

**LAS SERIES VOLCANICAS DE LA
SIERRA MADRE ORIENTAL
(BASALTOS E IGNIMBRITAS)
DESCRIPCION Y CARACTERES
QUIMICOS**

*C. Robin **

** Investigador Invitado. Departamento de Geología. Instituto de Geología. UNAM
Centre de Recherches Géodynamiques Sous-marines. 06230 Villefranche - sur - mer.
Francia.*

RESUMEN

El vulcanismo del Este mexicano en el nivel del Altiplano (Sierra Madre Oriental) se puede dividir en dos zonas: la primera corresponde más o menos a la extremidad oriental del Eje Volcánico Transmexicano entre Perote y el mar, y la segunda al Estado de Hidalgo.

Cada zona se divide en compartimentos que ofrecen un vulcanismo en relación con la tectónica pacífica (subducción de la Placa de Cocos en el nivel de la costa suroeste), o en relación con la tectónica de hundimiento del Golfo de México.

Por el estudio de 100 análisis completos efectuados sobre las emisiones fisurales de la Sierra Madre Oriental, datos petrográficos y datos de campo, se llegó a la subdivisión siguiente de este vulcanismo:

1) En el Sur, entre Perote y el Golfo, dos unidades principales fueron reconocidas: a) una serie calco-alcalina (basaltos andesíticos y andesitas), desde el Mioceno hasta el Cuaternario, en el lado suroeste y b) una serie basáltica alcalina del lado de las llanuras del Golfo (basaltos - basanitas). Este último vulcanismo se acerca al de las emisiones subsaturadas del dominio de las llanuras. Elementos de transición ocurren en la base de la serie alcalina (andesitas fuertemente potásicas).

En esta zona sur, desde el Mioceno hasta el Cuaternario, el vulcanismo de distensión al-

calino progresa hacia el Oeste. Sucedió en el tiempo a fases andesíticas en las llanuras; sucedió también a las fases intermedias al límite de la sierra y unas emisiones recientes alcalinas ocurrieron encima de la Sierra de Chiconquiaco.

2) El vulcanismo del norte (Estado de Hidalgo) Mio-Pliocénico presenta una zonación idéntica. Episodios volcánicos del Altiplano están compuestos por andesitas o basaltos andesíticos mientras que el dominio de los llanos ofrece con permanencia magmas alcalinos. Los términos intermedios (basaltos de hiperstena + olivino normativo) se localizan en las fracturas del borde de la Sierra; están acompañados por emisiones ácidas (ignimbritas).

Constantemente, del Sur hacia el Norte se sobreponen variaciones químicas a esta zonación de sentido Este-Oeste. Así, los términos intermedios de las fallas que bordean están reemplazados por series alcalinas en el Norte del Estado de Hidalgo. En este Estado, se notan también fases basálticas alcalinas recientes hasta la cima de la sierra, como ocurre en el Sur.

Las influencias de los sistemas de tectónica que produjeron las diferencias magmáticas entre las regiones o en una misma región en función del tiempo se discuten en este artículo. Los alcalinos, en particular el potasio, sirven a la definición de estas variaciones magmáticas.

RESUME

Le volcanisme de l'Est mexicain, au niveau du Haut-Plateau (Sierra Madre Orientale), peut être divisé en deux zones: la première correspond, plus ou moins, à l'extrémité orientale de l'Axe Volcanique Transmexicain, entre Perote et la mer, et la seconde à l'Etat d'Hidalgo.

Chaque zone se subdivise en compartiments offrant un volcanisme relationné: l'un avec la tectonique pacifique (subduction de la Plaque Cocos au niveau de la cote Sud-Ouest), l'autre

avec la tectonique d'enfoncement du Golfe du Mexique.

A partir, de l'étude de 100 analyses effectuées sur les émissions fissurales de la Sierra Madre Orientale, de données pétrographiques, ainsi que d'observation sur le terrain, on arrive à subdiviser de la façon suivante ce volcanisme:

1) Au Sud, entre Perote et le Golfe, deux unités principales sont identifiables: a) une série calco-alkaline (basaltes andésitiques et andésites) s'étageant du Miocène au Quaternaire sur le côté Sud-Ouest et b) une série basaltique alcaline (basaltes et basanites) du côté des plaines du Golfe. Cette dernière se rapproche des émissions sous-saturées du domaine des plaines. Des éléments de transition sont présents à la base de la série alcaline (andésites fortement potassiques).

Dans cette zone Sud, du Miocène au Quaternaire, le volcanisme alcalin de distention progresse vers l'Ouest. Il succède également à des phases intermédiaires à la limite de la Sierra et quelques émissions alcalines récentes sont présentes au sommet de la Sierra de Chiconquiaco.

2) Le volcanisme du Nord (Etat d'Hidalgo) d'âge Mio-Pliocène présente une zonation identique. Les épisodes volcaniques du Haut-Plateau comprennent des andésites ou des basaltes andésitiques, tandis que le domaine des plaines montre en permanence des magmas alcalins. Les termes intermédiaires (basaltes à hyperstène + olivine normative) sont localisés sur les fractures du bord de la Sierra; ils sont accompagnés par des émissions acides (ignimbrites).

De façon constante, à cette zonation Est-Ouest, se superposent du Sud vers le Nord des variations chimiques. Ainsi, les termes intermédiaires des failles bordières sont remplacés par des séries alcalines dans la partie N de l'Etat d'Hidalgo. Dans cet Etat, on note également des phases basaltiques alcalines récentes jusqu'au sommet de la Sierra.

Les influences tectoniques responsables des différences magmatiques entre les régions ou à l'intérieur d'une même région en fonction du temps, sont discutées dans cet article. Les alcalins, en particulier le potassium, servent à définir ces variations magmatologiques.

INTRODUCCION

En el Este de la República Mexicana, las formaciones sedimentarias cenozoicas de la Sierra Madre Oriental están parcialmente cubiertas por grandes capas basálticas y por ignimbritas. Trabajos de campo iniciados hace tres años, por el Instituto de Geología, permiten definir la cronología de las principales fases magmáticas. Por otra parte el significado de este vulcanismo puede ser abordado usando los datos químicos obtenidos sobre estas rocas.

Se presentan en este estudio, unas secciones consideradas como típicas de la secuencia efusiva de esta región y los análisis químicos más representativos. La serie básica será descrita con más detalle. Se mencionarán solamente algunos ejemplos de la actividad ignimbritica, cuyo estudio petrográfico y dinámico necesitaría una descripción más amplia.

La definición de los caracteres químicos de las diferentes series, así como sus variaciones regionales serán el objeto principal de este trabajo.

I. CONTEXTO ESTRUCTURAL

En los Estados de Hidalgo y Veracruz, el vulcanismo se extendió al límite de dos provincias estructuralmente diferentes:

1) Las planicies del Golfo de México situadas a una altura media relativamente baja (300 a 400 m) están constituidas en su mayor parte por sedimentos sin y postorogénicos (Oligoceno y Mioceno). 2) La Sierra Madre Oriental, compuesta por series sedimentarias, calizas y areniscas, del Mesozoico fuertemente plegadas.

Estas dos regiones están delimitadas por fallas tectónicas mayores, activas desde el principio del Terciario. (Fig. 1)

En algunos lugares, las lavas se extienden ampliamente en las planicies, como ocurre al Sur, entre Veracruz y Jalapa en donde se observan derrames de lavas a alturas de 300 hasta 2,300 m, sin notar discontinuidad. En otras partes, los derrames tienen menor amplitud y se acumulan al límite de los plegamientos de la Sierra Madre, tal como se ve al Norte del Estado de Hidalgo. Los afloramientos se presentan entre 1,200 y 2,000 m de altitud con forma de "traps" (Fig. 2). En este caso, existen marcadas diferencias entre el vulcanismo de las llanuras y las lavas del borde del altiplano (Robin y Demant, 1974-1975).

De esta manera se definen del Este hacia el Oeste, dos regiones bien delimitadas estructuralmente. Este esquema muy sencillo se complica del Norte hacia el Sur. En efecto, al Sur de la zona estudiada, se observa la prolongación de la estructura transversal del Eje Volcánico Transmexicano. Por lo tanto, los "traps" pertenecientes a las secciones situadas en Veracruz (Fig. 2) pueden, en ciertos casos, tener relaciones directas con el vulcanismo del eje, lo que fue subrayado anteriormente (Demant y Robin, 1975).

El cuadro estructural puede así resumirse por una lineación doble Norte-Sur desde el Estado de Hidalgo hasta el Sur del Estado de Veracruz, al cual se sobrepone una estructura transversal (de dirección Este-Oeste) en el Sur (Fig. 1). Al límite de los accidentes, subrayando estos rasgos geológicos, aparecen los derrames de basaltos e ignimbritas, objeto de este estudio.

La constitución litológica exacta y sobre todo los caracteres geoquímicos de estas series volcánicas eran prácticamente desconocidos; las únicas informaciones al respecto se deben a A. R. Geyne, *et al.*, sobre los últimos episodios (Plio-Cuaternarios) del Estado de Hidalgo (basaltos doleríticos).

II. DESCRIPCIÓN SOMERA DE LOS AFLORAMIENTOS:

Las series magmáticas muestreadas se reparten a lo largo de las secciones indicadas en la figura 2. El espesor del vulcanismo varía considerablemente según las regiones. Es en el Sur, entre Perote y Cardel, que las series encuentran su mayor desarrollo; desde 400 metros hasta 2,300 metros, los derrames volcánicos se siguen sin discontinuidad. Según otra sección, (sección No. 2 de Misantla a Chiconquiaco), el espesor total alcanza 800 metros. Generalmente, hacia el Norte el espesor de las emisiones sufre una disminución. En Hidalgo, las secuencias volcánicas no sobrepasan 250 ó 300 metros si se hace abstracción de los depósitos vulcano-sedimentarios (de tipo tobas, cenizas, depósitos piroclásticos removilizados o no). A lo largo de la sierra se puede seguir la sucesión de los episodios volcánicos por el juego de las últimas fallas (pliocénicas) que limitan la Sierra Madre y afectan también a las series magmáticas.

De una manera general, los derrames se consideran potentes por ser un vulcanismo de tipo "traps" (10 metros de promedio pero a veces hasta 30 metros). La prismación se presenta muy frecuentemente en los derrames.

En muchos casos, los niveles vulcano-sedimentarios ocupan más de la mitad del espesor total. Así, la parte superior de la sección No. 2 (Chiconquiaco-Misantla) está constituida por más o menos 350 metros de cenizas, escorias, brechas y tobas basálticas; las cenizas tomando frecuentemente un aspecto ignimbrítico. El resto de la serie comprende también potentes secuencias de tobas (de 30 a 40 metros de espesor). Un caso idéntico se produce en la sección No. 4 (Figura 5) donde una formación de tobas ignimbríticas con pómez y pequeños bloques de obsidiana constituye la mayor parte de los afloramientos. Los fenómenos explosivos tienen así un papel tan importante como los efusivos. De extensión comparable, estos pro-

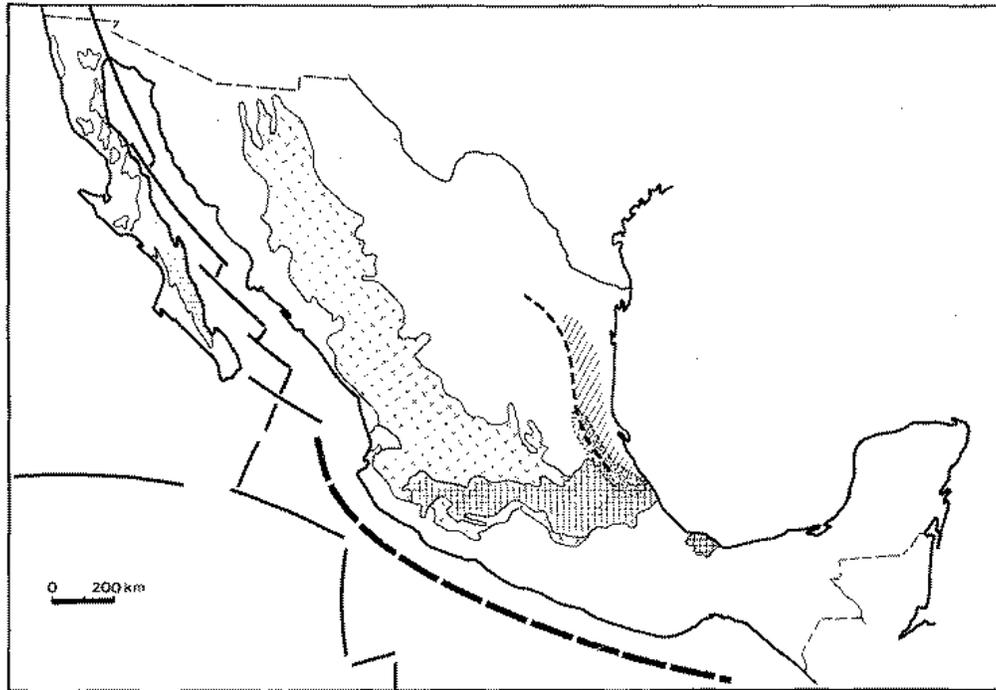


Fig. 1: Mapa de localización de las lavas estudiadas dentro de las provincias volcánicas mexicanas. (Demant y Robin). Los derrames se extienden al límite de la Provincia alcalina oriental y del Eje Transmexicano sobre los accidentes mayores de la Sierra Madre Oriental marcados por la raya discontinua.

