



4  
2.ª ed.

# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

## ESTUDIO GEOLOGICO DEL VOLCAN POPOCATEPETL

### TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de  
INGENIERO GEOLOGO  
P r e s e n t a

GERARDO CARRASCO NUÑEZ

México, D. F.

Febrero 1985



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# I N D I C E

	PAGINA
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
I. INTRODUCCION	3
1. Objetivos	5
2. Material y métodos de trabajo	6
3. Antecedentes y trabajos anteriores	7
II. GEOGRAFIA	11
1. Localización y vías de acceso	12
2. Fisiografía	14
3. Clima	19
4. Hidrografía	21
5. Flora y Fauna	23
6. Aspectos arqueológicos	26
III. GEOMORFOLOGIA	28
1. Formas erosivas	29
2. Formas acumulativas	31
3. Aspectos glaciológicos	32
IV. GEOLOGIA	35
1. Estratigrafía	36
2. Aspectos petrológicos y geoquímicos	61
3. Geología Estructural	67
4. Geología Histórica	71
V. VULCANOLOGIA	76
1. Tipo de vulcanismo	77
2. Evolución del Volcán Popocatepetl	99
3. Riesgos civiles	105
VI. TECTONICA	118
1. Límites espacio-Temporales del Eje -- Neovolcánico	119
2. Origen del Eje Neovolcánico	124
VII. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS	130
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	134
ANEXOS	

## RESUMEN

El Volcán Popocatepetl es uno de los grandes estratovolcanes de México que actualmente se encuentran en actividad. - Está formado por una combinación de lavas, brechas, tobas y depósitos piroclásticos sin consolidar, tanto de caída libre como de flujo. Estos depósitos dan una idea de la gran explosividad de los eventos eruptivos que han ocurrido más recientemente, siendo estos de tipo pliniano, principalmente. - - - (Fig. V-8).

En la edificación del volcán se han distinguido dos grandes etapas, la primera de ellas se inició con emisiones de andesitas básicas pasando por dacitas y finalizando con lavas riódacíticas; la segunda, que sugiere una reactivación del vulcanismo, expulsó andesitas ácidas, dacitas y un volumen de materiales piroclásticos, que fueron ampliamente dispersados. El carácter calcoalcalino de las lavas, al igual que el de la mayor parte de las manifestaciones del Eje Neovolcánico Transmexicano, permite sugerir su asociación con los procesos de subducción que se verifican en las costas del Pacífico Oriental de México, aunque bajo condiciones muy especiales.

Por otra parte, con base en los análisis estadísticos y diversos criterios geológicos, se determinó la posibilidad de que un nuevo episodio eruptivo se presente en poco tiempo, -- por lo que es preciso tomar las medidas necesarias, y realizar estudios más profundos en relación con los aspectos geocronológicos y la predicción de manifestaciones volcánicas, -- que ayudarían a precisar la posible ocurrencia de un nuevo evento volcánico.

## ABSTRACT

The Popocatepetl volcano is one of the greatest mexican volcanoes actually in activity. It is composed of lava -- flows, breccias, tuffs and unconsolidated ash flow as well as ash fall. Those products suggest eruptions of highly -- explosive of plinian type.

On the volcano formation one can distinguish two -- -- different events. The first one was initiated with flows -- of basic andesites passing to dacites and finally riocacites. The second one expelled acid andesites, dacites and pyroclastic material than was widely dispersed. The calcaline character of those products is similar to the majority of the -- manifestations of the Mexican Volcanic belt and suggest its association with the subduction process in the Acapulco -- -- Trench, although under special conditions.

On the other hand, based on the stadistical analysis and geologic criteria it was determined that la posibilidad -- of a new eruptive event in the near future and upon this -- -- reason it is recommended here to take the necessary measures and to realize pertinent studies related with the geochronology and prediction of volcanic manifestations that can be -- of help to exactly determine the possible occurrence of a -- new volcanic event.

## I. INTRODUCCION

Uno de los fenómenos naturales que desde los tiempos más remotos ha llamado la atención al hombre, lo es sin duda, el - Vulcanismo<sup>1</sup>, ya que, además de manifestarse en forma por demás violenta e impresionante, representa un peligro latente para - las poblaciones aledañas. Es por todos conocido el poder devas - tador que pueden causar las erupciones volcánicas, sin embar - go, y a pesar de las múltiples investigaciones realizadas por especialistas en este campo, aún hoy en día, se tienen serios problemas para conocer el comportamiento de éstas y así, con - tar con los elementos necesarios para poder pronosticar con -- precisión el momento en que entren en actividad los aparatos - volcánicos, aspecto que haría posible su prevención de cual - quier desastre.

En los últimos años, han tenido lugar varias manifesta - ciones volcánicas importantes en el país como por ejemplo, la de El Parícutín, en el Edo. de Michoacán; el Volcán de Colima, en el Edo. de Colima; y el Chichonal, en el Edo. de Chiapas. - Ello ha motivado que se lleven a cabo estudios más detallados sobre los volcanes, en particular, aquellos que en la actuali - dad se considera que se encuentran en actividad como es el ca -

1 Vulcanismo. Palabra derivada del latín Vulcanus, Vulcano dios del fuego; según el Diccionario de la Lengua Española, Real Academia Española, 1970.- Madrid, Edit. Espasa Calpe. Técnicamente es más propio utilizar las pala - bras con "u" como Vulcanismo, aunque los términos derivados con "o" como - Volcán, volcanismo, son también aceptados.

so del Popocatepetl. De esta manera, se podrá conocer con mayor exactitud cual ha sido su evolución a través del tiempo; tratando de establecer, hasta donde sea posible y en función de los elementos con los que se cuenta, un modelo preliminar acerca de su funcionamiento, con el fin de poder inferir su actividad futura. Sin embargo con ello no se pretenden resolver las incógnitas que se derivan de la predicción de las manifestaciones volcánicas, ya que éstas requieren de investigaciones con otro nivel, en las que se cuente con el equipo y los sistemas adecuados.

El volcán Popocatepetl además de poseer una impresionante vista, debido a su gran tamaño y a las nieves perpetuas -- que lo cubren, constituye uno de los volcanes con que típicamente se representa a nuestro país, aún cuando este tipo de -- estructuras (de tipo compuesto; lavas y productos piroclásticos) la presentan sólo unos 10 volcanes dentro del Eje Neovolcánico. Sin embargo, dadas sus características particulares éstos involucran una gran variedad de procesos volcánicos, a través de su historia, por lo que su estudio resulta ser de gran importancia, ya que permite comprender mejor el comportamiento de fenómenos volcánicos que los edificaron, que al relacionarse con los aspectos teóricos, son la base para definir los -- riesgos civiles o cuestiones de índole económica, como la prospección mineral, la búsqueda de recursos hidrológicos o de --

materiales para la construcción.

En lo que respecta a la actividad del Popocatépetl en -- los tiempos modernos, no se conoce con precisión, pero se sabe que ha variado con el tiempo, aspecto que se comprueba con los nombres que se le han asignado en diferentes épocas, quienes han podido observar su actividad. Antes de la colonia, se conocía como Xalliquehuac, vocablo de origen náhuatl que significa "el que arroja cenizas"; posteriormente, y hasta nuestros días, se conoce como Popocatépetl o "Montaña que humea", debido a su actividad, esencialmente fumarólica (Murillo, - - 1940).

### I.1. OBJETIVOS.

Actualmente el campo de la investigación geológica está cobrando mayor importancia, ya que además del valor intrínseco que representa, permite una mejor comprensión de los fenómenos naturales, al tiempo que proporciona la información básica tendiente a ser aprovechada para cuestiones prácticas, desde el punto de vista ingenieril.

En este sentido, el presente trabajo consiste en una investigación geológica con la cual se pretende mostrar algunos de los métodos y técnicas empleados por el ingeniero geológico

go para la elaboración de un estudio geológico general, resaltando para este caso particular, sobre el volcán Popocatépetl, los aspectos de tipo vulcanológico.

La incertidumbre que existe sobre la ocurrencia de los fenómenos volcánicos, impide por lo general prever el lugar, tiempo e intensidad en que entrará en actividad un volcán. Ante esto, el presente trabajo pretende establecer una base geológica detallada y confiable que apoye o facilite investigaciones posteriores, acerca del vulcanismo reciente del Eje Neovolcánico, particularmente del Popocatépetl; intentando pronosticar, hasta donde sea posible, su actividad futura.

## I.2. MATERIAL Y METODOS DE TRABAJO.

Inicialmente se procedió a reunir toda la información bibliográfica existente, tanto de tipo local como regional, consistente en mapas, planos y diversos trabajos especializados del área de estudio; todo lo cual fue debidamente revisado para extraer de ellos, los elementos de mayor utilidad para los propósitos de este trabajo.

Después se realizó una fotointerpretación preliminar del área, utilizando fotograffas a escala 1:50,000 aproximadamente, las cuales fueron tomadas en diferentes vuelos. Con ello se integró un plano provisional que sirvió de base para los -

reconocimientos de la zona, realizándose varios muestreos destinados a ser analizados mediante procedimientos petrográficos, químicos y granulométricos, con lo cual se reforzaron en gran medida los resultados propuestos para la formulación de las hipótesis de este trabajo.

Posteriormente, se efectuó una nueva fotointerpretación, pero ahora empleando fotografías a escala 1:10,000 aproximadamente, cuya información se vació sobre una base topográfica, obtenida a partir de los fotomapas a escala 1:20,000 editados por S.P.P. Esto junto con una nueva salida al campo, dió lugar a la elaboración del plano final y el texto que apoyan esta tesis.

### I.3. ANTECEDENTES Y TRABAJOS ANTERIORES.

De acuerdo con la información proporcionada por algunos historiadores que acompañaron a los primeros colonizadores de nuestro país como Hernán Cortés y Bernal Díaz del Castillo -- (en Dr. ATL., 1940), es posible formarse una idea más completa de la actividad histórica que ha tenido el Volcán Popocateépetl, sin embargo, dada la naturaleza de la información, ésta debe tomarse con cierta reserva.

En los Códices Prehispánicos se mencionan algunas erupciones ocurridas entre 1347-1354, aparte de las manifestacio-

nes explosivas de los siglos XVI, XVII y XVIII (Mooser et al., 1958); que fueron seguidas durante el resto del siglo XIX por una época de calma. La reanudación de la actividad se reporta hasta el período comprendido entre los años de 1919 a 1938, - posteriormente sólo algunas manifestaciones fumarólicas se -- han presentado, cuya naturaleza no se conoce con precisión.

Uno de los primeros trabajos que puede mencionarse es el de Alexander Von Humboldt (1808), quién en aquél entonces consideraba al Popocatepetl como la cumbre más alta de México. - Posteriormente, en las postrimerías del siglo XIX, se realiza ron una diversidad de trabajos que debido a su carácter narra tivo resultan ser de poca importancia. No obstante cabe desta car algunos de ellos, como por ejemplo el trabajo de Félix y Lenk (1894) quienes proponen la preexistencia de un antiguo - volcán que hoy en día, es conocido como Nexpayantla; además - se incluyen varios análisis químicos de rocas localizadas en la zona del Iztaccíhuatl. También debe mencionarse el trabajo de Aguilera, J.G. y Ordóñez E. (1895) en el que se hace una - descripción detallada y mas o menos completa, sobre los aspec tos geomorfológicos y geológicos que presenta el volcán, in-- cluyendo además algunos análisis petrográficos de las rocas - que lo forman.

Debe reconocerse que a pesar de las carencias que tuvie ron los autores anteriores, sus trabajos han servido, de algu

na manera, para establecer conceptos que desde entonces, siguen siendo vigentes.

Debido a la actividad que tuvo el Popocatepetl durante la segunda década del siglo XX, se desarrollaron varios trabajos tendientes a describir y explicar su comportamiento. Entre ellos, están los realizados por Camacho, H. (1925), Friedlaender, I. (1922), Martínez, R. (1925), Murillo, G. (1940), Waitz, P. (1921), y otros. De estos, cabe destacar al primero, porque trata de establecer una relación de la actividad volcánica con la sismología.

Por otra parte, desde el punto de vista glaciológico, se cuentan con numerosos estudios sobre el volcán, la Sierra Nevada y el borde meridional de la Cuenca de México. Entre ellos destacan los desarrollados por: Blázquez, L. (1944) y Bryan, K. (1946)., (en Ortega, 1979). Recientes investigaciones acerca de los fenómenos glaciológicos de la porción sur de la Cuenca de México fueron realizadas por White (1951, 1968), quien junto con Lorenzo (1957, 1964) aportaron importantes ideas dentro de este campo. Heine y Heide-W en sus diversos trabajos compilaron la información relativa de los fenómenos glaciales que han actuado en los picos más altos del Eje Neovolcánico, estableciendo además una correlación cronológica y estratigráfica de dichos fenómenos. También debe mencionarse

el trabajo presentado por Ortega, J. (1979) sobre la geomorfología glacial del Ajusco.

De manera más general, aunque no menos importante, se presentan una serie de trabajos relativos al Eje Neovolcánico que aportan información valiosa para la elaboración de esta tesis, destacando entre ellos los realizados por Mooser (1963, 1968, 1972, 1975, etc.) quien basa sus principales interpretaciones en rasgos paleoestructurales relativos y en la distribución que presentan los sistemas de fracturamiento. Por otro lado, se cuenta con los trabajos realizados por un grupo de geólogos europeos, principalmente franceses como lo son: Demant, A. (1976, 1978, 1981) y Robin, C. (1975, 1981) - así como el grupo de alemanes Heine, K. y Heide-Weise (1973), que aportan determinaciones geocronológicas y se apoyan en análisis petrográficos-químicos para sus investigaciones.

Otros trabajos locales que hablan del vulcanismo del Valle de México son los de Arellano (1953) Blázquez (1956), Gunn y Mooser (1970), Schlaepfer, J.F. (1968), etc., también deben considerarse los trabajos basados en los métodos geofísicos, elaborados por Pal y Urrutia (1977), Urrutia y del Castillo (1977).

## II. GEOGRAFIA

La ciudad de México se encuentra asentada en una enorme cuenca lacustre que, hasta hace poco tiempo, estaba abierta en su parte sur, pero que fue cerrada con el nacimiento y desarrollo de una serie de estructuras volcánicas que actualmente forman lo que se conoce como Sierra Chichinautzin, cuyo volumen fue incrementado por manifestaciones volcánicas recientes de sus<sup>dos</sup> bordes oriental y occidental. (S. de las Cruces, S. Nevada).

El límite oriental está formado por la Sierra Nevada, que se orienta de N a S donde sobresalen puntos como el Telapón, Tláloc y los gigantescos "estratovolcanes": Iztaccíhuatl (de forma alargada) y el Popocatepetl (de forma cónica) que constituyen la esquina SE de la cuenca. De hecho, el conjunto es una enorme barrera geográfica que separa regiones de condiciones climáticas, ecológicas y hasta cierto punto geológicas, diferentes.

El Popocatepetl, dada su cercanía, fácil acceso, e impresionante tamaño, constituye uno de los volcanes más visitados en México, su clima es de tipo alpino, con características muy especiales debido a su altitud; desempeñando también un papel importante que influye sobre la fauna y vegetación que lo pueblan.

## II.1. LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO.

El volcán Popocatepetl se localiza aproximadamente a 65 km, en línea recta, al SE de la Ciudad de México, y a 89 km. por carretera. Geográficamente, se ubica (cráter) en las coordenadas: 19° 01'30" latitud norte y 98° 37'20" longitud al -- oeste del meridiano de Greenwich. Su parte más alta, conocida como Pico Mayor, constituye el límite político de 3 Estados -- de la República Mexicana que son: Edo. de México, al oeste, -- Morelos, al suroeste, y Puebla al este.

La vía más recomendable para llegar a la parte más alta y cercana al cráter, es la carretera México-Puebla, hasta llegar a la desviación hacia el poblado de Chalco, continuando -- con rumbo a la Cd. de Cuautla, pero 1 km. después de la salida del poblado de Amecameca, se entronca con la carretera que llega al Paso de Cortés. De ahí se sigue hasta el final de la carretera pavimentada en el albergue Tlamacas, que se localiza dentro del Parque Nacional Izta-Popo, de donde parten varias veredas que conducen al visitante a diversos sitios, según el interés particular de éste. Fig. II.1.

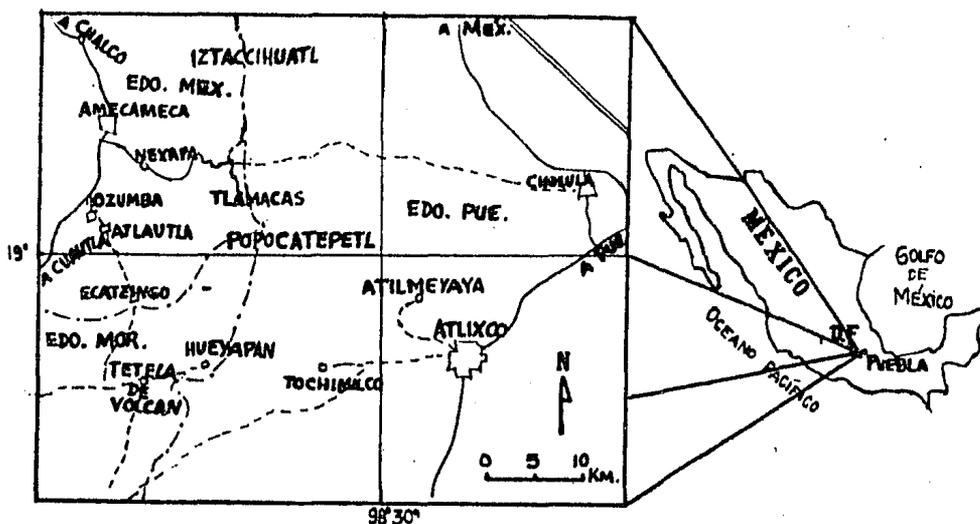


Fig. II.1. Localización del volcán Popocatépetl y vías de acceso.

Si se desea conocer la falda Sur del volcán, existen algunas brechas de terracería que permiten el acceso, aunque la distancia a cubrir es relativamente corta respecto al cono, - de hecho son los flancos del volcán donde algunos poblados se han instalado como: Ecatezingo, Tetela del Volcán y Hueyapan, a los que se puede llegar a partir de Amecameca, o de Cuautla y otros como Sta. Atilmeyaya y Tochimalco, a partir de Atlixco, o Puebla.

También puede llegarse a Tlaxcala, partiendo de la Ciudad de Puebla, rumbo a Cholula por un camino de terracería -- hasta Paso de Cortés. Complementando la red antes mencionada, existen una multitud de brechas madereras que permiten el análisis de afloramientos más cercanos a la cima del volcán.

## II.2. FISIOGRAFIA.

La amplia y muy reciente faja volcánica que atraviesa -- transversalmente la República Mexicana entre los paralelos -- 19°-20° de latitud norte, constituye la provincia fisiográfica conocida como Eje Neovolcánico Transmexicano (Mooser, -- 1972a), que está formada por una cantidad innumerable de aparatos volcánicos que emitieron un volumen importante de lavas y material piroclástico, dando origen a las formas construccio nales derivadas de apilamiento de los diferentes productos.

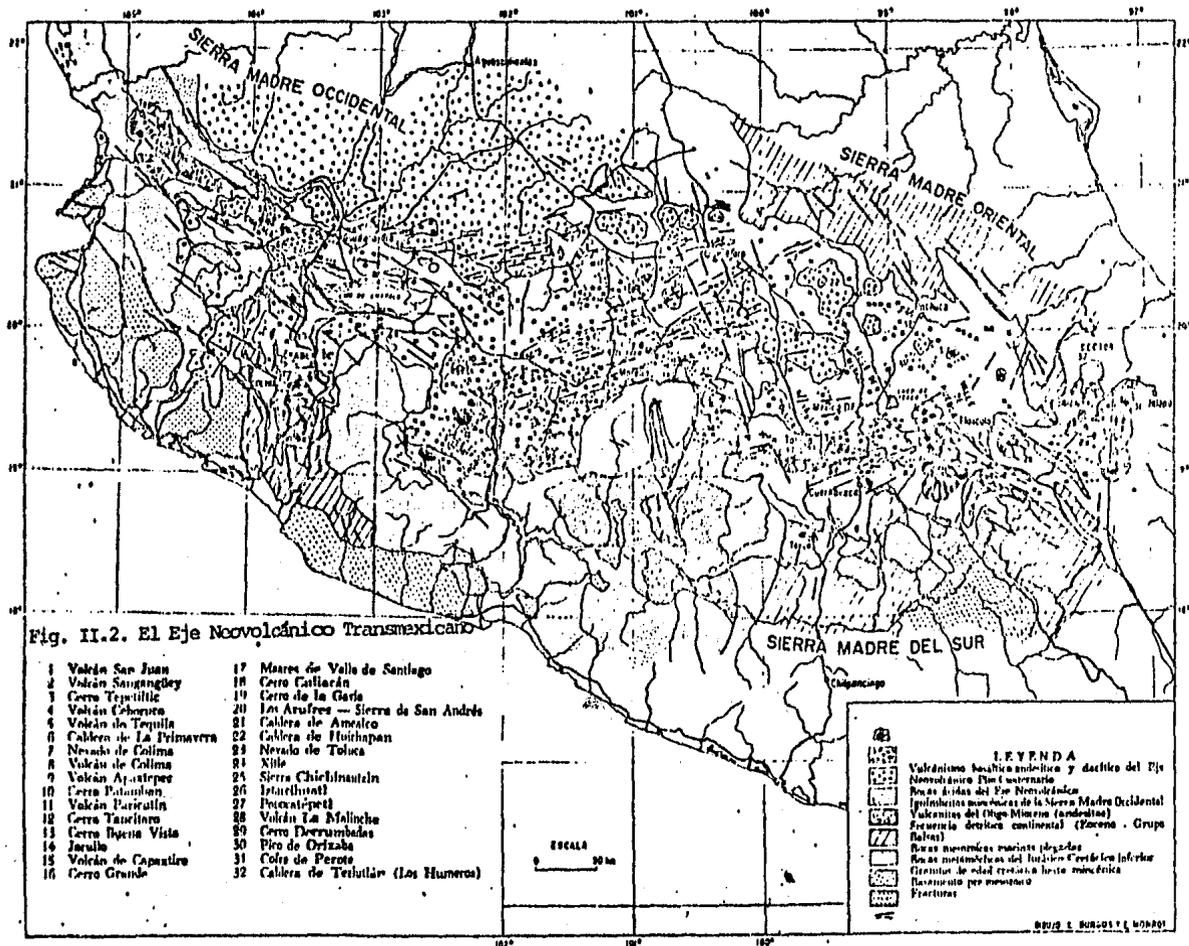
Las estructuras volcánicas más notables de esta provin-- cia, aunque no las más abundantes, están representadas por -- "estratovolcanes" (volcanes compuestos), entre los que resal-- tan además del Popocatepetl, el Iztaccíhuatl, Nevado de Tolu-- ca, La Malinche, Pico de Orizaba, Cofre de Perote, Nevado de Colima y Volcán de Fuego. Numerosos conos cineríticos, gene-- ralmente de pequeñas dimensiones están ampliamente distribuf-- dos en toda la provincia; la existencia de algunas calderas, - así como emisiones fisurales, completan el cuadro de estructu-- ras volcánicas que conforman dicha provincia. Tales manifesta-- ciones volcánicas modificaron notablemente al relieve, origi-- nando un gran número de cuencas endorreicas y diversos embal-- ses que son producto de los procesos tanto tectónicos como -- volcánicos que han afectado a la región, como es el caso de la - Cuenca de México que constituye uno de los valles tectónicos

que caracterizan la parte centro-oriental de esta provincia. En la Cuenca de México los sistemas de fracturamiento son sub paralelos a la orientación presentada por montañas y sierras de dimensiones muy variadas, cuya morfología indica la escasa antigüedad de éstas. Las planicies están caracterizadas por suelos que han sido enriquecidos por materiales volcánicos.

En general, la composición de las rocas volcánicas es esencialmente andesítica, aunque se presentan variaciones de los tipos básicos hasta los ácidos.

Por otra parte, un análisis general de las estructuras de esta provincia, así como de sus características vulcanológicas, permiten distinguir, de acuerdo con Demant (1978), cinco diferentes regiones (Fig. II.2), cuyas peculiaridades fisiográficas-vulcanológicas remarcan las disarmonías entre unas y otras, estas son:

- 1) Fosa tectónica de Tepic-Chapala, la cual tiene numerosos conos cineríticos orientados NW-SE, asociados a los volcanes San Juan, Sangangüey, Ceboruco y Tequila.
- 2) Fosa tectónica de Colima, de orientación N-S, que encierra al Nevado y el Volcán de Colima.



- 3) Zona de Michoacán, con predominancia de conos cuaternarios, de cuya distribución se infiere un fracturamiento NE-SW, hasta llegar a las fallas San Miguel Allende-Taxco.
- 4) Zona de los grandes valles de Toluca, México y Puebla; - que encierran cuatro de los grandes "estratovolcanes" mexicanos separados por amplias zonas lacustres. Además se tiene una serie de pequeños volcanes orientados E-W que conforman la Sierra Chichinautzin.
- 5) Límite oriental; está marcado por la cadena de estratovolcanes N-S Pico de Orizaba-Cofre de Perote.

