



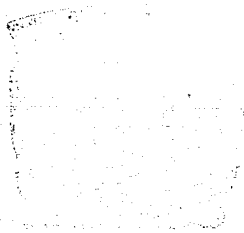
201  
97  
4

Universidad Nacional Autónoma de México  
FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFIA

# “MAPA DE VOLCANES CUATERNARIOS DE MEXICO”

(1 : 4 000 000)

FALLA DE ORIGEN



★ 1989 ★

SECRETARIA DE  
ASUNTOS ESCOLARES

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFIA

## TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL TITULO  
DE LICENCIADO EN GEOGRAFIA  
P R E S E N T A

MARIA JOSEFINA HERNANDEZ LOZANO



## **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.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## INTRODUCCION

El mapa es un medio para interpretar la realidad, ya que nos da una idea de la forma, el tamaño y la posición que tienen los objetos en el espacio. Asimismo sobre la longitud, área, volumen y altura, que son características espaciales importantes. Por lo tanto se le puede considerar un elemento imprescindible en el trabajo del geógrafo, si tenemos en cuenta que su objetivo es explicar las leyes de distribución de los fenómenos y sus correlaciones; el mapa permite obtener conocimientos nuevos, hacer un estudio del desarrollo de procesos y establecer relaciones entre fenómenos.

En el caso particular de la geomorfología, que se encarga del estudio de las formas del relieve, considerando su morfología, génesis, edad, evolución, dinámica y distribución, los mapas constituyen una herramienta valiosa para obtener conclusiones originales sobre las características de los procesos y fenómenos y así elaborar mapas especiales novedosos. Para la elaboración de éstos la escala es un elemento importante, ya que además de determinar el grado de reducción del tamaño de los objetos, es decir, el detalle de las formas del relieve, determina el grado de generalización y por lo tanto la posibilidad de aplicación.

Por medio de la generalización de la información cartografiada se destaca lo principal, los rasgos más importantes, y se obtiene un concepto común a todos los elementos que se pretenden cartografiar. Esto no significa

pequeña, sino que conducirá a una mejor apreciación y a un reagrupamiento de la información, en el caso de la geomorfología, considerando la morfología, génesis y edad del relieve (Dumitrasheo, 1978:21). Al estudiar la distribución, el geomorfólogo trata de plasmar en el mapa tanto la extensión y la forma como la estructura del relieve. En una escala pequeña se representan las características morfológicas, especialmente estructurales (Bocco, 1983:9); dichas características dependen en buena medida del detalle que la escala permite, lo que redundará en la exactitud de las formas y sus límites (Palacio, 1983a:101).

En cuanto a las correlaciones de los fenómenos, es común que el geomorfólogo utilice la comparación de mapas, principalmente el topográfico y el geológico. Esto es importante para poder determinar si los rasgos geomorfológicos reflejan el predominio de la litología y la estructura, o son el resultado de los procesos exógenos e historia geomorfológica de la región. Por lo tanto es casi imposible separar los estudios geomorfológicos de los geológicos (Thornbury, 1970:567).

Por lo general las correlaciones se deducen a partir de la acción de los procesos exógenos que originan una forma común, es decir de una relación causa-efecto. Como en el caso de las morrenas relacionadas con procesos de denudación glacial o los barrancos y valles relacionados con la erosión fluvial.

En escalas pequeñas utilizadas para estudios de carácter más general, de tipo regional, el aspecto dinámico queda completamente excluido; la escala no permite relacionar

variables más específicas que requieren mayor detalle para su estudio, como la erosión, remoción en masa, sedimentación, etc. Conforme disminuye la escala las variables que se pueden correlacionar se van haciendo más generales y de un carácter más regional. Este es el caso de la tectónica, en la cual se incluye el diastronismo, el vulcanismo y la sismicidad, que se pueden considerar como fenómenos extendidos en el tiempo. Por lo tanto a una escala pequeña el aspecto evolutivo es el más importante: se dará más énfasis a los aspectos morfoestructurales, de carácter endógeno (geológico), a niveles regional y continental (Palacio, 1985b:9).

Precisamente la actividad endógena se hace evidente en nuestro país por medio del vulcanismo y la sismicidad. El fenómeno volcánico es importante en cuanto a extensión, ya que cubre dos tercios del territorio; no obstante, se carece de estudios sintéticos sobre el tema para gran parte del país (Demant, 1975:70). Una investigación geomorfológica a pequeña escala es un punto de partida necesario para regiones poco estudiadas, ya que muestra los rasgos generales de su estructura y desarrollo (Spiridonov, 1981:87). Sobre esta base resulta más fácil realizar estudios detallados posteriores. Tal es la justificación general de la presente investigación.

Existen trabajos principalmente de carácter geológico de áreas volcánicas mexicanas o de volcanes en particular, entre los cuales destacan los de Fries (1956), Bloomfield y Valastro (1974), Mooser (1961 y 1975), Demant (1975, 1978 y 1982), Martín del Pozzo (1985), entre otros. En cuanto a

trabajos de carácter geomorfológico. éstos se encuentran en una etapa intermedia de desarrollo. Se han elaborado algunos estudios de geomorfología general en zonas del Cinturón Volcánico Mexicano (CVM), abordando el tema de geomorfología volcánica y se ha empezado a desarrollar una cartografía geomorfológica volcánica particular a las condiciones del país, como en los trabajos de Lugo (varios trabajos), Palacio (1982 y 1985), Bocco (1982 y 1986), Moya y Zamorano (1983) y Vázquez (1985).

Si tenemos en cuenta que son los efectos del volcanismo los que, particularmente, interesan al geomorfológico -ya que del fenómeno volcánico resultan características especiales de forma y litología (Uricart, 1968:261)- podemos concluir que las condiciones espacio-temporales del volcanismo en nuestro país permiten realizar un trabajo novedoso consistente en la elaboración de una cartografía geomorfológica particular que muestre la distribución del relieve volcánico en el territorio. Sin embargo, esto establece problemas originales de concepción y realización que deben ser resueltos para poder obtener un sistema propio, incorporando lo útil de las metodologías y clasificaciones existentes (Vázquez, 1985:45), pues las existentes no son adecuadas a la escala de trabajo, que en el presente caso es de 1 : 4 000 000.

Conociendo las características particulares de nuestro país es posible ayudar a resolver problemas que necesitan un estudio detallado para ser abordados. En el Instituto de Geografía de la UNAM, dentro del programa "Atlas Nacional de México", se inició una serie de investigaciones

que tienen como fin la realización de mapas de carácter general a una escala 1:4 000 000, de temas físicos, económicos y sociales. En el departamento de Geografía Física, en el área de Geomorfología, se pretenden elaborar un mapa de geomorfología general así como varios especiales de temas como el relieve volcánico, las costas, la morfometría, etc.

El relieve volcánico es precisamente el tema del presente trabajo. El interés de realizar un estudio de este tipo fue principalmente el de proporcionar a los estudios de geomorfología volcánica en nuestro país un marco de referencia general. Considerando la amplia distribución del volcanismo en el territorio y la relativa diversidad de edades de las rocas volcánicas (que van desde el Jurásico-cretácico hasta el Cuaternario), se decidió que la forma más adecuada de abordar el tema sería atendiendo a su significado geodinámico (Demant y Robin, 1975:71). En el presente trabajo se concretó a tratar el volcanismo cuaternario haciendo una breve relación con el modelo tectónico del país.

La elección del volcanismo cuaternario se basó entre otras cosas, en la importancia que ha tenido desde el punto de vista social como marco para el asentamiento y desarrollo de las actividades humanas, principalmente en el centro del país. Además por su relación con la formación de suelos, las aguas subterráneas, los bancos de material, la geotermia y las aguas termales. Por otra parte esta actividad endógena ha condicionado la formación de lagos, como en el caso de los lagos de la Cuenca de México, resultado de la formación de la



Sierra Chichinautzin, que conformó una cuenca endorreica ; y de glaciares en el Tlialtépetl, Popocatepetl e Iztaccihuatl, que surgieron por las alturas que alcanzaron los edificios volcánicos (Lugo, 1979:15).

Además, debido al tipo de volcanismo explosivo que caracteriza al periodo cuaternario (McBirney, et al,1974; Kennett y Ihunell, 1975 citado por Bloom, 1980:73), los materiales prevalectentes, principalmente piroclastos, hacen propicia una dinámica exógena, como la formación de barrancos, torrentes, deslizamientos, lo cual está en relación con el desarrollo de las actividades económicas del hombre. Finalmente, el estudio del volcanismo cuaternario es importante por el dinamismo que presentan algunas zonas que contienen aún volcanes activos, como es el caso del Volcán de Colima y el Popocatepetl.

De acuerdo con las características mencionadas, para el presente estudio se plantearon los siguientes objetivos:

#### **OBJETIVO GENERAL**

Elaborar un mapa geomorfológico a escala pequeña (1:4 000 000) de las zonas de volcanismo cuaternario en México.

#### **OBJETIVOS PARTICULARES**

Elaborar una metodología aplicable a escalas pequeñas para mapas de geomorfología volcánica.

Contribuir al refinamiento y enriquecimiento de una leyenda de geomorfología volcánica adecuada a las condiciones del país.

Para la realización de este trabajo fue necesario conocer, en primer lugar, las principales características del relieve volcánico para entender la forma en que se presenta en el territorio mexicano y así poder hacer una leyenda adecuada a escala pequeña, principalmente de volcanismo cuaternario. Por lo tanto el desarrollo de la metodología y leyenda adecuadas fueron aspectos importantes a desarrollar. Cabe señalar que, a pesar de existir estudios, nacionales y extranjeros, que han abordado el tema de volcanismo, la escala sobre la que fueron hechos no permitió su aplicación para el presente caso que requirió de una escala pequeña (1:4 000 000). Por lo tanto, dichos estudios sólo sirvieron como guía: de ellos se tomaron los indicadores necesarios para hacer la metodología y leyenda más convenientes.

El método cartográfico fue un elemento esencial, por lo cual se realizó un capítulo especial para tratar la cartografía geomorfológica de áreas volcánicas, haciendo énfasis en las características del volcanismo cuaternario.

Una vez considerados los elementos que se tenían que representar según la escala de trabajo (1:4 000 000), se inició la elaboración del "Mapa de volcanes cuaternarios de México". La utilización de cartas topográfico-geológicas a diversas escalas fue la base para la realización del mapa. Las principales zonas de volcanismo cuaternario fueron delimitadas por medio de ocho cartas geológico-topográficas a escala 1:1 000 000 que cubren el país. Los límites de éstas zonas, a su vez, fueron corregidos con las cartas geológico-topográficas 1:250 000 disponibles y con la información bibliográfica existente.

sin embargo, la escala empleada para realizar el mapa final provocó que no se pudieran individualizar las formas sino que se agruparan, a pesar de que la identificación de formas volcánicas se hizo en cartas geológico-topográficas a escala 1:50 000. Finalmente se cuantificaron los volcanes, distinguiendo entre monogénéticos (que engloban a los volcanes de tierra, lave y maares) y los poligénéticos o estratovolcanes. Una vez hecho esto, la densidad se representó por medio de achuras diferentes de acuerdo a 12 rangos establecidos. Las variaciones en intensidad permiten apreciar la repartición general o distribución del fenómeno en el espacio.

El método morfoestructural fue de gran ayuda, ya que como señala Bemick (1978:286), un mapa a escala pequeña se establece mejor con tipos de relieve sobre una base morfoestructural completada con selección de formas de relieve, principalmente aquellas importantes por su génesis y edad. En este caso la distribución de los volcanes se estudió en relación con las principales morfoestructuras asociadas, que son el rift del Golfo de California y la trinchera mesoamericana.

Una vez hecha la cuantificación y teniendo en cuenta el tipo de volcanes se procedió a diferenciar los tres tipos de zonas volcánicas: de área, fisural y central.

Finalmente se elaboraron dos mapas. Uno de ellos señala los límites de las rocas volcánicas y distingue las zonas de volcanismo de fisura, de área y central; indica los tipos de volcanes que predominan por medio de letras, ya que la escala no permite ubicarlos individualmente; por lo tanto

este mapa es sólo una aproximación a la verdadera constitución del relieve volcánico en México.

El segundo mapa es el principal; en él se muestra la densidad de volcanes, cuantificados por cada carta 1:50 000. Se puede apreciar claramente la concentración de volcanes a lo largo del Cinturón Volcánico Mexicano en contraste con una menor presencia en Baja California.

La elaboración de perfiles por computadora fue un elemento de gran apoyo, ya que con ellos se adquiere una idea más completa de la constitución del relieve, en este caso de los volcanes. Es decir, la vista en plano del relieve siempre tiene que ser complementada con una vista en perfil, para aclarar las dudas o para descubrir anomalías. Para el presente trabajo la agrupación de los volcanes en un solo perfil permitió entender la complejidad de la distribución de los volcanes a lo largo del Cinturón Volcánico Mexicano.

En el último capítulo se presentan los resultados del análisis de los mapas. Se elaboró básicamente con la ayuda de trabajos referentes al tema y a la zona en estudio; tomándose las ideas principales de los autores para explicar la distribución del volcanismo cuaternario. Además se hizo hincapié en la relación que guarda el volcanismo cuaternario con la tectónica de nuestro país.

Finalmente se presentan algunas conclusiones acerca de la metodología utilizada y de la distribución del volcanismo.

## CAPITULO I

### GEOMORFOLOGIA VOLCANICA

El proceso volcánico por si solo modifica la forma de la superficie terrestre de manera directa e inmediata. La mayor o menor acción de los agentes exógenos, reflejada en la denudación y acumulación, está determinada por las condiciones físicas de las formas volcánicas sobre las que actúen. Esto a su vez será un factor decisivo para que se lleven a cabo las diferentes actividades humanas, ya que los deslizamientos, erosión acelerada, torrentes, etc. son una limitante. Sin embargo, la misma actividad volcánica al colocarse dentro de un contexto humano, ya es considerada como un riesgo, por los derrames de lava, lahares o nubes ardientes.

Es claro entonces que las formas derivadas de la acción volcánica y la evolución de éstas son de gran interés en la geomorfología. Dar un panorama general de las principales formas volcánicas, su constitución, su actividad, así como su distribución espacial, ayudará a encontrar las características particulares que permitan desarrollar la clasificación más adecuada para la elaboración del mapa de volcanes cuberñarios.

El tema del volcanismo lleva a pensar que sería mejor tratado por los geofísicos y geólogos; sin embargo, lo interesante de este proceso es que puede ser abordado desde muy diversos puntos de vista, entre ellos el geomorfológico, ya que un volcán y su mecanismo se pueden considerar como un crisol geológico o como un constructor de formas (Cotton, 1944

citado por Bloom, 1980:56).

La importancia geomorfológica de los volcanes radica en su amplia distribución latitudinal y climática: por lo tanto, es importante entender las principales características de su actividad así como sus formas resultantes.