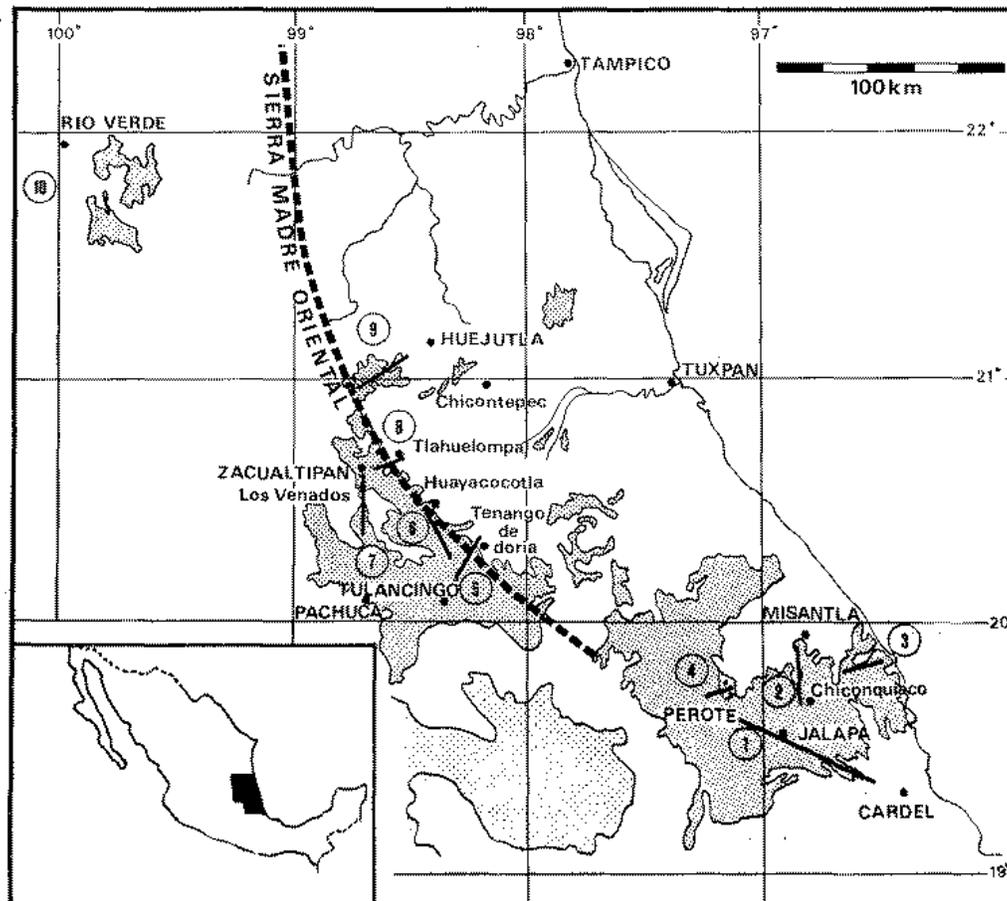


Fig. 2: Localización de las secciones que sirvieron al estudio. El límite de la Sierra Madre Oriental con las llanuras del Golfo, está marcado por la raya discontinua.

ductos piroclásticos representan niveles de referencia constantes que permiten correlaciones entre las series. Cuando se trata de verdaderas ignimbritas (alrededores de Zacualtipan, Hgo.) estas proyecciones constituyen relieves importantes dispuestos según las redes de fracturas cubriendo distancias de 15 hasta 20 kilómetros.

III. SITUACION DE LOS EPISODIOS MAGMATICOS

A. *Las Series del Estado de Veracruz:*

Entre Cardel y Jalapa se presenta una serie de capas basálticas y de andesitas de olivino generalmente poco espesas (unos metros al afloramiento) encerradas entre piroclásticos y una secuencia sedimentaria continental potente. Cerca de Plan del Río se encuentran los derrames más antiguos (análisis VE5 y VE8); en las alturas 330 y 390 están constituidos por basaltos con abundantes xenolitos de olivino. Dichas lavas, separadas por 15 a 20 metros de tobas laminadas blancas, con numerosos bloques basálticos, están adentro de las calizas miocénicas. Constituyen así las primeras manifestaciones que han dado basaltos en el dominio de las planicies. La matriz microlítica (feldespatos) encierra pequeños cristales de olivino y clinopiroxenos, pero muy alterados. Los fenocristales alcanzan 3 milímetros. En la norma (2 a 4%) de hipersteno está presente; no hay cuarzo, tampoco nefelina.

Encima de estas calizas se desarrolla una serie compuesta por rocas más o menos diferenciadas (análisis 3 hasta 11). Se trata de basaltos "intermediarios", andesitas basálticas y andesitas. Todos los análisis, excepto uno, muestran una sobresaturación con cuarzo o hipersteno normativo. El índice de diferenciación varía poco (de 31 a 48) poniendo aparte un término más evolucionado: VE-21 (D. I. = 84). La base de la serie está representada por andesitas (análisis 3 y 4, muestras VE-52 y VE-65). La estructura de estas lavas es micro-

lítica-porfídica; largos fenocristales (4-5 mm) de plagioclasas maclados y zonados (An 40-45), clinopiroxeno e hipersteno ligeramente destabilizado aparecen adentro de una matriz conteniendo mucho vidrio. Tomando en cuenta el valor en K_2O estos términos tienen caracteres de los "High-K-andesites" (Fig. 4) de McKenzie y Chappell (1972). Estas emisiones representan además un magma calco-alcalino fuertemente aluminoso ($Al_2O_3 = 20\%$ en VE-65).

El resto de la serie está compuesto por rocas con caracteres mucho más básicos; los análisis 7 a 9 corresponden a andesitas basálticas. La estructura es microdolerítica. El contenido de hipersteno normativo es siempre muy importante y puede sobrepasar la cantidad de diopsida. Las plagioclasas de la matriz están representadas por microlitos delgados de andesina y labrador. Los fenocristales (clinopiroxenos) se encuentran escasos. En VE-24 (análisis 8), la estructura es de tipo andesítico y se observa hipersteno.

Las emisiones las más recientes se distinguen por la presencia de basaltos alcalinos (VE-22), de andesitas basálticas y por una lava diferenciada (VE-21) alcalina (An 10-20 en la plagioclasa); sin tomar en cuenta los basaltos de la base, que afloran en medio de las calizas. El único término realmente basáltico encontrado es VE-22, con un poco de nefelina normativa. Todos los demás componentes presentan hipersteno modal o normativo, con o sin olivino. Considerando esta composición normativa y los valores en K_2O (0.60 - 0.70%). Las secuencias menos evolucionadas del conjunto corresponden a basaltos calco-alcalinos o a las "low-Si andesitas" (Fig. 4). En esta serie, el exceso en sílice de la norma CIPW se debe en parte al Fe_2O_3 . Pero aún si se reduce el valor de este elemento hasta 1.50% no aparece ningún signo de subsaturación (Coombs, 1963, Kay *et al.*, 1970). *Existen, sin embargo, en la parte alta de la serie, unos términos de tendencia intermedia o alcalina que subrayan otras*

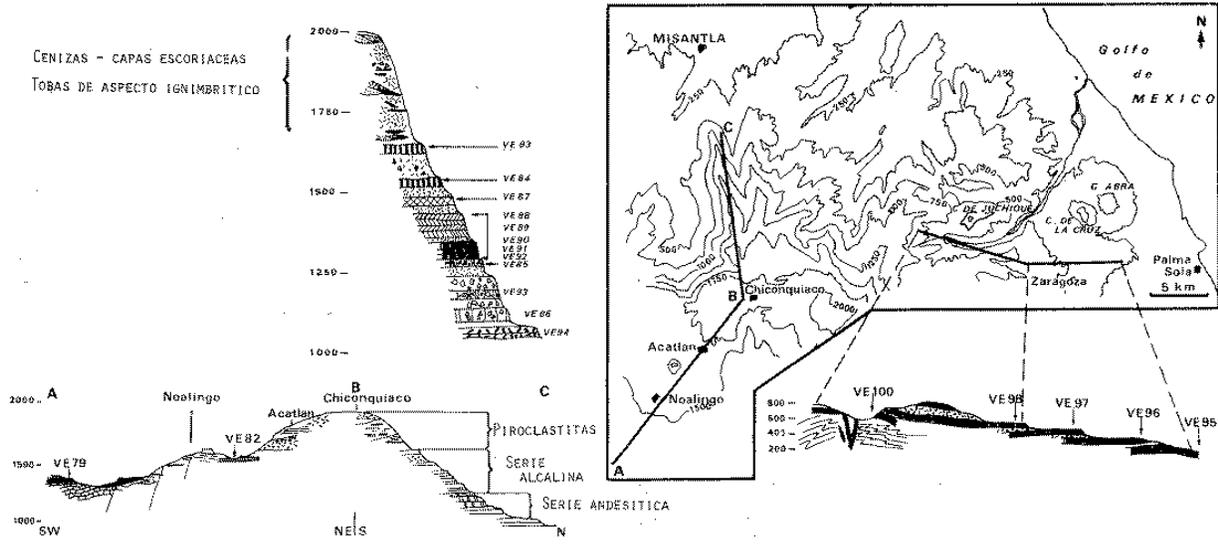


Fig. 3: Detalles de las secciones 2 y 3 de la figura 2. Los números VE... corresponden a las muestras analizadas químicamente (anexo). En este dibujo se notan las diferencias entre el vulcanismo del borde del altiplano (sección BC) y el de las llanuras.

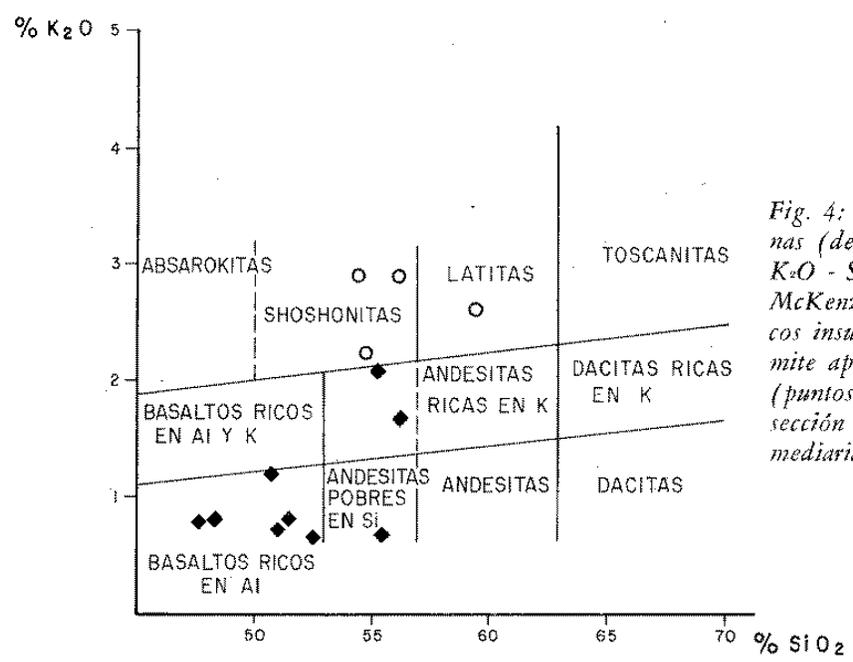


Fig. 4: Posiciones de las muestras calco-alcálicas (de las secciones 1 y 2) en el diagrama $K_2O - SiO_2$. Las áreas fueron definidas por McKenzie y Chappell (1972) con series de arcos insulares. Sin embargo este diagrama permite apreciar las diferencias entre la sección 1 (puntos negros) y las lavas de la base de la sección 2 (puntos blancos) de afinidades intermedias entre el clan alcalino y calco-alcálico.

influencias en este vulcanismo. A partir del Mioceno Superior, el vulcanismo encontrado en la región de Jalapa, haciendo parte de la extremidad oriental del Eje Transmexicano, se revela típico de un vulcanismo andesítico que se puede correlacionar con movimientos de subducción (Benioff, 1954, Dickinson y Hatherton, 1967, Green y Ringwood, 1968).

El Vulcanismo extendido entre Misantla y Chiconquiaco:

Se trata de las lavas de la vertiente norte, en la extremidad oriental del Eje Transmexicano. La sección No. 2 (Fig. 2) presenta una mayor apreciación de las series (en detalle en la figura 3). Los relieves que dominan Misantla muestran la sucesión de los términos magmáticos siguientes:

En la base, de los 950 metros hasta 1,210 metros aflora una secuencia de tipo andesítico en la cual las facies son relativamente constantes. Se notan espesas formaciones de lavas gris claro con fenocristales. Las muestras analizadas pertenecientes de esta fase (análisis 12 y 13 VE-94, VE-93) presentan un fondo microlítico soportando cristales que alcanzan a veces 1 cm. Estas plagioclasas (An 25-35) están maculadas; pequeños cristales de clinopiroxenos y de biotita, en cantidades iguales, constituyen los ferromagnesianos. Una espesa serie de tobas (40 m más o menos) suprayace los derrames macizos. Por sus caracteres químicos (sobre todo la fuerte alcalinidad, estas rocas se parecen bastante a series shoshoníticas (Joplin, 1968, Nicholls y Carmichael, 1969) aunque el valor K_2O/Na_2O apenas alcanza 0.6 en dos de las muestras, o a términos de transición ya alcalinos. En las series calco-alcalinas, K_2O/Na_2O queda relativamente constante en función del sílice. Para este período volcánico, el diagrama de la figura 4 presenta un crecimiento del potasio con respecto a la sílice más rápido que las demás muestras calco-alcalinas de la región. Además, un término medio de la suma de los

alcalinos enseña 7.2% con respecto a los 4.5% de las demás muestras, por un valor medio en sílice parecido.

Encima de las tobas, hasta 1,620 metros, la secuencia (análisis 15 a 23) se compone de una sucesión exclusivamente alcalina, de lavas más o menos diferenciadas, en las cuales el olivino y los clinopiroxenos siempre existen en cristales idiomorfos bien desarrollados. La composición de la plagioclasa, que se encuentra de una manera escasa en forma de cristales bien desarrollados (VE-91) es generalmente sódica (andesinas).

En resumen, la mayoría del grupo aparece subsaturado; sin embargo, existe un episodio muy rápido (VE-87) situado en la altitud 1,450 metros entre dos fases explosivas de tobas finas. En este derrame, (andesita con 60% de sílice) la roca comprende pequeños granos de clinopiroxenos y olivino en medio de una matriz principalmente constituida por una plagioclasa sódica (An 25-30), minerales opacos, ferromagnesianos y un porcentaje fuerte de vidrio. En dichas lavas, el único signo de saturación es la presencia de hipersteno normativo. Lo demás de la serie presenta basaltos alcalinos y magmas alcalinos diferenciados. Las lavas más subsaturadas se extendieron al final de la secuencia (VE-84 y VE-83). Aparece un poco de biotita y nefelina en estos; predomina la tefrita-basanita (según los criterios de clasificación enunciados por MacDonald y Katsura, 1964).