En la zona de los grandes valles y "estratovolcanes", se presentan algunos rasgos fisiográficos, que podrían ser el reflejo de estructuras más antiguas que permitieron el emplazamiento de las sierras que los limitan.

En primera instancia, se observa un alineamiento N-S de los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl, los cuales además están íntimamente relacionados en el tiempo de su emplazamiento, aunque su actividad no ha sido la misma, cronológicamente hablando, pues puede verse al Iztaccíhuatl, hoy en día, totalmente extinguido, y mostrando una avanzada disección.

Por otro lado, en esa latitud, a unos 120 km. en dirección oeste, se encuentra el Nevado de Toluca (volcán más antiguo), que se alinea con el Popocatepetl, poniendo en evidencia una zona de debilidad que fue aprovechada por la Sierra Chichinautzin (de edad más reciente) para emplazarse. Aspecto que concuerda en parte con la dirección que presentan los sistemas de fracturamiento definidos por Mooser (1972). Además se puede establecer una relación entre los volcanes Nevado de Toluca e Iztaccíhuatl, que siendo aproximadamente contemporáneos, tienen en sus prolongaciones latitudinal y longitudinal, respectivamente, un punto de confluencia que viene a ser el volcán Popocatepetl, de actividad ligeramente más reciente, aunque el inicio del mismo corresponde a los últimos eventos de aquéllos volcanes.

Por otra parte, las dimensiones del Popocatepetl que corresponden a una forma cónica con un gran radio constituye la barrera o límite que separa los valles de Puebla y México, formando el parteaguas con el resto de la Sierra Nevada. Las aguas fluyen subterráneamente debido a la gran permeabilidad de los productos esencialmente piroclásticos que cubren al cono, abasteciendo de esta manera los acuíferos de dichos valles, siendo hacia su parte meridional, de tipo radial, de tal manera que irriga también al valle de Cuautla; ya que la edificación de la Sierra del Chichinautzin al unirse con el -

Popocatépetl forma el parteaguas que separa a los valles de Cuautla y de México.

### II.3. CLIMA

Por lo que respecta al clima imperante en el área del Popocatépetl, se debe considerar su gran altitud, que origina un ambiente particular de tipo similar al subpolar o de tundra, sólo que a latitudes mucho menores (19°).

Con el fin de ajustar la clasificación de Köppen a las condiciones climáticas particulares del Popocatépetl, se tomaron en cuenta las modificaciones de E. García, y las publicadas por la S.P.P. (1981), en las que los parámetros precipitación pluvial y temperatura, son los elementos esenciales que determinan el tipo climático específico. De acuerdo con eso, se tiene una correspondencia entre las variaciones altimétricas y el clima que se presenta.

Tomando en cuenta la información proporcionada por la estación meteorológica más cercana, es decir, la del campamento Hueyatenco, localizada a "los pies" del Iztaccíhuatl a unos 3557 m.s.n.m., se tienen los datos para definir el tipo de clima que corresponde al C ( $w_2$ ) ( $w$ ) cig aunque el más adecuado sería C(E) ( $w_2$ )  $w$ , es decir, semifrío subhúmedo con lluvias

en verano y precipitación invernal menor a 5%, con una temperatura media anual de  $7.7^{\circ}\text{C}$  y una precipitación anual de --- 1187.8 mm.

A los 4000 m. s. n. m., se encuentra el límite de la vegetación arbórea, que también se puede utilizar para separar al tipo climático anterior, del E(T)H, que es frío con una -- temperatura media anual entre  $0^{\circ}$  y  $4^{\circ}\text{C}$ , y una precipitación -- pluvial anual de 1000 a 1500 mm (muy alta) que produce una vegetación tipo tundra. Por último coincidiendo con el límite -- aproximado de las "nieves perpetuas", y a una altura de 5272 -- m.s.n.m., se inicia la zona donde se presenta el clima de tipo EF, que es muy frío con una temperatura media anual menor a los  $-2^{\circ}\text{C}$ .

También debe mencionarse que la barrera geográfica natural que forma el Popocatepetl, separa algunas variaciones climáticas que se detectan en la región. Al norte, excluyendo el área que ocupa el Iztaccihuatl que produce una similaridad -- climática, se tiene un clima semiseco, templado, con lluvias de -- verano y precipitación invernal entre 5-10.2% es decir, se trata de un clima tipo (BSiKw); al Este, así como al Oeste, la -- tendencia de los climas es hacia los templados subhúmedos con lluvias en verano y precipitación invernal menor al 5% correg pendiendo al tipo (C(w<sub>2</sub>)(w)). Por último hacia el Sur se tiende a un clima cálido subhúmedo con lluvias de verano y preci-

pitación invernal menor al 5% del tipo ( $A w_0(w)$ ).

Como se observa, el volcán presenta una gran variedad de climas y tendencias climáticas, que corresponden a una altitud y a una zona geográfica que lo determina.

#### II.4. HIDROGRAFIA.

La Sierra Nevada, está formada por los volcanes Iztaccihuatl y Popocatepetl, que constituyen el parteaguas que separa las cuencas de México y Puebla, las cuales son irrigadas por numerosos arroyos transversales que descienden de la Sierra, donde se forman.

El Popocatepetl posee un sistema de drenaje radial típico formado por corrientes superficiales de poco caudal, es decir, no reflejan la gran importancia que representa para esta zona, el régimen pluviométrico complementado con la insesante fusión de las nieves. La gran permeabilidad que presentan los materiales piroclásticos que se distribuyeron en torno al volcán, constituyen una parte importante del sistema geohidrológico de las zonas aledañas, ya que éste se abastece con los grandes volúmenes de agua que aporta el drenaje que finalmente alimentan a los acuíferos de la subcuenca de Texcoco, al oeste; la cuenca de Puebla al este; y la Cuenca de Cuautla, al sur.

Durante la mayor parte del año, generalmente por las tar

des, después que los rayos del sol han derretido la cantidad suficiente de hielo y nieve como para crear algunas corrientes de agua importantes que llegan a durar varias horas, ocurriendo la infiltración de manera inmediata a través de las arenas volcánicas que sirven como acuífero regional, (Ortega, 1981), en tanto que sólo algunas corren sobre la roca, la cual es prácticamente impermeable, como sucede en la Barranca del Ventorrillo (Tenenepango) y la de Nexpayantla, en donde después de formarse una corriente de flujo regular, al llegar a la zona de piroclásticos, desaparece por completo, reapareciendo en algunas ocasiones en las partes bajas en forma de manantiales, cuando la disposición de las rocas infrayacentes así lo permite.

Las corrientes que aparecen en las faldas del volcán, -- además de formar parte de un sistema general de drenaje radial, se integran a otro particular de tipo dendrítico, influenciado principalmente por los depósitos piroclásticos, de tal modo, que conforme se desciende topográficamente, las corrientes se van integrando hasta formar arroyos de mayor caudal. Por otra parte, en la zona que comprende la Barranca Nexpayantla, se puede distinguir un patrón de drenaje de tipo enrejado, el cual se encuentra controlado estructuralmente por varios sistemas de fracturamiento orientados perpendicularmente a la dirección de la corriente principal.

## II.5. FLORA Y FAUNA

Debe conocerse que en México las rocas ígneas producen, en un clima semihúmedo, suelos con un PH de 5 a 7, que junto con otros factores, propicia el desarrollo de una vegetación boscosa como la originada por los árboles del género Pinus. - El desarrollo de suelos podsólicos de color gris, pardo o negro permite relacionar los bosques de pinos con el sustrato geológico, que está compuesto por rocas volcánicas; por ejemplo cuando se tienen basaltos, el suelo es arcilloso con colores de tonos rojizos; en cambio, cuando se trata de rocas andesíticas el suelo presenta texturas más finas con colores de tonalidades parduscas. En cuanto a las arenas o cenizas expulsadas por el volcán, tienen un alto contenido de material orgánico y generalmente permanecen húmedas casi todo el año, -- por lo que de acuerdo con las variaciones de altitud y clima, éstas presentan el desarrollo de diversos núcleos de vegetación. Así por ejemplo, las faldas del volcán están cubiertas por eucaliptos, robles, y encinos, sauces, madroño, alce, tejocote, pirul, cedro rojo, árboles que son reemplazados gradualmente a una mayor altitud por encinos, oyamel y pino, de las variedades real, blanco y chino que es lo que corresponde a los árboles de mayor tamaño; en cuanto a los arbustos que forman el horizonte inferior, son del tipo de agaves y uña de gato, y más arriba, mezquite, mamela, mirto, escoba y madroño. En cuanto al horizonte herbáceo o chaparral se tienen numero--

sas especies de zacatonales, musgos e incluso hongos, de los cuales se mencionarán los más importantes. En zacatonales o pastos se distingue el género Muhlenbergia en sus diversas especies, emersley, dubia, macroura (conocido como zacatón) y sp., Agrostia Avenacea, Boutelova gracilis, Senecio sp., Stilph -- sp., helecho y Junisperus monticola p., entre otras. (SPP, -- 1981) (Rzeredowky, 1981).

Beaman (1965) y Cruz (1969) (en Rzeredowky; op. cit.) -- distinguen tres asociaciones de zacatón alpino en el Popo-Izta que son: 1) Muhlenbergia quadridentada (a 3700-3800m), -- 2) Calamagrostis toluensis y Festuca toluensis (a 3500-4200 m) que es la asociación más extendida; y 3) Festuca livida y Arenaria bryoides (a 4200-4300m).

Como musgos están: Andreaca, Bryum, Pohlia, Bartramia, -- Leptodentium y otros; y como hongos: "Flor y ocote", Laccaria, Paraeolus, Inocybe, etc.

En concreto, se considera que el límite de bosques acaba a los 4000m mientras el límite del pastizal de tipo alpino a los 4300m, aunque, existen algunas especies que crecen hasta los 4500m.s.n.m.

Además de la vegetación antes mencionada, deben tomarse en cuenta los terrenos que se destinan al cultivo de gramíneas

como maíz, frijol, cebada, etc. y de una gran variedad de hortalizas; señalando que las tierras donde se cultivan son pequeñas parcelas que no rebazan la cota 3600m a partir de la cual comienza el Parque Nacional Izta-Popo; por lo que las parcelas se ubican en las partes bajas.

En lo que respecta a la fauna, Tamayo (1980) menciona a especies como: la tuza, musaraña, ratón del bosque, rata de los volcanes y zacatuche, entre los roedores; las aves como la: codorniz, chuparrosa, correcaminos veloz, chupamirto, gorrión, ruiseñor, trepatroncos, guajolote de monte, rascón de pico delgado, tecolotillo chillón jalisciense, gallinita amarilla, tapaojito, mosquerito, chiviscoyo, ninfa del bosque y algunas otras. (Tamayo, 1980).

Por último, cabe mencionar que aparte de la agricultura de temporal existen otras actividades que ocupan a los pobladores de áreas cercanas, como las de tipo pecuario (pastoreo de ganado bovino, ovino y caprino) y forestal (explotación industrial y local de maderas); explotación que no se efectúa de una manera racional; pues la tala immoderada de árboles, algunos de ellos aún verdes, impide una pronta regeneración del bosque; además, debido al pastoreo se efectúan quemas de zacatal con el fin de producir el brote de tallos tiernos para los animales, sin embargo, la falta de control de tales procedimientos pueden producir daños ecológicos irreparables, --

propiciando la paulatina extinción del bosque.

## II.6. ASPECTOS ARQUEOLOGICOS

Con base en las narraciones de la época precolombina, -- así como los restos arqueológicos encontrados recientemente, tanto en el Popocatepetl como el Iztaccíhuatl, puede establecerse la presencia de actividades humanas que se atribuyen a la cultura Tolteca. Los motivos para ascender hasta tales alturas, aparentemente fueron de tipo religioso pues se han encontrado utensilios como puntas de flecha, navajas de obsidiana, discos de pizarra y cuentas de jade, en un basamento cuadrangular que tiene la apariencia de un antiguo adoratorio, -- ubicado en las lomas del Norte del "Ventorrillo" a la altura del lugar conocido como "Abanico"; un poco más abajo se encontraron vestigios de un cementerio como son: esqueletos, -- ofrendas de cerámica, cascabeles de cobre, obsidianas, perritos con ruedas y diversas piedras de colores. La altura a la que se localizaron estos restos, indica un período de sequía en la que el límite de las nieves estuvo más arriba (Lorenzo, 1957).

Además se encontraron diferentes objetos en las ascensiones realizadas, que consisten en fragmentos de diversos tipos de instrumentos de trabajo, todos labrados, de tamaños muy variados y elaborados con materiales de composición andesítica, de tex

tura porfídica.

La composición de los objetos mencionados indica que se trata de materiales extraños para la zona ya que la obsidiana que es un vidrio de composición ácida, no se encontró en ninguno de los afloramientos visitados alrededor del volcán.

### III. GEOMORFOLOGIA.

El estudio de la geomorfología del Popocatépetl constituye un tema muy interesante y amplio que para ser analizado -- con el detalle que merece, requiere de una atención más especializada, sin embargo, no es éste el objetivo del presente -- trabajo, motivo por lo cual sólo se tratará de manera superficial.

Una descripción general del Popocatépetl sería la siguiente: se trata de un gran cono truncado hacia su cima, en un corte de sección elíptica alineada NE-SW, cuyos ejes varían de -- 450 a 650m. Su cráter presenta un desnivel de cerca de 300m. -- desde el "labio inferior" hasta el "Pico Mayor", siendo internamente de forma cilíndrica, hasta llegar a un nivel de pendiente fuerte constituido por depósitos de talud, que conducen a un pequeño cono central de 200 a 250m. de diámetro y 20m. de altura, parcialmente destruido en su parte NE y constituido -- por cenizas, escorias, numerosos bloques de lava y depósitos de azufre de los cuales escapan ligeras pero frecuentes emanaciones gaseosas, y además con una pequeña laguna en su interior, cuyas aguas presentan una coloración verdosa; la profundidad desde el "Pico Mayor" hasta el fondo del cráter es de -- 500m. La traza horizontal de este volcán, alcanza un diámetro de aproximadamente 25 km, con una altura actual de 5452m.s.n.m.

En la porción noroccidental del cráter, se tiene una prominente estructura, conocida como "El Ventorrillo", cuyos rasgos característicos reflejan una intensa y prolongada erosión, sugiriendo que se trata de un antiguo edificio volcánico que antecedió al emplazamiento del actual cono. Por su forma, se considera que pudo ocupar un diámetro cercano a los 35 km., - con una altura que debió ser muy superior a los 5000 m.s.n.m. que actualmente presenta.

En la parte SE del cráter se presenta una serie de diques radiales de 20 a 30m. de espesor que en general convergen en la parte central del volcán. Mostrando las siguientes orientaciones y longitudes: A-N61°W, 1.5KM; B-N70°W, 850m; C-N18°W,--600m; D.N33°W, 900m, E-N23°W,800m; y F-N13°W,350m. La localización de estos diques puede observarse en el plano geológico anexo, estando ordenados del 1ro (A) al último (F) en dirección SW.

### III.1. Formas erosivas.

El aspecto que presenta el cono actual es un efecto tanto de las fases explosivas que se sucedieron en los últimos episodios de desarrollo del volcán, como de la erosión a que estuvo y sigue estando sometido, lo cual ha formado un borde muy escarpado con aristas agudas debido al colapso parcial de

las paredes del cráter, que indican el carácter reciente de dichos procesos. Una saliente en la porción SW del cráter, conocida como Pico del Fraile, ha sido modelada por los agentes erosivos.

En cambio, el "Pico del Ventorrillo" muestra signos de una intensa erosión, que le dan esta forma tan peculiar, ya que la intercalación de lavas y brechas propició el debilitamiento de la secuencia, al actuar de manera diferencial. Además, hacia su parte inferior se presenta un conjunto de profundas barrancas, como la de Nexpayantla, que seguramente se asocian a un antiguo sistema de fracturamiento, presentando perfiles de forma en "V" y "Y", con una etapa reciente de profundización de los valles. La densidad de disección de esa zona es muy alta en relación con las demás partes del volcán.

En lo que respecta a la disección ocasionada por las corrientes de deshielo y la acción de los glaciares antiguos, se originaron 3 valles en la cara Norte, con la típica forma de "U" de los valles glaciares, que se conocen como Barranca Ventorrillo (Tenenepanco), que se extiende hasta el valle de Puebla; Barranca Seca (La Espinera), de 2km. de longitud y Barranca Este (Tepeteloncocone), de 1.5 km. de largo. Los depósitos piroclásticos más recientes protegieron el terreno de una disección más acentuada en las proximidades del cráter, pues formaron gruesas columnas de cenizas y lapilli sueltos, de alta permeabilidad.

Los procesos glaciares que actuaron durante el Pleistoceno, originaron una diversidad de formas entre las que destacan por su magnitud, los circos de erosión causados por la acción del hielo; el más prominente de ellos es el de la zona del Ventorrillo conocida como "El Abanico". También se pueden citar los que forman las cabeceras de las Barrancas Ventorrillo y Seca, al Norte; y los del S y SW del cráter, así como el lado sur del punto de confluencia entre el Pico del Ventorrillo y el Cono Reciente.

### III.2. Formas acumulativas.

Los depósitos aluviales se encuentran ampliamente difundidos en la zona, al igual que los suelos que han sido enriquecidos por los nutrientes que proporcionan los materiales volcánicos.

En los valles que forman las Barrancas del Ventorrillo, Seca y Este, se pueden reconocer una serie de abanicos aluviales que posiblemente pudieran corresponder a superficies de lavado que indicarían las posiciones que ocuparon los avances/retrocesos que tuvieron los glaciares en el pasado. Una evidencia que apoya tales avances, la constituye el depósito encontrado en la Barranca del Ventorrillo a una altura de 4,100m. aproximadamente, el cual presenta una gran cantidad -

de bloques erráticos de lava andesítica, que presentan aristas angulosas y superficiales muy lisas, cementados de arcillas ligeramente oxidadas, las cuales debieron producirse por procesos abrasivos y corrosivos. Dicho depósito se considera una morrena de tipo terminal y en parte, de fondo, en concordancia con White (1968). Este autor propone otro tipo de depósitos glaciares, conocidos como "rochês moutoneés" o "rocas aborregadas", que no son más que montículos asimétricos de superficie ondulada o aborregada, producidos por acarreo glacial.

### III.3. Aspectos Glaciológicos.

Algunas evidencias de que los fenómenos glaciares actuaron en el pasado son: los circos de erosión, los depósitos morrénicos, los valles en forma de "U", las superficies pulidas y estriadas mostradas en abundancia, por algunas rocas en el área del Ventorrillo y la Barranca del mismo nombre.

White (1951) considera que los campos de hielo se desarrollaron durante el período llamado Wisconsiniano (30,000 años - - aprox.) en el Pleistoceno Sup., tomando en cuenta que el Pleistoceno Temprano se intensificaron las erupciones volcánicas.

En la actualidad se ha cuestionado la existencia de glaciares en el Popocatepetl, dadas sus reducidas dimensiones. A

este respecto Lorenzo (1964), propone la existencia de tres glaciares: "Norte" con  $19,000 \text{ m}^2$  de superficie, localizado entre los 5250 y los 4840m.; "Ventorrillo", con un área de  $435,000 \text{ m}^2$ , que va desde los 5360 hasta los 4690m.; y el 3ro. - "NW", con  $95,000 \text{ m}^2$  de superficie de 5400 a 5015m. de altura. Sin embargo, a partir de las observaciones realizadas, se considera la existencia de un solo glacial localizado en la parte NW del cráter, cuyas "lenguas" se dirigen hacia la Barranca del Ventorrillo, que correspondería al glacial "Ventorrillo" nombrado por Lorenzo, ya que los otros no parecen tener movimientos significativos. En esta zona se manifiestan una serie de grietas glaciares, las cuales posiblemente se abrieron al verificarse una acelerada ablación producida por las cenizas que cayeron durante la erupción de 1919 (Lorenzo, 1964). Por medio de estas grietas puede estimarse un espesor máximo de la columna de hielo de 30m. aproximadamente, lo cual indica cierta profundización atribuida a la acción del hielo en la parte media del glacial ya que hacia sus extremos se observa con espesores de 5m. en promedio, siendo en muchos casos mucho menores, ya que la distribución de los campos de hielo es muy irregular en torno al cráter, desarrollándose esencialmente en la cara Norte-NW. La línea de las nieves es muy variable, según la posición que se ocupe; así, al Este, llega a los  $5,000 \text{ m}$ .; al Norte, a los  $4,800 \text{ m}$ .; al Noreste, a los  $4,500 \text{ m}$ .; y al Oeste, a los  $4,800 \text{ m}$ .; contando además con 2 lenguas de hielo al NW que llegan a los  $4500 \text{ m}$ . y  $4700 \text{ m}$ ., como lo certifi

can las fotografías aéreas de 1945, las cuales al ser comparadas con las más recientes (1971, 1973, 1981), no muestran cambios significativos.

Este glaciar es de un tipo especial, dada la latitud - - tropical en la que se ubica, siendo el parámetro altitud el - determinante para su formación; por lo cual puede clasificarse como glaciar "caliente" de valle (Ortega, 1979) y de acantilado, aunque Lorenzo (1964), señala que en su parte superior debe clasificarse como un glaciar de "hielo festonado o laderas cubiertas de congesta".

#### IV. GEOLOGIA

La gran estructura cónica que presenta el volcán Popocatepetl hace pensar en una multitud de fenómenos eruptivos que han actuado en el pasado, hasta darte su configuración actual. Esto explica que su historia geológica muestre ciertos rasgos de complejidad; ya que se debe de considerar que cada evento volcánico se manifiesta con diferente intensidad, duración y volumen que expulsa, lo que puede ocurrir a través de diferentes conductos y por tiempo indeterminado. Esto causa que se produzcan traslapes, superposiciones, etc., que complican aún más, la ya difícil tarea de determinar las unidades estratigráficas emplazadas en regiones eminentemente volcánicas.

Los productos que integran el volcán son esencialmente derrames de lavas que en la parte superior se intercalan con brechas y material piroclástico. Por otra parte, extensos depósitos piroclásticos, tanto de caída libre como flujos de cenizas o avalanchas incandescentes se encuentran ampliamente dispersos en torno al Popocatepetl o formando parte de la secuencia que forma la estructura principal. Tales materiales presentan una composición que va de rocas básicas (andesitas basálticas) hasta rocas ácidas (riodacitas), pasando por una amplia gama de tipo intermedio (andesitas, andesitas ácidas y

dacitas), que constituyen el volumen más importante.

Además de los productos volcánicos anteriores, deben incluirse los originados por algunos procesos erosivos de tipo glacial y aquellos formados por procesos aluviales que han modelado la estructura actual.

#### IV.I. ESTRATIGRAFIA

El establecimiento de la columna estratigráfica local, se llevó a cabo, principalmente con base en la información -- proporcionada por el análisis de los afloramientos y las relaciones de campo observadas, complementándolos con las determinaciones petrográficas y los datos geoquímicos obtenidos en las diferentes unidades de roca identificadas. Tomando en -- cuenta lo anterior, las rocas se clasificaron con base a los diagramas de Streckeisen (1967) así como también, en ocasiones, -- por los análisis químicos, de acuerdo con Taylor (1969).

La correlación y análisis de los datos anteriores permiten definir 2 etapas en la edificación del Popocatepetl, que -- son responsables de la formación de un "volcán de base" y de un "cono reciente". Dentro de cada una de éstas ocurren una serie de eventos con características particulares que dan origen a cada una de las unidades que conforman las dos "estructuras" (Tabla IV.1.).

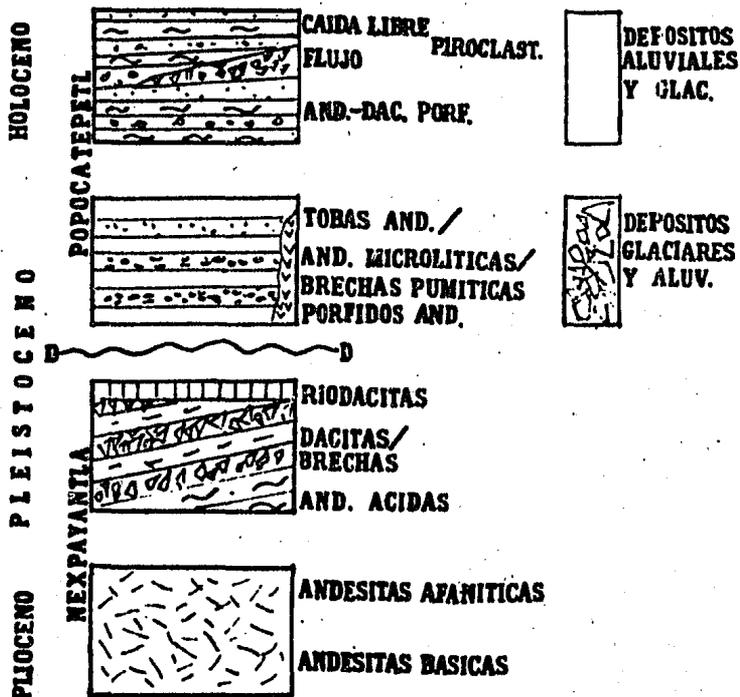


TABLA IV.1. Columna Geológica del Volcán Popocatépetl

Debe mencionarse que el establecimiento de las etapas anteriormente citadas, se llevó a cabo a partir de las diferencias observadas entre el cono terminal (Popocatépetl) y la zona comprendida por el "Ventorrillo", encontrando: grados de erosión más acentuados para las rocas de este último, así como una profunda disección a lo largo de la barranca Nexpayantla, en contraste con el escasamente erosionado cono del Popocatépetl. Se observó además, una marcada interrupción de los flujos de lava andesítica de gran espesor pertenecientes al cono, en relación con la secuencia de lavas y brechas dacíticas que componen el "Ventorrillo", mostrando en cada caso, una composición mineralógica y química particular que es posible observar en los anexos respectivos. En síntesis, se presentan columnas estratigráficas distintas que pueden apreciarse mejor en la sección anexa al plano geológico.

