

EL VULCANISMO DE LAS PLANICIES DE LA HUASTECA  
(Este de México)

DATOS GEOQUÍMICOS Y PETROGRÁFICOS

*Claude ROBIN* \*

\* Investigador visitante en el Instituto de Geología, UNAM.  
México 20, D. F.

CONTENIDO

RESUMEN . . . . .	59
I. INTRODUCCIÓN - CONTEXTO GEOLÓGICO . . . . .	61
II. ANÁLISIS PETROGRÁFICOS Y GEOQUÍMICOS . . . . .	62
1. El vulcanismo de las planicies de Ciudad Mante a Ébano . . . . .	62
2. El vulcanismo de los llanos extendidos entre Cerro Azul y Chicontepepec . . . . .	71
A. Los cerros y los derrames directamente asociados . . . . .	71
B. El vulcanismo extrusivo fisural . . . . .	77
III. SIGNIFICACIÓN VULCANOLÓGICA DE LAS SERIES . . . . .	80
1. Situación con respecto al vulcanismo del este de México . . . . .	80
2. Petrogénesis . . . . .	82

EL VULCANISMO DE LAS PLANICIES DE LA HUASTECA  
(Este de México)

DATOS GEOQUIMICOS Y PETROGRAFICOS

RESUMEN

Unos veinte análisis químicos (de los elementos mayores), estudios petrográficos en lámina delgada y trabajos de campo, proporcionan nuevos datos sobre la naturaleza, la edad y el tipo de emplazamiento de las series volcánicas diseminadas en la planicie costera del Golfo de México —desde Tuxpan hasta Ciudad Mante.

Los tipos de vulcanismo se encuentran bastante diversificados: los cerros intrusivos, sobre todo abundantes cerca de los pueblos Chicontepec y Ébano, se presentan con forma de cuellos volcánicos, diques-estratos o domos, mientras que el magmatismo de tipo extrusivo está bien representado por espesos derrames cuya extensión alcanza 10 a 20 kilómetros en la Sierra de Tantima (o Sierra Otontepec), cerca de Metlaltoyuca, o también en los alrededores de Huautla. El espesor total de los derrames a menudo alcanza algunas centenas de metros.

Los estudios geoquímicos y petrográficos revelan que los cerros pertenecen a dos conjuntos distintos: dos de ellos corresponden con los intrusivos alcalinos de la Sierra de Tamaulipas (siénitas y traquitas) y, más al norte, con los de las Sierras San Carlos y San José (Tamps.). Por otra parte, el resto de la serie, cuyos porcentajes de nefelina en las normas son a veces importantes (17% máximo), se compone de rocas del tipo de los basaltos alcalinos (basanitas, tefritas, basaltos, hawaitas, mugaritas). Estas últimas rocas muy probablemente se encuentran relacionadas con una parte del vulcanismo de derrames, particularmente con las series finales que coronan la Sierra Otontepec. Las mesas basálticas de Metlaltoyuca, Huautla y la base de la Sierra de Tantima, presentan las diferentes características de los basaltos intermedios de hiperstena normativa.

La significación de este vulcanismo en su contexto tectónico en los periodos supuestos de su emplazamiento, se discute al igual que sus relaciones con el conjunto del vulcanismo terciario del este de México.

## RESUME

Une vingtaine d'analyses chimiques (éléments majeurs), des études pétrographiques et des relevés géologiques sur le terrain, apportent de nouveaux éléments sur la nature, l'âge et le mode de mise en place des séries volcaniques qui parsèment les plaines qui bordent le Golfe du Mexique de Tuxpan à Ciudad Mante.

Le mode de gisement des roches est diversifié; les cerros intrusifs, surtout abondants près de Chicontepec et Ebano (au Sud et à l'Ouest de Tampico), se présentent sous forme de necks, sills, ou de dômes alors que le volcanisme d'épanchement est bien représenté par d'épaisses coulées dont l'extension atteint 10 à 20 kilomètres dans la Sierra de Tantima (ou Sierra Otontepec), près de Metlatoyuca, ou encore à Huautla. L'épaisseur totale des coulées atteint parfois plusieurs centaines de mètres.

Les études géochimiques et pétrographiques révèlent que les cerros appartiennent à deux ensembles distincts. Deux d'entre eux doivent être rattachés aux intrusions et extrusions alcalines de la Sierra de Tamaulipas (syénites et trachytes) et, plus au Nord, à celles des Sierras San Carlos et San José (Etat de Tamaulipas). Par contre, le reste de la série, dont les teneurs en néphéline dans les normes C.I.P.W. sont parfois importantes (maximum 17%) est composé de roches appartenant à la lignée des basaltes alcalins (basanites, téphrites, basaltes, hawaïites, mugéarites). Ces dernières doivent être probablement rapportées à une partie du volcanisme d'épanchement, particulièrement aux séries terminales qui couronnent la Sierra Otontepec. Les tablas basaltiques de Metlatoyuca, Huautla et la base de la Sierra de Tantima présentent des lignées différentes de basaltes "intermédiaires" à hypersthène normatif.

La signification de ce volcanisme dans son contexte tectonique aux périodes supposées de sa mise en place est discutée ainsi que ses rapports avec l'ensemble du volcanisme tertiaire de l'Est du Mexique.

## ABSTRACT

Twenty chemistry analysis (of the main elements), petrographic investigations of thin sections and field work give new data about the nature, age and occurrence of scattered volcanic rocks in the coast plain (Gulf of Mexico) from Tuxpan to Ciudad Mante.

The volcanic types are very diversified: the intrusive rocks, especially abundant near Chicontepec and Ebano, have characteristics of necks, dikes, sills and domes while extrusive magmatism is well represented by thick lava-flows with lengths of 10 to 20 kilometers in the Tantima Mountain (or Otontepec), near Metlatoyuca or Huautla. The total thickness of the flows may reach several hundred meters.

Geochemical and petrographic studies demonstrate that the intrusive rocks belong to two different assemblages: two of them belong to alkaline intru-

sives of Sierra Tamaulipas (syenites and trachytes) and, to the North, to those of San Carlos and San Jose Mountains (Tamps.). On the other hand, the rest of the series with nepheline present in the norm up to 17%, is composed of alkaline basalt series (basanites, tephrites, basalts, hawaiites, mugearites). These last rocks are probably related with part of the extrusive activity, particularly with the final series that surmount the Otontepec Mountain. The flood basalts of Metlatoyuca, Huautla, and the base of the Sierra of Tantima present the different characteristics of intermediate normative hypersthene basalts.

The significance of this volcanism in its geologic context, during the supposed periods of activity is discussed along with its relations with the assemblage of Cenozoic volcanism in the eastern part of Mexico.

## INTRODUCCION

## I. CONTEXTO GEOLOGICO

La planicie sedimentaria situada al oeste y al sur de Tampico, está constituida por materiales pertenecientes al Cretácico Superior, al Eoceno y al Oligoceno. La estratigrafía detallada, establecida por varios autores, conduce a la diferenciación de formaciones sedimentarias siendo la más antigua, en el área que nos interesa, la Formación Méndez (Cretácico Superior) bien representada al oeste de Tampico. Los sedimentos más recientes (Formaciones Chicontepec del Paleoceno - Eoceno, Aragón, Tantoyuca, Chapopote, etcétera) se localizan más al sur en dirección a Poza Rica y están cubiertos por los sedimentos del Oligoceno. La tectónica que afecta a dichos materiales es relativamente sencilla. El eje de los pliegues, de gran radio de curvatura, sigue la dirección general de plegamiento de la Sierra Madre Oriental, que limita los llanos de Chicontepec hacia Ciudad Mante. Tales planicies fueron, durante el Mioceno y el Plioceno (J. Muir, 1936), el marco de un vulcanismo esporádico cuyos vestigios actuales se pueden observar como formas de derrames basálticos y de numerosas intrusiones aisladas presentándose como domos o "cuellos volcánicos", alcanzando muchos de ellos, varias centenas de metros de altura.

Algunos de estos relieves han interesado a los geólogos (J. Muir, A. Heim...) y el más famoso de ellos, el Cerro Bernal de Horcasitas, fue objeto de una publicación de A. Heim en 1934. Por otro lado, muy a menudo, los geólogos motivados por las investigaciones petroleras, se han

limitado a decir que se trataba de un vulcanismo generalmente basáltico (Cerro del Bernal, cerros de los alrededores de Chicontepec...) sin más detalle.

En este artículo se intentará presentar consideraciones acerca de la naturaleza de estas lavas situadas en el cuadrilátero Tuxpan-Chicontepec-Ciudad Mante-Tampico, las cuales representan un vulcanismo particular, así como sobre las relaciones que puedan tener algunas de ellas con las rocas intrusivas de la Sierra de Tamaulipas, al norte, o de macizos todavía más lejos, como el de San Carlos, al norte de Ciudad Victoria, o el de Palma Sola-Chiconquiaco, al sur de Poza Rica.

Los cuellos volcánicos y los derrames asociados a estas estructuras, que son el objeto de este artículo, están diseminados sobre más o menos 200 kilómetros del norte al sur entre los paralelos norte 21 y 23 (Fig. 1). La región puede dividirse en dos sectores importantes:

a) Los llanos situados abajo de la Sierra El Abra, de Ciudad Mante hasta Ébano, en los cuales se encuentran los cerros del Bernal, Murciélagos, Nopal, así como los de Ébano: cerros Auza, Dicha y La Pez, y

b) un área situada netamente más al sur extendida entre los pueblos Cerro Azul y Chicontepec, enfrente de los escarpes de la Sierra Madre Oriental. En esta porción se han estudiado las intrusiones de Cerro Azul, Chapopote, Texnequila, Moralillo, Tepenahuac, Ayacastle, Postectitla, los derrames que los rodean, así como otras formaciones que corresponden a relieves volcánicos de menor importancia, y los vestigios de un vulcanismo de escurrimiento que aparece en la Sierra de Tantima bajo la forma de derrames de espesores importantes superpuestos de basaltos más o menos diferenciados.

La naturaleza de las rocas, por una parte y el tipo de emplazamiento por la otra, pueden variar de un punto al otro de este vulcanismo esporádico. Se necesita señalar una tercera área situada al oeste y al noroeste de Poza Rica, donde aparecen mesetas volcánicas representadas por corrientes basálticas. Este vulcanismo constituye un lazo entre el de la provincia estudiada y las grandes formaciones andesito-basálticas que se encuentran en la parte sur del Estado de Veracruz en los alrededores de Jalapa y Misantla.

## II. ANALISIS PETROGRÁFICOS Y GEOQUÍMICOS

### 1. El vulcanismo de las planicies de Ciudad Mante a Ébano

Dicho vulcanismo está principalmente compuesto por rocas intrusivas dentro de las formaciones sedimentarias. Existen pocos representativos, pero algunos son importantes por su altura, como el Cerro Bernal.