La alcalinidad pronunciada de todo el conjunto está subrayado por la figura 5, que permite además señalar una diferencia fundamental entre esta serie y la de la vertiente sur (Jalapa - Cardel) principalmente calco-alcalina. Esta primera divergencia implica un origen y condiciones de génesis diferentes de un lado al otro del macizo situado entre Jalapa, Cardel y Misantla.

Al final de la serie de Misantla, el vulcanismo explosivo (cenizas, tobas, lapillis) se vuelve más importante. Los volcanes recientes

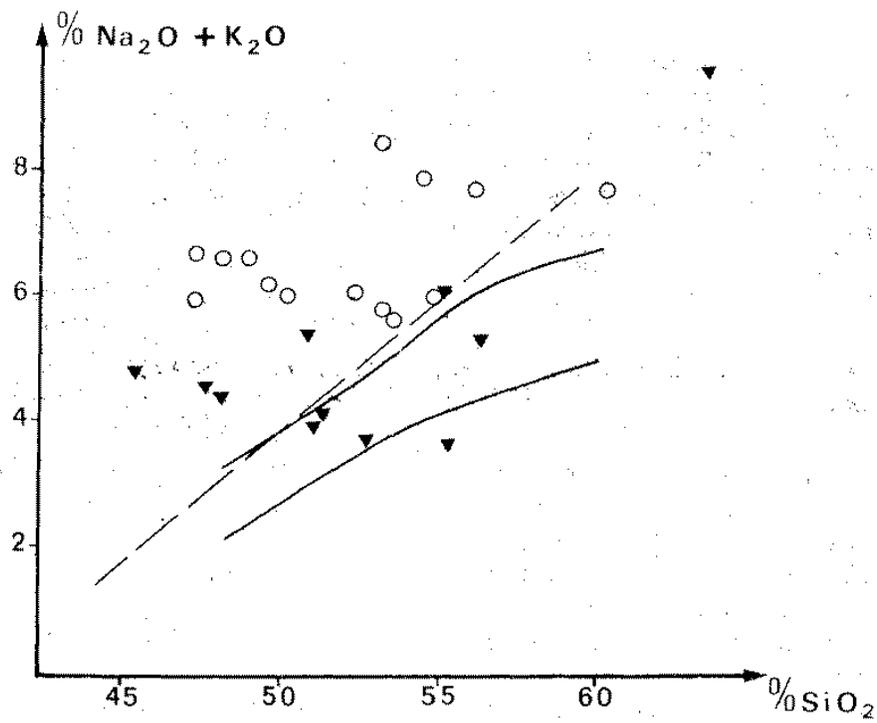


Fig. 5: Diagrama SiO₂ - Alc. para las lavas analizadas de las secciones 1 y 2 de la figura 2. Se nota la diferencia de quimismo entre las dos secciones: magmas principalmente alcalinos de la sección Norte-oriental (círculos) y lavas principalmente calco-alcalinas (triángulos) de la sección sur del macizo de Jalapa.

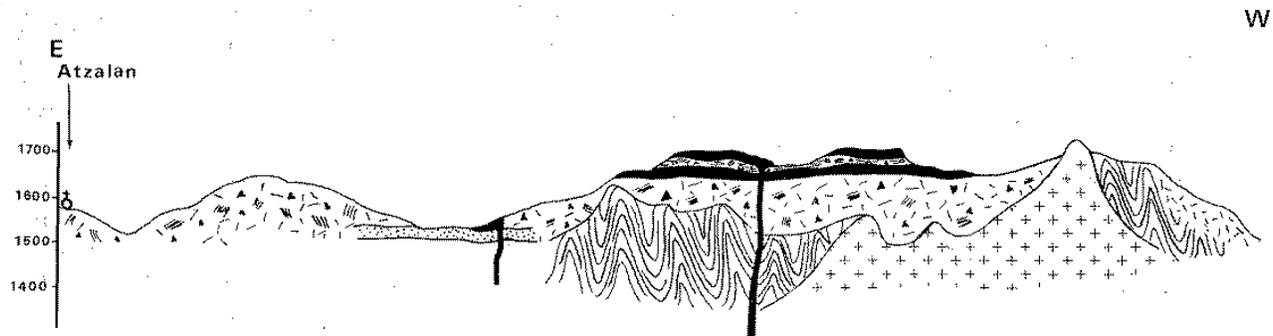


Fig. 6: Detalles de la sección No. D de la figura B: esquistos; granito calco-alcalino (cruces); espesa serie de tobas con pomez y bloques de obsidiana con su base vidriosa; dos derrames de basalto de tipo transicional (negro) separados por una brecha, superan la serie de ignimbritas alcalinas.

W

del límite del Altiplano (alrededores de Nao linco y Chiconquiaco) situados sobre grandes fracturas verticales han tenido un papel importante en la emisión de los piroclásticos. Las muestras VE-79 y VE-82 pertenecientes a las últimas emisiones en el borde del Altiplano afirman la característica alcalina de los últimos episodios volcánicos de esta parte del Eje Transmexicano.

Sección No. 3 Plan de las Hayas, (Fig. 2): La evolución espacial suroeste - noreste señalada por los cortes 1 y 2, se encuentra de nuevo en la parte oriental del macizo hacia el mar. La serie está constituida de basaltos alcalinos, los cuales en su mayor parte pertenecen al vulcanismo reciente de las llanuras (Plioceno-Cuaternario). Dichas capas se extendieron alrededor del macizo andesítico de Palma Sola. En este punto, entonces, la evolución magmática se ha producido con el tiempo. Los basaltos cubren una superficie constituida por sedimentos y terrenos andesíticos (derrames y filones, Fig. 3). Una ankaramita se intercala en la serie. En los llanos existen también nefelinitas recientes. La sucesión comprende un episodio de tobas removilizadas y cineritas con plantas. Dos análisis solamente de esta formación homogénea están reportados (VE-95 y VE-98).

Sección No. 4 Norte de Perote. Se termina este reconocimiento del vulcanismo del Sur del Estado de Veracruz por la presentación de esta sección, en el límite de la Sierra Madre y de los llanos, cerca de Perote (Fig. 2), con altura media de 1,500 metros (Fig. 6). La topografía cubierta por las emisiones, sobre todo tobas ignimbríticas, está constituida por esquistos jurásicos (?) cortados por un granito. La serie ácida empieza por una capa de vidrio perlítico, cubierta por tobas más o menos endurecidas, de 100 metros de espesor. Se notan fragmentos de pomez en la matriz ignimbrítica. La textura vitroclástica y también los diferentes grados de deformación de los fragmentos de vidrio, implican un origen piroclástico

para todos los "derrames" de esta región. La presencia de tobas acompañadas por bloques de obsidiana y pomez (hasta 30 cm) revela el papel de los gases durante las erupciones. Los dos derrames de la cima separados por una brecha corresponden a basalto con fenocristales de clinopiroxenos amarillo claro y de plagioclasas (An 40). Dentro de la matriz, los minerales opacos (ilmenita, hematita) son relativamente abundantes (hasta 12%). Existe también feldespatos alcalino en pequeña cantidad. 3 análisis (28 a 30) se presentan en relación a estas secuencias volcánicas. El intrusivo es un granito calco-alcalino en el cual la hornblenda verde ocurre con más frecuencia que la biotita. Las capas ignimbríticas con pomez y obsidianas, testigos de una actividad riolítica intensa se encuentran sobre una gran parte del límite del Altiplano en el Este de Perote. Se trata de un magmatismo reciente (Plioceno?) posterior a la mayoría de las lavas andesíticas y basálticas ya descritas. Los piroclásticos no se encuentran en un contexto geológico idéntico a las grandes capas ignimbríticas de México, extendidas en zonas de distensión atrás de una cordillera andesítica (Karig y Jenschky, 1972), más bien parecen juntarse a la actividad del eje volcánico aprovechando las fallas del borde de la Sierra Madre Oriental.

B *Las emisiones fisurales del Estado de Hidalgo.*

Los "traps" y las ignimbritas cerca de Tenango de Doria, Metzquititlán y Zacualtipán (*secciones 5, 6 y 7, Fig. 2*): El vulcanismo de "traps" en Hidalgo se diferencia del observado en el Sur por las dos características siguientes:

a) Los derrames, siempre se localizan al límite de la Sierra Madre Oriental, en una zona afectada por una red de fracturas verticales (desde N°0 hasta N°60). Las series magmáticas fueron después afectadas por el juego tardío de dichos accidentes. Debido a la espesa cubierta vegetal es difícil definir la continuidad de una serie y determinar si un episodio

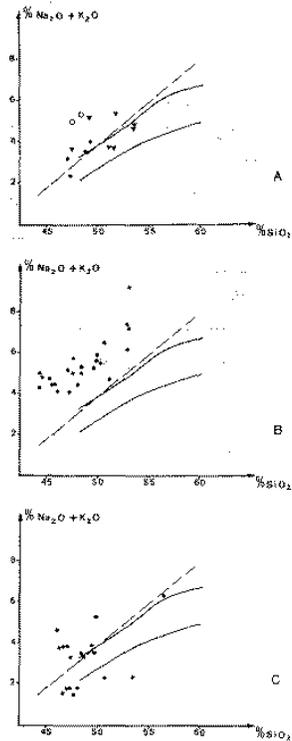


Fig. 7: Variaciones alcalinas — SiO_2 en el Estado de Hidalgo. A - Lavas del altiplano; alrededores de Pachuca (serie Atotonilco el Grande s.l.). Los puntos negros representan basaltos intrusivos dentro de las rocas ácidas entre Tulancingo y Tenango de Doria (análisis no reportados en el anexo). Los triángulos corresponden a derrames del Altiplano y los círculos a los dos basaltos de nefelina encontrados en la serie (fases alcalinas de la serie pliocénica Atotonilco el Grande).

B - Derrames del bordo de la Sierra de Tenango de Doria hasta Tlanchinol. Este conjunto comprende una serie típica alcalina (del norte de Zacualtipán) y lavas de caracteres intermedios (Hi + ol normativos) desde Zacualtipán hasta Tenango de Doria.

C - Serie de Tlanchinol - Huejutla presentando una gama más diversificada sobre todo intermedia y de afinidades toleíticas.

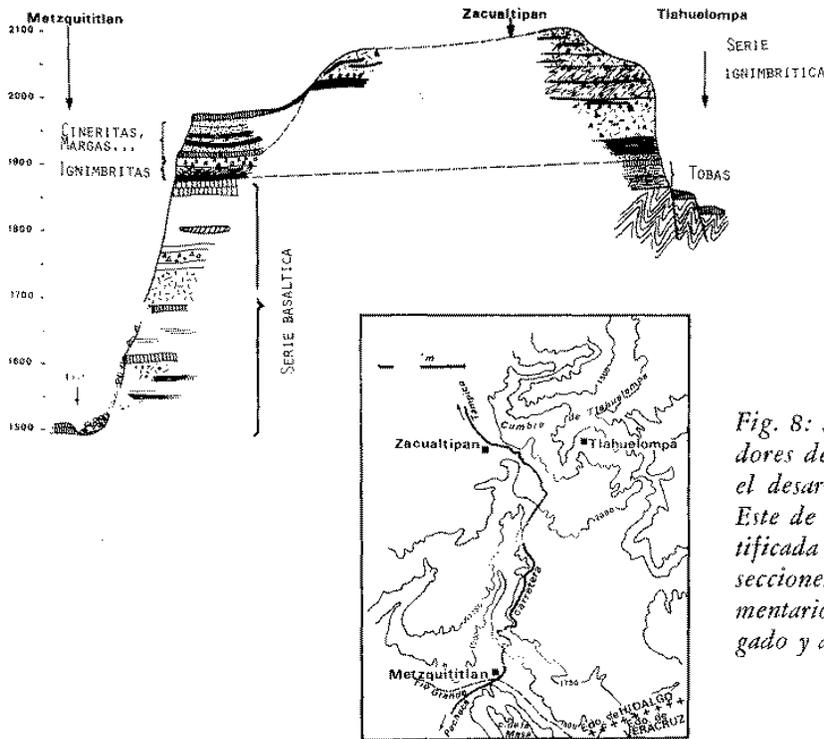


Fig. 8: Secciones 7 y 8 de la figura 2; alrededores de Zacualtipán. Se nota en este esquema el desarrollo de la serie igníbrítica del lado Este de la Sierra. La serie ácida está interestratificada entre lavas básicas. Como en todas las secciones perpendiculares a la Sierra, el sedimentario soportando los basaltos está muy plegado y afectado por fallas verticales.

pertenece a un compartimiento hundido, o más bien a una fase magmática posterior asentada en un valle de origen tectónico. El paleomagnetismo debería de acuerdo con la petrografía química, permitir correlaciones regionales.

b) La aparición de series ácidas intercaladas entre los basaltos, sobre todo con forma de ignimbritas con textura de lavas (*flow structure, ash structure*), alcanzan espesores considerables; para cada capa más de 30 metros. Están asociadas con numerosos "derrames" de obsidiana y otros piroclásticos (tobas con pomez, cenizas consolidadas, etc.) Dichas facies tienen un gran desarrollo cerca de Zacualtipán. Parece que estas fases anatéxíticas se siguen a lo largo de la Sierra formando una cinta desde Tenango hasta Tlanchinol (Fig. 2). Determinaciones K/Ar permiten fechar estas lavas ácidas del Mioceno Superior. Las erupciones del Norte (Zacualtipán) parecen más recientes que las de Tenango de Doria. Las lavas ácidas siempre afloran encima de una serie basáltica y a veces están cubiertas por derrames basálticos (basaltos pliocenos de Metzquititlán, serie Atotonilco el Grande de Geyne *et al.*, 1963).

