



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Estudio Geológico - Petrológico de la Hoja
"Presa Solís", Jerécuaro, Gto.

(UN EVENTO ACIDO EN EL EJE NEOVOLCANICO)



TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
Ingeniero Geólogo

P R E S E N T A:
GERARDO DE JESUS AGUIRRE DIAZ

MEXICO, D.F.

ABRIL DE 1983.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

	pag.
II. ESTRUCTURAS Y TECTONICA.....	59
II.1- Características tectónicas del Eje Neovolcánico..	59
II.2- Tectónica del área estudiada.....	64
III.- DIFERENTES EPISODIOS VOLCANICOS.....	69
III.1-Episodios volcánicos.....	69
III.2-Descripción de los episodios.....	69
IV.- GEOLOGIA HISTORICA.....	78
IV.1- Origen del Eje Neovolcánico.....	78
IV.2- Ciclos volcánicos de la parte central y sur de Mé xico.....	82

TERCERA PARTE : PETROLOGIA Y GEOQUIMICA.

Introducción.....	91
I.- ANDESITAS DEL OLIGOCENO "LOS AZUFRES".....	92
I.1- Características petrográficas generales.....	92
I.2- Características químicas generales.....	93
I.3- Conclusión.....	97
II.- RIOLITAS DEL MIOCENO.....	97
II.1- Características petrográficas generales.....	97
II.2- Características químicas generales.....	98
II.3- Conclusión.....	106
III.- IGNIMBRITAS "AMEALCO".....	107
III.1- Características petrográficas generales.....	107
III.2- Características químicas generales.....	108
III.3- Conclusión.....	113
IV.- ANDESITAS DEL PLIOCENO.....	113
IV.1- Características petrográficas generales.....	113
IV.2- Características químicas generalés.....	115
IV.3- Conclusión.....	120
V.- ANDESITAS Y RIOLITAS DEL CUATERNARIO.....	121
V.A- Andesitas asociadas a conos cineríticos.....	121

	pag.
A.1- Características petrográficas generales.....	121
A.2- Características químicas generales.....	123
A.3- Conclusión.....	126
V.B- Riolitas asociadas a cuerpos dómicos.....	127
B.1- Características petrográficas generales.....	127
B.2- Características químicas generales.....	128
B.3- Conclusión.....	131
<i>CONSIDERACIONES ECONOMICAS.....</i>	<i>133</i>
<i>CONCLUSIONES GENERALES.....</i>	<i>141</i>
<i>BIBLIOGRAFIA.....</i>	<i>146</i>
<i>PLANOS</i>	<i>153</i>

- R E S U M E N -

Se elaboró el estudio geológico-petroológico de las rocas comprendidas en la hoja "Presa Solís", Jerécuaro, Gto. (D.E.T.E.N.A.L. F-14-C-85), zona eminentemente volcánica, que consta de derrames de lava, flujos piroclásticos y depósitos de caída aérea; clasificados como andesitas, dacitas, riodacitas y riolitas. Estas, de carácter calco-alkalino, forman diversas estructuras tales como volcanes de tamaño regular, conos cineríticos, domos y mesetas de lava. Los diferentes episodios volcánicos se ubican en tres períodos principales: el Oligo-Mioceno, con dominio de rocas ácidas; el Mio-Plioceno, con dominio de rocas intermedias-básicas; y el Plio-Cuaternario, con dominio de rocas intermedias-ácidas. Para los eventos Mio-Pliocénicos, se plantea un modelo de evolución regresiva, producido por un zoneamiento gravitacional de la cámara magmática, que podría involucrar a los episodios más recientes. Además, se describe un fenómeno de cristalización fraccionada para los eventos Plio-Cuaternarios. Finalmente, se esboza de manera preliminar, un origen común para los productos que forman a las diferentes estructuras de esta región (Sierras La Prieta, Puruagua y Los Agustinos).

- A B S T R A C T -

It was elaborated the geologic-petroologic studie of the rocks from the chart "Presa Solís", Jerécuaro, Gto. Mexico (D.E.T.E.N.A.L. F-14-C-85), zone eminently volcanic, that consist of lava sheddings, pyroclastics flows and ash-fall deposits; they are classified like the andesites, dacites, rhyodacites and rhyolites. Rocks of Calc-alkaline composition; they build structures such as volcanos of regular size, scoria cones, domes and lava-plateaus. The different volcanics events are grouped in three main periods: the Oligocene-Miocene, with a domain of acids rocks; the Mio-Pliocene, with a domain of intermediate-basics rocks; and the Plio-Quaternary with a domain of intermediate-acids rocks. For the Mio-Pliocene eventes, it is propose a model of regressive evolution, product of a gravitational-zoning of tha magmatic chamber, and this evolution could reach the more-recent events. Furthermore, it is described a fractioned cristalitation-phenomen for the Plio-Quaternaries events. Finaly, it is sketched, of preliminary character, that the products of the differents structures (Sierras La Prieta, Puruagua and Los Agustinos), could have a common origin.

PRIMERA PARTE

ASPECTOS GENERALES
DE LA ZONA

I. INTRODUCCION GENERAL.

El presente trabajo se realizó fundamentándose con el principio básico de toda investigación, es decir, buscar "algo nuevo" para estudiar y así aportar una serie de datos que conforman una verdadera investigación, sobre un lugar donde anteriormente no se había realizado algún estudio geológico.

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

Como se verá en el contenido, se proponen algunas hipótesis importantes, sobre todo para los eventos ácidos que se presentan. Por las limitaciones impuestas por los objetivos de este trabajo, no fue posible comprobar las proposiciones establecidas, sin embargo, se pretende que las ideas aquí expuestas, sean el inicio de trabajos más intensos que deberán concluir afirmativa o negativamente los postulados aquí ofrecidos.

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

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

En base a lo anterior, se puede decir que el objetivo principal del estudio, fué el realizar un trabajo geológico-petrológico de una zona, netamente volcánica, someramente estudiada para obtener 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 o por desarrollarse sobre el Eje Neovolcánico.

Desde el punto de vista económico, puede decirse que este trabajo es un estudio preliminar que puede apoyar en la búsqueda de la energía geotérmica y no se descarta la posibilidad de que las conclusiones obtenidas contribuyan al conocimiento metalogenético del territorio mexicano. Se considera que las ideas aquí plasmadas, colaboran al entendimiento y comprensión de los eventos geológicos acaecidos en el llamado Eje Neovolcánico Transmexicano.

II. GENERALIDADES

II.1- LOCALIZACION Y EXTENSION.

El área de estudio se localiza en la intersección de -- los siguientes estados : al sureste, Guanajuato; al suroeste - Querétaro y al noroeste Michoacán (fig. I.1); entre los paralelos $20^{\circ}30'N$ y $20^{\circ}15'N$ y los meridianos $100^{\circ}20'$ y $100^{\circ}40'$ - de long. al W de Greenwich.

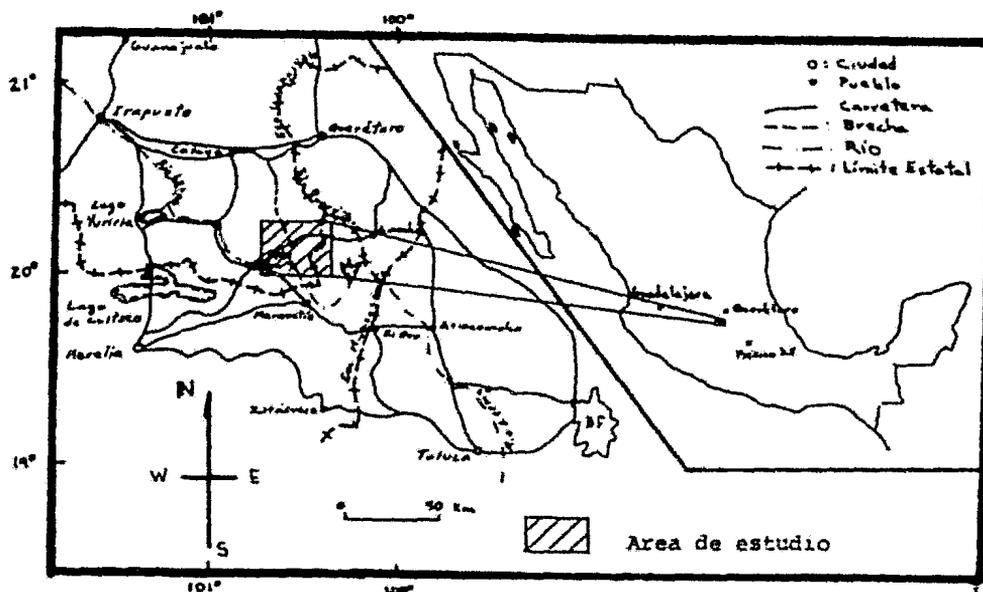


Fig. I.1 : Localización del área de estudio y vías de comunicación.

La superficie de la región cubre la carta topográfica-- D.E.T.E.N.A.L. No. F-14-C-85, escala 1:50,000, denominada "Presa Solis", que tiene un área aproximada de 950 km²

II.2- VIAS DE COMUNICACION.

El área de estudio se ubica aproximadamente a 250 kms.-

al noroeste de la ciudad de México. Su acceso puede realizarse por la carretera federal No. 120, hasta el poblado de Jerécuaro, Gto. (fig. I.1); esta carretera continúa hasta la ciudad de Acámbaro, Gto. (unos 30 kms. al sureste de Jerécuaro) uniéndose ahí con la carretera federal No. 55, que comunica la ciudad de México con la de Morelia, Mich., pasando por una gran cantidad de poblados de menor importancia (Tarandacuao, Maravatío, El Oro, etc.). Además es posible llegar al área de trabajo por la autopista de cuota No. 57 México-Querétaro, desviándose hacia el oeste a la altura del km 170, donde se le une la carretera federal No. 120, que pasa por los poblados de Galindo, Amealco, Coroneo, Jerécuaro y Acámbaro.

De manera secundaria se cuenta con numerosos caminos y brechas de terracería transitables durante todo el año, así como brechas no transitables en la época de lluvias, que comunican un gran número de rancherías existentes en la zona.

II.3- POBLACION Y CULTURA.

Los poblados más grandes e importantes dentro de la zona de estudio, son Jerécuaro y Tarandacuao, Gto., ambos con una población aproximada de 6,000 habitantes. Cuentan con todos los servicios indispensables, tales como agua potable, energía eléctrica, teléfono, telégrafo, bancos y servicios médicos; además cuentan con el servicio continuo de autobuses provenientes de las ciudades cercanas, como Querétaro, Acámbaro, Celaya, etc.

La mayoría de las rancherías del área cuentan con el servicio de energía eléctrica, así como en algunas existe el servicio de agua potable, que la obtienen de pozo o manantial.

El nivel máximo de estudios que se puede obtener en esta región, es la secundaria, que se imparte en los poblados de Jerécuaro y Tarandacuao. Los ranchos de mayor número de habitantes, cuentan con escuelas primarias rurales, como son Puruagua, San Pablo, Tacambarillo, El Salto de León, La Estanzuela, etc., donde éste último cuenta además con una secundaria técnica agropecuaria dependiente de la S.A.R.H.

La actividad fundamental de la región es la agricultura; se siembra maíz y en menor cantidad el trigo, sorgo, cebada, calabaza, lenteja y frijol; también la mayoría de sus pobladores se dedican a la crianza de ganado del tipo ovino, porcino, caprino y vacuno.

II.4- CLIMA Y VEGETACION.

En general, la región posee un clima templado, durante todo el año, con un promedio anual de 20°C de temperatura; una máxima de 32°- 35°C en la época de calor (mayo y junio) y de 8°- 10°C en la época de frío (diciembre y enero).

Según la clasificación de Köppen (en Tamayo, 1974)*, las condiciones climáticas medias de la región, corresponden a la clave "Cwg"; donde: C= clima templado, moderado, lluvioso; w= la época de lluvias es en verano; g= la temperatura máxima pro-

* Tamayo J.J. (1974). -Geografía Moderna de México. Inst. Mex. Inv. Econom. v.2.

medio mensual es en mayo.

La época de lluvias se presenta en los meses de agosto, septiembre y octubre. La precipitación se efectúa en una superficie bastante reducida, que se limita a las partes altas, topográficamente hablando, ya que pocas veces se presenta en los valles formados entre los macizos montañosos.

Las superficies de alta montaña están cubiertas de vegetación, en su mayor parte coníferas, como son : pino, copal, madroño, linaloe, etc.; mientras que en las zonas bajas o valles, se tienen las parcelas donde se siembra; que ocupan la mayor parte de las superficies disponibles.

La vegetación silvestre, como el zacatón liso (pasto, Muehlenbergia gracilis), el trébol del monte (hierba medicinal - aromática, Didyma mexicana), capulincillo (arbusto, Heliocarpus sp.), ocote blanco (árbol resinoso, Pinus leiophylla), encino delgado (proporciona madera, Quereus laurina), y bordeando los arroyos y ríos, el eucalipto (árbol medicinal aromático, Eucalyptus sp.), completan las diferentes especies que se desarrollan en la región.

III. FISIOGRAFIA

III.1- PROVINCIA FISIOGRAFICA.

Según la clasificación del Ing. López Ramos (1974), el área estudiada se encuentra incluida en la provincia del Eje Neovolcánico (fig.I.2), quien la define de la siguiente manera : "el Eje Neovolcánico es una cadena volcánica compuesta totalmente de lavas y materiales piroclásticos, cuya petrología es muy homogénea, encontrándose rocas basálticas, andesíticas y riolíticas. Su anchura varía de 50 a 150 km, longitudinalmente atraviesa de este a oeste a la República Mexicana."



Fig.- I.2 : Provincia del Eje Neovolcánico (Demant et al,1975).

*López Ramos E. (1974).- Geología de México. México,D.f.,v 3, p 23-36.

Esta cadena montañosa ha recibido varios nombres, desde "Zona Eruptiva" por Ordoñez (1896); "Sierra del Anahuac" por Blásquez (1953); "Neovolcanic Plateau" por E. Raisz (1969) ; "Faja Volcánica Transmexicana" por Mooser y Maldonado (1967); "Eje Neovolcánico" por López Ramos (1972) y finalmente "Eje Neovolcánico Transmexicano" por Demant et al. (1976).

III.2- HIDROGRAFIA.

La zona estudiada pertenece al sistema hidrográfico -- "Lerma-Chapala-Santiago", el cual está formado por dos grandes ríos (Lerma y Santiago), y un lago (Chapala) que es donde -- vierten sus aguas (fig.I.3).

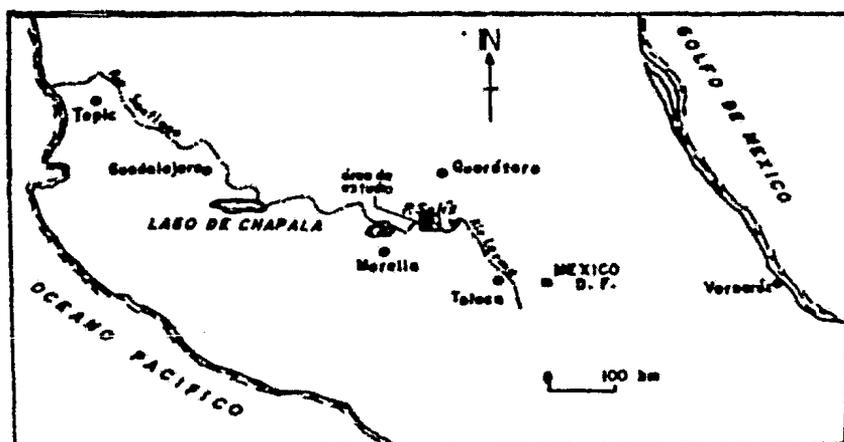


FIG.I.3 : SISTEMA HIDROGRAFICO "LERMA-CHAPALA-SANTIAGO".

El Río Lerma nace en la laguna del pueblo de Almoloya-del Río, es alimentado por siete manantiales y atraviesa la campiña toluqueña y michoacana, hasta desembocar en el Lago

de Chapala. En su recorrido se le unen varios afluentes, en los que se incluyen todos los arroyos y ríos del área de estudio, como el Río Tigre y el Arroyo Cebolletas.

Como rasgos hidrográficos importantes en la zona, se tienen la extensa Presa Solís (S.A.R.H.), la presa Angel Juárez- (S.A.R.H.) y la presa La Cebolleta (S.A.R.H.), que se alimentan por el Río Lerma y sus afluentes (ver plano No.1), siendo la principal, por tamaño la Presa Solís; la segunda alimentada por el Río Tigre, corre de este a oeste, pasando junto a los poblados de Coroneo y Jerécuaro, y la tercera, por el Arroyo Cebolletas, que corre de sur a norte, hasta unirse con el Río Tigre. Todas las presas antes mencionadas son del tipo derivadoras, por lo que, su principal función, es el riego. Además se cuenta en esta región una gran cantidad de arroyos y bordos; la mayoría de los arroyos son jóvenes y se caracterizan por su naturaleza consecuente-destructiva. Existen también abundantes manantiales, termales y de agua fría (ver plano No. 1), estos últimos nacen en las faldas de las sierras, mientras que los termales nacen en los valles, cerca de los poblados de Puruagua, Tarandacuao y Acámbaro.

III.3-GEOMORFOLOGIA.

El paisaje del área muestra varias formas, entre las que se tienen: montañas (volcánicas), cerros (volcánicos), mesetas (de lava), acantilados (producto de fallas y fracturas), derra-

mes horizontales rellenas las partes bajas, y ocasionalmente depósitos de aluvión, confinados a las cercanías o causes de los arroyos.

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

Los procesos constructivos son muy importantes, por su influencia en la configuración del paisaje, ya que todas las montañas y cerros del área, son de origen volcánico, asimismo, los valles están formados por rellenos de tobas volcánicas y flujos piroclásticos.

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

Un análisis más profundo sobre estos procesos se hará en el capítulo de tectónica, pues están directamente relacionados con los procesos geotectónicos de la región.

Los procesos destructivos, 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 cárcavas en los depósitos suaves, como las tobas, y profundas cañadas que se han formado a través de las fracturas y fallas en las rocas.

III.4- OROGRAFIA.

La orografía en esta región, como en muchas otras del país, está en estrecha relación con la constitución geológica del terreno, y en ella se distinguen las siguientes formas : sierras volcánicas escarpadas, conos volcánicos aislados, mesetas de lava y de flujos piroclásticos.

Los rasgos más importantes de la región son :

- La Sierra de Los Agustinos.
- La Sierra de Puruagua.
- La Sierra Prieta.
- Las estribaciones de la Sierra de Los Azufres, que se encuentra fuera de la zona.

La hoja Presa Solís, que corresponde a este estudio, sólo abarca parte de estas sierras, ya que se extienden mucho más allá de los límites del área estudiada.

La Sierra de Los Agustinos :

Esta sierra se encuentra al noroeste de la hoja. Está coronada por dos conos volcánicos que forman los picos más altos de la misma (uno con una altitud de 3,110 msnm y el otro con 3,000 msnm). Esta sierra tiende a describir una traza circular; ocupa la cuarta parte de la zona estudiada, lo cual abarca una superficie aproximada de 150 km².

La Sierra de Puruagua :

Se localiza en el sureste de la hoja . Es otra estructura

ra de grandes dimensiones, que tiende a presentar una traza de forma elíptica alargada, con una dirección NNW-SSE, alineándose con la mayoría de las estructuras regionales que contactan el Eje Neovolcánico. Esta sierra es la más escarpada y accidentada de toda la región. En su lado más abrupto existen acantilados de paredes verticales con desniveles de hasta 80 mts., además de profundos cañones por donde descienden los arroyos que drenan toda la sierra. Las alturas máximas de esta sierra son: el pico Las Tres Cruces, con 3050 mts., y el cerro Los Rosillos con 3170 mts. En su parte central, (la más alta), se presenta una planicie con una anchura de 8 kms. aunque hay partes que llega a ser hasta de 12 kms.

La Sierra La Prieta :

Se localiza al noreste de la hoja; ésta, como la sierra de Los Agustinos, sólo ocupa una pequeña porción de ella. Al observar la estructura completa, se puede comparar con la Sierra de Los Agustinos, en forma y dimensiones, ya que también tiende a ser circular. Su altura máxima no aparece en esta hoja, pero son los cerros Prieto, Pidincuas y Don Félix, con 2800 mts. los dos primeros y 2900 mts. el tercero, que se localizan al centro de la sierra.

Las estribaciones del macizo Los Azufres :

Se encuentra en la parte suroeste de la hoja. Se trata sólo de una parte de una estructura volcánica, que como las-

sierras antes mencionadas, constituye una traza circular fácilmente observable en la imagen de satélite ERTS F-3 obtenida en la región.

La parte que queda incluida en la carta objeto del presente estudio, se caracteriza por estar compuesta por una serie de bloques que materializan un escalonamiento debido al intenso fracturamiento E-W, que ha afectado la mayor parte - de las estructuras del Eje Neovolcánico.

IV. METODO DE TRABAJO

IV.1- METODO DE TRABAJO.

El método utilizado en el desarrollo de este trabajo, se basa en las siguientes fases o etapas :

- 1)- En la primera fase se recopiló e investigó la bibliografía y cartografía existente en/o cerca del área de estudio - revisando tanto trabajos regionales como estudios locales que la incluyen.
- 2)- En la segunda etapa se realizaron salidas de reconocimiento preliminar al campo, para familiarizarse con las rocas y geología del lugar.
- 3)- La tercera etapa consistió en cartografiar las unidades litológicas y definición de estructuras geológicas, apoyándose en la fotointerpretación simultánea de las fotografías -- aéreas (esc. 1:50,000 DETENAL), que permitió delimitar de una manera más precisa los contactos y rasgos geológicos más importantes, complementándose con un muestreo general. Por último, los datos obtenidos fueron directamente vaciados sobre la reducción esc. 1:100,000 de la carta topográfica correspondiente, que se utilizó como plano base.
- 4)- La cuarta fase se dedicó al trabajo de gabinete, donde se afinaron los datos anteriormente obtenidos, y se interpretó la imagen de satélite ERTS No. F-3 (esc. 1:1,000,000 ampliada a 1:500,000), con el fin de obtener las relaciones entre las grandes estructuras regionales y las formas geológicas -

vecinas con la geología del lugar.

5)- Como quinta y última etapa, se elaboró un estudio petrológico y geoquímica, para fundamentar, de una manera más completa, la geología general realizada en el área de estudio. En esta fase se estudiaron láminas delgadas de cada uno de los eventos volcánicos del área y se realizaron los análisis químicos más convenientes, para definir su naturaleza y esbozar los fenómenos involucrados en la génesis de las rocas, producto de estos eventos.

IV.2- TRABAJOS PREVIOS.

De la investigación bibliográfica, que se realizó como primera etapa de esta tesis, se encontró con el problema de la escasez de trabajos locales realizados en el área de estudio (los que existen son de carácter muy regional). Entre estos últimos se puede citar los estudios realizados en el Eje Neovolcánico Transmexicano por diversos autores, tales como: Kenneth Segerstrom, (1950); Carl Fries, (1965); Federico Mooser, (1968, 1972, 1975); Demant-Silva, (1975, 1978); Silva Mora, (1979); A. Demant, (1981); C. Robin, (1982). Tales estudios son en su mayoría a escala regional, por lo tanto, los datos que de ellos se pueden obtener para esta área en particular, son de forma muy generalizada.

SEGUNDA PARTE

ESQUEMA GEOLOGICO
DE LA ZONA

I N T R O D U C C I O N

En este trabajo sólo se identificaron rocas de origen volcánico : basaltos, andesitas, riolitas y depósitos piroclásticos, que forman derrames de lava, cuerpos dómicos y conos cineríticos. Además de estas rocas, se puede citar a los depósitos aluviales, de menor importancia, que están confinados a pequeñas porciones de terreno, en los cauces de ríos y arroyos, así como a los depósitos de talud junto a las montañas.

Establecer la posición estratigráfica de las diversas unidades que afloran en una zona eminentemente volcánica, como es el caso, es difícil, ya que los diferentes derrames de lava son demasiado irregulares; en ocasiones se observa una sobreposición de éstos, y en otras, cuando su volumen es importante, rodean aparatos más antiguos, dando la impresión de que el más antiguo está sobre el más joven. La distribución horizontal de algunos derrames es muy extensa, mientras que otros poseen una corta extensión; y 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 presentes en este lugar.

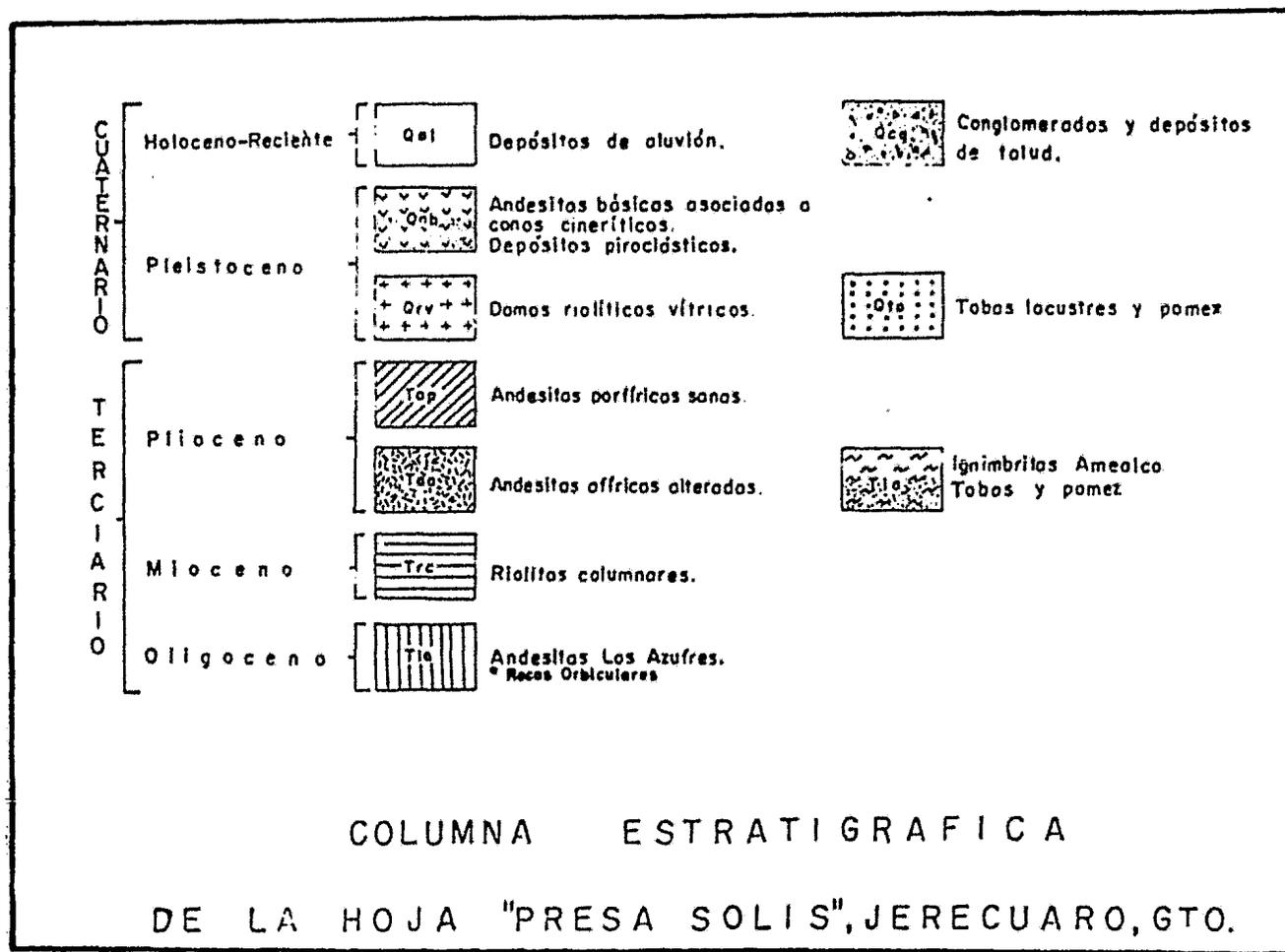


FIG. II. I

I . E S T R A T I G R A F I A

Por correlación con los estudios hechos por Demant et al (1975), en el Eje Neovolcánico, y el reconocimiento y verificación de datos en el campo, se pudo obtener la información geológica necesaria para establecer la columna estratigráfica (fig.II.1), cuyas características litológicas se describen en seguida.

I.1- SECUENCIA OLIGOCENICA.

* Andesitas "Los Azufres" :

Las rocas más antiguas en esta área, son las andesitas localizadas en las cercanías del poblado de Acámbaro, Gto. y en el flanco sur de la Sierra Agustinos. Por correlación con rocas incluidas en las hojas Morelia, Maravatío, Zinapécuaro (Silva-Mora L. 1979), se deduce que son parte de las estratificaciones del macizo de Los Azufres, es decir, constituyen parte de la secuencia andesítica de la región de Mil Cumbres en Michoacán.

En los afloramientos analizados, se reconocieron varios miembros con diferentes características para esta unidad : la parte inferior, constituida por rocas andesíticas de color gris oscuro, claro o amarillento al intemperizarse, y gris oscuro a la fractura. Sobreyaciendo a este paquete, se presenta una brecha volcánica de color café rojizo, formada por blo---

ques con diámetros de hasta 40 cm en una matriz arcillosa in temperizada .

A pesar de las diferencias físicas entre los miembros - de esta serie, se trata de rocas de la misma naturaleza, de - acuerdo a su composición mineralógica.

Presentan por lo general una textura porfirica, con feno cristales de plagioclasas de color rosa, semejante a la orto- clasa, coloración seguramente ocasionada por alteración, ya -- que se comprobó que se trata de oligoclasa (ver sección de - petrografía). Es posible observar a simple vista el zonea--- miento concéntrico que posee la mayoría de las plagioclasas; además se encontraron esporádicos enclaves de fragmentos de roca o xenolitos; todo esto rodeado por una matriz vítrea de color negro.

Se considera que la secuencia posee en su parte superior - al menos 500 m de espesor en el macizo de Mil Cumbres, pero , . aquí presenta un espesor promedio de 250 m aflorando.

A tal secuencia se le atribuye una edad Oligocena-Miocena, en base a dataciones K/Ar efectuadas en la región de Mil Cum bres, Mich. por parte de la Comisión Federal de Electricidad- (Silva - Mora Luis , 1976, 1979), dando una edad absoluta que varía de 18 a 13 M.a., aunque en el . área de estudio pu-- dieran ser más recientes (?), debido al buen estado de conservac ión en que se encuentran.

* R o c a s O r b i c u l a r e s .

Es conveniente mencionar de manera especial, por su rareza, la presencia de un afloramiento de rocas con estructura orbicular, definida de manera general por D.J. Levenson (1966) como "aquella roca que contiene estructuras formadas por un núcleo rodeado por anillos concéntricos, cuya textura y mineralogía puede variar entre cada uno de los elementos que forman estos cuerpos y la matriz que los contiene" (describiendo a la matriz como aquel material o roca que rodea a los orbículos), (fig.II.2).