### *El Cerro Bernal de Horcasitas*

Situado al norte del área considerada, a unos kilómetros al sur de la carretera González-Ciudad Mante, este cuello volcánico alcanza 1 100 metros de altitud. El tapón central está rodeado por corrientes de lava que constituyen una cubierta de 6 a 7 kilómetros de diámetro. El conjunto está en un sinclinal formado por sedimentos del Paleoceno, calizas y arcillas. A. Heim (1934) describe en la roca intrusiva central, xenolitos de granito de biotita, así como de sienita. El estudio mineralógico y químico de la lava, la cual fue definida como basalto por dicho autor, muestra que se trata de un cuerpo subsaturado, muy rico en nefelina (17% de la composición normativa); sin embargo, el feldespatoide no es el mineral félsico dominante. El análisis completo de los óxidos revela solamente 40% de sílice.

Al estudio microscópico, se aprecian, dentro de una mesostasa microcristalina, numerosos pequeños cristales de clinopiroxenas (augita). Existen manchas que alcanzan 2 a 3 milímetros de diámetro, de color café rojizo, constituida por un ensamble de biotita pleocroica que contiene pequeños zircones, mezclada con los minerales blancos de la matriz, con minerales opacos y también con las clinopiroxenas. En el fondo, aparecen además la nefelina y feldespatos alcalinos (ortoclasa). Las plagioclasas no están muy representadas; esencialmente quedan constituidas por albita (según el cálculo de la norma). Se encuentran cristales heuedrales de apatita, como mineral accesorio. La presencia de antiguos fenocristales de biotita muy largos (hasta 8-10 mm), constituyendo amígdalas dentro de esta roca, hace suponer el desarrollo de un génesis en dos fases, la segunda anhidra con respecto a la primera permitió el desarrollo de piroxenas y feldespatos alcalinos en el interior de los cristales de biotita en estado metastable. Tales fenocristales suponen un origen pegmatítico. Con tal génesis, no se puede tener en cuenta que el análisis químico sea representativo de un magma bien definido, y su clasificación es incierta.

### *Los cerros Nopal y Murciélagos*

Situados a más o menos 30 kilómetros al sureste de Ciudad Mante, difieren totalmente del Cerro del Bernal, por su modo de yacimiento, su naturaleza, así como la edad del emplazamiento. Estas intrusiones atraviesan las series del Cretácico Superior (calizas arenosas de la Formación Méndez), sobre todo en forma de lacolitos acompañados de pequeños diquestratos y no de cuellos redondos, como es el tipo del Bernal, el cual está ligado con derrames de lava de una misma naturaleza.

En el Cerro Murciélago, la vegetación y la lixiviación de la roca en la superficie no permiten observar el contacto intrusivo-sedimentos. De cualquier forma, es muy probable que se trate de un diquestrato expuesto en una longitud de alrededor de 1 kilómetro. Su espesor no debe ser mayor de 120 metros. El Cerro Nopal, a unos kilómetros al sur, se presenta en forma de lacolito cuya base es concordante con las formaciones sedimentarias. A unas centenas de metros al oeste de la intrusión principal, hay pequeñas colinas de unos diez metros de altura, constituidas por diquestratos de la misma roca, interestratificados en las calizas que muy a menudo forman la cima de esas elevaciones. Sobre los flancos del mismo cerro, se encuentran dichos sedimentos. Al contacto con los diques, la formación sedimentaria presenta un ligero metamorfismo representado por un foliamiento incipiente.

#### *Naturaleza petrográfica y química*

Estas rocas compactas, sin huecos, presentan un color verde oscuro muy pronunciado debido en ambos casos a la cantidad de microlitos de piroxenas alcalinas. Se nota la presencia, en el Cerro Nopal, de fenocristales de piroxenas en forma de largas agujas que alcanzan 2 centímetros así como numerosos fragmentos de feldespatos alcalinos aglomerados y nódulos de piroxeno-peridotita. La estructura microscópica varía de microlítica hasta microgranulosa en el Cerro Nopal y es uniformemente microgranular en la roca del Cerro Murciélago. Se observa, para esta última un tramo de arreglo traquítico de microlitas de egerina y de pequeños cristales cuyo tamaño es de 500 micrones de augita egerínica (foto núm. 1). Este conjunto aparece en un fondo intergranular de feldespatos potásicos (29% en el cálculo de la norma), de albita (6%) y de nefelina bien visible. Entre los minerales menos comunes, se encuentran cristales de color café muy claro, con pleocroísmo débil y muy débil birefringencia que se deben relacionar con la serie eudialita-eucolita. Se presentan además prismas en agregados café amarillentos polarizando en los tonos vivos de segundo orden, que están constituidos de lavenita y asociados con las agujas de egerina. Además de todos esos minerales característicos de las sienitas nefelínicas, existe biotita en pequeños cristales muy pleocroicos. Se concluye que se trata de una tinguaíta.

La estructura de la roca del Cerro Nopal (foto núm. 2) es generalmente microlítica porfirítica. Los microlitos están constituidos de feldespato alcalino, plagioclasas y aegirina. La augita, muy a menudo es egerínica, y constituye los porfiroblastos. Se nota además, egerina vanadífera e importantes nódulos de analcima. En partes, la roca está moteada por delgadas agujillas de egerina que se pueden apreciar solamente con un fuerte aumento del



Foto Nº 1: Microfotografía de la tinguaíta del Cerro Murciélago. Notar el arreglo traquítico de las agujas de egerina en el fondo blando de feldespatos y nefelina.

microscopio (los aglomerados ocasionan manchas alargadas verdes sobre ejemplar de mano). Existen también de vez en cuando pequeños prismas de apatita. Entre los minerales de alteración más comunes figuran la actinolita en las piroxenas en vía de uralitización. En el interior de nódulos de peridotitas que muestran fenómenos de deuteritización cuya anchura alcanza generalmente 1 a 2 centímetros (foto núm. 2) aparecen otros minerales de segunda generación: clinohumitas, actinolita, y al contacto con la roca encajonante un entrelazamiento de cloritas, humitas, biotita, astrofilita (?), amfibola café y pirocloro.

La composición química de estos dos macizos intrusivos (Tabla núm. 1)

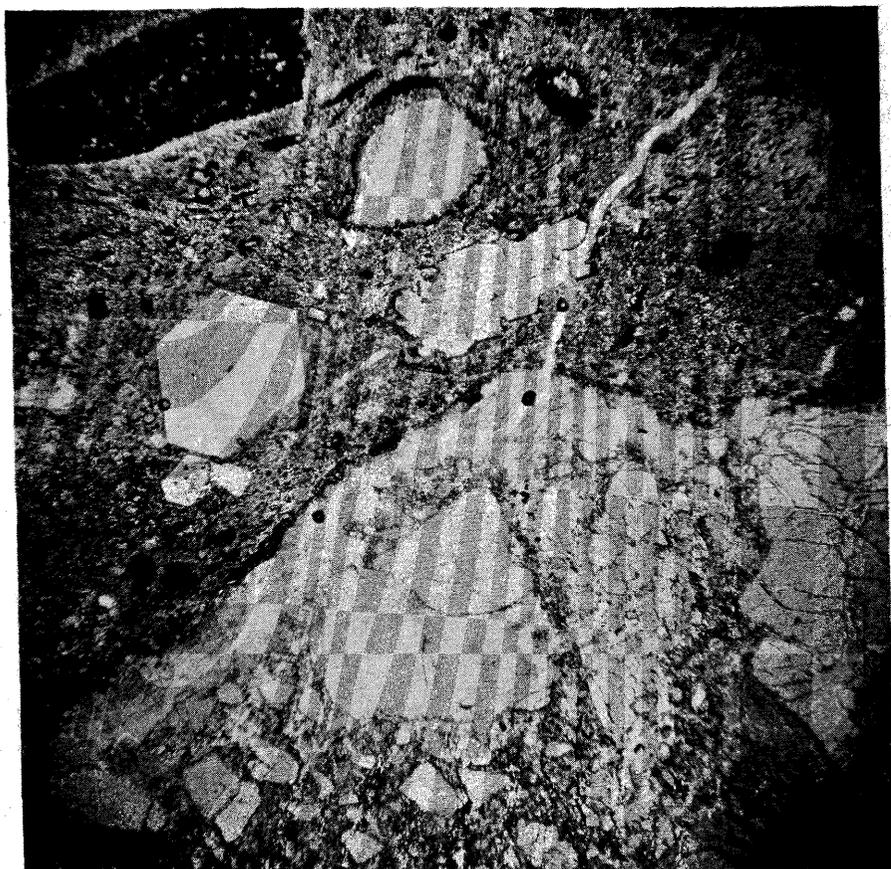


Foto N° 2: Roca del Cerro Nopal. Xenolito de peridotita dentro de una matriz feldsítica. Las manchas oscuras están constituidas por aglomerados de microlitos de egerina.

debe ser comparada con la de las formaciones semejantes sieníticas señaladas a 100-150 kilómetros al norte en la Sierra de Tamaulipas por J. Muir y A. Heim, y con las descritas al norte de Ciudad Victoria en la Sierra de San Carlos por E. H. Watson (1937). En estas regiones, se reconoce desde hace mucho tiempo, la existencia de varias fases volcánicas. Las primeras manifestaciones han dado nacimiento a series subsaturadas (sienitas nefelínicas, foyaitas, tinguaítas) así como a dioritas en las sierras de San Carlos y San José. En la Sierra de Tamaulipas (noroeste de Tampico, fig. 1), la disposición y sobre todo la naturaleza, parecen ser semejantes, aunque hay varias diferencias (presencia de traquita y riolitas). Estos intrusivos, que se pre-

sentan habitualmente con forma de diquestratos o lacolitos, y cuyo emplazamiento se remonta por lo menos al Oligoceno, fueron en su mayor parte expuestos por la erosión. Estas series son seguidas por andesitas y basaltos. J. Muir (1936) describe la presencia de diques basálticos cortando el Oligoceno y las rocas intrusivas en la Sierra de Tamaulipas. Este autor les atribuye una edad probablemente miocena.

Se reproducen (Tabla núm. 3) los análisis efectuados sobre dos tinguaítas de la Sierra San José y una foyaita de la Sierra San Carlos. La comparación de estos datos obtenidos por E. H. Watson con los del autor (análisis HU46 y HU52), muestra el parentesco de estos magmas y la continuidad que se puede seguir de la Sierra San Carlos hasta los dos cerros mencionados pasando por los magmas alcalinos de la Sierra de Tamaulipas.