Sección No. 6.—Tenango de Doria está fundada sobre una superficie basáltica en la altitud 1,570 m, compartimiento probablemente hundido. La sección hasta la cima (2,300 m) presenta en la base tobas café, amarillo claro y lapillis con bloques de lavas básicas y brechas de explosión, 80 metros de traps basáltico están representados por los análisis ME (análisis 31 a 34). Una espesa serie de tobas (30 a 40 m) suprayace estos basaltos, así como otros derrames (análisis 35 y 36). Los derrames son espesos (10 metros lo mínimo); están separados por finos niveles escoriáceos rojos y arcillosos. Las lavas básicas presentan al microscopio una estructura microlítica muy fina sin fenocristales; la matriz está constituida principalmente por plagioclasas y clinopiroxenos. La serie está diferenciada (D. I. varía de 35 a 51). Las últimas fases (ME 62 y 63 análisis 35 y 36) corresponden a basaltos andesíticos porfíricos

de olivino ligeramente saturados (Hip + ol normativos). Aunque las características mineralógicas y químicas les acercan más al dominio alcalino que al calco-alcalino, la mayoría de las muestras pueden estar consideradas pertenecientes al "*Mildly alkaline or transitional type*" de Coombs (1963) y otras ofrecen un lineaje evidente con los *High Alumina basalts* (Kuno, 1960).

Secciones 7 y 8 Venados y Zacualtipán (Fig. 2). Durante el Plioceno, grandes depresiones en el norte de Pachuca fueron colmadas en parte por basaltos y andesitas basálticas (Geyne *et al.*, 1963). Los derrames básicos se extendieron entre dos relieves, el primero del lado sur, constituido por las series andesíticas (andesitas, dacitas y riodacitas) del complejo de Pachuca (parte norte, del eje volcánico) y el segundo relieve al Norte, por sedimentos (calizas, esquistos) mesozoicos fuertemente plegados que afloran al Norte de Los Venados en medio del anticlinorio de Huayacocotla. En esta depresión existían lagos (presencia de margas y yeso); la Formación Atotonilco el Grande tiene un máximo de espesor entre Atotonilco y Los Venados. La composición química de dichas lavas, netamente más recientes que los "traps" constituyendo el borde del Altiplano varía entre "intermedia", calco-alcalina y alcalina sobre el diagrama de Kuno (Fig. 7) donde varios puntos representativos se localizan en el dominio calco-alcalino o en el campo de las rocas sobresaturadas (McDonald y Katsura, 1964). En realidad existen varias unidades: rocas andesíticas correspondientes a las *Low Si Andesites* (McKenzie y Chappell) y basaltos alcalinos (PH 125). El sílice varía hasta 54% y el tenor en K_2O queda relativamente bajo (— de 1%) mientras que Na_2O/K_2O pueden alcanzar 4. Desde el punto de vista mineralógico, las series están constituidas por microdoleritas con matriz de plagioclasas (An 30-35) en la cual los clinopiroxenos están bien representados así como el olivino, en pequeños granos o escasos cristales. Existe dentro de los intersticios vi-

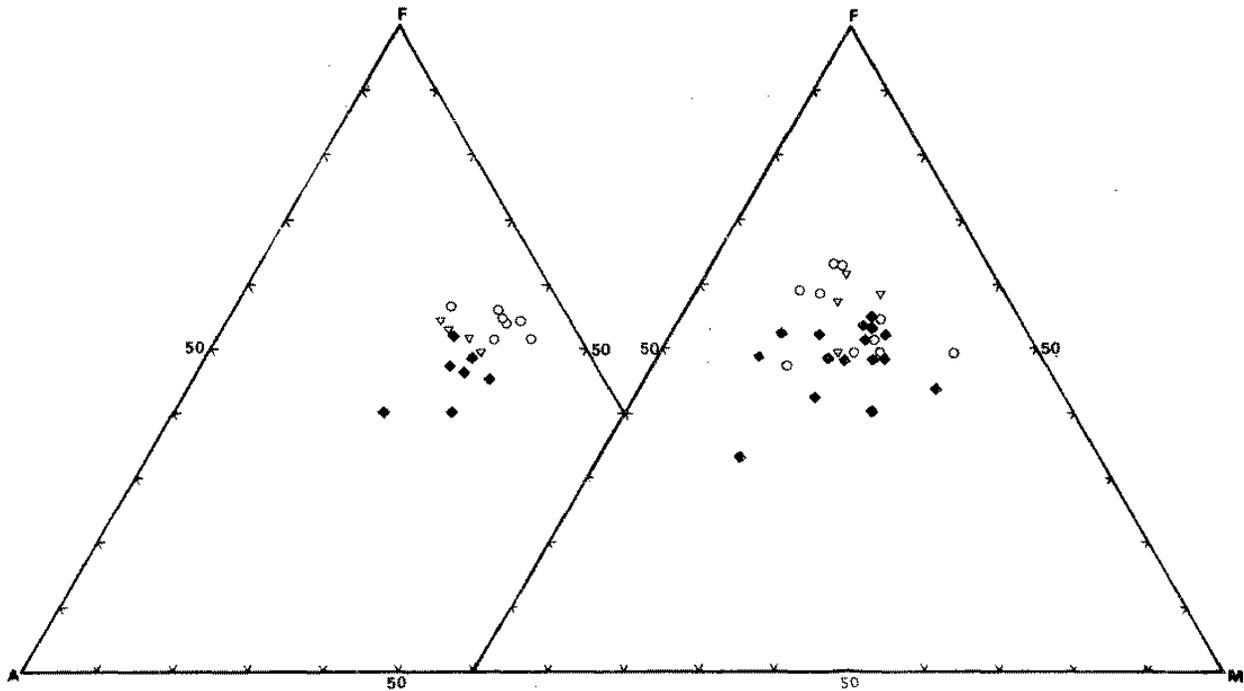


Fig. 9: Diagramas FMA para las lavas básicas de Hidalgo. Diagrama de izquierda: serie de Tlanchinol; a la derecha: serie Atotonilco el Grande y "trapps" del bordo de la Sierra Madre. Círculos: rocas sobre-saturadas. Triángulos: lavas de hipersteno + olivino normativos. Puntos negros: series alcalinas. Se nota que las áreas representativas se completan, las lavas de Tlanchinol están menos diferenciadas que las demás series.

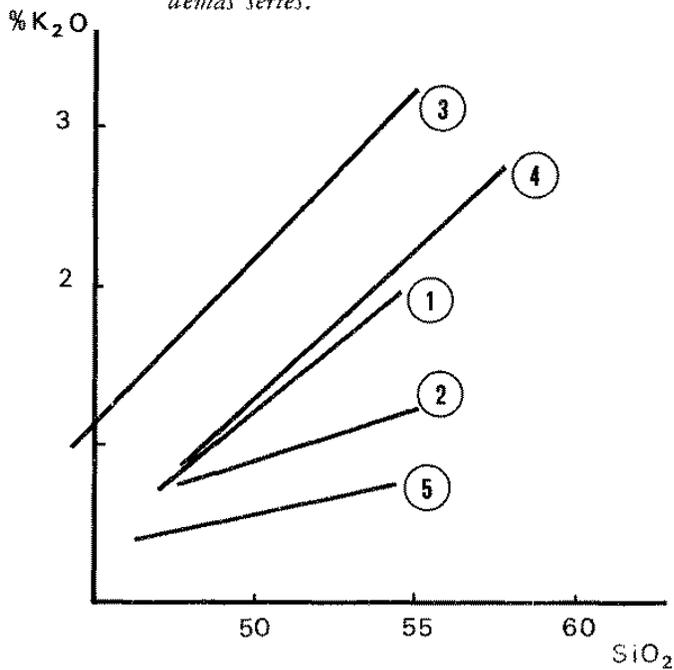


Fig. 10: Variaciones $K_2O - SiO_2$. Comparación entre las series de Hidalgo. 1: Serie del borde de la Sierra Madre en el nivel de Tenango de Doria. 2: Lavas saturadas de la serie Atotonilco el Grande (andesitas basálticas). 3: Series alcalinas (Norte de Zacualtipán y derrames escasos del altiplano en los alrededores de los Venados). 4: Serie intermedia de Tlanchinol. 5: Rocas sobresaturadas de Tlanchinol. Se nota una similitud entre todas las lavas intermedias de la vertiente de la Sierra (1 y 4) y una semejanza con las lavas sobresaturadas. Entre Tenango y Zacualtipán, el enriquecimiento en potasio con respecto a la sílice es más fuerte en las series del límite de la Sierra que en los derrames del altiplano ligados a las emisiones del Eje Transmexicano (1 y 2). La línea 3 representa magmas de origen diferente; está compuesta por lavas diferenciadas del Norte de Zacualtipán, muy parecidos a las de las llanuras y por unos representantes muy básicos (magmas alcalinos no diferenciados) del altiplano (de 44 a 46% de sílice).

drio. Los opacos están bien representados en los basaltos (10 a 12%), y menos en las rocas evolucionadas.

Al Norte de Los Venados, el Río Grande abrió una sección dentro de las formaciones volcánicas cuyo espesor en este lugar es del orden de 500 a 600 metros. Hasta Zacualtipán aparecen sucesivamente, desde la altitud 1,500 m, derrames microdoleríticos (PH 55, PH 135) con estructura ofítica, rocas alcalinas poco diferenciadas, luego vienen basaltos y una serie ignimbrítica con bloques. Los últimos depósitos de este vulcanismo explosivo se efectuaron en ciertos lugares dentro de los lagos (presencia de cineritas, cenizas con estratificación gradada, cenizas laminadas, pequeñas capas margosas interestratificadas con elementos detríticos gruesos). Una pequeña aureola de andesita basáltica (PH 62, análisis 45) domina todo el conjunto. Esta última fase se asemeja a la Formación Atotonilco el Grande. Los basaltos intermedios y las andesitas de olivino del Plioceno se adelgazan hacia el Norte. Parece también que los derrames básicos de Metzquititlán (Fig. 8) son mucho más antiguos y sean parte de la fase pre-ignimbrítica.

En la vertiente de Tlahuelompa (Fig. 8) las tobas riolíticas tienen un mayor desarrollo, lo que confirma la relación que existe entre este vulcanismo y las fracturas del borde de la sierra. El espesor total sobrepasa los 100 metros. En ciertos casos, la textura de las rocas pronostica que dichas emisiones riolíticas se produjeron en forma de derrames de lavas, como lo describe Wachendorf (1973) en el SE Africano. Este es el caso que se presenta a unos kilómetros al Norte-Oeste de Zacualtipán; la roca extrusiva presenta a menudo una laminación pronunciada que puede distinguir los "derrames" de las formaciones de origen piroclástico. Este mismo caso se presenta también en la región comprendida entre Huayacocotla y Tenango de Doria donde verdaderos domos riolíticos están ligados a los derrames. Las obsidias aparecen en bloques dentro de las bre-

chas de explosión, en "derrames" (espesor 10 metros) o en lenteja o filonitos.

El pueblito de Tlahuelompa, así como Tenango de Doria, están situados sobre un derrame basáltico. En la carretera a los 1,860 m, otro compartimiento basáltico sobreyace esquistos y capas de calizas margosas fuertemente tectonizadas. La estructura de estos basaltos es microdolerítica. Desde el punto de vista químico y petrológico se asemejan a los del Sur del Estado (Tenango) a excepción de escasas formaciones francamente alcalinas (PH 149).

Los basaltos del Norte del Estado; región extendida de Zacualtipán hasta Tlanchinol. El magmatismo básico de esta zona está ilustrado por los análisis 50 a 60. En el borde de la Sierra, las secciones permanecen clásicamente las mismas: 1) sedimentario, fuertemente tectonizado, 2) basaltos, 3) ignimbritas y 4) a veces otros basaltos. El conjunto está cortado por fracturas que pueden hacer aparecer el sedimentario en cualquier nivel de la sección.

Las series magmáticas parecen generalmente menos gruesas y más alcalinas (PH 113, PH 144) que las anteriores. Se trata a menudo de basaltos porfíricos de olivino y piroxenos. Unas muestras presentan fenocristales de plagioclasas (An 40) de 3 a 4 mm (PH 113). Los derrames situados más hacia el Este en la zona más fracturada donde las fallas arrastran desniveles de 100 hasta 500 metros, son también representativos de un magmatismo subsaturado (hasta 6% de nefelina). Generalmente la estructura es francamente dolerítica o correspondiendo a las facies habituales de los traqui-basaltos, hialopilitica hasta intergranular mostrando una estructura fluidal (PH 163, mugarita).

En el Norte de Molango, erupciones ácidas idénticas a las de Zacualtipán y de la misma edad (pliocénicas) están ligadas a las rocas básicas. Existen también en esta región dacitas y riolitas anteriores a las emisiones fisurales que representan los testigos, los más septentrionales del vulcanismo mioceno del Eje Transmexicano.