El volcanismo es una fase de la acción ígnea, la cual consiste en la emisión de material que forma volcanes. El rasgo esencial de un volcán es el orificio central, la forma y perfil de los materiales acumulados alrededor del orificio están determinados en gran parte por el tipo de erupción. El paisaje volcánico consiste entonces en acumulación de lava solidificada y de fragmentos de productos volcánicos. Muchos lugares de nuestro país deben sus formas principalmente a la acumulación de material de origen volcánico, de diferente edad y constitución. Un análisis cartográfico general o particular del fenómeno volcánico permite observar la distribución del volcanismo y su importancia a nivel espacio-temporal, concretándose en este caso al volcanismo cuaternario.

El presente capítulo se elaboró utilizando algunos de los trabajos existentes sobre el tema de volcanismo, entre los cuales se pueden citar a Cotton (1952), Pomerol y Fouet (1963), Ullier (1969), Belousov (1979), Bloom (1980), Derruau (1982) Verstappen (1983) y Bocco (1986).

Cabe recordar que el tema de volcanismo se puede abordar atendiendo a tres aspectos que son: vida eruptiva, tipo de actividad y centros eruptivos, cada uno con una escala particular de trabajo: a continuación se describen.

## II a FORMAS ELEMENTALES Y COMPLEJAS (VIDA ERUPTIVA)

Las formas volcánicas se pueden diferenciar considerando la composición química y el estado físico del magma. Las dos están en estrecha relación pero la segunda es la más conveniente para los estudios geomorfológicos. Otra diferencia básica es la que hace Tricart (1978:172), en formas elementales y complejas. Esta diferenciación se basa en la duración o "vida eruptiva" de los volcanes, de la cual dependerán en parte la estructura y forma exterior.

Las formas *elementales*, también llamadas *monogenéticas*, se originan durante una sola erupción, después de la cual cesa su actividad. Generalmente ésta dura de un mes a 15 años (Martin, 1986:7). Las principales formas resultantes son los derrames, agujas, domos, acumulaciones piroclásticas.

Las formas *complejas* o *poligenéticas* se constituyen por asociación de formas elementales de edad distintas; destacan por su prolongada actividad múltiples erupciones que transcurren durante miles y a veces millones de años (Belousov, 1979:148). Las formas características son los estratovolcanes y calderas (ver tabla 1).

### FORMAS MONOGENÉTICAS

*Derrames de lava.* Se forman al escurrir la lava por una superficie. Pueden rellenar las depresiones y principalmente los valles de los ríos. La lava comúnmente emerge de orificios o fisuras como mantos amplios o como lenguas individuales que fluyen ladera abajo; cada lóbulo o lengua es llamado flujo de lava, derrame de lava o colada de

lava (Bloom, 1980:60).

La forma y tamaño de los derrames es muy variable; depende de la topografía preexistente, de la cantidad de lava emitida y de la fluidez de la lava. Es común que las lavas básicas (más fluidas), como las basálticas y andesito-basálticas, formen derrames de gran longitud. Las lavas intermedias (menos fluidas), como las andesíticas y andesito-dacíticas, forman coladas de pocas decenas de kilómetros. Por su parte la longitud de los derrames de lavas ácidas no excede de algunos kilómetros (Belousov, 1979:132).

Un ejemplo característico lo encontramos al sur del estado de Tamaulipas, en el municipio de Cd. Mante, en donde se puede apreciar que los flujos de lava basáltica siguieron el río de los Gatos, alcanzando una longitud de 65 kilómetros. Posiblemente el flujo originó la desviación del río y que éste se encauzara lateralmente. Esto fue favorecido por la fluidez de la lava y el relieve preexistente. El mismo caso se repite en el río Ocampo pero con menor extensión.

*Mantos de lava o mesetas de lava.* Son superficies masivas a partir de una zona de fracturas (volcanismo fisural), son características de las lavas muy fluidas basálticas. Por lo general, cada emisión forma un manto muy extenso y de poco espesor; pero su sobreposición en forma de peldaños de escalera (trapps, término germánico) puede dar al conjunto una potencia que sobrepase los 2 km (Pomeroy y Fouet, 1963:12). Exceptuando algunos domos de lava o de escoria pequeños, la constitución morfológica de las mesetas sería extraordinariamente plana (Bloom, 1980:73).



Un ejemplo típico lo encontramos en el municipio del Zambo, estado de Hidalgo, en donde se halla una meseta de lava de bordes abruptos como es característico en los relieves constituidos por rocas volcánicas (lavas).

Clase de Magma	Tipo de Actividad	Cantidad de material eruptado		
		Pequeña		Grande
Flujo, muy caliente, básico	Efusiva	Flujos de lava	Domos exógenos	Mesetas de lava y volcanes escudo
		Conos de escoria con flujos	Conos compuestos	
	Mixta	Domos de tierra y flujos	o estratovolcanes	
		Domos endógenos con flujos de lava	Domos endógenos	Campos volcánicos con múltiples conos
Relativamente viscoso, ácido	Explosiva	Maar	Maar	Calderas de colapso y explosión
Extremadamente viscoso, cristales abundantes	Explosivo principalmente	Maar	Cráteres de explosión	

Cuadro no. 1. Clasificación de formas volcánicas. (Reproducido de Bloom, 1980:68).

*Domo de lava (exógeno) o cono de lava* . Originados por la sucesión de lava basáltica sobre el orificio en terreno plano, genera un cono de laderas rectas de pendiente suave ( $7^{\circ}$  o menos) (Willier, 1969:21).

Existen numerosas formas de este tipo sobre todo en el norte del país, en donde se caracterizan por ser pequeños con un diámetro no mayor de 150 m y una altura de 60 m. Se concentran principalmente sobre las orillas de las mesetas de lava o se presentan linealmente; también pueden constituir volcanes adventicios como en el caso del volcán Aguila en el estratovolcán del Ajusco.

*Domo de lava (endógeno)*. Originado por roca ígnea ácida que no explota. El aumento de la lava viscosa dentro de una cáscara hace que se desmoronen incrustaciones de obsidiana y pómez lentamente, continuando la extrusión de lava altamente viscosa. El par de domos conocidos como Las Derrumbadas, situados en la cuenca de Oriental, son un buen ejemplo de domos endógenos. Estos domos son de composición ríolitica, originaron una serie de flujos de ceniza, lahares y una nube ardiente (Negendank, 1958b:23). La ascensión de la lava ha originado derrumbes en las laderas del domo.

*Cono piroclástico, cinerítico o de tefra*. Se forman al apilarse alrededor del orificio volcánico fragmentos de lava producidos en forma explosiva, su pendiente depende del ángulo de reposo del tipo de material; cuando tienen derrames, en general salen de su base.

Cabe mencionar que el término **tefra** es el más conveniente para englobar a todos los fragmentos eyectados de los volcanes. Se deriva de la palabra griega ceniza y se intenta que sea funcionalmente equivalente a los términos lava y magma (Thorarinsson, 1951 citado por Bloom, 1980:63). Esto es importante al recordar la arbitraria consideración que se toma para clasificar a un volcán como cinerítico o de escoria según el material dominante.

Los conos de tierra son las formas volcánicas que predominan más ampliamente en el país, concentrándose específicamente en Michoacán y Guanajuato, así como en el borde septentrional de Morelos donde se halla la Sierra Chichinautzin.

Los volcanes cineríticos, de escoria y con cráter en herradura son tipos de volcanes que pueden quedar incluidos dentro del término de volcanes de tefra. Los volcanes con cráter en herradura se encuentran bien ejemplificados en Cabo San Quintín; es un grupo de siete volcanes en forma de media luna, en los cuales se puede apreciar las coladas que salen del lado NE, las cuales presentan depresiones en su parte superior. Esta forma característica se debe a una continua emanación fluida que impide que se forme completamente el edificio volcánico. Existen muchos volcanes de este tipo también en el centro del país así como en el Eoo. de Hidalgo. Su forma muchas veces se atribuye a una explosión; sin embargo, si éste fuera el caso, las lavas estarían cubiertas por material piroclástico, en cambio las lavas en estas formas se encuentran libres de una cubierta piroclástica y se puede apreciar que su emisión parte del centro del volcán.

como en el caso del volcán Tecoco que se encuentra al SE del municipio de Hueaca en el Edo. de Hidalgo.

*Maar.* De origen extremadamente explosivo, el fondo de su cráter se halla a un nivel inferior al de la superficie y es a menudo más ancho que profundo, su borde es de piroclastos ya sea volcánicos o de rocas arrancadas al conducto a menudo asimétrico, comúnmente el cráter es ocupado por un lago.

Existen en el territorio mexicano grupos de mares bien definidos. En la planicie del Río Lerma cerca de Valle de Santiago, Guanajuato; destaca el Rincón de Parangueo, y en la Cuenca de Oriental en Puebla, la Laguna de Alchichica. En este tipo de explosión el agua (específicamente la del manto freático) es el factor principal, por lo que se le llama "explosión freatomagnética". Este hecho se debe al aumento de presión del magma por la vaporización del agua que entra en contacto con la masa fundida, lo que da lugar a explosiones violentas.

#### FORMAS POLIGENÉTICAS

*Calderas de hundimiento o derrumbe.* Colapso al disminuir el volumen que abarcaba la cámara magnética a profundidad, la efusión del material magnético aumenta la carga en la superficie y conduce al hundimiento. Las calderas de explosión, en cambio, son depresiones formadas como resultado de la dispersión de una parte considerable del material que compone el volcán durante las erupciones explosivas catastróficas (Belousov, 1979:159).

Como ejemplo, de caldera de derrumbe, se puede mencionar a la Caldera de Amealco ubicada a 130 km al

noroeste de la Ciudad de México. Tiene 11 km de diámetro y su porción sur está truncada por una falla normal regional. Según Ferriz (1985:148), el colapso de esta depresión, probablemente, se debió a la erupción de la ignimbrita Amealco. Esta formación está alineada sobre el sistema de fallas San Miguel Allende-Guerrero-Ixmiquilpan.

*Estratovolcán o volcán compuesto.* Son grandes volcanes de composición compleja formados de flujos de lava y depósitos piroclásticos. Se construyen durante largos periodos de estabilidad en alternancia con erupciones.

La estratificación y especialmente las zonas de debilidad formadas por los contactos entre diferentes materiales, favorecen la erosión diferencial.

A lo largo del Sistema Volcánico Transmexicano existen formas de este tipo, como son: el Volcán de Colima, Sangangüey, Teborucio, Nevado de Toluca, la Malinche, Popocatepetl, Iztaccihuatl, Pico de Orizaba y Cofre de Perote.

El Popocatepetl es un estratovolcán con un cono de piroclastos y lavas. El cono volcánico se eleva unos 1500 metros sobre su base, con pendiente de unos 33° hacia la porción superior, en gran parte cubierta de nieve y hielo. Su cima posee un cráter amplio de forma elipsoidal. Se ha formado por etapas sucesivas de actividad que han continuado hasta tiempos históricos (Lugo, 1984:14).

## II b ACTIVIDAD ERUPTIVA (TIPO DE ACTIVIDAD).

Los productos de las erupciones se deben considerar como el resultado de ciertos tipos de actividad, tales como:

explosiva, efusiva y extrusiva (ver fig. no. 1) Por medio de éstas el magma llega a la superficie, en donde su estado físico y propiedades químicas cambian. Cada tipo de erupción está gobernada por el relativo aumento de gas, sólidos y líquidos presentes en el material fundido.

Las erupciones explosivas y efusivas dependen directamente de la composición química del magma y sobre todo de su acidez. Durante las erupciones de magma básico dominan las erupciones de lava, mientras que durante las erupciones de magma ácido predominan los productos de la actividad explosiva. Lo anterior se explica por el hecho de que en el magma de composición ácida existe inicialmente un contenido muy alto de componentes volátiles, cuya separación de la masa fundida al disminuir la presión comunica a sus erupciones un carácter muy explosivo.

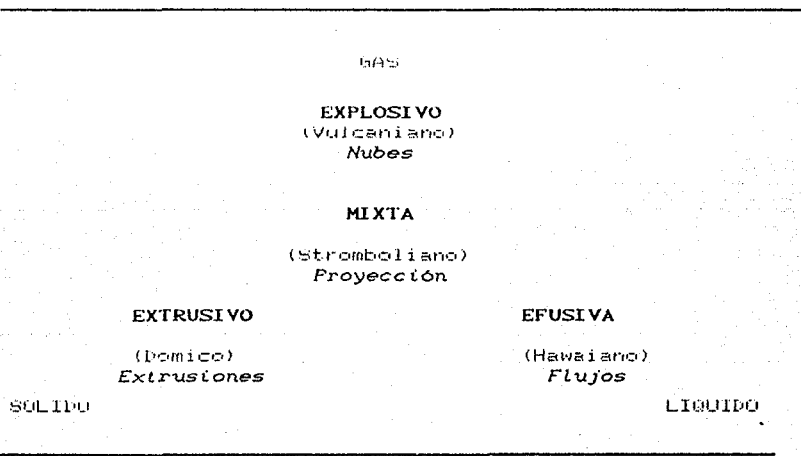


Fig. 1 Clasificación de erupciones por Geze. (Reproducido de Ollier, 1969:10).

La composición química es un factor que determina el tipo de actividad eruptiva. Esto está en relación con el contenido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ). El rango ordinario del  $\text{SiO}_2$  es de 35% en magmas ultrabásicos a 75% en magmas ácidos. A cualquier temperatura dada, las lavas ácidas (ricas en sílice) son más viscosas que las básicas (pobres en sílice).

El contenido de gases es también importante y está en estrecha conexión con la composición química. Los gases son generados por procesos químicos en el magma. Parte del vapor de agua se obtiene del agua externa adquirida por el magma durante su ascensión. La composición química del magma, a una temperatura dada, además de controlar la fluidez determina también la resistencia a liberar el gas.

Los magmas fluidos basálticos liberan los gases tranquilamente hasta que se enfrían y se hacen viscosos. Las erupciones explosivas y formación de escorias puede ocurrir al final de una erupción volcánica básica. En cambio, los magmas ácidos producen erupciones explosivas.

Cuando el agua está disuelta en el silicato fundido (magma) la temperatura de fusión disminuye. Aunque los magmas ácidos pueden disolver más agua que los básicos y por lo tanto ser más móviles a profundidad, llegan a ser altamente viscosas en la superficie, cuando los volátiles han escapado afuera. En el proceso de desgasificación llegan a ser explosivos (Bloom, 1980:60).

A su vez, al aumentar la temperatura el magma llega a ser más fluido, los gases son liberados lentamente y tienen lugar efusiones. Los magmas ácidos son más viscosos que los

básicos porque a una presión dada su temperatura de cristalización es más alta.

Sobre una temperatura de enfriamiento de  $1160^{\circ}$  C algunos de los minerales en lavas básicas (pobres en silice) empiezan a cristalizar y la viscosidad incrementa rápidamente por muchos órdenes de magnitud, con sólo bajar la temperatura lentamente.

Al disminuir la presión durante la elevación del magma por el conducto de salida y su efusión a la superficie, el vapor de agua y los gases que se encontraban disueltos, se separan. La cantidad pequeña de gases que tiene el magma básico queda en la lava en forma de burbujas.

Durante la erupción de magma ácido, rico en componentes volátiles, la segregación de estos últimos, al reducirse la presión en la chimenea, transcurre en forma tempestuosa, y conduce a algo parecido a la ebullición, en la que la masa fundida se esponja, y es expulsada violentamente en forma de una enorme cantidad de cenizas y fragmentos de espuma volcánica muy ligera llamada piedra pómez.