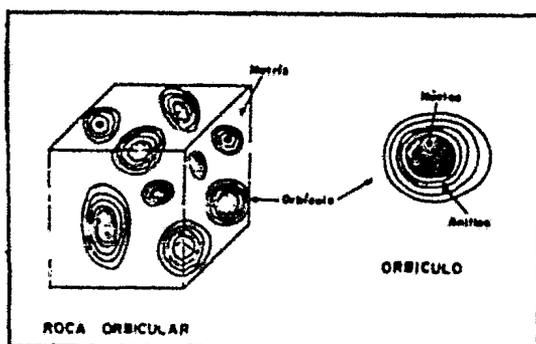


FIG.II.2 : PARTES QUE FORMAN UNA ROCA ORBICULAR
(Según Levenson, 1966).

Los cuerpos orbiculares pueden ser de formas esféricas, elipsoidales, irregulares o fragmentados debido a fenómenos de intrusión, asimilación parcial, recristalización o deformación.

Las facies orbiculares son muy raras en el mundo (fig.- II.3), generalmente en afloramientos muy locales, menores a -

los 100 m de diámetro.

El tamaño de los orbículos varía desde menos de 1 pulgada (2.54 cm) hasta más de 1 pie (30.48 cm) de diámetro.

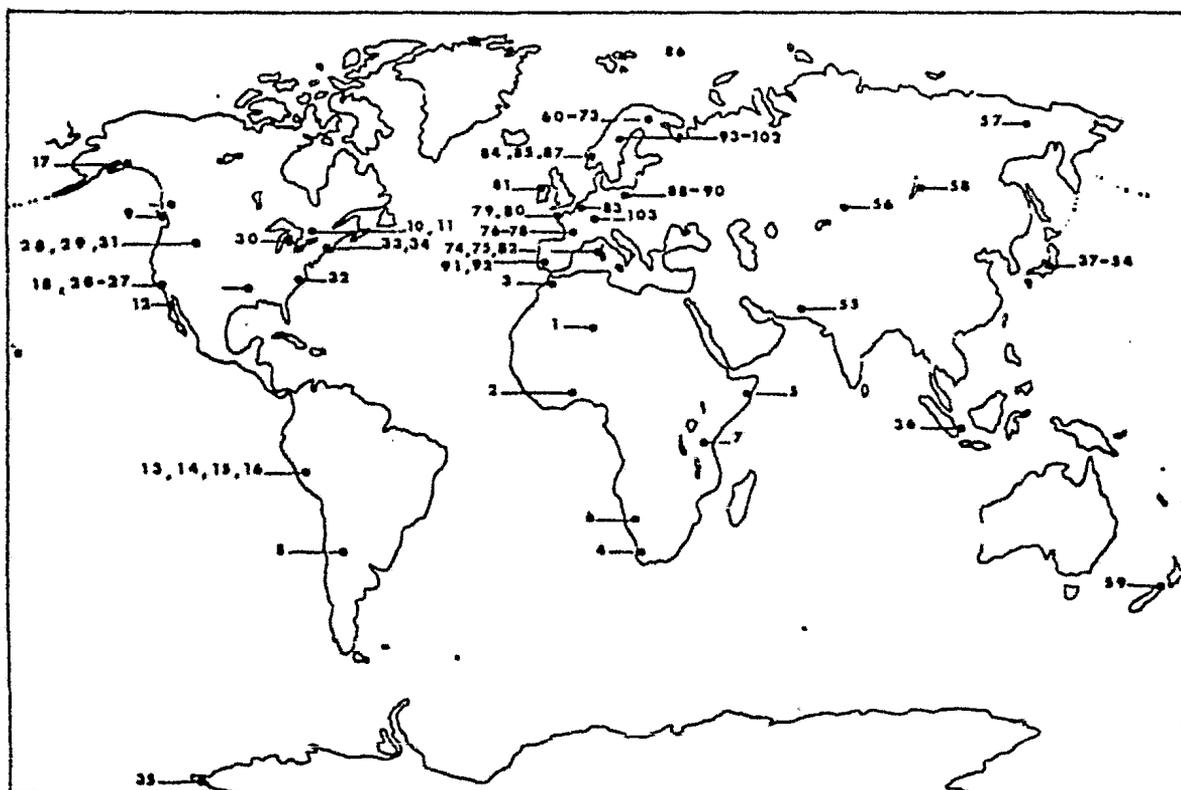


FIG.II.3 : LOCALIZACION DE LOS AFLORAMIENTOS DE ROCAS ORBICULARES EN EL MUNDO, REPORTADOS HASTA - EL AÑO DE 1966 (Levenson, 1966) .

Por otro lado, es conveniente mencionar que los términos orbicular, globular, esferulita, variolita y litofisa, se han --

considerado como sinónimos, a pesar de que cada término posee sus propias características y condiciones de formación; escogiendo para este caso en especial, el término "orbicular", por ser Levenson (1966) quien más claramente define a estas estructuras (aunque parece que fué Buch el que propuso el término "orbículo" en 1802) y cuya descripción concuerda con las características de las rocas aquí descritas.

+ Rocas Orbiculares de la Localidad de Piedras de Amolar :

En el poblado de Piedras de Amolar, Gto. (marcado con "1" en el plano geológico), se descubrió un afloramiento de rocas orbiculares (el segundo afloramiento orbicular reportado en México), que posee las siguientes características.:

- Los orbículos se encuentran contenidos en el derrame de lava de tipo andesítico, correspondiente a la unidad definida informalmente como andesitas "Los Azufres" del Oligoceno-Mioceno.
- Los orbículos son gigantes comparados con los reportados en la mayor parte del mundo, ya que miden aproximadamente de 0.50 a 1.50 m la mayoría de ellos, pero se tienen varios de mayores dimensiones (hasta de 2 m de diámetro).
- Los orbículos están muy juntos entre sí, casi no hay matriz entre ellos, ya que sus contactos son de orbículo a orbículo.
- Sus formas varían de esféricas a elipsoidales, pero también se tienen algunos de formas rectangulares, cuadradas o trian-

gulares (fig.II.4).

- Los núcleos también varían de forma y tamaño, siendo en general elipsoidales, con diámetros de 10 a 80 cm en su eje más largo.

- El número de capas externas o anillos es variable y de espesores irregulares. Si el orbículo es grande (p.ej. 2 m) se tiene un mayor número de anillos (p.ej. 9 anillos); si el orbículo es pequeño (p.ej. 0.40 m), se tiene un menor número de anillos (p.ej. 4 anillos). Pero no se observa una relación proporcional, entre los tamaños de los orbículos y el número de anillos que poseen, ya que por lo general, cuentan con 5, 6 ó 7, para tamaños promedio (0.50 a 1.50 m de diámetro en su eje más largo), (fig.II.4).

- Esta facie orbicular es local, como todas las reportadas en el resto del mundo; su área de afloramiento es menor de 1 km² aproximadamente.

- Gradualmente se pasa de la facie orbicular a una facie andesítica, cubierta por una brecha básica con abundantes fragmentos de escoria.

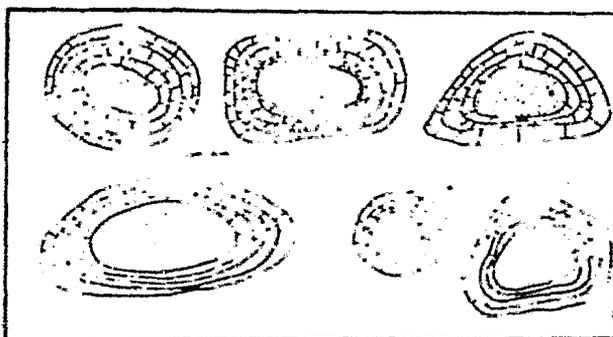


FIG.II.4 : DIFERENTES FORMAS DE ORBICULOS. Se muestra también el diferente comportamiento de los anillos.

+ Descripción de los orbículos :

- Núcleo.- el núcleo posee las características de un pórfiro andesítico, por la textura y mineralogía que presenta. Es diferente a los anillos, en lo que se refiere a textura y aspecto, pero no en cuanto a mineralogía, la cual es similar para ambos; sólo difieren en el contenido de minerales más ácidos (oligoclasa), que es mayor en el núcleo. En su mayoría presentan formas elipsoidales, con diámetros, generalmente de 18 a 35 cm (en su eje más largo); pero se encontraron algunos hasta de 80 cm de diámetro (en los orbículos más grandes). Todos los núcleos presentan una textura y mineralogía homogéneas, variando sólo su coloración, de un color gris oscuro (color original) a un color amarillento (coloración producida por el intemperismo que las afecta). La textura es granular, muy compacta, con la siguiente asociación mineralógica : olivino + clinopiroxeno (augita) + andesina, en una matriz formada por tridimita, se tienen además algunos opacos de tamaño regular (algunos hasta con 2 mm de tamaño), unos son de magnetita e ilmenita, y otros de bornita (?), que ocasionalmente se observa macroscópicamente. Por sus características petrográficas, este tipo de rocas se clasifica como un pórfiro andesítico que forma un cuerpo hipabisal (?).

- Anillos.- los anillos son numerosos; se presentan en una cantidad mínima de 4 y un máximo de 9, en promedio contienen de 5 a 7 anillos. Sus espesores son irregulares de un anillo a otro, no constituyen un patrón homogéneo, más bien, tienden a adelgarse hacia el núcleo (fig.II.5); sin embargo, esto no sucede en todos los casos; por lo común poseen espesores de 2 a 4 cm en las partes externas, y espesores menores a los 2 cm, en los anillos internos que hacen contacto con el núcleo, tendiendo a ser capas laminares (menores a 1 cm); aspecto que se generaliza en todos los orbículos.

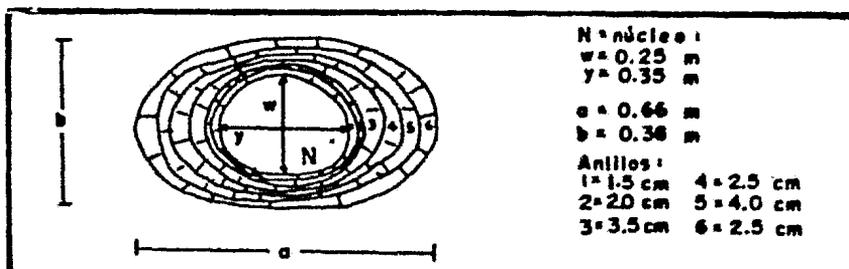


FIG. II.5 : CROQUIS DE UN ORBICULO (TAMAÑO PROMEDIO) DE LA LOCALIDAD DE PIEDRAS DE AMOLAR.

La textura es microcristalina, con aspecto tobáceo, cuando están alterados. Estos presentan los mismos minerales que el núcleo; se observan principalmente plagioclasas (oligoclasa y andesina), ortopiroxeno y abundante feldespato potásico en la matriz - junto con tridimita y opacos. Los anillos presentan un fracturamiento concéntrico y otro radial; el

concéntrico, debido al alineamiento de los minerales en el momento de su formación; el radial, posiblemente ocasionado por el enfriamiento diferencial que sufrieron los orbículos.

+ Hipótesis sobre el origen de las Rocas Orbiculares :

Existen numerosas hipótesis que tratan de explicar la -- génesis de la estructura orbicular, pero ninguna ha sido totalmente aceptada. Algunos piensan que los orbículos se forman - en la fase terminal de la cristalización, otros, los relacionan con la inmiscibilidad de los magmas, y aun otros dicen que tales estructuras se formaron de manera semejante a las esferulitas. A continuación, se exponen con más detalle, las hipóte-- sis que se consideraron las más adecuadas para este caso.

Levenson (1966), en la revisión bibliográfica que hizo sobre este tema, concluyó que los autores se refieren a dos causas que originan los orbículos : una magmática y otra metamórfica. Para el presente caso es obvio que la causa que originó a estas estructuras fué magmática. Las hipótesis que se relacionan mejor con la formación de las rocas orbiculares de esta - localidad son :

- 1) El modelo más sencillo es el que propone que los orbículos son producto de reacciones entre el magma y xenolitos (Nockolds, 1931; Koide, 1951; y otros; en Levenson, 1966).
- 2) Otra hipótesis compara a los orbículos con los "anillos de difusión" o "de Liesegang"; propone a los orbículos como posisi

ble producto de un mecanismo semejante al que crea dichos anillos (Liesegang,1913;Erdmannsdörffer,1924;en Levenson,1966) . Este consiste en la formación de un "gel" en el líquido que lo contiene (un gel es una mezcla gelatinosa que se origina primero en el líquido),alrededor del cual se van formando los anillos,por reacciones de dicho gel con el líquido residual ; es decir,los orbículos pueden ser la materialización de los anillos de difusión (obtenidos por métodos artificiales) en las rocas,o sea,su representación en la naturaleza,aunque esto,no ha sido totalmente aceptado.

3) La tercera hipótesis establece que la roca puede ser un "cuerpo subvolcánico" (V.Velousov,1979),que posee un comportamiento semejante al de los intrusivos hipabisales, donde se forman celdas convectivas, en las partes más superficiales, donde el magma presentaba o formó mezclas inmiscibles, alrededor de las cuales se originaron los anillos orbiculares.

Bowen (1928)* y Yoder (1980), explican el origen de este tipo de rocas, de manera más compleja, relacionándolos con la inmiscibilidad de los magmas, que forman las estructuras que llamaron "glóbulos". La evidencia de la inmiscibilidad en los glóbulos (orbículos), consiste básicamente en cuatro características que presentan dichas estructuras en sus formas : glóbulos distorsionados; glóbulos coalescentes; vesículas de gas junto a los glóbulos; variación de tamaño en los glóbulos. Relacionan a los glóbulos con la formación de tubos de lava, a-

* Bowen N.L. (1928).- The Evolution of Igneous Rocks. Princenton Univ. Press 334 p.

los centros de un derrame de lava; a las chimeneas o conductos volcánicos; o con el emplazamiento de sillis y diques, es decir, donde ocurre un desplazamiento de algún fluido (lava).

Ellos establecen que es difícil diferenciar a un glóbulo (orbículo) de una cristalización esferulítica, ya que ambas estructuras son producto de la inmiscibilidad en los magmas y además de formas esféricas. Sin embargo, mencionan que no existe relación entre los centros físicos (núcleos) de un glóbulo con los centros de un crecimiento esferulítico, es decir, las esferulitas presentan una cristalización radial, del centro hacia el exterior; mientras que los orbículos no presentan dicha cristalización, sino más bien, una cristalización en anillos concéntricos alrededor de un núcleo.

Iddings (1909) describió ciertas "riolitas esferulíticas" muy parecidas a las rocas orbiculares. Según él, "un bandeamiento concéntrico se puede formar en varios tipos de esferulitas", (anillos concéntricos), llamando a este tipo de cuerpos "litofisas" (lithophysae). También menciona que existen esferulitas en rocas riolíticas con diámetros hasta de 10 pies (3.04 m). Es muy posible que las esferulitas descritas por Iddings, se traten más bien de orbículos gigantes, como los descritos en este trabajo, ya que en ese año (1909) todavía no se tenía una definición precisa de las rocas orbiculares.

+ Conclusión :

Hasta el momento no se puede saber con certeza, si realmente estos cuerpos son orbículos, o si tal vez se trate de esfe-

rulitas. Para determinarlo, es necesario elaborar estudios más detallados, lo que se complica si se considera el problema de la escasez de bibliografía que existe sobre este tema. Sin em bargo, lo más probable es que se trate de rocas orbiculares -- con crecimientos gigantes, ya que presentan cristalización en anillos concéntricos alrededor de un núcleo, y no radial como las esferulitas.

Apoyándose en los estudios petrográficos realizados, es difícil pensar que estos cuerpos se formaron por la presencia de xenolitos, o cuerpos extraños en el magma que los originó, ya que tanto núcleos como anillos, poseen las mismas características mineralógicas. En base a esto, es más factible pensar que los orbículos se originaron a partir de celdas de convección, en un cuerpo hipabisal o subvolcánico, o de manera semejante a los anillos de difusión.

Por último, se ve que es muy conveniente realizar investi gaciones más a fondo sobre estas estructuras, y en particular, sobre las rocas orbiculares de la localidad de Piedras de Amolar, cuyos tamaños y características parecen ser excepcionales en este tipo de fenómenos geológicos.

I.2- SECUENCIA MIOCENICA.

* Riolitas Columnares :

Esta secuencia es muy extensa y de gran espesor; como se observa en el plano geológico, cubre una gran parte del área estudiada. Se le encuentra formando parte de la Sierra de Los Agustinos, extendiéndose hacia el sur, hasta la presa Solís; y constituye en su totalidad a la estructura volcánica de la Sierra La Prieta, localizada en la esquina norte del área de estudio.

Sus límites o extensión no se definieron, debido a que es tan cubiertos por otros derrames. Su base sólo se conoce en la localidad de El Sauz, donde las riolitas descansan sobre las andesitas de "Los Azufres".

Presentan diaclasas verticales producidas por enfriamiento o "juntas", generalmente formando columnas hexagonales de diferentes anchuras y tamaños (fig.II.6); horizontalmente las juntas se alinean en dos sistemas principales de fracturas : uno NE-SW y otro ENE-WSW, a veces, llegando a ser casi ortogonales, o sea, N-S y E-W respectivamente. Seguramente este diaclasamiento primario ayudó a la formación de las grandes fracturas secundarias (causadas por efectos tectónicos) que cortan a estas rocas, ya que ambos tipos de fracturas, poseen las mismas direcciones.

Su espesor es variable, ya que ocupa las partes bajas de una topografía anterior. En algunos escarpes o acantilados --

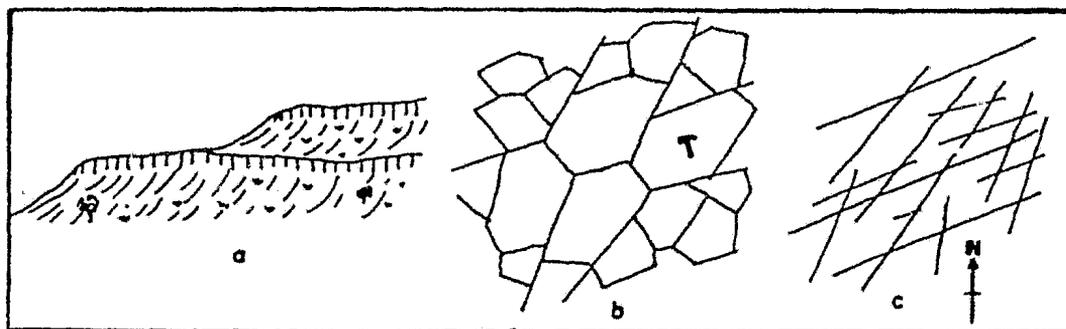


FIG.II.6 : ALGUNOS ASPECTOS DE LAS RIOLITAS COLUMNARES
 a) Vista panorámica de las riolitas columnares; se muestran los escarpes formados por el fracturamiento regional que las afecta.
 b) Columnas hexagonales. La anchura de las columnas varía , así como el tamaño de sus lados, formando, a veces, pentágonos, cuadrados o triángulos. -Corte transversal-
 c) Sistema de fracturas primarias en las riolitas miocenas -vista horizontal-

producto del fracturamiento que las afecta; se midieron entre los 50 y 100 m de espesor, aflorando sin que se observe su base. La Sierra La Prieta tiene una altura de 1,000 m sobre el valle donde se levanta, y está compuesta por estas riolitas, -- así como la Sierra de Los Agustinos, donde presentan grandes espesores, y es posible definir las direcciones de los flujos, que indican la ubicación de los puntos emisores, aspecto que permite atribuir a las dos sierras mencionadas, como puntos de origen de las riolitas.

Megascópicamente son rocas de color gris, con tonos rojizos, mientras que a la fractura son de color gris claro a rosado. Fue difícil encontrar muestras frescas, por la intemperización que las afecta; en las pocas que se hallaron, se observa que son rocas compactas, con fenocristales de plagioclasas, cuarzo, hornblenda y algunos fragmentos pequeños de roca (de -

diámetro menor a 1 cm); todo esto en una matriz formada de vidrio de color rosa o gris, según sea el grado de alteración.

La importancia de esta secuencia es grande, considerando que sólo en el área de estudio cubre una gran superficie (ver plano geológico), además se comprobó que estas rocas, se extienden mucho más allá de los límites del presente trabajo, permitiendo correlacionarlas con las "ignimbritas" del Mioceno de la zona de Morelia-Salvatierra, descritas por Silva M. (1979).

Por las características físicas y morfológicas que presentan, se pueden atribuir a estas rocas, la edificación de conjuntos dómicos de naturaleza riolítica e ignimbrítica, cuyas asociaciones forman a la Sierra de Los Agustinos y a la Sierra La Prieta; emisiones que posiblemente ocurrieron durante el Mioceno, pues en muchas partes las afecta la tectónica más reciente.

No se delimitaron las estructuras dómicas; en el caso de la Sierra de Los Agustinos, por estar cubiertas por derrames básicos recientes, eyectados por los dos volcanes que la coronan, pero se conocen algunas en el extremo NW y al W de dicha sierra (Silva M., 1979). En la Sierra La Prieta es más fácil distinguir estas estructuras, por la morfología que presentan (?), además de que en este lugar, no están cubiertas por rocas más recientes.

Para representar estos cuerpos dómicos en una carta, es necesario realizar una cartografía detallada de los rasgos pe

trológicos que materializan su forma, en este caso, definida con la interpretación de las fotografías aéreas y su verificación en el campo.

Resumiendo, en base a estas características, no es difícil pensar que estos conjuntos riolíticos podrían corresponder a una protocaldera (?), o tal vez, a una caldera totalmente desarrollada. Como evidencias preliminares, se pueden citar los conjuntos de domos riolíticos, asociados a derrames piroclásticos ácidos (ignimbritas), estos últimos, distribuidos en gran parte del área estudiada; además de las formas circulares que estos conjuntos describen, observadas en las imágenes de satélite.

En cuanto al área de estudio, incluye derrames y productos piroclásticos que permitirían definir este tipo de estructuras, salvo que en la mayoría de los casos, quedan fuera de zona considerada. Además, el determinar la etapa evolutiva de acuerdo con los modelos que se han establecido en relación a las calderas (Williams, 1941; Smith, 1968), sería tema suficiente para otra tesis.

Debido a las limitaciones de este estudio, no es posible profundizar más sobre este evento ácido, y establecer si realmente se tienen estructuras en caldera en este lugar; para determinarlos, será necesario realizar estudios más detallados sobre éstas y algunas otras semejantes que existen en la región (Los Azufres, Cerro Bravo, La Prieta, Los Agustinos), que describen trazas circulares, definidas por las imágenes de satélite.

I.3- SECUENCIA PLIOCENICA.

- PLIOCENO INFERIOR.

* Ignimbritas "Amealco" :

La unidad volcánica del Plioceno inferior, está formada - por tres miembros diferentes que yacen en el siguiente orden- (fig.II.7) :

- a) En la base, depósitos de tobas no soldadas o "ash-fall"
- b) Un paquete de pomez blanca.
- c) En la cima, un paquete delgado constituido por tobas soldadas.

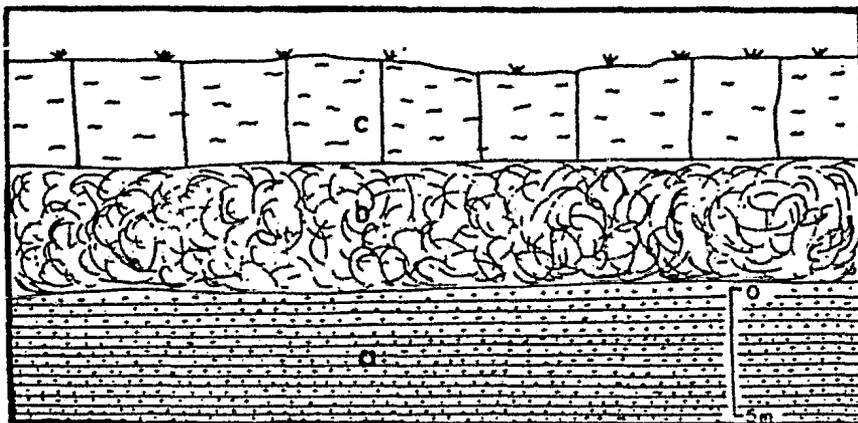


FIG.II.7 : MIEMBROS DE LA SERIE IGNIMBRITICA "AMEALCO".

- a) Tobas no piroconsolidadas : también conocidas como "ash -- fall" (Smith,1960b) o tefra. Este depósito está formado por - una secuencia de tobas estratificadas, en capas de 1 a 5 cm de espesor. Son tobas que se depositaron después de ser transportadas por el aire, dando lugar a una secuencia de estratos del

gados, muy bien definidos. Los granos que forman estos depósitos, varían en tamaño, desde cenizas hasta lapilli. Son de color gris claro, y en algunas partes, amarillentas, por efectos del intemperismo. Su espesor no se pudo determinar, ya que no aflora la base.

b) Horizonte de pomez : conocido también como "ash-flow" (Smith, 1960a). Este miembro es un paquete de pomez color marfil - gris claro o amarillento, según sea su intemperización. No se pudo medir su espesor, ya que no aflora completa. El máximo espesor medido fue de aproximadamente 5 m en una cantera al -- norte del poblado de Coroneo, Gto. Este paquete tiende a engrorsarse hacia el sureste, es decir, hacia la caldera de Amealco, por lo que es de suponer que estos flujos derivan de esa fuente.

c) Tobas soldadas : el siguiente miembro, está formado por un horizonte de tobas soldadas "welded ash-flow" (Smith, 1960b) ; es el paquete superior de esta secuencia, y presenta las siguientes características :

- Flujos de tobas piroconsolidadas muy compactas, de color -- gris oscuro (color debido a la gran cantidad de vidrio negro que contiene). Presenta lentes pilotaxíticos (obsidiana) distribuidos por todo el paquete, alineados con dirección NW-SE - (fig. II.8), lo que constituye otra evidencia de su origen, la caldera de Amealco.

- Presenta fragmentos de pomez y xenolitos de rocas de diferente composición, que se distribuyen por todo el horizonte.

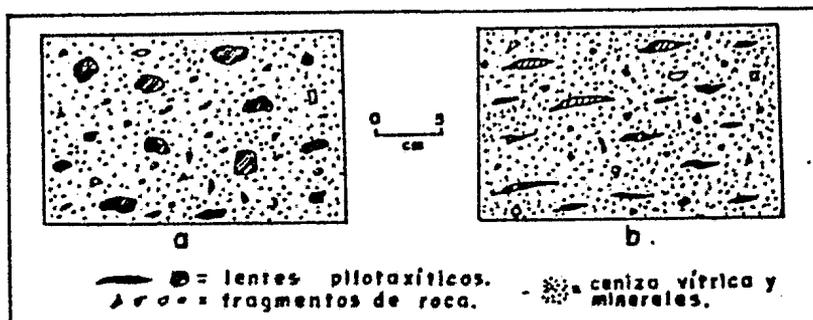


FIG.II.8 : ASPECTO DE LOS LENTES PILOTAXITICOS CONTENIDOS EN EL MIEMBRO DE TOBAS SOLDADAS DE LAS IGNIMBRITAS AMEALCO.

- a) Vista horizontal de los lentes.
b) Vista vertical de los lentes.

Esta secuencia ignimbrítica se atribuye al Plioceno inferior, por su posición estratigráfica con respecto a las otras unidades del área, además de la correlación con las ignimbritas de la caldera de Amealco descritas por Sánchez R. (1978).

- Plioceno inferior - Plioceno superior.

* Andesitas Afíricas y Porfíricas :

El Plioceno fue el periodo de mayor actividad volcánica en la evolución del Eje Neovolcánico. Esta actividad se refleja en la gran cantidad de volcanes que arrojaron lavas de composición basáltica y andesítica.

En el área de estudio, se tienen estas manifestaciones andesíticas en la Sierra Puruagua.

Dentro de esta sierra se reconocieron dos series andesíticas : una del Plioceno inferior, con rocas de textura afri-
ca, alteradas y foliadas, y otra del Plioceno superior, forman-
do las partes altas, con características químicas y físicas --
muy diferentes a la primera serie; pero, ambas derivadas de --
las mismas fuentes, los dos volcanes que constituyen la mayor-
parte de esta sierra.

* Andesitas Afiricas del Plioceno Inferior :

Esta serie consiste de varios derrames de lavas andesíti-
cas, localizados en el flanco norte de la Sierra Puruagua. Aflo-
ran en cortes sobre la carretera federal No. 120, desde la pre-
sa Angel de Juárez hasta el poblado de Jerécuaro, Gto.

Estas rocas poseen las características de un basalto, en-
cuanto a color, textura y mineralogía; sólo mediante la petro-
grafía y el análisis químico, fue posible distinguir las como -
andesitas básicas, siguiendo los conceptos que diversos auto-
res dan para definir una andesita básica (Johannsen, 1937; Wi-
lliams et al, 1953; y otros), quienes las describen de la si-
guiente manera :

- Johannsen (1937)* definió a las andesitas básicas como rocas
intermedias entre basaltos y andesitas, llamándolas "spurr" o
"aleutita". El describió a las andesitas "como rocas que con-
tienen fenocristales de plagioclasa ácida y uno o más biopirí-
boles (biotita+piroxenos+anfíboles), en una matriz formada por
los mismos minerales". El insistió que aún si los fenocrista-

* Tomado de Coats R.R. (1968).- Basaltic-andesites. Basalts, v 2, p 689-736.

les de plagioclasa tenían núcleos de labradorita, "el porcentaje de plagioclasa total de la roca, deberá ser más sódica - que $Ab_{50}An_{50}$ ", Usando el mismo criterio para los basaltos, - los cuales estaban compuestos esencialmente de "plagioclasa básica y biopiríboles".

- Williams, Turner y Gilbert (1954)*, reconocieron términos tales como "andesita básica" o "basalto-andesita", según se esté más cerca o lejos de un basalto típico o de una andesita. Hicieron la división entre basaltos y andesitas, sobre un promedio en la composición de las plagioclasas Ab_1An_1 . "Generalmente la composición promedio de la plagioclasa en los basaltos, es más cálcica que Ab_1An_1 , mientras que en las andesitas es más sódica". Sin embargo, esto no lo consideran suficiente para determinar esta división, por lo que "si los análisis químicos son aprovechados para calcular la plagioclasa normativa, el límite Ab_1An_1 , puede resultar muy satisfactorio; o si muestran que el porcentaje de sílice es menor que 52%, está justificado llamar a una roca basalto y, a su vez, un índice de color mayor a 40, generalmente corresponde a un basalto, y no a una andesita. Pero si hay duda, es mejor emplear términos como andesita-basáltica y basalto-andesítico, conforme al criterio aplicado para tal distinción".

- Taylor S.R. (1969)** en sus estudios sobre andesitas y basaltos, concluyó que la clasificación de éstas y en general de toda una serie (basaltos a riolitas) puede hacerse basándose -

*Tomado de Coats R.R. (1968). - Basaltic Andesites. Basalts v 2, p 689-736)

**Taylor S.R. (1969). - Trace element Chemistry of andesite. Proceed of andesite conf. Upper Mantle Project. Scientific report 16, st. Oregon ed 43-63.

en su contenido de sílice. Así, estableció los siguientes parámetros de SiO_2 : basaltos ($\text{SiO}_2 < 53\%$); andesitas básicas -- ($53\% < \text{SiO}_2 < 56\%$); andesitas ($56\% < \text{SiO}_2 < 62\%$); dacitas ($62\% < \text{SiO}_2 < 68\%$) y las riolitas ($\text{SiO}_2 > 68\%$).