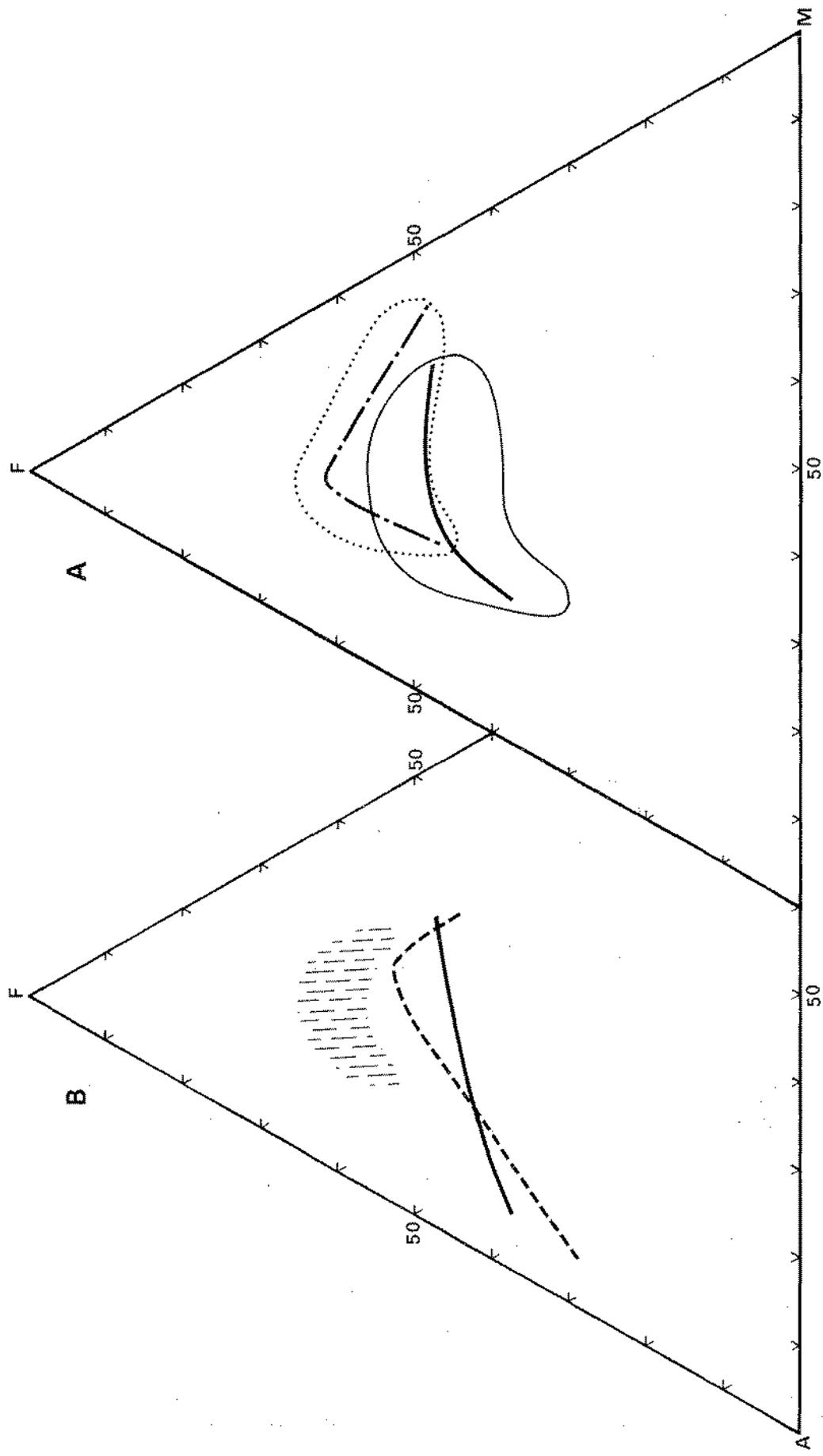


Fig. 11: Diagrama FMA. Comparación de las líneas evolutivas para el vulcanismo de Veracruz (A) y el vulcanismo de Hidalgo (B). El área rayada corresponde al análisis de lavas de los llanos del Golfo. Se nota un fuerte enriquecimiento de hierro en estos.

Los "traps" del Norte de Hidalgo. Sección de Tlanchinol (No. 9): La química de estas lavas se presenta en los anexos. Como se muestra en la figura 7, la serie gruesa de 250 metros está compuesta por tipos magmáticos cubriendo el dominio de las toleitas y de los basaltos alcalinos. La mitad inferior presenta series intermedias (tipos transicionales) y lavas diferenciadas de la línea alcalina mientras que la parte superior está únicamente compuesta de basaltos de caracteres intermedios entre calco-alcalinos y toleíticos. El diagrama FMA (Fig. 9) representa el conjunto (más de 20 derrames con las zonas representativas; la diferenciación se encuentra poco marcada en comparación a otros sectores del borde del Altiplano o de las llanuras de la Huasteca. Al contrario de las emisiones del Sur de Zacualtipán, las lavas del Norte del Estado de Hidalgo pertenecen a series alcalinas diferenciadas. Se observan hacia el Norte, las relaciones de las series con las lavas de las llanuras (Robin y Demant, 1974), al contrario de la mayoría de las series del Sur de Hidalgo y de Veracruz ligadas a la actividad el Eje Volcánico Transmexicano.

IV. LAS VARIACIONES QUIMICAS REGIONALES

Esta descripción resumida de las diferentes fases nos permite agrupar las emisiones volcánicas de la manera siguiente:

1) En el Sur, las lavas en relación con el Eje Transmexicano (sección Perote-Cardel); parte suroeste del último macizo volcánico del eje hacia el Este.

2) En el flanco Norte-oriental del mismo macizo, los "traps" del borde de la sierra que se observan en dos conjuntos: los relieves limitados por las fracturas y las capas de las llanuras.

3) De Tulancingo hasta Molango, las series de la vertiente oriental de la Sierra Madre. Los basaltos siempre sobreyacen sedimentos del Cenozoico muy tectonizados. Las series están

interestratificadas con secuencias riolíticas cuya importancia aumenta hacia el Norte (Zacualtipán).

4) En la misma latitud, pero ligeramente hacia el Oeste encima del Altiplano, de Pachuca a Zacualtipán los basaltos y andesitas básicas de olivino más recientes (Formación Atotonilco el Grande s.l.). Estas series calco-alcalinas y alcalinas pliocénicas son los últimos representantes hacia el Norte del vulcanismo del Eje Transmexicano en esta región.

5) El vulcanismo del Norte de Hidalgo, en el límite de las llanuras y de la sierra, situado al nivel de las fracturas que bordean esta sierra. Es la continuación geográfica de los basaltos del Sur del Estado pero se distingue químicamente. Esta distinción debida a su posición geodinámica será discutida.

6) Con el fin de comparar con las lavas situadas en el área estudiada, se darán algunas características del vulcanismo basáltico de las mesas al Norte de Río Verde (región No. 10, Fig. 2).

Los parámetros calculados que sirven para la definición de las rocas basálticas son el índice de cristalización (C. I.) de Poldervaart y Parker, 1964, el índice de diferenciación (D. I.), Thornton y Tuttle, 1956, parámetros calculados según la norma C.I.P.W. Esta da una indicación de base para buscar la naturaleza de las rocas, en particular por el grado de saturación en sílice (Hip + Si o Hip + Di + O1 o también O1 + Ne). Los parámetros de NIGGLI y los diagramas K - Na - Ca, F. M. A. y Ca - Na - Mg serán con las relaciones sílice-alcalinos y sílice - elementos máficos de las ilustraciones de la discusión.

Yoder y Tilley, 1962 juntan bajo el nombre de *toleitas de olivino* los basaltos presentando O1 + Hip normativos, mientras que los que contienen nefelina + olivino son parte de los basaltos alcalinos. Igualmente, en las toleitas, cuarzo e hipersteno normativos están manifestados (McDonald y Katsura, 1964, Poldervaart, 1964). Estas definiciones con las de Kuno

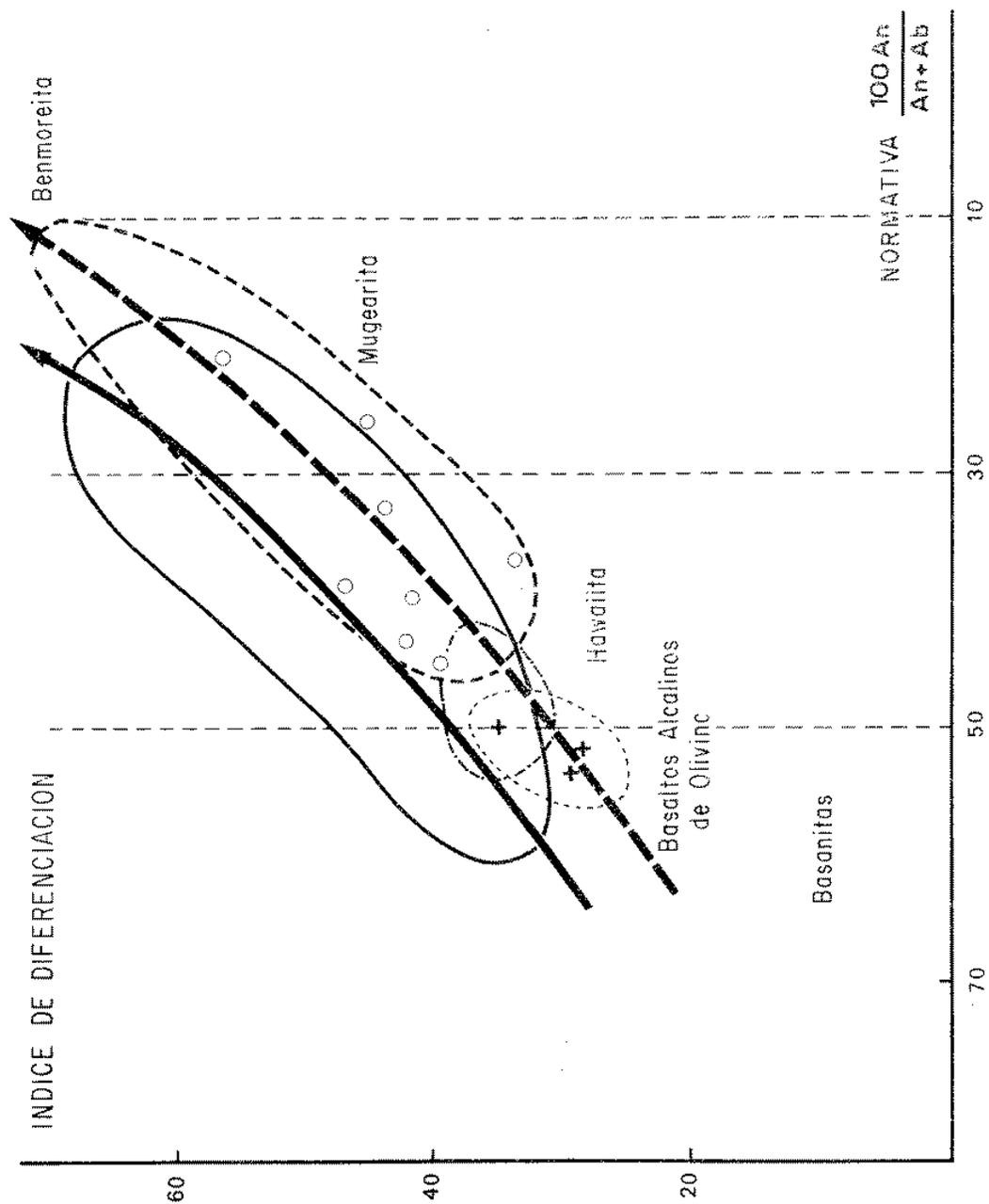


Fig. 12: Diferenciación de las series. DI en función de: $100 \text{ An} / \text{An} + \text{Ab}$ (Coomb y Wilkinson) mostrando las áreas correspondientes al vulcanismo de Veracruz (línea continua) y el vulcanismo basáltico de Hidalgo (línea discontinua).

(1960), constituyen la base para la determinación de las familias de lavas en la región estudiada.

— *Las variaciones de la alcalinidad:*

La variación de $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ con respecto al sílice es el criterio más clásico para distinguir las tendencias toleíticas de las alcalinas. La figura 7 enseña que las rocas del borde del Altiplano de Cardel hasta Huejutla (Fig. 2) ocupan casi todo el espacio de los 3 dominios definidos por Kuno. En el conjunto, se debe notar una tendencia a la alcalinidad; las muestras repartidas dentro de los otros dominios son escasos.

Geográficamente las reparticiones se presentan así:

— En el Sur de la zona estudiada, las diferencias entre las secciones 1 y 2 ya fueron reveladas por la figura 5. Los puntos correspondientes de los traqui-basaltos (hawaitas, mugearitas), los basaltos alcalinos de olivino, ankaramitas y basaltos nefelínicos caen en el dominio superior definido por Kuno. Al contrario, la mayor parte de la sección del Suroeste está sobresaturada, lo que concuerda con los datos petrográficos (definición de las andesitas de la sección No. 1 y presencia de hipersteno dentro de las muestras). Esta formación muestra afinidades con las *High alumina series* de Kuno. En efecto, en la mayor parte de los derrames, el tenor en Al_2O_3 sobrepasa 16.5%. En la vertiente oriental (secciones 2 y 3, Fig. 2) otras variaciones aparecen dentro del grupo alcalino: las series subsaturadas del flanco de la sierra tienen valores de concentración en hierro relativamente moderadas (8 a 12%) mientras que los valores de las lavas básicas de las llanuras (sección No. 3) oscilan entre 13 y 16%, alcanzando así los porcentajes reconocidos en las series alcalinas cerca de Tampico. Este enriquecimiento está particularmente marcado en las dos partes de la figura 9.

En la parte Norte, la repartición de los alcalinos según las formaciones se hace de una

manera idéntica, por lo menos para los derrames extendidos entre Tulancingo y Zacualtipán. Los "traps" del borde (alrededores de Tenango de Doria, basaltos transicionales) están esencialmente subsaturados en sílice pero revelan caracteres intermedios (Hip + O1 en la norma) química y petrográficamente. La serie evolutiva (de los 47 hasta 53% SiO_2) enseña un fuerte crecimiento del potasio con las variaciones de la sílice.

La sobresaturación es más evidente en las series del Altiplano (Fig. 7) más recientes así como numerosos autores aportaron más detalle a la nomenclatura de las series calco-alcalinas, usando particularmente los elementos marcadores (K y SiO_2) (Taylor, 1969, Jakes y Smith, 1970, Gill, 1970, Jakes y White, 1972, McKenzie y Chappell, 1972, etc.). En las series del Norte de Pachuca, las facies las más frecuentes son los *High Alumina basalts* y andesitas de olivino (low K - low Si andesites). Los únicos testigos de un vulcanismo subsaturado (PH 125 y PH 156) fueron recolectados al Oeste de Atotonilco. Las últimas emisiones (ME 13, PH 23, 40, 47, 78, 62) son todas sobresaturadas, formando una línea evolutiva basaltos calco-alcalinos-andesitas, (low Si andesites). Pueden ser consideradas como ligadas al vulcanismo del Norte del Eje Transmexicano.

Las series del Norte de Zacualtipán (entre Zacualtipán y Tlanchinol) corresponden a evoluciones dentro de magmas típicamente alcalinos. La figura 10 muestra que si el enriquecimiento en K según SiO_2 es el mismo que en las series del Sur (Tenango de Doria) en igual posición estructural, el magma parental es mucho más alcalino. Así, se demuestran las variaciones entre el Sur y el Norte del Estado de Hidalgo.

