local.	62

<u>Figura Núm.</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
23	El volcanismo en los procesos de la dinámica global.	69
24	Provincias metalogenéticas de México.	70

<u>Tabla Núm.</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
1	Rasgos característicos de los granitos tipo I y tipo S.	32
2	El volcanismo en los procesos de los dinámica global.	71

<u>Diagrama Núm</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
2	Migración de los arcos magmáticos	42
3	Distribución de edad del magmatismo del Cretácico-Terciario de la Sierra Madre del Sur	45



Fotografía donde se muestra el Area de Estudio



Fotografía Mostrando los núcleos de los Barrenos - Barreno  
BD-3



Transportación del Equipo de perforación.



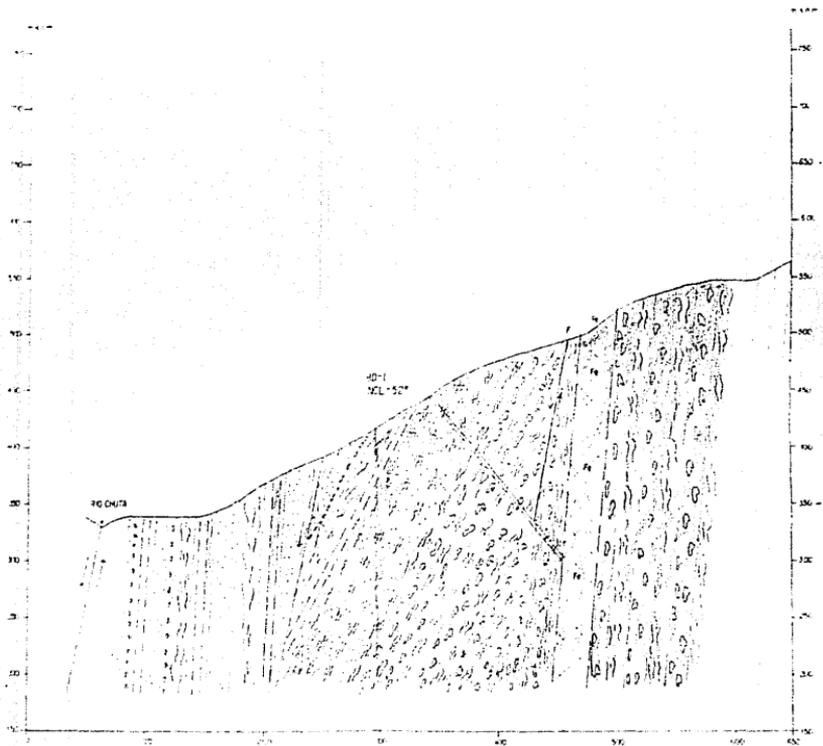
Instalación del Equipo de Perforación Barreno de  
Diamante No.4



En la ilustración se muestra la mineralización que corre a través de una falla, Barranca del Organal.



Fotografía donde se muestra la mineralización  
por infiltración en una falla.

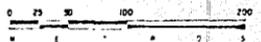


### EXPLICACION

- MICROGLOMERADO CON MATERIAL DETRITICO VOLCANICO (ACIDOS)
- TORRAS FINAS COMPOSICION INTERMEDIA
- COLADAS ANDESITICAS
- BRECHA
- SILICIFICACION
- ESQUISTOS
- HORNFELS
- VARVOL
- MINERAL DE HIERRO