#### *Los intrusivos de los alrededores de Ébano*

Son tres (cerros Auza, La Pez y Dicha) situados a más o menos 25-30 kilómetros al sureste de los precedentes, cerca del pueblo Ébano. Presentan una química totalmente diferente de los anteriores, y una gran homogeneidad entre ellos, ya sea desde el punto de vista del tipo de yacimiento o por su naturaleza. El Cerro Auza aparece como un pequeño domo intrusivo aislado que sobrepasa los terrenos de la Formación Chicontepec (arcillas grises y café de la llanura de Ébano). Debido a numerosos derrumbes y a la vegetación que lo cubren, el contacto con los sedimentos no es visible. Al contrario, en el Cerro La Pez, situado en la laguna al sur del pueblo (foto núm. 3), se pueden observar arcillas café claro en la base, cubiertas por una brecha volcánica, que sobre el flanco este constituye casi la totalidad del relieve; el conjunto se ve coronado por un débil espesor (unos metros) de roca volcánica compacta, mesocrata. Este pequeño macizo se parece más a un volcán abortado que a una intrusión, la brecha puede entonces representar el destapamiento de la chimenea. Este aparato, al contrario de los cerros Nopal y Murciélago, alcanzó la superficie; puede ser lo mismo para los otros dos afloramientos (Dicha y Auza).

Los datos petrográficos y químicos para estos tres relieves son relativamente semejantes: se trata de rocas microlíticas no porfíricas en las cuales la fase vítrea puede estar muy desarrollada. Dentro de la mesostasa, son visibles en ejemplar de mano, xenolitos bastante escasos de piroxenitas y pequeños nódulos dispersados de peridotitas que pueden alcanzar un centímetro de diámetro. Para el Cerro Auza, el estudio en lámina delgada revela una estructura hialopíltica; en un fondo importante de vidrio y de feldespatoides parecen microlitos de plagioclasa básica con forma de pequeñas

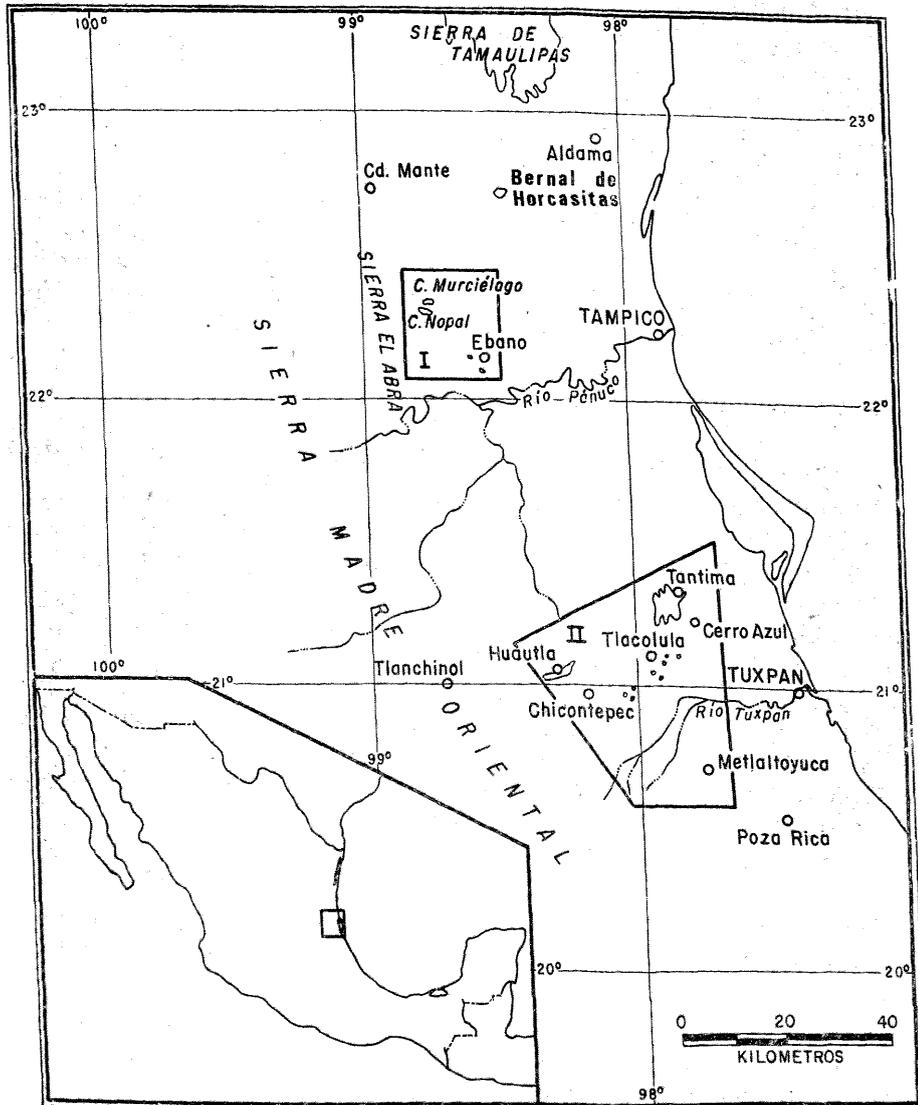


Fig. 1: Mapa de localización mostrando la posición de los principales afloramientos volcánicos estudiados en este artículo.



Foto N° 3: Cerro La Pez.

agujas con maclas según la ley de la albita, entrelazadas, que se acomodan entre sí, dejando intersticios dentro de los cuales se alojan microlitas de ferromagnesianos (pigeonita esencialmente). Los fenocristales (cuya longitud excede escasamente 500 micrones), están constituidos por clinopiroxenas que pueden en ocasiones cubrir más del 50% de la superficie de la sección. La plagioclasa media contiene, según medidas de ángulos de extinción y la composición normativa, 60% de anortita; las labradoritas, en cristalitas muy delgadas y la bitownita, están bien representados. Entre los minerales desarrollados, la augita, muy generalmente maclada, domina y lleva marcas de alteraciones posteriores al depósito (numerosas cloritas). El olivino se pre-

senta en forma de escasos granos o de xenolitas; contiene alrededor de 75% de forsterita según la norma, lo que confirma su naturaleza extranjera (J. Tournon y D. Velde, 1971).

El análisis químico del magma del Cerro Auza (HU42), muestra que la naturaleza de la fase vidriosa juega un papel importante en la composición global y completa los datos de la mineralogía. En efecto, como lo demuestra el estudio petrográfico, 35% por lo menos de la composición total están representados por clinopiroxenas. Además, la norma pone en evidencia 11% de nefelina disimulada en la matriz. Así pues, se trata de una roca que pertenece al grupo de las basanitas nefelínicas. La muestra procedente del Cerro La Pez, presenta al microscopio únicamente fenocristales de augita, y escasos olivinos diseminados en una fase vidriosa sin cristalitas. Este vidrio contiene

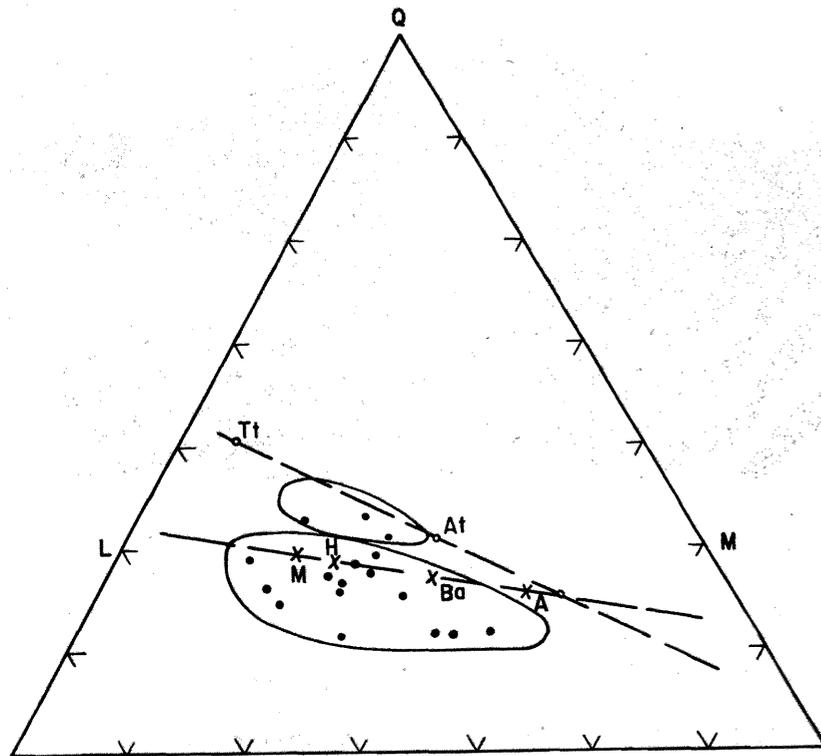


Fig. 2: Diagrama Q-L-M de Von Wolf. Los tres puntos que están entre las dos líneas evolutivas representan las muestras HU 2, 30 y 35 de las mesetas de Metlatoyuca y Huautla. A: ankaramitas. Ba: basaltos alcalinos. H: hawaítas. M: mugearitas (según G. A. MCDONALD y T. KATSURA, 1964). At y Tt determinan la línea evolutiva toleítica.

calcita secundaria. Se trata de una limburgita. En el diagrama de Von Wolf (fig. 2), se puede notar la posición del punto representativo de la muestra tomada en el Cerro Auza, dentro de la línea alcalina cerca del nivel de las ankaramitas (según G. A. McDonald y T. Katsura, 1964).

2. El vulcanismo de los llanos extendidos entre Cerro Azul y Chicontepec
  - A. Los cerros y los derrames directamente asociados

#### *El vulcanismo en los alrededores de Tlacolula*

Aunque se pueden distinguir diferencias, tanto en el plano mineralógico como en el de la geoquímica de los elementos mayores, dentro de las lavas que constituyen los relieves situados al nordeste del pequeño pueblo Chicontepec, el conjunto muestra una gama bastante uniforme cuyos elementos se alejan poco de los dominios basálticos o basanitas-tefritas.

La edad de estas rocas debe ser la misma para todos los intrusivos que afloran (se discutirá más adelante). El estado de conservación es semejante de un afloramiento al otro. Inmediatamente abajo de la superficie, los minerales se presentan generalmente con poca alteración, aunque se pueden apreciar a veces marcas fumarólicas o hidrotermales, caracterizadas por cristalitas de neogénesis diseminados dentro de los intersticios de la matriz.

La estructura de las rocas, el modo de afloramiento y los tipos del vulcanismo de los cuales provienen, pueden variar de un cuerpo al otro. Así, el Cerro Texnecuil, situado aproximadamente 2 kilómetros al nordeste del ejido Tlacolula (fig. 1) presenta el aspecto de un cuello descubierto por la erosión de la mayoría de los derrames que lo rodeaban. En otros casos, el cerro está representado por un simple como recortando a los materiales sedimentarios desprovistos de vulcanismo de escurrimiento, lo que parece corresponder a un apófisis de un sistema encubierto en una mayor amplitud. En estos últimos casos, es poco probable que el domo haya alcanzado la superficie durante su asiento. Se debe notar, que de una manera general, el vulcanismo no ha dado origen a productos de explotación y que la roca es siempre maciza.