La serie de Tlanchinol ofrece una variación magmática más definida, ya que los 22 derrames sobrepuestos cubren los tres dominios definidos por Kuno. La figura 9 muestra poca diferenciación en las formaciones, los puntos representativos quedan agrupados, las lavas, las

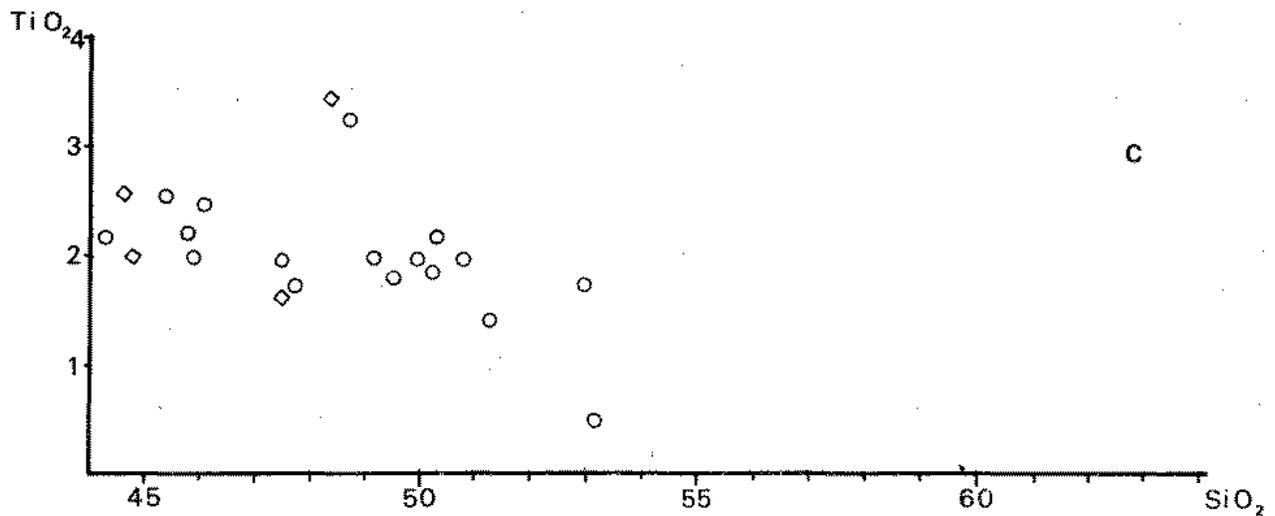
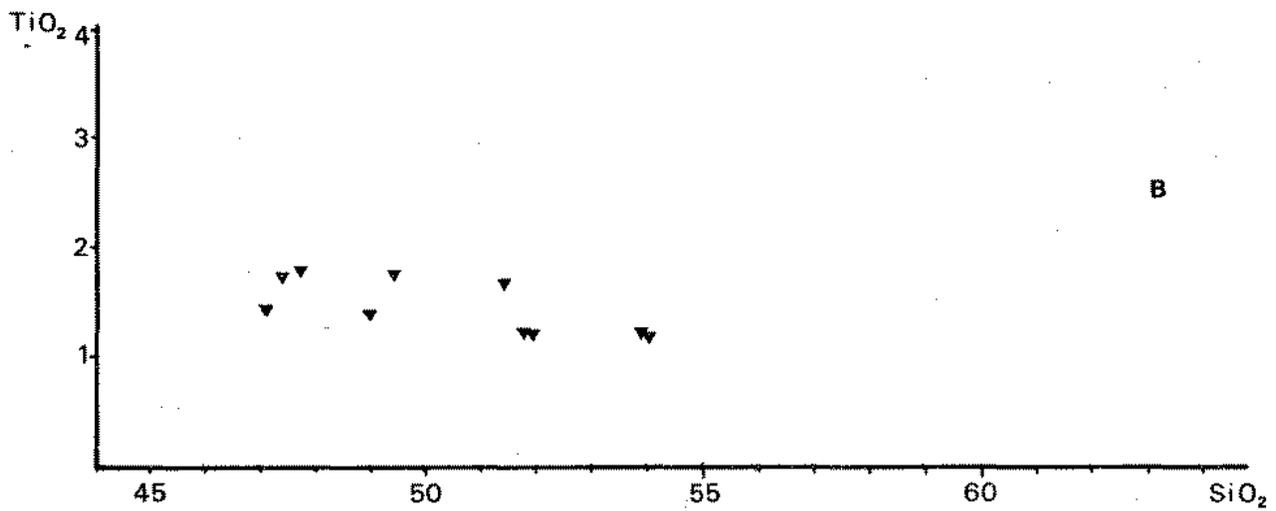
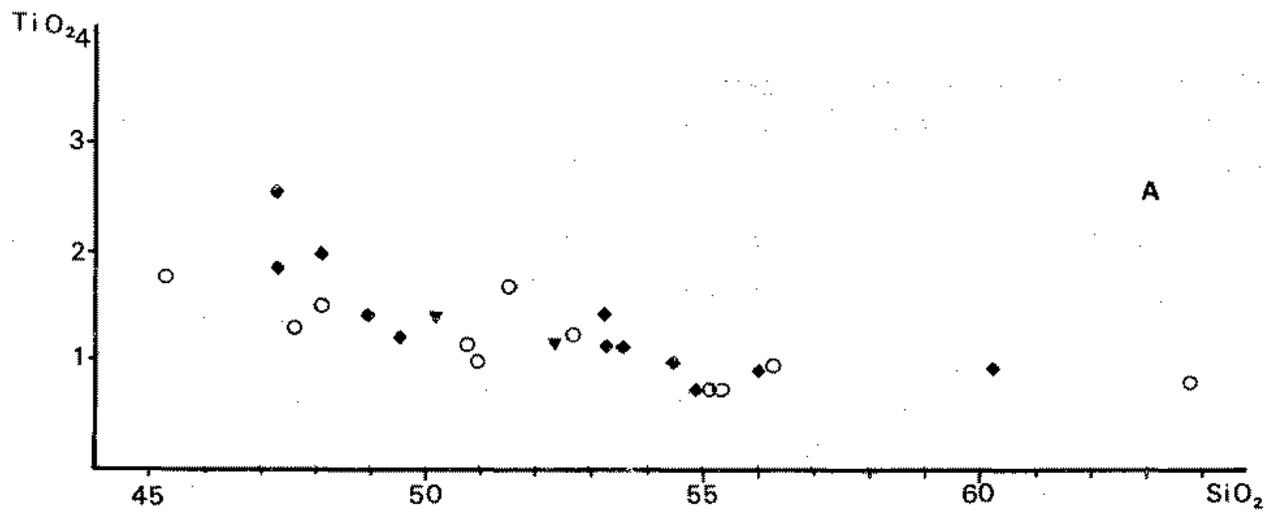


Fig. 13: Variaciones TiO_2 - SiO_2 :
 A - Series del Sur: cuadros: vertiente Norte Oriental del macizo de Jalapa; círculo: serie Perote-Cardel (sección 1 de la figura 2); triángulos: VE 79 y VE 82, alrededores de Chiconquiaco.

B - Lavas saturadas de la serie Atotonilco el Grande, Sur del Estado de Hidalgo.
 C - Series alcalinas del Estado de Hidalgo. Círculos: Norte de Zacualtipan, vulcanismo del borde de la Sierra. Cuadros: derrames subsaturados del Altiplano.

más diferenciadas se extendieron al final del ciclo alcalino cerca del medio de la serie.

— *Diferenciación respectiva de las series:*

Es fácil seguir en cada diagrama FMA, el estado de evolución de cada provincia magmática y la extensión de las variaciones expuestas en cada región. El estado poco diferenciado corresponde a la serie de Tlanchinol; en los diagramas FMA, este conjunto se vuelve complementario de las áreas ocupadas por las lavas situadas más al Sur en el Estado de Hidalgo. En efecto, las series alcalinas del borde de la Sierra Madre en este Estado corresponden a rocas ya muy evolucionadas donde los basaltos alcalinos se encuentran escasamente. Esta evolución se traduce por una pérdida de Mg y un crecimiento de los alcalinos. Se puede notar que las dispersiones de los puntos son bastante grandes y que las regiones se completan áreas por áreas según las líneas evolutivas calco-alcalinas y alcalinas. La serie más completa es la de la sección No. 2 (Fig. 2) en el dominio alcalino. Tal representación (Fig. 11 b), indica la ruptura entre el vulcanismo de la sierra y el de los llanos, en particular este hecho se aprecia sobre las variaciones del hierro (Barberi *et al.*, 1971, mostraron que el fraccionamiento de basaltos alcalinos o *mildly alkalic basalts* puede producir series con fuerte enriquecimiento en hierro).

Las diversas etapas de la diferenciación de las series alcalinas siguen líneas de evolución, mostradas en la figura 12. Este diagrama subraya las variaciones del índice de diferenciación en función de la naturaleza de la plagioclasa (Coombs y Wilkinson, 1972) usando los porcentajes normativos en An y Ab. Dicha variación está estudiada para las lavas presentando nefelina normativa.

V. CONCLUSIONES

Por la falta de datos radiocronológicos, no es posible fijar una edad exacta de las diver-

sas formaciones. Sin embargo los datos de campo clasifican las series. Las primeras conclusiones que se obtendrán de este reconocimiento geológico resultan de la importancia de cada formación en la evolución general del magmatismo y sus relaciones con las demás en el contexto estructural. Las diferencias entre las series son numerosas y las ilustraciones relatan las variaciones de los alcalinos (Figs. 4, 5, 7, 10) o de los elementos máficos (Figs. 9, 11 y 13 para TiO_2). En todos los casos llegamos a unidades que entran en el esquema siguiente:

a) En Veracruz, dos unidades calco-alcalina y alcalina, a las cuales se suman elementos de transición (basaltos de transición y andesitas fuertemente potásicas). La repartición geográfica indica netamente las influencias de la tectónica "pacífica", en relación con el magmatismo del eje volcánico y la importancia de los movimientos de la región norte-este (Golfo) en la producción de cada serie. Podemos suponer variaciones casi continuas de un lado al otro del Eje Transmexicano en esta parte.

Si dichas variaciones espaciales existen para lavas de una misma época geológica sobre el conjunto del Macizo de Jalapa (por ejemplo diferencias entre las andesitas plio-cuaternarias de la Sección 1 y las lavas alcalinas —basaltos— pliocuaternarias de la sección 3 con tipos intermedios de la misma edad en la región intermedia de Naolinco-Chiconquiaco, Fig. 2), existen también variaciones temporales en cada zona. Los mejores ejemplos están dados por las sucesiones andesitas (con granodioritas) - basaltos de nefelina en la extremidad oriental del macizo de Jalapa o por las sucesiones de las secciones 1 y 2. En este sentido el vulcanismo basáltico alcalino parece extenderse hacia el Oeste de los llanos hasta la altitud 2,500 m, desde el Mioceno; paralelamente, las emisiones andesíticas, que ocurrían en el Mioceno hasta la punta oriental del eje, regresan hacia el altiplano desde esta época.

b) Diferencias idénticas aparecen entre las lavas situadas en el Sur de Hidalgo en el ni-

vel de las fracturas (secciones 5 y 6 de la Fig. 2) y los magmas basálticos o andesitas básicas extendidos encima del Altiplano en la misma latitud. El comportamiento del potasio en las muestras enseña, que aunque las series tienen un cierto parecido (basaltos intermediarios hasta andesitas, exclusión de términos alcalinos), las líneas de diferenciación son distintas. Aquí también se observa la pertenencia de tal conjunto con las manifestaciones septentrionales del eje o a un vulcanismo asentado a favor de profundos hundimientos en relación con la tectónica del Golfo ("Oriental o Atlántica" por oponerse a los movimientos de origen "Pacífico").

c) Otras variaciones se producen según la dirección del meridiano a lo largo de la sierra; así el magma de origen de las líneas evolutivas cambia entre el Norte y el Sur de Zacualtipán. El magma parental de las series fuertemente diferenciadas extendidas entre Zacualtipán y Tlanchinol (zona 8-9 Fig. 2) es un *midly alkali olivine basalt*. Al contrario, las muestras de la parte Sur (muestras ME), revelan un término más intermedio. Parece que las influencias del magmatismo del eje se limitan a esta región de Zacualtipán, dejando las provincias más al Norte-este bajo las influencias del vulcanismo subsaturado de las llanuras. Se nota además el crecimiento de las riolitas e ignimbritas hacia el Norte.

d) Al final se subraya el aumento de la alcalinidad cuando se aleja hacia el Norte. Se representan en el anexo unos análisis del vulcanismo reciente del área 10 (Fig. 2). En esta región de Río Verde, dos fases se han sucedido: 1) una fase relativamente antigua riódacítica reportada al Mioceno inferior y 2) Derrames basálticos del Plioceno-Cuaternario, pa-

recidos a los demás basaltos (de olivino) del centro del Altiplano al norte del eje volcánico.

Se dibujan así, en el conjunto, modificaciones Sur-Norte y en cada compartimiento correspondientes a estos cambios, otras variaciones en el sentido Oeste-este del Altiplano hasta las llanuras.

Apoyándose en los trabajos de Green y Ringwood 1968, Taylor 1969, Nicholls y Ringwood 1972, tratando del origen de las series calco-alcalinas, así como los de Green 1970, Green y Edgar 1974, para las lavas alcalinas, se puede entrever a través de las zonaciones, soluciones a la significación de las series magmáticas del Este. Por eso se deben correlacionar cada sistema o compartimiento volcánico a uno y otro de los dos sistemas tectónicos definidos anteriormente. Estos primeros datos estarán completados por otras determinaciones, en particular los alcalinos menores, Rb, Sr y Ba, así como medidas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Datos radiocronológicos permitirán en cada zona fechar las evoluciones reconocidas sobre las secciones (pase de un magmatismo calco-alcalino a un magmatismo alcalino en el Norte del macizo de Jalapa y pase de basaltos de transición a andesitas basálticas y basaltos alcalinos en el Sur de Hidalgo). Sin embargo, la química de los elementos mayores, afinando los datos petrográficos, permitió definir las unidades. En este sentido, las variaciones reconocidas sobre el potasio entre las dos vertientes de la extremidad Oriental del Eje Transmexicano, o también las diferencias graduales entre las lavas básicas de Pachuca, las de la orilla de la sierra y los derrames de las planicies, no son sin recordar las numerosas zonaciones descritas en varias partes del magmatismo circunpacífico.