Evidencias similares a las anteriores sirvieron de apoyo a White (1951) para la postulación del volcán Nexpayantla, del cual únicamente se conservan los restos de su flanco noroccidental, representados por las rocas que afloran en la barranca Nexpayantla y el "Ventorrillo".

#### A. VOLCAN DE BASE.

En esta etapa se puede considerar lo que se conoce como Volcán Nexpayantla (White, 1951) que es el antecesor del volcán actual o Popocatepetl. Debido a su tamaño, extensión y espesor de sus productos no es posible observar a las rocas más antiguas en la región ni aún a través del intrincado sistema de drenaje que lo corta. Sin embargo, de acuerdo con la Geología de zonas adyacentes como Cuernavaca y Cuautla (Schlaepfer, 1968), se sabe que debajo de la Sierra Nevada se encuentran rocas volcánicas del Terciario medio que corresponden a lahares y capas volcanoclásticas (tobas y brechas), de composición andesítica-traquiandesítica, que alcanzan hasta 2000m. de espesor, según los datos del subsuelo obtenidos con la perforación del pozo Texcoco, cuyas muestras fueron datadas en 22.5-25.7 y 13.4-18.1 m.a., que corresponden al Mioceno Temprano y Tardío, respectivamente (Schlaepfer, 1968).

"El volcán de base" o antiguo, presenta una composición predominantemente andesítica, iniciando sus emisiones con derrames de tendencia básica que van haciéndose cada vez más ácidos y que en la parte superior van graduando en forma continua hacia productos más diferenciados del tipo riódacítico, - al tiempo que se intercalan, más o menos rítmicamente, brechas volcánicas, que se asocian a la culminación de los diferentes episodios volcánicos que lo construyeron.

Las variaciones que muestran las rocas que integran esta secuencia, en cuanto al tipo de materiales, composición, texturas y estructuras, permiten separarlas en 2 unidades: la inferior y la superior, dentro de las que pueden presentarse diferentes facies petrográficas en las rocas que las conforman.

### 1. Formación Nexpayantla.

#### Definición y nombre.

Inicialmente fue definida como Andesita Iztaccfhuatl - - (Mooser, 1962) que se correlacionó con la parte basal del Popocatepetl. Más tarde, Schlaepfer (1968), indicó que ese nombre era impropio, ya que esas rocas, incluían además de andesitas porfídicas con piroxenos, derrames dacíticos y riodacíticos, razón por la que cambió el nombre de ésta al de Formación Iztaccfhuatl. Sin embargo, dicho nombre atiende más bien a las características que presenta aquel volcán (Iztaccfhuatl), que aún con las semejanzas y contemporaneidad que pudiera tener con el Popocatepetl, presenta rasgos distintivos que corresponden a un centro eruptivo diferente; por ello, se propone informalmente el nombre de Formación Nexpayantla, que es el nombre de la cañada que corta los remanentes del volcán de base o Nexpayantla, cuyas características generales ya se describieron.

## A) UNIDAD INFERIOR.

### a. Definición.

La unidad Inferior de esta Formación está constituida -- hacia su base, por potentes derrames andesíticos-basálticos, -- seguidos por andesitas, ambos con piroxenos, olivino y una -- textura esencialmente afanítica.

### b. Distribución.

La Unidad Inferior aflora en la parte occidental del volcán Popocatepetl desde la base de la barranca Nexpayantla, -- distribuyéndose en forma similar a la de un abanico, hacia -- las partes más bajas de la montaña. No es difícil explicar la amplia difusión de estas lavas debido a su gran fluidez (Ver plano geológico anexo).

### c. Características Litológicas y Petrográficas.

Las andesitas basálticas o básicas constituyen espesas -- efusiones de lava de color gris que intemperiza a pardo claro, -- afectadas por un fracturamiento incipiente; presenta numerosas vesículas y una textura predominantemente afanítica. Mineralógicamente están compuestas por microfenocristales de olivino magnesiano y clinopiroxeno (augita), en medio de una matriz microlítica compuesta por plagioclasas cálcicas (labradorita), -- cuyos escasos intersticios están ocupados por piroxenos y ma-

terial vítreo. (muestra 1295, anexo petrográfico).

Dichas lavas pasan transicionalmente a andesitas de color gris claro, con textura afanítica, aunque con el contenido esporádico de fenocristales de olivino y/o piroxeno. Estas rocas son en general muy homogéneas, tanto lateral como verticalmente, y se presentan en lajas de forma curvilínea, persistentes en algunos lugares, que se atribuyen a la manera en como se emplazaron estos derrames, un poco menos fluidos que los anteriores, así como a su contenido de material vítreo. En cuanto a su composición mineralógica, presentan microfenocristales de olivino ligeramente corroídos, clinopiroxenos (augita), ortopiroxeno (hiperstena) y microlitos de plagioclasas: (labradorita y andesina), rodeados por una matriz vítrea de color pardo y composición intermedia-ácida, donde se presentan algunos gránulos de piroxenos y magnetita de forma eudral y subedral (muestra 1290, anexo petrográfico).

#### d. Ambientes y Relaciones Estratigráficas.

Las primeras manifestaciones que dieron lugar a la formación del cráter Nexpayantla fueron predominantemente lávicos, es decir, de baja explosividad, desarrollándose en un ambiente continental tranquilo, donde las lavas se derramaron de una manera fluida sobre una topografía al parecer poco irregular, deducido esto último por las características de su distribución y constancia

de sus espesores.

Sin embargo, dado el rápido desarrollo de los suelos, la amplia dispersión de los productos piroclásticos y el gran volumen que implican estas lavas, no es posible observar las relaciones que guardan con las rocas que la subyacen, que -- constituyen el basamento del volcán.

Le sobreyacen en forma transicional, andesitas porfídicas pertenecientes a la unidad superior.

#### e. Espesor y Edad.

El espesor aflorante de esta unidad puede calcularse en - 400 m. en la Barranca Nexpayantla, aunque se considera que en total pudiera alcanzar más de 700m., tal vez hasta 1000m.

En cuanto a la edad, no se tienen dataciones precisas de estas rocas, aunque se les considera una Edad Plioceno Tardío ya que se supone que sobreyacen a rocas volcánicas de la Serie volcánica Xochitepec cuya edad es del Mioceno Tardío - -- 13.5-18.1 m.a. (Schlaepfer, op. cit.), además, las direcciones de declinación paleomagnética siempre son normales, aspecto que sugiere que el crecimiento de este volcán es muy reciente y de forma rápida (Mooser, et. al. 1974). Por otra parte, Robin (1981), afirma que las rocas más antiguas para la zo-

na centro-oriental del Eje Neovolcánico, no exceden de 1.6 -- m.a. (Pleistoceno Temprano).

## B) UNIDAD SUPERIOR

### a. Definición.

Esta unidad está constituida por una secuencia de lavas - que varían de andesitas ácidas a dacitas, intercaladas con -- brechas volcánicas y algunas tobas, cuya ritmicidad se observa mejor en la parte superior de la misma. En dicha secuencia se presentan varias facies petrográficas en las que se incluye un evento tardío de mayor acidez (riodacítico), aunque de poca - extensión.

### b. Distribución.

Su distribución es más restringida que la unidad inferior, aflora principalmente en la estructura conocida como el "abanico" hasta el pico de "Ventorrillo" a 5000m. de altura, en - el Cerro Ventorrillo y en la parte superior de las laderas en la barranca o cañada de Nexpayantla, así como el Cerro Tlamacas y en algunos otros puntos más. (Consultar el plano geológico anexo).

### c. Características Litológicas y Petrográficas.

En la parte inferior predominan las andesitas ácidas - -- ( $\text{SiO}_2 = 61.74\%$ , ver anexo de análisis químicos) de color gris,-

con textura porfídica que muestran fenocristales de plagioclasas de cristalización inicial, y con vidrio pardo claro de naturaleza ácida y magnetita intersticiales, indicando 2 etapas distintas de cristalización. Se aprecian también algunos cristales con signo de corrosión y otros con un ligero zoneamiento. (M.1296).

En algunas zonas, sobre todo en las correspondientes a la parte superior de la secuencia, se observa una disminución en el tamaño y abundancia de los fenocristales, hasta llegar al punto en que la textura se vuelve totalmente afanítica, en relación con la roca anterior; se tienen cristales bien definidos de opx<sup>1</sup> y un grado mayor de oxidación, apreciable incluso en muestra de mano. (M. 1294). La clasificación de estas rocas es la de andesitas ácidas y dacitas, ya que químicamente se encuentran muy cerca del límite de estas últimas con  $SiO_2=63.1\%$  (consultar anexo No.2).

Estas rocas se encuentran alternando con brechas, constituidas por capas gruesas de 3 a 4m. de espesor. De manera general se presenta una intensa oxidación en la parte superior de la secuencia, así como un fracturamiento regular perpendicular a las diferentes capas.

Las brechas volcánicas están constituidas por fragmentos

1 opx (ortopiroxeno).

angulosos de lavas andesíticas con tamaños muy variables, desde 0.15 a 0.01m; cementados por un material arcilloso completamente oxidado; al parecer estos horizontes se produjeron por "autobrechamiento". (Fig. IV.1).

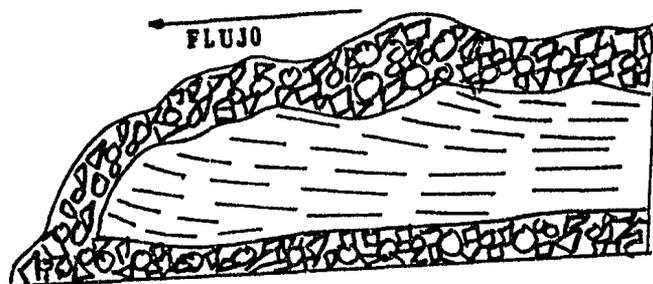


Fig. IV.1. Diagrama que ilustra los "frentes" de bloques de lava que presenta un flujo que ha sufrido "autobrechamiento"

(Mc Donald, 1972).

Esporádicos horizontes de hasta 0.5m. de tobas andesíticas muy oxidadas, afloran un poco abajo del Pico "Ventorrillo", son muy deleznales y porosas y contienen además de fragmentos líticos, cristales de andesita, augita e hiperstena, en una matriz vítrea con gran cantidad de óxidos. (M. 1213, anexo petrográfico).

El último episodio que completa este evento, originó rocas muy porfídicas con abundantes fénocristales de plagioclasa sódica: oligoclasa o andesina-oligoclasa y algunos otros de augita y escasos de ortopiroxeno. Su matriz está compuesta por

microlitos de plagioclasas, magnetita, algunos ferromagnesianos alterados a hematita; en un vidrio pardo de naturaleza -- ácida, en donde se pueden observar trazas de biotita, derivadas probablemente de la alteración de affboles. (M. 1285,1286).

Cabe señalar que estas rocas, cuyos afloramientos se restringen al Cerro Tlamacas y algunos puntos localizados entre - Tlamacas y "El Ventorrillo", son clasificadas como dacitas, - aunque los datos químicos indican que se trata de riodacitas ( $\text{SiO}_2 = 70.3\%$ , Consultar anexo No. 2).

#### d. Ambiente y relaciones estratigráficas.

En relación con la unidad inferior, se presentan productos más diferenciados, de composición más ácida que indican un vulcanismo de mayor explosividad lo cual es evidenciado por las tobas y brechas de la parte superior, aun cuando para la mayoría de estas últimas se considere que hayan sido originadas por procesos de autobrechamiento. Además, en la parte media-inferior - de esta unidad, se encontró un horizonte brechoide compuesto -- por grandes bloques de lava andesítica con más de 1.5m de diámetro, cementados por material pumítico de color amarillento y ceniza que indica un período de explosividad intensa.

En cuanto a las relaciones entre esta unidad superior y - las unidades de roca posteriores que corresponden al nuevo co-

no, se encuentran en discordancia angular, mostrando una posición muy complicada, debido a que la intensa erosión que atacó al Cráter Nexpayantla, así como su parcial destrucción, dejaron sólo algunos remanentes extremadamente irregulares, que no fueron totalmente cubiertos por los nuevos productos emitidos, ocasionando que en algunas zonas se presenten traslapes, como en los lomeríos inmediatos a Tlamacas.

e. Espesor y Edad.

Se estima que el espesor de esta unidad constituye el volumen más importante de material con más de 1200m; sin considerar los espesores desconocidos de las rocas que ya han sido erosionadas.

Estas rocas debieron haberse emplazado en forma continua a las rocas de la unidad inferior, sugiriéndose una edad correspondiente al Pleistoceno Temprano.

B. CONO RECIENTE.

El cono reciente o cráter principal que conforma el volcán Popocatepetl, corresponde a una nueva etapa de reactivación del volcán, que se sobrepone al antiguo volcán Nexpayantla en forma parcial. Los productos emitidos por esta nueva estructura reflejan una explosividad mayor, pues presentan productos piroclásticos de composición tanto básica como áci-

da, además espesos derrames de una roca andesítica con textura porfídica, que integran un cuerpo de roca al que se llamará informalmente Formación Popocatépetl.

## 2. Formación Popocatépetl.

### Definición y Nombre.

Con el nombre de Riodacita Popocatépetl, Fries (1965) designó a las rocas que integraban la parte principal del volcán, sin embargo Schlaepfer (1968) hace notar que la litología de esa área incluye además de riodacitas, dacitas, latitas y algunas otras rocas, por lo cual restringe dicho nombre a los materiales más recientes que forman la parte superior del actual cráter. Cabe aclarar que las latitas constituyen uno de los miembros de la serie magmática shoshonítica y es muy probable que el uso de tal concepto sea impropio, pues este no concuerda con los demás miembros de tendencia netamente calcoalcalina, que es la serie magmática en la que se incluyen las rocas del Popocatépetl. Este aspecto será corroborado más adelante, con base a los conceptos petrológicos actuales.

Por otra parte, dadas las discrepancias encontradas entre los datos químicos y petrográficos aquí expuestos, con los anteriormente mencionados, se consideró más oportuno, asignar informalmente el nombre de Formación Popocatépetl, al

conjunto de rocas constituido por andesitas microlíticas grises, andesitas y dacitas porfídicas de color negro, que tienen intercalados algunos horizontes de tobas, formadas por cenizas básicas y por material pumítico. Esta formación se puede separar en 2 miembros, cuyas diferencias permiten distinguirlos, incluso a través de fotografías aéreas, por la morfología y colores contrastantes que presentan.

#### A. MIEMBRO INFERIOR

##### a. Definición.

Esta unidad está constituida por derrames de andesita microlítica con piroxenos e incluye algunos horizontes delgados de brechas pumíticas y tobas de composición andesítica.

##### b. Distribución.

Se encuentra aflorando en las partes inferiores del cono principal, extendiéndose irregularmente en torno a él debido a la influencia de la estructura anterior, al noreste; sin embargo, en las demás zonas llegan cuando menos hasta el límite arbolado del bosque sobre la cota de 3700m.s.n.m. aproximadamente. (Ver plano geológico).

### c. Características Litológicas y Petrográficas.

Las rocas que caracterizan esta unidad son andesitas de color gris claro, esencialmente afaníticas, aunque hacia la parte superior se vuelven ligeramente porfídicas. Se presentan en forma masiva, con capas poco definidas. Su mineralogía está constituida por microfenocristales de: augita, con o sin ortopiroxeno, plagioclasa intermedia de los tipos de la andesina y labradorita, además escasos microfenocristales de olivino con rasgos de reacción, sobre todo en los últimos derrames, donde incluso se observan cambios importantes, ya que en esas rocas fueron las únicas donde se encontraron cristales bien definidos de anfíboles (oxihornblenda). Además, es posible detectar trazas de biotita, oligoclasa-andesina y clinopiroxeno. La matriz en todos los casos está formada por microlitos de plagioclasas incluidos en un vidrio de color pardo muy claro, de tipo ácido, con magnetita intersticial. (M. 1287 y 1288).

Los afloramientos de estas rocas presentan diaclasamiento muy frecuente con forma curvilínea, en los miembros más "ácidos" debido a su viscosidad, formado al momento en que se enfriaban y a la abundancia de vidrio.

A este evento se asocian los numerosos diques que afloran en la porción SE del volcán, que poseen una mineralogía similar a las rocas antes descritas, su textura porfídica va-

rfa únicamente por la orientación de los microlitos y la mayor parte de los fenocristales. También se incluyen diques -- aislados con 2m. de espesor que tienen una orientación NW 25° (M.1289) aproximadamente, que cortan a las rocas de la Fm. -- Nexpayantla a la altura del Pico Ventorrillo, cerca de la cota de 4 700m. siendo su composición y textura semejantes a las rocas anteriores.

#### d. Ambiente y relaciones Estratigráficas.

Después de un período de aparente calma, que precedió a los últimos episodios eruptivos del volcán Nexpayantla, quedó una topografía bastante irregular, sobre la que se derramaron las andesitas de esta unidad inferior, bajo condiciones de alta explosividad, que se materializan por la presencia de horizontes pumfíticos.

Sobreyaciendo a dicha unidad, se presentan en forma aparentemente concordante, los derrames de andesita porfídica cuyo contacto es muy claro pues está formado por los escarpes -- dejados por estas últimas. Sin embargo, en la parte interna -- del cráter, es posible observar con claridad dicho contacto, el cual muestra ser ligeramente discordante, implicando ello que existió una interrupción posiblemente muy breve entre dichos eventos.

e. Espesor y Edad.

Dado que no pudo observarse el contacto inferior de esta unidad, se infiere que pudiera alcanzar un espesor de hasta - 800m, de acuerdo con la altura que presentan estos productos.

Debido al tiempo de reposo e intensa erosión a que estuvo sometido el volcán de base o Nexpayantla, de edad Plioceno Pleistoceno Temprano, se considera que la parte inferior de - la llamada Formación Popocatépetl, debe ser del Pleistoceno - Tardío.

B) MIEMBRO SUPERIOR

a. Definición.

Este miembro está compuesto por andesitas porfídicas de tendencia ácida, aunque de color oscuro, preferentemente negro, compuestas por piroxenos y olivino, intercaladas irregularmente con depósitos piroclásticos con poca o ninguna consolidación, de composición tanto básica como ácida.

b. Distribución.

Dada la alta viscosidad de estas coladas, no se extendieron más allá de la parte superior del cráter del Popocatépetl,

aflorando desde la cima del volcán hasta aproximadamente la cota 4600m. Por el contrario, los productos piroclásticos se dispersaron ampliamente en torno al cráter y de acuerdo con su carácter ya sea de caída libre o de flujo, tuvieron una -- distribución particular que incluso puede servir como criterio para distinguir a cada uno de ellos. Los primeros se distribuyen de manera más homogénea, sin importar las irregularidades de la topografía sobre la cual se asientan, además de -- extenderse a distancias considerables dependiendo de la tritución a que hayan sido sometidos los materiales, de la fuerza con que fueron expulsados y, de la velocidad y dirección de los vientos predominantes ; aspectos que serán tratados con mayor detalle en el capítulo de Vulcanología, baste con decir -- que en las partes más bajas del volcán, sobre las planicies -- de los alrededores, a 20km o más del cráter, se identificaron estos depósitos, aunque se sabe que su dispersión fue mayor.

En cuanto a los flujos piroclásticos, éstos quedaron confinados a los valles cercanos al cráter, a través de los cuales se canalizaron.

### c. Características litológicas y petrográficas.

Los derrames se presentan en capas muy espesas, de 5m. en promedio. Son andesitas de tendencia ácida ( $SiO_2 = 62.62\%$ ) -- Anexo #2), de color negro, con una textura típicamente porfi-

dica, compuestas por abundantes fenocristales de plagioclasas de tipo andesina y labradorita, mostrando gran parte de ellas un marcado zoneamiento; además se tienen cantidades subordinadas de augita, hiperstena y olivino reaccional magnesiano en forma de microfenocristales, posiblemente como relictos envueltos en una matriz vítrea de naturaleza ácida, ligeramente pardo, que constituye una elevada proporción del contenido total, además de algunos microlitos de plagioclasas y microcristales de magnetita. (M. 1293).

El alto contenido de  $\text{SiO}_2$  se atribuye a la directa participación del vidrio de la matriz, cuya composición altera los valores esperados para este tipo de rocas, dado que su asociación mineralógica es: (ol.)+Opx+Cpx+pl and. Dichas características sugieren una anomalía, que puede asociarse directamente con los procesos que originaron estas rocas, lo cual será tratado posteriormente.

Por lo que respecta a los depósitos piroclásticos de cada libre se observa que muestran tendencias opuestas, atribuidas a eventos volcánicos casi simultáneos. Por un lado se presentan horizontes de 10 y hasta 30cm. de material casi exclusivamente pumfítico de color amarillento, en fragmentos irregulares que van desde los muy finos (5mm.) hasta muy gruesos (64mm). En contraposición a estos, se presentan horizontes homogéneos y con buena gradación, de cenizas negras de tendencia básica,

de acuerdo con las descripciones macroscópicas, con algunos elementos pumfíticos, así como pequeños fragmentos de 2mm de lava andesítica.

También se presentan horizontes abundantes de lapilli de 4mm. en los cuales se presentan materiales tanto pumfíticos como andesíticos, generalmente bien estratificados y exhibiendo una clara gradación, ocasionalmente inversa, atribuible a erupciones continuas así como a la clasificación gravitacional, según las densidades de los materiales, pues por ejemplo el material pumfítico aunque ocupa un volumen mayor, tiene menor densidad que la mayoría de los demás materiales expulsados. De estos materiales, pueden distinguirse los procedentes de la cámara magmática de los constituyentes superficiales que obstruían el conducto principal, los cuales son partes fragmentarias de lavas o escorias.

Por lo que respecta a los flujos piroclásticos, sus constituyentes muestran una pésima clasificación, con materiales extremadamente finos, cenizas de .125 mm, y gruesos bloques de 20 cm., de composición predominantemente andesítica; presentándose en forma masiva y caótica.

Una descripción más detallada de estos productos puede encontrarse en el capítulo sobre Vulcanología.

#### d. Ambiente y Relaciones Estratigráficas.

Se considera ésta, la etapa más violenta con que fueron expulsados los productos volcánicos, en donde los materiales piroclásticos de caída aérea se depositaron tanto sobre el -- miembro inferior de la Fm. Popocatepetl, como sobre ambas unidades de la Fm. Nexpayantla, de manera discordante. En tanto que las lavas andesíticas, debido a su restringida distribución, cubren de forma ligeramente discordante únicamente el -- miembro inferior de la Fm. Popocatepetl, aunque al noroeste -- del cráter debieron estar en contacto con la unidad superior de la Fm. Nexpayantla, al nivel del Pico Ventorrillo.

#### e. Espesor y Edad.

El espesor de las coladas alcanza más de 450m., considerando la parte que pudo desaparecer debido a la destrucción -- de la cima del cráter, lo cual le dá un aspecto truncado.

Los espesores de los depósitos piroclásticos dependen de su distancia al punto de emisión, pudiendo establecerse que -- los de caída aérea alcanzan en total hasta 15m. en promedio, en lugares cercanos al volcán; en tanto que los de avalancha, son más variables, de 3m., y algunos hasta de 8m., aproxima-- damente.

Aún cuando no se contaron con dataciones precisas de las lavas que conforman esta unidad, dada su asociación con las manifestaciones piroclásticas, cuyos principales eventos han sido datados en  $4980 \pm 50$  y  $1230 \pm 90$  años (Robin, 1981) para nubes ardientes de tipo San Vicente, puede asignarse una edad holocénica o Reciente. Algunas de las dataciones más recientes realizadas en horizontes de pómez, revelan edades de  $965 \pm 60$  y  $450$  años (Heine y Heide Weise, 1973) y de  $880 \pm 80$  años para una muestra de madera carbonizada (Delibrias, G.: - en Robin, 1981), que confirman la actividad histórica del volcán.

#### - DEPOSITOS GLACIALES Y ALUVIALES.

Son depósitos que se formaron en tiempos muy recientes, - están íntimamente relacionados con los períodos de reposo que permitieron la acumulación de grandes volúmenes de nieve que - originaron la formación de un pequeño glaciar.

Las evidencias de la formación de tal cuerpo de hielo que podría deberse a un cambio general del clima, se manifiestan - principalmente por las formas que los valles presentan, que sin duda fueron originados por procesos glaciales. Prueba de ello, lo constituye la morrena terminal identificada a 4100 m.s.n.m. en el valle formado por la Barranca Ventorrillo (Tenenepango) que tiene la típica forma de "U" que caracteriza a los valles

glaciares.