Las condiciones de temperatura, gases y composición química, ayudan a aclarar por qué la actividad erusiva está casi totalmente confinada a magmas básicos, como el basalto.

## II c CENTROS ERUPTIVOS

Según la estructura y disposición de los conductos de salida del magma, se distinguen los tipos de erupciones: *central, fisural y de área.*

Durante el volcanismo de tipo *central* el conducto de salida coincide con el nudo de intersección de las grietas



empinadas o verticales (Belousov, 1973:140).

En las erupciones de tipo *fisural*, según Belousov (op. Cit), el conducto de salida es una grieta empinada profunda y de relativa extensión, en estado de apertura. La masa magmática fundida alcanza la superficie a lo largo de toda la grieta o de un tramo considerable de ésta, o las erupciones se localizan en una o varias porciones limitadas de la grieta y en particular donde ésta interseca las grietas menos importantes en otra dirección.

De acuerdo con Fomerol y Fouet (1963:12), el volcanismo fisural se caracteriza por derrames en vastos mantos a partir de una zona de fisuras, en general desprovista de aparatos volcánicos.

El volcanismo de *área* se caracteriza por las erupciones en masa a través de una gran multitud de grietas relativamente pequeñas (o nudos) dispersas en los límites de una amplia región.

Durante los tipos de erupciones de *área* es común que se formen centros volcánicos monogenéticos como conos de tefra y lava, domos y maares. La distribución por lo general es irregular, algunos pueden agruparse siguiendo los lineamientos. La composición petrográfica permanece constante a lo largo de toda el área. Mientras que los volcanes poligenéticos se asocian con las erupciones de tipo central que favorecen el funcionamiento prolongado de un canal grande productor de magma.

## II d ESTRUCTURA DE LA CORTEZA

Es bien conocido que toda la actividad tectónica y

Volcánica está localizada cerca de los bordos de las placas y está asociada a movimientos diferenciales entre placas adyacentes (Gass *et al*). Se llama placa a un sector esférico inderformable de la litosfera constituido ya sea exclusivamente por una corteza oceánica o bien por corteza oceánica y continental unidas (Berout and Paquet, 1978). Estas placas tienen espesores de 30 a 200 km y se cree que se mueven sobre la astenósfera. La característica esencial de una placa litosférica es poder acumular los esfuerzos y liberarlos en forma de magma únicamente en sus márgenes ya sea donde se consumen las placas (subducción) o en los límites laterales de éstas, que corresponden a fallas de transformación. Se conocen tres tipos principales de límites entre placas, dos de los cuales tienen tipos específicos de generación de magma asociados a ellos (Fisher y Schmincke, 1984).

a) **Divergente o constructiva.** Son representados por los rift, elevaciones submarinas (rises) y cuencas marginales; predominan los magmas de la serie alcalina, representados por los basaltos.

b) **Convergente o destructiva.** Son los límites que forman las fajas de colisión, donde las placas chocan y una placa se desliza debajo de otra por subducción; aquí los magmas calco-alcalinos son predominantes.

De la actividad volcánica asociada con el límite de placas, alrededor del 80% ocurre dentro de la convergente y el 15% en la divergente (Fisher y Schmincke, 1984:11).

Se considera a la serie alcalina como derivada de la

diferenciación del magma basáltico primario (sima) y la serie calco-alcálica formada por la fusión de las rocas de la corteza para crear el magma (anatexis), seguida por asimilación y diferenciación (Ullier, 1969:6). Por lo tanto, los volcanes continentales pueden ser de diversos tipos, en cuanto a composición: basálticos si el magma que se encuentra a profundidad llega a la superficie sin contaminación, o de composición intermedia a ácida si el magma basáltico se contamina por mezcla de rocas continentales, o si el magma es producido por fusión de las rocas continentales (op cit).

## CAPITULO II

### CARTOGRAFIA GEOMORFOLOGICA PARA AREAS VOLCANICAS

La geomorfología, al encargarse del estudio de las formas de la superficie terrestre, que objetivamente puede ser medible y explicable, encuentra en la cartografía un medio para representar sus conclusiones. Sin embargo, el método cartográfico comenzó a ser practicado por los geomorfólogos con un enorme retraso. A fines de la década de los años cuarenta se elaboraban solamente informes escritos con la descripción de las formas y la explicación de su origen y edad, que incluían "mapas fisiográficos" hechos para ilustrar las conclusiones de los autores.

En el XVIII Congreso de la Unión Geográfica Internacional (U.G.I.), en Rio de Janeiro en 1956, se consideró como una tarea importante la cartografía geomorfológica. Para el XIX Congreso de la U.G.I. que se realizó en Estocolmo se acordó incluir el método cartográfico y adoptar un sistema uniforme para asegurar la equivalencia. De aquí se iniciaron una serie de sesiones con el tema central de la cartografía geomorfológica detallada, en Polonia, Francia, Gran Bretaña y Bélgica. En el Congreso de Nueva Delhi (1968) se inició la tarea de elaborar un "Manual de Cartografía Geomorfológica Detallada" y una leyenda para Europa a escala 1:250 000. En el Congreso de Estocolmo en 1970 se decidió unificar las leyendas.

Pasada la Segunda Guerra Mundial, se requirió de la elaboración de mapas para la planeación, agronomía, ingeniería, hidrología y control de inundaciones, lo que pone

de manifiesto que empezaron a utilizarse para problemas prácticos, dando un mayor énfasis a las formas derivadas de los procesos exógenos (denudación y acumulación), que causan problemas inmediatos para el desarrollo de las actividades humanas. Sin embargo, no se deben de dejar a un lado los estudios generales que consideren los procesos endógenos, ya que pueden contribuir de igual forma al progreso del conocimiento sobre todo en geomorfología.

Actualmente la cartografía geomorfológica se realiza en muchos países de Europa como Checoslovaquia, Bélgica, Alemania, Rumania, Italia, Suiza, Hungría, Polonia, Francia, Holanda y Unión Soviética, siendo los últimos cuatro los que han desarrollado los sistemas más conocidos. Se ha difundido además la cartografía geomorfológica a algunos países de América como: Canadá, Venezuela, Chile, Cuba, Brasil y México.

El desarrollo de la cartografía geomorfológica ha sido distinto en cada país, por lo que la metodología, medios de representación y contenido de los mapas guardan cierta diferencia. Cada lugar de la superficie terrestre tiene una identidad propia resultado de un desarrollo particular; no es raro entonces que difieran ampliamente las leyendas ya que representan formas y procesos complejos y variados, con una distribución y extensión distinta reflejo de las condiciones geológicas y climáticas prevaletientes en cada lugar.

Las leyendas difieren, principalmente, a causa de la cantidad y tipo de información que puede ser representada sobre los mapas y sobre todo por los aspectos que el autor desee enfatizar sobre su mapa. La leyenda permite una buena

orientación al usuario y por lo tanto una buena lectura de la información representada en el mapa.

En el mapa geomorfológico se puede representar la morfología, la génesis y edad de las formas; éste será el caso de un mapa geomorfológico general. Los mapas geomorfológicos particulares representan ciertos rasgos seleccionados o característicos del relieve, o de las diferentes partes del relieve. Esto se hace principalmente para no incluir en el mapa toda la información geomorfológica, y sobre todo cuando se desea dar énfasis a un determinado tipo de fenómeno que domina en un amplio territorio (Gellert, 1972).

Sin embargo, la escala es el aspecto más importante en cartografía, ya que determina tanto la metodología, el grado de generalización y el tamaño de las formas a representar.

Para el presente estudio enfocado a la elaboración del mapa de volcanes cuaternarios de México, se necesitó una escala pequeña (1: 4 000 000) y una gran generalización, ya que el fenómeno volcánico está distribuido ampliamente en nuestro país, por lo que la información debe ser expresiva y accesible.

Las características de los diferentes tipos de cartografía geomorfológica, teniendo en cuenta la escala, se presentan en la Cuadro no. 2. Como se puede apreciar, para mapas en escala pequeña el nivel de estudio es principalmente el regional; en él se da más énfasis a la relación que existe entre las formas de relieve y los procesos endógenos responsables de su creación, y no con los procesos exógenos

que se pueden desarrollar, lo que requeriría otra escala de estudio.

MAPAS GEOMORFOLÓGICOS: ESCALAS Y CONTENIDO

Clases de escala	Morfografía			Caracterización geomorfológica							Modos de trabajo y observación	Campos de aplicación técnico-económica	
	Perfiles de formas	Formas	Conjuntos de formas	Grupos de formas	Perímetro	Relieve y secuencias topográficas	Morfodinámica	Morfogénesis	Morfocronología	Grupos de formas			Morfotextura
Planos geomorfológicos 1 : 5 000 1 : 10 000	*	*			*	*	*	*					
Mapas geomorfológicos 1 : 25 000 1 : 50 000		*	*		*	*	*	**	*				
Mapas geomorfológicos sinópticos en escalas medias 1 : 100 000 1 : 200 000		*	*	*	*	*	*	**	*				
Mapas geomorfológicos sinópticos en escalas pequeñas 1 : 500 000 1 : 750 000			*	*	*	*	*	*	**	**			
Mapas geomorfológicos de países 1 : 1 millón 1 : 5 millones				*	*	*	*	*	*	**	**		
Mapas geomorfológicos de continentes 1 : 10 millones 1 : 30 millones					*	*	*	*	*	**	**		
Mapas geomorfológicos del mundo 1 : 50 millones y mayores					*	*	*	*	*	*	**		

\* Información representada      \*\* Información principal

Tomado de Gallert, 1972 (p. 23), modificado

En escalas pequeñas se hace necesario un agrupamiento de las formas, tomando como base ya sean los procesos formadores o los modeladores, estableciendo siempre delimitaciones zonales. Esto, a su vez, permitirá reconstruir las características geológicas y tectónicas del área de estudio. Por ejemplo la existencia de fosas, que pueden estar ocupadas por sistemas lacustres, se relaciona con el

desarrollo de una tectónica distensiva, específicamente movimientos en bloques a partir de fallas regionales desarrolladas en un determinado periodo geológico. Por otra parte el predominio de formas volcánicas puede también ser un indicio de características geológicas y tectónicas particulares.

Es conveniente considerar el aspecto cuantitativo o morfométrico para tener una imagen completa del relieve. Este se refiere a las dimensiones, distribución y densidad, que permiten hacer un mejor análisis del relieve en cuanto a evolución y constitución. Su utilización dependerá del objetivo de estudio. Las formas a representar son las macroformas como sierras, montañas, depresiones, así como las megarformas: trincheras y fozas, etc.

Existe, pues, una gran complejidad para la representación de las formas, pues además de la escala, se debe considerar el objeto de estudio, en este caso el volcanismo cuaternario. En nuestro país la falta de una metodología y leyenda de cartografía geomorfológica volcánica para escala pequeña es un problema a resolver. Las leyendas y metodologías existentes son para escala grande o mediana; los países europeos en donde se han desarrollado los sistemas cartográficos más importantes cuentan con un relieve volcánico escaso y antiguo (Vázquez, 1985:45) por lo que sus leyendas resultan inadecuadas para las condiciones de nuestro país, como se pudo apreciar en las diferentes clasificaciones revisadas (como la de Cotton, 1952; Ollier, 1969; y Bloom, 1980) y la clasificación que a continuación se presenta de Bashenina y Piotrovski (1978:32).



CLASIFICACION DE ESTRUCTURAS VOLCANICAS DE RELIEVE MONTANOSO  
Y SUS ELEMENTOS

PROPORCIONADA COMO BASE PARA MAPAS GEOMORFOLOGICOS DE  
ESCALA MEDIANA Y GRANDE.

Morfoestructuras Volcánicas (no modificadas por la erosión).

Morfoestructuras causadas por erupciones de tipo fisural

1. Mesetas de lava
  - a. con lava acordonada (pahoehoe),
  - b. con lava vesicular,
  - c. con lava en bloque (aa),
  - d. con estructura columnar (prismática),
2. Lomerios de lava (recientes, no denudados)
3. Tierras altas de lava:
  - a. con un complejo relieve construccional (acumulativo)
  - b. disecado
4. Colinas de cima plana (mesas)
5. Superficies de mesetas de lava y tierras altas:
  - a. con lava acordonada,
  - b. con lava vesicular,
  - c. con lava en bloque,
  - d. con estructura columnar,
6. Conos de lava.
7. Cuevas de lava.
8. Depresiones en las superficies de los derrames de lava.
9. Derrames de lava.
10. Superficies onduladas sobre los flujos de lava debido a las obstrucciones.
11. Columnas de lava.

## Causadas por erupciones de tipo central

12. Lomeríos de lava
  - a. frescos.
  - b. denudados.
13. Conos volcánicos
  - a. actualmente activos.
  - b. extintos.
14. Cráteres y calderas
  - a. actualmente activos (recientes, no erosionado).
15. Intrusiones dentro de los centros volcánicos
  - a. desarrollados
  - b. relativamente estables
16. Domos extrusivos
  - a. desarrollados
  - b. relativamente estables
17. Barrancos
18. Fumarolas
19. Aguas termales
20. Conos cineríticos.

En esta clasificación se considera arbitraria la distinción que proponen según los diferentes tipos de lava ya que el cambio de un tipo a otro suele ser demasiado rápido como para poder hacer una distinción zonal. En general parece una clasificación adecuada a escalas grandes por el detalle que proporciona. El único criterio tomado de aquí fue el referente a erupciones de tipo central y fisural.

Por su parte las clasificaciones que se han desarrollado en los trabajos realizados en el Instituto de Geografía de la UNAM son apropiadas para escalas medianas y grandes, 250 000 y 50 000 respectivamente (como las de Bocco, 1983; Palacio, 1982 y 1985 y Vázquez, 1985), en donde se pueden representar las formas y sus elementos, como se puede apreciar en la clasificación de Zamorano y Córdoba (inédita) que a continuación presentamos:

**Clasificación de centros volcánicos y productos asociados,  
par fines de cartografía de relieve volcánico en la Cuenca de  
México**

(Para escala 1:250 000)

**EXPLOSIVO**

**MONOGENETICO**

- Freaticocongias
- 1. Calderas cráter (maar)
- 2. Calderas crater (tuff-rings)
- Piroclástico
- 3. Conos cineríticos
- 4. Conos de escoria

**POLIGENETICO**

- Explosiones gaseosas y complejos volcano-tectónicos
- 5. Calderas

**EXTRUSIVO**

**MONOGENETICO**

- 6. Lomos volcánicos

## EXPLOSIVO-EFUSIVO

### POLIGENETICO

7. Volcanes piroclásticos compuestos
8. Volcanes compuestos

## EFUSIVO

### MONOGENETICO

9. Derrames de lava
10. Volcanes escudo
11. Mesas de lava

## EVOLUCIONADOS Y NO IDENTIFICADOS

### EVOLUCIONADOS

12. Mesas de lava antiguas
13. Derrames de lava
14. Cuellos volcánicos

### NO IDENTIFICADOS

15. Volcanes sepultados y semisepultados
16. Centro volcánico no identificado

Esta clasificación es una de las más completas, pues maneja los aspectos de vida eruptiva y tipos de erupción, que fueron los más importantes a retomar para la elaboración de la clasificación. En cuanto a las distinciones que hace de los diferentes tipos de volcanes se optó por agruparlos en los términos esenciales de tefra, de lava y domos, y estos a su vez en monogenéticos.