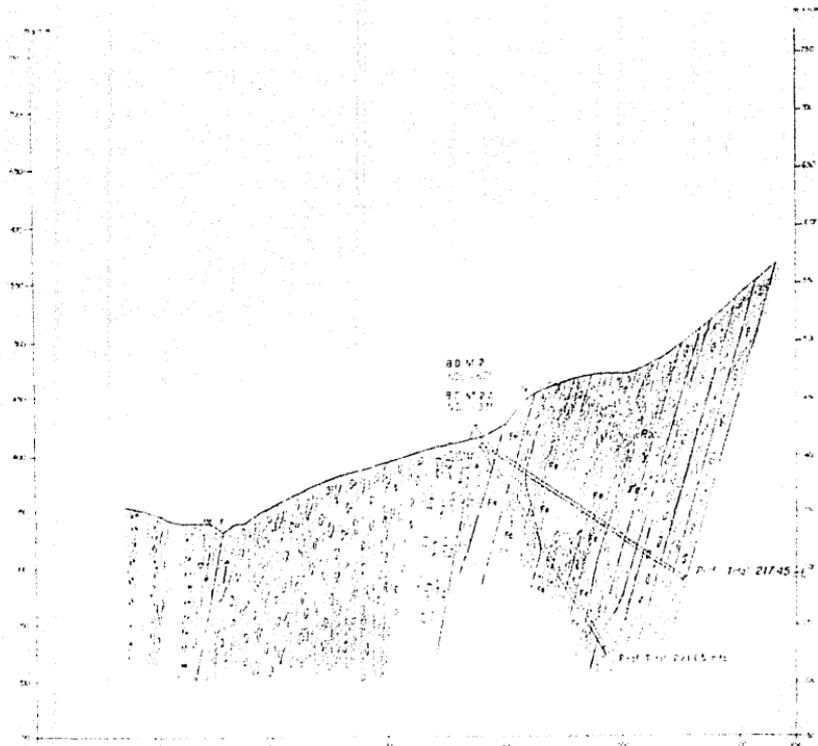


ESCALA 1:2000



Rumbo de Barrege N Franc

<b>TESIS PROFESIONAL U.N.A.M</b>
<b>SALVADOR MOTA MOTA</b>
SECCION GEOLOGICA DEL B.D. N° 1
MFID DE ARTEAGA



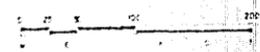
Rumbo de Barreno N Franco

### EXPLICACION

- ROCCAS METAMORFICAS
- TURBAS FIAS (COMPOSICION INTERMEDIA)
- COLADAS ARGILITICAS
- ARECHA
- SLIZIFICACION
- ESQUEJOS
- FRONTELES
- GRANULOS
- MINERAL DE TIERRA
- CONTACTO GEBRADO
- FALLA
- W. ARECHA
- CONTACTO DE TIERRAS



ESCALA 1:4000



<p>TESIS PROFESIONAL U.N.A.M.</p>
<p>SALVADOR MOTA MOTA</p>
<p>SECCION GEOLOGICA DEL B.D. N° 22A</p>
<p>MPIO DE ARTEAGA</p>

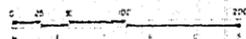
## EXPLICACION

- UNO CONSUMERADO CON MATERIAL  
DEPOSITO VOLCANICO TACIDO
- TORAS FINES COMPOSICION INTERMEDIA
- LOZADAS ANDISITICAS
- PRECHA
- SOLIDIFICACION
- ESQUISTOS
- HORNELLS
- VERVOL
- MINERAL DE FIERRO