BIBLIOGRAFIA

- BARBERI F., BIZOUARD H., VARET J., 1971: Nature of the Clinopyroxene and Iron enrichment in Alkalic and transitional basaltic magmas. *Contr. Miner. and Petrol.*, 33, p. 93-107.
- BENIOFF H., 1954: Orogenesis and deep crustal structure. Additional evidence from seismology. *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol. 65, p. 385-400.
- COOMBS D. S., 1963: Trends and affinities of basaltic magmas and pyroxenes as illustrated on the diopside-olivine-silica diagram. *Mineral. Soc. Am., Spec. Paper 1*, 227-250.
- COOMBS D. S., WILKINSON J. F. G., 1969: Lineages and fractionation trends in undersaturated volcanic rocks from the East Otago volcanic province (New Zealand) and related rocks. *J. Petrol.*, 10, p. 440-501.
- DE CERNA Z.: Orogenesis in time and space in Mexico. *Geol. Rundschau*, vol. 50, p. 595-605.
- DICKINSON W. R., HATHERTON T., 1967: Andesitic volcanism and seismicity around the Pacific. *Science*, vol. 157, p. 801-803.
- GEYNE A. R., FRIES C. Jr., SEGERSTROM K., BLACK R. F., WILSON I. F. 1963: Geología y yacimientos minerales del distrito de Pachuca. *Co. Rec. Nat. No Renov. México*, publ. 5E, 208 p.
- GILL J. B., 1970: Geochemistry of Viti Levu, Fiji and its evolution as an island arc. *Contr. Miner. and Petrol.*, vol. 27, p. 179-203.
- GREEN D. H. 1970: The origin of basaltic and nephelinitic magmas. *Trans. Leicester Lit. Philos. Soc.*, 64, p. 28-54.
- GREEN D. H., EDGAR A. D., BEASLEY P., KISS E., WARE N. G. 1974: Upper mantle source for some Hawaiites, Mugearites and Benmoreites. *Contr. Miner. and Petrol.*, 48, p. 33-43.
- GREEN T. H., RINGWOOD A. E., 1968: Genesis of the calc-alkaline igneous rock suite. *Contr. Mineral. and Petrol.*, vol. 18, p. 105-162.
- JAKES P., SMITH I. E., 1970: High potassium calc-alkaline rocks from Cape Nelson, Eastern Papua. *Contr. Miner. and Petrol.*, vol. 28, p. 259-271.
- JAKES P., WHITE A. J. R., 1972: Major and trace element abundances in volcanic rocks of orogenic areas. *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol. 83, p. 29-40.
- JOPLIN G. A., 1968: The shoshonite association: A review. *Geol. Soc. Australia Jour.*, vol. 15, p. 275-294.
- KARIG D. E., JENSKY W., 1972: The proto-Gulf of California. *Earth and Planet. Sc. Let.*, vol. 17, p. 169-174.
- KAY R., HUBBART N. J., GAST P. W., 1970: Chemical characteristics and origin of oceanic ridge volcanic rocks. *J. Geophys. Res.*, vol. 75, p. 1585-1613.
- KUNO H., 1960: High-alumina basalt. *J. Petrol.*, vol. 1, p. 121-45.
- MACDONALD G. A., KATSURA T., 1964: Chemical composition of Hawaiian lavas. *J. Petrol.*, vol. 5, p. 82-133.
- MACKENZIE D. E., CHAPPELL B. W., 1972: Shoshonitic and calc-alkaline lavas from the Highlands of Papua New Guinea. *Contr. Mineral. and Petrol.*, vol. 35, p. 50-62.
- NICHOLLS J., CARMICHAEL I. S. E., 1969: A comentary on the absarokite-shoshonite-banakite series of Wyoming, U.S.A. *Schweizer. Mineralog. u. Petrog. Mitt.*, vol. 49, p. 47-64.
- NICHOLLS I. A., RINGWOOD A. E., 1972: Production of silica saturated tholeiitic magmas in island arcs. *Earth and Planet. Sc. Let.*, vol. 17, p. 243-246.
- POLDERVAART A., 1964: Chemical definitions of alkali basalt and tholeiites. *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol. 75, p. 229.
- POLDERVAART A., PARKER A. B., 1964: The crystallization index as a parameter of igneous differentiation in binary variation diagram. *Am. Jour. Sc.*, vol. 262, p. 281.
- ROBIN C., 1976. El vulcanismo de las planicies de la Huasteca. *Bol. Inst. Geol. UNAM, Méx.*, vol. 96, p. 59-82.

- ROBIN C., BOBIER C., 1975: Las fases del vulcanismo de Tlanchinol (Hidalgo) según los datos químicos y paleomagnéticos. Bol. Ins. Geol. UNAM, Méx., vol. 95, p. 54-85.
- ROBIN C., DEMANT A.: Les trapps de l'Est Mexicain; coexistence de séries alcalines et tholéiitiques. Caracteres différentiels entre le volcanisme des plaines et celui des plateaux. C. R. Ac. Sc. Paris, sér. D, t. 278, p. 2413-2416.
- ROBIN C., DEMANT A., 1975: Les quatre Provinces volcaniques du Mexique; relations avec l'évolution géodynamique depuis le Crétacé: Province Orientale et axe trans-mexicain. C. R. Ac. Sc. Paris, sér. D., t. 280, p. 1345-1348.
- TAYLOR S. R., 1969: Trace element chemistry of andesites and associated calc-alkaline rocks. Oregon Dept. Geol. and Miner. Industries Bull., vol. 65, p. 43-63.
- THORNTON C. P., TUTTLE O. F., 1956: Application of the differentiation index to the petrological problems. Bull. Geol. Soc. Am., vol. 67, p. 1738-1739.
- WACHENDORF H., 1973: The rhyolitic lavas of the Lebombos (SE-Africa). Bull. Volcanolog., tome 37, p. 515-529.
- YODER H. S., TILLEY C. E., 1962: Origin of basalt magmas. Jour. Petro., 3, p. 342-532.

A N E X O

LISTA DE ANALISIS EFECTUADOS

Análisis efectuados en el Laboratorio de Química del Instituto de Geología de la U.N. A.M. Analistas: Alberto Obregón, Irma Aguilera, Graciela Velázquez, Rosa Magda Unda, Angel Rodríguez.

Análisis 1-2: Basaltos de la base de la sección Cardel-Jalapa (sección No. 1 de la figura 2).

Análisis 3-9: Serie calco-alkalina plio-cuaterna-ria de la sección No. 1: andesitas, andesitas basálticas de olivino y basaltos transicionales entre los dominios alcalino y calco-alkalino. Se nota la presencia de hipersteno modal en los representantes los más ácidos.

Análisis 10-11: Términos alcalinos recientes de la sección 1.

Análisis 12-13: Términos transicionales de la base de la sección No. 2 (figura 2). "Andesitas" fuertemente alcalinas (potasio).

Análisis 14-25: Serie alcalina del vertiente N.E. del macizo de Jalapa; basaltos y términos diferenciados con nefelina normativa o hipersteno + olivino normativos.

Análisis 26-27: Basaltos alcalinos de los llanos (sección No. 3 de la figura 2).

Análisis 28-30: 3 representantes de la sección No. 4; vulcanismo del Norte de Misantla. 28: ignimbrita; 29: granodiorita (con hornblenda y biotita); 30: basalto de tipo transicional (un poco de hipersteno normativo, sin cuarzo ni olivino).

Análisis 31-36: Basaltos intermedios o poco saturados del Sur del Estado de Hidalgo. Lavas emitidas encima de las fracturas que limitan los llanos del Golfo y el Altiplano. Estas lavas están asociadas con ignimbritas.

Análisis 37-46: Lavas basálticas de la serie "Atotonilco el Grande", Sur del Estado de Hidalgo. Lavas recientes plioceno-cuaterna-rias. En mayoría andesitas basálticas de olivino y términos basálticos transicionales. Se nota en la serie, dos basaltos alcalinos (43 y 44).

Análisis 47-60: Series equivalentes a las del Sur del Estado, situadas al nivel de las fracturas borderas en el Norte del Estado. Serie esencialmente alcalina en la cual los porcentajes en nefelina alcanzan 8%, al contrario de las series del Sur del Estado.

Análisis 61-64: Basaltos alcalinos del Altiplano en los alrededores de Río Verde. Recientes (Plioceno-cuaternario). Datos reportados a fines de comparación con las series alcalinas de la Sierra Madre Oriental.

Análisis 65-66: Ejemplos de ignimbritas; región de Tenango de Doria.

Análisis 67-70: Ignimbritas y derrames ácidos de los alrededores de Zacualtipan (serie representada en la figura 8).

Serie de Tlanchinol:

Análisis A: Término medio de los basaltos alcalinos (4 análisis). *B:* Término medio de las lavas sobresaturadas (5 análisis). *C:* Basaltos de hipersteno y olivino normativos (3 análisis). *D:* Basaltos intermedios ligeramente saturados.

RELACION
DE
ANALISIS

	1 VE5	2 VE8	3 VE52	4 VE65	5 VE28	6 VE27	7 VE26B	8 VE24	9 VE23	10 VE22
SiO ₂	48,12	47,65	56,35	55,05	55,26	52,67	51,00	50,84	51,42	45,34
TiO ₂	1,52	1,33	0,94	0,76	0,76	1,26	1,00	1,18	1,69	1,78
Al ₂ O ₃	15,53	13,39	17,06	20,43	15,59	14,98	15,95	15,05	12,68	18,12
Fe ₂ O ₃	8,08	9,08	2,32	2,61	7,54	2,76	4,72	11,32	3,10	8,47
FeO	4,54	3,49	5,00	4,00	1,40	8,49	5,72	1,73	9,03	4,04
MnO	0,10	0,11	0,06	0,14	0,07	0,10	0,07	0,09	0,07	0,09
MgO	5,43	7,64	4,26	3,85	6,32	5,95	7,84	5,32	7,45	8,09
CaO	10,47	11,56	7,24	6,43	7,71	9,31	9,57	8,58	9,40	7,84
Na ₂ O	3,60	3,75	3,61	4,00	2,87	3,00	3,22	4,38	3,55	3,65
K ₂ O	0,80	0,80	1,70	2,10	0,73	0,65	0,73	1,00	0,60	1,15
P ₂ O ₅	0,44	0,05	n.d.	0,25	0,34	0,20	0,22	0,59	0,27	0,31
H ₂ O ⁺	1,18	0,88	0,68	0,37	1,12	0,49	0,00	0,05	1,05	1,10
H ₂ O ⁻	0,38	0,11	0,19	0,55	0,33	0,15	0,14	0,09	0,01	0,02
TOTAL	100,19	99,89	99,41	100,54	100,09	100,01	100,18	100,22	100,32	99,96
Qz	---	---	5,75	1,77	8,08	2,04	---	---	---	---
Or	4,7	4,78	10,19	12,46	4,38	3,87	4,31	5,90	3,57	6,88
Ab	26,5	16,97	31,00	33,98	24,63	25,55	27,24	35,52	30,26	20,44
An	24,2	17,54	25,70	30,38	27,89	25,65	26,90	18,44	17,02	30,01
Ne	2,4	8,19	---	---	---	---	---	0,82	---	5,85
Di	21,2	33,01	8,81	---	7,06	16,14	15,61	16,87	23,17	5,97
Hi	---	---	14,48	18,81	22,91	21,58	10,47	---	11,56	---
OI	14,1	13,88	---	---	---	---	10,56	15,69	8,21	23,89
Il	2,9	2,56	1,81	1,45	1,46	2,41	1,90	2,43	3,23	3,34
Ap	1,89	0,12	---	0,59	0,80	0,47	0,51	1,37	0,63	0,73
Cl	41	44	37	37	42	42	47	33	39	39
Sl	25	32	25	23	35	29	36	23	32	32
DI	34	30	47	48	37	31	32	42	34	34

RELACION
DE
ANALISIS

	11 VE21	12 VE94	13 VE93	14 VE86	15 VE85	16 VE92	17 VE91	18 VE90	19 VE89	20 VE88
SiO ₂	63,70	56,10	54,52	53,26	48,20	54,88	49,60	47,33	53,56	53,28
TiO ₂	0,83	0,90	1,02	1,46	2,00	0,75	1,23	2,54	1,13	1,13
Al ₂ O ₃	17,78	16,48	17,34	19,86	16,62	12,42	12,18	18,05	13,06	14,76
Fe ₂ O ₃	2,78	7,42	8,04	4,10	5,24	5,14	6,38	4,79	9,17	5,07
FeO	1,75	—	—	2,17	5,27	4,27	5,04	7,25	—	3,34
MnO	0,04	0,12	0,16	0,20	0,11	0,18	0,18	0,27	0,26	0,16
MgO	0,43	2,52	1,60	1,07	5,96	5,68	6,72	3,94	7,89	8,06
CaO	1,36	6,65	6,29	6,78	8,64	8,43	8,66	7,74	8,74	8,48
Na ₂ O	4,80	4,85	5,00	5,30	4,15	3,86	4,00	4,25	3,48	3,55
K ₂ O	4,85	2,90	2,90	3,30	2,45	2,23	2,23	1,78	2,15	2,28
P ₂ O ₅	0,17	0,20	0,20	0,37	0,47	0,18	0,31	0,37	0,14	0,16
H ₂ O ⁺	1,23	0,50	1,61	1,08	0,96	0,94	0,43	1,00	0,38	0,14
H ₂ O ⁻	0,17	0,62	0,67	1,35	0,46	0,38	0,17	0,65	0,25	0,14
TOTAL	99,38	99,26	99,35	100,30	100,51	99,34	99,13	99,96	100,11	100,55
Qz	13,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Or	29,10	17,46	17,65	19,93	14,61	13,44	13,37	10,70	12,77	13,44
Ab	41,24	41,82	43,15	35,79	19,19	33,32	22,06	26,26	29,60	29,96
An	5,72	14,91	16,80	21,10	19,66	10,18	8,82	25,35	13,74	17,56
Ne	—	—	—	5,43	8,80	—	6,66	5,59	—	—
Di	—	14,45	11,87	9,13	16,81	25,73	27,15	9,42	23,42	18,86
Hi	3,98	5,44	—	—	—	10,43	—	—	6,31	2,18
Ol	—	0,93	4,96	2,46	13,43	2,46	16,18	14,39	8,72	12,96
Il	1,60	1,74	2,00	2,83	3,83	1,45	2,37	4,91	2,16	2,14
Ap	0,40	0,48	0,48	0,88	1,11	0,43	0,73	0,88	0,33	0,37
Cl	6	24	23	25	37	30	30	35	39	41
Sr	3	15	9	7	26	27	28	18	36	37
Di	83	59	61	61	43	47	42	43	42	43