A simple vista no se les observa ningún mineral, es decir, son rocas completamente afíricas, de color gris o rojizo al estar intemperizadas y gris oscuro a la fractura. Se encuentran en una etapa avanzada de alteración; presentan bandas paralelas de color blanco-grisáceo, ocasionadas por la alteración de ciertos minerales alineados, poco resistentes al intemperismo, como son las plagioclasas. En todo el derrame se presenta una foliación que es paralela a estas bandas, con rumbo y echado general de $18^\circ \text{SW} - 15^\circ \text{E}$, llegando a formar algunas veces pequeños pliegues, donde la roca está completamente lajeada, originados seguramente por la solidificación diferencial de la lava, al producirse el derrame.

Al sur del poblado de Jerécuaro, por el camino al pueblo de Puruagua, se localizó una estructura almohadillada o "pillow-lava", formada cuando la colada andesítica cayó en un medio acuoso, posiblemente en el antiguo lago que ocupaba el valle, al pie de la Sierra Puruagua. En este afloramiento se observa como el derrame varía de una roca vesicular andesítica (parte superior del derrame) hasta transformarse en las lavas almohadilladas (parte inferior), que están muy alteradas e intemperizadas, presentándose como "almohadillas de arcilla", conservando sólo el núcleo, como vestigios de la roca básica,

compacta, no muy alterada. Este aspecto permite confirmar la presencia de antiguas zonas lacustres en los valles intermontanos, así como asegurar una edad del Plioceno inferior para tal evento volcánico.

Estas andesitas cubren las riolitas columnares del Mioceno y subyacen a las andesitas que forman la Sierra de Puruagua, por lo que se consideran contemporáneas a las ignimbritas de Amealco.

* Andesitas Porfíricas del Plioceno Superior :

Este tipo de rocas ocupa gran parte del área de estudio, constituyendo casi en su totalidad la Sierra de Puruagua, donde las andesitas son las principales rocas constructoras.

En la parte central de la Sierra Puruagua se localizados volcanes que constituyen las partes más altas de esta escabrosa sierra, son los puntos emisores de estas andesitas.

En general toda la sierra, incluyendo las estructuras -- que la bordean (conos cineríticos recientes), presentan una alineación de dirección NNW-SSE, que refleja la existencia de accidentes regionales que le subyacen, que podrían relacionarse o haber favorecido el emplazamiento de estas rocas, es decir, constituyen zonas de debilidad, por donde ascendieron los magmas andesíticos (fig. II.9).

Las rocas presentes varían en textura y mineralogía de derrame a derrame; poseen texturas porfíricas, microlíticas o afaníticas, variando también su mineralogía, desde andesitas -

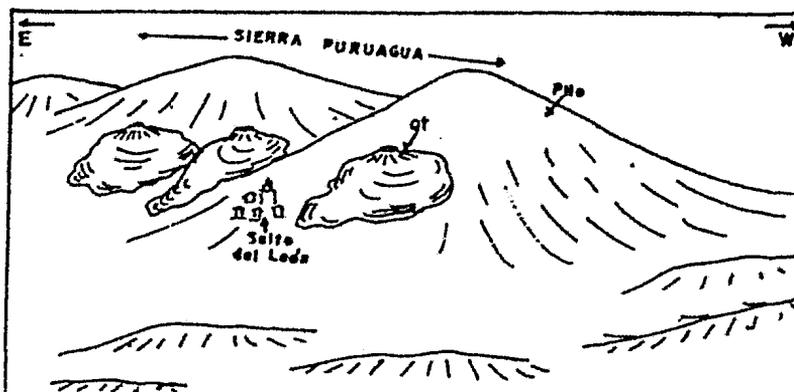


FIG.II.9 : CROQUIS DE LOS VOLCANES ANDESITICOS PLIOCENOS Y CONOS CINERITICOS RECIENTES QUE FORMAN LA SIERRA PURUAGUA. NOTESE EL ALINEAMIENTO NW-SE DE LAS ESTRUCTURAS.

con anfíboles hasta andesitas con piroxenos. Evolución magmática que está bien marcada en los esquemas geoquímicos respectivos (ver sección de geoquímica).

En las partes altas de la sierra, cerca de los puntos de emisión, las rocas tienen una textura porfírica, con fenocristales de plagioclasas y piroxenos, rodeados por una matriz de color gris oscuro, microlítica. Se observan además las direcciones de flujo de los derrames, que también son claros en las fotografías aéreas.

En algunos afloramientos de estas rocas, se observó un fracturamiento en lajas y capas, dando la apariencia de estar estratificadas, posiblemente producto del alineamiento de los constituyentes de la roca, en el momento del derrame.

Conforme se desciende hacia el valle, las rocas que se presentan son menos básicas, cambiando de andesitas con piroxenos a andesitas con anfíboles, notándose también un cambio en la coloración de la roca, de gris oscuro a gris claro, cambio debido al color de la matriz de la roca, que cada vez era más claro, conforme se aleja de los centros de emisión.

Los anfíboles que estas rocas contienen, son fenocristales grandes (hasta de 1 cm), alineados con una orientación --NE-50°, aspecto que representa una evidencia de la dirección de escurrimiento de estos derrames, es decir, descendieron de los puntos emisores de la Sierra Purugua.

En los diferentes afloramientos de esta serie de derrames andesíticos, no se detectó material vesicular o escoria, sino que se presentan formando bloques o lajas muy compactas. Un poco más retirado de esta área, en los afloramientos cercanos a Coroneo, Gto., se encontraron andesitas con vesículas pequeñas (desde 1 mm hasta 5 mm de diámetro), en su mayoría rellenas por zeolitas blancas. De igual manera, se presentan rocas vesiculares cerca del poblado de Purugua, Gto., sólo que en este afloramiento, las vesículas son más abundantes y de mayor tamaño (de 1 a 3 cm).

En las rocas vesiculares que se encuentran en el valle, la textura vuelve a cambiar, siendo más afanítica que porfiríca, aunque se observan algunos fenocristales de piroxenos; la matriz, que ocupa la mayor parte del volumen de la roca, es de color gris oscuro.

Estas lavas vesiculares, junto con algunas brechas volcánicas que se presentan alrededor de la Sierra Puruagua, son los frentes de los derrames andesíticos. Algunas veces estos límites están cubiertos por otros derrames o tobas más recientes.

Por su posición estratigráfica -directamente sobre las ignimbritas de Amealco y de la serie andesítica del Plioceno inferior- el conjunto de estos derrames andesíticos se atribuyen a episodios del Plioceno superior.

I.4- SECUENCIA PLEISTO-HOLOCENICA

* Andesitas Básicas Asociadas a Conos Cineríticos.

Los conos cineríticos, junto con los domos riolíticos, -- que se describirán posteriormente, son las estructuras más jóvenes en el área de estudio.

Los derrames andesíticos básicos se presentan como emisiones de conos cineríticos que están emplazados en diferentes partes de la zona. Los conos están formados principalmente de cenizas y escorias.

Casi todas las estructuras de este tipo arrojaron pequeños derrames, generalmente de corta extensión (1 a 3 km), aunque existen algunas excepciones, como los derrames que cubren la Sierra de Los Agustinos, que alcanzaron más de 5 km de extensión; lavas que fueron arrojadas por los dos conos de mayor tamaño (de su tipo) en el área, que se encuentran formando las partes más altas de esta sierra (fig.II.10).



FIG.II.10 : CROQUIS DE LA SIERRA LOS AGUSTINOS, MOSTRANDO LOS CONOS CINERITICOS QUE LA CORONAN.

Los conos cineríticos coronan o bordean las principales sierras (figs. II.9 y II.10), y en algunos casos, los derrames forman pequeñas mesetas de lava, o también derrames de bloque con autobrechamiento en los frentes.

Los derrames de los conos de la Sierra Puruagua, se caracterizan por ser lavas cordadas o pao-hoe-hoe; mientras que en los de la Sierra de Los Agustinos, abundan más las lavas en bloque o vesiculares, formando en este lugar, mesetas con espesores hasta de 15 m, que se aprecian en los escarpes, acompañados con escorias y cenizas.

En general, las andesitas son rocas afíricas, salvo algunas que presentan fenocristales de olivinos iddingsitizados y piroxenos. Son de color gris oscuro, casi negro, pero al intemperizarse son de color gris claro o rojizo en las zonas más alteradas.

Los conos raramente se encuentran aislados, la mayoría se alinean en grupos de dos o tres aparatos, que materializan perfectamente la dirección de las fracturas regionales presentes en la zona, es decir, siguen un rumbo NW-SE y E-W. Este aspecto se observa claramente en la Sierra Puruagua, donde existen varios conos alineados en esas direcciones, bordeando a las grandes estructuras andesíticas que la constituyen (ver plano geológico). Lo mismo sucede con los volcanes de la Sierra de Los Agustinos, que tienen una orientación NW-SE. Rasgos que indican claramente la existencia de fracturas, posibles conductos por donde ascendió el magma, aprove-

chando las zonas de debilidad, y facilitando el emplazamiento de los pequeños conos; además, materializan la dirección de - accidentes geológicos regionales, ya que dichos alineamientos coinciden con el fracturamiento regional de la zona (NW-SE), atribuido en algunos casos, a eventos tectónicos más antiguos (ver sección de Tectónica).

Los conos cineríticos (junto con los domos riolíticos -- que se describen a continuación) y sus derrames andesíticos, constituyen las manifestaciones volcánicas más recientes en el área de estudio; prueba de ello, son las formas cónicas -- bien conservadas que presentan los pequeños volcanes, aún sin ser afectadas por la erosión, considerando que estos aparatos están formados por materiales fácilmente erosionables, como - son la ceniza y las escorias. Además de esta evidencia física, estas rocas siempre se presentan sobre todas las unidades anteriormente descritas, por lo que las más jóvenes podrían - ser del Holoceno. En conclusión, estas estructuras y las ro-- cas andesíticas emitidas, corresponden a eventos desarrolla-- dos entre el Pleistoceno - Reciente.

* Domos Riolíticos Vítricos :

Son rocas con una matriz vítrea negra, con fenocristales de plagioclasa y sanidino, que se podrían clasificar como vitrófiros riolíticos, que erigieron cuerpos dómicos.

Muchas veces se llegan a observar bandas constituidas - casi totalmente por plagioclasas, alternando con bandas de ob

sidiana. Estas bandas son paralelas y representan la dirección del flujo del magma; se forman cuando el domo brota a la superficie (H.Cloos,1921;en Hills,1977),y describen trazas - circulares o elípticas,que se materializan con la dirección de las capas o bandas,que son paralelas a las paredes de éste (fig.II.11).

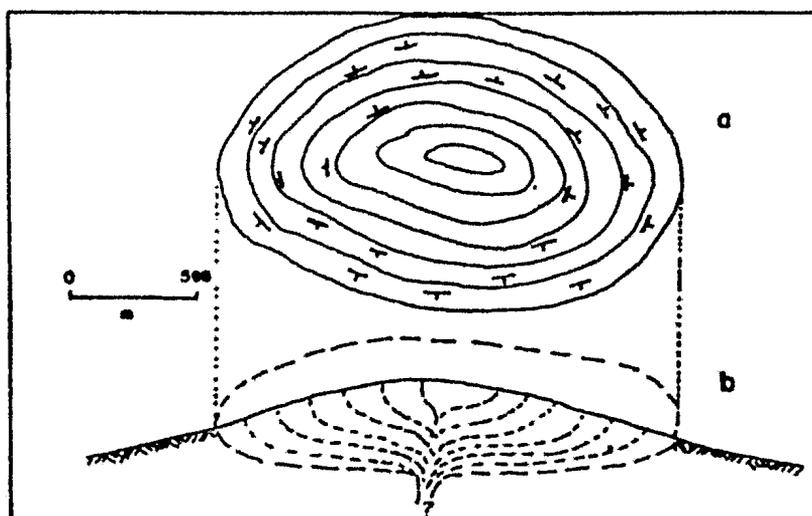


FIG.II.11 : CROQUIS DEL DOMO RIOLITICO DE SAN MATEO
(100°20' long W - 20°06' lat N).
a) Traza horizontal del domo.
b) Traza vertical del domo.

En el campo se verificó la presencia de dichas estructuras, identificando algunos de los elementos que las materializan, como bandeamiento y, algunas veces, la foliación originada por éste; complementando tal verificación con datos cuantitativos, que prueban la existencia de estas estructuras (medición de rumbo y echado de las bandas).

La mejor exposición de este tipo de rasgos, se encuentran en los domos cercanos al rancho San Mateo (fig.II.11).

Estas rocas son compactas y muy resistentes al golpe, pero por su alto contenido de vidrio, son fácilmente erosionadas y alteradas (desvitrificadas); influyendo también a esto, el diaclasamiento vertical y radial que presentan las estructuras (fig.II.12), pues permiten la percolación del agua, ayudando así a su rápida destrucción.

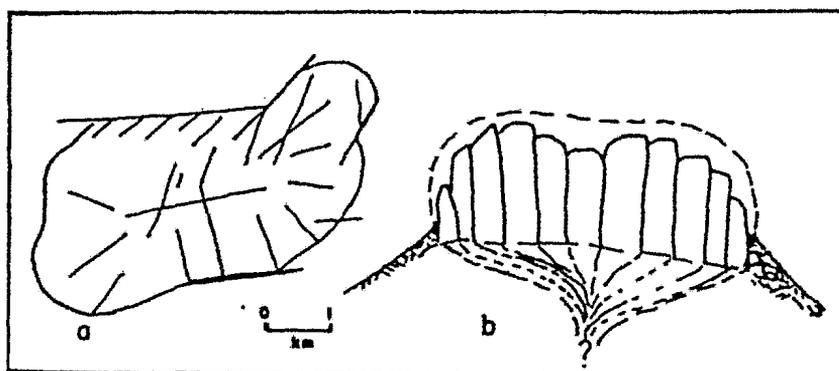


FIG.II.12 : CROQUIS DE LOS DOMOS RIOLITICOS DE CHILARILLO (Cerros Puruagua y Del Aire : $100^{\circ}24'$ a $100^{\circ}27'$ longW y $20^{\circ}04'$ a $20^{\circ}07'$ latN).
 a) Diaclasamiento radial de los domos riolíticos -vista horizontal-.
 b) Diaclasamiento vertical de los mismos domos.

Estos cuerpos riolíticos son estructuras muy recientes, pues existen dataciones de domos muy semejantes, cercanos a esta zona (Los Azufres, Mich.), hechas por la C.F.E., que resultan entre 1,500,000 y 700,000 años (Silva Mora Luis, 1979)

En el área descansan directamente sobre las andesitas porfíricas de la Sierra de Puruagua, por lo que su

formación fue durante el Pleistoceno.

* Tobas y Pomez :

Como evento asociado a los domos riolíticos, se presenta una gran actividad de naturaleza piroclástica ácida, que está representada por fuertes espesores de pomez y tobas (cenizas y lapilli), muchas de las cuales cayeron en un medio lacustre, formando una secuencia estratificada de tobas, alternando con delgados horizontes blancos de sedimentos lacustres.

Las tobas son del tipo de caída aérea (ash-fall, según Smith, 1960), que se caracterizan por formar depósitos horizontales muy finos.

El tamaño de los fragmentos de pomez es variable, desde 1 mm de diámetro hasta fragmentos de aproximadamente 10 cm de diámetro; en general se trata de lapilli, con tamaños entre 1 y 2 cm.

Por su parte, las tobas varían poco de tamaño, desde cenizas muy finas hasta lapilli del tamaño de la arena, formando así depósitos muy parecidos a los que forman las areniscas en las rocas sedimentarias, sólo que en este caso, las partículas vulcanoclásticas no presentan indicios de abrasión por transporte.

La pomez es de color marfil al fresco, pero al intemperismo puede ser gris o amarillenta. Las tobas que no cayeron en un medio lacustre, son de color gris y pardo al intemperismo

mo; mientras que las tobas lacustres, son de color blanco, muy puro, dando la apariencia del caolín.

Las tobas lacustres se encuentran en las partes más bajas del área de estudio, ocupando la mayor parte del valle -- donde se construyó la presa Solís. Algunas veces se encuentran estratificadas, en capas horizontales de espesores variables, las más comunes son de unos 5 cm de espesor. Otras veces forman depósitos masivos de color blanco, que perdieron su estratificación original, por los efectos del medio en que se depositaron, es decir, sumergidas en un antiguo lago.

Su gran extensión se debe a que fueron varios los puntos emisores que las eyectaron, posiblemente los mismos que originaron a los domos riolíticos, descritos en la unidad anterior.

Estos depósitos se les encuentra sobre las riolitas columnares del Mioceno, sobre las andesitas del Plioceno y alrededor de los domos riolíticos. Esto se debe a su amplia distribución, ya que cubren de manera homogénea a todas las unidades anteriores.

Debido a su posición en el terreno, se concluyó que estos depósitos pumíticos y tobáceos son del Pleistoceno-Holoceno; posiblemente, en algunos casos, son contemporáneos al emplazamiento de algunos de los domos riolíticos.

II. ESTRUCTURAS Y TECTONICA

Como se mencionó, el estudio queda localizado dentro de la provincia geológica del Eje Neovolcánico, y por lo tanto, la tectónica de esta región tiene mucha relación con las características generales de esta provincia. Debido a esto es conveniente describir la tectónica apoyándose en los estudios hechos sobre el Eje Neovolcánico, describiendo brevemente sus características generales, para posteriormente concretar la descripción al área de estudio.

II.1- CARACTERISTICAS TECTONICAS DEL EJE NEOVOLCANICO.

El Eje Neovolcánico constituye uno de los rasgos más característicos de la geología en México, por su orientación con respecto a la Fosa de Acapulco y otros rasgos geológicos de importancia; la primera marca la zona de subducción de la placa de Cocos debajo de la placa Norteamericana, mecanismo al que se atribuye el origen de los magmas andesíticos de dicha estructura (Demant, 1978, 1981) (fig. II.13).

Por otra parte la influencia y modificaciones que sufrió en el Mioceno tardío la Cresta del Pacífico Oriental (salto de ésta hacia el oriente), que dió origen al cambio del régimen rotacional y de subducción de la placa de Cocos (Atwater, 1970) explica las diferencias que se manifiestan entre la parte central-oriental del Eje Neovolcánico, según Demant (1978), (mag--

mas calcoalcalinos y alcalinos respectivamente) y su parte -- occidental, donde se presentan algunos magmas alcalinos, que se drian calificar de rarezas (La Primavera en Guadalajara y - el norte del volcán de Colima), (Luhr-Carmichael, 1980, 1981). Di cho de otra manera, el elemento geodinámico que permite expli car este magmatismo en la parte occidental del Eje Neovolc ánico, es el derivado de la Cresta del Pacífico Oriental (East Pacific Rise) y la placa Norteamericana, que por su movimiento de deriva hacia el poniente, se fue acercando más y más a la - Cresta del Pacífico Oriental hasta desaparecer a lo largo de-

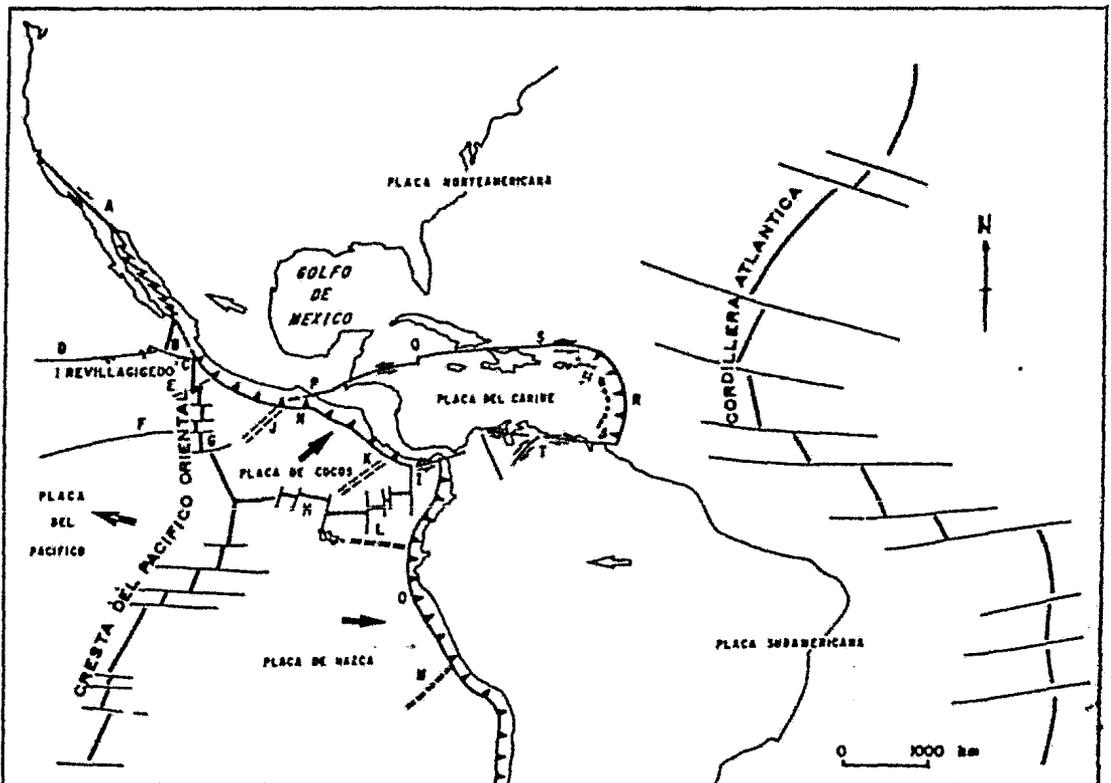
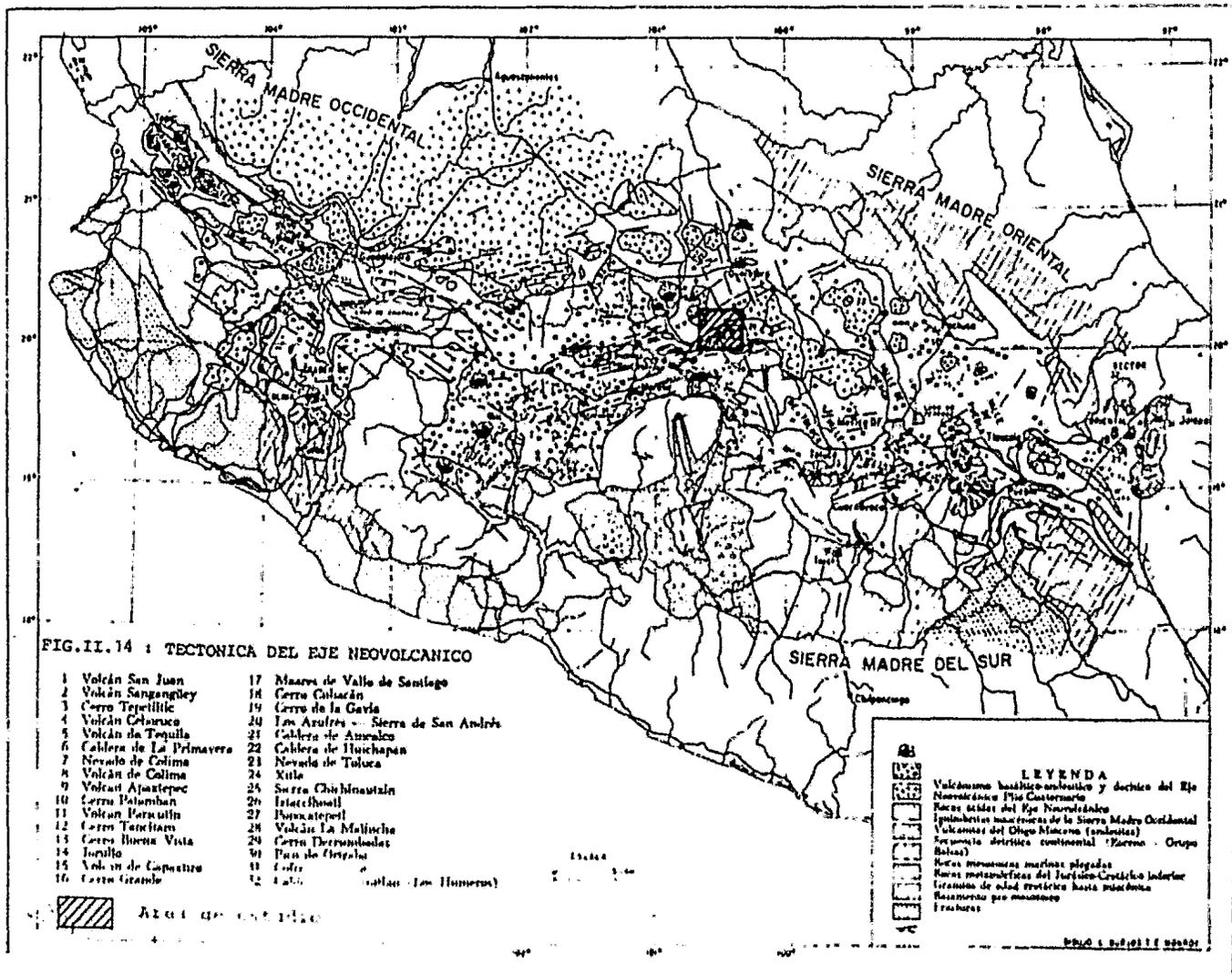


FIG.II.13 : TECTONICA DEL CARIBE Y DEL PACIFICO CENTRO-ORIENTAL. (Demant, 1978). A=sistema de fracturas San Andrés. B=fractura de Rivera. C=unión triple Rivera. D=fractura de Clarion. E=fractura de Orozco. F=fractura de Siqueiros. G=fractura de Clipperton. H=cresta de Galápagos. I=fractura de Panamá. J=Cresta de Tehuantepec. K=Cresta de Cocos. L=Cresta de Carnegie. M=Cresta de Nazca. N=Fosa Mesoamericana. O=Fosa Perú-Chile. P=fallas Polochic-Motawa. Q=falla Caymán. R=Peqs. Antillas. S=Fosa de Puerto Rico. T=fallas Oca-El Pilar.



la costa Pacífica de Norteamérica durante el Oligoceno y Mioceno (Demant, 1978).

En México la placa de Cocos, que se hunde de manera oblicua debajo de la placa Norteamericana, es muy joven (a partir del Oligoceno), por lo tanto, es de poco espesor y más caliente que la parte que forma la zona de subducción de América Central (Karig et al, 1978)*. Sin embargo, estas características no explican claramente la diferencia en orientación del Eje Neovolcánico con respecto a la fosa, mientras que la cordillera volcánica de América Central es paralela a ésta.

Según Demant (1978), existe otro mecanismo que influye en la orientación del Eje Neovolcánico y es el contacto entre las placas del Caribe y Norteamérica. La disposición de los volcanes en México comprueban la influencia de los esfuerzos tectónicos sufridos en la parte sur de la placa Norteamericana, como consecuencia del movimiento relativo entre ésta y la placa Caribeña (movimiento transcurrente-senestre), cuyos límites están marcados por el sistema de fracturas Polochic-Motawa.

Carfantan (1976)* determinó que la dirección de compresión máxima en la Fosa de Acapulco es N 55°E, así los estratovolcanes están orientados perpendicularmente (NW-SE) a la dirección de esfuerzos principales, mientras que los pequeños volcanes se alinean más bien sobre fallas normales, paralelas a la dirección de compresión máxima (ver fig. II.14).

* En Demant A. (1978). - Rev. Inst Geol. U.N.A.M. v2, p 181.

Demant y colegas (1976) definieron cinco provincias geotectónicas en el Eje Neovolcánico (fig.II.14) que son :

1) El Graben de Tepic-Chapala, de orientación NW-SE, marcado -- por fracturas regionales y por conos cineríticos alineados, -- asociados a cuerpos dómicos y escasos volcanes de importancia (volcanes de Tequila, Sanganguey y Ceboruco).

2) El Graben de Colima, con dirección N-S, encierra uno de los volcanes más activos de México, el volcán de Colima. De un lado a otro del graben se desarrollan numerosos aparatos volcánicos pequeños que cubrieron los terrenos volcánicos oligocénicos de la Sierra Madre Occidental.

3) El Estado de Michoacán, localizado en la porción central -- del Eje Neovolcánico, es donde se concentró en mayor cantidad -- la actividad volcánica Plio-cuaternaria. Esta zona abarca una superficie de alrededor de 20,000 km², en la cual se concen--- tran más de 3,000 volcanes, cuyos conos, en la mayoría de los -- casos están bien conservados, lo que permite tener una -- idea de la frecuencia de las erupciones en el Cuaternario-Recente. Un ejemplo típico del vulcanismo de esta área, es el -- volcán Parícutín, cuya historia es muy representativa de las -- numerosas erupciones cuaternarias que ocurrieron en esta parte de Michoacán. Este sector presenta líneas de fracturamiento regional con dirección NE-SW y E-W, inferidas por el alineamiento y distribución de los volcanes cuaternarios.

4) Los valles de Toluca, México y Puebla se caracterizan por --

poseer cuatro de los siete estratovolcanes principales del Eje, separados por amplias zonas lacustres : Nevado de Toluca, Iztaccíhuatl, Popocatepetl y La Malinche. La sierra Chichí --nautzín, que se extiende desde Toluca hasta el pie de la Sierra Nevada, está formada por una serie de pequeños volcanes, con orientación NE-SW (Demant et al, 1976). Entre el valle de México y el de Puebla se interpone la Sierra Nevada, formada por el cerro Tláloc, el Iztaccíhuatl y el Popocatepetl, que están alineados con una dirección N-S. Por último, el volcán de La Malinche, que se encuentra aislado al este de Puebla, en medio de la depresión del valle de Puebla.

5) La cadena Pico de Orizaba-Cofre de Perote, con rumbo N-S, que constituye la porción más oriental del Eje Neovolcánico.

Como se ve, el Eje Neovolcánico no se puede definir como una zona volcánica continua con rumbo E-W, sino como un conjunto de diferentes zonas volcánicas, con sus propias orientaciones y problemas magmáticos.

II.2- TECTONICA DEL AREA ESTUDIADA.

El área de estudio queda comprendida en la región volcánica del "Estado de Michoacán", localizada precisamente en la parte central del Eje Neovolcánico (fig. II.14).

En esta región se tienen como rasgos tectónicos particulares, las fallas normales y fracturas, casi todas desarrolladas

en dos direcciones : un sistema se materializa con una orientación NW-SE, mientras el otro sistema un rumbo E-W (hasta --ENE-WSW) (ver plano tectónico del área estudiada). Como se puede observar estos dos sistemas de fallas y fracturas se interceptan entre sí. El juego de fracturas NW-SE, corresponde al sistema de fracturas regionales, que según Carfantan (1976) son perpendiculares a la dirección de compresión máxima, originada por la actividad en la Fosa de Acapulco; y el juego --E-W, corresponde al sistema de fracturas paralelas al rumbo --de esta compresión. Las fallas normales existentes en el ---área, pueden explicarse como fallas de tensión, ocasionadas --también por dicha compresión, y por el mecanismo transcurrente entre las placas Norteamericana y Caribeña, como lo explica Demant (1976).

Muchas veces estas fracturas pueden observarse claramente en el campo, en las imágenes de satélite o en las fotografías aéreas, pero otras veces se infieren por el alineamiento de conos cineríticos o de grandes estructuras volcánicas, como sucede en la Sierra de Puruagua, que se presenta con una --dirección NNW-SSE, paralela a las fracturas regionales que --existen en el sector de Michoacán, y otras localidades del --país.