**Petrografía y geoquímica:** La roca del Cerro Texnecuil es un basalto holocristalino con estructura dolerítica (intersertal). Los microlitos que remarcen la fluidez de la lava durante su enfriamiento están esencialmente constituidos por andesinas y labradoritas, cuya composición varía de an-35 a an-60. La dimensión de estos microlitos es generalmente de 200 a 600 micrones pero pueden también haber cristalitos alargados que pasan de 1 milímetro de longitud y que presentan a veces un zonamiento poco marcado. Las clinopiroxenas son idiomorfas; la augita es titanífera, y de un color ligeramente

rosa, ocupando los intersticios entre los minerales blancos. El olivino, frecuente, contiene a menudo inclusiones de minerales opacos, los cuales caracterizan su génesis intratelúrica (J. Babkine *et al*, 1966); está por otro lado, alterado, y presenta fracturas rellenas de idingsita. Los golfos de corrosión encierran frecuentemente pequeños agregados de minerales verdes filíticos correspondiendo probablemente a la celadonita.

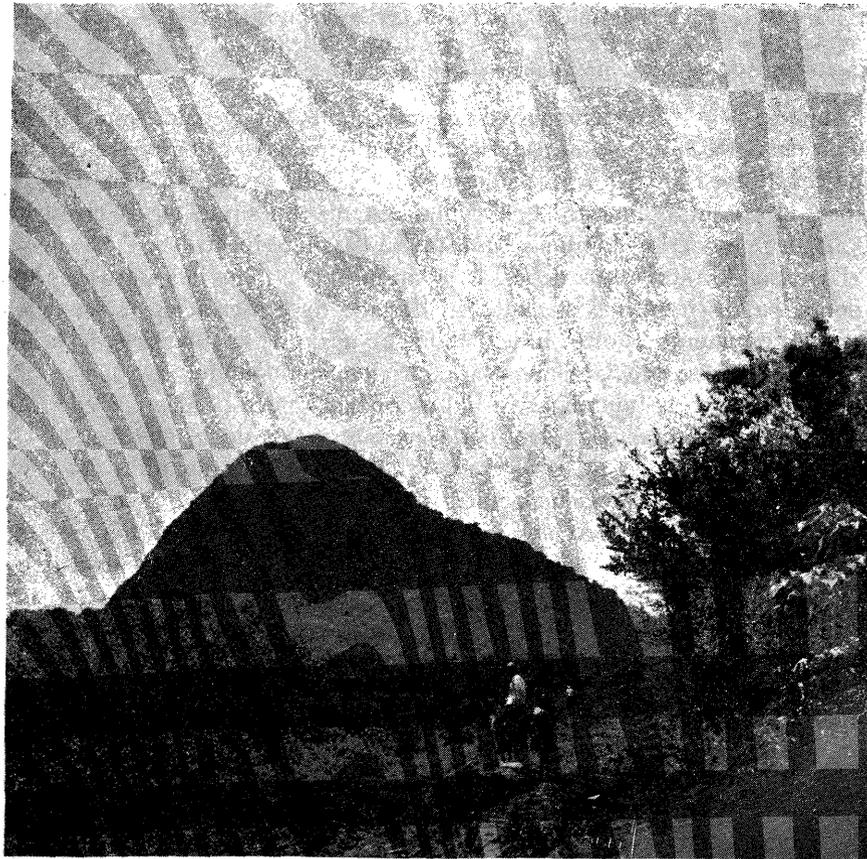


Foto N° 4: Cerro Tepenahuac.

La cubierta que rodea el Cerro Texnecuila (foto núm. 4) en contraste con la del Bernal de Horcasitas, no es de la misma naturaleza que el tapón central. Los derrames están constituidos por una lava de estructura traquítica, que, por sus componentes mineralógicos y su química (la plagioclasa es una andesina con 35%-45% de anortita) puede ser considerada dentro

del grupo de las hawaítas-mugearitas. La paragénesis es la siguiente: minerales opacos (5%), olivino cuya aparición tardía está sugerida por un porcentaje relativamente débil (55%-60%) en forsterita, clinopiroxenas (8%), plagioclasas (54%), ortoclasa (cerca de 8%) diseminada en la mesostasa, más minerales accesorios (apatita) y de alteración (clorita, zoisita, zeolitas) y también vidrio. Una lava muy parecida constituye el pequeño intrusivo situado entre el Texnecuila y el ejido Tlacolula, cuyo análisis (HU 12) está representado en la Tabla núm. 1A. Aparece nefelina normativa (2.25%) que acusa las características de roca alcalina poco diferenciada. En el diagrama de Von Wolf (fig. 2), el punto representativo de HU 12 está en el área de las hawaítas, su posición se acerca a la medida de las hawaítas, y de los basaltos alcalinos (según G. A. McDonald y T. Katsura, 1964).

El Cerro Texnecuila parece presentar una situación parecida al del Bernal de Horcasitas. La hawaíta que lo rodea contiene xenolitos que pertenecen al tapón central. Se debe rehusar la hipótesis de un emplazamiento del cuello posterior al vulcanismo de escurrimiento. Es probable que tanto la intrusión como los derrames han ascendido simultáneamente, encajonando la roca del cerro a la chimenea principal. Al llevarse a cabo la repetición en la actividad volcánica, el volúmen más diferenciado encontró probablemente un punto de salida en los alrededores del primer aparato y arrastró consigo fragmentos del basalto. La escasa diferencia que existe entre las dos rocas permitió la coexistencia de los xenolitos dentro de la roca encajonante. Este hecho, y la presencia de otras chimeneas cercanas, muestra que el Cerro Texnecuila representa solamente uno de los puntos de emisión de esta área.

El Cerro Moralillo (denominado Tlacolula en los mapas, escala 1/100 000) está representado, al igual que las formaciones de escurrimiento que lo rodean, por una roca dolerítica (foto núm. 5) cuya química (análisis HU 13, Tabla núm. 1A) se aproxima a las lavas anteriormente citadas (HU 12). Al microscopio parece una única generación de plagioclasas (labradoritas) en agujas muy delgadas de hasta 2 milímetros de longitud, macladas entre las cuales han cristalizado clinopiroxenas (augita titanífera abundante). El olivino figura en pequeños granos con idingsita.

#### *Los cerros situados al nordeste de Tepezintla: Cerros Azul y Chapopote*

La pequeña intrusión que se encuentra en las cercanías del pueblo Cerro Azul, está constituida por una lava de andesina y piroxenas (augita) que aflora alcanzando algunas decenas de metros de altura solamente. Se presenta un apófisis volcánica en forma de domo de poca extensión (50-60 metros de ancho). En la base de dicho tapón volcánico de lava negra a azul oscuro, muy maciza, se nota la presencia sobre su circunferencia, de una brecha con



Foto Nº 5: Microfotografía del basalto dolerítico del Cerro Moralillo. (Luz polarizada.)

elementos angulosos de roca subyacente en ciertos lugares a la roca efusiva. El análisis químico HU 28 da cuenta de la composición del magma que dio lugar al Cerro Chapopote que se encuentra entre Tepezintla y Cerro Azul. La roca, que aparece de color gris muy oscuro en ejemplar de mano, revela al examen microscópico una estructura microlítica con mesostasa finamente cristalizada exenta de minerales bien desarrollados.

Solamente están bien representados microlitos de plagioclasas (oligoclasas y andesinas ácidas, 25% a 35% an.) y cristalitos, productos de alteración (cloritas principalmente) de piroxenas y pequeñas bio-

titas, diseminadas en manchas o aglomerados. El feldespato alcalino reconocido al análisis, se encuentra en las recristalizaciones del fondo. Se observan, además, nidos intersticiales de analcima que puntan la sección, con contenido de numerosas inclusiones muy delgadas que parecen vidriosas.

El cálculo de la norma C.I.P.W. (Tabla 1b) arroja un porcentaje bastante elevado de nefelina (más de 6%), lo que permite, tomando en cuenta la acidez relativa de la plagioclasa y el contenido de ortoclasa, ubicar dicha roca como tefrita de nefelina y analcima. Este término petrográfico bastante raro, está frecuentemente asociado con las fonolitas. Existe una interrelación entre estos cerros, los intrusivos de Ébano que representan los equivalentes basaníticos por una parte, y las microsienitas de egirina, ya descritas, por la otra. Se debe considerar también que en las representaciones gráficas utilizadas (diagrama AFM, diagrama  $Al_2O_3$ -(Fe total-TiO<sub>2</sub>-CaO), covariación sílice- $Al_2O_3$ ) el punto HU 28 es el de la serie basáltica que se acerca mucho al polo alcalino caracterizado por los números HU 46 y HU 52.

Un tercer cuello situado a unos kilómetros al sur de las dos anteriores puede representar un equivalente básico de la tefrita del Cerro Chapopote. Se trata del Cerro Cacalote que se observa desde Potrero del Llano con dirección al oeste.

La roca mesocrata porfírica contiene fenocristales de augita con numerosas zonificaciones, y de olivino, sobre un fondo dolerítico compuesto de feldespatos y clinopiroxenas (foto núm. 6). El conjunto de los ferromagnesianos alcanza 40 a 45% del total. Aunque la plagioclasa media sea básica (presencia de labradorita y bitownita), aparecen en la norma feldespatos alcalinos y un 12% de nefelina.

#### *Los cuellos de los alrededores de Chicontepec*

Los 3 cerros altos que se levantan en el llano de Chicontepec (Tepenáhuac, Ayacaxtle y Postectitla) así como el intrusivo localizado en la orilla de la carretera de Ixhuatlán a unos kilómetros al oeste de Álamo, no representan nuevos términos petrográficos al conjunto de la serie. Aquí también la química de los óxidos varía de un punto al otro. Los cuellos están acompañados generalmente por derrames volcánicos de la misma naturaleza y por pequeños puntos de emisión diseminados alrededor del centro principal de erupción.