El depósito o morrena se caracteriza por la disposición caótica de sus elementos, una mala clasificación de éstos con un predominio de los bloques angulosos y subangulosos de lava andesítica con diámetros entre 0.5 y 1m. o más; además presentan estriaciones y superficies pulidas debido a la abrasión sufrida durante su transporte. Están cementados por una matriz compuesta por material arcilloso de color ocre debido a la oxidación de los ferromagnesianos que contiene; su espesor es de 5m. aproximadamente.

En lo que respecta a la edad del depósito, se cuenta con dataciones de C-14 realizadas por Heine (en Ortega, 1979) en diversas morrenas y suelos fósiles identificados en la Sierra Nevada. De ahí se obtiene, para las morrenas más viejas, una edad de 32 000 años, que probablemente corresponda a la de esta morrena, aunque se han reportado edades más recientes de 12 000, 10 000, 9 000, 3 000 y 2 000 años. Los diversos abanicos aluviales que se localizan más al norte y se consideran evidencias de procesos glaciales posteriores, podrían corresponder a sucesos ocurridos en las últimas edades mencionadas.

Por otra parte, se pudo identificar en la porción SW del volcán, la existencia de suelos fósiles que representan periodos de tranquilidad volcánica y están compuestos principalmen

te por cenizas oscuras que se han transformado en un material arcilloso donde resaltan fragmentos de material pumítico que aún no se ha transformado. Dichos horizontes tienen un espesor de 0.5 a 1m. y se intercalan entre capas de pumita, rasgo que permite correlacionarlos con los horizontes de los suelos fósiles que Heine (op. cit.), dató en 21 000 -26 000 años, y utilizó como horizontes índice al efectuar correlaciones.

Los abanicos aluviales de los valles de la cara Norte -- del volcán, muestran periodos alterados de aluviación que -- fueron consecuencia de las múltiples glaciaciones que sufrió el Popocatepetl. Tales depósitos indican periodos de retroceso del glacial así como periodos de actividad volcánica cuando el material caliente expulsado fundía ciertas cantidades -- de hielo que escurrían acarreando gran cantidad de material -- suelto. Mecanismos que debieron producir numerosos lahares, -- reportados por White (1951) hacia la parte Norte del volcán y en la Barranca Ventorrillo, en donde se reconocieron a 4250 m. de altura.

Los depósitos aluviales más recientes cubren extensas -- áreas de las faldas del volcán desarrollando espesos suelos -- a expensas principalmente de los más recientes depósitos piroclásticos.

#### IV.2. ASPECTOS PETROLOGICOS Y GEOQUIMICOS.

Correlacionando la información petrográfica aportada en el tema anterior con las características geoquímicas de las diferentes unidades de roca que integran el volcán Popocatepetl, se realiza un breve análisis petrológico que permite mostrar la evolución que han tenido sus productos a través del tiempo.

A continuación se muestra una síntesis de las principales asociaciones mineralógicas que presenta el paquete de rocas de nominadas como Fm. Nexpayantla, aclarando que los detalles de las mismas pueden consultarse en el inciso anterior, así como en los anexos correspondientes.

1. Magnetita (mg) en pequeños cristales euedrales y subedrales, que sugieren una cristalización precoz; olivino (ol), en forma de fenocristales; presencia o ausencia de ortopiroxeno (Opx); clinopiroxeno (Cpx); y plagioclasas (Pl) del tipo de labradorita y andesina en forma microlítica. En forma sintética se puede expresar así:  $mg + ol \pm Opx + Cpx + pl$  (labr-and), presentando una textura afanítica y microlítica.
2.  $\pm (Opx) + Cpx + pl$  olig-and + mg (anedral) con una textura porfídica y en ocasiones afanítica.
3.  $\pm (mg) + pl$  olig + Opx + Cpx + trazas de anfibol (Anf) + -

biotita (Bio) en forma reaccional + pl (oligoclasa) + Opx + Cpx, con una textura extremadamente porfídica, que permite observar con claridad los 2 periodos de cristalización en los cristales que forman la roca, específicamente las plagioclasas tanto en forma de fenocristales, como de microlitos (cristalización tardía).

Es característico observar la estabilidad del Cpx en todos los miembros de la serie, en tanto que las plagioclasas muestran cambios en su composición, desde labradorita hasta oligoclasa. La desaparición de olivino en las rocas "básicas" y la aparición de anfíboles y micas (en trazas) en las rocas "ácidas", sugiere que pudieron ocurrir procesos de cristalización fraccionada en la diferenciación sufrida por esta secuencia de rocas. (Ver Anexo #1).

Por lo que se refiere a la Fm. Popocatepetl, se observa que presenta las siguientes asociaciones:

1. O1 (Reac) + Opx + Cpx + pl (and); con una de textura afanítica.
2. Opx + Cpx + pl (Olig) + Anf., con textura porfídica.
3. O1 + Opx + Cpx + pl (Labr-and), con textura porfídica, típica de las andesitas.

Las asociaciones mineralógicas observadas en los cuadros anteriores, permiten mostrar la evolución que han tenido las rocas del Popocatepetl, dicho aspecto queda reforzado con los datos químicos de las mismas. (anexo No. 2), donde se observa, en primera instancia, un incremento progresivo del contenido de  $\text{SiO}_2$  que va de 57.94 a 70.3%, para las rocas obtenidas de la Fm. Nexpayantla. Dichos valores aparentemente son altos al compararlos con la mineralogía, así por ejemplo la roca más básica que contiene fenocristales de olivino primario, se clasificó como andesita basáltica, aún cuando el contenido de  $\text{SiO}_2$  no se encuentre entre el rasgo de 53-56%, de acuerdo con Taylor (1969). En tanto que la roca más ácida con 70.3% de  $\text{SiO}_2$  (riodacita), se aleja mucho del valor más próximo que es de 63.10%, de igual forma, se observa un decremento de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , desde 20.23 hasta 15.56%, (anexo No.2) que coincide con la disminución del contenido de plagioclasas; tales valores caracterizan a las rocas de la serie magmática calcoalcalina que es representativa de los márgenes continentales activos.

Los valores más elevados de  $\text{FeO}_T$  pueden relacionarse con la cristalización precoz de magnetita, asimismo, la desaparición de olivino, se puede asociar con el decremento que se presenta en  $\text{MgO}$  (anexo No. 2).

Por otra parte, estas rocas muestran una tendencia evolutiva bien definida, desde los miembros básico-intermedio hasta

los ácidos, como se puede apreciar en el diagrama AFM mostrado en la Fig. IV.2a, a diferencia de las rocas de la Fm. Popocatépetl, que parten de miembros intermedios, y siguen una línea evolutiva corta, en donde el elemento superior (M-7) que debería encontrarse más cercano a la esquina "A", se aleja más que los elementos inferiores, lo cual sugiere su aparente independencia de este "trend" evolutivo. Esta característica puede apreciarse también en las Figuras IV.3 y IV.4, en concordancia con las características petrográficas ya descritas, aún cuando es observable un incremento de 61.05 a 62.62%, de  $\text{SiO}_2$ .

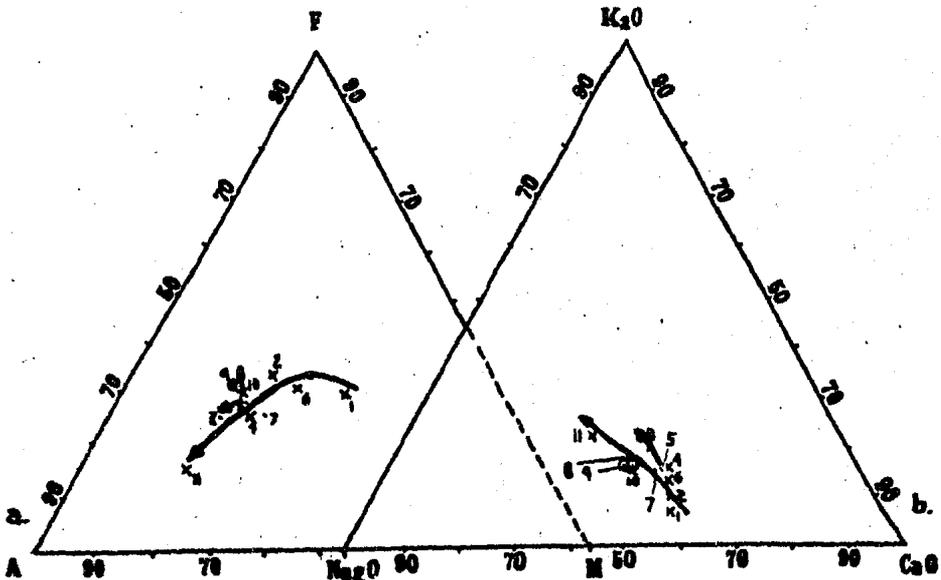


Fig. IV.2 a. Diagrama AFM (A=Na<sub>2</sub> + K<sub>2</sub>O; F=FeO + 0.9 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; M=Mg)  
b. Diagrama CKN (C=CaO; K=K<sub>2</sub>O; N=NaO)

Para las rocas del volcán Popocatépetl.

X Fm. Popocatépetl; • Fm. Nexpayantla; y ⊙ "Xenolitos" Graníticos.

En la misma Fig. IV.2a. puede observarse que la evolución se produce sin enriquecimiento en hierro (F), lo cual es característico de la serie calcoalcalina; además, en el diagrama --CKN(b), se aprecia un "trend" de evolución normal, es decir, andesita basáltica-andesita-andesita ácida-dacita-riodacita, para la Fm. Nexpayantla, y de andesita a andesita ácida-dacita, para la Fm. Popocatépetl, quedando al parecer en este caso, interrumpido su ciclo evolutivo. Estas observaciones apoyan la teoría antes expuesta que propone 2 diferentes etapas para el Popocatépetl.

Otro aspecto que permite distinguir químicamente ambas secuencias de rocas, lo que es el escaso contenido en  $Fe_2O_3$  que muestran las rocas de la Fm. Popocatépetl, de 0.16 a 0.33, lo cual explica un grado de oxidación mucho menor con respecto al presentado por las rocas de la Fm. Nexpayantla. Puede observarse un detalle en los extremos superiores de ambas series, que es la presencia de pequeñas cantidades de  $SO_3$  (0.03 y 0.07%), que sólo se detectaron en esas muestras.

Por otra parte, el carácter calcoalcalino de las rocas que integran el Popocatépetl, queda confirmado mediante el Diagrama mostrado (Fig. IV.3), donde se observa que todas las rocas caen dentro o muy cerca del dominio de la serie calcoalcalino o también conocida como serie de hiperstena. Para reafir-

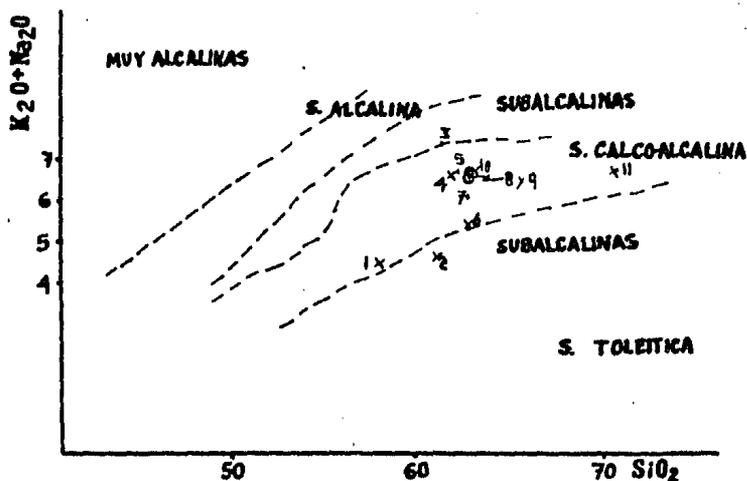


Fig. IV.3 Diagrama  $K_2O + Na_2O - SiO_2$  para las lavas del volcán Popocatepetl. Schwarzer y Rogers, (1974) (Demant, 1975).

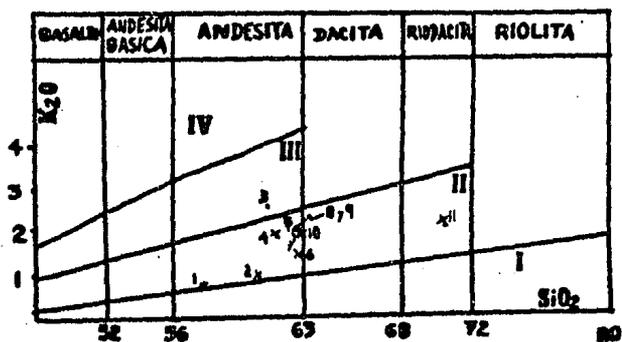


Fig. IV.4 Diagrama  $K_2O - SiO_2$  para las rocas del Popocatepetl. - I.S. Toleítica. II.S. en Calcoalcalina III.S. Calcoalcalina-po tásica IV.S. Shoshonítica. Peccerillo-Taylor (1976) (Aguirre, 1983).

mar lo anterior, se puede recurrir a la Fig. IV.4, en donde - además, se observa un amplio predominio de las andesitas por - sobre los demás miembros.

#### IV.3. Geología Estructural.

La mayor parte de las estructuras observadas en el área de estudio son atribuidas a los procesos que edificaron el volcán Popocatepetl, pudiendo distinguir los siguientes sistemas de fracturamiento:

De manera general, se reconoce un patrón de fracturamiento de tipo radial, visible en las zonas Este, Sur y W del cono; que sigue en la mayoría de los casos, el sistema de drenaje típicamente radial. Tal disposición se considera producto del empuje ejercido por el ascenso del magma hacia la superficie, fracturando la corteza de tal manera que dió lugar a la morfología que actualmente se observa; aunque por otra parte, en algunas de las fracturas más cercanas del cráter y por ende, al conducto principal, se instalaron algunos cuerpos someros, que ahora son observables en la parte SE del volcán.

Por lo que respecta a la zona comprendida por la Barranca Nexpayantla, se manifiestan claramente varios sistemas de fracturamiento que presentan en general, cierta regularidad y representan rasgos muy prominentes.

Las principales fracturas sobre las cuales se levanta la

imponente Barranca de Nexpayantla, ejercieron gran control - - sobre el relieve, el drenaje y las formas erosivas. La fractura principal de este sistema tiene una orientación preferen- - cial de N 68° W la cual se bifurca siguiendo las direcciones - N 23° W y N17°W, así como algunas otras "desviaciones"; co - - rrespondiendo la última a la "Barranca del Cerro Ventorrillo". Este sistema se prolonga desde la base del "Abanico", bajo el pico conocido como Ventorrillo, hasta la terminación de la - - barranca, a lo largo de aproximadamente 5.5 km., siendo su -- principal caracterfstica, la profundización ejercida sobre el relieve.

En la parte del "abanico", se presentan 6 grandes fractu- ras, muy superficiales que convergen hacia la parte basal superior de la Barranca de Nexpayantla, con una longitud máxima de 900m. (Ver plano geológico).

Un sistema muy persistente y con un alto grado de penetra- ción de hasta cientos de metros sobre la roca afectada, es - - aquél que presenta una disposición perpendicular a las fractu- ras principales de la Barranca de Nexpayantla, encontrándose - además una preferencia casi exclusiva por las laderas occiden- - tales. Este sistema puede subdividirse en 3 grupos, tomando en cuenta únicamente la variación de sus orientaciones, ya que -- tienen longitudes similares que en promedio serían de 350m. -- Un grupo de 23 fracturas presenta una orientación de N27°E, el 2do grupo formado por 9 fracturas, tiene un rumbo general de - N80°E y el último, con 7, se orientan aproximadamente E-W.

El espaciamiento que muestra este sistema de fracturas es de 100m. en promedio, presentando la mayoría de ellas, amplias aberturas del orden de 5 hasta 50m.

Dentro de este sistema de fracturamiento, se puede -- mencionar un grupo de fracturas que muestran cierto desplazamiento al parecer producido por gravedad, de acuerdo con las observaciones realizadas. Este sistema se encuentra afectando a prominentes escarpes que constituyen la parte media de la ladera oriental de la Barranca de Nexpayantla, en cuya base se observa un desplazamiento de más de 100m. Los movimientos tensionales que originaron este sistema, aprovecharon las zonas de debilidad comprendidas por los horizontes de brecha volcánica, en donde se llevó a cabo su emplazamiento. En total son 5 "fallas" orientadas N 3°E y N15°E, con desplazamientos estimados en 45m y cuyos planos de desplazamiento presentan una forma curva, con 45°E de echado, en promedio, (Ver plano).

Por otra parte, es posible visualizar con claridad una mayor disposición al fracturamiento por parte de las rocas -- que forman el Pico del Ventorrillo, consistentes en intercalaciones de gruesos flujos de lava con brechas volcánicas, siendo dicho fracturamiento perpendicular a los flujos y de forma muy persistente cada 20 o 50cm., lo cual en cierta forma propicia la frecuente caída de bloques en la Barranca Nexpayantla.

En las laderas orientales de esta Barranca, en donde se tienen afloramientos de roca masiva, existen varias direcciones de fracturamiento que pueden determinarse a niveles muy locales. Entre ellos se tiene un intenso fracturamiento cada 3cm., con un rumbo de  $N59^{\circ}NE$  y  $70^{\circ}NW$  de buzamiento. A la altura del albergue conocido como "Queretano" a 4500m, se observa otro intenso fracturamiento cada 3 a 10m. con orientación  $N25^{\circ}E$  y  $36^{\circ}$  de echado al NE.

En lo que respecta a las rocas del cono principal, se observa también un fracturamiento perpendicular a los flujos, sólo que espaciado en forma poco regular.

La mayor parte del fracturamiento antes mencionado es debido al diaclasamiento que se desarrolla en las rocas ígneas como producto de su enfriamiento, siguiendo las lavas, un régimen posiblemente de tipo "turbulento".

Finalmente se mencionarán en esta parte a las grietas glaciares, rasgos que en realidad no deberfan considerarse como estructuras geológicas propiamente dichas, ya que no están afectando a rocas, sino a la capa de hielo permanente. Pero, dado que esto puede considerarse en cierta forma como una roca, además de que dichas grietas resaltan como estructuras características del Volcán, son las razones por las cuales se incluyeron en este inciso.

Existen 12 grietas principales, a partir de las cuales - derivan algunas otras de menor tamaño; no siempre son visibles ya que llegan a quedar cubiertas por la nieve, según la precipitación de ésta y la época del año, como lo demuestran las fotografías tomadas en 1945 que revelan una sola grieta en la parte superior del cráter sin observar indicios de la existencia de otras.

Poseen una forma curvilínea, en contraste con la línea que forma la curva del borde del cráter, definiendo una dirección preferencial de NE  $81^\circ$  para estas. En la superficie llega a tener desde 0.5m. hasta más de 3m. de separación y una longitud muy variable, aunque por lo regular las principales llegan a tener 500m. de longitud.

Estas grietas están agrupadas en la parte media y superior del cono, de la zona cubierta por las nieves.

#### IV.4. Geología Histórica.

Una descripción generalizada de los principales eventos que actuaron en el valle de México, enfocada particularmente a la zona del Popocatepetl, será descrita en los siguientes párrafos desarrollando con mayor detalle los aspectos vulcanológicos en el capítulo correspondiente.

Al iniciarse la Era Cenozoica, cuando ocurrieron las fases finales de la Orogenia Hidalgoana o Laramídica, que plegaron las secuencias sedimentarias marinas que cubrieron la mayor parte de México; la Cuenca de México fue afectada por múltiples levantamientos que originaron esfuerzos tensionales y fracturamiento en bloques, creando regionalmente un sistema de fosas y cuencas con hundimientos del orden de hasta 1000m. respecto a la región de Cuernavaca; de esta forma la Cuenca de México constituye un valle tectónico, en donde la Sierra Nevada, podría considerarse como una estructura de tipo "horst" - - - - (Schlaepfer, 1968). Durante el Oligoceno en dichas depresiones se efectuó un prolongado período de sedimentación continental acompañado con una incipiente actividad volcánica básica, de tipo fisural, y sedimentos lacustres, que en conjunto integran el Grupo Balsas, correspondiente a la primera de 7 fases volcánicas que se han reconocido para la porción central del Eje -- Neovolcánico Transmexicano (Mooser. et.al. 1974; S.P.P., 1982)

Ver fig. IV.

			TECTONISMO	EDADES
RELLENO MODERNO	7. GRUPO CHICHINANZIN	VULCANITAS DEL NORTE DE LA CUENCA	FRAGMENTACIÓN AL NE FRACT. AL E Y ENE FRACTURAMIENTO AL NE	CUATERNARIO
6. GPO. TRANSICION	GRUPO DE SIERRAS MAYORES			SUP.
3. GRUPO DE SIERRAS MENORES	4. GPO. GUADALUPE			MED.
2. GRUPO DEL TERCARIO MEDIO				INF.
1. GRUPO BALSAS				

Fig. IV. Fases de vulcanismo y eventos tectónicos de la Cuenca de México. (S.P.P., 1982; Mooser et. al., 1974).

Durante el Oligoceno Tardío y el Mioceno se desarrolla una gran actividad volcánica que origina extensos depósitos vulcanoclásticos correspondientes a una segunda fase, agrupando a las "Rocas volcánicas del Terciario Medio". Estas y las siguientes manifestaciones terciarias están asociadas a fracturas oeste-noroeste este-sureste, con cierta influencia de fracturas noreste-suroeste (SP.P., 1982).

Casi simultáneamente, se forma el Grupo de Sierras Menores que forman el "complejo basal" de la Sierra Nevada, Río Frío (prolongación al Norte de la Sierra Nevada) y Sierras de las Cruces (al Este de la Cuenca de México), y el grupo Guadalupe, al norte, las cuales constituyen la 3ra y 4ta fases, respectivamente. Dentro de la quinta fase, se llevó a cabo el desarrollo de las Sierras anteriormente mencionadas, erigiéndose el Volcán Nexpayantla hasta fines del Plioceno. Posteriormente, en el Cuaternario, se desarrollaron los conos y domos del Iztaccihuatl y el cono terminal del Popocatepetl, así como una gran cantidad de conos cineríticos en el interior de la cuenca (6ta. fase). La actividad del Popocatepetl continuó durante el Holoceno, mientras ocurría la última fase, representada por la Sierra del Chichinautzin, que obstruyó el drenaje que comunicaba la Cuenca de México con la del Río Balsas.

La actividad inicial en el volcán se considera de edad -

Pliocénica Tardía, y se caracteriza por la expulsión de lavas andesíticas que cubrieron grandes extensiones de terreno y -- que conforme se diferenciaron fueron aumentando su explosividad; emitiéndose también importantes volúmenes de brechas y lahares. Antes de cesar esta actividad, se emplazaron algunos derrames de naturaleza ácida, a través de diversos conductos secundarios, ubicados en los flancos de la estructura, mientras que las demás emisiones ascendieron a través del conducto principal, produciéndose al parecer el colapso de una parte del cráter, aunque sin llegar a destruirlo por completo, es decir, la ampliación del conducto puede considerarse como un estado prematuro de caldera. Una vez cesada la actividad del volcán Nexpayantla, se presentó un prolongado período de calma en el cual los agentes erosivos actuaron con gran intensidad sobre todo en las partes Sur y Este del mismo; dejando únicamente algunos vestigios de su flanco Noroccidental ("Ventorrillo").

La reactivación de la actividad volcánica durante el -- Pleistoceno medio y tardío, se combinó con los períodos de -- apogeo glacial, originando el crecimiento de la estructura y un sistema de depositación muy particular en donde los procesos erosivos y de transporte actuaron con gran rapidez sobre los materiales recién emitidos ya fuesen lavas o piroclastos de caída libre, pues al entrar en contacto con los campos de hielo y nieve, los derritieron produciendo corrientes de gran

Caudal, que depositaron los lahares que afloran en el flanco NW del actual volcán.

Las variaciones que tuvieron las etapas glaciales, también produjeron grandes cambios en la morfología del volcán, desde el punto de vista erosional y acumulativo como es el caso del labrado de los valles glaciares del norte de la estructura.

Durante la construcción del actual Cono se derramaron lavas andesíticas, que posteriormente fueron afectados por numerosos diques radiales atribuidos a las fuerzas de empuje del magma que fracturó la corteza, mientras que la actividad explosiva, representada por depósitos piroclásticos de caída libre y flujos de tipo nube ardiente, fueron las formas eruptivas que predominaron en los últimos episodios volcánicos, ocurridos durante el Holoceno, hasta nuestros días. La actividad histórica del volcán queda de manifiesto por las últimas emisiones de cenizas en 1919 (Murillo, 1940) y las constantes emanaciones gaseosas que se originaron cotidianamente.

## V. VULCANOLOGIA.

En este capítulo se expone uno de los aspectos más importantes en el estudio del volcán Popocatépetl, pues dada su actividad contemporánea, constituye un peligro latente para las áreas circunvecinas, ya que algunas opiniones sugieren que de reiniciar su actividad, ésta sería la naturaleza explosiva, - produciendo severos daños. Desde el punto de vista físico y - moral. Por lo contrario, también se podría considerar que las manifestaciones fumarólicas recientes, no representan más que las etapas finales del ciclo volcánico que antecederían a su extensión total.