Asimismo se tienen alineamientos de estructuras de menor tamaño, como los conos cineríticos, la mayoría con dirección NNW-SSE, o con orientación E-W. Estos rasgos se observan en la Sierra de Agustinos, donde los conos que la coronan, se-

encuentran alineados con un rumbo NE-SW; también se tienen varios conos alineados con esta dirección en la sierra Puruagua, y en este mismo lugar algunos conos con dirección E-W.

Todas las unidades presentes, lavas y flujos piroclásticos cuando están piroconsolidados, presentan fracturamiento-producto del enfriamiento de éstas, otras causadas por la tectónica local, que originó fallas de tipo normal

La región de Los Azufres, o la pequeña porción de ésta, que queda incluida en esta área, se presenta como bloques escalonados y paralelos en una dirección E-W, escalonamiento producto de un fallamiento normal, originado por la tectónica Plio-cuaternaria (fig.II.15), que corta sólo a las unidades del Oligoceno en esta parte.

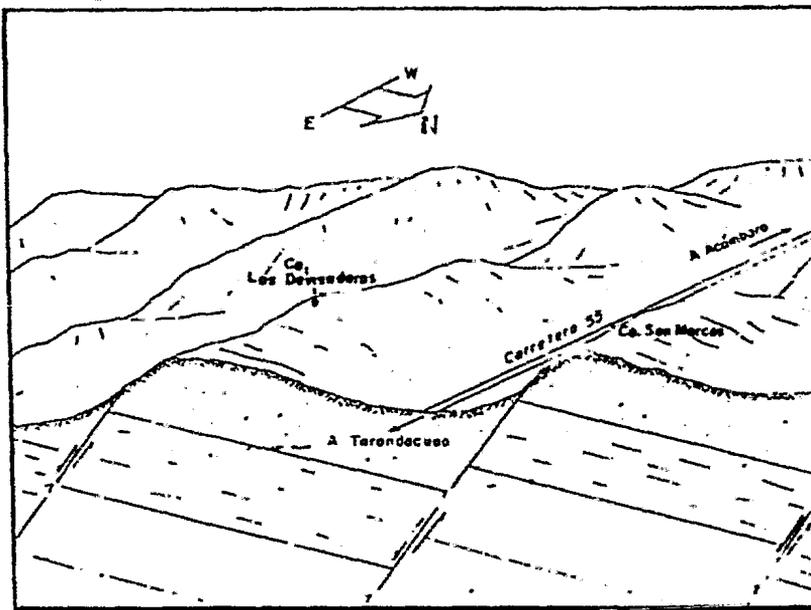


FIG.II.15 : BLOQUES ESCALONADOS DE SUR A NORTE, PRODUCTO DE FALLAS NORMALES E-W, EN LA REGION TARANDACUAO-ACAMBARO, GTO.

Al este de la zona estudiada, se tiene la falla de Acambay -falla normal- (Sánchez R., 1978), que corta a la caldera de Amealco en su sección sur, y corre paralela a la sierra de Puruagua (NW-SE) hasta casi llegar al poblado de Coroneo, Gto. (fig. II.16). Esta es la falla más sobresaliente en esta zona, aunque en el área sólo incluye la última parte de ésta. Su salto varía desde aproximadamente 100 m cerca de Coroneo, hasta más de 200 m cerca del poblado de Epitacio Huerta, Mich. y mucho más aún, conforme se va hacia la caldera de Amealco, donde hizo desaparecer completamente su porción sur, formando - así el valle de Tepuxtepec, comprendido entre las sierras de Amealco y de Puruagua.

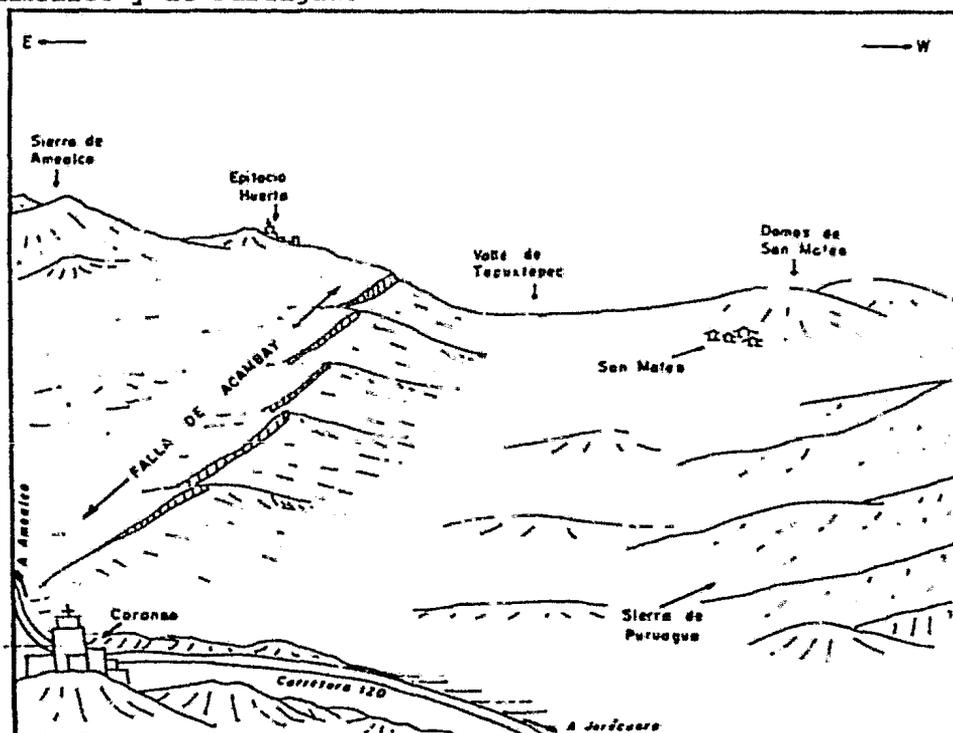


FIG. II.16 : CROQUIS DE LA FALLA DE ACAMBAY. (Panorámica vista hacia el Sur).

Por otra parte un análisis regional de alineamientos o estructuras anteriores al vulcanismo, permiten correlacionar este tipo de accidentes con rasgos geológicos anteriores, que como algunos autores proponen, se han reactivado y originado o facilitado, como en este caso, el magmatismo o deformaciones en las rocas preexistentes.

III. DIFERENTES EPISODIOS VOLCANICOS

Los diversos datos proporcionados por la observación de los afloramientos de las unidades volcánicas definidas en el área, sus características físicas y formas de emplazamiento, permiten esbozar de manera general, los episodios volcánicos que los originaron.

III.1- EPISODIOS VOLCANICOS.

1) El más antiguo, constituido por andesitas del Oligoceno; se localizan al sureste de Acámbaro, Gto.; son rocas que pertenecen al complejo volcánico de Los Azufres, Michoacán.

2) Las riolitas del Mioceno, que posiblemente son las mismas que Demant (1978) define como la prolongación meridional del sistema volcánico de la Sierra Madre Occidental.

3) El ciclo Plio-cuaternario, vulcanismo que edifica el Eje Neovolcánico. Las estructuras que forma en el área de estudio son volcanes andesíticos y conos pequeños escoriaáceos, que se alinean sobre las grandes fracturas de rumbo NW-SE, que cortan siempre a las estructuras riolíticas e ignimbríticas del Mioceno.

III.2- DESCRIPCION DE LOS EPISODIOS.

1) EPISODIOS VOLCANICOS DEL OLIGOCENO :

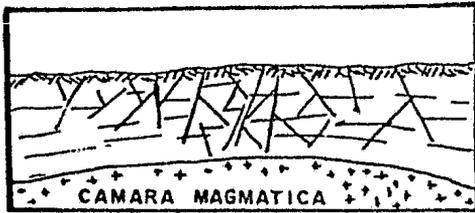
El análisis de los diferentes depósitos que formaron el

"basamento" del área, o al menos de las rocas más antiguas que ahí afloran, permiten describir los episodios volcánicos que dieron origen a emisiones de derrames de lava que poseen una variación petrográfica desde los basaltos hasta las andesitas y dacitas, posiblemente como producto de erupciones del tipo central. La presencia de aglomerados o brechas volcánicas en algunos afloramientos, confirma la presencia de fases explosivas, que al analizarlas se ve su correspondencia con los depósitos piroclásticos, comúnmente asociados a los derrames viscosos de naturaleza andesítica, y permiten hablar de eventos volcánicos como erupciones de tipo central, emplazamiento de domos (andesíticos o dacíticos), y aun eventos de naturaleza peleana (?).

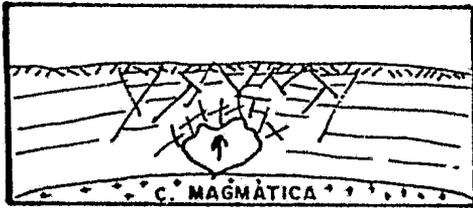
Una erupción central, se ha definido como aquel evento -cuyos productos son materiales fragmentados (escorias), o lavas (derrames) y se distinguen de aquellos en que la lava ha salido a la superficie por grandes fisuras. Algunas veces -las erupciones centrales están alineadas -generalmente numerosos conos pequeños- que indican que están relacionados con fisuras, que se encuentran en las rocas subyacentes, llegando a formar muchas veces extensas sierras volcánicas construidas sobre sistemas de fracturas (Lacroix, 1908; Williams-McBirney, 1979).

El mecanismo que explica el emplazamiento de un domo , se describe a través de los esquemas de la fig. II.17. Según-

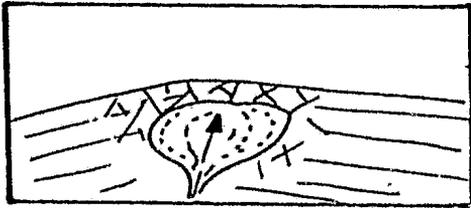
* En Cotton C.A. (1952). -Volcanoes as Landscaps forms. Hafner ed. New York, 415 p.



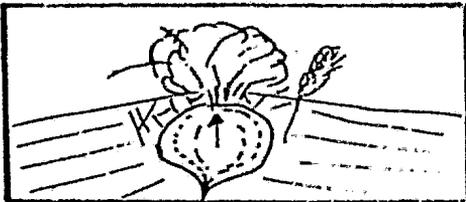
a) Zona de debilidad (fracturas) en el terreno, por donde ascenderá el magma.



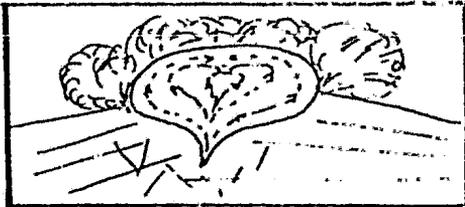
b) El magma (viscoso) tiende a subir a la superficie por diapirismo (Braunstein, 1968).



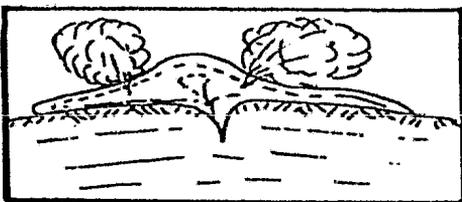
c) Fracturamiento y combamiento de las rocas suprayacentes por empujes del diapirismo.



d) Fases explosivas freáticas (vapor de agua acompañado de cenizas y fragmentos de rocas) precedente a la salida del domo.



e) Salida del domo a la superficie, acompañado o no de explosiones freatomagmáticas.



f) Ruptura de las paredes del domo, acompañado de explosiones freatomagmáticas de cenizas y gases, y el consecuente derrame lateral de corta extensión, formado de brechas y flujos piroclásticos.

FIG. II.17 : ESQUEMA ILUSTRATIVO QUE MUESTRA EL DESARROLLO DE UN DOMO IGNEO.

Lacroix (1908)* y Williams-McBirney (1979) existen diferentes tipos de domos : peleanos, espinas, exógenos e intrusivos. Para más detalle sobre estos conceptos, es conveniente consultar - las publicaciones de estos dos autores.

Las erupciones peleanas son erupciones asociadas con -- magmas viscosos, generalmente riolíticos, dacíticos o andesíti- cos. La actividad más violenta y destructiva normalmente tie- ne lugar cuando es eyectado magma en forma de avalanchas. Ge- neralmente el magma viscoso forma domos, espinas o cortos y - gruesos flujos de lava, cuyos flancos pueden colapsarse por - explosiones internas que producen flujos piroclásticos (Wi- lliams-McBirney, 1979).

Resumiendo, las rocas o series que constituyen estos --- afloramientos son rocas asociadas al complejo volcánico de - Los Azufres, cuyo vulcanismo corresponde al tipo central. Al menos es lo que se puede deducir, ya que la abundante vegeta- ción que cubre los productos de estos episodios y su avanza- da denudación, hacen imposible en un trabajo de este tipo, pre- cisar los puntos emisores. Sin embargo, existen los suficien- tes elementos que indican una naturaleza típica del vulcanis- mo andesítico (escorias, lavas y fases explosivas).

En este grupo de rocas se pueden diferenciar dos fases - volcánicas en base a las características mineralógicas que - presentan, observándose una evolución de diferenciación magmá- tica entre estas dos fases, de magmas básicos a magmas ácidos

* En Cotton C.A. (1952). Volcanoes as landscaps forms. Hafner ed. New York 415 p.

lo que se tratará con más detalle en el capítulo de petrografía.

2) EPISODIOS VOLCANICOS DEL MIOCENO :

Este período está representado en el área de estudio -- por gruesos depósitos de riolitas columnares (ignimbritas).

Existen diferentes hipótesis respecto al tipo de erupción y emplazamiento de estos productos, como son : la hipótesis de "nube ardiente" de Marshall* (1932); la de "fluidización" de Reynolds* (1954); los "derrames cineríticos" descritos por Ross y Smith (1961) ; y varias hipótesis más que se han definido para cada campo volcánico en particular.

Marshall, (1932) introdujo el término "ignimbrita" para designar un material "que se pensó había sido producido por inmensas nubes o lluvias de fragmentos, generalmente minúsculos, sumamente caliente, de magma o lava . La temperatura de estos fragmentos se pensó había sido tan elevada, que los hizo viscosos, adheriéndolos entre sí, al alcanzar el suelo". Marshall describió las ignimbritas, como consistentes de rocas tobáceas, formadas como resultado de la erupción de nubes resplandecientes densas, del tipo Katmai (valle de las cien fumarolas, Alaska).

Reynolds, (1954) propuso que las ignimbritas son emplazadas por "fluidización", un proceso muy utilizado en la industria química, que consiste en la obtención de ignimbritas por experimentos de laboratorio, lo que consecuentemente es una -

* Tomado de Steiner A. (1960). - New Zeland Geol Sur. Bull 68.

comprobación artificial de la hipótesis de Marshall.

Las "tobas de derrame cinerítico", según la definición de Ross y Smith (en C. Fries, 1967), son "depósitos consolidados de ceniza volcánica provenientes de un derrame cinerítico" y éstos "pueden o no estar total o parcialmente piroconsolidados". Un derrame cinerítico consiste de "una mezcla turbulenta de gases y materiales piroclásticos de alta temperatura, extravasada en forma explosiva a través de un cráter o de una fisura, que desciende rápidamente por las laderas de un volcán, o por la superficie del terreno. El material sólido en un derrame cinerítico, aunque mal clasificado, está formado principalmente de partículas del tamaño de ceniza (menos de 4 mm de diámetro) que generalmente contienen diversas cantidades de lapilli y de bloques".

En resumen, el modelo más representativo para las riolitas miocenas del área, y para las "ignimbritas de Amealco", es el propuesto por Ross y Smith, quienes llaman a este tipo de depósitos "tobas de derrame cinerítico"; sin embargo, el término más conocido y comunmente empleado es el de "ignimbritas", de Marshall, por lo que es el que aquí se utiliza para designar a estas rocas.

Las erupciones son de tipo peleano (?) (según la definición de Lacroix, 1908* y de Williams-McBirney, 1979), donde la lava es muy viscosa, originando así estructuras dómicas (?), riolíticas, agrupadas en dos localidades o centros eruptivos: un

* En Cotton C.A. (1952). - Volcanoes as landscape forms. New York, 415 p.

complejo que forma la Sierra La Prieta, y el otro, que forma la Sierra de Los Agustinos. Todo esto acompañado de fases explosivas y flujos piroclásticos (ignimbritas), que seguramente -- fueron contemporáneos al emplazamiento de los domos, y que descendieron con gran velocidad por las pendientes del terreno, rellenando las partes bajas y las antiguas cañadas, que ahora se presentan como extensas mesas angostas --si rellenaron una cañada- o amplias --si rellenaron un valle--.

En este ciclo hubo gran actividad volcánica, ya que se pudieron reconocer varios derrames con características mineralógicas homogéneas, que seguramente son productos arrojados en una sola fase eruptiva con fluctuaciones del volumen emitido, marcado por los diferentes espesores de los derrames.

3) EPISODIOS VOLCANICOS DEL PLIO-CUATERNARIO :

El tercer ciclo volcánico fue el más activo para el Eje-Neovolcánico en general, así como para el área de estudio. La mayor actividad de este ciclo Robin (1982) la considera entre los 2.5 y 1.6 M.a. Se caracteriza por lavas andesíticas - asociadas a conos de regular tamaño, como los volcanes que forman a la Sierra Puruagua o a estructuras más complejas como la caldera de Amealco.

Después de un corto período de quietud, hubo otra gran actividad volcánica, que formó a los pequeños conos monogenéticos, como ejemplo clásico se tiene el volcán Parícutín (1943, 48) en México.

Los eventos volcánicos se caracterizan por la presencia de magma andesítico-básico, más o menos fluido, y productos explosivos típicos, como bombas y escorias, rasgos que corresponden a erupciones de tipo "Estromboliano".

Una erupción estromboliana se define como aquella donde -- generalmente el magma es basáltico o andesítico, fluido. Las -- erupciones explosivas van desde débiles a violentas. Sus pro-- ductos son bombas y escorias. La ceniza vítrea es rara o muy escasa. Las nubes de explosión raras veces alcanzan más de -- 500 m y generalmente son grises. Los flujos de lava siguen de la actividad explosiva y pueden continuar ininterrumpidamente por meses o años. Las formas características son conos cineríficos (definición según Williams-McBirney, 1979).

En Michoacán es donde son numerosos estos volcanes. Sólo en el área de estudio se reconocieron quince, la mayoría, de pequeñas dimensiones.

En este ciclo se presentan también productos riolíticos, que en relación al volumen de las rocas andesíticas de este período, son escasos, y se agrupan en ciertas áreas, en este caso, en la parte central de la Sierra Puruagua, donde forman -- cuerpos dómicos. Son erupciones características del tipo peleana, pero de muy corta duración a comparación de los eventos riolíticos del Mioceno.

En el caso particular de los productos de la caldera de Amealco, se tienen en el área los derrames ignimbríticos pliocenos, de naturaleza andesítica, cuyas características se pare-

cen más a erupciones del tipo "vulcaniano" (?), pero en esta zona no se presentan todas las características de una erupción de este tipo, aunque sí la mayoría de ellas (depósitos de tefra, pomez y flujos ignimbríticos, que se encuentran relativamente lejos de la caldera -30 km aprox.-).

Una erupción vulcaniana incluye a cualquier tipo de magma, desde basaltos hasta riolitas. La actividad, en general, comienza con erupciones freáticas, que descargan fragmentos líticos de las paredes del conducto. Durante la fase principal la erupción de magma viscoso, rico en gases, forma ceniza vítrica mezclada con lapilli y bombas (derrames ignimbríticos). Las nubes de erupción tienden a ser oscuras. Los depósitos de tefra, están bien estratificados y son mucho más ampliamente dispersados que los de los tipos hawaiano o estromboliano. Los flujos piroclásticos pueden ser acompañados o posteriores de productos de caída aérea, para finalizar la actividad con espesos flujos de lava viscosa.

IV: GEOLOGIA HISTORICA

Es conveniente describir la Geología Histórica en términos regionales, es decir, hablar del área de estudio como una porción que se encuentra incluida en la provincia geológica del Eje Neovolcánico, comenzando por describir brevemente su origen y las relaciones que tiene con la tectónica de placas.

IV.1- ORIGEN DEL EJE NEOVOLCANICO.

Habiendo comentado ya las características generales del Eje Neovolcánico, será más sencillo hablar sobre su origen. Este tema ha sido motivo de mucha discusión, entre los diferentes autores que han trabajado en él, desde las primeras hipótesis propuestas hasta los modelos actuales, ya que la mayoría de éstas, no han sido totalmente aceptadas por los investigadores en el ramo, pues no presentan evidencias claras y terminantes que expliquen totalmente el origen de este cinturón volcánico. Se ha propuesto, por ejemplo, que el Eje Neovolcánico está relacionado con la Fractura de Clarion del océano Pacífico (Mooser, 1958), años más tarde, el mismo autor lo redefine como una geosutura (Mooser, 1969); otros insinúan una íntima relación con la falla San Andrés (Gastil-Jensky, 1973); y así, existen varios modelos que aportan buenas ideas, pero no han sido plenamente aceptadas.

A pesar de esta polémica, la mayoría de los autores está de acuerdo en que el Eje Neovolcánico está relacionado con el fenómeno de subducción, que se desarrolla a lo largo de la costa SW de México (Fosa Mesoamericana o de Acapulco).

Los modelos que se consideraron válidos para este estudio son los propuestos por Demant (1978), Amos-Green (1980), y Robin (1982), ya que son los que explican mejor los eventos volcánicos y tectónicos de esta estructura, y por lo tanto, también del área de estudio.

Como ya se mencionó en el capítulo de tectónica, Demant, (1978), propone como fenómenos generadores del vulcanismo en el Eje Neovolcánico, a los que están relacionados con la actividad producto de la zona de subducción, definida por la placa de Cocos y la placa Norteamericana, así como la interferencia que pueda tener el contacto entre las placas Norteamericana y del Caribe (fig. II.13) y considerar la influencia que la Cresta del Pacífico Oriental pueda imprimir en dichos fenómenos.

La placa de Cocos, que se hunde en la región de América-Central, no está empujando a la placa del Caribe; el movimiento proviene del Atlántico, por la creación de la corteza nueva, a lo largo de la cordillera Mesoatlántica, que es el mecanismo responsable de la rotación de la placa Norteamericana hacia el oeste (Demant, 1978).

Para Amos y Green (1980), la placa del Caribe se originó a partir del Jurásico tardío, como el resultado de los esfuer

zos tensionales tangenciales generados por la separación progresiva de las placas Norteamericana, Sudamericana y Africana. El área caribeña ha estado desde entonces confinada entre -- dos rígidas y estables placas continentales, que primero se -- alejaron entre sí (Cretácico Sup.) y después comenzaron a -- converger (Eoceno temprano-Eoceno medio), aspecto puesto en -- evidencia por la deformación compresiva que se puede definir a lo largo de las márgenes caribeñas de las dos placas continentales. En general se puede decir que la placa del Caribe , en sus extremos E y W , ha estado limitada por placas oceánicas móviles e inestables que subduccionan el área : por el -- este, la placa Norteamericana (Atlántico) y al oeste, por la -- placa de Cocos (Pacífico).

El proceso de subducción que existe en el límite este -- de la placa Caribe (Pequeñas Antillas), explica porqué esta -- placa no se desplaza hacia el oeste, como sucede con la placa Norteamericana (Demant, 1978); la fosa de Caymán y las fallas Polochic-Motawa desempeñan por lo tanto, el papel de una falla transcurrente, entre la placa Norteamericana que se desplaza hacia el poniente y la placa del Caribe, que se puede -- considerar como fija (Demant, 1978).

Amos y Green (1980) establecen la aparición del vulcanismo en la región del Caribe a partir del Cretácico tardío, probable época en la que se formaron los primeros cinturones volcánicos, derivados del proceso de subducción en el área del Caribe : al oeste, el cinturón de Centroamérica (Pa-

namá; El Salvador, etc.), y al este, el cinturón volcánico de -
Aves, submarino y paralelo a las Pequeñas Antillas, que se edi-
ficaron posteriormente.

Demant (1978) apoya la idea de Andreieff et al (1974)*
quien propone una edad Oligocena-Miocena para el vulcanismo-
más antiguo de las Pequeñas Antillas, es decir, el movimiento
entre las placas Norteamericana y del Caribe principió en el
Oligoceno, y puede atribuírsele la intervención directa con-
la formación progresiva de la fosa de Acapulco a partir de e-
sa época y por lo tanto, originar las condiciones para la -
génesis de las lavas del Eje Neovolcánico, puesto que, como ex-
plica Demant (1978), es necesario que una placa que se hunde,
llegue a cierta profundidad, antes de poder generar los mag-
mas que inician el fenómeno volcánico.

Robin (1982) establece que el inicio del Eje Neovolcáni-
co se manifiesta a partir de unos 8 M.a., Plioceno medio, so-
bre un basamento que constituye un Eje Andesítico Miocénico-
(cordillera volcánica que era paralela a la costa del Pacífi-
co, desde California hasta Guatemala, y se ajusta al modelo --
clásico de una cadena volcánica relacionada con una zona de-
subducción). Durante el Mioceno Superior (9 a 6 M.a., Canta-
grel y Robin, 1979) la porción sur de esta cordillera fue des-
plazada hacia el este, salto causado por la colisión de la -
placa de Cocos y la Cresta Pacífica con el bloque continen-
tal mexicano. Este arreglo anunció el futuro Eje Neovolcáni-
co Cuaternario, cuyas primeras manifestaciones fueron durante

* En Demant A. (1978). - Rev. Inst Geol. U.N.A.M. v 2, No2.

rrresponde a un arco volcánico, que se desarrolló en respuesta a la fase compresiva del Jurásico-Cretácico (M.F.Campa et al 1974). Considerando 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 Norteamérica hacia el noroeste (apertura del Atlántico Norte) y con la subducción del Paleopacífico (fig.II.18).

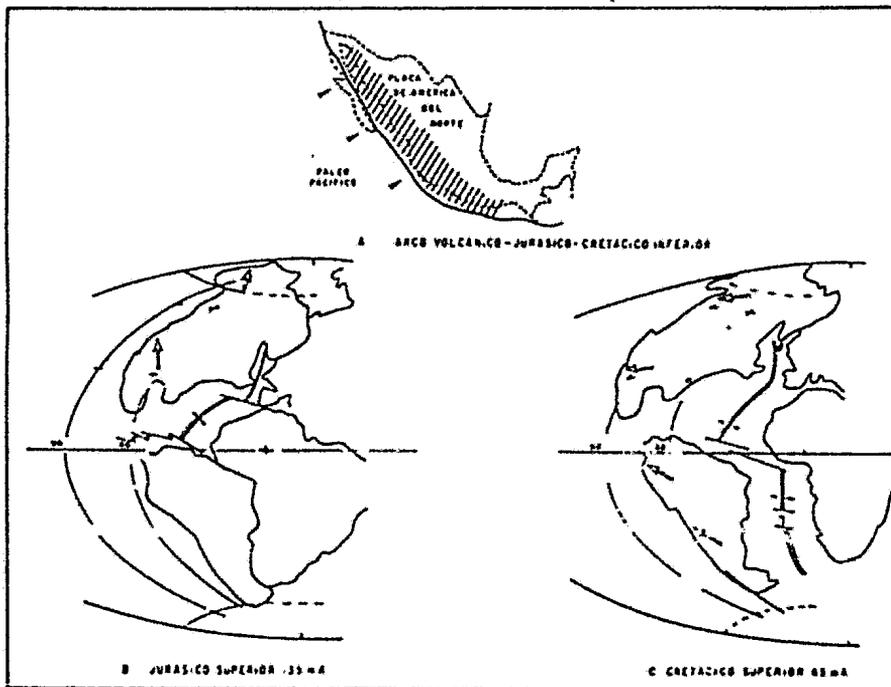


FIG.II.18 : EVOLUCION GEODINAMICA EN EL JURASICO-CRETACICO (Demant et al, 1975).

En el Cretácico medio, al cambiar su sentido el desplazamiento de Norteamérica y empezar la deriva de Sudamérica (apertura del Atlántico Sur), se origina el cierre del dominio-Caribe. Esta secuencia se presenta como una serie andesítica (con facies, en ocasiones de "pillow-lavas"), brechas y tobasmezcladas con sedimentos del Jurásico superior - Cretácico inferior (Campa et al, 1976, 1980). Este conjunto sufrió un -

metamorfismo en el Cretácico medio (M.F.Campa et al,1974). - Los afloramientos de estas rocas son muy extensos; se les localiza en Maravatío-Zitácuaro, Mich., en Valle de Bravo, Méx. y en Teloloapan, Gro. (M.F.Campa,1974).

En base a que en el área no afloran unidades más antiguas del Oligoceno (andesitas "Los Azufres"), no se puede realizar alguna correlación entre las rocas de la zona con las series que se atribuyen a este ciclo.

b) Ciclo Oligoceno-Mioceno.

Después de una fase de quietud del Cretácico medio al Eoceno, la actividad volcánica se reactiva en el Oligoceno con emisiones andesíticas a lo largo del margen Pacífico. Las primeras emisiones se pueden fechar en el Oligoceno, puesto que en la parte sur (región de Huetamo, Mich.) se encuentran en ocasiones interestratificadas con la secuencia detrítica del Grupo Balsas y plegadas por la fase tardía de la orogénesis Laramide. Esta serie andesítica corresponde en parte al macizo de Mil Cumbres, Mich. datadas entre 18 y 13 M.a. (Silva M.,1979), que incluyen las andesitas "Los Azufres" de la zona, que afloran en la región de Acámbaro, Gto., afectadas por una tectónica distensiva Plio-cuaternaria, que produjo el sistema de fallas normales (E-W), ocasionada más que nada, por la zona de subducción en Acapulco (ver cap. Tectónica).

Considerando los diferentes afloramientos conocidos, se

puede observar que este "Eje Volcánico" del Oligo-mioceno, tenía una orientación más o menos paralela al Golfo de California actual (fig.II.19). Al mismo tiempo empieza la actividad piroclástica (ignimbritas) que continuará hasta el Mioceno - medio.

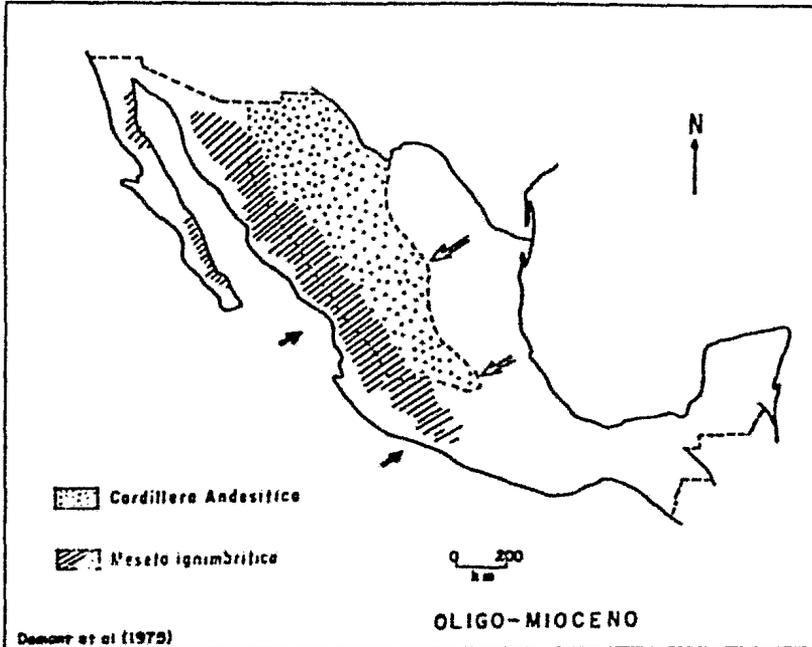


FIG.II.19 : EVOLUCION GEODINAMICA EN EL OLIGOCENO-MIOCENO.