Es evidente que la escala es esencial para los problemas de clasificación y diferenciación. A gran escala la unidad cartográfica puede ser una colada, una caldera, etc. A pequeña escala las unidades serán el grupo, la categoría y el tipo (Joly, 1979). Por lo tanto, para un mapa de escala pequeña, se deben modificar y ajustar las leyendas ya hechas enfatizando en el tipo de relieve y las formas agrupadas más importantes.

A continuación se presentan los criterios considerados para la elaboración de la clasificación de acuerdo a los parámetros tomados de las clasificaciones presentadas anteriormente y de los principios propuestos por Basharina (1978:20).

*1. Se deben considerar las características propias del objeto a clasificar, ya que esto determina los niveles taxonómicos (u ordenes) en que se puede clasificar.*

En el caso del relieve volcánico sus características son el resultado del tipo y edad de la erupción, así como del relieve preexistente, sobre el cual se ha depositado el material volcánico. No ofrecerán las mismas características formas volcánicas de edad terciaria que de edad cuaternaria. Las primeras presentarán casi siempre un mayor grado de erosión y muchos casos de inversión de relieve; en el caso de los volcanes la erosión marcada se identifica por el desarrollo de una red de drenaje centrifuga bien definida. Las formas de edad cuaternaria están, en cambio, bien conservadas: la red de drenaje es menos densa, el grado de conservación del material en el caso de las lavas es notorio por la falta de una corteza de intemperismo y las inversiones

de relieve poco frecuentes.

4. *Debe reflejar tanto aspectos cualitativos como cuantitativos del relieve.*

La complejidad del fenómeno volcánico en cuanto a tipo e intensidad de las erupciones, que da un tipo de material característico, permite desde el punto de vista cualitativo hacer la distinción entre volcanes de tierra, de lava, domos, estratovolcanes. El aspecto cuantitativo más importante será la densidad de volcanes que se complementará con la elaboración de perfiles, lo cual permitirá hacer mejor evaluación y análisis de las formas.

3. *Las unidades de clasificación deben tener una característica unificada y distintiva.*

En este caso el material predominante y la constitución de las formas será la base para unificarlas y distinguirías. Es decir, la consideración antes mencionada de volcanes de tierra, lava, domos y estratovolcanes es la más conveniente, asimismo es aplicable la distinción entre monogenéticos y poligenéticos, que se refiere a la vida eruptiva.

4. *Debe ser de naturaleza causa-efecto.*

Para este caso se utiliza la clasificación de actividad explosiva, efusiva y extrusiva que está en relación con el tipo de magma y que nos dará un tipo de volcán característico: de tierra, lava. A su vez se pretende hacer una relación con la estructura de la corteza (trinchera o rift) que determina el tipo de magma característico (calcoalcalino o alcalino).

b. *Debe ser genética e histórica.*

En este punto se va a generalizar mucho ya que se va ha considerar la misma edad, que es el Cuaternario, y el mismo origen que es volcánico.

c. *La clasificación debe reflejar la relación que existe entre cada nivel jerárquico.*

En este caso se debe reflejar la relación que existe entre los volcanes de tefra y lava con el volcanismo de área, así como de los estratovolcanes con el volcanismo central.

De acuerdo con lo anterior, la leyenda que se aplicó es la siguiente:

#### CLASIFICACION DEL RELIEVE VOLCANICO CUATERNARIO DE MEXICO

(ESCALA 1:4 000 000)

- Superficie de piroclastos.
- Derrames de lava
- Zona de volcanismo de área con volcanes monogenéticos.
- Zona de volcanismo de fisura con volcanes monogenéticos.
- Zona de volcanismo central, volcán poligenético con monogenéticos asociados.
- Volcanes monogenéticos:
  - Volcanes de tefra
  - Maarés
  - Domos
  - Volcanes de lava.
- Volcanes poligenéticos:
  - Calderas
  - Estratovolcanes.

La generalización tiene como fin principal, el seleccionar los detalles necesarios para asegurar la legibilidad del mapa, por lo cual es conveniente utilizar símbolos adecuados a la escala y naturaleza del fenómeno. Por lo tanto, la jerarquización es de gran importancia, y también es determinada por el objetivo del mapa. En este caso, por ejemplo, aún cuando existen diferentes tipos de volcanes de tierra: cineríticos, de escoria y con cráter en herradura, distribuidos en el territorio, la generalización hace necesario que se agrupen todos bajo el mismo tipo. De igual forma el predominio de un cierto tipo de volcán, a pesar de existir otros tipos en menor cantidad, conduce a la generalización. Hay que recordar que la escala pequeña sólo nos da una idea general de las características de un fenómeno en un lugar determinado.

En cuanto a la metodología a desarrollar para este mapa es evidente que de los aspectos comúnmente considerados para el estudio del relieve a escala grande, sólo la morfología, génesis y edad son necesarios para estudios a escala pequeña. Por lo tanto, en primer lugar, es necesario concentrar la búsqueda de información geológica, principalmente en el volcanismo cuaternario, delimitando primero las grandes zonas con el auxilio de información bibliográfica y cartográfica.

Las zonas de volcanismo cuaternario fueron delimitadas por medio de ocho cartas geológico-topográficas a escala 1:1 000 000 que cubren el país, los límites de estas zonas fueron corregidos con las cartas



geológico-topográficas escala 1:250 000 disponibles y con la información bibliográfica existente. Fueron de gran ayuda trabajos como los de Bocca (1983) de la zona de Guanajuato y Querétaro, Lugo (1984) y Zamorano (inédito) de la Cuenca de México, Vázquez (1985) de la Cuenca Puebla-Huastaca, Falacio (1985) de la zona de Morelia, Hansenata y Carmichael (1985) de la zona Michoacán-Guanajuato y Nixon et al (1987) de todo el sistema Volcánico.

Una vez delimitadas las zonas se procedió a la distinción de los diferentes aparatos volcánicos teniendo en cuenta los aspectos cualitativos que caracterizan a las formas volcánicas cuaternarias, en relación con el menor grado de erosión, cuando se carecía de cartas geológicas. Aunado a lo anterior se hizo la cuantificación de volcanes, en este caso diferenciándose los volcanes monogenéticos (de tierra, maares y domos), de los volcanes poligenéticos o estratovolcanes.

Después se agruparon por zonas de acuerdo a características ya establecidas, como por ejemplo, en volcanismo de área, fisural o central. También en grandes zonas considerando las principales morfoestructuras que están asociadas con el origen del volcanismo, es decir, los rift y las trincheras. Este último agrupamiento es de gran importancia, ya que como señala Bashenina (1978,55), el método morfoestructural pone de manifiesto la relación que existe entre la distribución de los elementos del relieve y la estructura geológica del área. Las formas pueden ser estudiadas a su vez en el contexto de los patrones tectónicos del área.

Es evidente que el método cartográfico es un elemento esencial en la geomorfología, permite plasmar el resultado de una investigación, obtener conclusiones y dar la pauta para nuevos estudios.

## CAPITULO III

### ZONAS DE VOLCANISMO CUATERNARIO Y SU RELACION CON EL MODELO TECTONICO DE MEXICO

Para entender la distribución del volcanismo cuaternario en México es necesario considerar la evolución tectónica general del país. El territorio mexicano es una de las regiones más importantes en el modelo de la tectónica global, donde interactúan varias placas litosféricas. De esto resultan varias estructuras mayores, tales como: el rift del Golfo de California y la trinchera Mesoamericana, de distensión y subducción respectivamente. Ambas originan magmas específicos: el calcalcalino, que se relaciona con los procesos de subducción y el alcalino con la tectónica distensiva. De aquí la importancia de un estudio sobre el volcanismo que proporcione una visión general sobre la actividad cuaternaria, cualitativa y cuantitativa en México.

En el presente capítulo, central de la investigación, se presentan los resultados obtenidos del análisis de los mapas elaborados, referentes a los límites de las zonas volcánicas (Mapa no. 1) y la densidad de volcanes (Mapa no. 2). El capítulo se realizó a partir de la consulta de los siguientes trabajos: Demant (1975, 1978, 1982), Demant y Robin (1975), Robin y Demant (1975), Pasquare *et al* (1987 a y b) y Nixón *et al* (1987).

El territorio mexicano es un mosaico de rocas de edad y origen diversos, destacando en amplitud las rocas volcánicas que cubren más de la mitad del país; dichas rocas son de composición y edad distinta, lo cual se puede resumir,

según Demant y Robin (1975), en tres periodos que coinciden con diferentes ambientes tectónicos (ver Fig. no. 2).

1) Un periodo jurásico-cretácico, el cual dio origen a numerosos plutones de edad cretácica media y superior en Baja California, Sonora y Sinaloa; considerándose resultado de la subducción del paleoocéfico.

2) Un volcanismo oligo-miocénico se presenta después de un periodo de relativa calma volcánica, está relacionado con la subducción de la placa Farallón; conformó la Sierra Madre Occidental y gran parte del Altiplano Central. Este magmatismo es de naturaleza caldialcalina.

3) Un periodo plio-cuaternario más complejo con una asociación de basaltos alcalinos en la zona en expansión del Golfo de California; un volcanismo semejante, alcalino, a lo largo del Golfo de México y la cadena andesítica del Cinturón Volcánico Mexicano (CVM) que va del Pacífico al Atlántico.

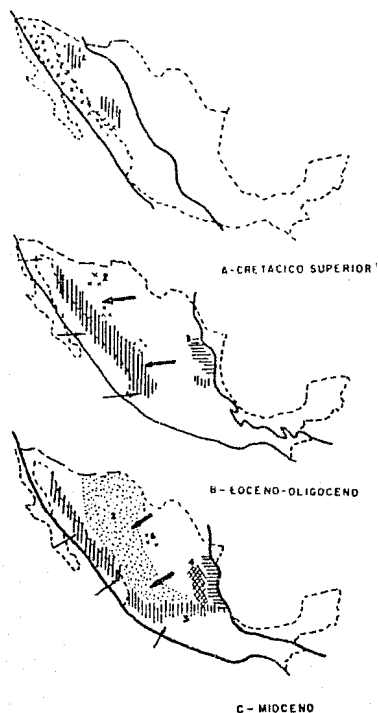
De acuerdo con lo anterior, para el análisis de la distribución del volcanismo cuaternario fue necesario considerar dos zonas características del territorio mexicano: el rift del Golfo de California y la trinchera Mesoamericana. Es la presencia de éstas y otras morfoestructuras importantes lo que hace a nuestro país de gran interés científico (ver fig. no.3).

### III a. RIFT - GOLFO DE CALIFORNIA

El Golfo de California se considera una provincia estructural inestable, durante el pliocuaternario, que se caracteriza por la separación de una placa litosférica y crecimiento de la corteza; forma parte del límite activo de

la Placa Pacífica/Norteamericana. Se separó y movió en dirección noroeste hace cuatro millones de años, a una velocidad promedio de 4.6 cm/año.

El Golfo de California es un rift intercontinental que representa la línea de unión con respecto a la cual se producen los movimientos de separación, esto va acompañado de actividad sísmica y volcánica; ésta última es de tipo alcalino representada por basaltos principalmente.



A:

Límite del mar en el Cretácico y en el Oligoceno según de Cserna Z. 1960.

- 1: Batolitos cretácicos del margen pacífico (Baja California-Sonora-Sinaloa).
- 2: Vulcanismo calco-alcalino reconocido en unos lugares de Sonora y Sinaloa.

B:

- 1: Vulcanismo calco-alcalino formando el basamento de las capas ignimbríticas (Sonora-Sinaloa). Principio del vulcanismo al nivel del Eje.
- 2: Intrusiones batolíticas migrando hacia el Este.
- 3: Primeras manifestaciones en la provincia alcalina.

C:

- 1: Desarrollo del vulcanismo calco-alcalino en Baja California.
- 2: Grandes emisiones ignimbríticas de la provincia occidental.
- 3: Actividad importante a lo largo del Eje trans-mexicano.
- 4: Manifestaciones de tipo "trapp" en la zona de la Sierra Madre Oriental.
- 5: Vulcanismo alcalino de las llanuras costeras.
- 6: Intrusiones batolíticas tardías

Las flechas negras indican el movimiento de las Placas de Farallón y Pacífica por debajo de la Placa Americana, es decir, las zonas de subducción (T. Atwater 1970) y las flechas gruesas el movimiento de la Placa Americana.

Fig. 2. Localización de los diferentes eventos magmáticos del Cretácico Superior (A), Eoceno-Oligoceno (B) y Mioceno (C). (Reproducido de Demant, 1975:78).

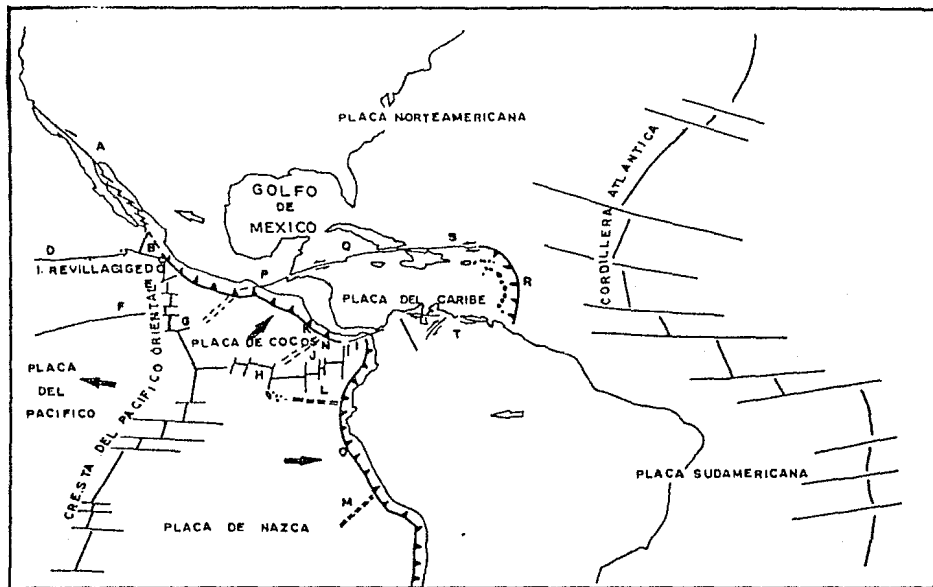


Figura 3.—Tectónica del Caribe y del Pacífico Centro—Oriental. Según datos de Molnar y Sykes (1969), Sclater *et al.*, (1971), Malfait y Dinkelman (1972), Herron (1972), Stover (1973), Jordan (1975), Karig *et al.*, (1978) y Lonsdale y Klitgord (1978). (A) Sistema de Fracturas de San Andreas—Golfo de California; (B) Fractura de Rivera; (C) *Rivera Triple Junction*; (D) Fractura de Clarion; (E) Fractura de Orozco; (F) Fractura de Siqueiros; (G) Fractura de Clipperton; (H) Cresta de las Galápagos; (I) Fractura de Panamá; (J) Cresta de Tehuantepec; (K) Cresta de Cocos; (L) Cresta de Carnegie; (M) Cresta de Nazca; (N) Fosa meso-americana; (O) Fosa Perú-Chile; (P) Fallas Polochic-Motegua; (Q) Falla Caymán o Bartlett; (R) Zona de subducción de las Pequeñas Antillas; (S) Fosa de Puerto Rico; (T) Fallas Oca-El Pilar.