Para comprender mejor el comportamiento y los mecanismos que puedan ocurrir en este volcán, se lleva a cabo un análisis geológico basado esencialmente en determinaciones granulométricas de diversos depósitos piroclásticos, para conocer algunas constantes físicas tales como: grado de explosividad, - periodicidad de actividad, etc. Por otra parte, a partir del conocimiento de las características de las principales fases que han tenido lugar durante la edificación del Popocatépetl, se contarán con mejores datos para prevenir las consecuencias de una nueva etapa de actividad volcánica.

## V.1. TIPO DE VULCANISMO.

El estado evolutivo en el que se encuentra el volcán Popocatépetl, así como las características de sus diferentes -- productos, permiten interpretar que en su desarrollo han intervenido una serie de fenómenos, cuyas manifestaciones han sido diferentes en tiempo e intensidad, es decir, no se puede hablar de un sólo tipo de erupciones volcánicas como se mostrará más adelante.

Para poder definir el tipo de erupción volcánica, fue necesario recurrir al análisis granulométrico de algunas de las muestras obtenidas en los depósitos piroclásticos situados al rededor del volcán, a diferentes distancias en relación al foco emisor que corresponde al cráter del Popocatépetl. Los parámetros obtenidos con dichos análisis, hace posible conocer algunas características importantes de los piroclásticos expulsados y permiten realizar comparaciones con depósitos similares de otros volcanes. A esto se debe sumar el carácter de lavas, en cuanto a composición, fluidez, etc., así como los diversos cuerpos o estructuras formadas durante su crecimiento, a fin de concebir el tipo de erupciones que se han presentado.

A continuación se expondrá brevemente el procedimiento seguido para la realización del presente análisis: Para cada

muestra se realizó un tamizado que permitió conocer el tamaño de los diferentes fragmentos y dibujar su histograma correspondiente, mostrando la clasificación y simetría de sus componentes. Posteriormente, se graficaron en papel de probabilidad, obteniendo las curvas acumulativas de frecuencia que hacen resaltar las proporciones de los componentes finos y gruesos. A partir de estas curvas se calculan el tamaño medio - - (Mz) o medida de tamaño, la desviación estándar gráfica inclusiva ( $G_{91}$ ) o medida de dispersión, y el sesgo (SKI) o medida de asimetría gráfica inclusiva (Folk, 1974), según las siguientes formulas:

$$Mz = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3} \quad G_{91} = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$$

$$S_{KI} = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

donde:  $\phi$  es el tamaño en escala PHI- $\log_2$  dmm. para una frecuencia dada.

De acuerdo con el Dr. Eduardo Aguayo (comunicación personal), se hace énfasis del empleo de estas fórmulas, pues con ellas se han obtenido resultados más cercanos a lo requerido en el tratamiento de sedimentos, que en este caso se pueden utilizar sin ningún problema en los materiales piroclásticos, pues también en ellos se involucran procesos sedimentarios. - Por otro lado, se ha observado que algunos autores en sus - -

análisis calculan en forma incorrecta sus parámetros, considerando por ejemplo como tamaño medio el valor  $M=\phi 50$ , el cual en realidad corresponde al de la mediana ( $M_d$ ) (Sánchez Rubio, et. al., 1984). Dado el uso frecuente de la escala  $\phi$ , es necesario conocer las diferentes equivalencias en cuanto a tamaño, las cuales pueden apreciarse en la tabla V.1.

T A B L A V.1

mm	$\phi$	TAMAÑO
254	-8	grueso
64	-6	fino BLOQUE
4	-2	grueso LAPILLI
2	-1	fino
1	0	
0.5	1	
0.25	2	gruesa
0.125	3	CENIZA
0.0625	4	
0.031	5	fina

(Williams y McBirney, 1979).

Algunos otros parámetros serán tratados en el curso de los siguientes párrafos.

#### A) DEPOSITOS PIROCLASTICOS DE CAIDA LIBRE

Los productos piroclásticos recientes o tefras, están ampliamente distribuidos en torno al cráter, formando gruesas columnas generalmente bien estratificadas y representativas de varios episodios explosivos, cuyas características han permitido separarlas en 3 unidades distintas que se muestran en

la Fig. V.1.

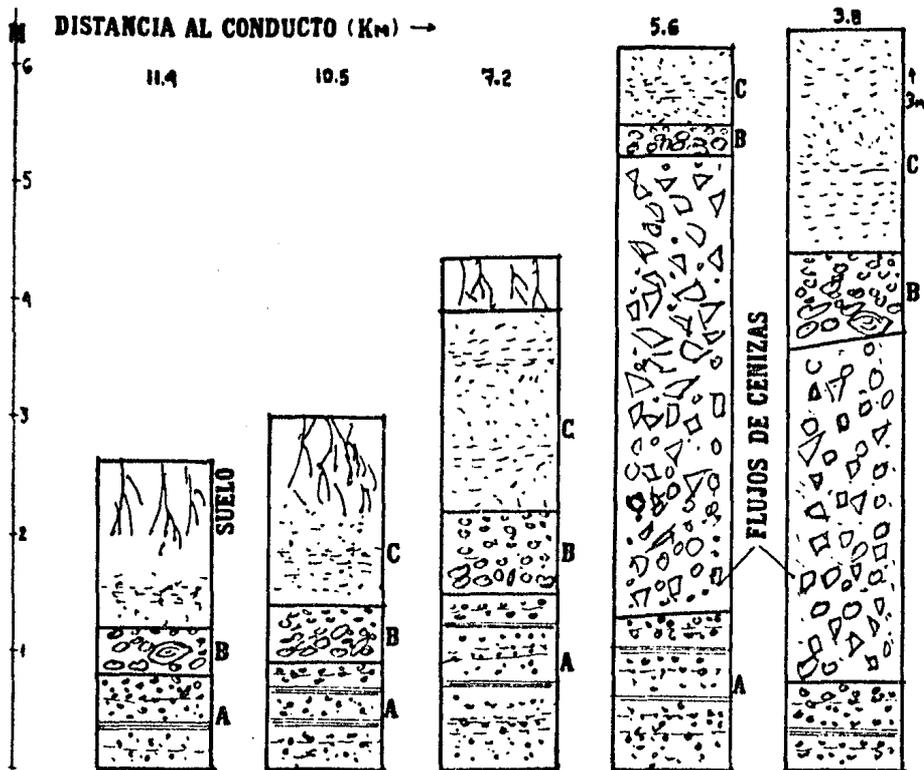


Fig. V.1. Columnas de los piroclásticos emitidos por el Popocatepetl.

UNIDAD A.

Esta unidad constituye la parte inferior de la secuencia de manifestaciones piroclásticas más jóvenes que se presentan, y en general está formada por horizontes más o menos homogéneos de lapilli fino ( $M_{Z\phi} = -0.9$ ) y cenizas gruesas ( $M_{Z\phi} = 0.2$ ), - cuya composición es de 75% de fragmentos de pómez, de color - pardo claro o gris claro a oscuro, y el resto, de fragmentos

líticos de composición andesítica.

La estratificación que se observa en este paquete, está bien definida y permite separar los diferentes eventos que lo formaron, incluyendo también a los ocasionales horizontes de ceniza fina de color negro que se encuentran en la parte media y superior del depósito.

Es necesario mencionar que en los horizontes superiores, se aprecia una ligera y muy sutil gradación inversa que va desde cenizas finas hasta lapilli fino.

En la fig. V.1 se observa el acomodo de los diferentes horizontes identificados en varios afloramientos, así como la variación vertical que va teniendo el espesor de la secuencia según sea su distancia al foco emisor.

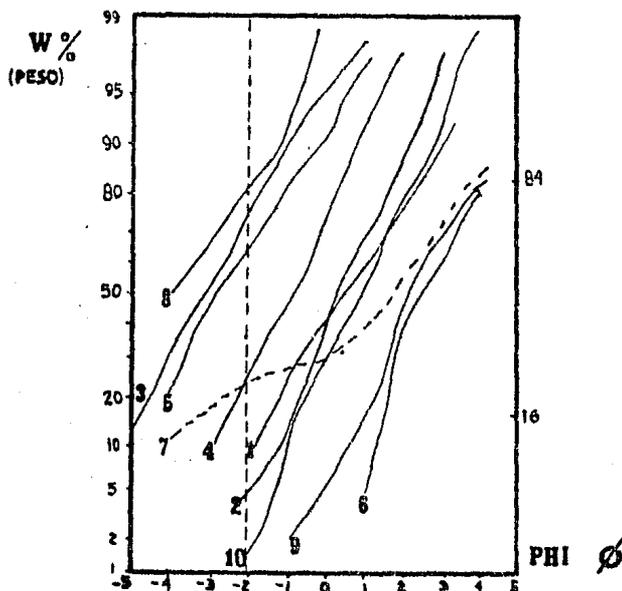


Fig. V.2. Curvas acumulativas de las unidades A (M,1,2 y 4), - B (M3,5 y 8) y C (M,6,9 y 10), mostrando el tamaño de sus -- constituyentes, así como su grado de clasificación. Mientras -- más recto sea el trazo de las curvas mejor será su clasificac-- ción notando que las M. 1 y sobre todo la #7 se apartan de di-- cha condición.

Las características granulométricas del depósito permi-- tieron dibujar algunas de las curvas de la Fig. V.2, donde es-- tán representadas por las muestras: #1, #2 y #4, ubicadas a -- 11.4, 10.5 y 7.2km. del cráter. El paralelismo de las curvas -- y su posición, indican la similitud de los fenómenos eruptivos que las originaron, con excepción de las curvas #7 y 1 que se apartan de tal tendencia general, sugiriendo la presencia o -- combinación de un fenómeno eruptivo diferente, como se verá --

más adelante; aunque para el caso de la muestra #1 se sugiere que un proceso de posible redepositación la haya podido afectar ya que en la figura V.5 por ejemplo, queda indefinido su carácter dentro de los campos ahí establecidos, es decir, depósitos de avalancha o de caída libre.

Por otra parte, los tamaños medios (Mz) representativos de este depósito muestran un decremento en relación con la distancia al conducto (Fig. V.3). La distribución del material de esta unidad fue más o menos concéntrica alrededor del cráter, aunque al trazar el mapa de isopacas correspondiente (Fig.V.4) se deduce que su depósito fue afectado por la acción de los vientos dominantes al momento de ser expulsados, definiendo -- un eje dispersión con una dirección de SE a NW. El mapa de isopacas presenta curvas abiertas en virtud de que sólo en ese -- sector se contó con la información de las muestras procesadas, aunque también en otros sitios se pudieron reconocer estos depósitos.

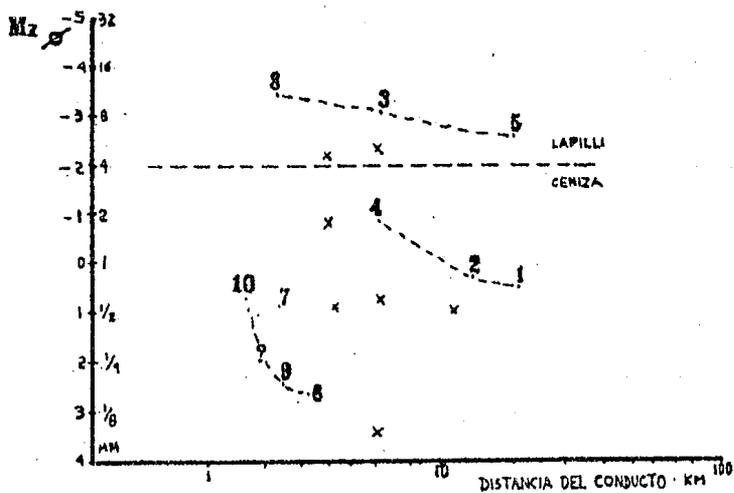


Fig. V.3. Gráfica del diámetro medio ( $Mz\phi$ ) en relación con la distancia del conducto emisor, que muestra las asociaciones -- de las diferentes muestras del Popocatepetl (.). Con (x) se representan los horizontes más recientes emitidos por el Chichonal.

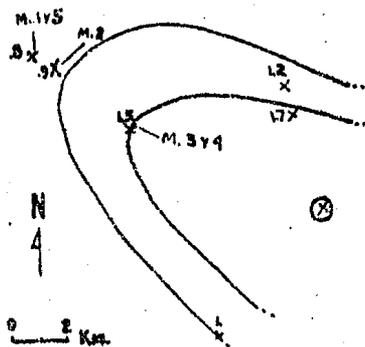


Fig. V.4. Mapa de isopacas para la Unidad A, en donde las curvas abiertas muestran una configuración elíptica debido a la influencia de los vientos dominantes.

## UNIDAD B.

Esta unidad esta constituida esencialmente por lapilli - grueso ( $M_z - 3.1$ ) de composición pumftica, con un color amari-- llo-beige, que forma el 70% de ésta, además contiene fragmen-- tos de andesita de color gris y escorias amarillentas de tama-- ños variables de 4 a 10cm. (10%), y cenizas gruesas que ocupan los espacios intersticiales (20%). Ocasionalmente se encuentran algunas proyecciones de bombas de 10 a 15cm. o fragmentos de - roca andesftica que alteran ligeramente la disposición general de las capas. En general el depósito muestra una clara grada-- ción normal aunque la estratificación en este caso, está un po-- co menos definida que en la unidad A.

Por otra parte, la  $M_z$  de esta última unidad es menor que la de la unidad B, mostrando además un decremento más acentuado conforme aumenta su distancia al conducto (Fig. V.3); asimismo el espesor de A resulta ser mayor que el de B.

Las características granulométricas de esta unidad (B), representadas por las muestras 3 (7.2km), 5 (71.4km) y 8 (3.3km), pueden deducirse de la Fig. V.2; observando que este depósito contiene las partículas más gruesas, en tanto que la cercanía de las curvas, su paralelismo y su forma, indican la homogeneidad del mismo.

## UNIDAD C.

Esta unidad está formada por depósitos de cenizas, gruesas y finas ( $M_{2\theta}=2.7$ ) de color negro o gris oscuro predominantemente. Con abundancia de pómez amarilla muy fragmentada. Se presentan en forma de capas muy finas, que gradúan hacia la parte superior, a materiales completamente sueltos (Fig. V.1), siendo común encontrar en esta unidad fragmentos de lapilli pumítico de color amarillo, y ocasionalmente de color negro. Este depósito es muy homogéneo y como se confirma con la Fig.V.8 se originó a partir de un evento de tipo freatomagmático, que son erupciones de gran explosividad. Su distribución aparentemente es homogénea de acuerdo con la observación de las fotografías aéreas, por lo que se deduce que los vientos no ejercieron gran influencia en su desplazamiento y aunque es difícil distinguir sus límites debido a la rápida formación de suelos se considera que se dispersaron ampliamente.

Los espesores aproximados, a una altura de 3700m., se puede estimar en un rango de 3 a 8m., de acuerdo con lo observado en las barrancas Ventorrillo y Seca (ver plano geológico), donde están bien representados por las muestras 6, 9 y posiblemente también por la #10 (ver figuras V.2 y V.3).

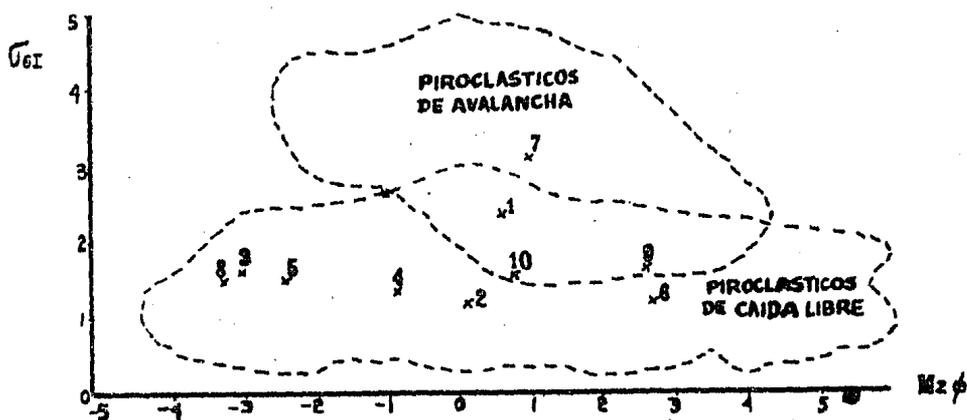


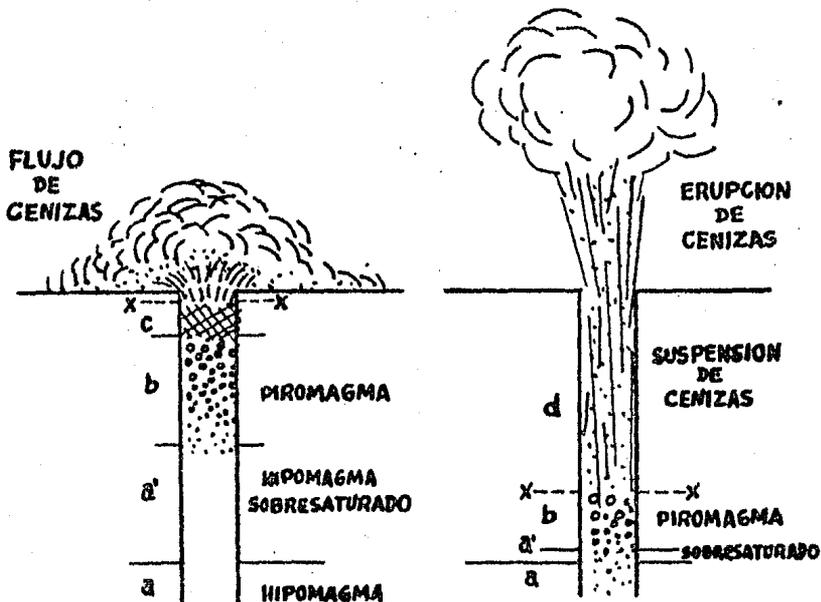
Fig. V.5. Gráfica que muestra los campos correspondientes a los piroclásticos de avalancha y los de caída libre en función de sus características granulométricas. Se aprecia como el depósito representado por la m. #7 es el único que queda definido como de tipo avalancha. (Walker, 1971).

#### B) Depósitos de avalancha incandescente.

En la Fig. V.5. se observa como la mayor parte de los depósitos estudiados, caen dentro del campo de los piroclásticos de caída libre (ash fall), sin embargo la muestra # 7 se encuentra en el dominio de los flujos de cenizas o avalanchas incandescentes (ash flow=nueé ardente), lo cual coincide con la descripción de campo de este depósito, es decir no muestra estratificación ni tampoco gradación, por el contrario, se presenta una amplia heterogeneidad de los tamaños, desde partículas finas de mm., cenizas gruesas y algo de lapilli, hasta algunos bloques de fragmentos de roca de hasta 20cm. Esta heterogeneidad se manifiesta también por la forma de la curva mostrada en la Fig. V.2 (muestra 7), localizada en la Barranca Seca, a 4100m. de altura. Su distribución está restringida a esta Barranca y parece ser un episodio intermedio entre los 2 pri-

meros (unidades A y B) ya que se encuentra en parte cubierto por B y por C (Fig. V.1).

Esta unidad es similar a la descrita por Robin (1981), - quién la considera como una "nueé ardente" de tipo Sn. - - -- Vicente. Este tipo de flujos piroclásticos representan un - - evento de gran explosividad y por lo mismo alta peligrosidad, por el poder devastador con el que se emplazan. Son producidos por el colapso gravitacional de las columnas de erupción, que en primera instancia tienen una densidad baja que es acelerada por la descomposición de los gases y desacelerada al contacto con la atmósfera. La parte superior, más ligera, tiene una temperatura y densidad menores que las atmosféricas, ocasionando que se levante. En tanto que la parte inferior de la columna, tiene una densidad mayor y está sujeta al colapso -- gravitacional, pudiendo generar flujos. (Williams y McBirney op. cit.) Ver Fig. V.6.



(Mc Donald, 1972)

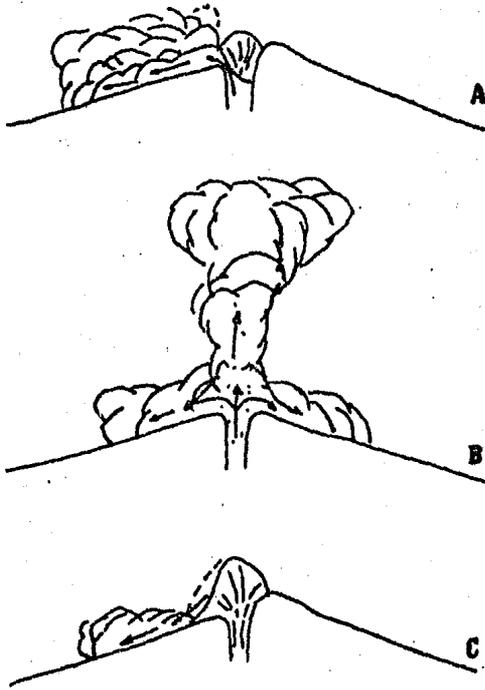
Fig. V.6. Diagrama ilustrando las diferencias entre una erupción normal de cenizas y una erupción con flujo de cenizas. La zona a (hipomagma) está saturada o subsaturada con gas; en la zona a' se inicia la sobresaturación, hasta llegar a b, en donde las burbujas de gas comienzan a aparecer (piromagma). En la zona c la mezcla de gas y líquido es retenida por la alta viscosidad del líquido. La línea X-X representa el nivel de explosividad y está en relación directa con la viscosidad del magma.

Este tipo de flujos se caracterizan por tener una gran movilidad que les permite alcanzar grandes distancias en poco tiempo (20-30 millas/hora), ocasionando una textura fina del -

tamaño de la arena (ceniza-lapilli), con gran riqueza de cristales, cerca del 90%, a diferencia de las "nueés peleanas". Además contienen cantidades subordinadas de bloques, bombas y - - fragmentos de roca de composición ácida o básica arrancados de la parte inferior de la cámara o conducto que permitió su expulsión. Es común observar una zonificación producto de la separación gravitacional del material, es decir, los cristales - se depositan cerca del cráter, mientras que las cenizas vítreas se dispersan a una distancia mayor (Williams, y McBirney, op.- cit.).

En un afloramiento a 5.6 km. al SW del cráter y una altura de 3600m.s.n.m. se identificaron características que concuerdan con los depósitos de este tipo, presentando gran abundancia de cenizas y lapilli gris claro, con bombas y bloques de basalto (con forma de coliflor) y fragmentos cristalinos de composición peridotítica, constituidos por clinopiroxenos y olivino, - - que de acuerdo con Streckeisen (1967) podrían clasificarse como wherlitas (M. #1284). Se encuentran además algunos bloques de - rocas graníticas que varían de granodioritas a dioritas, ambas con biotita y clinopiroxeno (M.1283 y 1292); para este depósito se estima un espesor de 4m.

La Fig. V.7. permite mostrar gráficamente las diferentes formas de emplazamiento de los flujos de cenizas, distinguiendo de ellos los de tipo Sn. Vicente que se han considerado con anterioridad.



(Mc Donald, 1972)

Fig. V.7. Diagrama que ilustra los diferentes tipos de avalanchas incandescentes que existen: a) Tipo Peleana, b) Tipo Sn. Vicente o Soufrière, c) Tipo Merapi.

c) Características eruptivas.

Finalmente, para la determinación de los distintos parámetros que permiten identificar los tipos de erupciones fue necesario realizar el cálculo del índice de dispersión (D) y el

Índice de fragmentación (F), de acuerdo con los métodos empleados por Walker (1971, 1981). El índice de dispersión (D) representa el área comprendida entre la isopaca correspondiente a -- 0.01 ( $T_{\text{máx}}$ ), siendo  $T_{\text{máx}}$ , el espesor máximo inferido para el depósito. En tanto que el índice de fragmentación (F), se define como el porcentaje en peso de los piroclásticos de tamaño menor a 1mm en el lugar en donde la isopaca correspondiente a 0.1 --  $T_{\text{máx}}$  cruza el eje de dispersión.

Considerando 3 sitios donde están bien representadas, las unidades A y B como son: 1-5, 2 y 3-4 (Fig. V.4) se obtiene una relación entre los espesores de éstas y su distancia al conducto, con el fin de obtener el espesor máximo ( $T_{\text{máx}}$ ) y poder posteriormente calcular el índice (D), (Fig. V.8). Las curvas formadas por los puntos graficados para cada unidad se van flexionando suavemente en forma logarítmica hasta alcanzar la distancia "0", que corresponde al punto de emisión de los materiales, y que indica el valor de la  $T_{\text{máx}}$  para cada depósito. Por el -- otro lado, dichas curvas se van haciendo asintóticas hasta llegar al punto considerado como  $T_{\text{mínimo}}$ . La Tabla V.2 muestra los valores obtenidos para  $T_{\text{máx}}$ .