Por sus características, este vulcanismo calcoalcalino - es semejante al desarrollado en un margen continental activo (Demant, 1975); las ignimbritas resultan probablemente por fenómenos de fusión de la corteza encima de las zonas donde se generan los magmas andesíticos.

Esta fase oligo-miocénica se puede identificar en la parte occidental del Eje Neovolcánico (Demant, 1975). Por lo

general casi siempre se presenta bajo la forma de mesas constituidas de alternancias de brechas y derrames inclinados -- por efectos de la tectónica Plio-cuaternaria. Sus extensos afloramientos se localizan en la región del Lago de Chapala, dentro del graben de Colima, en la región de la presa del Infiernillo, así como en esta área, donde se presentan como las riolitas columnares (ignimbritas) del Mioceno, formando amplias o angostas mesetas de lava.

Desde el punto de vista geodinámico, este vulcanismo se puede ligar a la fase compresiva que se desarrolló a lo largo de la costa del Pacífico durante el Oligo-mioceno, como el resultado del choque entre la placa Americana y la de Farallón (Atwater, 1970; Demant, 1975; Robin, 1975), lo que dió origen a la Sierra Madre Occidental (fig. II.19).

c) Ciclo Plio-Cuaternario.

A partir del Mioceno superior se origina un cambio radical del vulcanismo en México. La actividad calcoalcalina termina en toda la parte noroccidental del país y es reemplazada por un magmatismo de tipo alcalino, en general basáltico - (Demant et al, 1975), que es muy importante por su volumen en Baja California, Sonora, y se prolonga hasta el altiplano central en Chihuahua, Durango y Zacatecas (fig. II.20). Este -- vulcanismo se relaciona con el régimen tectónico distensivo que originó los "bolsones" ("Basin and Range Province"), rasgo característico de casi todas las regiones septentrionales

del país, que pueden relacionarse con los movimientos neo-tectónicos del Golfo de California y la falla San Andrés, la cual ocasiona un movimiento transcurrente hacia el noroeste, produciendo la deriva de la península de Baja California y originando el "rift" en la zona del Mar de Cortéz (Atwater, 1970; Silva, 1979; Demant, 1981).

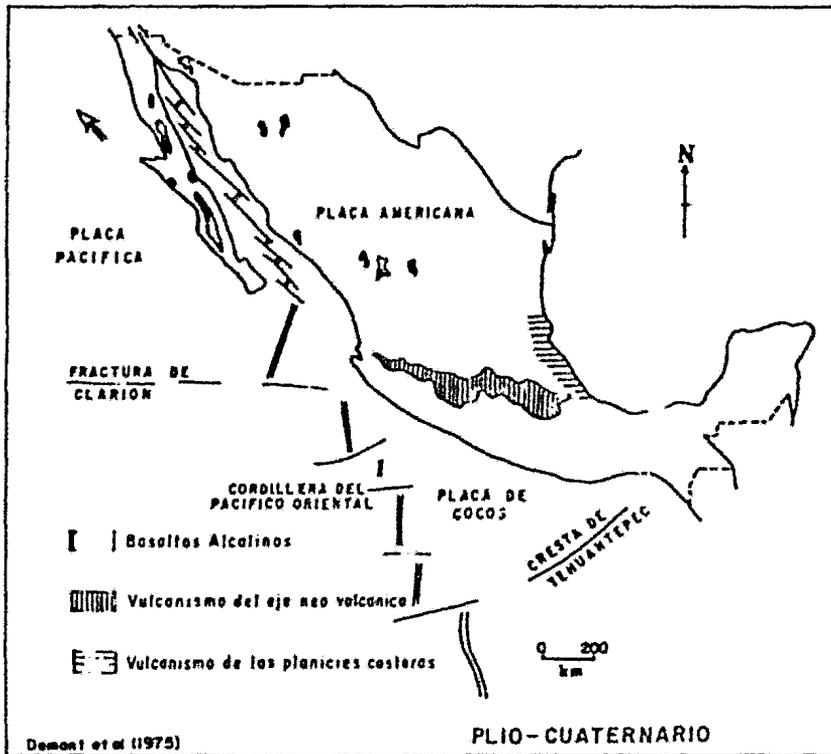


FIG. II.20 : CONTEXTO GEODINAMICO ACTUAL EN MEXICO (CUAT.-REC.)

Estas fracturas de hecho constituyen el contacto actual entre la placa Americana y la placa Pacífica y al parecer - afectan a toda la parte noroeste de México, incluyendo el altiplano.

La fosa de Acapulco comenzó a formarse a raíz de los mo

vimientos relativos entre la placa Norteamericana con las --
 placas de Cocos y del Caribe (ver cap. Tectónica); el inicio-
 de la subducción fue fechado como Oligoceno inferior (Demant,
 1978), hipótesis confirmada por Karig et al (1978)*. Desde esa
 época, en la Trinchera de Acapulco se enfrentan la placa de -
 Cocos y la placa Norteamericana, originando una zona de sub--
 ducción, donde se producen los magmas calcoalcalinos que die-
 ron lugar al Eje Neovolcánico. Las efusiones de éste son fa-
 vorecidas por el fracturamiento que presenta una orientación
 E-W, totalmente distinta a las direcciones anteriores (NW-SE),
 permitiendo el desarrollo de centros volcánicos emplazados -
 en tales estructuras y los productos con caracteres químicos
 calcoalcalinos; aspecto que se explica por un ambiente geo--
 tectónico diferente en la parte meridional de México.

En el área, las manifestaciones Plio-cuaternarias que se
 presentan, son las típicas que ocurren a lo largo del Eje Neo-
 volcánico, en este caso, volcanes andesíticos de regular tama-
 ño, en cuyos bordes se alinean numerosos conos cineríticos, -
 con sus respectivos derrames. Además de este vulcanismo básic-
 o también se tienen eventos ácidos, como el emplazamiento de
 domos riolíticos, bien conservados, y depósitos de tobas y pó-
 mez asociados a éstos.

Por otro lado, en esta época hubo una tectónica distensi-
 va, causada por el continuo choque entre la placa de Cocos y
 la placa Norteamericana, influyendo también el movimiento re-

* En Demant A. (1978). - Rev. Inst. Geol. U.N.A.M., v 2, No 2.

lativo entre las placas Norteamericana y Caribeña, tectónica
marcada en el área por fallas normales y fracturas que --
afectan a rocas oligocenas , pliocenas y cuaternarias.

TERCERA PARTE

PETROLOGIA Y GEOQUIMICA

I N T R O D U C C I O N .

Las lavas presentes en el área de estudio ,varían en su composición química y mineralógica desde basaltos y andesitas hasta riolitas; presentan grandes variaciones en su textura , en una sola unidad se pueden encontrar desde rocas afíricas -- hasta rocas porfíricas, así como rocas vítreas compactas, tobas, depósitos de pomez y depósitos de tefra.

Las diferentes rocas serán clasificadas basándose en su contenido de SiO_2 ; según Taylor (1969) se distinguirán: basaltos ($\text{SiO}_2 < 10\%$); andesitas básicas ($53\% < \text{SiO}_2 < 56\%$); andesitas ($56\% < \text{SiO}_2 < 62\%$); dacitas ($62\% < \text{SiO}_2 < 68\%$) y riolitas ($\text{SiO}_2 > 68\%$).

El analizar las principales características petrográficas y químicas de las rocas de una manera correlativa, -- permite esbozar los diferentes problemas petrológicos que -- existen en el estudio de éstas, como pueden ser la imprecisión en su clasificación, lo relativo a su petrogénesis, así -- como detectar anomalías en su composición química. Problemas que influirán en la interpretación que se dé sobre el comportamiento de las lavas bajo estudio, desde el punto de vista -- de su posición espacial y evolutiva.

I . ANDESITAS DEL OLIGOCENO "LOS AZUFRES"

I.1-. CARACTERISTICAS PETROGRAFICAS GENERALES.

Los estudios petrográficos que se realizaron, de estas -
lajas, muestran una paragénesis mineralógica cuyo análisis de -
finió dos facies petrográficas :

- La primera facie está constituida por rocas que cambian li -
geramente su textura, es decir, algunas son afániticas, mien --
tras que en otras se observan, a simple vista, esporádicos fe -
nocristales, por lo que en casos especiales se les considera -
una textura porfírica. La asociación de minerales que pueden
identificarse en esta facie son: restos de olivino iddingsi -
tizado, rodeados por hiperstena, más andesina zoneada, que cong -
tituyen fenocristales, que están presentes también en la ma --
triz en forma de microlitos. Como accesorio se presenta la -
magnetita, que cristalizó en formas cúbicas; aspecto que permí -
te considerarla como un mineral inicial (?), es decir, la pa -
ragénesis mineralógica sería : magnetita + olivino + hiper -
stena + andesina. El cementante es un vidrio incoloro, poco --
perceptible por la gran cantidad de gránulos de minerales o -
pacos (magnetita, ?). Además del vidrio también se presenta -
la tridimita intersticial.

- La segunda facie está formada por rocas que presentan una -
textura porfírica, típica de las andesitas, es decir, se carac -
teriza por la abundancia de fenocristales de augita, hornblen -
da y plagioclasas (andesina y oligoclasa zoneadas). Algunas -

de las plagioclasas presentan a simple vista una coloración rosada, muy semejante a la ortoclasa, seguramente ocasionada por alteraciones secundarias, pues algunas sólo presentan aureolas rosas. Estos minerales también forman parte de la matriz, como microlitos. Poseen un cementante constituido por vidrio incoloro, semejante al de la primera fase, y tridimita intersticial. Como accesorio está la magnetita en forma cúbica y amorfa; la magnetita cúbica es similar a la formada en la primera fase, sólo que en este caso, los cristales cúbicos son mucho más pequeños, además de que en algunos sus caras no están bien definidas, tendiendo a ser amorfos (cristales subhedrales), por lo tanto puede pensarse que se trata de magnetita inicial que no alcanzó su cristalización completa. En base a esto la paragénesis petrográfica sería : magnetita + augita + hornblenda + plagioclasas. La magnetita amorfa se presenta como gránulos y manchones intersticiales, que seguramente se formó con carácter posterior. Se tiene entonces magnetita de dos generaciones ; una que fué el primer (o de los primeros,?) mineral en cristalizar, y la otra como una cristalización posterior.

Los datos petrográficos permiten clasificar estas rocas como andesitas pertenecientes a un ambiente continental.

I.2- CARACTERISTICAS QUIMICAS GENERALES.

Los valores de los elementos químicos mayores confirman

que estas rocas se ubican dentro de las andesitas, su composición indica una variación $58 < \text{SiO}_2 < 61$ (tabla III.1), y un carácter perteneciente a rocas de la corteza continental, es decir, se tienen valores de Al_2O_3 de 13.99 como promedio, el Na_2O de 3.47 en promedio, y el K_2O de 1.65, que cumplen las condiciones de las rocas pertenecientes a la serie calco-alcalina de $\text{CaO} = \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, además sus componentes son muy similares a los proporcionados por Chayes (1961)*.

	1	2	3	4
SiO_2	61.03	58.21	59.62	58.17
Al_2O_3	11.06	16.93	13.99	17.26
Fe_2O_3	8.18	3.72	5.95	3.07
FeO	2.68	2.57	2.62	4.17
MnO	0.10	0.11	0.10	-
MgO	3.24	3.37	3.30	3.23
CaO_2	5.74	6.65	6.19	6.93
Na_2O	3.85	3.08	3.47	3.21
K_2O	2.00	1.30	1.65	1.61
TiO_2	0.85	0.82	0.83	0.80
P_2O_5	0.22	0.16	0.19	0.20
H_2O^+	0.64	1.62	1.13	1.24
H_2O^-	0.52	0.85	0.69	-

TABLA III.1 : COMPOSICIONES DE LAS LAVAS DE LA SERIE ANDESITICA OLIGOCENA.

- 1 = Lavas de la facie 1 --- 2 = Lavas de la facie 2
 3 = Promedio de las facies 1 y 2
 4 = Composición andesítica promedio de Chayes (1969)*

De la tabla III.1 se ve que las diferencias más marcadas

* Chayes F. (1969). - The Chemical composition of Cenozoic Andesite Proceeding of the Andesite Conf. Inter. Upper Mantle Project. Sci. rpt. 16, p 1-11.

que tienen las muestras analizadas son el Al_2O_3 y el Fe_2O_3 . Para el tipo 1, el valor más bajo en alúmina se explica por la ausencia de fenocristales de plagioclasa, mientras que en el tipo 2 la abundancia de éstos explican el mayor contenido de Al_2O_3 . El marcado aumento en Fe_2O_3 que posee el tipo 1 -- con respecto a los tipos 2 y 4 (tabla III.1), es ocasionado por la gran cantidad de magnetita que presenta esta facie, así como la presencia de olivino e hiperstena, minerales más básicos que los que posee el tipo 2.

En general, comparando el promedio de composiciones de las andesitas oligocenas (columna 3, tabla III.1) con el promedio mundial de Chayes (columna 4), se ve que estas andesitas resultan ser ligeramente más ácidas y sódicas, aunque en general, muestran grandes similitudes.

Del diagrama SiO_2 -alcalinos (fig. III.1) se deduce que estas rocas oligocenas pertenecen a la serie de hiperstena. Sin

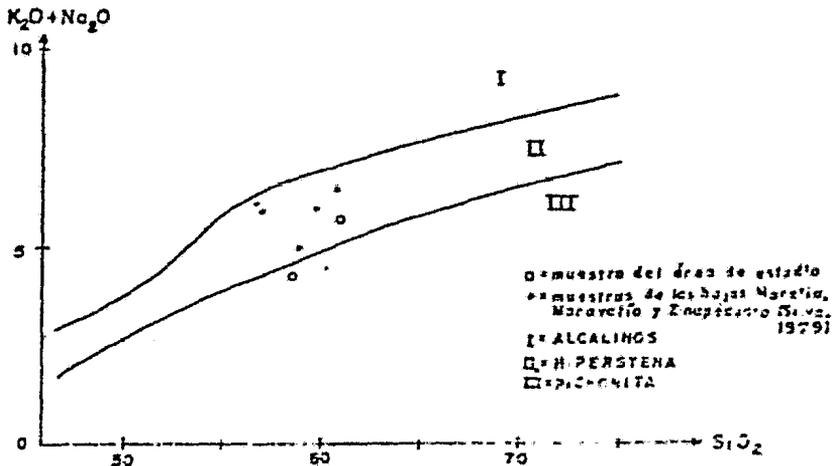


FIG. III.1 : DIAGRAMA SiO_2 - $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ PARA LAS LAVAS DE LA SERIE ANDESITICA OLIGOCENA LOS AZUFRES. (Kuno, 1959).

embargo muestran una posible tendencia hacia el dominio de - pigeonita. Se incluyeron muestras de la región de Maravatio- Morelia-Zinapécuaro (Silva,1979), para realizar una compara- ción gráfica de éstas con las del área de estudio. Como se - observa las lavas oligocenas de "Los Azufres", forman parte - del mismo campo (dominio hiperstena).

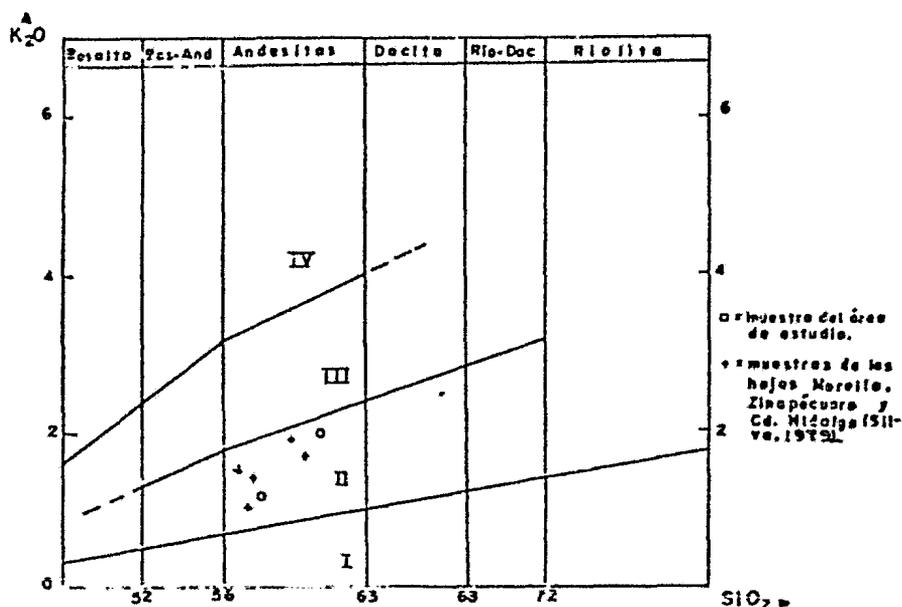


FIG.III.2 : DIAGRAMA K_2O-SiO_2 (Peccerillo-Taylor, 1976) PARA LAS LAVAS DE LA SERIE ANDESITICA "LOS AZUFRES". I=Serie Toleítica; II=Serie alcalina; III=Serie Calcoalcalina potásica; IV= Serie Shoshonítica.

Como confirmación a la clasificación petrográfica , de - campo, así como los argumentos antes expuestos, se utiliza el diagrama K_2O-SiO_2 (fig.III.2), en el que se observa que estas

rocas caen en el dominio de las andesitas de la serie calcoalcalina. Así mismo se incluyeron muestras de lugares cercanos y correlacionables para hacer la comparación respectiva.

I.3- CONCLUSION.

Los análisis petrográficos y químicos revelan que la serie oligocena "Los Azufres", son andesitas correspondientes a la serie calcoalcalina, características que corresponden a un magmatismo de zona de subducción.

II. RIOLITAS DEL MIOCENO

II.1- CARACTERISTICAS PETROGRAFICAS GENERALES.

La composición mineralógica de las riolitas miocenas es muy homogénea. Esta homogeneidad no concuerda con la gran superficie que estas rocas cubren, lo que implica un largo período de actividad volcánica (el Mioceno), que se materializa con varios derrames de composición riolítica, o mejor dicho, ignimbritas.

Las rocas que resultan de este dinamismo ignimbrítico, son tobas soldadas, que definen una sola faciepetrográfica -- (aunque sus composiciones químicas varían de una a otra). Son rocas vítreas, en su gran mayoría desvitrificadas. Presentan fenocristales y pequeños fragmentos de roca (generalmente andesitas), por lo que poseen una textura vitroclástica mal conservada. La asociación mineralógica se compone de fenocrista

les de hornblenda, oligoclasa zoneada y sanidino. La hornblenda se presenta muy alterada, los fenocristales están constituidos por un mosaico de gránulos opacos, donde se observan en ocasiones restos del mineral. La matriz está formada por un mosaico de cuarzo junto con vidrio oscurecido por pequeños gránulos opacos y productos de alteración de los otros minerales. La pasta está generalmente desvitrificada, los minerales se presentan transformados o como fantasmas por la alteración producto de la "cristalización en fase de vapor" (Smith, 1960), ocurrida por el escape de gases que portaba el material, observando en la mayoría de las muestras sólo los productos de esta alteración.

A pesar de su gran distribución, estas rocas varían muy poco en sus características petrográficas, las únicas diferencias se presentan solo por el contenido de sanidino; en algunas de las muestras localizadas en la Sierra La Prieta es más abundante que en las de la Sierra Agustinos (lo que se explicará en la sección de geoquímica), sierras que se atribuyen como posibles centros emisores (ver cap. "Diferentes Episodios Volcánicos"), así como por el grado de alteración de la roca que varía según su localización geográfica, es decir, donde se recolectó la muestra.

II.2- CARACTERISTICAS QUIMICAS GENERALES.

El estudio geoquímico de las ignimbritas en general, expone problemas sobre la selección de muestras representati--

vas del magma original (Ewart, 1965; Lipman, 1967; Coulon, 1977), pues existen datos geoquímicos que indican que la cristalización, hidratación y alteración de vidrios volcánicos ácidos, son frecuentemente acompañados por cambios químicos significativos (Lipman, 1965; Noble, 1967; Zielinsky, 1977); además varios problemas específicos de contaminación, que alteran el material al ocurrir el evento volcánico que los produce (xenolitos derivados del basamento de la estructura volcánica que los origina, en este caso, andesitas), y además las perturbaciones químicas secundarias, originadas por la hidratación secundaria y la desvitrificación de la roca, debida a agentes de intemperismo.

Considerando lo anterior, los análisis obtenidos de estas rocas, no son representativos del material original, pues para tener una composición más confiable, es necesario contar con muestras del vidrio (obsidiana), que comunmente se encuentra en estas rocas. Por la carencia de éste (sólo se localizaron dos afloramientos), se tiene sólo una idea de la composición química de tales rocas. La comparación de los análisis obtenidos con los existentes en lugares cercanos y correlacionables (hojas Morelia, Moroleón, Maravatío y Cortazar; Silva M., 1979), indican una naturaleza similar, que debe confirmarse con un buen número de muestras apropiadas.

Los análisis químicos indican una variación de SiO_2 de 78.92% a 71.53%, bastante amplia, lo que permite clasificarlas como riolitas, de acuerdo con Taylor (1969) (tabla III.2-fig III.3).

Las composiciones entre los dos tipos descritos (tabla-III.2), revelan cambios muy notables en la acidez, entre las riolitas que se encuentran en la Sierra Agustinos (tipo 1) y las que forman la Sierra La Prieta (tipo 2), donde las primeras son más ricas en sílice que las segundas, a pesar de ser ambos tipos de rocas, megascópicamente y microscópicamente iguales. Además se observa una marcada variación en los alca

	1	2	3	4
SiO ₂	78.92	71.53	75.22	74.05
Al ₂ O ₃	9.04	13.06	11.05	12.21
Fe ₂ O ₃	2.17	3.30	2.74	2.16
FeO	0.28	0.74	0.51	0.14
MnO	0.03	0.06	0.05	0.04
MgO	0.31	0.52	0.41	0.20
CaO	0.78	1.06	0.92	0.80
Na ₂ O	2.20	4.50	3.35	3.70
K ₂ O	2.25	3.40	2.86	4.22
TiO ₂	0.32	0.40	0.36	0.33
P ₂ O ₅	0.06	0.08	0.07	0.04
H ₂ O+	1.79	0.41	1.10	1.13
H ₂ O-	2.34	0.33	1.34	0.58

TABLA III.2 : COMPOSICIONES QUIMICAS DE LA SERIE RIOLITICA MIOCENA (IGNIMBRITAS).

- 1 = Ignimbritas de la Sierra Agustinos (m.41).
- 2 = Ignimbritas de la Sierra La Prieta (m.14).
- 3 = Promedio de composiciones entre tipos 1-2.
- 4 = Promedio de composiciones de ignimbritas de las hojas Morelia, Maravatío, Moroleón, Cortazar (Silva M., 1979).

linos ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$), pues es más rico el tipo 2, anomalía ocasionada seguramente por el mayor contenido de sanidino presente en estas rocas.

Comparando el promedio de composiciones de estas rocas (columna 3), con el promedio de los análisis químicos hechos en rocas fuera del área estudiada (columna 4), se ve, en general, que son muy semejantes en acidéz, alúmina, fierro y calcio, variando notoriamente los alcalinos, ya que son menos potásicas y sódicas que las muestras de zonas cercanas al área de estudio, cambio definido posiblemente por el mayor o menor contenido de sanidino en estas rocas.

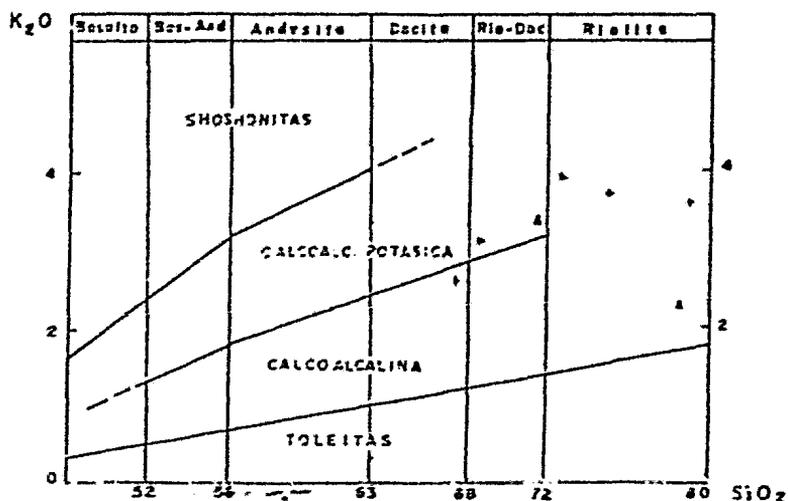


FIG. III.3 : DIAGRAMA $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ (Peccerillo-Taylor, 1976)

- ▲ = muestras del área de estudio
- ▼ = muestras de las hojas Maravatío, Morelia, Morelón y Cortazar (Silva, 1979).

El diagrama $K_2O - SiO_2$ (fig.III.3), confirma la pertenencia de estas rocas a la serie calcoalcalina, puesto en evidencia en los párrafos anteriores, al compararlas con rocas ya definidas; además se intuye la posibilidad de la presencia de miembros más ricos en potasio (ver tabla III.2, col.2; y fig.III.3), que permite definir las rocas de la Sierra La Prieta como riódacitas, y las de la Sierra de Los Agustinos como riolitas.

Introduciendo estas muestras con las ignimbritas pliocenas de la caldera de Amealco en el diagrama Na-K-Ca (fig.III.4), se puede observar una evolución magmática regresiva en el período Mioceno-Plioceno, de eventos más ácidos a eventos más básicos, es decir, desde ignimbritas de naturaleza riolítica ricas en potasio (tabla III.2) hasta ignimbritas de composición andesítica (tabla III.3).

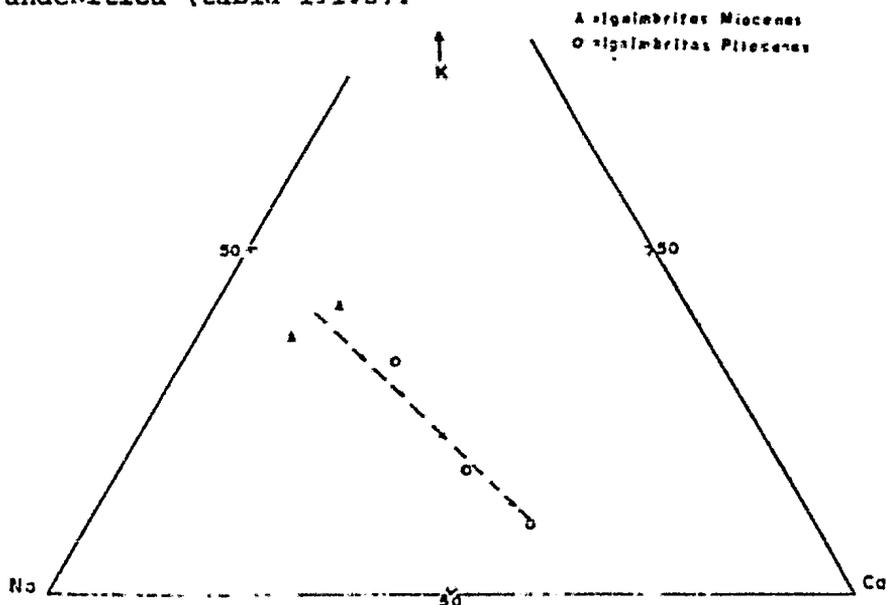


FIG.III.3 : DIAGRAMA Na-K-Ca PARA LOS FLUJOS IGNIMBRITICOS MIO-PLIOCENOS. Se muestra la evolución magmática regresiva de este ciclo.

Esta diferenciación Smith (1979) la explica por medio de una separación gravitacional de los minerales en la cámara magmática, es decir, ésta se comporta como un lago, donde los materiales (minerales) se depositan como sedimentos pesados, que se van a las partes bajas, y los materiales ligeros flotan en las partes altas.

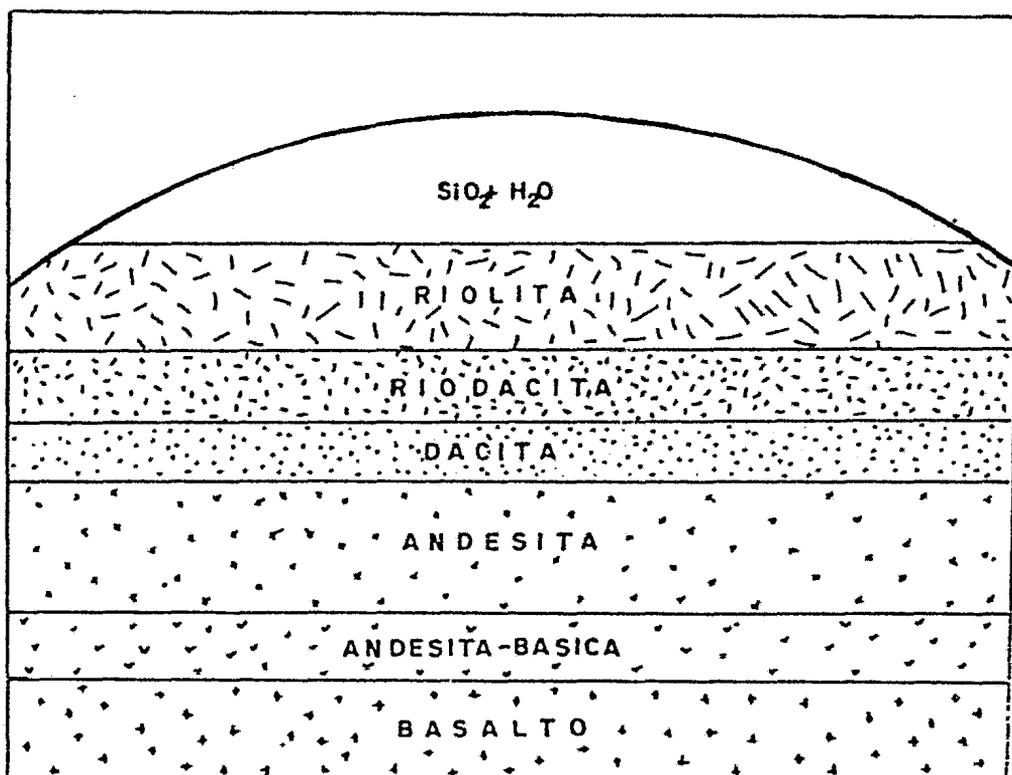


FIG. III.4 : ZONEAMIENTO DE UNA CÁMARA MAGMÁTICA (Smith, 1979). Producto de la acción gravitacional sobre los minerales más densos.

Tal fenómeno permitió a Smith (1979) establecer el "zonamiento de una cámara magmática", según la composición del magma, y separación gravitacional que hayan sufrido sus mine-

rales (fig.III.4).

Según esta teoría, se puede pensar en un ciclo eruptivo de larga duración que emita material de naturaleza riolítica hasta basáltica, lavas que derivan de la misma cámara magmática.