La naturaleza química del lacolito que se puede ver aflorar cerca de la carretera Álamo-Ixhuatlán, se aproxima a la roca descrita más arriba (HU 12). El contenido en sílice es bastante alto; por su composición mineralógica (plagioclasa con 30-35% de anortita) augita a menudo titanífera, pre-

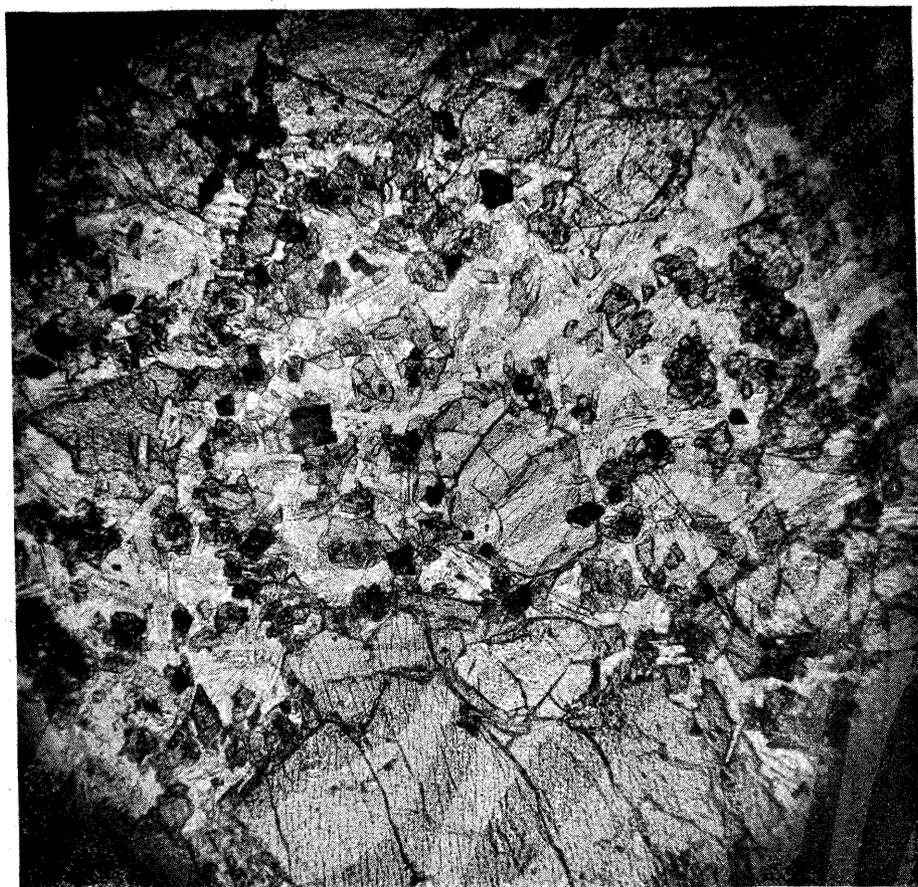


Foto N° 6: Microfotografía de la roca del Cerro Cacalote (luz polarizada). Numerosos cristales de clinopiroxenas.

sencia de biotita muy pleocroica, en asociación con minerales opacos y por la aparición de 4% de nefelina en la norma, esta roca se clasifica como un término intermedio entre el dominio de los traquibasaltos (hawaítas) y las tefritas de nefelina.

El Cerro Tepenáhuac está también constituido por una tefrita de nefelina. La presencia de feldespato potásico, de acmita, y de analcima, al examen microscópico, coloca dicha roca en la serie evolutiva alcalina que reúne la mayoría de las muestras ya descritas. Los minerales son sensiblemente los mismos que los de la roca anterior. En particular, la biotita intersticial mezclada con opacos, presenta la misma facies. Este hecho se repite también

en la roca del Cerro Ayacaxtle, lo que hace que se manifieste como un miembro intermedio entre la tefrita de nefelina y la basanita (el porcentaje de MgO parece demasiado débil para ser basanita). Se puede escoger aquí, como criterio de separación de los dos términos, la basicidad de las plagioclasas (análisis HU 41, Tabla 1B).

#### B. El vulcanismo extrusivo fisural

##### *La Sierra Otontepec o Sierra de Tantima*

La Sierra Otontepec es un pequeño macizo constituido por derrames basálticos sobrepuestos que descansan sobre los sedimentos de las formaciones oligocenas entre los pueblos Tepezintla y Tantima, distantes más o menos 15 kilómetros. Se trata de un testigo cuya estructura general es característica de un vulcanismo muy fluidal, de gran extensión, dentro del cual los derrames casi no tienen buzamiento. El magma se ha emplazado dentro de un valle, y fue puesto en relieve por la erosión de sedimentos. La sierra es semejante, por su volumen de rocas volcánicas, a lo que se puede encontrar a 60 o 70 kilómetros al oeste, cerca de Huejutla (C. Robin y C. Bobier). La base se sitúa al nivel actual de erosión de los llanos, a la altura de 220 metros. Hasta la cima, se encuentran derrames de fuerte espesor. La vegetación es muy densa y difícilmente penetrable, los numerosos bloques de derrumbes y los desniveles topográficos bruscos hacen muy difícil la prospección y la observación de los contactos. Sobre el lado norte del pueblo de Tantima hasta la cima, se encontró una docena de derrames diferentes, compactos, a veces prismáticos, sin intercalaciones sedimentarias, ni tampoco productos piroclásticos. Esta cifra es probablemente insuficiente y, por las razones ya emitidas, los datos son incompletos.

Se trata de una serie relativamente homogénea que no se aleja mucho del dominio de los basaltos alcalinos. Pero en ocasiones existen rocas más básicas de feldespatoideos o basaltos intermedios de ortopiroxena que se acercan al clan de los basaltos calco-alcalinos. Del nivel del pueblo hacia la cima, fue tomada una docena de muestras siendo 4 de ellas analizadas químicamente (HU 18, 23, 25 y 27, Tabla núm. 2), lo que permite una idea de la serie encontrada. De cualquier forma, se requieren más datos para establecer correlaciones ciertas con las otras mesetas basálticas ya mencionadas; en particular, datos geocronológicos (K-Ar, paleomagnetismo) que no forman parte de este artículo. Se limitará a la naturaleza de las rocas. Según los informes obtenidos, se puede dividir la serie en dos partes de igual importancia:

a) La serie empieza por cuerpos próximos a los basaltos calcoalcalinos aunque todavía pertenecen al clan alcalino según el diagrama de la fig. 3.

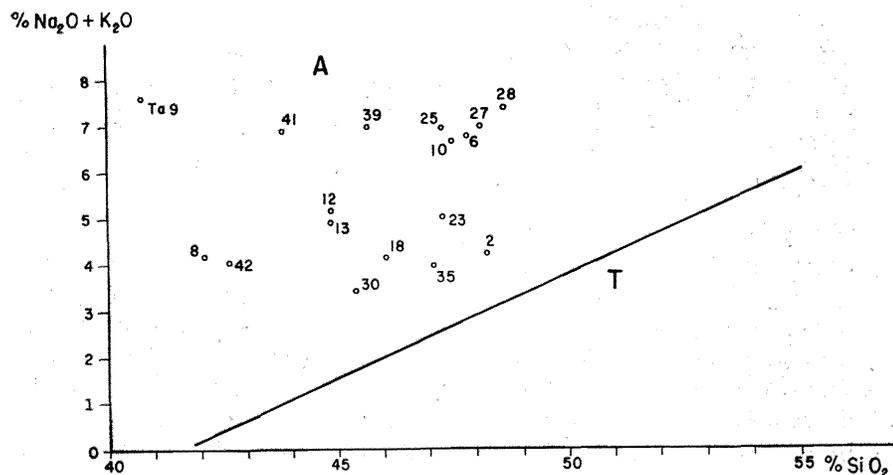


Fig 3: Diagrama  $\text{SiO}_2$  -Alcalinos (G. A. MCDONALD y T. KATSURA, 1964). A: dominio alcalino. T: dominio toleítico. Notar las posiciones de las muestras 2, 18, 23, 30 y 35 procedentes de la base de la Sierra de Tantima (18, 23) y de las mesetas de Metlatoyuca (2) o de Huautla (30, 35).

Los caracteres particulares de estas rocas, se ven mejor en el diagrama de Von Wolf (fig. 2). El derrame HU 18, encontrado en los primeros escarpes que dominan el pueblo Tantima a una altura de 340 metros, presenta una roca basáltica con estructura microlítica no porfirítica. Las plagioclasas (andesina principalmente) se presentan en pequeños microlitos mal formados, mezclados con otros cristallitos (píroxenas). Los opacos constituyen una red bastante densa. Este derrame está cubierto por un basalto dolerítico de olivino que se encuentra a 375 metros de altura, seguido por unos derrames de basaltos andesíticos de augita.

En el punto 540 metros, la roca tiene también caracteres que la acercan a los basaltos calco-alcalinos (la suma de los alcalinos alcanza 5% en HU 23, notándose 9% de CaO). Además de estas características, el examen mineralógico revela la presencia de hiperstenas reducidas al estado de imágenes cristalinas pseudomorfas de minerales filíticos verdes.

b) La segunda parte de la serie puede estar representada por un magma que corresponde a la muestra HU 25, recolectada a una altura de 700 metros. Esta roca pertenece a un término muy evolucionado. Se trata de una tefrita nefelínica que presenta más de 7% de nefelina en la norma. El derrame encontrado más alto (850 metros) es semejante; en particular, contiene un fuerte porcentaje de aluminio y la suma de los alcalinos pasa del 7%. Los



Foto N° 7: Derrame prismático de la meseta basáltica de Metlatoyuca.

puntos representativos de los dos análisis sobre los diagramas, se reúnen con los términos diferenciados pertenecientes a los intrusivos de Chicontepec.

Como resumen al estudio de las rocas de la Sierra de Tantima, se debe subrayar la presencia de dos conjuntos volcánicos que se suceden en el tiempo. El primero representa la emisión de un magma ya contaminado, intermedio, mientras que la segunda parte de la secuencia corresponde con el emplazamiento de rocas alcalinas diferenciadas. Según la primera característica, el conjunto basal se acerca a las mesetas de Metlatoyuca y de Huautla donde se encuentran basaltos semejantes (HU 2 y HU 35). C. Lefevre y C. Dupuy (1972) han descrito la significación de tales basaltos de hiperstena dentro de las series alcalinas.

Al contrario, el resto de la serie, por sus características alcalinas constantes, tiende a alejarse de estas rocas y también de otras ya conocidas en el este de México, por ejemplo, la serie volcánica de Tlanchinol-Huejutla donde se han encontrado recurrencias de toleítas-alcalinas (con menor diferenciación para las últimas, es decir, donde la presencia de nefelina es excepcional y no pasa del porcentaje normal de los basaltos alcalinos: 5%). Además, la cima de la serie presenta ciertas analogías con unos de los cerros estudiados anteriormente, en particular el Cerro Chapopote situado cerca de Tepezintla. Es casi seguro que el sistema volcánico que dio nacimiento a la Sierra Otontepec está ligado, si no directamente, por lo menos genéticamente, a una parte de los cerros diseminados que van desde Cerro Azul hasta Chicon-tepec.

### III. SIGNIFICACIÓN VULCANOLÓGICA DE LAS SERIES

#### 1. Situación con respecto al vulcanismo del este de México

El diagrama AFM (fig. 4) y la representación gráfica de la covariancia sílice-alcalinos (fig. 3) confirman el carácter alcalino dominante del conjunto de las rocas estudiadas, con excepción de unos derrames de la base de la Sierra de Tantima (HU 18 y HU 23) y de unas rocas de otras mesetas (HU 2 procedente de la meseta de Metlaltoyuca (foto núm. 7), y HU 30 del vulcanismo extrusivo de Huautla). En los diagramas de H. de la Roche (fig. 5) y Q-L-M (fig. 2) se definen muy bien ciertos grupos. Los puntos HU 8, 39, 42 y TA 9, ocupan un área intermedia entre el término medio de los basaltos alcalinos y el de las ankaramitas. Este dominio se aleja del resto de la serie (mugearitas y hawaítas).