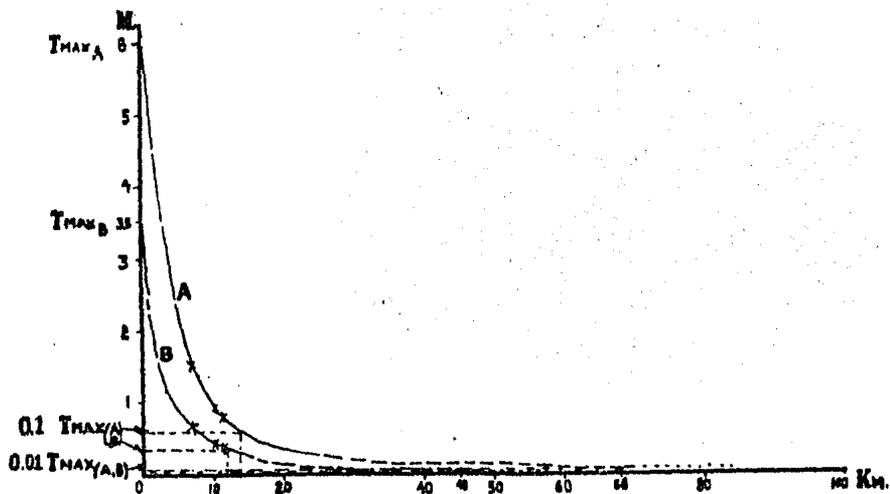


Fig. V.8. Curva de espesores para las unidades A y B a lo largo del eje de dispersión.

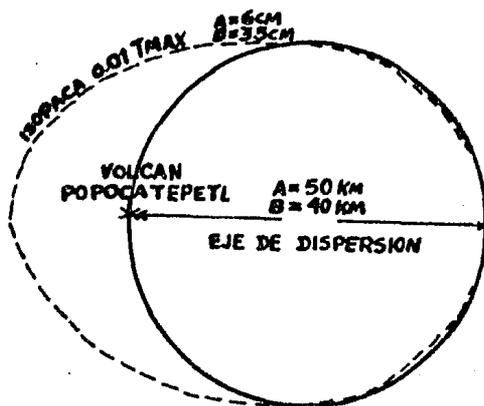
(Sánchez Rubio et. al. 1984).

Tabla V.2.

	T <sub>máx</sub>	0.1 T <sub>máx</sub>	0.01 T <sub>máx</sub>	Distancia equivalente (obtenida a partir de la Fig. V.8)	
				0.1 T <sub>máx</sub>	0.01 T <sub>máx</sub>
Unidad A	6m.	60 cm.	6 cm.	14km.	68 km.
Unidad B	3.5m.	35 cm.	3.5 cm.	12km.	45 km.

Tomando en cuenta que la forma de las isopacas para depósitos piroclásticos de caída libre, es elíptica (Fig.V.4), se coloca al cráter como uno de los focos de la elipse, a través del cual pasa el eje de dispersión de los piroclásticos, de tal manera que los puntos más alejados de la elipse

son 68 y 45 km. para las unidades A y B, respectivamente - - - (Fig. V.8). Con estos valores se obtienen áreas de círculos, - que resultan ser menores que las de las elipses, por lo cual se estará obteniendo un valor mínimo para D, en relación a la isopaca 0.01 T<sub>máx</sub>. (Fig. V.9).



$$\begin{aligned} \text{AREA CIRCULO}_A &= \pi r^2 \\ &= \pi \cdot 25^2 \\ &= 1963.49 \text{ KM}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{AREA CIRCULO}_B &= \pi r^2 \\ &= \pi \cdot 20^2 \\ &= 1256.63 \text{ KM}^2 \end{aligned}$$

$$\text{AREA ELIPSE}_{(A,B)} > \text{AREA CIRCULO}_{(A,B)}$$

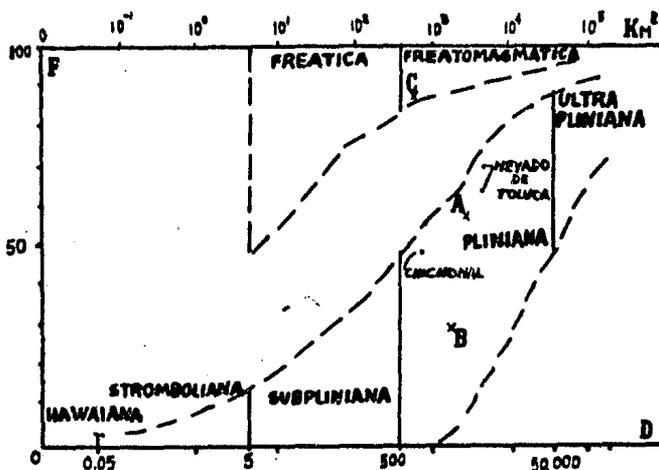
$$D_A > 1963.49$$

$$D_B > 1256.63$$

Fig. V.9 Representación esquemática de la trayectoria elíptica seguida por la isopaca 0.01 T<sub>máx</sub>, para las unidades A y B; calculando el índice de dispersión (D) a partir del área del círculo cuyo diámetro forman el foco emisor y el punto correspondiente a la isopaca 0.01 T<sub>máx</sub>.

En cuanto al índice de fragmentación ( $F$ ), se obtiene tomando la distancia que le corresponde a cada  $0.1 T_{\text{máx}}$ , siendo en este caso de 14km. para la unidad A y 12 para B. Para sendos lugares no se cuenta con muestra, pero puede tomarse la más cercana, es decir la 1-5, ubicada a 11.4km., y hacerse una ligera compensación para obtener un valor más preciso, así  $F_A=60\%$  y  $F_B=30\%$ .

De la Fig. V.2 se toman los porcentajes de los fragmentos menores de 1mm ( $\phi=0$ ) para cada unidad, que son llevados a la Fig. V.10, donde pueden definirse los diferentes tipos de erupciones (Walker, 1981), mediante la relación entre  $D$  y  $F$ , pudiendo deducirse que a medida que aumenta el poder de dispersión, los materiales tienden a fragmentarse más, lo cual significa que al incrementarse estos parámetros, se incrementa también el poder devastador de la erupción, es decir, se tiene una variación progresiva, desde las erupciones hawaianas (más tranquilas) hasta las ultraplínicas (más explosivas).



(Walker, 1981).

Fig. V.10 Gráfica que muestra los diferentes tipos de erupciones en función del índice de dispersión (D) y el índice de fragmentación (F). Popocatépetl (A,B,C).

Cabe mencionar que los cálculos de estos parámetros (D y F) se realizaron en forma conservadora, no considerando que los espesores totales de cada unidad pudieran ser mayores, -- con lo cual el índice de dispersión aumentaría considerablemente, aunque de todas maneras, los valores obtenidos caerían dentro del campo de las erupciones plinianas para las unidades A y B, como se observa en la Fig. V.10. En esta figura -- se comparan los valores representativos de las manifestaciones eruptivas más importantes del Popocatépetl en tiempos recientes, con los de algunos otros eventos conocidos, de -- otros volcanes, guardando las proporciones para cada caso. --

Aunque el índice de dispersión para la unidad C no se calculó, se considera que pudo ser muy similar a los anteriores, sólo que su índice de fragmentación es muy alto ( $f=85\%$ ), por lo que al graficarlo en la Fig. V.10, cae en el dominio de los fenómenos freatomagmáticos que son eventos donde se -- lleva a cabo una mezcla de agua y magma, que produce explosiones que llevan consigo una gran trituración de los materiales involucrados. Estas erupciones eventualmente se manifiestan - en forma paralela a los eventos de tipo pliniano.

Como complemento al desarrollo de este tema, y para tener una idea más clara de los diferentes tipos de erupciones que pueden producirse, se muestra un resumen de las principales características de cada una de ellas, a fin de poder identificar y comparar los diferentes fenómenos eruptivos que edificaron al Popocatépetl (Tabla V.3).

Las características de los depósitos anteriormente mencionados, tanto de caída libre como de flujo de tipo Sn. - - Vicente (Fig. V.5) sugieren una alta explosividad dada la -- dispersión, fragmentación y volumen de sus productos, confirmando el carácter pliniano de los eventos eruptivos más re-- cientes que actuaron en el Popocatépetl (Fig. V.10).

Por lo general, una gran parte del material eyectado -- por este tipo de erupciones es de naturaleza pumfítica y pro-

TABLA V.3 RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS DIVERSOS TIPOS DE ERUPCIONES  
(Modificado de Mc Donald, 1972)

TIPO DE ERUPCION	NATURALEZA DE LA ACTIVIDAD EFUSIVA	NATURALEZA DE LA ACTIVIDAD EXPLOSIVA	ESTRUCTURAS GENERADAS ALREDEDOR DEL CONDUCTO
HAWAIANA	Flujos delgados y extensos de lava muy fluida (central y f <sub>i</sub> sural) de tipo alcalina y com <sub>o</sub> posición básica.	Eyecciones débiles con manantiales de lava. Produciendo bombas (majada-vaca), escorias y muy poca ceniza.	Volcán tipo escudo.
STROMBOLIANA	Flujos gruesos y poco extendidos de lava basáltica-and., -- fluida (en ocasiones están ausentes).	Eyección débil-violenta que produce una nube de + 500m. de cenizas vítreas, y bombas esféricas y fusiformes.	Conos cineríticos.
VULCANIANA	Flujos gruesos de lava viscosa de naturaleza riolítica -- predominante. Los flujos de ceniza son raros.	Eyecciones moder. a violentas de corta duración que producen nubes de 5-20 km de cenizas vítreas, lífticos y pómez que muestran estratificación y selección grav	Conos cineríticos, de bloques y - de bloques y ceniza.
PELEANA	Cuerpos de lava muy viscosa - de naturaleza ácida, los derrames pueden estar ausentes.	Explosiones muy violentas que producen avalanchas incandescentes y una dispersión regular de los piroclásticos.	Domos, espinas, conos de ceniza y pumita.
PLINIANA	Lavas viscosas de naturaleza ácida con flujos de ceniza -- muy extendidos, aunque en ocasiones están ausentes.	Eyección paroxismal con grandes volúmenes de ceniza vítrea y lapilli pumítico muy difundidos; que presentan buena estratificación y gradación tanto normal como inversa. Nubes de 20 a 50 km.	Cráter cónico de tipo compuesto parcialmente destruido y originando en ocasiones calderas.
FREATICA	Ninguna.	Eyección débil a violenta de fragmentos sólidos y rocas preexistentes.	Conos de bloques, conos de ceniza y bloques.
FREATOMAGMATICA	Muy esporádicos flujos de lava basáltica.	Eyecciones muy violentas que producen una gran fragmentación; cenizas muy finas.	Cono cinerítico
FUMAROLICA	Ninguna.	No explosiva, con descargas débiles a moderadas de gas.	Raros conos.

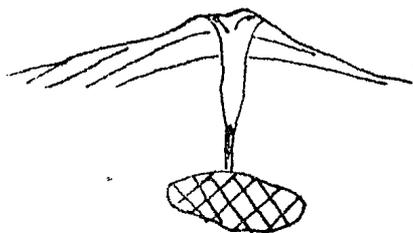
picia , en algunas ocasiones, el vaciado de la cámara magmática con el consecuente colapso del piso del volcán, formando una estructura tipo caldera como sucedió en el Nevado de Toluca (Bloomfield, et.al.; 1977). Esta fase no ha sido observada para el caso del Popocatépetl, debido tal vez a la interrupción sufrida por las emisiones lávicas más recientes.

Por otra parte, no sería nada extraño encontrar evidencias de erupciones vulcanianas o aún strombolianas; ya que están estrechamente asociadas a la edificación de este tipo de volcanes de tipo compuesto (estratovolcanes).

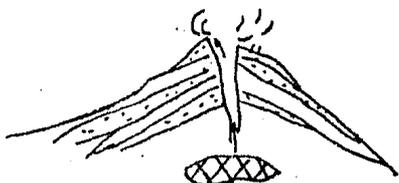
## V.2. EVOLUCION DEL VOLCAN POPOCATEPETL.

La evolución del volcán Popocatépetl puede resumirse en 2 etapas principales que corresponden a la construcción de un volcán inicial (Nexpayantla) sobre el cual se edificó el actual como que forma el Popocatépetl (Fig. V.11).

En lo que respecta al volcán Nexpayantla, sus primeras emisiones consistieron de lavas muy fluidas, de naturaleza básica, que poseen una asociación constituida por  $\pm$  mg + ol + opx + cpx + pl. (lab-and) (Anexo #1). Las lavas que en forma sucesiva fueron apareciendo, formaron progresivamente una columna de mayor volumen que debfo ser alimentada por una cá



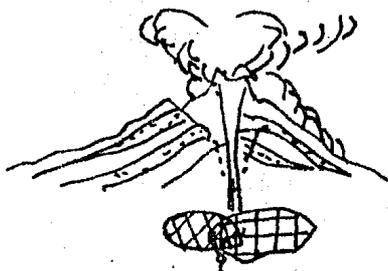
1. Emisión de grandes volúmenes de lava andesítica, originados a partir de una gran cámara, emplazada a cierta profundidad.



2. Construcción del Volcán Nexpa yantla, con lavas and. autobrechadas, dacitas, riodacitas y algunos piroclásticos, reflejo de la diferenciación sufrida por la cámara.



3. Después de un tiempo de calma, se produce la reactivación del vulcanismo andesítico, con violentas erupciones (Volcán - Popocatépetl). El material proviene al parecer de un nuevo cuerpo.



4. Erupciones plinianas que destruyeron parcialmente el cráter, con: andesitas porfídicas, nubes ardientes y piroclásticos ampliamente dispersados. El ascenso de nuevo magma produciría la interacción de las 2 cámaras (?).

Fig. V.11. Diagrama que muestra en forma generalizada la evolución presentada por el Volcán Popocatépetl.

mara magmática inicial de muy grandes proporciones, instalada a una profundidad tal, que permitió que los productos se fueran diferenciando con el tiempo; aspecto que se refleja en las distintas asociaciones mineralógicas que dieron origen a andesitas, andesitas ácidas, dacitas y riodacitas cuya formación se atribuye a un proceso de cristalización -- fraccionada, de acuerdo con lo expuesto en el inciso sobre petrología y geoquímica (consultar además anexos #1 y 2). De esta forma, el magma tuvo que ascender una distancia cada vez mayor para alcanzar la superficie, propiciando que saliera con mayor dificultad debido a su menor fluidez, y eventualmente llegara a obturar el conducto. Ello ocasionó una intensificación de los procesos explosivos, que produjeron los depósitos piroclásticos de tipo brechoide que aparecen en la parte media y media-superior de la secuencia. La escasez de material fino, sugiere que estos productos sufrieron poca -- trituración.

Posteriormente se emplazaron abundantes flujos de lava, afectados por procesos de "autobrechamiento" (Fig. IV.1), -- mostrando superficies calcinadas entre cada emisión, con bloques angulosos de lava andesítica similar a las de los derrames, aunque más vítreos.

En las últimas etapas de construcción del Volcán Nexpa-

yantla, se emitieron lavas de composición riodacítica (M.#11, Anexo #2) con una textura porfídica, que con base en las relaciones de campo ("mogotes" aislados y/o discontinuos), se considera que posiblemente se trate de emisiones de naturaleza fisural (?). Estas emisiones debieron aprovechar las superficies de debilidad que se generaron como producto de un régimen tensional que afectó a la zona, mismo que podría explicarse en función del gran volumen de materiales expulsados - que originaron un desequilibrio con respecto a la cámara magmática alimentadora, ocasionando el posible colapso de una parte del cráter, en una etapa que puede denominarse de Precaldera o Pequeña Caldera (?) de acuerdo con las dimensiones que se estima que pudo haber alcanzado este gran cráter (posiblemente de 2.5 km. de diámetro).

Después de un largo período de quietud volcánica, comienza la reactivación del vulcanismo que corresponde a la edificación del actual Cono. Los primeros eventos provocaron violentas explosiones que se encargaron de eliminar las obstrucciones presentadas por el conducto principal del antiguo volcán, es decir, se deduce que este mismo conducto sirvió como vía de acceso para conducir al magma que paulatinamente fue construyendo al Volcán Popocatepetl. Sin embargo, las primeras emisiones lávicas fueron de naturaleza andesítica ( $OL_{(R)} + Opx + Cpx + pl$  (and); consultar anexos #1 y 2), sugiriendo

ello una nueva fuente para los materiales, dado que los últimos productos emitidos por el Volcán Nexpayantla reflejan la gran diferenciación que debió haber sufrido el material de la cámara que lo alimentó.

De esta forma se fue erigiendo el nuevo Volcán, acumulando en forma alternada, lavas cuya asociación  $\text{Opx} + \text{Cpx} + \text{pl} - (\text{Olig}) + \text{Anf}$  refleja cierto grado de diferenciación, y productos piroclásticos de poca compactación, constituidos por cenizas y lapilli.

Después de un breve lapso de reposo, reconocido mediante una apreciable discordancia angular, se reanudó la actividad, con erupciones de tipo Pliniano que originaron emisiones de lava andesítica-dacítica (M. #7, Anexo #2) en cuya asociación  $\text{Ol} + \text{Opx} + \text{Cpx} + \text{pl}$  (lab-and), se aprecia la reaparición de olivino, que no concuerda con el "Trend" de diferenciación esperado, como en el caso que muestran las rocas del Volcán -- Nexpayantla.

Además de los derrames de lava, antes mencionados, estas últimas erupciones produjeron un gran volumen de piroclásticos de composición pumítica, andesítica y básica (identificados estos últimos por sus características megascópicas como color y mineralogía), que se dispersaron ampliamente en torno al cráter, en tanto que una cantidad menor, fluyó en forma

de avalanchas incandescentes a través de los valles más cercanos. Estos últimos depósitos contienen fragmentos de granodioritas y algunas más de peridotita (Wherlita; según Streckisen, 1967) que pudieron haber sido arrancados de una parte de la cámara magmática que alimentó al Volcán Nexpayantla, debido a la composición que presentan, aunque no se tienen mayores evidencias para apoyar tal aspecto.

Considerando la validéz de esta teoría, se podría sugerir que la segunda cámara, que originó las emisiones inferiores que componen el cono terminal, posiblemente tuvo contacto con la cámara inicial de naturaleza ácida, arrastrando una parte de este material hacia la superficie a través de las nubes ardientes que, de acuerdo con Robin (1981), se clasificaron como de tipo San Vicente, es decir, representan el inicio de nueva actividad eruptiva, a diferencia de las nubes Peleanas, que más bien concluyen una fase volcánica.

---

Estas inferencias concuerdan muy bien con la teoría propuesta por Robin (op.cit) en relación con las mezclas magmáticas que ocurren para construir los conos terminales de algunos volcanes que integran el Eje Neovolcánico.

Por otra parte, en las etapas finales de construcción -- del Volcán Popocatépetl, se produjeron nuevas erupciones Pli-nianas, a una de las cuales se atribuye la destrucción par- - cial del actual cráter.

Finalmente, debe mencionarse que la actividad histórica del volcán queda manifestada por las continuas fumarolas emi-tidas (compuestas por vapor de agua, y gases carbónicos y sul-furosos). La última erupción (1919) fue producida al intentar explotar masivamente el azufre acumulado en el interior del - cráter, originando el pequeño cono que yace en el fondo - - - (Murillo, 1940).

### V.3. RIESGOS CIVILES.

Indudablemente uno de los aspectos más importantes en el estudio del volcán Popocatépetl, radica en la posibilidad de poder preveer su actividad en el futuro, a fin de evitar - - - cualquier posible desastre. Para ello es necesario contar con

centros de observación permanentes, equipo e investigadores - especializados, además de una vigilancia constante, para conocer el comportamiento del volcán y así prevenir anticipadamente su actividad.

Al no contar con esos elementos, es obvio que se pierda precisión y confiabilidad en las investigaciones tendientes a resolver estos aspectos. Sin embargo, la importancia que - representan, hace imposible abstenerse del peligro latente -- que constituye actualmente el volcán, por lo cual, se intentará estimar su actividad, basándose en el conocimiento que se tiene acerca de su actividad en el pasado, junto con un - breve análisis de las posibilidades de la actividad futura - con base en la información sobre sus manifestaciones más recientes. Finalmente se sugerirán algunos de los procedimientos más recomendables para investigar con mayor profundidad - al vulcanismo en general, y en particular al del volcán Popocatépetl.

#### A) CONSIDERACIONES VULCANOLÓGICAS.

Las fumarolas que actualmente se presentan en el Popocatépetl, pueden interpretarse de diferentes formas, de acuerdo con Mc Donald (1972). Por un lado, su presencia no necesariamente implica que el volcán esté activo, o su ausencia, lo -- contrario; puesto que en ocasiones la actividad fumarólica --

pueda durar cientos de años, aún después de que aquél se haya extinguido. En otros casos, el volcán puede encontrarse en su última etapa de actividad, o por el contrario, pueden anunciar un nuevo período eruptivo, aspecto que se detecta cuando aumentan la intensidad, temperatura o cambian la composición de los gases que expulsan. Estas características aparentemente no han sido observadas en el Popocatepetl, sin embargo las manifestaciones cineríticas más recientes (1919-1938) confirman que todavía está activo.

En cuanto a las fases eruptivas encargadas de la edificación del volcán, es evidente que no se han desarrollado en forma completa, desde el volcán Nexpayantla, cuyo episodio final culminó con la emisión de productos ácidos de alta explosividad. Así como el Cono Terminal, donde se han manifestado nubes ardientes de tipo San Vicente, que anuncian el arribo de magma que inicia un nuevo ciclo eruptivo (Robin, 1981).

Aparentemente el ciclo fue interrumpido en ambos casos, o quizás sólo indique que el material de la cámara magmática que alimentaba al volcán, se había solidificado parcialmente, por lo que los materiales en el 1er. caso, representarían la fase tardía que fue expulsada al contraerse el material sólido; sin embargo, también pudiera pensarse que en una etapa de pre-caldera (?), pues su contiguo, el Iztaccíhuatl, llegó a expulsar material riolítico, que cuando es emitido en gran --

volumen puede originar tal estructura.

Este tipo de eventos, en el caso del Pico de Orizaba, - presentan cierta ritmicidad como lo demuestran las siguientes edades: 12 900, 10 600, 9 400, 7 000, 6 200, y 4 000 - - años, obtenidas en los depósitos, de las cuales se ha considerado en promedio, un período de actividad de 1 000 años - -- (Robin, 1981). Asepecto que al relacionarlo con el Popocatepetl, en donde sólo se han fechado 2 eventos de ese tipo, uno con  $4980 \pm 50$  años y el otro con  $1230 \pm 90$  años (Robin, op. - cit.), indican una ritmicidad parecida, por lo que se deduce un riesgo potencialmente alto.

Sin embargo, debe ponerse en claro que el carácter cíclico de estos eventos no es un hecho plenamente comprobado, sino más bien, son parte de las observaciones empíricas realizadas en varios aparatos en los que se han detectado esas características, que al extrapolarlas a otros aparatos permiten detectar un comportamiento similar. Sin embargo debe tomarse en cuenta, que los ciclos, no siempre son regulares, y además que la información sobre esos eventos es deficiente y no aplicable en todos los casos, impidiendo comprobar el carácter rítmico de los mismos. La duración de estos ciclos es importante, ya que entre más breves hayan sido, mayor debió ser su explosividad, dada la cantidad de energía que se acumula y libera.

Por otra parte, los cuerpos dómicos y espinas que surgen después de un evento que produce flujos piroclásticos, están ausentes; además el control aerofotográfico que se tiene desde el año 1945 hasta la fecha, no muestra ningún cambio morfológico significativo que implique el crecimiento de una estructura de ese tipo, hecho que queda corroborado con las continuas observaciones realizadas directamente en el interior del cráter. Aún cuando algunas apreciaciones realizadas en los últimos años, consideran algunas modificaciones en el interior del cráter que sugerirían el posible desarrollo de un cuerpo dómico similar a los de tipo peleano, o bien pliniano, que en general implican un régimen explosivo muy violento.

Debe tomarse en cuenta que las manifestaciones fumarólicas han existido por lo menos desde el siglo pasado (Humbolt, 1808), han servido de escape, liberando una parte de la energía o bien la presión de los gases y volátiles que se acumulan bajo la superficie. Esto podría ser un factor importante en cuanto al grado de explosividad que tendría una erupción si esta ocurriera.

Por lo que respecta a los manantiales que existen en las partes bajas del volcán, son de aguas frías, es decir, aparentemente no existen anomalías térmicas en la zona que indiquen un incremento del flujo térmico local.

B) REGISTRO DE LA HISTORIA ERUPTIVA DEL VOLCAN POPOCATEPETL.

Con base en información, no del todo confiable, dadas - las fuentes que la proporcionan, pero que hasta hoy, son las únicas con las que se cuenta, se realizó una compilación de - la actividad más reciente que ha tenido el volcán Popocaté-- petl (Tabla V.4).

De la tabla V.4 se obtienen los periodos del reposo del volcán y mediante los parámetros de los modelos de Wickmann (1966) y Thorlaksson (1967) (en Medina, 1983), se estima la probabilidad de que ocurra un nuevo evento eruptivo. Para -- ello se considera el periodo comprendido a partir del año - - 1351 (1347-1354) y hasta la actualidad, debido a que se carece de información detallada para los eventos anteriores. De - esta forma se obtienen 13 periodos de reposo, cuya duración - tiene un valor promedio (m) de 43 años y una desviación estándar<sup>1</sup> (s) de 67 años, parámetros que permiten calcular las variables "a" y "b" con las siguientes ecuaciones.

$$a = \frac{2S^2}{m(m^2 + S^2)} \quad b = \frac{S^2 - m^2}{m(m^2 + S^2)}$$

A partir de tales variables se calculan las funciones: -  $\phi(t)$ , velocidad de erupción;  $f(t)$ , densidad de probabilidad;  $F(t)$ , distribución o probabilidad para la duración de los --

TABLA V.4.