- CONTACTO VERVOLITAS
- FALLA
- RIO BARRO
- DEPÓSITO DE DIAMANTES

ESCALA 1:2000

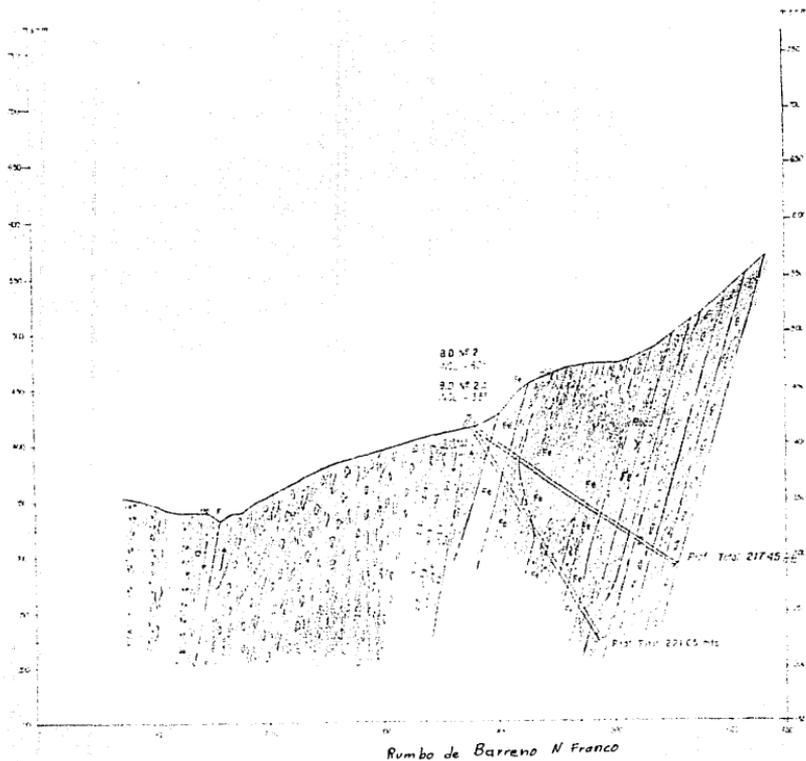


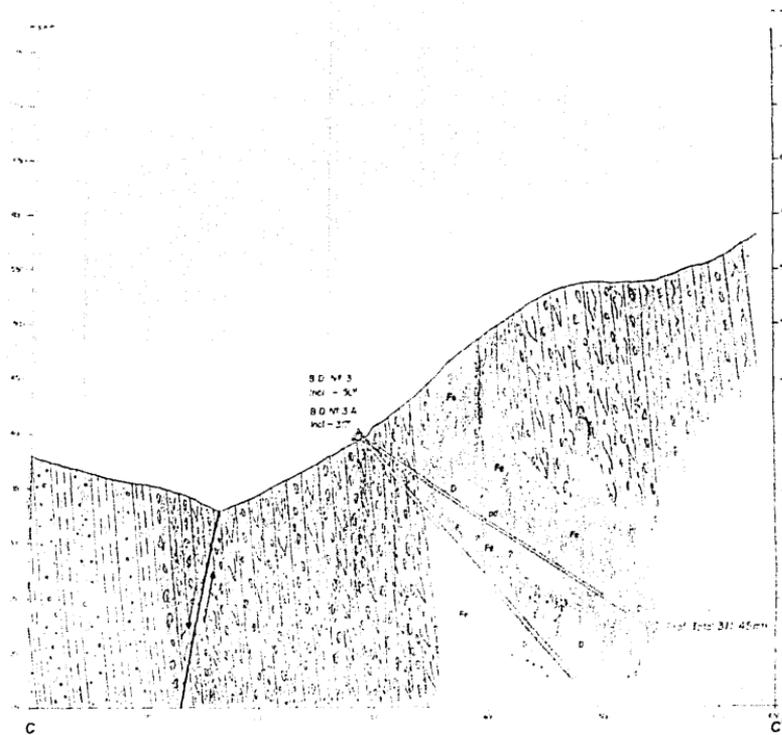
TESIS PROFESIONAL U.N.A.M.

SALVADOR MOTA MOTA

SECCION GEOLOGICA DEL B.D. N° 22A

M.P.C. DE APTEAGA





SECCION GEOLOGICA DEL P.O. N° 3, RAMO N° 5, VIENDO AL W.

### EXPLICACION

MOFONOLITIFORME CON MATERIA DEPOSITADA VOLCANICA	
TORAS FINAS COMPOSICION INTERMEDIA	
COLARAS ANDESITICAS	
BRECHA	
SILICIFICACION	
FIQUITOIDS	
DIGNITA, PORFIDO DIGNITICO	
MARMOL	
MINERAL DE FIERRA	
CONTACTO GRANITICO	
FALDA	
RIO ARROYO	
ARRANQUE DE DIABASO	

ESCALA 1:200

0 20 30 40 50 60 70 80 90 100

TESIS PROFESIONAL U.N.A.M.  
 SALVADOR MOTA MOTA  
 SECCION GEOLOGICA DEL B.D. N° 3,3A  
 LINEA 0+675  
 VINO DE ARTEAGA

## EXPLICACION

INTERRUPCION DEL ALCANTARILLO EN EL INTERVALO DE 100 METROS	
TIPO DE FINES COMPOSICION INTERMEDIA	
COCCULAS ANEUSTICAS	
TERRENA	
SILICIFICACION	
ESQUISTOS	
DIANTELS	
MARMO	
MINERAL DE HIERRO	
FRATRETO AEROLICO	
FALSA	
NO ABREVIA	
PARQUE DE BARRIO	

ESCALA 1:2000



TESIS PROFESIONAL U.N.A.M.

SALVADOR MOTA MOTA

SECCION GEOLOGICA DEL BD N° 4, 4A

LINEA 0+74B

MPIO DE ARTEAGA

SECCION GEOLOGICA DEL BD N° 4 Y 4A, RUMBO N-S VIENDO AL W