Los cerros intrusivos de la planicie de Tampico y las fases volcánicas extrusivas asociadas, así como las intrusiones sieníticas estudiadas, se circunscriben al centro de un conjunto volcánico diseminado desde el norte de Ciudad Victoria hasta el sur de Veracruz, es decir, en un alineamiento de 800 kilómetros de longitud con rumbo NNW-SSE.

Dentro de todo este sector, la actividad volcánica reciente está representada por varios conjuntos: los más importantes están constituidos por los conos piroclásticos y derrames de los alrededores de Aldama (Tamps.) y, más al sur, por los derrames superiores de basaltos alcalinos en las cercanías de Jalapa, así como el macizo de San Andrés-Tuxtla. Un vulcanismo más antiguo (probablemente plioceno), perteneciente también al dominio basáltico de tipo fisural, se encuentra en el límite de los llanos y del altiplano. La Sierra de Tantima debe estar ligada con este vulcanismo tal vez en igual

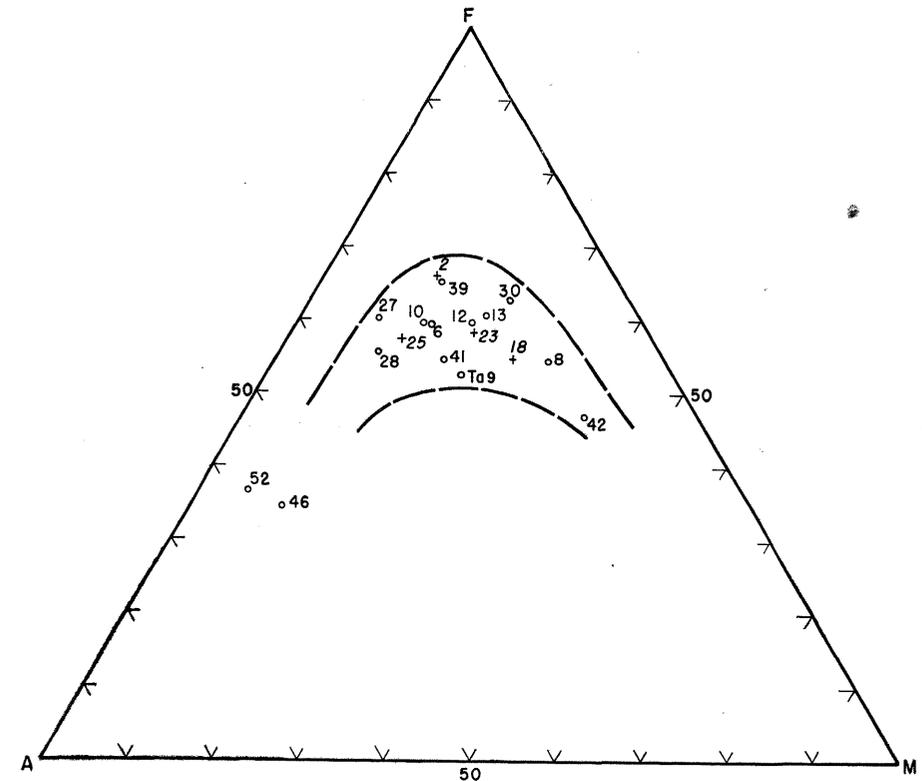


Fig. 4: Diagrama A. F. M. para las rocas analizadas químicamente.

forma que las mesetas de Metlaltoyuca, Huautla y Poza Rica. Para efectuar correlaciones será necesaria la obtención de edades por métodos radiométricos. Entre Poza Rica y Veracruz se encuentra el macizo de Palma Sola que es un complejo de rocas intrusivas y efusivas que presentan algunos caracteres comunes con las del Estado de Tamaulipas. Se encuentra magmatismo calco-alcalino (andesitas, granodioritas y riodacitas) mientras que en el lado noroeste hay series basálticas recientes, superyaciendo potentes formaciones de tobas volcánicas pumicíticas.

El vulcanismo considerado aquí, se localiza en el centro de provincias magmáticas diversificadas por su naturaleza, de ahí su génesis. Cada dominio definido petrográficamente y geoquímicamente, es representativo de eventos tectónicos que se han desarrollado en esta parte de México desde los principios del Terciario.

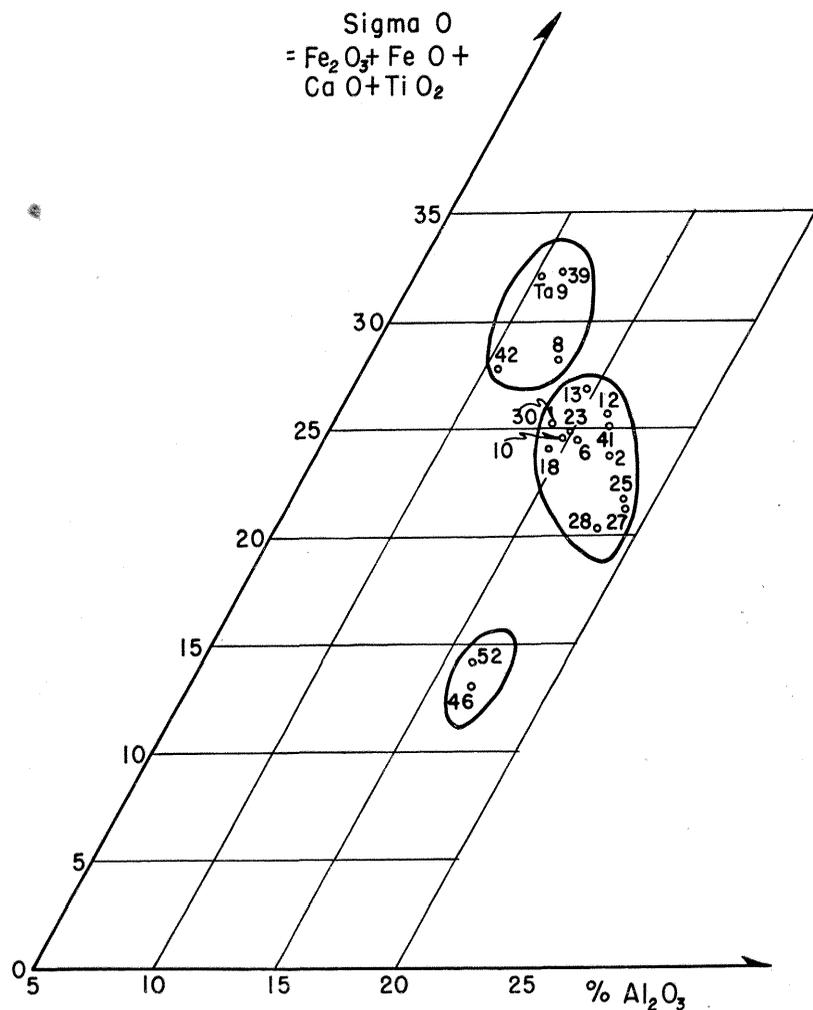


Fig. 5: Diagrama de H. de la ROCHE —Covariancia Aluminio (Fe total + CaO + TiO<sub>2</sub>). Notar las muestras HU 8, 39, 42 y TA 9 que se alejan del resto de la Serie.

2. Petrogénesis

Si desde el punto de vista del origen de los magmas, se pueden agrupar las intrusiones de los alrededores de Tampico, con los intrusivos sieníticos y, sucesivamente, con los otros macizos que presentan rocas alcalinas, no debe olvidarse que varios autores (R. W. Imray, E. H. Watson, etcétera)

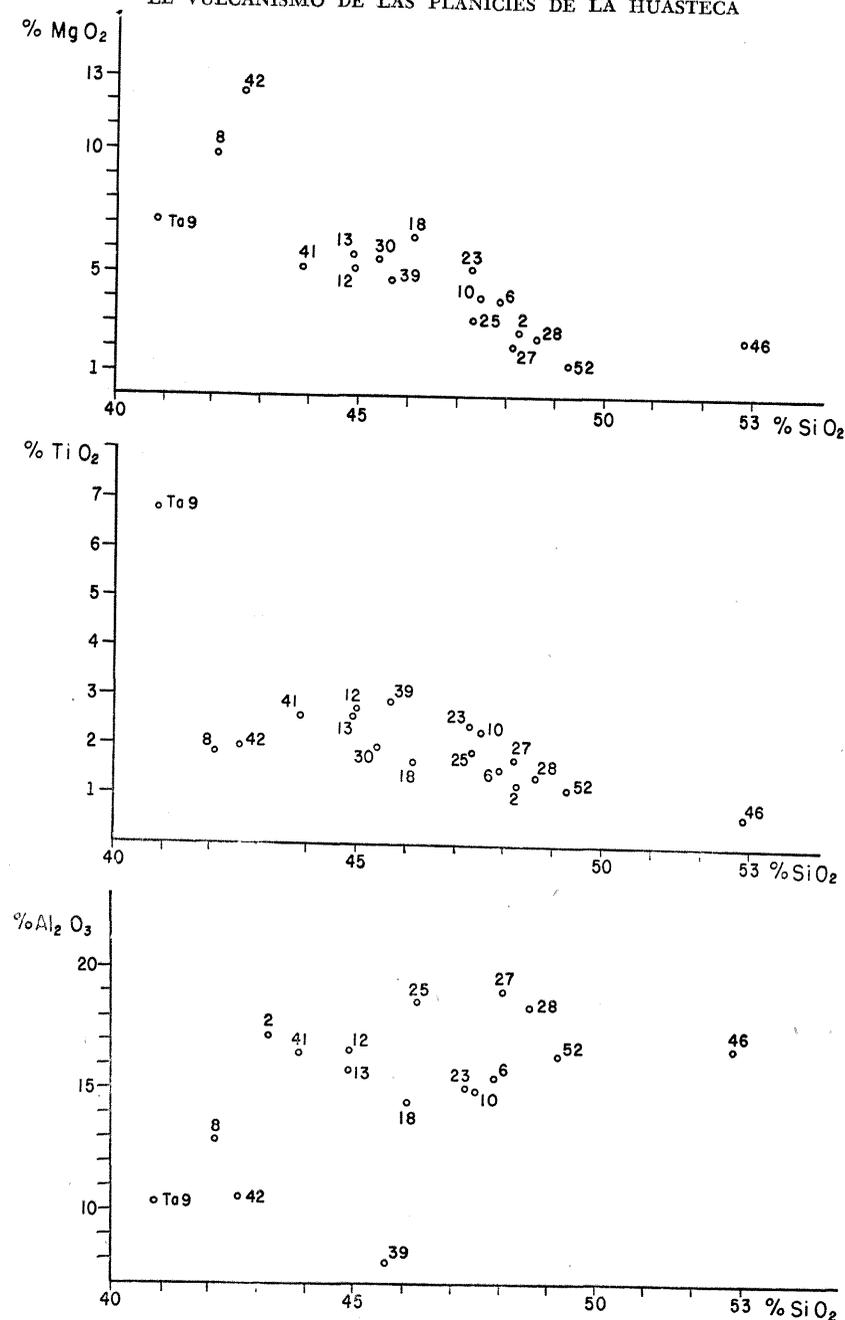


Fig. 6: Covariancias de los elementos TiO<sub>2</sub>, MgO y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con el porcentaje en sílice de las rocas analizadas químicamente.