RELACION
DE
ANALISIS

	21 VE87	22 VE84	23 VE83	24 VE82	25 VE79	26 VE95	27 VE98	28 VE19	29 VE40	30 VE41
SiO ₂	60,34	49,00	47,39	50,26	52,35	46,00	47,45	71,92	69,13	48,84
TiO ₂	0,92	1,41	1,86	1,39	1,18	1,55	2,40	1,78	0,50	1,62
Al ₂ O ₃	17,18	17,08	17,03	17,67	13,00	18,40	14,14	11,46	12,39	15,84
Fe ₂ O ₃	1,87	3,04	7,75	2,53	6,00	9,66	10,55	3,37	3,40	5,04
FeO	3,60	6,52	3,31	5,58	7,00	3,19	5,73	0,43	2,73	6,56
MnO	0,20	0,19	0,17	0,15	0,17	0,22	0,17	0,03	0,06	0,09
MgO	2,53	6,60	5,45	5,62	5,28	3,90	3,38	0,56	0,74	4,65
CaO	5,44	8,13	8,98	9,18	8,20	9,70	8,81	0,62	3,60	9,90
Na ₂ O	5,10	4,04	4,28	4,50	4,50	4,00	4,50	5,34	3,98	3,45
K ₂ O	2,60	2,57	2,45	1,50	1,57	1,42	1,60	3,75	2,35	1,20
P ₂ O ₅	0,17	0,59	0,06	0,22	0,25	0,30	0,40	0,15	0,22	0,50
H ₂ O ⁺	0,65	0,66	0,86	1,52	0,45	1,38	0,54	0,41	1,47	1,42
H ₂ O ⁻	0,16	0,39	0,86	0,27	0,52	0,08	0,57	0,05	0,02	0,55
TOTAL	100,76	100,22	100,45	100,39	100,47	99,80	100,24	99,92	100,59	99,66
Qz	5,64	— —	— —	— —	— —	— —	— —	27,31	27,80	— —
Or	15,37	15,31	14,66	8,99	9,32	8,53	9,54	22,29	14,01	7,26
Ab	43,18	21,47	14,02	28,27	34,89	18,35	23,22	38,29	33,98	29,88
An	16,31	21,05	20,28	23,92	10,69	28,53	13,78	— —	9,08	24,76
Ne	— —	7,04	12,27	5,60	1,83	8,17	8,17	— —	— —	— —
Di	7,85	12,86	20,17	16,96	23,85	15,49	23,58	1,73	6,44	18,47
Hi	7,29	— —	— —	— —	— —	— —	— —	1,57	4,88	0,50
O1	— —	15,85	12,06	10,78	13,95	13,68	12,98	— —	— —	— —
Il	1,75	2,70	3,58	2,68	2,25	2,99	4,60	3,40	0,96	3,15
Ap	0,40	1,39	0,14	0,52	0,59	0,71	0,94	0,35	0,52	1,19
Cl	24	38	37	41	27	40	25	2	11	39
Sl	16	29	24	29	22	18	14	4	6	23
DI	64	44	41	43	46	36	41	88	76	37

RELACION
DE
ANALISIS

	31 ME77	32 ME79	33 ME80	34 ME81	35 ME62	36 ME63	37 ME13	38 PH23	39 PH40	40 PH47
SiO ₂	50,32	52,99	49,73	47,20	48,36	47,45	51,73	47,60	53,77	49,35
TiO ₂	2,02	1,84	1,14	1,89	1,71	1,51	1,22	1,84	1,20	2,76
Al ₂ O ₃	15,55	17,51	19,53	16,53	13,67	18,07	18,60	14,70	15,15	11,60
Fe ₂ O ₃	5,01	5,46	4,45	3,64	6,38	6,46	4,74	4,84	3,39	8,02
FeO	5,54	3,55	4,05	6,62	9,52	5,95	4,89	8,73	6,30	9,10
MnO	0,15	0,12	0,17	0,13	0,48	0,30	0,07	0,11	0,07	0,11
MgO	4,89	3,17	4,11	5,20	4,78	4,78	4,83	5,65	4,91	4,22
CaO	8,48	7,72	9,02	11,24	8,20	8,68	8,16	9,18	8,66	7,64
Na ₂ O	4,18	4,39	4,20	3,95	4,18	3,42	3,05	3,10	3,55	4,30
K ₂ O	1,35	1,85	1,10	1,27	0,80	0,68	0,80	0,70	1,20	1,02
P ₂ O ₅	0,17	0,27	0,19	0,19	0,43	0,41	0,32	0,42	0,40	0,57
H ₂ O ⁺	1,26	1,21	1,06	1,20	1,45	1,33	1,12	2,36	0,73	0,95
H ₂ O ⁻	1,29	0,47	1,50	1,19	0,29	1,77	0,22	0,74	0,26	0,12
TOTAL	100,21	100,55	100,25	100,25	100,25	100,81	99,75	99,97	99,59	99,76
Qz	---	---	---	---	---	---	2,85	---	2,50	---
Or	8,17	11,06	6,50	7,67	4,80	4,11	4,80	4,27	7,19	6,11
Ab	34,25	37,57	35,54	17,69	32,13	29,62	26,22	27,08	30,47	36,87
An	20,15	22,87	31,19	24,14	16,42	32,70	35,26	24,91	22,17	9,46
Ne	1,07	---	---	8,90	2,04	---	---	---	---	---
Di	18,01	11,71	9,78	26,03	18,61	7,22	3,10	16,07	15,49	21,34
Hi	---	6,47	0,22	---	---	4,78	22,14	8,75	16,56	0,85
Ol	11,49	3,58	5,40	9,03	19,01	14,99	---	11,79	---	15,88
Il	3,93	3,53	2,17	3,67	3,30	2,94	2,35	3,61	2,31	5,31
Ap	0,41	0,64	0,44	0,45	1,02	0,98	0,76	1,01	0,95	1,35
Cl	35	32	43	43	30	43	45	40	37	22
Sl	24	18	23	25	19	23	27	25	26	16
Dl	43	49	41	34	39	34	34	31	40	43

RELACION
DE
ANALISIS

	41 PH75	42 PH78	43 PH125	44 PH156	45 PH62	46 PH143B	47 PH149	48 PH153	49 PH169	50 PH113
SiO ₂	51,77	53,72	47,49	48,43	51,23	48,00	47,49	53,26	51,18	47,80
TiO ₂	1,22	1,18	1,68	3,34	1,64	1,97	1,92	2,39	1,35	1,72
Al ₂ O ₃	18,95	12,40	17,05	14,78	16,60	12,39	14,91	15,10	12,88	16,49
Fe ₂ O ₃	1,27	4,16	4,94	4,52	6,59	7,71	3,92	4,62	5,12	5,40
FeO	6,00	6,86	6,36	10,03	5,07	4,95	6,77	4,68	5,40	5,96
MnO	0,17	0,07	0,09	0,25	0,10	0,09	0,20	0,15	0,06	0,10
MgO	6,63	6,36	6,44	4,25	5,34	6,20	6,60	2,57	5,52	4,17
CaO	8,09	8,76	9,14	7,80	8,29	8,45	8,58	7,14	9,24	9,42
Na ₂ O	4,00	3,61	4,20	4,25	3,00	3,40	3,95	4,85	3,60	4,42
K ₂ O	1,50	1,10	0,85	1,20	0,80	0,90	1,10	2,38	1,20	1,42
P ₂ O ₅	0,47	0,38	0,51	0,23	0,36	0,33	—	—	0,37	0,46
H ₂ O ⁺	0,01	0,76	0,96	0,69	0,80	2,43	3,12	2,00	2,31	3,34
H ₂ O ⁻	0,19	0,14	0,56	0,19	0,39	1,97	1,79	1,17	1,00	0,58
TOTAL	100,27	99,50	100,27	99,96	100,21	100,32	100,35	100,31	99,61	101,28
Qz	—	0,71	—	—	1,66	—	—	—	—	—
Or	8,86	6,59	5,09	7,16	1,77	5,63	6,81	14,48	7,39	8,62
Ab	33,82	30,98	26,24	32,06	25,64	30,45	27,26	40,38	31,76	25,01
An	23,30	14,59	25,48	17,87	29,76	16,82	20,65	12,77	16,10	21,53
Ne	—	—	5,28	2,29	—	—	4,21	1,01	—	7,26
Di	6,26	22,22	14,04	16,54	7,79	20,90	19,64	19,83	24,07	19,52
Hi	2,76	19,29	16,92	—	23,70	8,74	—	—	11,43	—
Ol	13,75	—	—	14,65	—	9,85	15,18	4,36	3,12	11,02
Il	2,32	2,27	3,23	6,40	3,15	3,96	3,82	4,67	2,67	3,36
Ap	1,09	0,90	1,20	0,54	0,85	0,81	—	—	0,90	1,10
Cl	44	34	42	30	42	36	41	23	35	35
Sl	34	29	29	18	26	27	30	14	27	20
DI	43	38	37	42	32	36	38	56	39	41

RELACION
DE
ANALISIS

	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	PH119	PH144	PH159	PH160	PH161	PH163	PH168	PH171	PH172	PH173
SiO ₂	45,87	54,08	50,14	50,04	46,14	53,04	45,92	45,40	44,28	48,72
TiO ₂	2,21	0,42	1,78	1,91	2,46	1,75	1,90	2,54	2,14	3,20
Al ₂ O ₃	14,80	15,78	16,87	12,52	12,57	14,18	13,29	13,62	13,21	12,89
Fe ₂ O ₃	6,03	2,98	4,92	7,32	11,05	3,59	5,81	6,30	7,85	7,73
FeO	6,33	3,69	5,20	5,61	5,61	5,80	10,20	7,59	5,79	6,84
MnO	0,18	0,07	0,18	0,14	0,14	0,15	0,50	0,10	0,10	0,10
MgO	10,98	3,48	4,76	6,59	5,46	5,36	2,32	7,28	6,12	3,84
CaO	4,06	5,22	8,08	8,09	11,25	6,60	6,67	10,31	11,68	8,30
Na ₂ O	3,10	5,92	4,05	3,88	3,45	4,70	3,35	3,40	3,30	4,80
K ₂ O	1,40	3,35	1,90	1,80	0,75	2,75	1,70	1,40	1,10	1,90
P ₂ O ₅	0,23	0,28	0,10	0,28	0,21	0,08	0,36	0,41	0,59	0,66
H ₂ O	3,52	4,49	1,43	1,36	0,69	1,78	6,31	1,93	2,84	1,41
H ₂ O	1,26	0,35	0,70	0,65	0,43	0,82	1,53	0,18	0,64	0,06
TOTAL	99,97	100,11	100,11	100,19	100,21	100,60	99,86	100,46	100,17	100,45
Qz	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Or	8,69	20,78	11,46	10,83	4,47	16,58	10,92	8,41	6,76	11,34
Ab	27,56	38,81	30,48	29,91	18,23	34,72	30,80	14,65	13,26	28,00
An	19,58	6,92	22,70	11,64	16,75	9,67	17,61	18,06	18,70	8,10
Ne	---	7,46	2,44	1,91	6,08	3,18	---	7,91	8,55	7,06
Di	---	15,11	14,50	22,62	32,07	19,04	13,63	25,76	31,16	24,57
Hi	11,06	---	---	---	---	---	5,92	---	---	---
Ol	24,06	7,06	12,21	15,95	14,04	10,84	13,64	16,67	13,08	10,44
Il	4,41	0,84	3,45	3,69	4,71	3,39	3,92	4,90	4,23	6,14
Ap	0,56	0,69	0,24	0,66	0,49	0,19	0,91	0,97	1,43	1,55
Cl	40	19	36	32	36	27	24	40	40	21
Sl	40	18	23	27	22	24	10	28	26	16
DI	36	67	44	43	29	54	42	31	28	46

RELACION
DE
ANALISIS

	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	A	B	C	D
	RV9	RV11	RV16	RV30	ME38	ME68	PH141	PH87	PH142	PH145				
SiO ₂	46,48	47,21	46,66	50,57	71,80	65,40	74,94	71,09	72,74	73,14	46,67	47,57	49,01	49,10
TiO ₂	3,22	3,38	1,97	2,05	0,30	0,45	0,28	0,36	0,15	0,00	2,11	2,02	2,18	1,79
Al ₂ O ₃	14,01	14,01	15,01	13,83	13,73	13,01	13,14	12,30	14,29	14,49	15,61	17,11	15,33	15,31
FeO ₃	4,63	3,35	3,62	3,39	3,51	4,11	0,28	1,61	1,27	1,77	4,55	5,92	2,87	4,87
Feo	8,77	8,48	9,29	8,51	0,42	1,96	1,15	1,12	1,02	0,27	7,01	5,60	7,99	6,26
MnO	0,09	0,08	0,14	0,10	0,06	0,06	0,05	0,02	0,05	0,01	0,17	0,17	0,16	0,16
MgO	6,14	7,91	9,00	6,99	0,04	0,22	0,21	0,13	0,13	0,08	9,86	10,00	9,84	0,56
CaO	10,43	9,46	8,57	8,48	0,81	2,04	0,00	2,02	0,00	0,54	8,25	8,04	7,69	6,52
Na ₂ O	3,60	3,70	3,73	3,42	4,70	3,20	4,40	3,10	4,15	4,40	3,10	1,23	3,06	2,50
K ₂ O	1,25	1,32	1,34	1,25	3,90	4,00	5,68	5,61	5,24	4,50	0,89	0,43	1,15	0,95
P ₂ O ₅	0,21	0,31	0,13	0,20	0,15	0,22	0,00	0,09	0,00	0,00	0,49	0,49	0,51	0,43
P.F.	1,51	1,00	0,74	1,13	1,12	4,95	0,33	2,20	0,88	0,75	1,72	2,10	1,37	2,88
TOTAL	100,34	100,21	100,20	99,92	100,54	99,62	100,46	99,65	99,92	99,95	100,43	100,68	100,26	99,33

P.F. = H₂O+ + H₂O- + CO₂ + SO₃