(Reproducido de Demant, 1978:181).

Es evidente que en esta zona se asocian tectónica y volcanismo, ambos de desarrollo esencialmente cuaternario. Por su dinámica evolutiva se considera semejante al Mar Rojo y al Golfo de Adén.

La fase cuaternaria que caracteriza a esta zona se evidencia por derrames basálticos de tipo alcalino. Demant (1975) señala que en la zona del rift se deben incluir los aparatos volcánicos que se encuentran a ambos lados del Golfo de California. En Baja California Norte la zona de Jaraguay y San Quintín; en Baja California Sur las Tres Virgenes y el Uasis; en Sonora el Pinacate y la región de Magdalena, así como las manifestaciones de Durango, Coahuila y Zacatecas.

Los aparatos volcánicos se relacionan con grandes fracturas regionales de tendencia NW-SE, tanto en Baja California, como en Sonora, Coahuila y Durango. Estas fracturas son el resultado de una serie de fallas normales que produjeron la formación de fosas y pilares. Dichas estructuras quedan incluidas en las depresiones tectónicas de la Sierra Madre Occidental, que cortan la secuencia oligo-miocénica (Pasquare y Zanchi, 1985 citado por Pasquare, et al, 1987). Según Colleta y Angelier (1983 citado por Pasquare *op cit*) estas depresiones están asociadas con la apertura del Golfo de California y se consideran como la continuación sur de la Provincia "Basins and Ranges" (grabens y horst).

Es evidente como señala Demant (1982:218), que los esfuerzos tectónicos sufridos por las placas tienen una influencia secundaria para el volcanismo, ya que no intervienen en la génesis de los magmas sino en la ubicación de los volcanes. Es común que a lo largo de las fracturas de tensión por donde los magmas suben fácilmente, se desarrolle un gran número de pequeños volcanes monogenéticos, mientras

que en las zonas de compresión la ascensión más lenta facilita el establecimiento de cámaras magnéticas y por lo tanto la formación de estratovolcanes.

El patrón de distribución de las zonas volcánicas que se disponen a ambos lados del Golfo de California es en parte resultado de los movimientos distensivos que formaron las estructuras en fosas y pilares conocida como provincia "Basin and Range", desarrollada más intensamente en las estribaciones de la Sierra Madre Occidental, en Coahuila, Durango, Sonora, etc. No es raro entonces encontrar mayor concentración de volcanes monogenéticos en estos lugares, alineados según las fracturas regionales NW-SE.

En esta zona se presenta también un volcanismo de tipo fisural, que está representado por las emanaciones de lava en los estados de Coahuila, Durango, en la región del Bolsón de Mapimi. Son grandes mesetas de lava basáltica que en sus orillas presentan pequeños aparatos volcánicos que no exceden de los 60 m de altura.

En cuanto al volcanismo de tipo central, el único ejemplo lo encontramos en el volcán las Tres Virgenes (ver fig. no.4), que tiene una altitud de 1995 m. s.n.m. (y una altura aproximada de 1100 m ). Su edificio tiene una constitución casi cónica, sus laderas son abruptas; las rocas volcánicas que lo forman son de composición dacítica. Es importante además por su erupción en tiempos históricos en el año de 1746.



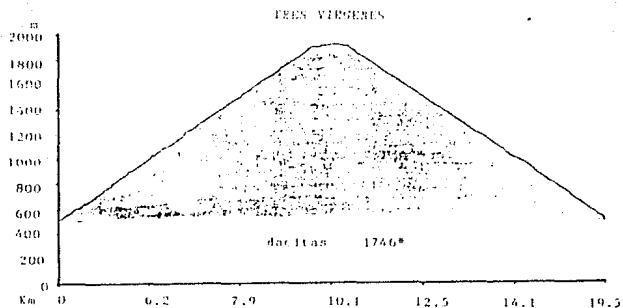


fig.4

Según las cuatro provincias definidas por Demant y Robin (ver Cuadro no.3), la zona de Coahuila, Durango y Zacatecas puede incluirse en la Provincia de la Sierra Madre Occidental, en la cual la actividad volcánica inició desde el Cretácico. Por su parte, las emanaciones volcánicas de Baja California que corresponden al volcán las Tres Virgenes, San Quintín, Jaraguay, el Oasis y las de Sonora en el Pinacate se incluyen en la Provincia Californiana, actividad volcánica que inició desde el Jurásico. Estas provincias se interpretan en función de las relaciones placa americana-placa pacífica.

Como se puede apreciar en el mapa no. 1 el volcanismo de Área y fisural es el que predomina, existiendo sólo un ejemplo del volcanismo central. Si lo relacionamos con el mapa no. 2 que muestra la densidad de volcanes, se destaca que la concentración a lo largo del rift es muy baja,

PROVINCIA	BAJA CALIFORNIA	SIERRA MADRE OCCIDENTAL	CUINTURON VOLC. MEXICANO	PROVINCIA ORIENTAL
<b>TECTONICA</b>	TRIFT GOLFO DE CALIFORNIA (R. G. C.) - SISTEMA DE SAN ANDRES	(R. G. C. - PROVIN- CIA "BASIN AND RANGE"	TRINCHERA MESOAMERICANA PROV. "BASIN AND RANGE"	CUENCA MAR- GINAL DEL GOLFO DE MEXICO
	<b>DISTENSION</b>	<b>DISTENSION</b>	<b>SUBDUCCION</b>	<b>DISTENSION</b>
<b>ACTIVIDAD CUATERNARIA</b>	VOLCANISMO ALCALINO	BASALTOS ALCA- LINOS CUBRIEN- LAS IGNIMBRI- TAS.	ACTIVIDAD CALCIALCALINA	BASALTOS ALCALINOS SOBRE EL AL- TIPLANO Y LAS COSTAS.
	Sta. Rosalia, Tres Virgenes	Durango, Zaca- catecas, Sonora, Pinacate	Michoacán- Guanaxuato, Volcán de Co- lima, Popoca- tepetl, Pico de Urizaba.	Cd. Mante Tamaulipas, Los Tuxtlas, Chichonal, Tacaná.

Cuadro.3 PROVINCIAS VOLCANICAS (modificado de Demant y Robin, 1975:77)

predominan los rangos que oscilan entre 5 a 20 volcanes, como en Cabo San Quintín y Santa Rosalía.

Dentro de la zona del rift se pueden incluir también las islas Revillagigedo, las cuales están constituidas por dos islas, la San Benito al norte y Socorro al sur. Las rocas que las componen son basaltos, y traquitas y andesitas, es decir una frecuencia típicamente alcalina, característico de un volcanismo de islas oceánicas (Berberi, *et al* citado por Bebout, 1978:78). Su última erupción fue la del volcán Bárdena en 1952.

Se puede relacionar, según Cordova (1988:103), con la actividad de la dorsal asociada a la fractura Clarión. Asimismo, por su carácter intraoceánico se puede deber a la existencia de un punto caliente ("hot points") fijo bajo la litósfera.

### III b. TRINCHERA MESOAMERICANA - CINTURON VOLCANICO MEXICANO

Como proceso opuesto al que se presenta en el Golfo de California, y también relacionado con la tectónica de placas, frente a las costas del sur de México se encuentra una zona de subducción, que es donde una placa oceánica se hunde por debajo de otra continental, y que es conocida como trinchera Mesoamericana. La subducción se realiza con velocidades de algunos centímetros por año, de lo que resulta sismicidad y volcanismo, principalmente de tipo calciocalcálico.

A lo largo de la trinchera Mesoamericana son dos placas las que interactúan, la placa Rivera y la placa de Cocos, lo que da una mayor complejidad a los procesos que se

Presentan en el territorio, reflejándose en la diferente distribución del volcanismo a lo largo del Cinturón Volcánico Mexicano.

Utilizando la división que hace Demant (1982), con base principalmente en la composición y dinámica de las placas, se puede dividir el CVM en tres partes: 1) la parte occidental, 2) la fosa de Colima y 3) el sector central y oriental.

**1) La Parte Occidental.** En esta zona queda incluido el graben Iepic-Chapala; en la parte norte de este graben se ha presentado un volcanismo alcalino del Pleistoceno Tardío al Holoceno, controlado por las fracturas regionales orientadas NW-SE. Los pequeños volcanes monogenéticos son principalmente de tierra y se disponen alineados según las fracturas regionales de tendencia NW-SE, por lo común estos aparatos se localizan alrededor de los estratovolcanes.

El volcanismo de tipo central está representado en esta zona por los estratovolcanes San Juan, Sangangüey, Teboruco y Tequila. Su constitución es pequeña, en relación a los demás estratovolcanes presentes en el CVM; esto se debe principalmente al volumen de lava emitido. Su composición va desde dacitas, andesitas y riodacitas; sin embargo, las lavas que predominan son las andesitas.

Los volcanes San Juan y Sangangüey (ver fig no. 5 y 6), de composición andesítica, tienen una altitud que oscila entre los 1900 y 2000 m. s.n.m. y su altura es de aproximadamente 600 y 900 m respectivamente; en general, sus pendientes son suaves. Estos estratovolcanes se disponen alineados con una orientación NW-SE.

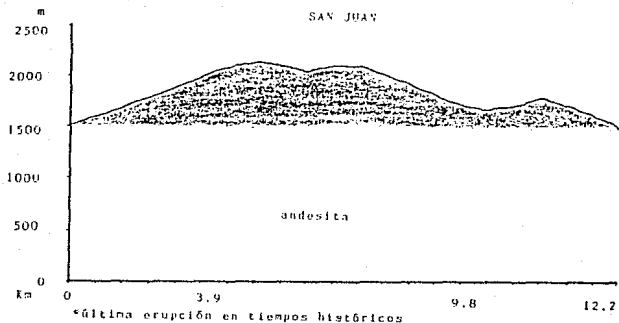


fig.5

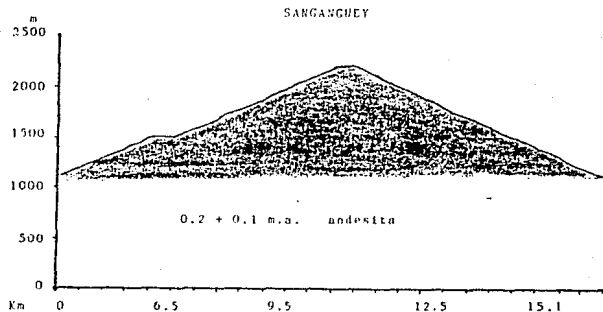


fig.6

Si consideramos el tipo de magma que predomina en la zona de separación -alcalina- y en la zona de subducción -calcialcalina-, en este sector occidental, de tipo calcialcalino, que se considera resultado de la subducción de la placa Rivera, existe una anomalía, y esto lo atestigua el volcanismo de tipo alcalino presente en la región.

Precisamente la existencia de un volcanismo contemporáneo alcalino y calcialcalino llevó a la formulación

de modelos. Allan (1984) y Luhr *et al* (1985) (citados por Aguilar, 1987:201), plantean la existencia de un proceso de rompimiento continental actualmente activo en la parte occidental del UVM, y proponen que éste último representa la manifestación incipiente de un salto de la dorsal del Pacífico Oriental por debajo de la Placa norteamericana, iniciándose con esto una posible separación de la parte suroccidental de México del resto del continente.

Pasquare *et al* (1985) señalan, por su parte, que esta región del UVM está enlazada con la apertura del Golfo de California, la conexión se manifiesta por el sistema de las fosas de Tepic-Tuadalaajara y Colima.

2) La fosa tectónica de Colima. Tiene una orientación principal N-S, el volcanismo de tipo central más importante lo constituye el complejo volcánico formado por el Nevado de Colima y el Volcán de Colima orientados N-S, con una composición esencialmente andesítica. En estos volcanes se pueden reconocer los límites de una antigua caldera (Demant, 1975:177).

El Volcán de Colima (ver figura no. 7) es uno de los volcanes más activos de México, tiene una altura aproximada de 4300 m. s.n.m. y una altura desde su base de 1500 m, se desarrolló en el flanco sur del Nevado. Después de la creación de la caldera que destruyó el antiguo volcán se formó dentro de la estructura el actual Volcán del Fuego. El nivel de la lava en el cráter subió lenta y continuamente formando un domo dacítico; el cual conformo un tapón que obstruyó el cráter. Con esto se teme el posible desarrollo de una nube ardiente, por lo cual el Volcán de Colima representa

el volcán más peligroso del LVPL. A presentado varias erupciones en tiempos históricos, la última de ellas en 1975-76 (Demant, *op cit*).

En la fosa tectónica de Colima se presenta también un volcanismo contemporáneo alcalino y calcoalcalino. Precisamente a los lados del complejo volcánico se encuentran pequeños conos monogenéticos de lava basáltica, como el Volcán Apaxtepec (Demant, 1982:220).

Como explicación a lo anterior Martín, *et al* (1987:272) señalan, que la fosa tectónica de Colima se puede asociar tanto a un régimen extensivo o tensional, así como a las manifestaciones finales de la subducción de la Placa Rivera.

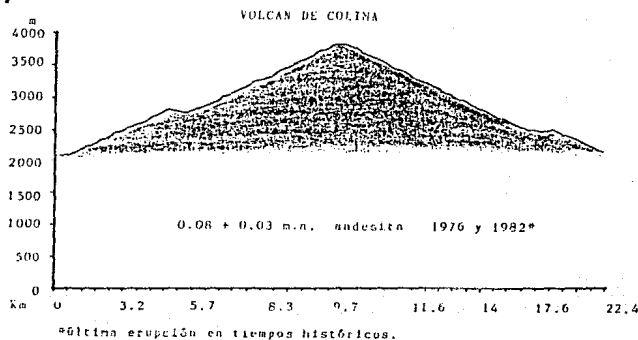


fig.7

3) Sector Central y Oriental. En este sector se agrupa el volcanismo de Michoacán-Guanajuato, de las cuencas de Toluca, México, Puebla y Oriental.

La posición del campo volcánico Michoacán-Guanajuato es muy interesante, ya que su origen se puede explicar tanto a la subducción de la Placa de Cocos, en cuanto a generación

de magma, así como a la apertura del Golfo de California, que dio origen a la provincia "Basin and Range".

La explicación que dan Scalter, *et al* (1971, citado por Benant, 1982:200) a la actividad volcánica que se originó en Michoacán, durante el Cuaternario, es la juventud (> 4 m.a.) y en consecuencia mayor calor, en la parte occidental de la Placa de Cocos.

Por su parte Pasquare, *et al* (1985: ) señalan que el sistema de fracturas NNE-SSE y NE-SW presentes en la Meseta Tarasca y WSW-ESE en la depresión Chapala-Cuitzeo, están relacionados con la Provincia "Basin and Range": a dichos sistemas se asocian los centros volcánicos monogenéticos que componen el campo Michoacán-Guanajuato.