han descrito rocas de otras líneas magnéticas (granodioritas) en dichos macizos. Se deben separar en el tiempo los periodos de emplazamiento de tal o cual magma, así como los que favorecen su génesis, bajo diferentes condiciones (tiempo, profundidad, lugar...) las cuales están ligadas a variaciones tectónicas regionales o a movimientos de mayor amplitud (escala de la cadena Oriental). Con respecto a lo anterior, la medición de edades mostraría que por lo menos existen dos periodos de formación de las rocas estudiadas en este artículo. El primero, correspondiente a las sienitas y el otro, más reciente, al resto de las intrusiones y derrames volcánicos. Los datos químicos que muestran diferencias dentro de la serie basáltica, enseñan por lo menos dos fases: se deben separar del conjunto los basaltos andesíticos que se aproximan a los intermedios calco-alcalinis, lo cual supone una edad anterior para algunas mesetas basálticas. Por lo anterior, se concluye que es necesario considerar los cerros Nopal y Murciélagos como testigos meridionales del vulcanismo de la Sierra de Tamaulipas cuyo centro se sitúa a 150 kilómetros al norte. Las edades determinadas recientemente por K. Bloomfield, han mostrado que el emplazamiento de rocas semejantes de la Sierra San Carlos, tuvo lugar durante el Oligoceno. Conviene entonces distinguir las de la línea de los basaltos alcalinos que, según varios autores (A. Heim, J. Muir...) es más reciente y debe tener una edad miopliocena.

Numerosos ejemplos geológicos descritos en el mundo, apoyados por trabajos de petrogénesis en laboratorio, muestran que los magmas sieníticos nacen a lo largo de grandes fracturas corticales (D. K. Bailey y J. F. Schairer; E. P. Saggerson y L. A. J. Williams; J. B. Wright cf. los grabenes africanos, etcétera) durante fases de quietud tectónica bajo ciertas condiciones P, T, y se emplazan gracias a fracturas originadas durante distensiones que marcan alineamientos de mayor amplitud. La enorme cantidad de productos alcalinos (traquitas, fonolitas, sienitas, etcétera) alineados NNW-SSE observados en la Sierra de San Carlos (Tamps.) cerca de Aldama, en forma de derrames y el sistema intrusivo (riolitas, traquitas y sienitas) de la Sierra de Tamaulipas, más al sur, hacen pensar que siguen siendo miembros de tal tipo de vulcanismo. Se recuerda que A. Heim menciona xenolitos de sienita en la roca del Bernal de Horcasitas, que confirman la presencia difusa de rocas alcalinas en todo este sector de las planicies de Tampico y la coexistencia de la serie sienítica con la serie "basaltos-basanitas". D. L. Hamilton y W. S. McKenzie (1965), antes J. F. Schairer y N. L. Bowen (1935), admiten que las traquitas, las riolitas y las fonolitas pueden derivar de un magma basáltico por procesos de cristalización fraccionada. Según la cantidad de sílice dentro del magma inicial, este proceso llega a la formación de rocas sobresaturadas o subsaturadas. Sin embargo, la gran cantidad de

productos alcalinos de esta provincia, se puede explicar por la hipótesis emitida por D. K. Bailey (1964), en el sentido que el magma sienítico es el resultado de una fusión parcial en las capas profundas de la corteza o de el manto superior a temperatura baja, el cual normalmente pasa a un magma basáltico alcalino (rico en nefelina normativa) bajo altas temperaturas. La presencia de xenolitos de dunita, que presentan huellas de deuterización, con un tamaño de 1 a 2 cms en la fonolita del Cerro Nopal (HU 46), corrobora dicha hipótesis. J. B. Wright (1966 y 1970) nota tales nódulos de lherzolita en las fonolitas y traquitas de las provincias alcalinas cenozoicas de Nigeria y admite la misma conclusión si la lherzolita representa uno de los constituyentes del manto superior o del contacto de éste con la corteza. Por otra parte, D. H. Green (1970) supone, respecto a la formación de las series basálticas subsaturadas, una solución semejante de la emitida por D. K. Bailey. Según este autor, a profundidades que alcanzan 35-70 kilómetros, una fusión parcial de pirolita produce magmas basaníticos con grado débil de fusión hasta basaltos alcalinos de olivino. Aparece nefelina en la norma si la hiperstena queda en las fases residuales.

Por lo anterior, se puede considerar que las sienitas así como el vulcanismo efusivo alcalino se originaron en zonas de poca profundidad (límite corteza-manto) durante fases de descanso tectónico y fueron emitidos gracias a grandes dislocaciones que han afectado el este de México a varias épocas del Terciario.

*Contexto tectónico:* A fines del Mesozoico y principios del Cenozoico, la plataforma de Tamaulipas funcionó durante la Orogenia Laramide como una zona somera donde se han sedimentado las potenciales formaciones calcáreas del Cretácico Superior y después los terrenos arcillosos del Eoceno (B. C. BELT). Esta plataforma se integra al antepaís con la zona de Coahuila, los macizos de Tezuatlán y San Andrés, Yucatán, así como un bloque continental actualmente sumergido en el Golfo de México. Estaba limitada al oeste por la antefosa de Chicontepec (M. ALVAREZ, 1949).

Después de las fases tectónicas mayores que han levantado esta zona, una fase de quietud seguida de movimientos de tafrogenia, tuvieron lugar durante el Oligoceno permitiendo la génesis y el emplazamiento de los magmas hipovolcánicos alcalinos según una línea paralela al plegamiento de la Sierra Madre Oriental.

Este vulcanismo comienza a bosquejar los rasgos mayores del tren estructural de esta región. Después se presentó una sucesión volcánica compleja con el emplazamiento de series calco-alcalinis, tanto en el Estado de Veracruz (dacitas, granodioritas y andesitas de Palma Sola) como sobre el "horst" de la Sierra (series de Hidalgo). Otras fases posteriores de distensión han

permitido la llegada de un magma poco diferenciado y contaminado (?) (basaltos intermedios) y de los basaltos alcalinos más evolucionados de la planicie. Este vulcanismo terminal basáltico, de distribución limitada que descansa sobre los sedimentos de tipo molasse está injertado sobre el eje determinado por las series subsaturadas anteriores; puede ser considerado como el fin del ciclo geotectónico (siguiendo la idea de E. J. GUZMAN y Z. de CSERNA, 1963).

Debe subrayarse que esta conclusión puede ser aplicada solamente a una pequeña parte del vulcanismo basáltico del este de México. La significación de las recurrencias de toleítas-basaltos alcalinos de los alrededores de Tlanchinol (Hgo.) (C. ROBIN y C. BOBIER), y el lazo que existe entre los basaltos de Zacualtipán, Huayacocotla, Tenango de Doria, Atzalan, con las series riodacíticas o ignimbríticas, da cuenta de la complejidad del vulcanismo que se encuentra desde el Oligoceno. Sólo un estudio completo de las series magmáticas, apoyado por fechas radiométricas, podrá relatar la evolución general de éste y sus relaciones con los movimientos posteriores a las fases paroxísticas en el perímetro Veracruz - Pachuca - Ciudad Victoria. Puede decirse que los rasgos actuales de dicha región, tal y como se presentan ahora, y en particular la cicatriz paralela a la costa, fueron determinados temprano en el Terciario por el vulcanismo.

AGRADECIMIENTOS: Se ha podido llevar a cabo la elaboración de este artículo, con los recursos proporcionados por el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, dirigido por el Ing. D. CORDOBA. Los análisis químicos se efectuaron en el Departamento de Química del Instituto bajo la dirección del Ing. A. OBREGÓN. Me es también muy grato agradecer al Dr. F. J. FABREGAT-G. Jefe del Departamento de Petrología, su valiosa colaboración, así como a los Drs. C. BOBIER, A. DEMANT y C. COULON, por la crítica del manuscrito.

#### LITERATURA CITADA

- ALVAREZ, M., Jr., 1949: *Tectonics of Mexico*. Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., v. 33, n. 8.
- BAKINE, J., CONQUERE, F., VILMINOT, J. C., 1966: *Nodules de péridotites et cumulats d'olivine*. Bull. Soc. Franc. Min. et Cristal., t. 89, p. 262-68.
- BAILEY, D. K., 1964: *Crustal warping - a possible tectonic control of alkaline magmatism*. Jour. Geophys., Res. 69, p. 1103-11.
- , SCHAIRER, J. F., 1966: *The system Na<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> at l'atmosphere and the petrogenesis of alkaline rocks*. Jour. Petrol. 7, p. 144-170.
- BELT, B. C., 1925: *Stratigraphy of the Tampico district of Mexico*. Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., v. 9, n. 1, p. 136-44.

- BLOOMFIELD, K.: (Comunicación personal). Publicación en prensa.
- CSERNA, Z. de, 1960: *Orogenesis in time and space in Mexico*. Geol. Rundschau, v. 50, p. 595-605.
- GIROD, M., 1965: *Données pétrographiques sur les basanites à analcime*. Bull. Soc. Fr. Min. Crist. (88), p. 58-65.
- GREEN, D. H., 1970: *A review of experimental evidence on the origin of basaltic and nephelinitic magmas*. Phys. Earth Planet Int. 3, p. 221-235.
- GUZMAN, E. J., DE CSERNA, Z., 1963: *Tectonic history of Mexico*. Backbone of the Am. Ass. Petrol. Geol., Mem. 2, p. 113-29.
- HAMILTON, D. L., MCKENZIE, W. S., 1965: *Phase equilibrium studies in the system NaAlSiO<sub>4</sub>-KAlSiO<sub>4</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O*. Mineral Mag., v. 34 (Tilley vol.), p. 214.
- HEIM A., 1934: *El Bernal de Horcasitas, a volcanic plug in the Tampico plain-Mexico*. Zeit. Vulkan. XV, p. 254-260.
- IMLAY, R. W., 1937: *Geology of the Sierra de Cruillas, Tamaulipas*. In "Geology and biology of the San Carlos Mountains". Sc. Series, v. XII, Univ. of Michigan Press, p. 211-235.
- KUNO, H., 1968: *Differentiation of basalt magma*. In Poldervaart Treatise on Rocks of basaltic Composition. Interscience publ., New York - London - Sydney, p. 622-88.
- LEFEVRE, C., DUPUY, C., 1972: *Sur la présence de basaltes à hypersthène normatif dans les volcans du Bas-Languedoc (Hérault)*. C. R. Ac. Sc. Paris, Ser. D., t. 274, p. 2616-19.
- MCDONALD, G. A., KATSURA, T., 1964: *Chemical composition of Hawaiian lavas*. Jour. Petrol. 5 (1), p. 82-133.
- MUIR, I. D., TILLEY, C. E., 1961: *Mugearites and their place in alkali igneous rock series*. Jour. Geol. 69, p. 186-203.
- MUIR, J., 1936: *Geology of the Tampico Region*. Am. Ass. Petrol. Geol., Tulsa, 280 p.
- ROBIN, C., BOBIER, C., 1974: *Las fases del vulcanismo de Tlanchinol (Hgo.), según datos paleomagnéticos y geoquímicos*. En prensa.
- TILLEY, C. E., 1958: *Problems of alkali rocks genesis*. Quart. Jour. Geol. Soc. of London., v. 106, p. 37-61.
- TOURNON, J., VELDE, D., 1971: *On the presence of leucite in basaltic rocks from central France*. Contr. Min. and Petrol. (30), p. 291-95.
- WATSON, E. H., 1937: *Igneous rocks of the San Carlos Mountains*. In: "The Geology and Biology of the San Carlos Mountains, Tamaulipas, Mexico." Sc. Series, v. XII, Univ. of Michigan press, p. 101-156.
- WRIGHT, J. B., 1966: *Olivine nodule in a phonolite of the east Otago alkaline province, New Zealand*. Nature 210, p. 519.
- , 1970: *High pressure phases in nigerian cenozoic lavas distribution and geotectonic setting*. Bull. Volc., t. 34, p. 833-47.
- YODER, H. S., TILLEY, C. E., 1962: *Origin of basalt magmas: an experimental study of natural and synthetic rock systems*. Jour. Petrol 3, p. 342-532.