Desde un punto de vista particular, y observando el comportamiento de las rocas Mio-pliocenas en el diagrama Na-K-Ca (fig.III.3), se puede establecer, por la cercanía de las diferentes estructuras (Sierras de Los Agustinos, La Prieta, Caldera de Amalco, complejo Los Azufres), una íntima relación de tipo genético, pues es evidente una evolución magmática, que va de riolitas, riodacitas, hasta ignimbritas andesíticas y muy probablemente alcancen las emisiones basálticas que coronan dichas estructuras.

En general, son rocas con características físicas semejantes (flujos ignimbríticos), pero con ligeras diferencias en sus características químicas (tabla III.2), como se materializa en los diagramas S.I. (Índice de solidificación), (fig.III.5) donde se observa una notable disminución del sílice durante el mio-plioceno, en contraste con un aumento de CaO y MgO, marcándose más este incremento en el contenido de hierro; datos que evidentemente implican una evolución del magma, desde una composición ácida a una más básica (evolución regresiva), originada por un zoneamiento gravitacional de la cámara magmática (Smith, 1979). Por otro lado, en ese mismo diagrama se puede ver que el índice de solidificación (S.I.) no varía entre las rocas riolíticas Miocenas (Sierras Los Agustinos y La Prieta),

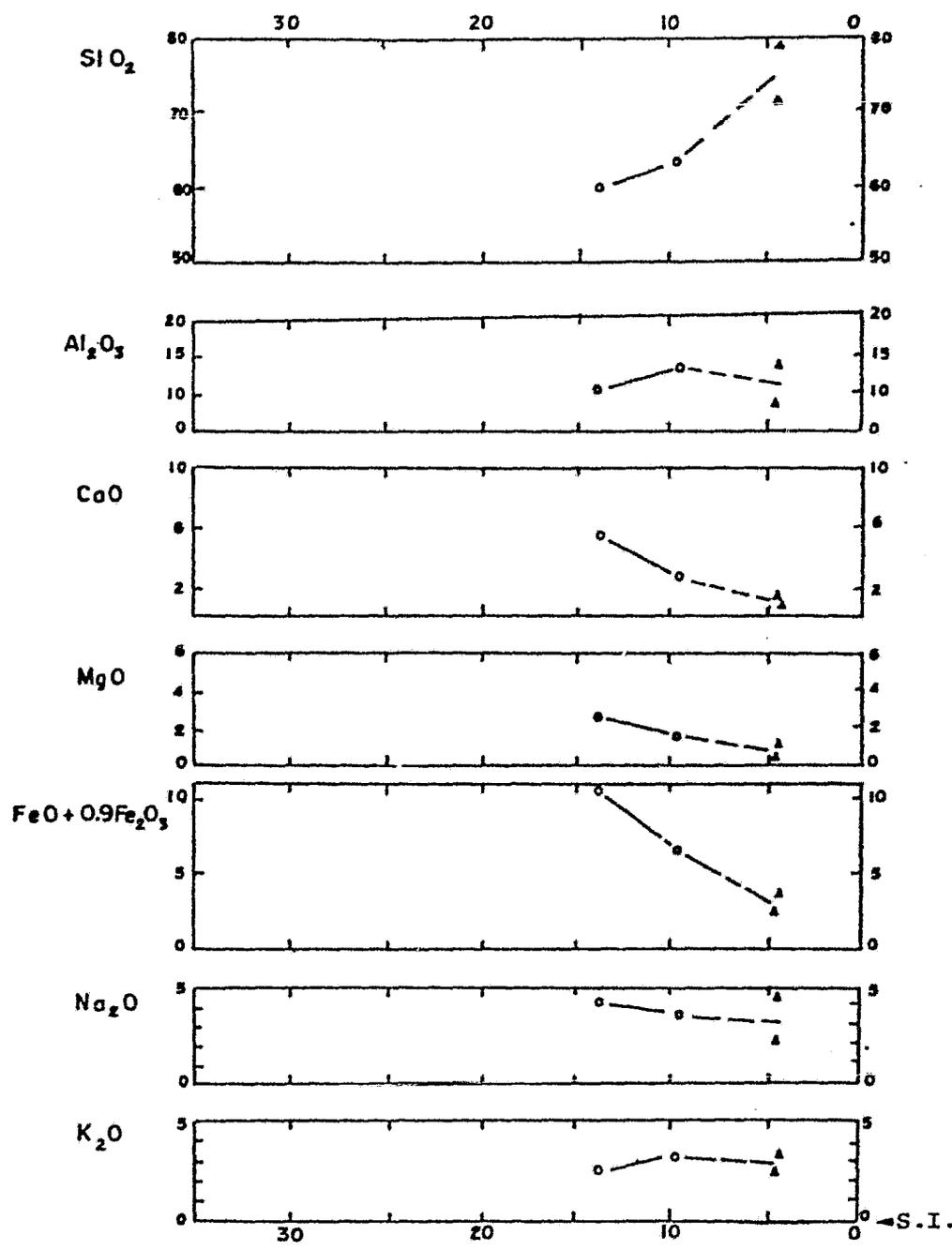


FIG. III.5 : DIAGRAMAS S.I. (índice de solidificación) PARA LA SERIE MIO-PLIOCENA.

Δ = Ignimbritas riolíticas miocenas.
 o = Ignimbritas andesíticas Amealco (pliocenas).

$$S.I. = 100MgO / MgO + FeO + Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O$$

por lo que puede pensarse que pasaron por las mismas o similares condiciones de cristalización, factores que explican la

homogeneidad en ambos tipos, en lo que respecta a mineralogía y estructuras que forman.

II.3- CONCLUSION.

Resumiendo, se puede decir que la serie miocena son ignimbritas de composición riolítica y riodacítica, pertenecientes a la serie calcoalcalina, que varían un poco su alcalinidad, de ligeramente pobre en K_2O a ligeramente potásicas, posiblemente como producto de un zoneamiento de la cámara magmática que alimentaba las estructuras que las originaron. Su homogeneidad mineralógica, así como el tipo de estructuras que edificaron,, indican condiciones similares de cristalización. Se puede pensar que los centros que las produjeron (Sierras La Prieta y Los Agustinos), pudieron tener un período de actividad contemporáneo o simultáneo (Mioceno), lo que permitiría relacionar las cámaras magmáticas con una misma fuente alimentadora, que al irse vaciando, produjeron los magmas más y más básicos.

III. IGNIMBRITAS DE AMEALCO

Como ya se mencionó en la unidad anterior, es necesario tener en cuenta que los flujos ignimbríticos pueden sufrir "contaminación" durante su ascenso o al ocurrir el evento -- eruptivo que los origina, por lo que es conveniente considerar este tipo de datos con cierta reserva. Para hacerlos lo más confiable posible, se compararon los datos obtenidos en esta zona con los proporcionados por Sánchez R. (1978), en su estudio sobre la Caldera de Amealco.

III.1- CARACTERISTICAS PETROGRAFICAS GENERALES.

Esta unidad posee dos paquetes característicos de un derrame ignimbrítico, es decir, lo constituyen un paquete de pomez en la base, y sobre él, un horizonte de tobas soldadas. Asociado a este flujo ignimbrítico, se presenta subyaciéndolo, un paquete de tobas de caída aérea, formado por fragmentos de pomez y cristales (lapilli).

Solo se pudieron determinar las características petrográficas del material más compacto (tobas piroconsolidadas). De los otros dos paquetes (pomez y tobas de caída aérea), no fue posible realizar su análisis petrográfico, por la alteración y poca compactación que presentan, ya que son materiales fácilmente intemperizables, por lo que sólo se realizó una descripción megascópica.

Las ignimbritas son tobas con textura vitroclástica, que presentan cristales rotos de plagioclasa y pequeños prismas de hiperstena, en una matriz de vidrio; además se observan -- grandes lentejones pilotaxíticos; contiene también fragmen-- tos de pumita y de roca, principalmente de naturaleza andesítica.

En comparación con las ignimbritas anteriores (miocenas) esta secuencia se encuentra mucho menos alterada y se observan claramente los lentes pilotaxíticos característicos de estas rocas; el vidrio todavía se presenta sano, sin haber sufrido desvitrificación. En cuanto al color, estas rocas son -- mucho más oscuras (gris oscuro) que las ignimbritas antes -- mencionadas (gris claro-rosadas), ocasionado por un cambio en la composición química, como se verá a continuación.

III.2- CARACTERISTICAS QUIMICAS GENERALES.

Se realizaron análisis químicos en las tobas soldadas y en los depósitos de pomez, solo que en este último caso, la -- composición obtenida puede no ser muy veraz, ya que tal depó-- sito presentaba cierta alteración.

Los análisis químicos revelan rocas de composición andesítica-dacítica ($60.77\% < \text{SiO}_2 < 63.72\%$), lo que pudiera deberse a la influencia del contenido de fragmentos de roca andesítica (tabla III.3).

De la tabla III.3 se ve que existe una similitud entre las composiciones de la toba soldada (columnas a y b), varian

	1		2	3
	a	b	*pomez	prom.
SiO ₂	63.72	60.77	53.21	62.23
Al ₂ O ₃	13.19	10.66	17.33	11.93
Fe ₂ O ₃	5.24	7.74	5.85	6.49
FeO	1.92	3.87	1.03	2.90
MnO	0.12	0.12	0.08	0.12
MgO	1.46	2.80	1.37	2.13
CaO	2.67	5.35	1.73	4.01
Na ₂ O	3.60	4.25	0.45	3.92
K ₂ O	3.50	2.50	1.00	3.00
TiO ₂	0.58	1.00	0.72	0.79
P ₂ O ₅	0.20	0.32	0.14	0.26
H ₂ O+	2.71	0.63	11.32	1.67
H ₂ O-	1.30	0.14	4.93	0.72

TABLA III.3 : COMPOSICIONES DE LOS FLUJOS IGNIMBRITICOS DEL PLIOCENO (IGNIMBRITAS AMEALCO)

- 1 = Paquete de tobas soldadas.
 2 = Paquete de pomez de la misma secuencia.
 3 = Promedio de las composiciones de las tobas soldadas.

* = El paquete de pomez no se consideró en el promedio (columna 3) por poseer datos no representativos.

do sobre todo en los contenidos de fierro y calcio, siendo -- más básicas las de la columna b, cambio posiblemente ocasiona-- do por el mayor o menor contenido de fragmentos líticos de -- andesitas, o por una evolución magmática, que tiende a ser -- más básicos los productos originados. En cambio, la composi-- ción del depósito de pomez (columna 2) varía notablemente -- con respecto a la composición de las tobas soldadas (colum-- nas 1 y 3), indicando una marcada disminución en acidéz, así -- como en el contenido de hierro, calcio y en general para to

dos los elementos, excepto la alúmina, que aumenta considerablemente. Tal variación en la composición seguramente se debe al grado de alteración del material pumítico (a pesar de ser el mejor afloramiento de este depósito en el área), que se puede relacionar con el incremento de alúmina, lo que implicaría un proceso de caolinización, evidente al observar el material.

Sánchez R. (1978) realizó varios estudios químicos y petrográficos de estas rocas, en su trabajo sobre la Caldera de Amealco, lo que permite comparar las muestras que él recolectó con las del área de estudio. En el diagrama $K_2O + Na_2O - SiO_2$ (fig. III.6), se ve que ambos muestreos se localizan en el mismo campo, o sea pertenecen al de las rocas calcoalcalinas.

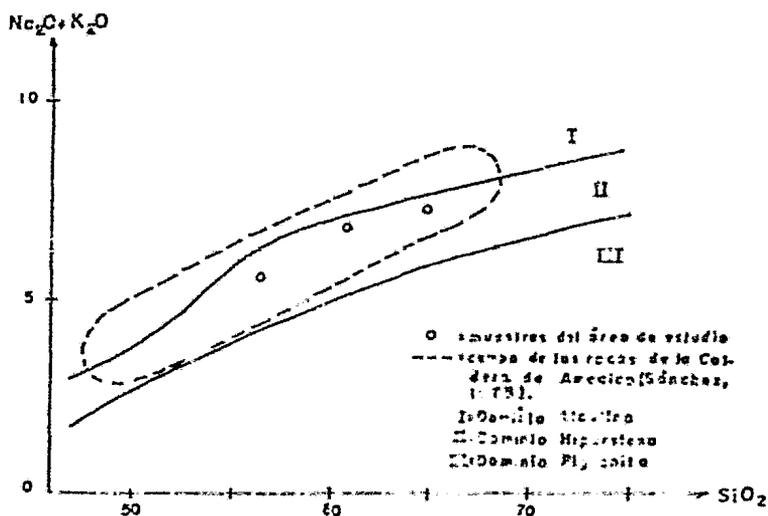


FIG. III.6 : DIAGRAMA $K_2O+Na_2O - SiO_2$ (Kuno, 1959) PARA LOS FLUJOS IGIMBRITICOS PLIOCENOS.

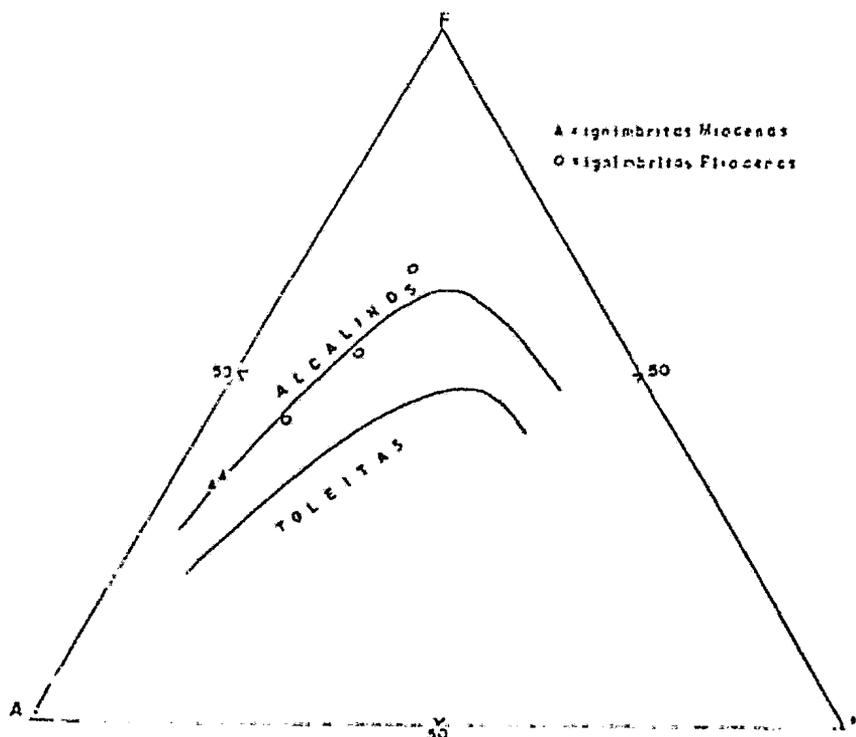


FIG.III.7 : DIAGRAMA A-F-M ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} \cdot \text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$) (Kuno, 1968) PARA LA SERIE MIO-PLIOCENA. Muestra la evolución regresiva de flujos ignimbríticos ácidos a básicos.

Confirmado con el diagrama A-F-M (fig.III.7), en donde - las muestras también pertenecen a la serie calcoalcalina, y se observa la evolución magmática regresiva de estas rocas - al incluirlas con muestras de la serie ignimbrítica miocena.

Al analizar el diagrama $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ (fig.III.8), se puede observar también que las rocas de este período presentan una evolución inversa de dacitas → andesitas → andesitas básicas, apoyada en su posición estratigráfica, es decir, su orden de emplazamiento A → B → C.

Como se ve, es posible establecer que en el Plioceno in-

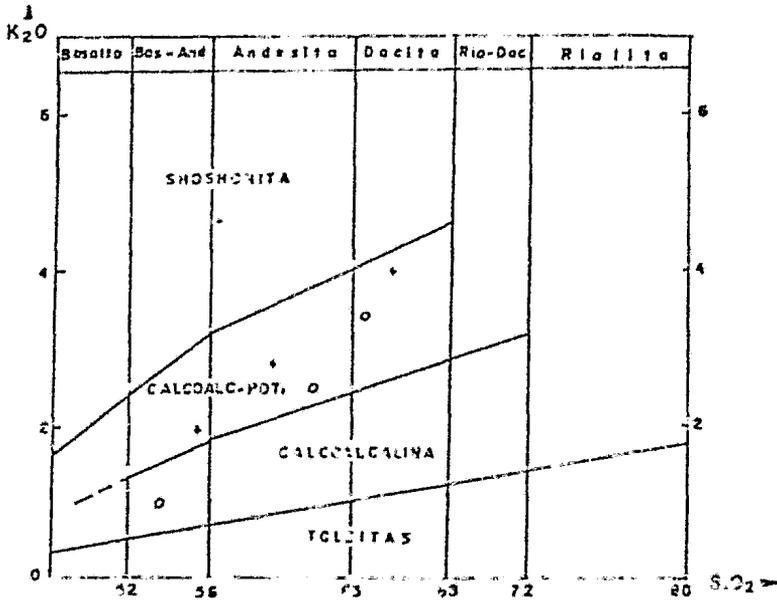


FIG.III.8 : DIAGRAMA $K_2O - SiO_2$ (Peccerillo-Taylor, 1976)
PARA LA SERIE PLIOCENO INFERIOR (IGNIMBRITAS
AMEALCO)

o: Muestra del área de estudio.

+: Muestras de la Caldera de Amealco (Sánchez, 1978).

ferior continúa el ciclo magmático que se originó en el Mioceno superior, con las riolitas columnares (ignimbritas), que se originaron por un zoneamiento de la cámara magmática, que hasta el momento ha producido riolitas-dacitas-andesitas - andesitas básicas, y posiblemente incluya eventos mucho más recientes, que involucrarían las rocas basálticas, que forman los conos escoriáceos que sobreyacen a las estructuras. Este último aspecto queda sin comprobar, por falta de datos más precisos, como serían el análisis de elementos en traza, que permitirían definir y confirmar las ligas genéticas de las rocas mencionadas.

III.3- CONCLUSION.

La serie ignimbrítica Pliocena, posee en general una composición química que varía de dacitas hasta andesitas básic--cas; rocas que se ubican en el campo de las serie calcoalca--lina; pudiéndose interpretar esta fase, como el evento final--del ciclo magmático Mio-plioceno (ácidos → básicos), por los argumentos antes expuestos.

IV. ANDESITAS DEL PLIOCENO

En los capítulos anteriores, se ha dividido la serie ---pliocena en dos unidades : las andesitas afíricas del Plioceno inferior, y las andesitas porfíricas del Plioceno superior. Sin embargo, hay que considerar que los derrames derivan de --la misma fuente, y podrían representar la evolución que se --presenta durante un sólo ciclo eruptivo (Paricutín, R. Wilcox, 1954), por lo que estas rocas pueden considerarse como una sola unidad, que presenta diferentes facies petrográficas y diversas características químicas.

IV.1- CARACTERISTICAS PETROGRAFICAS GENERALES.

La serie andesítica del Plioceno presenta tres facies --petrográficas, variando desde andesitas ricas en ortopiroxeno hasta andesitas ricas en anfíboles.

Facie 1.- Son rocas del Plioceno inferior; presentan textura afanítica, con escasos o raros microfenocristales alterados de hiperstena, labradorita, y en ocasiones, olivino de color pardo oscuro; en una matriz microlítica, también muy alterada, formada por olivino + ortopiroxeno + clinopiroxeno + plagioclasa intermedia -básica; cementado con vidrio de color pardo, pigmentado por gránulos de minerales opacos (magnetita?). Como accesorio se tiene a la esfena euedral y manchones de magnetita amorfa.

Facie 2.- Se trata de rocas del Plioceno superior; grupo -- que es muy semejante al primero, en cuanto a mineralogía, pero no en lo que se refiere a textura. Los fenocristales son -- abundantes, por lo que se trata de una roca porfírica fluidal, predominan la andesina y los prismas de ortopiroxenos (hiperstena), en una matriz microlítica de olivino iddingsitizado, rodeados por gránulos de clinopiroxenos) + anfíboles + -- plagioclasas intermedias; como cementante un vidrio incoloro, y de accesorios, la magnetita intersticial en forma de gránulos.

Facie 3.- En esta facie la mineralogía tiende a ser menos-básica que las anteriores; las rocas presentan textura porfírica, con mayor tamaño en los fenocristales: hornblenda y andesina zoneada. Los anfíboles presentan bordes que indican el principio de un fenómeno de absorción magmática, que están constituidos principalmente de gránulos de minerales opacos (magnetita ?), lo que indica una reacción de estos minerales

con el líquido residual, o bien, un cambio de las condiciones físicas. Algunos de estos cristales se encuentran completamente substituídos por minerales opacos. La matriz es microlítica y presenta la misma mineralogía, cementada con un vidrio intersticial de color pardo.

Observando el comportamiento de la mineralogía de estas tres facies, se ve que existe un cambio en cuanto a composición del magma y en cuanto a las condiciones de cristalización, ya que se tienen andesitas microlíticas básicas (casi basaltos), andesitas porfíricas de hiperstena y andesitas porfíricas de hornblenda, rocas que fueron emitidas por la misma fuente magmática.

IV.2-CARACTERISTICAS QUIMICAS GENERALES.

Los análisis químicos que se realizaron en esta serie, nos permiten clasificarlas como rocas andesíticas ($56.7\% < \text{SiO}_2 < 61.35\%$), aspecto que corresponde a las características de la mayoría de las rocas Pliocenas en el Eje Neovolcánico.

En la tabla III.4 se agrupan los tres tipos de andesitas descritas anteriormente. Aquí se observa un enriquecimiento gradual, desde el tipo 1 al 3, en SiO_2 , es decir, existe una evolución química y mineralógica en los diferentes derrames, como se puso en evidencia desde el párrafo anterior (ver descripción petrográfica).

Por otro lado, el fierro y magnesio tienden a disminuir, cambio que se materializa por la progresiva sustitución de -

	1		2		3		4	5	6
SiO ₂	51.60	53.72	54.50	56.43	61.33	61.35	52.66	55.47	61.34
Al ₂ O ₃	18.36	17.66	19.34	17.58	17.74	15.97	18.01	18.46	16.86
Fe ₂ O ₃	1.76	2.12	1.99	1.83	3.28	1.62	1.94	1.99	2.45
FeO	6.87	5.08	3.60	4.40	2.56	3.42	5.98	4.00	2.99
MnO	0.20	0.16	0.16	0.14	0.08	0.13	0.18	0.15	0.11
MgO	5.85	4.31	5.35	3.56	2.33	2.11	5.08	4.46	2.22
CaO	7.67	7.82	7.34	7.35	4.80	4.97	7.75	7.34	4.89
Na ₂ O	3.70	4.20	3.40	3.95	2.90	4.70	3.95	3.68	3.80
K ₂ O	1.10	1.35	1.50	1.60	2.00	3.10	1.23	1.55	2.55
TiO ₂	1.80	1.55	1.40	1.30	0.82	1.02	1.68	1.35	0.92
P ₂ O ₅	0.53	0.44	0.45	0.37	0.20	0.32	0.49	0.41	0.26
H ₂ O+	0.40	0.51	0.67	0.97	0.81	0.83	0.46	0.82	0.82
H ₂ O-	0.19	0.34	0.53	0.49	0.67	0.48	0.27	0.51	0.58

TABLA III.4 : COMPOSICIONES DE LAS ANDESITAS PLIOCENAS

- 1 = Andesitas del tipo 1 (Plioceno inferior).
- 2 = Andesitas del tipo 2 (Plioceno superior).
- 3 = Andesitas del tipo 3 (Plioceno superior).
- 4 = Promedio andesitas tipo 1.
- 5 = Promedio andesitas tipo 2.
- 6 = Promedio andesitas tipo 3.

los minerales, desde el olivino → piroxeno → anfíbol, es decir, se pasa de una roca básica (facie 1) a una mucho más ácida (facie 3), sin interrumpir la progresión, aspecto que se puede confirmar, con el decremento de elementos como el CaO, y el -- consecuente incremento de los alcalinos (Na₂O + K₂O), eventos desarrollados durante el Plioceno.

La evolución magmática que antes se esbozó se muestra - en el diagrama Na-K-Mg (fig. III.9), donde se ve un tren evolutivo, que va de miembros básicos (ricos en hiperstena) hasta miembros ácidos (ricos en hornblenda); además un enriqueci-

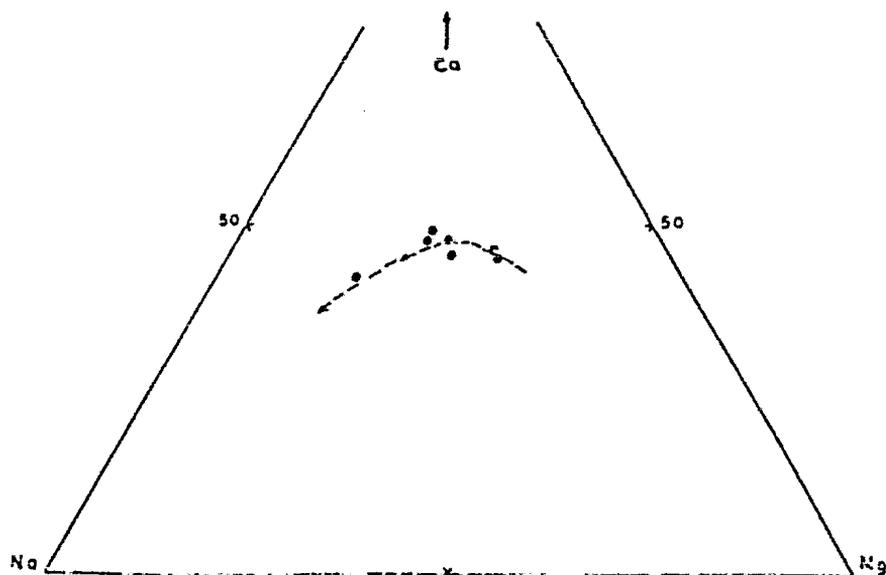


FIG. III.9 : DIAGRAMA Na-Ca-Mg PARA LA SERIE ANDESITICA PLIOCENA.

miento en Na y un paulatino empobrecimiento de Ca y Mg. Aspecto que se puede traducir en un fenómeno de cristalización fraccionada, como se visualiza en los diagramas S.I. (fig. III. 10), en los cuales se nota un marcado incremento de SiO_2 y K_2O , en contraste con el decremento de los elementos básicos, como el CaO , MgO , y FeO^T .

Por otro lado, queda verificado que estas rocas pertenecen a la serie calcoalcalina, como se manifiesta en el diagrama $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ (fig. III.11), y en el diagrama $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ (fig. III.12), en donde no solo se obtiene la clasificación de la roca, sino que también se manifiesta el tren evolutivo de basaltos \rightarrow andesitas básicas \rightarrow andesitas.

Es además conveniente señalar que los datos incluidos en la fig. III.12, muestra a los tres tipos de andesitas antes descritas, es decir, se separan en tres grupos: el tipo 1, que corresponde al dominio alcalino; el tipo 2, que -

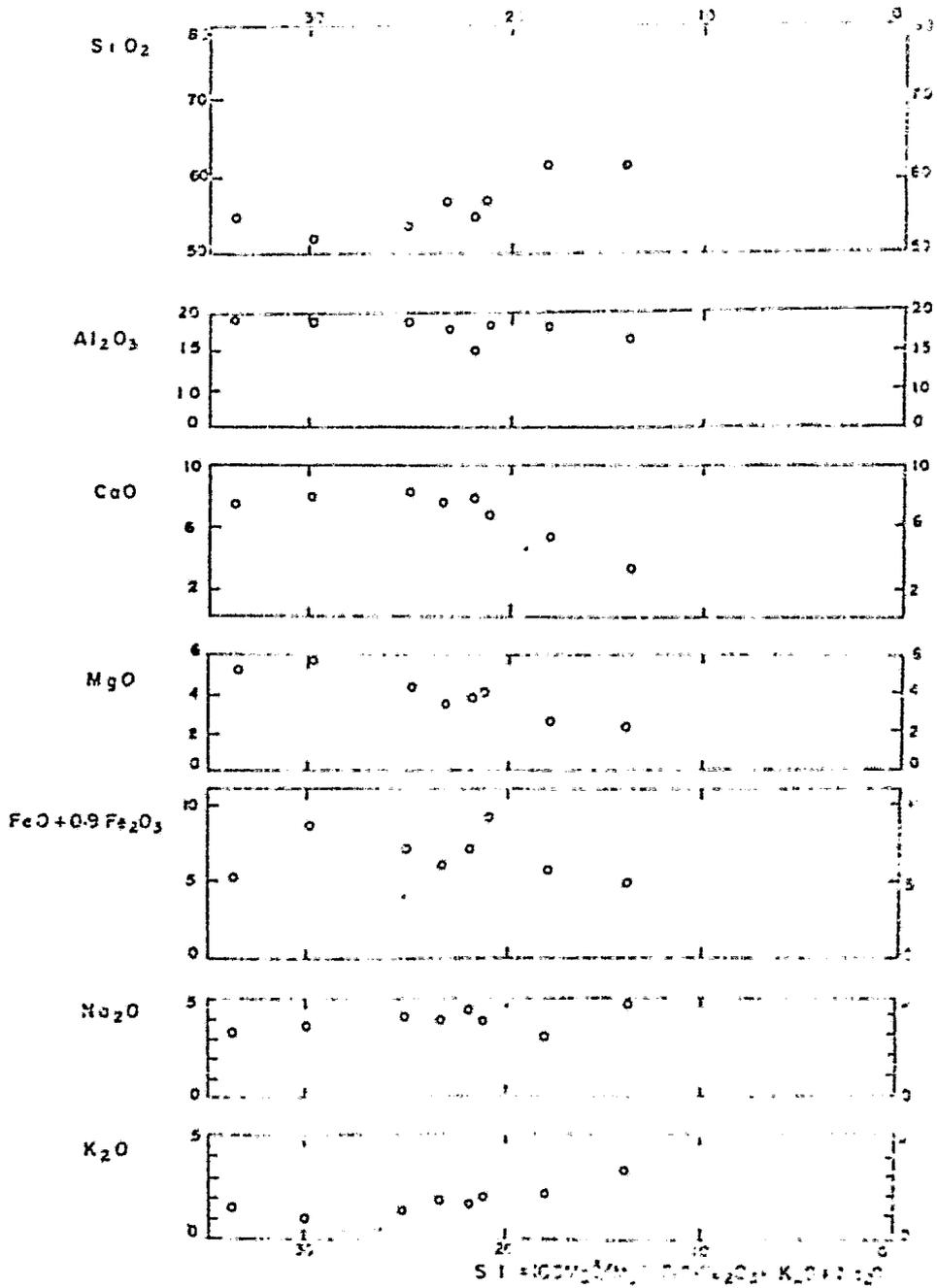


FIG.III.10 : DIAGRAMAS S.I. (Indice de solidificación) DE LAS ANDESITAS PLIOCENAS. Se muestra un fenómeno de cristalización fraccionada.