Según Aguilar (1987) los productos eruptivos de este campo volcánico de área se encuentran principalmente en la zona asignada a la series volcánicas calcaicalcalinas.

El campo volcánico de la zona Michoacán-Guanajuato está compuesto por más de mil volcanes monogenéticos, principalmente de tefra. Los volcanes están alineados NE-SW. Un ejemplo de volcanismo reciente es el volcán Parícutín que nació en 1943 y alcanza una altura aproximada de 200 m sobre su base (ver fig. no. 8).

También forma parte de éste campo volcánico el grupo de maares que se ubican en la cuenca del río Lerma cerca del municipio de Valle de Santiago, Guanajuato; de las siete existentes destaca por su tamaño el Rincón de Parangueo (ver Fig. no. 9), sus laderas son suaves, tiene una altura aproximada de 350 m.



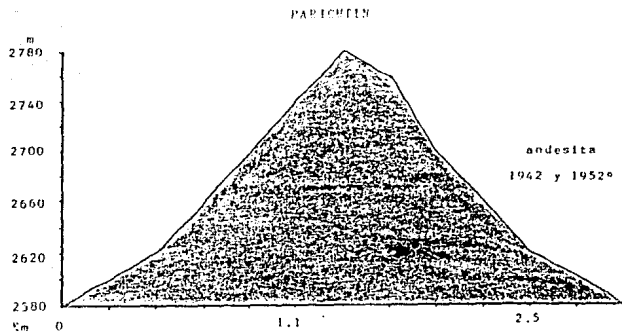


fig.8

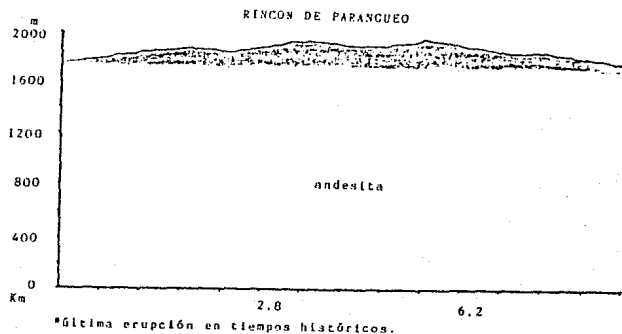


fig.9

Al noroeste de la Ciudad de México se encuentra la Caldera de Amealco (ver fig. no. 10), que puede ser considerada como una forma poligenética, es una estructura de explosión del oligoceno-mioceno que posteriormente fue destruida por la tectónica de fallas ENE-WSW del pliocuaternario (Demant y Silva citados por Bocco, 1983).

En el Valle de Toluca se presenta de nuevo el volcanismo de tipo central representado por el Nevado de Toluca o Xinantecatl (ver fig. no 11), de composición

calcaica y caliza, los volcanes monogenéticos asociados son también de la misma composición. Este volcán tiene una altitud de 4000 m. s.n.m., su altura es de aproximadamente 1500 m, su constitución es bastante compleja, resultado de alternancia de procesos de erosión y actividad volcánica incluyendo la actividad glaciática. Después de una erupción paroxismal que destruyó gran parte del cráter, se presentaron dos erupciones durante las cuales se emitieron grandes cantidades de piedra pómez. Debido al considerable volumen de material emitido la cámara magnética se vació rápidamente, lo cual provocó un colapso de la parte superior del volcán. La forma actual del Nevado de Toluca existe desde la última erupción pliniana; que fue seguida por el desarrollo de un domo dacítico conocido como "El Ombligo", que obstruyó la chimenea (Bloomfield y Valastro, 1974).

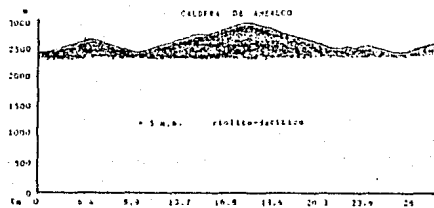


fig.10

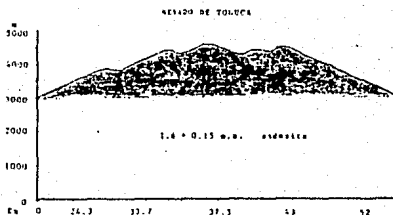


fig.11

En las cuencas de México y Puebla se presentan manifestaciones de volcanismo de área y central. El primero está representado por la Sierra Chichinautzin, situada al sur de la Cd. de México (ver fig. no. 12), compuesta por volcanes monogenéticos de composición calcaicalina de tipo tefra con asociación de lavas. Los volcanes de este campo, tienen dos alineaciones distintas, en primer lugar de W-E y en segundo lugar de NE-SW (Moozer, 1961:33)

Las formas en esta unidad se presentan inalteradas, lo cual demuestra su juventud. La última erupción fue la del Volcán Xitle, hace 2200 años (Schlaepfer, 1968 y Martin, 1980).

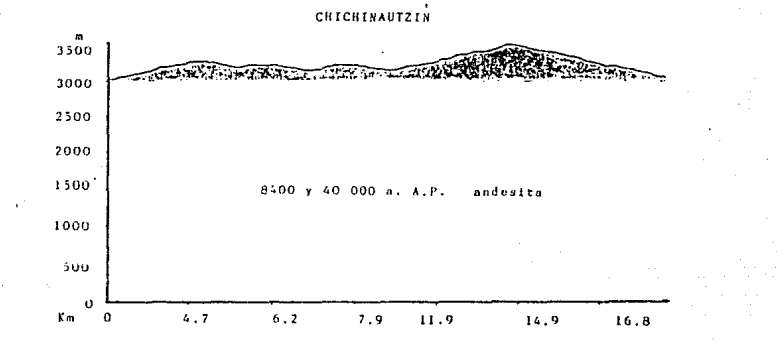


fig.12

El volcanismo central está representado por la alineación N-S de los estratovolcanes Popocatepetl-Iztaccihuatl-Telapón-Tlalóc, de composición típicamente calcaicalina.

El Telapón, con una altitud de 4060m, es uno de los estratovolcanes que caracterizan al Cinturón Volcánico

Mexicano, junto con el Tláloc forma parte de la Sierra de Río Frio. Vázquez (1966, 76), describe su morfología como de pendientes cóncavas que tiende a tener laderas rectas y cima aguda de pendientes fuertes, tiene una altura aproximada de 1100 m. (ver fig. no.13).

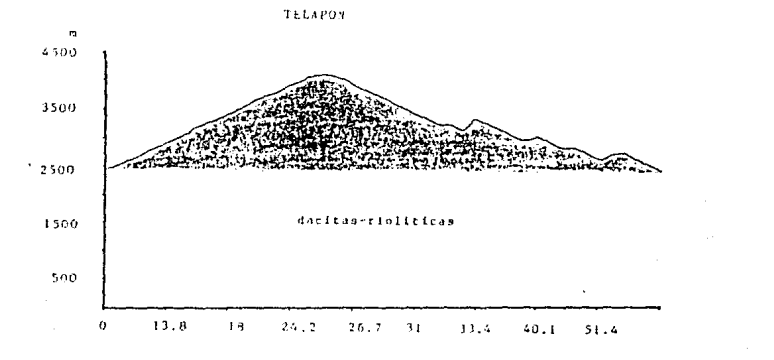


fig.13

El Popocatépetl y el Iztaccihuatl, que constituyen la Sierra Nevada, son dos de los más altos volcanes que tiene nuestro país. El Popocatépetl (ver Fig. no.14) todavía en actividad, con una altitud de 5300 m. s. n. m. y una altura aproximada de 1300 m, está constituido por derrames dacíticos y riodacíticos, así como por abanicos aluviales que cubren su base. El Volcán Nexpayantla representa la primera fase eruptiva, posteriormente fue cubierto por el cono más reciente, constituido esencialmente de cenizas. La actividad en el Holoceno se manifestó a través de fisuras NE-SW en la parte este del piedemonte del Popo, formando flujos de 15 km. de longitud (Schlaepfer, 1968; Demant, 1975; Nixón, 1987).

El Iztaccihuatl constituido por andesitas se originó por varias etapas de erupción, en su parte alta se encuentran

los tres conos más importantes de esta montaña. De éstas el pecho (5280), así como otros pequeños conos y derrames, representan la última actividad de este volcán (Schalaeffer, 1968).

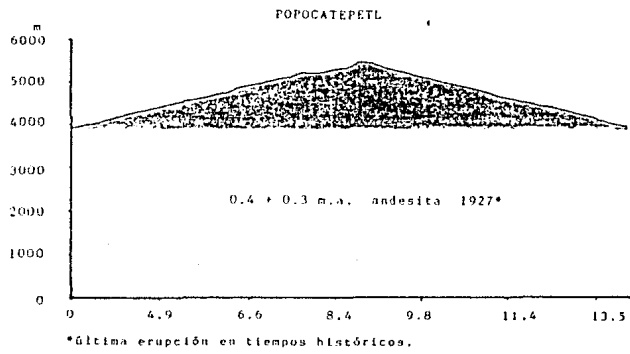


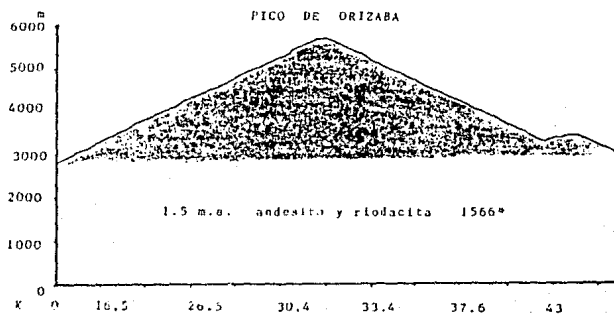
fig.14

Otro importante estratovolcán es la Malincha o Matlalcoyatl, su altitud es de 4420 m. s. n. m., esta compuesto de lavas dacíticas. Los flancos del volcán están cubiertos por gruesos depósitos de loes y pómez dacítica eyectados durante recientes erupciones que destruyeron la parte superior del cono (Nixon, et al. 1987:143).

Es importante mencionar que la parte central del CVM sobreyace a la zona intensamente fracturada de la SMUcc, por lo que esto demuestra, según Pasquaré, et al (1985) la importante relación entre el CVM y la evolución de la SMUcc.

Más al oriente se reconoce un volcanismo de tipo central en la zona de los volcanes Pico de Orizaba - Cofre de Perote de composición básicamente caldialcalina y una alineación dominante N-S. El volcán Pico de Orizaba o Citlaltepetl actualmente en fase fumarólica (ver fig. no.

15), es la montaña mas alta de nuestro país con 5600 m.s.n.m. y un altura desde su base de 2500 m., tiene una constitución casi cónica con pendientes fuertes y presencia de glaciares en su cima. Se desarrolló a partir de dos centros eruptivos uno bajo el Pico de Orizaba y otro el cono parasito conocido como la Sierra Negra, situado sobre el flanco sur. Se presentó después una erupción explosiva que fue acompañada por depósitos de nubes ardientes y la creación de una gran caldera. Otro ciclo de flujos piroclásticos-creación de caldera destruyó el domo formado dentro de la antigua estructura. Finalmente una erupción pliniana excavo el cráter dando origen a la forma actual que presenta el Volcán Pico de Orizaba (Nixón, *et al.*, 1987:144).



\* última erupción en tiempos históricos.

fig.15

En esta zona también encontramos campos volcánicos de área constituidos tanto por grupos de maares como por domos riolíticos representados por la Laguna de Alchichica y las Derrumbadas (ver fig, no. 16), orientados según fracturas regionales NNE-SSW.

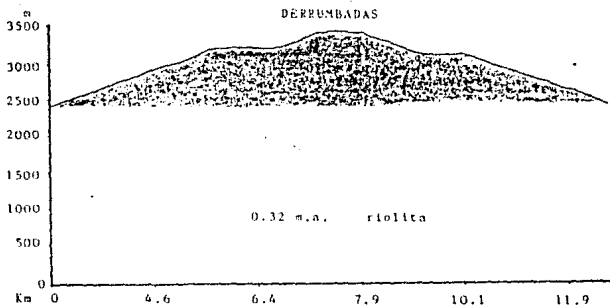


fig. 16

Según Pasquare, et al (1987) desde el punto de vista estructural, el sector oriental muestra un bajo control tectónico comparado con el afallamiento intenso que caracteriza los sectores oeste y central del CVM.

La zona oriental se desarrolla completamente en la Sierra Madre Oriental, los centros volcánicos están condicionados a un sistema de fallas cuaternarias de tendencia N-S y NNE-SSW, y se hallan encerrados en una depresión oligo-miocénica. El significado geodinámico de estos lineamientos puede ser enlazado con una reciente activación de las estructuras "Basin and Range". Este diferente desarrollo estructural se debe probablemente, según Pasquare, et al (op cit) a la presencia del basamento rígido de la Sierra Madre Oriental bajo el sector este, en cambio las áreas oeste y central del CVM están sobreyaciendo a la zona intensamente fracturada de la Sierra Madre Occidental.

El volcanismo calciocalcínico del Altiplano relacionado también con la zona de subducción, se caracteriza por su tipo risural acompañado de pequeños volcanes monogenéticos.

Las zonas señaladas anteriormente quedan incluidas en la Provincia del Eje Neovolcánico Transmexicano, de acuerdo con Demant y Robin (1978). Esta franja volcánica, en general, tiene una orientación Este-Oeste, se prolonga desde Veracruz hasta Tepic; se localiza en un sector nodal de México, en donde las principales unidades estructurales del sur de Norteamérica, consistentes en la Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental y Sierra Madre del Sur se unen una con otra. Esta provincia se encuentra fragmentada por un sistema de grabens de orientación N-S y NW-SE.

Finalmente tenemos la región de los Tuxtías, de tipo alcalino y representada por el estratovolcán San Martín Tuxtía, asociado a éste estratovolcán se encuentran numerosos volcanes monogenéticos de composición también alcalina.

Respecto a esta anomalía, Demant (1978) indica que los Tuxtías deben considerarse como una unidad independiente del CVM, señalando, que el límite entre las manifestaciones del volcanismo calciocalcínico lo constituye la cadena formada por el Pico de Urizaba-Cofre de Perote, donde además está presente un elemento estructural (falla), marcado por el desnivel topográfico observado desde el Pico de Urizaba y la Ciudad de Urizaba.

La zona volcánica Uichichonal, que se encuentra al SE de los Tuxtías, también de composición alcalina, puede quedar incluido dentro de la misma zona. Esta constituido por dos pequeños domos que oscilan en alturas de 600 a 700 m



aproximadamente, tres cráteres y depósitos piroclásticos (ver fig. no. 17). El magnetismo está relacionado con el sistema de fallas de dirección WNW-ESE y otro NNE-SSW (Lacoul-Dzul, *et al.*, 1983:20).