No.	TA9	HUG	HUE	HU10	HU12	HU13	HU28	HU39	HU41	HU42	HU46	HU52
SiO <sub>2</sub>	40.79	47.92	42.08	47.51	44.93	44.94	48.65	45.68	43.87	42.62	52.85	49.27
TiO <sub>2</sub>	6.80	1.55	1.83	2.30	2.70	2.56	1.41	2.38	2.50	1.97	0.68	1.20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.34	15.39	12.97	14.91	16.54	14.83	18.31	11.01	16.48	10.54	16.58	16.29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.25	8.53	3.72	5.21	5.76	6.41	4.84	7.86	3.93	5.38	4.74	3.91
FeO	10.87	7.39	10.84	10.51	9.70	10.14	7.56	11.17	10.83	9.20	2.84	4.76
MnO	0.10	0.12	0.09	0.08	0.11	0.08	0.10	0.09	0.12	0.11	0.13	0.18
MgO	7.04	3.97	9.87	4.09	5.22	5.86	2.52	4.86	5.30	12.40	2.34	1.37
CaO	9.13	7.13	11.99	6.61	7.48	7.60	6.61	7.30	7.85	11.37	4.76	4.14
Na <sub>2</sub> O	4.02	5.25	2.97	5.10	3.85	3.58	5.46	5.08	5.20	3.30	8.50	8.90
K <sub>2</sub> O	3.58	1.47	1.15	1.43	1.30	1.25	1.85	1.90	1.60	0.70	3.40	4.90
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.30	0.71	0.60	0.65	0.51	0.53	0.64	0.78	0.69	0.46	0.48	0.57
SO <sub>3</sub>	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.01	0.17
CO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	2.31	2.68
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.69	0.05	1.52	1.63	1.74	1.92	1.77	1.10	1.52	1.59	0.13	1.11
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.10	0.06	0.40	0.01	0.11	0.02	0.20	0.01	0.22	0.13	0.23	0.52
SUMA:	100.01	91.69	100.03	100.04	99.95	99.72	99.92	99.72	100.33	99.77	99.98	99.97

TABLA No. 1A: CERROS VOLCANICOS: ANALISIS COMPLETOS

TA9 : Cerro Bernal de Morcasitas  
HUG : Intrusivo 15 km al Este de Alamo  
Pista de Ixhuatlán de Madero -  
HUE : Cerro Cacolote  
HU10 : Cerro Texmecuila  
HU12 : Cerro cerca del Pueblo Tlacoalua  
HU13 : Cerro Moratillo

HU28 : Cerro Chapopote  
HU39 : Cerro Tepenahuac  
HU41 : Cerro Ayacatlle  
HU42 : Cerro Auza (llano de Ebano)  
HU46 : Cerro Nopal  
HU52 : Cerro Murciélago

No.	TA9	HU6	HU8	HU10	HU12	HU13	HU28	HU39	HU41	HU42	HU46	HU52
Cua												
Ort	21.16	8.69	6.80	8.59	7.68	7.39	10.93	11.23	9.46	4.14	20.09	28.96
Al	1.88	36.49	2.98	35.04	28.49	29.26	34.72	27.34	17.17	7.80	29.10	6.36
An		14.09	18.66	13.79	24.01	20.70	19.99	1.63	16.90	11.88		
Ne	17.00	4.30	12.00	4.78	2.21	0.56	6.22	8.47	14.53	10.90	20.18	27.17
Ac	0.67										4.91	11.31
(Wo	15.36	6.95	15.41	6.35	4.08	5.65	3.60	12.31	7.32	17.30	8.35	7.02
Di(En	11.00	4.54	9.29	2.97	2.33	3.30	1.60	6.68	3.67	12.17	5.83	2.35
(Fs	2.99	1.92	5.28	3.31	1.57	2.09	1.98	5.20	3.49	3.70	1.82	4.89
Total Pir	29.36	13.42	29.99	12.64	7.98	11.04	7.18	24.20	14.48	33.20	15.99	14.26
Wo											0.20	
(Fo	4.58	3.75	10.71	5.17	7.48	7.92	3.27	3.80	6.68	13.12		0.74
Ol(												
(Fa	1.37	1.75	6.71	6.35	5.58	5.53	4.45	3.26	7.01	4.40		1.71
Total Ol	5.95	5.50	17.42	11.52	13.06	13.45	7.72	7.06	13.69	17.52		2.45
Ma	7.28	12.37	5.39	7.68	8.35	9.29	7.02	11.40	5.70	7.80	4.41	
Ap.	3.03	1.66	1.40	1.54	1.19	1.24	1.49	1.82	1.61	1.07	1.12	1.33
Il	12.91	2.94	3.48	4.44	5.13	4.86	2.68	5.47	4.94	3.74	1.29	2.28

TABLA No. 1B: NORMAS C.I.P.W. CERROS INTRUSIVOS Y DERRAMES CORRESPONDIENTES

No.	HU2	HU18	HU23	HU25	HU27	HU30	HU35
SiO <sub>2</sub>	48.28	46.13	47.33	47.35	48.14	45.43	47.03
TiO <sub>2</sub>	1.23	1.70	2.42	1.84	1.72	1.97	3.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.13	14.48	14.98	18.78	19.00	14.32	13.54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.27	6.54	6.07	4.11	9.70	9.89	5.91
FeO	5.04	6.29	8.25	9.30	3.92	5.69	9.99
MnO	0.12	0.09	0.08	0.12	0.10	0.10	0.14
MgO	2.72	6.52	5.26	3.14	2.07	5.74	5.17
CaO	9.07	9.46	8.03	6.43	6.05	7.66	8.36
Na <sub>2</sub> O	3.42	2.95	3.98	5.40	5.10	2.50	3.10
K <sub>2</sub> O	0.78	1.15	1.00	1.50	1.80	0.92	0.85
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.43	0.35	0.58	0.59	0.56	0.36	0.57
SO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO <sub>2</sub>	1.10	0.00	0.00	0.05	1.12	0.00	0.00
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1.40	3.41	1.75	1.39	0.52	3.55	1.29
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.59	1.30	0.01	0.43	0.66	0.63	0.86
SUMA:	99.58	100.37	99.74	100.43	100.44	99.76	99.89

TABLA No. 2A: DERRAMES DE MESAS BASÁLTICAS. ANALISIS COMPLETOS Y NORMAS C.I.P.W.

HU2 : Mesa basáltica de Metlatoyuca  
 HU18 : Sierra de Tantima - Base -  
 HU23 y HU25 : Sierra de Tantima - Derrames inter-  
 medios -  
 HU27 : Sierra de Tantima - Cumbre -  
 HU30 y HU35 : Mesa de Huautla.

No.	HU2	HU18	HU23	HU25	HU27	HU35
Cua	5.67					1.52
Ort	4.61	6.80	5.91	8.86	10.64	5.02
Al	28.94	24.96	33.68	32.29	40.86	26.23
An	29.09	22.87	20.06	22.57	23.64	20.52
Ne				7.26	1.24	
Ac						
(Wo	5.47	9.09	6.68	2.28	1.14	7.19
Di (En	4.42	6.75	4.23	0.96	0.98	4.12
(Fs	0.40	1.46	2.03	1.33	0.00	2.76
Hi (En	2.35	5.67	2.83			8.76
(Fs	0.21	1.22	1.36			5.88
Total Pir.	12.85	24.19	17.13	4.57	2.12	28.71
Wo						
(Fo		2.68	4.24	4.81	2.93	
Ol (						
(Fa		0.64	2.24	7.36	0.00	
Total Ol.		3.32	6.48	12.17	2.93	
Ma	11.99	9.48	8.80	5.96	7.97	8.57
He					4.20	
Ap	1.00	0.82	1.35	1.38	1.31	1.33
Il	2.34	3.23	4.60	3.49	3.27	5.85

TABLA No. 2B: NORMAS C.I.P.W. DERRAMES BASÁLTICOS

HU2: Mesa de Metlatoyuca - HU 18, 23, 25 y  
 27: Sierra de Tantima  
 HU35: Mesa de Huautla -

	1	2	3
SiO <sub>2</sub>	54.16	52.83	50.68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.69	20.70	22.35
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.87	2.84	2.02
FeO	0.98	1.19	2.09
MgO	0.16	0.41	0.37
CaO	1.30	1.00	3.41
Na <sub>2</sub> O	8.96	9.94	9.67
K <sub>2</sub> O	6.33	4.87	5.39
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	3.45	5.28	3.10
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	1.18	0.37	0.24
CO <sub>2</sub>	0.48		0.46
TiO <sub>2</sub>	0.31	0.16	0.597
ZrO <sub>2</sub>	0.07		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.024	0.03	0.075
Cl	0.08	0.06	0.271
S	0.04		0.04
MnO	0.23		0.125
Total :	100.32	99.62	100.92

TABLA No. 3: ANALISIS DE TINGUAITAS Y FOYAITAS SEGUN WATSON (1937)

- No. 1 : "Natrolite - tinguaita" (Norte de San José, Tamaulipas)  
 No. 2 : "Analcite - tinguaita" (Sierra de San José, Tamaulipas)  
 No. 3 : "Foyaita" (Cerro El Chino, cerca de San Carlos, Tamaulipas)

GEOLOGIA DE LA FAJA DEL SALTO, DURANGO, MEXICO

David EDWIN WAHL, Jr. \*

\* Tesis que presentó a la Facultad de la Escuela de Graduados de la Universidad de Texas, en Austin, como requisito hacia el grado de Maestro de Artes.