EVENTOS ERUPTIVOS HISTORICOS DEL VOLCAN POPOCATEPETL

E D A D	CARACTERISTICAS DEL EVENTO	F U E N T E
2999 A.C. Datación 4900 ± 50 A.	Erupción de tipo pliniano con emisión de nubes ardientes tipo San Vicente, así como depósitos piroclásticos ampliamente dispersados, además de posibles derrames de lava de poca fluidez.	Robin (1981)
751 D.C. Datación 1230 ± 90A.	Nueva erupción de tipo pliniano, aunque de menor intensidad que la anterior; produciendo también nubes ardientes de tipo San Vicente.	Robin (1981)
1008 D.C. Datación 965 ± 60	Explosiones muy violentas que originaron el depósito de horizontes de pómez (principalmente).	Heine (1973)
1351 (1347-1354)D.C.	Expulsión de cenizas.	Códigos Prehispanicos (en Mooser et.al.1958)
1519 Datación 450A. ±	Violentas explosiones que emitieron pómez y lapilli además de numerosas fumarolas.	Murillo (1940) Mooser (op.cit). Heine (1973)
1530	Sin información . . . . .	Murillo (op.cit.) Mooser (op.cit.)
1539	Sin información . . . . .	Mooser (op.cit.)
1540	Sin información . . . . .	Murillo (op.cit.)
1542	Sin información . . . . .	Mooser (op.cit.)
1548	Sin información . . . . .	Mooser (op.cit.)
1571	Sin información . . . . .	Mooser (op.cit.)
1592	Sin información . . . . .	Mooser (op.cit.)
1593	Sin información . . . . .	Mooser (op.cit.)
1594	Sin información . . . . .	Murillo (op.cit.)
1642	Sin información . . . . .	Mooser (op.cit.)
1663	Sin información . . . . .	Murillo (op.cit.)
1664-67 1665	Sin información . . . . .	Mooser (op.cit.)
1697	Sin información . . . . .	Mooser (op.cit.)
1720	Erupción muy explosiva: cenizas y nubes de humo	Murillo-Mooser
1802-04	Erupciones ligeras, esencialmente fumarólicas	Mooser (op.cit.)
1919-27-38	Erupciones de gran violencia debidas a la dinamitación del cráter al intentar extraer azufre del mismo. Emisiones de grandes columnas de humo, escorias y cenizas; múltiples explosiones con relámpagos silenciosos. Creación de un cono de 230m. de diámetro en el interior del cráter. Se manifiesta una sismicidad muy alta. Erupción de tipo Stromboliano (?)	Murillo (op.cit.) Mooser (op.cit.)

periodos de reposo; mediante las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned} \phi(t) &= \frac{a}{1+bt} & f(t) &= a(1+bt)^{-a/b-1} \\ s &= \frac{(x-\bar{x})^2}{N} & f(t) &= F'(t) \end{aligned}$$

En la tabla V.5 se muestran los valores obtenidos con -- dichas funciones, que sirvieron para elaborar la gráfica de -- la figura V.12, en donde se obtiene la probabilidad de ocu-- rrencia de algún tipo de actividad (ya sean erupciones violen-- tas, explosiones, o simples fumarolas) en un rango determina-- do de tiempo. Por ejemplo, si se tiene una probabilidad del - 95% el periodo para que ocurra una manifestación será de 97 - años aproximadamente.

Si se toma en cuenta que el último gran evento ocurrió - en un periodo intermitente que va de 1919 a 1927, e incluso - podría extenderse hasta 1938, señalando que tal episodio fue provocado por la dinamitación del cráter, es decir, se puede considerar en cierta forma como un episodio provocado. Con -- dicha base, se obtiene una estimación que indica para el año 2035 una probabilidad muy alta de que ocurra una manifesta-- ción eruptiva en el volcán. Del mismo modo, se puede obtener para estos días (1985) una probabilidad del 82% de que esta - ocurra. Sin embargo, cabe aclarar que estas estimaciones son válidas si el patrón eruptivo en los últimos 634 años conti-

TABLA V.5 Valores para las funciones de probabilidad en función del tiempo.

t (años)	$\phi(t)$	f(t)	F(t)
0	0	0.03294	0
1	0.03262	0.03157	0.073
10	0.03003	0.02193	0.265
20	0.02759	0.01511	0.491
30	0.02552	0.01072	0.681
40	0.02374	0.00779	0.774
50	0.02219	0.00579	0.835
100	0.01673	0.00167	0.958
120	0.01523	0.00110	0.976
150	0.01121	0.00063	0.982
200	0.00843	0.00028	0.992
300	0.00676	0.00008	0.997

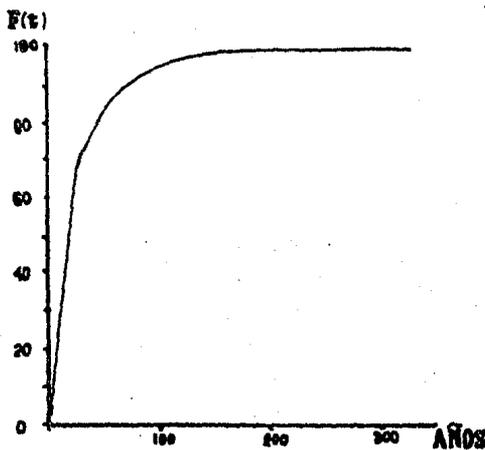


Fig. V. 12. Función de distribución para períodos de reposo que muestra las probabilidades de actividad volcánica para un tiempo dado.

nda en el futuro.

### C) EVALUACION.

Ante el panorama anteriormente descrito, puede decirse que, estadísticamente, el Popocatépetl representa un alto grado de peligrosidad. Tal aspecto, es apoyado en cierta forma por sus características vulcanológicas (erupciones explosivas, posible periodicidad de los flujos de cenizas, -- etc.), aunque por otra parte, no existen evidencias suficientes para precisar su situación, pues no se cuenta con reportes de un comportamiento sísmico anómalo, que sería un elemento premonitor de una actividad eruptiva muy próxima.

Se puede deducir que el Volcán Popocatépetl cuenta con la potencialidad suficiente para entrar en actividad, aunque es difícil precisar el tiempo en el que pueda ocurrir, pero dado que en la mayoría de los casos, sus etapas eruptivas al parecer han sido incompletas (en el supuesto caso de que éstas se hubieran desarrollado normalmente) y por los datos y características de las manifestaciones más recientes, el tipo de erupción que podría producirse sería de gran violencia, pudiendo emplazarse muy posiblemente nubes ardientes de tipo "San Vicente"; aspecto que se correlaciona con el patrón y ritmicidad que se ha establecido, pudiendo inclusive lle--

var al volcán a un estado de caldera, debido a los grandes volúmenes de material que se involucra en este tipo de erupciones. De ser así las erupciones podrían afectar a los poblados circunvecinos como son: San Pedro Nexapa, Amecameca, Tehixtitlán, Ozumba, Atlautla, Ecatzingo, etc., en el Edo. de México; Tetela del Volcán, Hueyapan, etc., en el Edo. de Morelos; y, Tochimilco, Metepec, La Venta, Atlixco, etc., - en el Edo. de Puebla y quizás algunos poblados más alejados.

Las lavas que pudieran emitirse quedarían restringidas a las partes superiores del Popocatepetl, debido a la alta viscosidad que se espera en ellas, derramándose preferentemente hacia la parte oriental del cráter, ya que ésta presenta un desnivel de 300m por debajo del "Pico Mayor", situado al occidente del mismo. Dependiendo del poder explosivo de la erupción, se tendrán diversos grados de fragmentación -- que, por un lado, alcanzaría una amplia dispersión (lapilli y cenizas), y por otro, podrían seguir diferentes trayectorias balísticas (bloques) que posiblemente sólo alcanzarán un radio de 10 a 20km. También sería posible que se emplazaran flujos de cenizas de tipo "San Vicente", hasta distancias de 10-25km, que podrían cubrir a algunos de los poblados más cercanos.

Una erupción como la descrita anteriormente implicaría,

según el mecanismo propuesto por Robin (op. cit.), una realimentación de la cámara magmática o una migración de la -- misma. De cualquier forma, traería como consecuencia la for mación de grandes volúmenes de lahares, producto del rápido deshielo del glaciar actual; esta circunstancia representa un gran peligro, aunque en este caso sólo afectaría a la par te norte del volcán, en donde se localizan los mantos de -- hielo y nieve, dañando únicamente el albergue Tlamacas, que se localiza en esta zona.

Por otra parte, no se descarta la posibilidad de que - se desarrollen cuerpos de lava viscosa, fase que generalmente acompaña a las erupciones de alta explosividad, o bien - un fenómeno similar al ocurrido en el Nevado de Toluca y en el Santa Elena (1980), es decir una explosión lateral que - destruiría parte del cráter.

#### D) ACCIONES POR REALIZAR.

La adecuada vigilancia y prevención de las erupciones volcánicas requiere de un observatorio convenientemente lo calizado, que cuente con los instrumentos necesarios y el - personal capacitado para atenderlo. Se requiere una vigilan cía permanente, que puede consistir en una red sismográfica bien distribuida, así como un control topográfico que sea

capaz de detectar cualquier irregularidad o deformación en la superficie del terreno por pequeña que esta sea. En la actualidad se están utilizando satélites espaciales que comunican a un centro de investigación, con el equipo que se encuentra en la zona de estudio de este tipo de fenómeno.

En algunos casos, los estudios geológicos y sismológicos pueden complementarse con el empleo de métodos gravimétricos y magnetométricos que proporcionan información acerca del desplazamiento de masas magmáticas y la desmagnetización de rocas en el subsuelo, por los cambios térmicos que éstas sufren. De donde resulta importante un estudio sobre las variaciones térmicas del suelo, que se obtienen mediante la medición de las temperaturas tanto en pozos, como en fuentes termales y fumarolas, permitiendo conocer algunos parámetros físicos como son la conductividad de las rocas, el flujo térmico y otras. También resultan recomendables las estimaciones apoyadas en el control geoquímico de las aguas termales y fumarolas, ya que los cambios que se presentan en ellas, sugieren reacciones de compuestos que interactúan en el sustrato.

## VI. TECTONICA.

El estudio aislado de un sólo aparato volcánico como el Popocatepetl, no permite realizar inferencias tectónicas regionales, sin embargo, considerando las características de las demás manifestaciones que integran el Eje Neovolcánico, es posible apoyar algunos de los modelos que intentan explicar su origen.

El Eje Neovolcánico Transmexicano, nombre introducido por Mooser (1972), constituye uno de los rasgos más característicos que integran la geología de México, generalmente asociado a la Fosa o Trinchera de Acapulco que constituye el lugar en donde se verifican los procesos que la Tectónica de Placas ha definido como subducción de las placas litosféricas. Su disposición, con respecto a la Fosa, es oblicua (aprox. de  $15^\circ$ ), lo cual no concuerda con las características de los modelos típicos de un margen activo.

Esta y otras peculiaridades de dicha provincia, como el carácter petrográfico y vulcanológico de sus rocas, han dado lugar al surgimiento de numerosos modelos que intentan explicar el vulcanismo tan particular que en ella se ha desarrollado. Sin embargo, no todos están sustentados sobre bases sólidas, pues mientras que algunos son compilaciones bibliográficas, que no realizan un análisis crítico verdadero,

otros extrapolan sus resultados a partir de estudios muy locales, o bien, no cuentan con el trabajo de campo necesario. No obstante, de algunos de estos trabajos, es posible extraer información que puede aprovecharse para reafirmar algunos as pectos de los modelos más recientes.

### 1. Límites espacio-temporales del Eje Neovolcánico.

Utilizando en el sentido estricto de la palabra, el término neovolcánico, implicaría la actividad volcánica más reciente. De acuerdo con Mooser et. al. (1961) se considera -- dentro de la misma provincia, a los volcanes Tres Vírgenes - en Baja California y el Bárcena, en las Islas Revillagigedo, cuyas actividades se registraron en 1746 y 1952, respectivamente. Sin embargo, su composición alcalina, permite asociar los más bien con la apertura del Golfo de California, y la falla transforme de Clarión, respectivamente; además de que ambos están ubicados a una gran distancia de la Fosa de Acapulco, cuya extensión no llega más allá de las costas de Jalisco y Nayarit.

De igual forma, en lo que respecta al dominio oriental, también se podría incluir a la región de los Tuxtles, e incluso al más reciente volcán "Chichonal". Sin embargo, hay - que tomar en cuenta que el Eje Neovolcánico Transmexicano debe constituir una zona que agrupe manifestaciones volcánicas

recientes con características comunes que puedan asociarse a la interacción de determinados elementos geotectónicos. En este sentido y visualizando las diferencias petrográficas -- del sistema Pico de Orizaba-Cofre de Perote, en donde finaliza el vulcanismo calco-alcalino del Eje (Robin, 1981) y comienzan las manifestaciones de tipo alcalino; puede establecerse en dicho sistema el límite oriental del Eje Neovolcánico. Se ha definido que originalmente el vulcanismo del Eje Neovolcánico se extendía más allá del Pico de Orizaba-Cofre de Perote (Demant, 1978), pero que las manifestaciones alcalinas lo interrumpieron. Tal vulcanismo alcalino no podría asociarse a la cadena calco-alcalina del Eje, como lo sugiere Thorpe (1977), pues su ubicación en la parte frontal y no en la trasera de la misma, contradice la zonificación establecida para las regiones en subducción; por el contrario, las rocas alcalinas se extienden hacia el norte a lo largo de la costa del Golfo de México, por unos 1100 km., hasta la Sierra de Tamaulipas, frontera con U.S.A, constituyendo la provincia alcalina oriental (Demant y Robin, 1975), asociada a procesos esencialmente distensivos, posiblemente relacionados a una estructura de tipo "rift" que es una consecuencia de la apertura del Golfo de México (Robin, 1981).

En cuanto a los límites septentrional y meridional, varían a lo largo de una faja con amplitud promedio de 100km. y un largo de un poco menos de 950 km. que atraviesa México,

geográficamente entre los paralelos 19° y 21° de latitud norte.

La edad del vulcanismo de esta región es discutida, se considera según Gunn, Mooser (1970) y Negendank (1972), que comenzó durante el Oligoceno-Mioceno, distinguiéndose además un ciclo más reciente de edad Plio-Cuaternaria, cuyas características petrográficas y estructurales permiten separarlos del primero que en algunas zonas está plegado (Fase Mioceno) como se puede observar en la región del anticlinal de - - - Tzitzio-Huetamo, ubicado bajo el macizo volcánico de Mil - - Cumbres, Mich. (Silva 1979), extendiéndose por más de 120km. de longitud, según Mauvois et. al. (1976), o bien en los alrededores del Lago de Chapala, según Díaz y Mooser, en 1972; (Demant, 1978).

Aunque la mayoría de los autores se inclina por considerar a esas rocas como pertenecientes al Eje Neovolcánico, -- Demant (1976) y Robin (1981) apoyados en las características anteriores, consideran que las rocas oligocénico-miocénicas que afloran tanto al norte como al sur del Eje, constituyen el basamento de la cadena neovolcánica, quedando por tanto - excluidas de la misma, es decir, consideran al Eje Neovolcánico exclusivamente de edad Plio-Cuaternaria, argumentando - que las rocas del ciclo Oligoceno-Mioceno representan la pro

longación meridional de la Sierra Madre Occidental, cuya base esta representada por un vulcanismo andesítico. Los principales afloramientos de estas rocas se localizan en las siguientes regiones: Río Grande de Santiago, borde del Lago de Chapala, Fosa de Colima, Cuenca del Río Balsas, Presa Infernillo, así como en la región de Tzitzio y Huetamo, señalando que hacia la parte oriental del Eje Neovolcánico, los afloramientos de dichas rocas son más escasos (Zimapán y Pachuca, de edad Miocena). Demant (1978) y Robin (1981) defienden sus tesis, afirmando que las dataciones realizadas en la Sierra Madre Occidental son un tanto irregulares a lo largo de la misma, sin embargo, se tienen edades más consistentes determinadas por Mc Dowell y Clablaugh (1972) que muestran que la actividad andesítica ocurrió durante el Oligoceno, principalmente, con algunas manifestaciones en el Eoceno; sin embargo, más recientemente (1979) dichos autores afirman que la actividad andesítica cesó a fines del Eoceno, 40 millones de años (S.P.P., 1982).

Por lo que respecta a las manifestaciones ignimbríticas de la Sierra Madre Occidental, emplazadas durante el Mioceno, es decir, hace 28 y 23 m.a., según Mc Dowell-Clablaugh (1972), pueden correlacionarse con las encontradas al sur del poblado de la Magdalena, en Guadalajara y en el poblado de Autlán de Navarro, en el Estado de Jalisco; cerca de Cuitzeo, Mich.

y de Salvatierra, Gto., así como las de las serranías, ignimbríticas que se extienden desde Guadalajara hasta Querétaro (Demant, 1978).

Una vez aportados algunos de los aspectos que muestran la posible relación entre las emisiones volcánicas de la Sierra Madre Occidental, con respecto a las del Eje Neovolcánico, se puede deducir que las rocas andesíticas Oligoceno-Miocénicas representan el basamento volcánico del Eje, formando parte de una gran cadena volcánica que se encuentra íntimamente relacionada con los procesos de subducción que se extendieron desde California hasta Guatemala, durante esa época; además, se ha definido una cierta migración hacia la parte meridional y oriental de la placa continental. De acuerdo con esta teoría, estas rocas fueron deformadas por la última fase de actividad laramídica que afectó no sólo a las rocas sedimentarias de la Sierra Madre Oriental, sino también a las rocas volcánicas mencionadas. Además, las fracturas en las que se alinea el volcanismo Plio-Cuaternario, recortan siempre a las estructuras (andesíticas e ignimbríticas) de la Sierra Madre Occidental, (con rumbo NW-SE), y en general, a todas las estructuras geológicas mexicanas.

Con base en lo anterior, se considera que las primeras manifestaciones volcánicas localizadas a lo largo del Eje Neovolcánico, en la mayoría de los casos tienen una edad del

Mioceno (15 a 6 ma.) y no corresponden a éste, es decir, solo debe considerarse la actividad cuya mayor intensidad ocurrió durante el Plio-Cuaternario (6-2 ma. hasta el reciente), en concordancia con la tesis expuesta por Demant (1978,1981) y Robin (1981).

## 2). Origen del Eje Neovolcánico Transmexicano.

El Eje Neovolcánico no es una faja continua de emisiones volcánicas, sino una serie de eventos agrupados en 5 diferentes regiones (Fig. II.2. Demant, 1978) con características -- vulcanológicas y estructurales muy particulares para cada una de ellas; cuyas rocas, caracterizadas por la abundancia de andesitas y dacitas, son típicas de una provincia calcoalcalina, en la mayoría de los casos. Hecho que corresponde con el carácter calco-alcalino determinado para el Popocatepetl. Una simple observación sobre la distribución de los diversos productos del Eje, permite distinguir que los materiales de composición riolítica se localizan en la parte norte de la provincia, mientras que los andesíticos se presentan en la porción central y meridional de la misma. Por otra parte, las manifestaciones volcánicas mas recientes se presentan con mayor abundancia en la porción meridional, observándose en los alineamientos N-S de los grandes estratovolcanes una migración -- del vulcanismo hacia el sur, como ejemplo se tiene a los sistemas Cofre de Perote-Pico de Orizaba e Iztaccihuatl-Popocatepetl. Todas -

estas características dan una idea de la complejidad que se tiene para explicar el origen de esta, tan particular cadena volcánica.

Muchas y muy variadas han sido las hipótesis que intentan explicar el vulcanismo del Eje, desde las formuladas por Mooser y otros (1958), quienes lo relacionan con la Fractura de Clarión. Posteriormente, dicho autor (1975) considera una geosutura pre-Paleozoica situada entre dos bloques cratónicos, que se reactivó en donde la placa que se hunde bajo la placa continental, lo hace con ángulos diferentes, ocasionando una segmentación ortogonal con direcciones NW-NE y traslapes, que favorecieron el emplazamiento de los volcanes de forma zigzagueante.

Gastil y Jensky (1973) proponen una antigua falla detral que representaría la prolongación del sistema de apertura del Golfo de California. Aunque otros trabajos apoyados en datos paleomagnéticos, consideran el movimiento de dicha falla de tipo sinistral, pudiendo haber actuado como control estructural de los magmas (S.P.P., 1982). Negendank (1972) apoyado en datos geoquímicos, sostiene que el Eje es un producto de la fusión parcial de la corteza inferior y no de la fusión de la corteza oceánica a nivel de la astenósfera.

No obstante, las múltiples controversias suscitadas para

esclarecer este problema, muchos autores coinciden en suponer que el Eje Neovolcánico se originó en relación con el proceso de subducción de la Placa de Cocos (de tipo oceánico), debajo de la Placa Norteamericana (de tipo continental), que al llegar al nivel de la astenósfera, produce la fusión parcial de los materiales, originando magmas que ascienden aprovechando las superficies de debilidad que constituyen los sistemas de fracturamiento regionales. Es obvio que la oblicuidad del eje con respecto a la fosa o trinchera de Acapulco, constituye el primer obstáculo a dicho modelo, ya que no es un rasgo característico de esas estructuras.

Tratando de explicar esa particularidad, han surgido varios modelos, como el de Urrutia y Del Castillo (1977), que proponen una dirección de choque para las placas que no es perpendicular a la Fosa de Acapulco, además la Cresta del Pacífico oriental está muy próxima a la parte occidental de dicha fosa. Estos aspectos permiten deducir que el material que forma la litósfera oceánica es menos denso, con mayor espesor, más caliente y de edad joven (4 m.a.); argumentos que permiten explicar la disminución del ángulo de subducción ( $20^\circ$ ), conforme se avanza hacia el sureste de la trinchera, produciéndose magmas a una distancia mayor (Nevado de Toluca, 300 km.; Popocatepetl, 340 km; Pico de Orizaba, 380km. etc.).

De los trabajos más recientes y completos, al respecto,

destacan los presentados por Demant (1978,1981) y Robin - - - (1981) quienes, además de tomar en cuenta los trabajos previamente realizados, se apoyaron en una serie de análisis que -- proponen datos relacionados con la génesis de las rocas involucradas.

Demant (1978) considera que la Fosa de Acapulco comenzó a formarse en el Oligoceno, a partir de una traza que resulta de la prolongación del sistema de fallas sinestrales Polochic-Motagua que separa a las Placas Norteamericana y la del Caribe.

La rotación de la primera hacia el oeste fue provocada por la apertura del Océano Atlántico, acelerando el choque -- de la Placa de Farallón hasta su total desaparición; en tanto que la Placa de Cocos que se va hundiendo, continúa penetrando hasta alcanzar la profundidad necesaria para generar los -- magmas. Durante este lapso, la Cresta del Pacífico choca contra el elemento continental en el Mioceno Tardío, provocando un salto (jump) de la cresta, hasta ocupar su actual posición, en la Cordillera del Pacífico Oriental, dejando como testigos de dicho evento las crestas de Clipperton y Matemático. Esto junto con la disposición en forma de abanico de las anomalías magmáticas, así como la orientación N45°E de la Fractura de -- Orozco y de la Cresta de Tehuantepec, con respecto a la Frac-

tura Siqueiros ( $N80^{\circ}E$ ), demuestran el cambio en el sentido -- de desplazamiento de la Placa Farallón al de Cocos, así como del polo de rotación de la última, con lo cual se puede explicar la orientación oblicua del eje. Por otro lado, es posible realizar una correlación entre secciones de Guatemala y México, las que sugieren que aquél país se encontraba anteriormente a la altura de Zihuatanejo, efectuando un desplazamiento - del orden de 840-900 km. entre las Placas Norteamericanas y - del Caribe, además, en este sitio, se manifiesta un cambio en la orientación de las fracturas del Eje de NE-SW a NW-SE, hacia la parte occidental (Robin, 1981).

Debe mencionarse además que el movimiento del sistema - Polochic-Motagua, genera esfuerzos de compresión máxima que - fueron calculados por Carfantan en 1976 con una orientación - de  $N55^{\circ}E$ , sugiriendo que el emplazamiento de los pequeños vol- canes se alinea paralelamente a dicha dirección y que los es- tratovolcanes quedan orientados en forma perpendicular - - - (Demant, 1978).

Finalmente, Robin (1981) presenta un modelo con algunas variaciones con respecto al mostrado por Demant, en el cual - se considera que la zona de subducción es una estructura here- dada de la subducción anterior, con una edad más reciente al salto de la dorsal del Pacífico Oriental (4-5 m.a.) que cau- só una aceleración de la subducción después de este período.