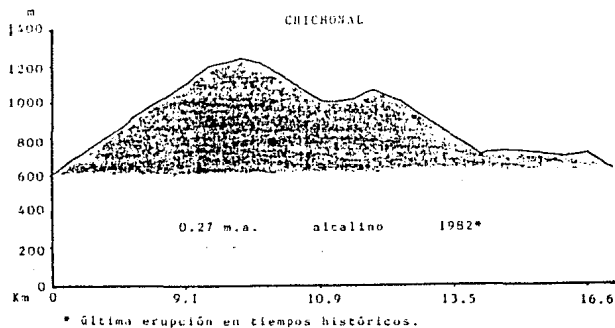


fig.17

Estas manifestaciones volcánicas incluyendo la del Volcán Tacaná se pueden relacionar con la evolución del Golfo de México, que representa el nacimiento en el seno de la Placa Americana de una cuenca marginal, equivalente de la cuenca del Colorado del Columbia River en E.U.A. (citado por Demant y Robin, 1975:80). La fosa de Caymán y las fallas de Holochuc-Motagua juegan el papel de una falla transformante entre la Placa Norteamericana que se desplaza hacia el poniente y la Placa Caribeña que se puede considerar como fija (Jordan, 1975 citado por Demant, 1978:180).

Las zona de Los Tuxtlas, el Chichonal y el Tacaná, incluyendo la zona de Tamaulipas, quedan incluidas en la Provincia Oriental; cuya actividad volcánica empezó en el Oligoceno, se desarrolló en el Mioceno y en el Plio-cuaternario se caracterizo por emisiones basálticas (Demant y Robin, 1975:73).

Si observamos el mapa no. 1 se puede apreciar que en esta zona predomina el volcanismo central representado por los principales estratovolcanes. El volcanismo fisural también está presente en el altiplano, así como el volcanismo de Área destacando la zona Michoacán-Guanajuato. Para el caso del mapa no. 2 se puede apreciar que existe una mayor concentración y los rangos varían mas predominando los mayores de hasta más de 110 volcanes.

En la figura no. 18 se presenta un perfil comparativo de algunos de los principales volcanes que conforman el Cinturón Volcánico Mexicano, se hace evidente la diferencia en altura y morfología entre los estratovolcanes del este, como el San Juan, y los del centro y oeste, como el Nevado de Toluca y el Pico de Orizaba. Resalta igualmente la diferencia entre los estratovolcanes y los pequeños volcanes de tefra como el Parícutín. Lo anterior es importante si recordamos que al hablar de los volcanes de México siempre se menciona primero al Pico de Orizaba o al Popocatepetl, y se conserva la idea de volcanes grandes dejando a un lado todos los demás volcanes que existen en nuestro país y que de igual forma influyen marcadamente en el paisaje.

## CONCLUSIONES

1) El método cartográfico es una herramienta valiosa cuya aplicación está determinada por la escala de trabajo, como en el presente caso que se elaboró el mapa de volcanes cuaternarios de México, el cual es sólo un primer intento para tratar de exponer de una manera accesible la distribución del relieve volcánico.

2) A pesar de existir una gran diversidad de formas volcánicas, la escala y objetivos de trabajo sólo permitieron hacer una agrupación y delimitación zonal del fenómeno. Por lo cual resultaron dos mapas, uno de ellos muestra la delimitación zonal en volcanismo de área, fisural y central; indicando con letra los volcanes que predominan y el segundo expone la densidad de volcanes.

3) El origen geodinámico del volcanismo permitió abordar el tema desde un punto de vista regional destacando dos estructuras tectónicas importantes; en el caso de México: el rift y la trinchera.

4) El volcanismo se distribuye en relación con los lineamientos dominantes, coincidiendo la orientación de las fracturas regionales que se presentan en las zonas alrededor del rift del Golfo de California con las del occidente del CVM, ambas tienen orientación NW-SE.

5) En cuanto a la constitución de los estratovolcanes, estos también tienen coincidencias. Del lado occidental del CVM junto con la Provincia Californiana, los estratovolcanes son más pequeños (tiene 1100 m en el caso del volcán las Tres Virgenes). Los volcanes San Juan, Sangangüey,

Laboredo y Tequila tienen alturas que van de los 600m a 1000m desde su base aproximadamente. A partir del Volcán de Colima y hasta el Pico de Orizaba la altura de los estratovolcanes empieza a aumentar de 1500m a 2500m. Finalmente, en la parte oriental, en lo que corresponde al volcán San Martín Tuxtla y Chichónal la altura vuelve a disminuir a 600m aproximadamente.

6) Las formas predominantes son los volcanes monogenéticos que se disponen agrupados en campos volcánicos de área en todo el territorio, destacando el campo volcánico Michoacán-Guanajuato.

7) Del total de volcanes cuaternarios que se distribuyen en el territorio el 77.36% corresponde a la zona de subducción y el 22.64 % al rift del Golfo de California.

8) La reciente actividad volcánica favorece la presencia de sistemas hidrotermales, de gran importancia para la medicina, la geotermia y el turismo.

## BIBLIOGRAFIA

- Aguilar y Vargas, V.H. y S.P. Verma (1987) Composición química (elementos mayores) de las magmas en el Cinturón Volcánico Mexicano. Geof. Int. Volumen Especial sobre el Cinturón Volcánico Mexicano. Parte 3B, Vol. 26 pp 195-272 (Ed. S.P. Verma).
- Beshenina, N.V. (1978) Classification of large morphostructures. Guide to medium-scale geomorphological mapping. IAU, p. 21.
- Belousov V. (1970) Geología Estructural. Mir, Moscú.
- Bloom, Arthur (1980) Geomorphology. A systematic analysis of late Cenozoic Landforms.
- Bloomfield E. y S. Valastro (1974) Late Pleistocene Eruptive History of Nevado de Toluca Volcano, Central Mexico. Geological Society of America Bulletin, pp. 901-906.
- Bocco Verdineili, G. (1983) Estudio Geomorfológico de la región comprendida en la carta Cuadrángulo 1:250 000. Tesis de Maestría en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- Bocco V.G. (1986) Some comments on Volcanic Geomorphology related to anthropic erosion processes. Tesis de Maestría. ILL. Enschede.
- Bocco G. H. y Palacio J.L. (1984) Utilidad de la cartografía geomorfológica en la evaluación y planeación del territorio. Anuario de Geografía. Colegio de Geog. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.
- Canul-Izui, R., A. Razo Montiel y V. Rocha López (1983) "Geología e Historia Volcanológica del Volcán Chichonal, Edo. de Chiapas". Ponencias presentadas en el simposio sobre el volcán Chichonal durante la VI Convención Nacional de la Sociedad Geológica Mexicana. UNAM, pp 3-22.
- Cordova Fernández de Arteaga, L. (1988) Cartografía Geomorfológica en escala pequeña del Occidente de la República Mexicana. Tesis de Licenciatura en Geografía. Colegio de Geografía, F. F. y L. UNAM.
- Cotton, C. (1952) Geomorphology. An Introduction to the study of landforms. John Wiley & Sons, Inc. New York, York.
- Demant, A. (1975) Caracteres químicos principales del vulcanismo terciario y cuaternario de Baja California Sur. Relaciones con la evolución del margen continental pacífico de México. Revista Instituto de Geología. UNAM 75 (1) p.p. 19-69.

- Demant, A. y Robin, C. (1975) Las fases del vulcanismo en México: una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el cretácico. Revista Inst. de Geología UNAM, 75 (1) pp. 70-83.

- Demant, A. (1978) Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación. Revista del Inst. de Geología. Vol. 2 Num. 2 pp. 172-187.

- Demant, A. (1982) Interpretación Geodinámica del Volcanismo del Eje Neovolcánico Transmexicano. Inst. de Geología. UNAM Vol. 5 No. 2 pp. 217-222.

- Demek, J. y Embleton, L. (1978) Guide to Medium Scale Geomorphological Mapping International Geographical Union. Commission on Geomorphological Survey and Mapping. Stuttgart.

- Dencourt, J. y J. Paquet (1978) Geología. Reverté. Barcelona.

- Derruau, Max (1966) Geomorfología. Ariel. Barcelona.

- Dumitraschko, N.V. y E. Scholz (1978). Classification of geomorphological maps according to scale. Guide to medium-scale geomorphological mapping. IGU, p. 40.

- Fairbridge R. (1968) The enciclopedia of Geomorphology. R. Fairbridge (Editor). Reinhold Book Co. New York.

- Ferriz, H. (1985) Zonamiento composicional y mineralógico en los productos eruptivos del centro volcánico de Los Hornos, Puebla, México. Geof. Int. Volumen Especial sobre el cinturón Volcánico Mexicano. Parte 1 Vol. 24-1 pp. 97-157 (Ed. S. P. Verma).

- Fisher and Schmincke (1984). Pyroclastic Rocks. Springer. Berlin.

- Fries Jr. C. (1956) "Bosquejo geológico de la región entre México, D.F. y Taxco, Gro." XX Congreso Geológico Internacional, excursiones A-4 y C-2.

- Gaitan Moran, Javier (1985) "On Neotectonic evidence in the southern peninsular region, Baja California Sur, México". ITC Journal 1985-4 Abstract. The Netherlands. pp. 293-94.

- George, P. (1973) Los métodos geomorfológicos. Ed. Dikos-Iau. Colección Que sé?. Barcelona.

- Hansenaka, I. and I.S.E. Carmichael (1985) A compilation of location, size, and geomorphological parameters of volcanoes of the Michoacán-Guanajuato volcanic field, central México. Geof. Int., Special Volume on Mexican Volcanic Belt. Part 2 Vol. 24-4 pp. 577-607, (Ed. S.P. Verma).

- Joly, Fernand. (1979) La Cartografía. Ariel Colección ELCEPO. Barcelona.

- Ulimaszewski, N. (1982) "Detailed geomorphological maps" ITC. Journal Num. 3 The Netherlands. p 266-271.

- Lugo Hube, J. (1979) La Geomorfología Moderna y su importancia en los estudios del relieve mexicano. Boletín No. 12. Instituto de Geografía. UNAM.

- Lugo Hube, J. (1984) Geomorfología del sur de la Cuenca de México. Instituto de Geografía. UNAM. Serie Varia. 1. 1 No.9.

- Lugo Hube, J. (1985) Morfoestructuras del Fondo Océanico Mexicano. Boletín No. 15 Instituto de Geografía. UNAM.

- Lugo H. J., M.A. Ortiz Pérez, J.L. Palacio Prieto y G. Bosco Verdinelli (1985) las zonas más activas en el Cinturón Volcánico Mexicano. Parte 1 Vol. 24-1 pp.84-96. (Ed. S.P. Verma).

- Lugo Hube, J. (1986-a) Los Métodos Geomorfológicos. Vol. 1 No. 1 Revista de Geografía. México.

- Lugo Hube, J. (1986-b) Las Estructuras Mayores del Relieve Terrestre. Fac. de Ingeniería. UNAM.

- Martín del Pozzo, A. L. (1980) Vulcanología de la Sierra Luchinsautzin. tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM.

- Martín del Pozzo, A. L. (1986) "La geomorfología y su relación con la geocronometría de volcanes monogenéticos del Cuaternario". Resumen de la 1 Reunión Nacional de Geomorfología. Instituto de Geografía, UNAM. pp 7.

- Martín del Pozzo, A. L., V.H. Romero y R. E. Ruiz Kitcher (1987) Los flujos piroclásticos del Volcán de Colima, México. Geofis. Int., Special Volume on Mexican Volcanic Belt. Part. 3B, 26. pp. 291-307. (Ed. S.P. Verma).

- Mooser, F. (1975) "Historia geológica de la Cuenca de México" En Memoria Ubra del Sistema de Drenaje Profundo. D.D.F. pp. 9-39.

- Mooser, F. (1961) "Informe sobre la geología de la Cuenca de México y zonas colindantes" S.R.H. Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, 1971.

- Negendank, J.F.W., R. Emmermann, R. Krawczyk, F. Mooser, H. Ibschall and D. Werle (1985) Geological and geochemical investigations on the eastern Trans-Mexican Volcanic Belt. Geof. Int., Special Volume on Mexican Volcanic Belt. Parte 2 Vol 24-4 pp. 477-575. (Ed. S.P. Verma).

- Nixon, G. L., A. Demant, R.L. Armstrong and J.E. Harakal. KAR and geologic data bearing on the age and evolution of the Trans-Mexican Volcanic Belt. Geof. Int., special Volume on Mexican Volcanic Belt. Parte 3A, Vol. 24-4 (Ed. S. P. Verma) pp. 577-607.

- Ullier, G.P. (1969) Volcanoes Australian National Univ. Press. Canberra

- Palacio Prieto, J. L. (1985a) Geomorfología Regional del oriente de Michoacán y occidente del estado de Morelos. Tesis de Doctor en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.

- Palacio Prieto J. L. (1985b) El Croquis geomorfológico una alternativa en Geomorfología Aplicada. Divulgación Geográfica No. 3. Instituto de Geografía.

- Pasquare, G., L. Vezzoli and A. Zanchi (1987) Morphological and structural model Mexican Volcanic Belt. Geof. Int. Special Volume of Mexican Volcanic Belt. Parte 3B Vol. 26 pp. 159-176, (Ed. S.P. Verma).

- Pasquare, G., L. Ferrari, V. Perazzoli, M. Tiberi and F. Turchetti (1987) Morphological and structural analysis of the central sector of the Transmexican Volcanic Belt. Geof. Int. Special Volume on Mexican Volcanic Belt. Parte 3B Vol 26 pp. (Ed. S.P. Verma).

- Pérez Rojas, Alberto (1984) Investigaciones geológicas preliminares del Lago de Catemaco, Veracruz, México. Tesis Ingeniero geólogo. Facultad de Ingeniería, UNAM.

- Pomeroy, Ch. y Fouet K. (1963) Las rocas eruptivas. EDEBA Buenos Aires, Argentina.

- Raiz, E. (1950) Cartografía Ed. Omega, Barcelona.

- Rios, Macbeth (1952) "Estudio Geológico de la Región de los Huixtlas" Bol. Asoc. Mex. Geol. Petr. Vol IV No. 9-10 pp. 332-369.

- Salishchev, K. (1981) Cartografía. Pueblo y Educación. La Habana.

- Schlaepfer, C. (1968) Carta geológica de México. Hoja México 14-W-h (5), escala 1:100 000 y texto: "Resumen de la geología hoja México, D.F. y estados de México y Morelos". Instituto de Geología, UNAM.

- Spiridonov, A.I. (1981) Principios de la metodología de las investigaciones de campo y el mapeo geomorfológico. La Habana. Ministerio de Educación Superior. 3 tomos.

- Thornbury (1970) Principios de Geomorfología. Kapeluzs. New York.



- Tricart, J. (1968) Précis de géomorphologie. Tome 1. Géomorphologie structurale. Paris SEPEB, 320pp.

- Venegas S., J.J. Herrera F. y R. Maciel F. (1985) Algunas características de la faja volcánica mexicana y de sus recursos geotérmicos. Geogr. Int. Volumen Especial sobre el Cinturón Volcánico Mexicano. Parte 1. Vol. 24-1 pp. 47-81, (Ed. S.P. Verma).

- Vázquez Salem, L. (1980) Estudio geomorfológico del Nordeste de la Cuenca Puebla-Flaxcala. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.

- Versteppen, H. Th. (1963) Applied Geomorphology. Geomorphological Surveys for Environmental Development. Amsterdam, Elsevier, 437 pp.

## CARTOGRAFIA

- Secretaría de Programación y Presupuesto. Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática. (1982) Cartas geológicas y topográficas 1:1 000 000 claves: Tijuana, La Paz, Monterrey, Chihuahua, Guadalajara, México, Villahermosa y Yucatán.