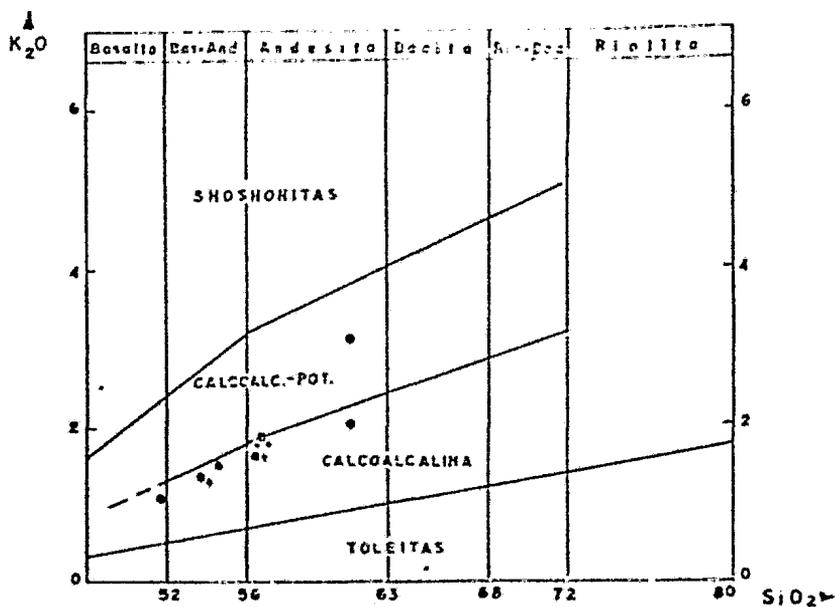


FIG.III.11 : DIAGRAMA K₂O - SiO₂ (Peccerillo-Taylor, 1976) DE LAS LAVAS ANDESÍTICAS PLIOCENAS.

- = Muestras del área de estudio.
- ◆ = Muestras de las hojas Acámbaro, Morelia, Salvatierra (Silva M., 1979).

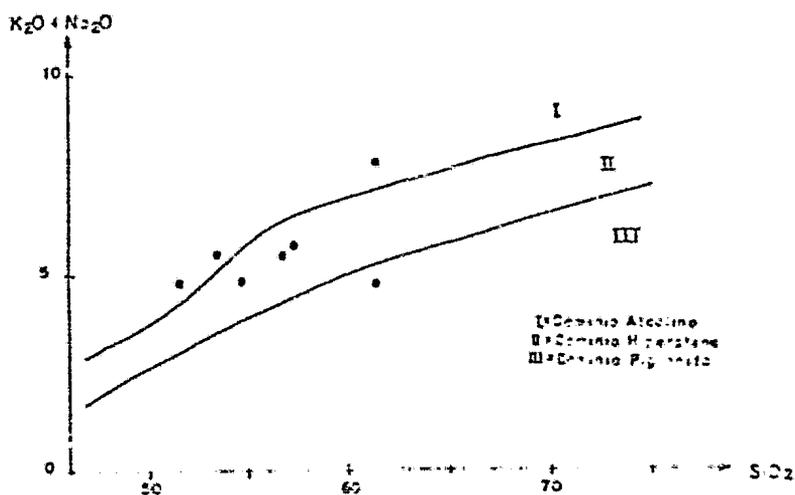


FIG.III.12 : DIAGRAMA K₂O+Na₂O - SiO₂ (Kuno, 1959) DE LAS LAVAS ANDESÍTICAS PLIOCENAS.

corresponde al dominio hiperstena y el tipo 3, al dominio de la pigeonita. Datos que al correlacionarlos con las descripciones petrográficas, confirman la existencia de las --- tres facies establecidas. Además, ponen en evidencia la presencia de características físicas, que evocan a rocas pertenecientes a otras series magmáticas (?). En otras palabras, esto indica que las lavas del Eje Neovolcánico, y por lo tanto del área de estudio, pueden poseer un carácter alcalino o bien toleítico continental (tipos 1 y 3 respectivamente), aunque esto no sucede comunmente, sino más bien como rarezas.

IV.3- CONCLUSION.

El vulcanismo durante el Plioceno, fue en su mayoría de composición basáltico-andesítico, variando desde lavas básicas hasta lavas intermedias, lo que indica el inicio de un ciclo de cristalización fraccionada, que comenzó a partir de la gran actividad volcánica pliocena y culminó en el Cuaternario (como se verá más adelante). Las lavas así producidas se clasificaron como andesitas básicas, andesitas de hiperstena y andesitas de hornblenda. rocas que corresponden a la serie calcoalcalina.

V. ANDESITAS Y RIOLITAS DEL CUATERNARIO

V.A- ANDESITAS ASOCIADAS A CONOS CINERITICOS.

Debido a la escasez de datos, sobre todo químicos, que se obtuvieron para estas rocas, será necesario enfocar esta descripción a las características petrográficas que presentan. Posteriormente, al analizar sus características químicas, se establecerán parámetros de comparación con otras rocas cercanas a la zona de estudio, cuyas composiciones se conocen.

A.1- CARACTERISTICAS PETROGRAFICAS GENERALES.

Del análisis petrográfico de seis láminas delgadas, fue posible definir las siguientes facies petrográficas :

- Facie 1.- Presenta una textura microlítica, con escasos fenocristales de ferromagnesianos y plagioclasas, cuya paragénesis mineralógica está representada por la siguiente asociación : olivino con bordes iddingsitizados + andesina + raros cristales de augita. Minerales que también forman parte de la matriz, donde abunda el olivino en gránulos iddingsitizados y pequeños prismas redondeados de plagioclasa. Cementados por un vidrio negro, pigmentado por diminutos gránulos de magnetita de cristalización tardía.

- Facie 2.- Son rocas con una textura microlítica, ligeramente porfírica, constituidas por algunos fenocristales de olivino, completamente iddingsitizado, que en ocasiones presentan -

anillos de piroxeno (augita), así como plagioclasas del tipo de la andesina, que forma agregados de varios cristales, junto con algunos de augita. Cementados por un vidrio incoloro, con abundantes gránulos de magnetita y algunos manchones de tridimita. Como accesorios se presentan la ilmenita y la magnetita amorfa.

- Facie 3.- Esta constituye el tipo de andesita más ácida - de esta serie, además es la más reciente, por su posición estratigráfica en el terreno (cima de los Agustinos). Presenta una textura microlítica, un poco más gruesa que en la facie anterior. Está formada por escasos microfenocristales de andesina. La matriz se compone de microlitos de plagioclasa y augita, esta última abunda y en ocasiones constituye gránulos; además de éstos, contiene ilmenita, cementados con un vidrio incoloro.

Las tres facies antes descritas muestran una gran semejanza entre ellas, sobre todo en lo que se refiere a la textura, pero en general, su diferencia radica en la presencia o ausencia del olivino, así como un ligero aumento en la talla de los microlitos, que se manifiesta progresivamente de la facie 2 a la 3. Esto ocasiona una variación en la composición, que se refleja en los ferromagnesianos, iniciando con una asociación mineralógica representada por olivino + augita ; olivino + augita + plagioclasa ; finalizando en la última facie -- con augita + plagioclasa, es decir, van de andesitas básicas a andesitas típicas.

A.2- CARACTERISTICAS QUIMICAS GENERALES.

Es conveniente analizar las características químicas de estas rocas, en función de los datos que se tienen, sobre los basaltos y andesitas de edad cuaternaria, de zonas aledañas, ya que establecen ligas genéticas con otras rocas (riolitas). En este caso, es un poco difícil confirmar este aspecto, - por la escasez de datos químicos en el área de estudio.

Los análisis químicos de rocas cercanas al área estudiada, muestran que existen lavas basálticas-andesíticas-dacíticas, con un contenido de SiO_2 que varía de 48% hasta 63% (Silva, 1979; Silva, en impresión).

	1	2a	2b	3
SiO_2	50-58%	48 - 55%		53-63%
SiO_2	55.52	54.66	54.98	55.57
Al_2O_3	17.16	17.91	16.39	17.01
Fe_2O_3	1.46	1.93	1.50	1.50
FeO	6.50	5.22	6.57	6.01
MnO	0.15	0.16	0.13	0.12
MgO	4.29	3.67	4.95	4.87
CaO	6.82	7.54	7.06	6.83
Na_2O	3.92	4.30	3.95	3.86
K_2O	1.72	1.70	1.82	1.85
TiO_2	1.15	1.77	1.28	1.15
P_2O_5	0.31	0.54	0.31	0.52
H_2O^+	0.53	0.59	0.51	0.40
H_2O^-	0.15	0.32	0.22	0.16

TABLA III.5 : COMPOSICIONES DE LAS LAVAS ANDESITICAS CUATERNARIAS (CONOS ESCOREACEOS).

- 1= Andesitas del tipo 1 (Silva, 1979; en prensa). Prom.
- 2a= Andesitas del tipo 2. Muestra GA-23 del área.
- 2b= Andesitas del tipo 2 (Silva, 1979; en prensa). Prom.
- 3= Andesitas del tipo 3 (Silva, 1979; en prensa). Prom.

Respecto a las rocas obtenidas, el análisis realizado dió como resultado una correspondencia al tipo 2 (columna 2a, tabla III.5), y se correlaciona con las rocas definidas en el intervalo $48\% < \text{SiO}_2 < 55\%$ (Silva M., 1979). Al analizar el promedio de esas rocas (columna 2b, tabla III.5) con los datos obtenidos, se observa que son muy similares, sin embargo, existen ligeras diferencias químicas. En general, las rocas de la zona son un poco más básicas que las rocas cercanas y correlacionables. Esta variación se nota principalmente en los elementos básicos (FeO^T , MgO , CaO), siendo mayores los de la columna 2b. Aspecto que se explica con una mayor abundancia de minerales ferromagnesianos, en las rocas representadas por la columna 2b. En contraste, los elementos como el Al_2O_3 , Na_2O , poseen un valor ligeramente más alto en las rocas de esta región (columna 2a).

Silva M. (1979), también definió tres grupos de rocas andesíticas de edad cuaternaria, cuyo orden se establece en la tabla III.5, en donde se ubican a las rocas de la región estudiada como el tipo 2. Los tipos 1 y 3 corresponden a las facies respectivas, que se describieron anteriormente en la sección de petrografía, es decir, comparando todos los datos de la tabla III.5 con los análisis petrográficos, se nota que concuerdan con la mineralogía presente en cada uno de los tipos de andesitas definidos.

Resumiendo, en las rocas del tipo 2, hay mayor contenido de ferromagnesianos (olivino + augita), que en las rocas de

los tipos 1 y 3, por lo que se trata de el miembro más básico (andesita básica) de las facies definidas; mientras que en las rocas del tipo 3, los ferromagnesianos predominantes son los clinopiroxenos, siendo notoria la ausencia de olivino y ortopiroxeno, lo que se confirma con una composición más ácida, permitiendo considerarla como una andesita típica.

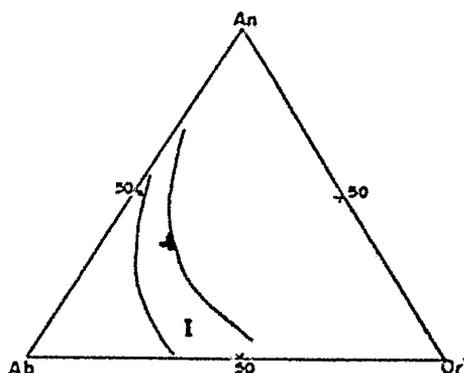


FIG. III.13 : DIAGRAMA Ab-An-Or (Irvine-Baragar, 1971)
PARA LAS ANDESITAS CUATERNARIAS.

- I = Campo de los calcoalcalinos.
- ▲ 1 = Columna 1 de tabla III.5 :
Or=15.78% ; Ab=51.53% ; An=32.79%
 - 2a = Columna 2a de tabla III.5 :
Or=14.16% ; Ab=51.53% ; An=34.59%
 - + 2b = Columna 2b de tabla III.5 :
Or=13.84% ; Ab=49.13% ; An=37.02%
 - 3 = Columna 3 tabla III.5 :
Or=16.30% ; Ab=50.05% ; An=33.64%

En el diagrama Ab-An-Or (fig. III.13) se puede observar - que las rocas analizadas, tanto en áreas cercanas, como en la propia, ocupan un lugar en el diagrama que pone en evidencia

su relación con rocas que pertenecen a la serie calcoalcalina.

A.3- CONCLUSION.

En general, los derrames asociados a conos cineríticos del Cuaternario, se pueden clasificar como andesitas básicas, posiblemente producto de un fenómeno de cristalización fraccionada, como el que se estableció en el caso de las andesitas pliocenas, y que ha sido confirmado para este tipo de rocas en zonas circundantes.

Tal vez pudieran estar ligadas genéticamente, con los episodios volcánicos anteriores y contemporáneos (Mioceno Plioceno-Cuaternario), pues los conos escoriáceos coronan o bordean las grandes estructuras, dibujando la presencia de lineamientos regionales (NNW-SSE y E-W), tanto recientes como de mayor edad, es decir, posiblemente los diferentes productos expuestos en la región, sean materiales derivados del mismo reservorio que originó a las Sierras La Prieta, Puruagua y Los Agustinos.

Son rocas que pertenecen al dominio calcoalcalino, característico de zonas de subducción.

V.B- RIOLITAS ASOCIADAS A CUERPOS DOMICOS.

Estas estructuras junto con los conos cineríticos definidos anteriormente, son lo más reciente en el área de estudio; aspecto que permitió obtener muestras frescas y sanas, tanto para el análisis químico como para la descripción petrográfica. Como se verá a continuación, estas rocas presentan un cambio en su composición química y mineralógica, así como una íntima asociación en el tiempo, con fases eruptivas más básicas, producto de pequeños conos escoriaáceos.

B.1- CARACTERISTICAS PETROGRAFICAS GENERALES.

Son rocas vítreas, que constituyen una sola facie petrográfica. Presentan una textura porfírica y en ocasiones perlitica, con fenocristales de oligoclasa zoneada, sanidino, cuarzo corroído y escasos de hornblenda, aislados unos de otros por una matriz vítrea isotrópica, que en ocasiones muestra una estructura fluidal. Algunas veces presenta diminutos cristalitas de anfíboles, plagioclasas y cuarzo.

Petrográficamente se podría clasificarlas como un vidrio riolítico, que quizá constituya parte de una secuencia diferenciada, como se esboza anteriormente, y que ya ha sido establecida en el sur de esta región (Silva M., 1979).

B.2- CARACTERISTICAS QUIMICAS GENERALES.

Los análisis químicos muestran que se tienen lavas ácidas de composición riolítica ($72.70\% < \text{SiO}_2 < 74.37\%$). En la tabla - III.6 se observa que los elementos mayores son el SiO_2 , el Na_2O y el K_2O , en contraste con la relativa pobreza de FeO^T , MgO y CaO , que confirma la etapa evolutiva que alcanzó el material ígneo, y permite apoyar la suposición de que estas rocas forman parte de una secuencia diferenciada.

	GA-34	GA-45	AP-2	PROMEDIO
SiO_2	72.70	73.73	74.37	73.60
Al_2O_3	13.08	13.82	12.35	13.08
Fe_2O_3	1.11	0.61	0.84	0.85
FeO	0.48	0.54	0.47	0.50
MnO	0.07	0.02	0.03	0.04
MgO	0.25	0.24	0.15	0.21
CaO	0.89	0.33	0.55	0.59
Na_2O	3.70	3.50	3.90	3.70
K_2O	4.56	4.20	4.65	4.47
TiO_2	0.20	0.07	0.00	0.09
P_2O_5	0.06	0.04	0.05	0.05
H_2O^+	2.36	2.17	2.06	2.20
H_2O^-	0.42	0.45	0.56	0.48

TABLA III.6 : COMPOSICIONES DE LAS LAVAS RIOLITICAS CUATERNARIAS ASOCIADAS A CUERPOS DOMICOS.

El alto contenido de alcalinos se refleja por la presencia de minerales como la óligoclasa y el sanidino, en la mayoría de las muestras. Los altos porcentajes de SiO_2 también -

encuentran su explicación en los cristales presentes, y en la matriz vítrea, de naturaleza ácida, que constituye una parte importante de la roca.

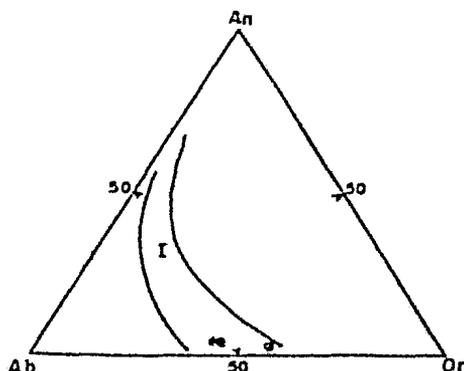


FIG.III.14 : DIAGRAMA Ab-An-Or (Irvine-Barager, 1971)
PARA LAS RIOLITAS CUATERNARIAS.

I = Campo de los calcoalcalinos

GA-45 : Or=44.46 ; Ab=53.06 ; An=2.47

GA-34 : Or=43.70 ; Ab=52.48 ; An=3.82

AP-2 : Or=60.68 ; Ab=38.82 ; An=0.00

En el diagrama Ab-An-Or (fig.III.14), las muestras se --
ubican en el dominio de los calcoalcalinos, observándose una
ligera tendencia hacia un enriquecimiento en potasio (sanidino), pero en general, forman un campo reducido y bien definido
que indica que se trata de rocas de composición riolítica.

En el diagrama Na-K-Ca (fig.III.15) se puede observar --
que los diferentes productos que conforman las grandes es--
tructuras, esbozan una evolución, que en general, va de rocas --
de composición andesítica hasta las riolitas cuaternarias, --

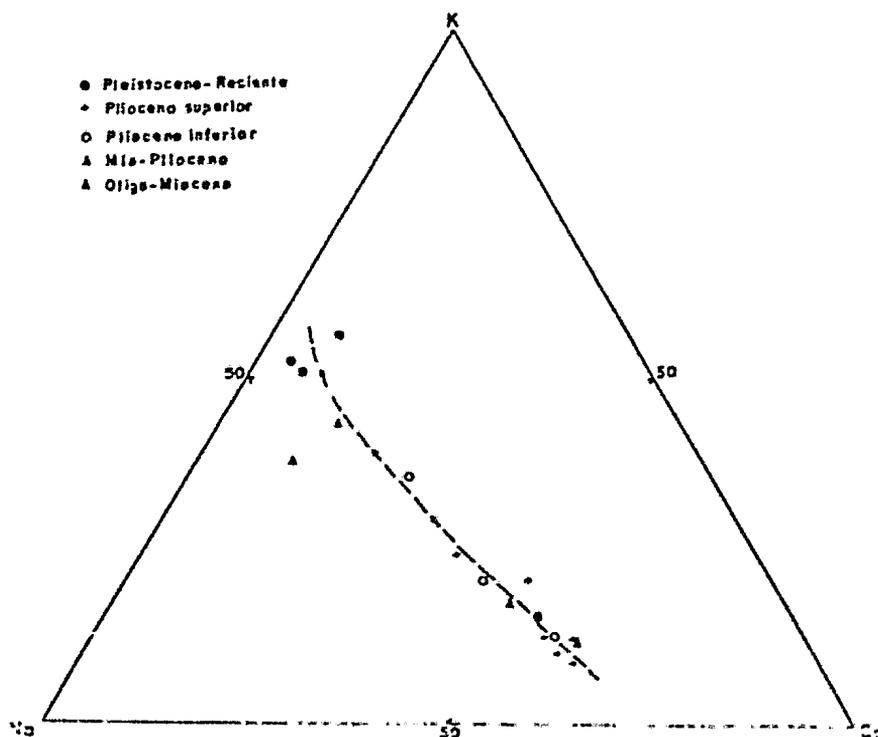


FIG.III.15 : DIAGRAMA Na-K-Ca . VARIACION EN LA SERIE BASALTO-ANDESITA-RIOLITA, EN LA REGION DE LA PRESA SOLIS, JERECUARO, GTO.

que conforman cuerpos dómicos contemporáneos a los conos escoriáceos, pasando por las ignimbritas mio-pliocenas. Aspecto que permite establecer una base teórica (desde luego considerando los inconvenientes que puedan presentarse) que propone que los diferentes productos expuestos, derivan de la misma cámara magmática, y que a través del tiempo dió origen a varios eventos, cuyas características les son propias. Además

de indicar un vulcanismo típico de una región orogénica (según Turner, 1963).

B.3- CONCLUSION.

Las rocas aquí descritas son de composición riolítica, pertenecientes a la serie calcoalcalina, ligeramente potásica.

Se sabe, por los estudios realizados, que estas rocas --- constituyen una serie diferenciada basaltos-andesitas-riolitas (Silva M., 1979), y en este caso, la conjunción de características similares, permiten suponer la posibilidad de un comportamiento idéntico, sin embargo, puede variar tal diferenciación.

Por otra parte, la solución al problema planteado, se obtendrá con el estudio detallado, no solo desde el punto de -- vista geológico (modelo evolutivo de las diferentes estructuras : Los Agustinos, La Prieta, Puruagua), sino también desde el punto de vista geoquímico (obtención de temperaturas de cristalización, elementos en traza, etc.), que permitirían definir las ligas genéticas, que portan los diferentes productos, afirmando o no la suposición que en este trabajo se ha esbozado ; aclarando, que se ha considerado, que las rocas aquí producidas, en los diferentes episodios volcánicos (Terciarios y Cuaternarios), provienen de un material derivado de una o varias (?) cámaras magmáticas, asociadas a las grandes estructuras (La Prieta, Los Agustinos, Puruagua); el origen de dicho material, también se definiría realizando los estudios antes men-

cionados, para determinar si es producto de una fusión de cor
teza oceánica, o una fusión del manto superior, o de la corte-
za inferior, o aún de ambas, lo que indicaría un dinamismo de
zona de subducción.

C O N S I D E R A C I O N E S
E C O N O M I C A S

I N T R O D U C C I O N

Los fines que se pretendieron alcanzar al realizar el presente estudio, no son meramente económicos, sino más bien científicos, ya que se trata de una investigación sobre una pequeña porción del Eje Neovolcánico, que complementará el estudio que hasta ahora se ha realizado sobre esta provincia geológica, y por supuesto, es un trabajo más que ayuda al conocimiento geológico del territorio nacional.

Es conveniente señalar que todo estudio de naturaleza científica, puede y debe aportar algunos datos que permitan el mejor aprovechamiento económico de una región, por lo -- que se mencionarán brevemente algunos aspectos relaciona-- dos con dicha práctica, como son :

- 1.- Geohidrología.
- 2.- Geotermia.
- 3.- Minería.
- 4.- Turismo.

1.- GEOHIDROLOGIA :

Como resultado del presente análisis, se detectó que los poblados obtienen agua potable para usos domésticos, de los manantiales cercanos a éstos (para otros usos la obtienen de los "bordos", represas que acumulan el agua que aporta la precipitación pluvial del área); pero existen otros poblados (Rancho Nuevo, San Pablo, La Virgen, La Enredadora, y varios más), -- que carecen de las fuentes naturales antes mencionadas, por lo tanto, del agua potable. Este aspecto pone en evidencia la necesidad de abastecer del preciado líquido a estas comunidades, por medio de las alternativas o soluciones que ha continuación se exponen.

a) Entubar el agua que se obtiene de los manantiales, que nacen al pie de las sierras, hasta los poblados que la necesitan, que por lo regular se ubican en el valle, lo que ahorraría la necesidad de bombearla, ya que ésta llegaría a su destino, por simple acción de la gravedad; construyendo depósitos que permitan una distribución del líquido, sin afectar a los actuales usuarios de los manantiales mencionados; procurando localizar los lugares más apropiados, es decir, donde el líquido sea más abundante, pues existen poblados que poseen hasta siete manantiales -- como sucede en el rancho La Mina -- que los alimenta y actualmente el gran volumen de agua, se pierde en su mayor parte, lo que implica un muestreo de aforos para conocer el gasto o volumen de líquido que cada una de estas --

fuentes puede aportar, proporcionando la ubicación más apropiada del centro distribuidor.

b) La perforación de pozos para la obtención del líquido, en los lugares más convenientes, implicaría obtener un catastro de los ya existentes para definir la profundidad del nivel freático regional, y determinar si existen anomalías-producto de su explotación.

Una estimación imprecisa, basada sólo en la geología superficial y en la correlación hecha entre el área de estudio y el valle de Maravatio, indica que el nivel freático pudiera estar localizado entre los 250 y 350 m de profundidad. El análisis de las diferentes unidades, pone en evidencia que las rocas que presentan las características más favorables, están intensamente fracturadas y corresponden a las más antiguas, desde luego sin descartar que localmente y a menor profundidad, pueden presentar condiciones necesarias, al menos para constituir algún depósito no confinado. La necesidad de un análisis con registros eléctricos, o de otro tipo, permitiría afinar la imprecisión que existe al respecto.

2.- GEOTERMIA.

En la región se localizaron varios puntos termales, materializados por manantiales de agua caliente. Los principales se encuentran ubicados en las cercanías del poblado de Puruagua, Gto., en el lugar llamado Puruagüita, donde el agua calien

te es abundante y sale a la superficie con una temperatura no menor a los 70°C (ver plano No.2). Otro punto termal está entre Tarandacuao y Acámbaro, Gto., en donde se instaló el balneario llamado "Agua Caliente", que permite aprovechar dichas aguas termales. Otro punto termal menos importante que los anteriores, se localiza en el rancho La Estanzuela, donde se tienen temperaturas aproximadamente de 40°C, y un gasto poco abundante, además existe otro (manantial) de agua fría en ese mismo lugar.

Por otro lado, se localizan vestigios de actividad fumarólica, inactiva actualmente, al SE del poblado de Puruaqua, cerca del rancho Ojo Seco, que consiste en alteraciones locales en las rocas (andesitas del Plioceno), por efecto de gases o soluciones que salieron a la superficie en algún tiempo (posiblemente durante la gran actividad Pliocena).

Resumiendo, por lo anterior, es evidente la falta de manifestaciones termales, que harían del lugar una zona ideal para realizar investigaciones enfocadas a la energía geotérmica. Sin embargo, precisar la edad de algunas de las estructuras proporcionarían datos sobre su relativa juventud, lo que aumentaría las posibilidades de la existencia de una fuente térmica en la zona, como se manifiesta en la localidad de Puruagüita, cuya fuente termal tal vez esté relacionada con la misma que abastece a la del balneario Agua Caliente.

3.- MINERIA :

Desde este punto de vista, son muy escasos los recursos minerales que se encuentran en la región, además, poco atractivos.

Existen en la localidad de Piedras de Lumbre, depósitos de jaspe, calcedonia y obsidiana, asociados a los domos riolíticos del Mioceno, así como algunas minas de mercurio abandonadas (de donde extraían cinabrio), a las que se agregan - las que se ubican en las cercanías del poblado El Agostadero y del rancho El Tejocote, en plena sierra Puruagua, que completan el cuadro minero y ponen en evidencia la poca importancia que tal actividad tiene en la región.

Exceptuando lo antes mencionado, las rocas restantes, -- factibles de explotar, son las que comunmente se utilizan para la construcción, es decir, lajas o bloques de rocas basálticas, y las canteras de riolita utilizadas para el labrado y fabricación de columnas, fuentes, ornatos, etc., cuyo uso estuvo muy difundido en la región durante la época del latifundismo (desde la época de la colonia-siglo XVI-hasta la época del porfiriato-siglo XIX-) cuando se construyeron grandes haciendas e iglesias. Por último, se menciona la utilización de materiales sueltos, poco compactos o muy alterados en la fabricación de ladrillos de "tepetate" (pomez) y de tobas soldadas, utilizadas comunmente en las construcciones locales, raras veces fuera de la zona. También se señala - -

la abundancia del "tezontle", que se utiliza en la construcción de los caminos rurales y carreteras.

4.- TURISMO :

Las posibilidades que existen en el área, se basarían en la infraestructura existente y las localidades donde las --- aguas termales emanan, como por ejemplo Puruaquíta, ubicada en terreno ejidal, donde se podría construir un balneario y hotel con las características de los ya establecidos en lugares cercanos, como "Agua Caliente", Zinapécuaro o San José Purúa, que no afectaría los intereses de los ejidatarios que utilizan el agua para el riego, ya que ésta seguiría su trayecto a los sembradíos después de pasar por las albercas e instalaciones.

-Conclusión-

En conclusión, el aprovechamiento de materiales que se encuentran en la región solo permitirían el establecimiento o - desarrollo de una industria de tipo artesanal (utilización de la calcedonia o jaspe en joyería de fantasía, que podría resultar de poco costo), ya que la industrialización de rocas para la construcción, no podría competir con otras explotaciones -- más cercanas a los centros consumidores. Desde el punto de -- vista de las comunicaciones, el revestimiento de los caminos o brechas rurales con el "tezontle", agilizaría la circulación, - permitiendo un rápido transporte de las personas y productos- de la zona. Por último, la diversificación de medios que permiti

tan un mejoramiento económico de la región, por medio de instalaciones o reacondicionamiento de las que existen (cascos de haciendas), permitiría al turismo amante del campo, disfrutar - de un rincón al que podría irsele adaptando una serie de actividades que atraigan a turistas por cortos períodos.

Es conveniente señalar que las consideraciones antes mencionadas son superficiales, y de ninguna manera intentan exponer un análisis profundo del carácter económico de la región estudiada.

CONCLUSIONES
GENERALES

CONCLUSIONES GENERALES

Este estudio geológico, de carácter preliminar, realizado en base a la hoja "Presa Solís" (D.E.T.E.N.A.L. F-14-C-85), deja obviamente muchos aspectos sin cubrir, ya que para lograrlo, es necesario realizar trabajos mucho más detallados en esta región.

En la medida de las circunstancias, y tratando de ser lo más lógico posible, además de comparar los diferentes aspectos geológicos del área de estudio, con otros trabajos realizados en el Eje Neovolcánico, se plantean las siguientes conclusiones generales :

1- Las lavas de la hoja "Presa Solís", son en su gran mayoría de tipo calcoalcalino, por lo que presentan características de un vulcanismo desarrollado en una zona de subducción. Se dice "en su gran mayoría" porque se encontraron algunas lavas, que evocan rasgos pertenecientes a las series toleítica-continental y alcalina, pero finalmente, es indiscutible su pertenencia a la serie típica de una zona orogénica.

2- En el área de estudio se definieron tres ciclos magmáticos principales :

a) En el Oligo-Mioceno, un ciclo que originó las rocas base del área y regiones como el complejo de Los Azufres, Mich. cuyas lavas llegaron hasta los límites de la hoja estudiada. Sus características no se han definido con precisión,

pues forman secuencias de derrames que varían de los basaltos-andesitas-dacitas; rocas fuertemente afectadas por una tectónica distensiva (Plio-Cuaternaria), materializada por fallas normales, de orientación E-W, originando bloques escalonados de sur a norte (del complejo Los Azufres hasta Acámbaro, Gto.).

Por otro lado, es importante señalar la importancia de una facie de rocas orbiculares, que presenta esta serie, ya que son afloramientos muy escasos y raros en el mundo, y en este caso, ponen en evidencia, no sólo un problema petrológico, sino posiblemente, la presencia de rocas hipabisales en el área.

b) En el Mio-Plioceno, un zoneamiento gravitacional de la cámara magmática, produjo varias fases eruptivas, representadas por gruesos y extensos derrames piroclásticos riolíticos, dacíticos y andesíticos (ignimbritas), dominando en volumen e importancia los flujos riolíticos, que cubrieron una gran parte del área de estudio. Rocas que se atribuyen a dos focos principales: la Sierra de Los Agustinos y la Sierra La Prieta, constituidas por complejos de cuerpos dómicos.