Este modelo toma en cuenta las manifestaciones simultáneas a lo largo del Eje, en una zona distensiva ubicada dentro de un contexto de subducción, considerando también la falta de zonificación geoquímica clástica de un margen continental activo (aspecto definido en las islas japonesas que no siempre se cumple) y la migración del vulcanismo hacia el sur en los grandes estratovolcanes.

En resumen, el Eje Neovolcánico Transmexicano se originó por un proceso de subducción en que la placa que se introduce en forma oblicua respecto a la fosa, presenta variantes en sus características como son: espesor, densidad, color, edad, distancia, ángulo de subducción, composición, etc.; además de que otras estructuras lo afectaron, como son: el choque de la antigua cresta del Pacífico que incluyó en la tectónica de la parte occidental de México, o como el cambio de la rotación de la Placa de Cocos, la influencia del sistema de fallas Polochic-Motagua y la rotación de la Placa Norteamericana, causas que generan un campo de fuerzas muy particular que permite el ascenso de magmas a través de las superficies de debilidad originadas.

### VIII. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo, permiten desarrollar una base geológica-vulcanológica que sirva de apoyo para investigaciones futuras sobre el volcán Popocatépetl, admitiendo que al no contar con los elementos especializados que se requieren para realizar dichas investigaciones, no se pueden realizar determinaciones vulcanológicas concluyentes, aún cuando en la medida de las posibilidades se ha intentado cubrir tal aspecto.

Las principales conclusiones que se derivan de este estudio, son las siguientes:

1. Se establecieron dos etapas principales para la edificación del volcán Popocatépetl, a saber: a) El volcán de base o Nexpayantla cuyos productos (Fm. Nexpayantla) muestran una evolución progresiva, que va de: andesita (básica)-andesita-andesita ácida-dacita-riodacita. Materiales que permiten suponer la posibilidad de que los episodios finales de naturaleza explosiva, fueran interrumpidos antes de que culminaran con la posible formación de una caldera. b). El cono Terminal o volcán Popocatépetl reciente, formado por una serie de rocas (Fm. Popocatépetl) menos evolucionadas: andesitas-dacitas, y productos explosivos (flujos piroclásticos y depósitos de caída li-

bre) ampliamente difundidos.

2. A partir de los productos emitidos por el volcán, se dedujo la posible existencia de dos grandes cámaras magmáticas que lo han alimentado en tiempos diferentes (Volcanes Nexpayantla y Popocatépetl).
  
3. Asumiendo que la actividad del Popocatépetl se ha desarrollado en forma aproximadamente cíclica y con base en las consideraciones vulcanológicas presentadas en este trabajo, se supone que el volcán es potencialmente activo y representa un gran riesgo para el futuro, ya que se espera que las últimas manifestaciones de la etapa eruptiva más reciente sean de naturaleza explosiva. Este hecho es apoyado por la emisión de "nubes de tipo San - - Vicente" que se presentan en forma rítmica cada 1,000 -- años aproximadamente, según Robin (1981).
  
4. Lo anterior queda estadísticamente corroborado, obteniendo altas probabilidades de que en un futuro proximo se -tenga una manifestación, aunque sin precisar sus caracteristicas.
  
5. En el campo vulcanológico, se determinó que los eventos - más recientes del Popocatépetl corresponden a erupciones' de tipo Pliniano, que son de gran explosivi- - - --

dad, produciendo una gran dispersión y trituración de -- sus productos. Con menor intensidad debieron producirse erupciones freatomagmáticas y posiblemente también - -- strombolianas y/o vulcanianas.

6. Por otra parte, mediante el manejo de los datos geoquí-- micos (de diferentes muestras) fue posible definir el -- carácter calcoalcalino para todas las rocas pertenecien-- tes al volcán, carácter que ha sido reconocido para la - mayor parte de las manifestaciones del Eje Neovolcánico y que, en general, caracteriza a los márgenes continentales activos, pudiendo asociarlo con los procesos de sub-- ducción que se verifican bajo condiciones muy especiales, en la Fosa de Acapulco.
  
7. En lo que respecta al plano económico, debe mencionarse que dado el gran volumen de productos eyectados, ya sean lavas o depósitos piroclásticos, estos pueden constituir importantes bancos de materiales empleados para la cons-- trucción. Por otra parte, la alta precipitación pluvial y la incesante fusión de las nieves, constituyen una par-- te muy importante del sistema de drenaje que abastece -- los acuíferos de las áreas colindantes. Otro aspecto im-- portante es el turismo, pues como se sabe, el Popocatep-- etl se encuentra formando parte del Parque Nacional - -

Izta-Popo, que por su fácil acceso y disponibilidad para albergarse, es visitado con gran frecuencia, pues -- además, constituye una gran atracción para la práctica del montañismo.

8. Finalmente, se recomienda que, para complementar las investigaciones relacionadas con la predicción de la actividad volcánica en el futuro, se establezca un observatorio vulcanológico que cuente con el equipo y personal apropiado. Además se sugiere la aplicación de diversos métodos geofísicos (sísmicos, gravimétricos, magnetométricos), topográficos, etc. Con el fin de detectar cualquier anomalía ya sean deformaciones superficiales, detección de cuerpos a profundidad, etc.; además podrían calcularse volúmenes de magma eyectado en relación con el que queda en la actual cámara magmática, y así poder cuantificar el magma que involucraría una nueva actividad, etc. Se considera que tales estudios a pesar de su alto costo, resultaría a la larga de gran beneficio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguirre, G. 1983. Estudio Geológico-Petroológico de la Hoja -- "Presa Solís, Jerécuaro, Gto. Tesis Profesional - Ingeniero Geólogo, Fac. Ing. UNAM. p. 152.
- Aguilera, J.G. y Ordoñez, E. 1895. Expedición Científica al Popocatepetl. México Comisión Geológica Mex. of. tip. de la Secretaría de Fomento. p. 48.
- Araña, V. y López, J. 1974. Volcanismo Dinámica y Petrología de sus Productos. Edit. Istmo. Madrid, España, - p. 481.
- Blásquez, L. 1956.- Volcanismo Terciario en México Exp. A-15. XX Congr. Geol. Int.
- Bloomfield, K; Sánchez Rubio, G. y Wilson, L. 1977. Plinian Eruptions of Nevado de Toluca Vulcano, Mexico; -- Geol. Rundschau, V.66 p. 120-146.
- Camacho, H. 1925.- Apuntes acerca de la actividad actual del Popocatepetl en relación con la Sismología. Anals. Inst. Geol. Mex. II. No. 1-3; p. 38-67 Mex.
- Cantagrel, J.M. y Robin, C. 1979.- K-Ar Dating of Eastern Mexican Volcanics Rocks-Relations Between the andesitic and the Alkaline Provinces. J. Vulcanol. of --- Geothermal Research, V.5 No. 1-2, p.99-114.
- Demant, A. 1976.- Contribución a la Definición de las Diferentes fases Volcánicas y Tectónicas del Eje Neovolcánico Mexicano. Acapulco (Mex.) Congr. Latinoam. -- Geología, 3. Resúmenes, p. 41 (Resumen); Texto en memoria.
- Demant, A. 1978.- Características del Eje Neovolcánico Trans-- Mex. y sus problemas de Interpretación. Mex. - - - U.N.A.M. Rev. Inst. Geol. Vol. 2 No. 2 p.172-187.
- Demant A. & Robin C. 1975.- Las Fases del Vulcanismo en México; una Síntesis en Relación con la Evolución Geodinámica desde el Cretácico. U.N.A.M. Inst. Geol. Rev. 75, No. 1, p. 70-82.
- Demant, A. 1981.- L'axe Neovolcanique Transmexicain. Tesis, -- Fac. de Scien. et Techniques du St. Jérôme, - - - Marseille, p. 259.

- Folk, R. 1974.- *Petrology of Sedimentary Rocks*; Hemphill Pub. Co., Austin, Texas.
- Friedlaender, I., 1922.- *La Erupción del Popocatepetl. (Mex)* Soc. Cient. Ant. Alz. Mem. y Rev. t40, No. 2-6.
- Fries, C. Jr. 1965.- *Mezcla de vidrios de los derrames cineríficos Las Américas de la Región El Oro-Tlalpujagua, Edo. Mex. y Mich.* Inst. Geol. U.N.A.M. Vol. 70, p. 10-14.
- García, E. 1981.- *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las cond. de la Rep. Mex.) México, D.F.* U.N.A.M.
- Gunn, B.M. y Mooser, F. 1970.- *Geochemistry of Volcanic of Central Mex*; Bull. Volcan, V. 34, p. 577-616.
- Gastil, G. y Jensky, W., 1973.- *Evidence for strikeslip displacement Beneath the Trans-Mex. Volcanic Belt.* Stanford Univ. Publ. Geol. Sci. V. 13, p. 171-180.
- Heine, K. y Heide-Weise, M. 1973.- *Jungquartäre Fördertolgen - des Malinche vulckans und des Popocatepetl (Sierra Nevada, Mex.)* Münster Forsh. Geol. Paleont., V. -- 31/32, p. 303-322.
- Humboldt, A. 1808.- *Essai Politique sur le Royaume de la Nouvelle Espagne.* Paris, F. Schoell, 905 p.
- Lorenzo, J.L. 1957.- *Las zonas Arqueológicas de los volcanes - Iztaccíhuatl y Popocatepetl, Mex.* Inst. Nac. Antrop. E. Hist., Dirección Prehistórica Pub. 3, p. 62.
- Lorenzo, J.L. 1964.- *Los Glaciares de México.* Monografías del - Inst. Geof. U.N.A.M.
- Mauvois, R; Demant, A. Silva. L., 1978.- *Excursión No. 4 El Eje Neovolcánico Transnacional III.* Congr. Latin de - - Geol. (Acapulco, Gro.) Libreto-Guía 4, p. 30.
- Martínez, Q.R., 1925.- *Estudio Microscópico de las Arenas Volcánicas del Popocatepetl; Méx., Inst. Geol. Anales, - t.2. No. 1-3 p.61-63.*
- Mac Donald, G. 1972.- *Volcanoes* Prentice-Hall, Inc. Edit. New - Jersey p. 510.
- Medina, F., 1983.- *Analysis of the Eruptive History of the Volcán de Colima. México (1560-1980)* *Geofísica Internacional.* Vol. 22, Núm. 2, p. 157-178.

- Mooser, F., 1962.- Bosquejo Geológico del extremo Sur de la --  
Cuenca de México in Inter.: Geol. Congr., 20 th. -  
Mex. 1956. Excur. C-9. México, D.F. U.N.A.M. Inst.  
Geol. p. 9-16.
- Mooser, F., 1963.- Historia Tectónica de la Cuenca de México,  
Bol. Asoc. Mex. Geol. Petr. V. 15, No. 11-12 p. --  
239-245.
- Mooser, F., 1968.- The Mexican Volcanic Belt Structure an Deve  
lopment; Formation of Fractures by Differencial --  
Crustal Heating; Méx. D.F. Pan Am. Symp. on the -  
Upper Mantle (1968), pte. 2, p. 15-22 Inst. Geof. -  
U.N.A.M.
- Mooser, F., 1972.- The Mexican Volcanic Belt; Structure and Tec  
tonics: Geof. Inter. V. 12, p.55-70.
- Mooser, F., 1975.- The Mex. Volc. Belt; Interpretation Derived  
From Fractures and Form: Trans. Amer. Geophys. - --  
Union, V. 56, p. 1066 (resum).
- Mooser, F.; Blásquez, L.; Lorenzo, J.; Reyes, L., 1961.- Fenó--  
menos Geológicos de algunos volcanes Mexicanos.- --  
Bol. Inst. Geol. U.N.A.M., 61, p.107.
- Mooser, F.; Meyer, Abbich, H y Mc Birney, 1958.- Catalogue of -  
active Volcanoes of the World; part VI, Central - ---  
America, Intern. Volc. Asocc., pte. 6.
- Mooser, F.; Nair, A.E.; Negendank, J.F.1974.- Paleomagnetic in-  
vestigations of the Terliary and Quaternary igneous  
rocks: III A Paleomagnetic and Petrologic study of  
volcanics of the Valley of Mex.: Geol. Rundschau --  
63(2) p. 451-483.
- Murillo, G. (Dr. ATL)., 1940.- Volcanes de México. La Actividad  
del Popocatépetl. V. I. Edit. Polis. México p. 72p.  
(1939).
- Negendank, F., 1972.- Volcanics of the Valley of Mexico. N. Jb.  
Miner. Abh. Vol. 116, No. 3 p. 308 -320 part. I. -  
Petrography of Volcanics.
- Ortega, J. 1979.- Geomorfología Glacial del área del Ajusto - -  
México, D.F. y Edo. de Méx. Tesis I.P.N. (Ing. Geol.)

- Ortega, A., 1981.- Modelo del Sistema Hidrogeológico del Valle de Amecameca, Mex. Tesis Ing. Geol. Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., Méx.
- Pal. S. y Urrutia, J.F., 1977.- Paleomagnetism, Geochronology and Geochemistry of some Igneous Rocks From Mexico and their tectonic implications: Calcuta Proceed - IV, Inter. Gondwana Symposium.
- Robin, 1981.- Les relations entre Magmatismes Alcalin et Calco-Alcalin: L'exemple Mexicain. Thèse Doctorat D'Etat. Univ. de Clermont-Ferrand, France.
- Robin, C. 1982.- México: The Mexican Volcanic Belt. John Wiley & Sons Ed.: Andesites, p. 137.
- Rzeredowky, J. 1981. La Vegetación de México, Edit. Limusa. - México, D.F.
- Sánchez Rubio, G. et. al. 1984.- Excursión al Volcán Chichonal Instituto de Geología (Guanajuato). (Informe inédito).
- Schlaepfer, J.F., 1968.- Inst. Geol. Hoja México 14Q-h (5) con Resumen de la Geología Hoja México, D.F., Edo. -- Méx. y Morelos.
- Silva, L., 1979.- Contribution a la Connaissance de L'axe Volcanique Transmexicain, Tesis, Fac. des Sci. et -- Techniques St. Jeromé, Marseille, p. 146.
- S.P.P., 1981. Atlas Nacional del Medio Físico.- Inst. Nat. -- Est. e Inf. México.
- S.P.P, 1982. Geología de la República Mexicana.- Inst. Nat. Est. e Inf.- México.
- Steckeisen, A.L., 1967.- Nomenclatura y Clasificación de las Rocas Igneas, Neves Jahrbuch Für Mineralogía. Abh. -- 107, p. 144-120.
- Tamayo, J. 1980.- Geografía Moderna de México. México, Edit. -- Trillas 9a. Edición.
- Taylor, S.R. 1969.- Traca Element Chemistry of andesite and -- Associated Calc-Alkaline Rocks. Proceed of the -- andesitic Conf. Upper Mantle Project. Scientific -- Report 16, St. of Oregon ed., p. 43-63.

- Thorpe, R.S., 1977.- Tectonic Significance of Alkaline Volcanisms in eastern México: Tectonophysics, V. 40, -- p. 19-26.
- Urrutia, J.F. y del Castillo, L. 1977.- Un Modelo del Eje Neovolcánico Mexicano. Bol. Soc. Geol. Mex., V. 38, -- p. 18-28
- Waitz, 1921.- La Nueva Actividad y Estado Actual del Popocatepetl.- Soc. Cient. Ant. Alz. Mem. y Rev. 37, No. -- 4-6; 295-313p.
- Walker, F.L.P. and Croasdale, R. 1971.- Two Plinian-type Eruptions in the Azores. J. Geol. Soc. London. 127, -- p. 17-55.
- Walker, G.L.P. 1980.- The Taupo Pumice: Product of the Most Powerful known (Ultraplinian) Eruption, Jour. Volc. of Geoth. Res: 8, p. 69-94.
- Walker, G.L.P. 1981.- New Zealand case Histories of Pyroclastic Studies. Studies of Individual Volcanoes of Tephra Layers. Dikeadel Publ. Co. p. 317-336.
- Wendell, D., Bacon, C. y Roquemore, G. 1979.- Origen of Reserse-Graded Bedding in air-fall pumice, Coso Range, California, Sour. Volc. And. Geoth. Res., 5, p. 35-48.
- White, S.E., 1951. A Geologic investigation of the late Pleistocene History of the volcano Popocatepetl, Mexico. Abstract of Dissertation. Thesis of Dr. Phil Syracuse University, P. 7.
- White, S.E. 1954.- The Firn Field on the Volcano Popocatepetl. Mexico Jour. of Glaciology Vol. 2, No. 16, p. 389-392. Cambridge, England.
- White, S.E., 1968.- Volcanology and Geomorphology of the Southeast Corner of Mexico Basin, West side of Iztaaccihuatl and North side of Popocatepetl Volcanoes, Mexico Field. Trip. Guideboock No. 8 G.S.A. 33p. Annual Meeting.
- Williams, H., and McBirney, A., 1979.- Volcanology. Freeman, Cooper and Co., California p. 397.

**A N E X O S**

ANEXO No. 7. PETROGRAFIA DE LAS ROCAS DEL VOLCAN POPOCATEPETL.

MUESTRA#	FENOCRISTALES										MATRIZ					TEXTURA	CLASIFICACION	UNIDAD
	OL	OPX	CPX	PL <sup>AN</sup>	Ab	ANF	BiO	FK	QZ		VID	PL	MG	HEM	CPX/OPX			
1293	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	P	AND.-DAC.	PS
1289	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	P	PORFIDO AND.	PI
1288	....	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	A	AND.	PI
1287	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	P	..	PI
1286	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	+ P	DAC. RIOD.(?)	NS
1285	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	+ P	..	NS
1213	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	P	TOBA AND.	NS
1294	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	A	DACITA	NS
1298	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	P	AND. ACIDA	NS
1290	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	A	ANDESITA	NI
1295	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	A	AND. DAS.	NI
1299	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	F	DIORITA DE DIQ.	X
1292	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	F	GRANODIORITA	X
1284	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	F	WEHRLITA	X

CLAVE: MINERALOGIA. OL-OLIVINO, OPX-ORTOPIROXENO, CPX-CÚNAPIROXENO, PL-PLAGIOCLASA (AN-ANORTITA, AB-ALBITA), ANF-ANFIBOL, BiO-BIOTITA, FK-FELDSPATO POTÁSICO, QZ-CUARZO; VID-VIDRIO, MG-MAGNETITA, HEM-HEMATITA

TEXTURA. A -AFANÍTICA, P -PORFÍDICA, F -FANERÍTICA, + P -MUY PORFÍDICA.

CLASIFICACIÓN. AND.-ANDESITA, DAC.-DACITA, RIOD.-RIODACITA.

UNIDAD. NI-Fm. NEXPAYANLA INFERIOR, NS-Fm. NEXPAYANLA SUPERIOR,

PI-Fm. POPOCATEPETL INFERIOR, PS-Fm. POPOCATEPETL SUPERIOR (X - Xenolitos graníticos).

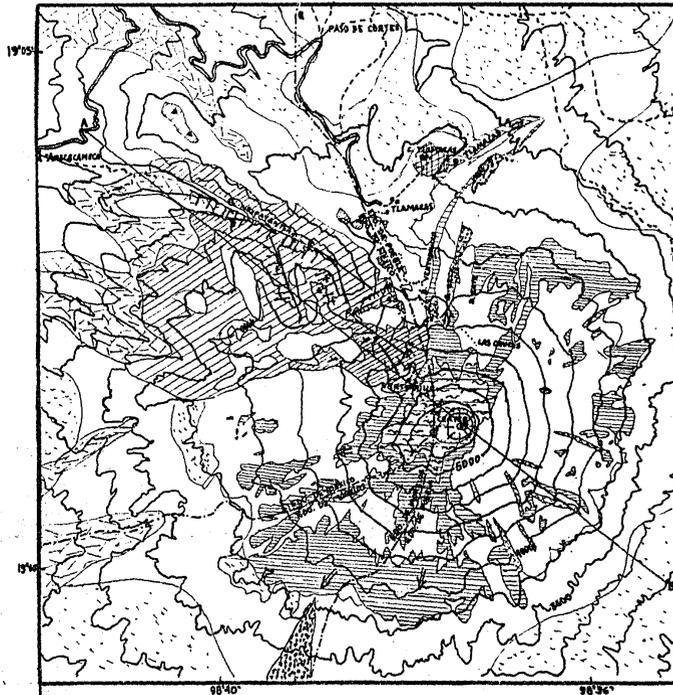
--- mineral abundante, ---- suficiente, .... accesorio.

## ANEXO 2.

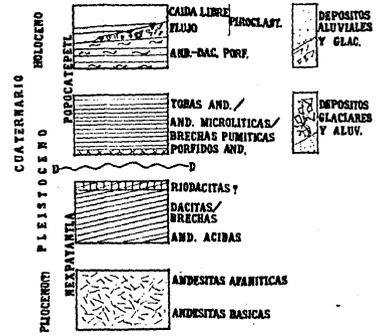
ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS ROCAS DEL VOLCÁN POPOCATEPETL  
 REALIZADOS EN EL INSTITUTO DE GEOLOGÍA DE LA U.N.A.M. Graciela Velázquez (6,7 y 11)  
 Rosa M. Unda (3,4 y 5) Esperanza Schueder (1 y 2) Irma Aguilera (8,9 y 10).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO <sub>2</sub>	57.94	60.91	61.05	61.74	61.99	62.57	62.62	62.67	62.71	63.1	70.3
TiO <sub>2</sub>	0.55	0.9	0.6	0.55	0.68	0.76	0.75	0.98	0.86	0.62	0.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.23	19.27	18.56	16.85	15.8	16.06	17.18	16.6	15.17	16.88	15.56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.3	1.04	0.16	0.92	0.33	1.88	0.2	1.38	2.49	1.08	1.29
FeO	3.49	3.04	3.34	2.99	3.84	2.94	3.39	3.31	2.63	2.53	1.29
MnO	0.08	0.06	0.08	0.06	0.09	0.45	0.5	0.06	0.06	0.05	0.2
MgO	5.87	2.67	2.55	3.38	3.21	4.18	3.39	2.74	2.7	2.8	1.83
CaO	4.98	5.16	5.89	6.47	6.4	5.51	5.56	5.24	5.43	5.28	3.31
Na <sub>2</sub> O	3.63	3.63	4.82	4.7	4.9	3.9	4.35	4.96	5.0	4.95	4.55
K <sub>2</sub> O	0.71	0.87	2.5	1.9	1.98	1.4	1.75	1.9	2.0	1.95	2.1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11	0.13	0.65	0.44	0.45	0.16	0.23	0.2	0.2	0.16	0.12
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.05	0.68	0.36	0.35	0.59	0.1	0.05	0.16	0.63	0.72	0.05
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.82	1.36	0.08	0.11	0.23	0.48	0.4	0.05	0.15	0.17	0.16
SO <sub>3</sub>	--	--	--	--	--	0.07	0.03	--	--	--	--
TOTAL	99.76%	99.72%	100.64%	100.46%	100.49%	100.46%	100.4%	100.26%	100.03%	100.29%	100.38%

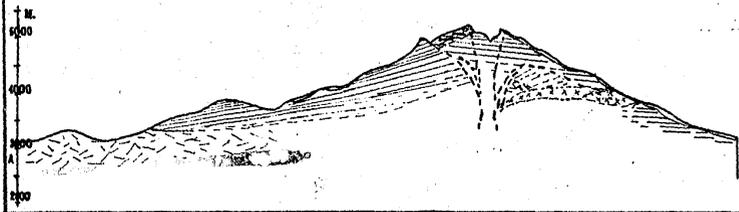
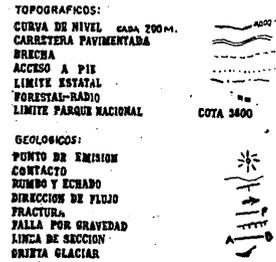
CLASIFICACION	UNIDAD DE ROCA	LOCALIDAD
1. Andesita Basáltica de Olivino y Augita	Fm. Nexpayantla (U. Inf.)	Cañada Nexpayantla
2. Andesita Microclítica de PX y OL.	Fm. Nexpayantla (U. Inf.)	Cañada Nexpayantla
3. Andesita de CPX. y OL Reaccional	Fm. Popocatepetl (U. Inf.)	Barranca Ventorrillo
4. Andesita Porfídica de PX	Fm. Nexpayantla (U. Sup.)	Cañada Nexpayantla
5. Andesita Porfídica de 2PX	Fm. Popocatepetl (U. Ing.)	Camino a 3 Cruces
6. Andesita Ácida Afanítica de 2 PX	Fm. Nexpayantla (U. Sup.)	Lomas del Pico Ventorrillo
7. Andesita Ácida Porfídica de PX y OL. Dacita	Fm. Popocatepetl (U. Sup.)	Cráter
8. Diorita de Biotita y Augita	Xenolitos dentro de posible	Flanco SW del volcán 3500m.
9. Granodiorita de Biotita y Augita	Nubo ardiente	Flanco SW del volcán 3500m.
10. Dacita de 2 PX	Fm. Nexpayantla (U. Sup.)	Pico Ventorrillo
11. Ríodacita Porfídica de Cpx + Qpx	Fm. Nexpayantla (U. Sup.)	Cerro Tlamacas



## LEYENDA



## SIMBOLOGIA



UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
GEOLOGIA DEL VOLCAN POPocatePETL	
GERARDO CARRASCO NUÑEZ	FEV. / 1988