Esta serie de derrames presenta tres sistemas de fracturamiento, con direcciones NW-SE, NNE-SSW, y ENE-WSW; el primero corresponde al fracturamiento regional, que afecta a la mayoría de las rocas del área; los otros dos sistemas son más comunes en la serie ignimbrítica Mio-pliocena, llegando a ser algunas veces perpendiculares entre sí, o sea, N-S y E-W.

c) En el Plio-Cuaternario, se desarrolló un fenómeno de cristalización fraccionada, que produjo andesitas-básicas, andesitas, dacitas y riolitas, o sea, un ciclo magmático normal. Evolución que fue definida en rocas de zonas aledañas, por lo -- que se puede pensar que los eventos ocurridos en esta región, se comporten de manera similar, por su correlación en el tiempo y el espacio con dichos eventos.

3- En el área estudiada se manifiestan tres estructuras principales : Sierra de Los Agustinos, Sierra La Prieta y Sierra Puruagua.

a) La Sierra de Los Agustinos presenta los siguientes eventos volcánicos (de la base a la cima) :

- Andesitas "Los Azufres" (oligo-mioceno).
- Riolitas columnares (ignimbritas miocenas).
- Conos cineríticos (Cuaternario).

b) La Sierra La Prieta :

- Riolitas columnares (ignimbritas miocenas).
- Ignimbritas "Amealco" (ignimbritas pliocenas).

c) La Sierra Puruagua :

- Riolitas columnares (ignimbritas miocenas).
- Ignimbritas "Amealco" (ignimbritas pliocenas).
- Andesitas microlíticas básicas (plioceno).
- Andesitas de hiperstena (plioceno).
- Andesitas de hornblenda (plioceno).
- Domos riolíticos (cuaternario).
- Conos cineríticos (cuaternario).

Como se puede observar, la estructura de la Sierra Puruagua es donde se presenta más completa la columna estatigráfica; además, es aquí donde claramente se observa el desarrollo de un fenómeno de zoneamiento de la cámara magmática, como se expuso en párrafos anteriores.

- 4- Es posible que en el Plio-cuaternario continúe el zoneamiento gravitacional de la cámara magmática que actuó durante el Mio-plioceno, ya que es fácil ligar o asociar los puntos emisores con las cámaras magmáticas, que alimentaron las grandes estructuras presentes (Sierras La Prieta, Los Agustinos y Puruagua), pues el acomodo de los productos, manifiesta ciclos - que se iniciaron con productos ácidos (riolitas miocenas) y finalizaron con básicos (andesitas pliocenas), para posteriormente continuar con productos ácidos (riolitas cuaternarias) y terminar con básicos (conos escoriáceos), siendo en ocasiones contemporáneos estos últimos productos.

Finalmente, es conveniente obtener una mayor cantidad de datos, relacionados con la evolución de las diferentes estructuras, para establecer un modelo que permita sostener o rechazar las hipótesis esbozadas en este trabajo.

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

- AGUILERA G., ORDÓÑEZ E. (1898).-Expedición científica al Popocatepetl. *Anales. Ministerio Fomento, México.*
- ARANA S., LOPEZ R. (1974).-Volcanismo : dinámica y petrología de sus productos. *Ed. Itamo, Madrid, España, 481p.*
- ANDERSON D.L. (1971).-The San Andreas Fault. *Sci. Amer., v 225, p 52-66.*
- ATWATER T. (1970).-Implication of plate tectonic for the Cenozoic evolution of Western North America. *Geol. Soc. Amer. Bull., 81, p 3513-3536.*
- BARNEA J. (1972).-Geothermal power. *Scien. Amer. Offprints, 898, 11 p.*
- BARTH T.F.W. (1969).-Feldespars. *Wiley Interscience ed., New York, 261 p.*
- BAYLY B. (1968).-Introduction to petrology. *Prentice Hall ed., New Jersey, 371 p.*
- BELOUSOV V. (1979).-Geología Estructural. *Ed. Mir, Moscú, p 128 - 163.*
- BILLINGS M.P. (1972).-Structural geology. *Prentice Hall ed., New Jersey, 606 p.*
- BLASQUEZ L., MOOSER F., REYES L., LORENZO J. (1961).-Fenómenos geológicos de algunos volcanes mexicanos. *Bol. Inst. Geol. U.N.A.M., 61, 107 p.*
- BLOOMFIELD K., VALASTRO S. (1974).-Late Pleistocene eruptive history of Nevado de Toluca, volcano Central Mexico, *Geol. Soc. Amer. Bull., 85, p 901-906.*
- BRAUNSTEIN, JULES, O'BRIEN (1968).-Diapirism and diapirs. -- *Amer. Assoc. Petroleum Geologist, Mem. 8, p 1-9 y 16-121.*

- BURKE K.C., TUZO J.W. (1976). - Hot spots on the Earth's surface. *Scientific American*, v 235, 2, p 46-57.
- CAMPA M.F., CAMPOS M., FLORES R., OVIEDO R. (1974). - La secuencia Mesozoica vulcano-sedimentaria metamorfizada de Ixtapan de La Sal, México - Teloloapan, Gro. *Bol. Soc. Geol. Mexicana*, XXXV, p 7-28.
- , RAMIREZ E.J., FLORES R.L., CONEY P.J. (1980). - Conjuntos estratotectónicos del occidente de Guerrero y -- oriente de Michoacán, México. *V Conv. Geol. Nal., México, resúmenes*.
- CARMICHAEL I.S., TURNER F.J., VERHOOGEN J. (1974). - Igneous petrology. *McGraw Hill ed., New York*, 739 p.
- COATS R.R. (1968). - Basaltic andesites. *H.H. Hess ed., Interscience Publishers. Basalts*, v 2, p 689-736.
- COCHRAN W., FENNER P., HILL M. (1979). - Geoescritura. *Publicación especial C.F.E., No. 23*.
- COULON C., DOSTAL J., DUPUY C. (1978). - Petrology and geochemistry of the ignimbrites and associated lava domes --- from N.W. Sardinia. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 68, p 89-98.
- DANA E.S., FORD W.E. (1979). - Tratado de mineralogía. *Ed. C.E.C. - S.A., México*, 912 p.
- DEMANT A. (1975). - Caracteres químicos principales del vulcanismo Terciario y Cuaternario de Baja California Sur. Relaciones con la evolución del margen continental - Pacífico de México. *Rev. Inst. Geol. U.N.A.M.*, 1, p 21-71.
- (1978). - Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación. *Rev. Inst. Geol. U.N.A.M.*, v 2, p 172-187.
- , MAUVOIS R., SILVA M. (1976). - El Eje Neovolcánico -- Transmexicano. *III Congr. Latino Amer. Geol., Méx. 76, libreta guía No 3*, 30 p.
- , VINCENT P.M. (1978). - A preliminary report on the Comenditic dome and Ash-Flow complex of Sierra La Primavera, Jal., Mex. *Discussion: Rev. Inst. Geol. U.N.A.M.*, v 2, p 218-222.

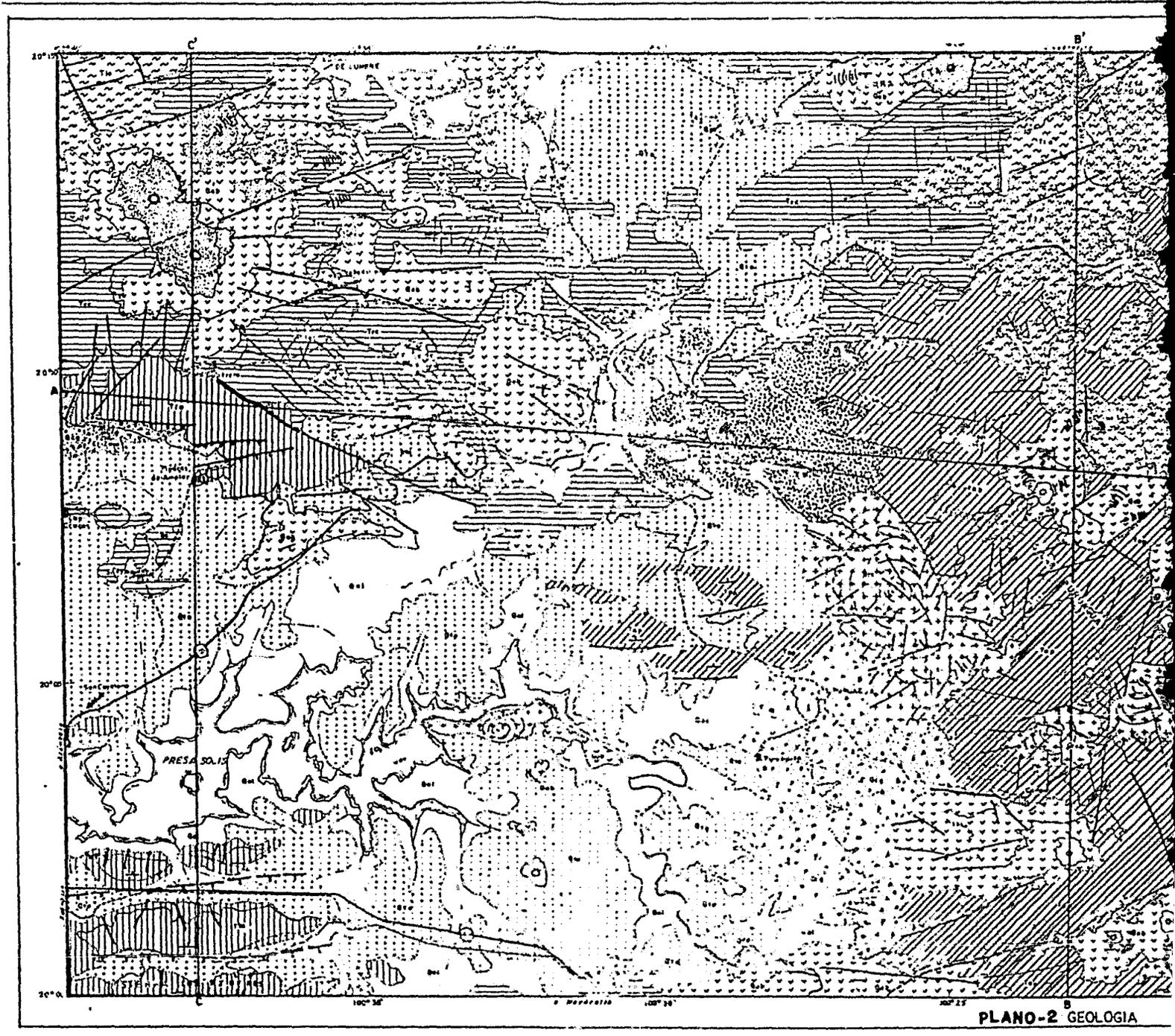
- DEMANT A. (1981).- L'axe Neovolcanique Transmexicain. *Tesis, Fac.de Scien et Techniques du St.Jeromé, Marseille, - 259 p.*
- , MAUVOIS R., SILVA M. (1975).- Estudio geológico de -- las hojas Morelia y Maravatío, Mich. C.F.E. - U.N.A.M. *reporte inédito.*
- DEWEY J.F. (1972).- Plate tectonics. *Scien.Amer. Offprints 900, 14 p.*
- DICKINSON W.R. (1982).- Tectónica de las placas y cadenas -- montañosas. C.O.N.A.C.Y.T., *publicación especial: El - Redescubrimiento de La Tierra, p 183-197.*
- DOUGLAS R.J.W. (1972).- Geology and Economic minerals of Canada. *Geol.Sur.Canada, report 1. p 105-107.*
- DUFFIELD W.A., BACON C.R., ROQUEMORE G.R. (1979).- Origin of - reverse-graded bedding in air-fall pumice-Coso Range California. *Jour.of Vulcanology and Geothermal Research, 5, p 35-48.*
- ENGEL A.E.J., ENGEL C.G. (1982).- La deriva de los continen-- tes en el más remoto pasado. C.O.N.A.C.Y.T., *publica-- ción especial: El Redescubrimiento de La Tierra, p 223 -232.*
- FLORES T. (1945).- El Parícutín. Edo. de Michoacán. *Inst.Geol. U.N.A.M., publicación especial, p 3-16.*
- FRIES C. Jr. (1965).- Mezcla de vidrios en los derrames cine-- ríticos Las Américas de la región El Oro-Tlalpujahuá Edo.Mex. y Mich. *Inst.Geol.U.N.A.M., bol. 70, p 10-14.*
- GALLARDO A.M., RODRIGUEZ F.C. (1982).- Resumen de la geoquími-- ca en el campo geotérmico de Los Azufres, Mich. VI -- *Conv.Geol.Nal.Mex.82, resúmenes p 99-100.*
- GASTIL G., KRUMMENACHER D., JENSKY W.A. (1979).- Reconnaissan-- ce geology of west-central, Nayarit, Mex. *Summary.Geol. Soc.Amer.Bull., 90, p 15-18.*
- HEIRTZLER J.R. (1968).- La expansión del suelo oceánico. *Se-- lecciones de Scientific American : Deriva Continen-- tal y Tect. de Placas. p 76-87.*

- HILLS E.S. (1977).- Elementos de geología estructural. Ed. -
Ariel, México, 575 p.
- HUANG T.W. (1968).- Petrología. Ed. UTEHA, México, p 27-237.
- IDDINGS J.P. (1909).- Igneous rocks. *John Wiley & Sons ed. , -
New York. v II p 92-93.*
- IRVINE T.M., BARAGAR W.R.A. (1971).-A guide to the chemical -
classification of the common volcanic rocks. *Canadian Jour. of Earth Sciences, 8, p 523-548.*
- ISHIKAWA T., MINATO M., KUNO H., MATSUMOTO T., YAGI K. (1957) .-
Welded tuffs and deposits of pumice flow and nueé ar
dente in Japan. *Cong. Geol. Int. México 57, resúmenes ,
p 137-151.*
- KUNO H. (1960).- High alumina basalt. *Jour. Petrol. v 1, p 121 -
146.*
- (1968).- Differentiation of basalt magmas. *H.H. Hess -
ed. Interscience Publishers : Basalts, v 2, p 623-688.*
- JAIN V.E. (1980).- Geotectónica general. Ed. MIR, Moscú, parte
I , 357 p.
- KERR P.F. (1959).- Optical Mineralogy. *McGraw Hill ed. New -
York, 442 p.*
- LEVENSON D.J. (1966).- Orbicular rocks : a review. *Geol. Soc.
Amer. Bull., v 77, p 409-426.*
- LOZANO G.R. (1951).- Informe preliminar acerca de los yaci--
mientos de arena cuarzosa de Tarandacuao y lugares -
cercanos, Gto. *Anales del Inst. Geol. U.N.A.M., X, 3, p 83
-94.*
- LUHR F.J., CARMICHAEL I.E.S. (1980).- The Colima volcanic com-
plex. *Part I, Contrib. Mineral. Petrol., 71, p 343-372.*
- , CARMICHAEL I.E.S. (1981).- The Colima volcanic com-
plex : late Cuatērnary cinder cones. *Part II, Contrib.
Mineral. Petrol., 76, p 127-147.*
- , CARMICHAEL I.E.S. (1982).- The Colima volcanic com-
plex : ash-and scoria-fall deposits from the upper -
slopes of v. Colima. *Part III, Contrib. Mineral. Petrol.,
80, p 262-275.*

- MAHOOD G.A. (1977).- A preliminary report on the comenditic dome and ash-flow complex of Sierra La Primavera, Jal.- *Rev.Inst.Geol.U.N.A.M.*, v 1, No. 2.
- (1981).- Chemical evolution of a Pleistocene --- rhyolitic center. Sierra La Primavera, Jal. Mex. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 77, p 129-149.
- MALFAIT B.T., DINKELMAN M.J. (1972).- Circum-Caribbean tectonic and igneous activity and the evolution of the Caribbean plate. *Geol.Soc.Amer.Bull.*, 83, p 251-272.
- MIYASHIRO A. (1972).- Metamorphism and related magmatism in plate tectonics. *Amer.Jour.Sci.*, 272, p 629-656.
- (1978).- Nature of alkalic volcanic rock series. *Contrib.Mineral.Petrol.*, 66, p 91-104.
- MOORBATH S., THORPE R.S., GIBSON I.L. (1978).- Strontium isotope evidence for petrogenesis of Mexican andesites. - *Nature*, v 271, p 437-438.
- MOSSER F. (1972).- The Mexican Volcanic Belt. *Rev.Geofisica-Int.*, v 12, p 55-70.
- NEGENDANK J.F.W. (1972).- Volcanics of the Valley of Mexico. *N.Jb.Mineral.Abh.*, v 116, p 308-320.
- PAL, LOPEZ, PEREZ, TERREL (1978).- Magma characterization of -- the Mexican Volcanic Belt. *Bol.Volcanol, Inst. Geofisica, U.N.A.M.*, v 41, p 379-389.
- PECCERILLO A., TAYLOR S.R. (1976).- Geochemistry of Eocene -- calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contrib.Mineral.Petrol.*, 58, p 63-81.
- PICHLER H., WEYL R. (1976).- Quaternary alkaline volcanic --- rocks in Eastern Mexico and Central Amer. *Münster -- Forsh Geol. Paläont.*, v 38/39, p 159-178.
- RITTMAN A. (1962).- Volcanoes and their activity. *Interscience Wiley ed. New York*, 305 p.
- ROBIN C. (1982).- Mexico : The Mexican Volcanic Belt. *John Wiley & Sons ed.: Andesites*, p 137.
- , DEMANT A. (1975).- Les quatre Provinces volcaniques du Mexique : synthese Miocene-Quaternarie. *C.R.Academ. Sci.*, T 380, D, p 2437-2440.

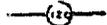
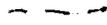
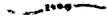
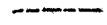
- ROBIN C., DEMANT A. (1975).- Les quatre Provinces volcaniques du Mexique : synthese Crétacé-Oligocene. *C.R.Acad.Sc. Paris, T 280, D, p 4305-4308.*
- RODRIGUEZ A.S. (1982).- Estudios en el campo geotérmico de Los Azufres, Mich. *VI Conv. Geol. Nal. México, resúmenes , p 101-102.*
- SALVADOR A., GREEN A.R. (1980).- Opening of the Caribbean Tethys. *Memorie du B.R.G.M., No 15, cap 4, p 224.*
- SANCHEZ R.G. (1978).- The Amealco Caldera. *Geol. Soc. Amer. Abs. Programs, v 14, p 145.*
- SCHMID R. (1981).- Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments. *Geology, v 9, p 41-43.*
- SEYFERT C.K., SIRKIN L.A. (1979).- Earth history and plate tectonics. *Harper & Row ed. New York, 600 p.*
- SHORCK R.R. (1948).- Sequence in layered rocks. *Mcgraw Hill, ed. New York, 507 p.*
- SILVA M.L. (1979).- Contribution a la connaissance de L'Axe Volcanique Transmexicain. *Tesis, Fac. des Sci. et Techniques St. Jeromé, Marseille, 146 p.*
- (1980).- Características geológicas y petrológicas de las rocas volcánicas de Michoacán oriental. *V Conv. Geol. Nal. México, resúmenes p 82.*
- , DEMANT A., MAUVOIS R. (1976).- Las diferentes fases volcánicas Plio-Cuaternarias del sector oriental del Edo. de Mich. *III Cong. Latinoamer. Geol. México, resúmenes, p 130.*
- SMITH R.L. (1960a).- Ash-Flow. *Geol. Soc. Amer. Bull., 71, p 795-842.*
- (1960b).- Zones and zonal variations in welded ash-flows. *U.S. Geol. Survey, Prof. paper, 354F, p 149-159.*
- (1979).- Ash-flow magmatism. *Geol. Soc. Amer., special paper 180, 27 p.*
- STEINER A. (1960).- Origin of ignimbrites of the North Island New Zealand. *New Zealand Geol. Surv. Bull., 68, p 7-42.*

- STRECKEISEN A.L. (1967).- Nomenclatura y clasificación de rocas ígneas. *Neues Jahrbuch Für Mineralogfa. Abh.* 107, p 144-150.
- TAMAYO J.J. (1974).- Geografía Moderna de México. *Inst. Mex. de Inv. Econom.*, v 2
- TAYLOR S.R. (1969).- Trace element chemistry of andesite and associated Calc-alkaline rocks. *Proceed of The Andesitic Conf. Upper Mantle Project. Scientific report*, 16, *St. of Oregon ed.*, p 43-63.
- THORPE R.S., GIBSON I.L., VIZCAINO J.S. (1977).- Andesitic pyroclastic flows from Colima Volcano. *Nature*, v 265, p 724-725.
- THURNER F.J., VERHOOGEN J. (1960).- Igneous and metamorphic petrology. *McGraw Hill ed.*, New York, 694 p.
- TUZO J.W. (1982).- La movilidad de la corteza terrestre. *C.I.H.A.C.Y.T., publicación especial: El Redescubrimiento de la Tierra*, p 141-149.
- YODER H.S. Jr. (1973).- Contemporaneous basaltic and rhyolitic magmas. *Amer. Mineral*, 58, p 153-171.
- (1979).- The evolution of the igneous rocks. *Princeton Univ. Press, New Jersey*, 588 p.
- WILCOX R. (1954).- Petrology of Parícutin Volcano, Mexico. *U.S. Geol. Surv.*, 965 C, p 281-353.
- WILLIAMS H. (1941).- Calderas and their origin. *Bull. Dep. Geol. Sciences*, v 25, No 6, p 239-346.
- TURNER F.J., GILBERT C.M. (1968).- Petrografía : introducción al estudio de secciones delgadas. *C.E.C.S.A. ed.*, México, 430 p.

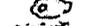
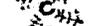
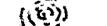
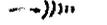
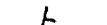


SIMBOLOGIA

TOPOGRAFICOS:

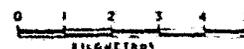
- Carretera pavimentada 
- Caminos de ferrocarril 
- Brecha 
- Via de ferrocarril 
- Rie 
- Arroyo 
- Presas 
- Cuabita 
- Rancho 
- Curva de nivel topografica 
- Limite estatal 

GEOLOGICOS:

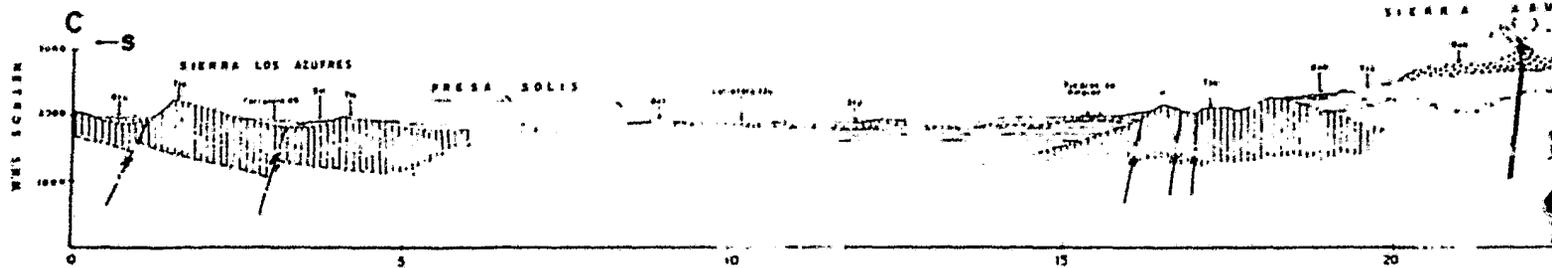
- Cono cineritico 
- Punto de emision 
- Domo de lava 
- Contacto 
- Fractura 
- Falla normal 
- Dirección del flujo 
- Numero y echado 

LEYENDA

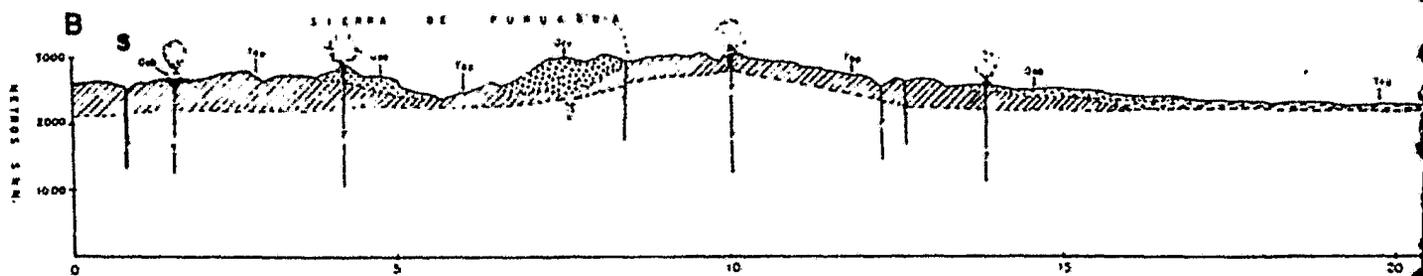
CUATERNARIO	OLOCENO REC		Qol - Depósitos de aluvión
			Qc - Conglomerados y Depósitos de talud
			Qab - Andesitas basálticas ascendidas a conos cineríticos Piroclásticos
	PLEISTOCENO		Qta - Tepas lacustres y pomar.
TERCIARIO			Grv - Damos riolíticos vítricos
			Tpa - Andesitas purpúreas zonas
	PLIOCENO		Tpa - ignimbritas áncico Tepas y pómos
			Tba - Andesitas efímeras alteradas
	MIC PLEISTOCENO		Trc - Riolitas columnares
OLIGOCENO		Tla - Andesitas Las Azules	



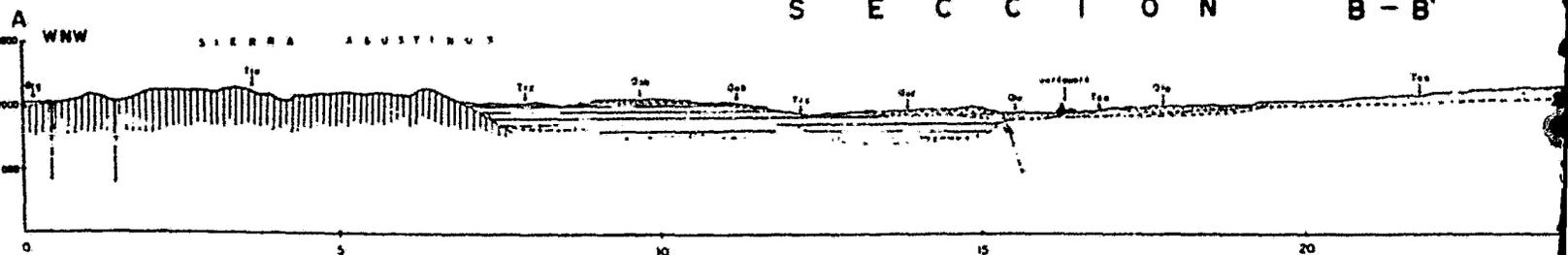
PLANO-2 GEOLOGIA



S E C C I O N C - C'

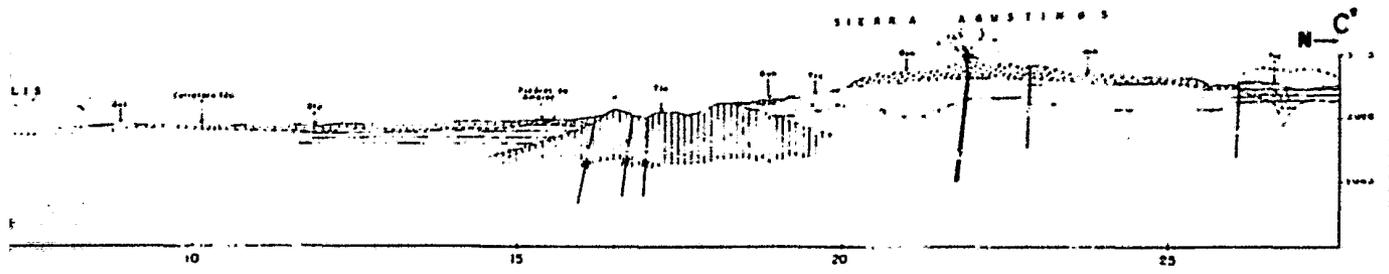


S E C C I O N B - B'

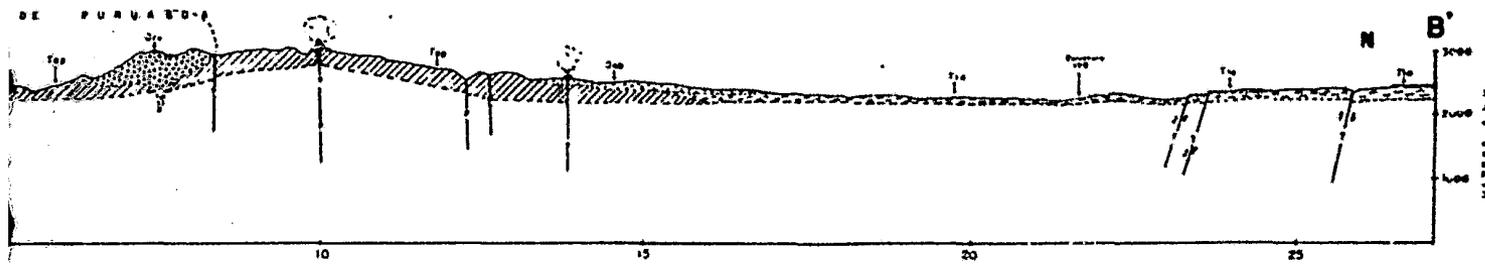


S E C C I O N A - A'

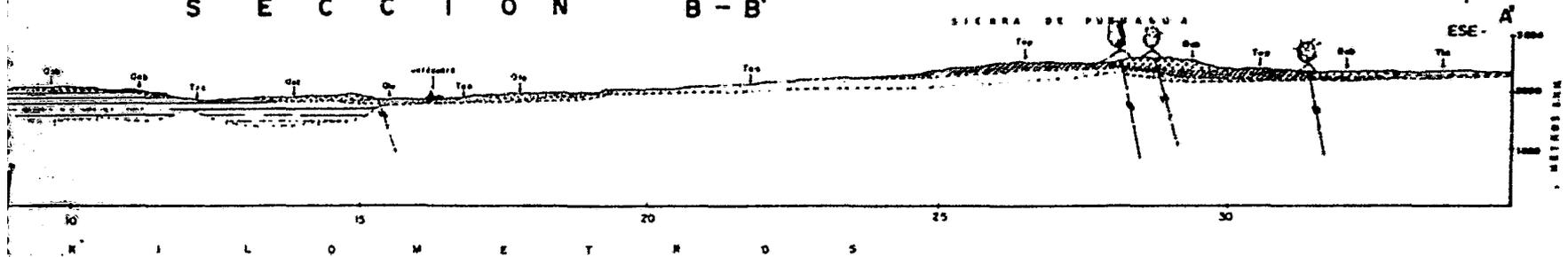
PLANO-3 SECCIONES



SECCION C-C'



SECCION B-B'



SECCION A-A'

LEYENDA

- Tm- Dientes de... (Dientes de...)
- Ccp- Conglomerados
- Qm- Arenas y arenas
- Qm- Talco y pizarra
- Qm- Dientes volcánicos
- Tm- Arenas puzos
- Tm- Esquistos Anaco
- Tm- Arenas silíceas
- Tm- Esquistos columnares
- Tm- Arenas Los Andes

ESC. VERTICAL = ESC. HORIZONTAL = 1:50,000

PLANO-3