----- (1983) Cartas geológicas y topográficas 1:250 000 claves: H11 6-5, H11-12, H12-1, H12-5, H12-6, H12-9, G12-1, G12-4, G12-5, G12 7-8, G14-1, H13-1, H13-4, H13-7, G13-4, G13-2, G13-11, F13-6, F14-4, F13-8, F13-9, F14-7, F13-11, E13-3, E14-1, E14-4, F14-2, F14-5, F14-8, F14-9, F14-11, F14-12, E14-2, E14-3, E14-5, E14-6, E15 1-4.

----- (1982) Cartas geológicas y topográficas 1:50 000 claves: H11B53 a 57, B63 a 67, B73 a 77, B83 a 87, H11D58, 59, 69, 79 y 89; H12A11 a 13, A21 a 23, A32 a 33; H12B58, 59, 68, 69, 78, 79, 88 y 89; H12D15 a 19, 25, 35 y 45; H12B61 a 63, 71 a 73, 81 a 83; G12A24, 25, 32, 34, 35, 41 y 44; G12A52, 54, 55, 56, 64, 65, 66, 75, 76 y 86; G12A67, 77, 87 y 88; G12C16, 17, 18, 27, 28 y 38; G13C59, D51 a 53, D61 a 63, D71 A 73 Y D81 a 83; G13A17 a 19, B11 a 13, A27 a 29, B21 a 23, A37 a 39, b31 a 33, A47 a 49 Y B41 a 43; G13B14, 15, B24 a 26, B34 a 37, 39, 45, 46 Y 49; G13B54, 55, 64, 65, 75, 76, 84, 86, 87 y 89; G14A13 y 24; F13B54 a 59, B64 a 69, B74 a 79 y B84 a 89; F14A51 a 56, A61 a 66, A71 a 76 Y A81 a 86; F14A57 a 59, A67 a 69, A77 a 79 y A87 a 89; F13D14 a 19, D24 a 29, D34 a 39 Y D44 A 49; F14C11 a 16, C21 a 26, C31 a 36 Y C41 a 46; F14C17, 27, 37 Y 47; F13D54 a 59, D64 a 69, D74 a 79 y D84 a 89; E13B14 a 19, B24 a 29, B34 a 39 y B44 a 49; E14A37 a 39, B31 a 33, A47 a 49, B41 a 43; E14A51, 52, 55 a 59, B51, 52 y A69; E14B54, 55, 56, 64 y 65; F13D21, 31, 32 y 43; F13D51, 52, 53, 61, 62, 63, 71 a 73, D81 a 83.

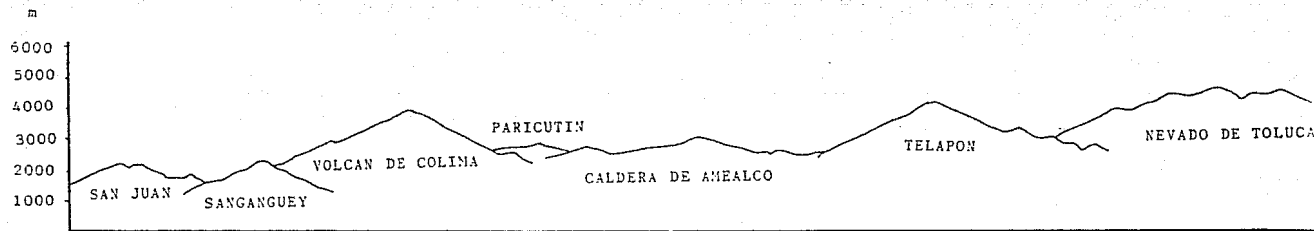
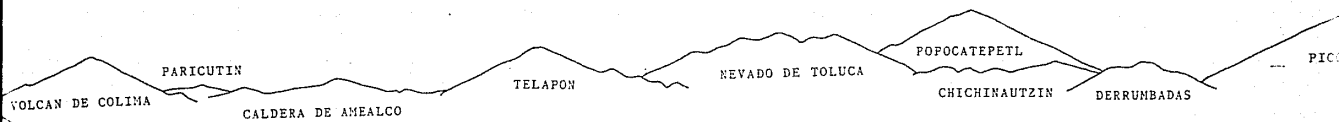
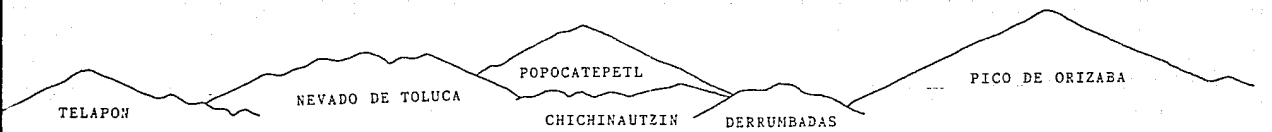


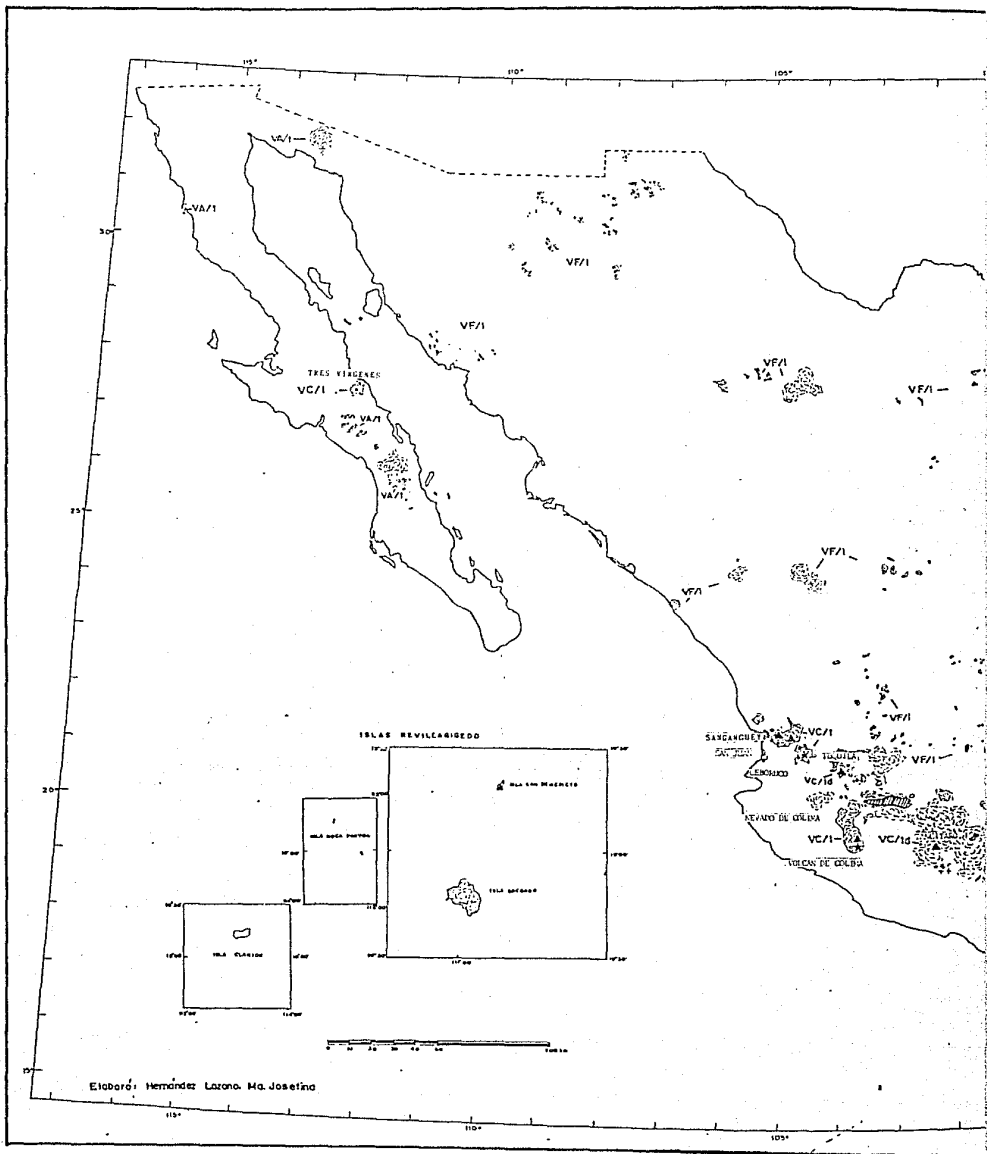
Fig. no. 18 Perfil con algunos de los principales volcanes que constituyen el Cinturón Volcánico Mexicano.



de los principales volcanes que constituyen el Cinturón Volcánico Mexicano.

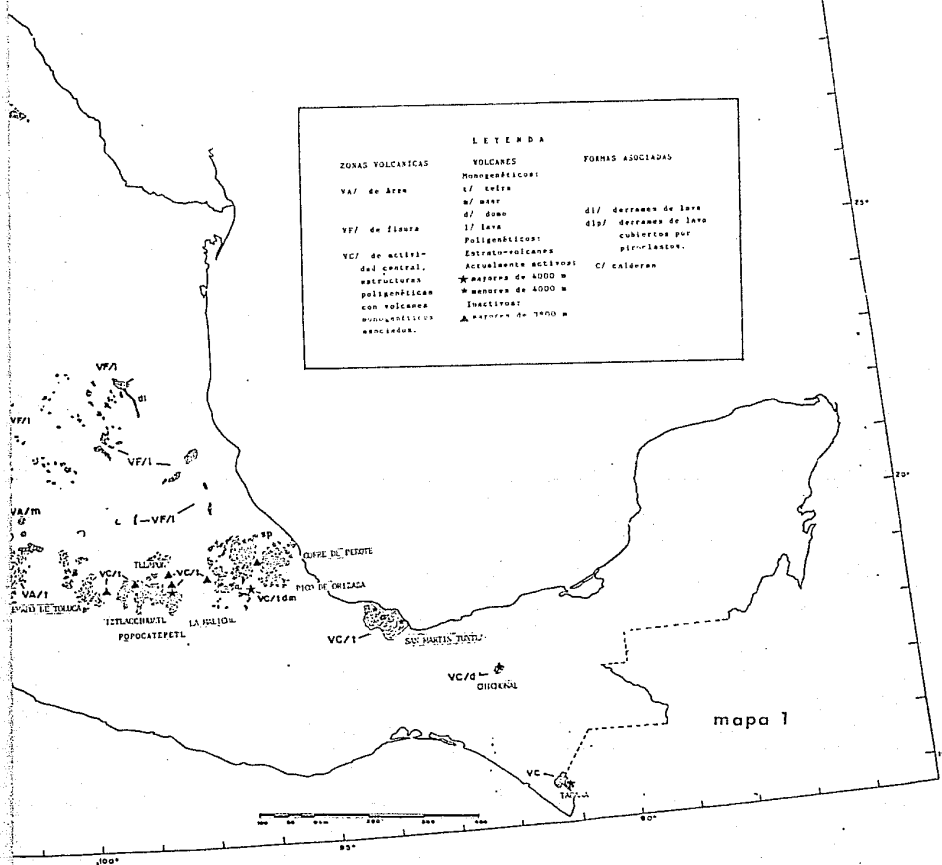


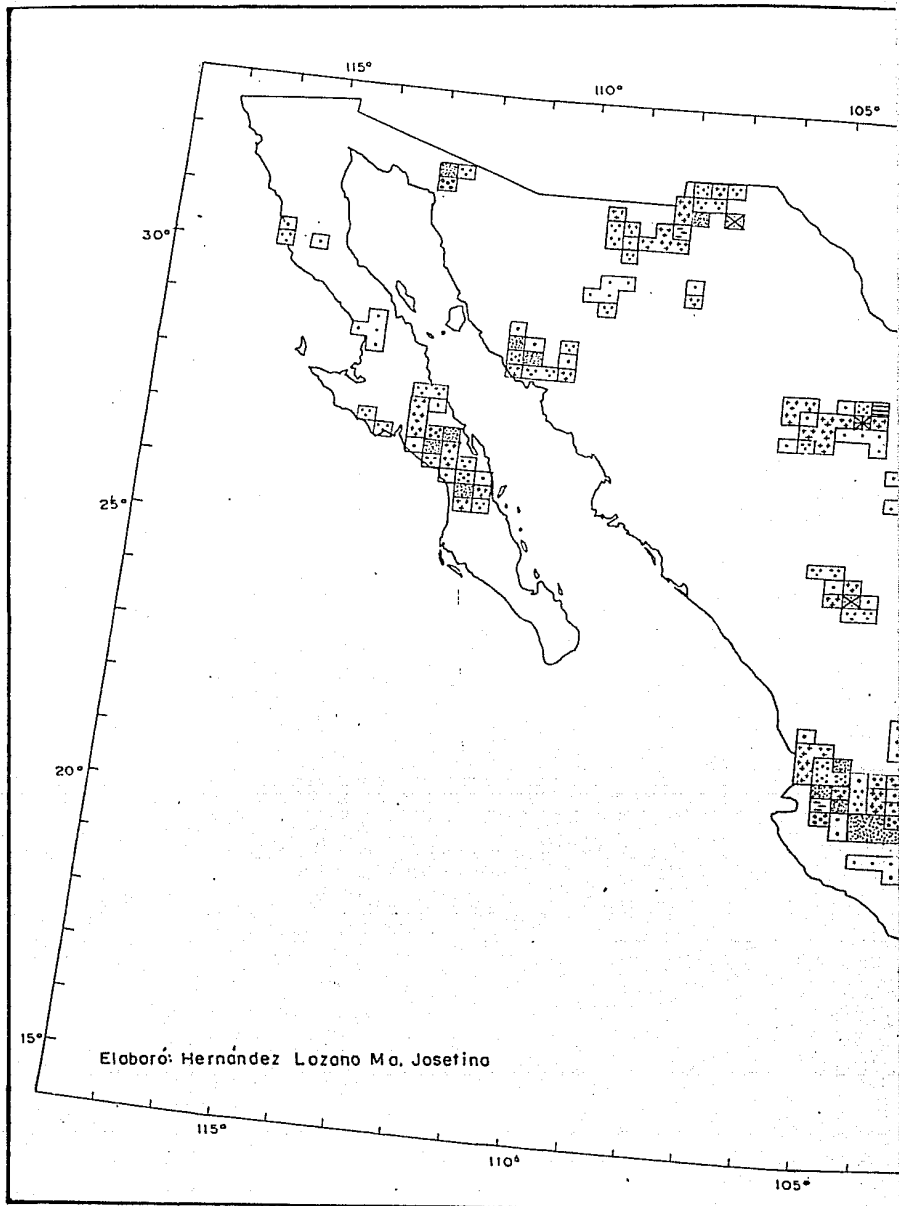
Surfón Volcánico Mexicano.



# ZONAS DE VOLCANISMO CUATERNARIO EN MEXICO

ZONAS VOLCANICAS	VOLCANES	FORMAS ASOCIADAS
VA/ de Aren	Monogeneticos: c/ cono	d1/ derrames de lava d2/ derrames de lava cubiertos por pirinitas.
VF/ de fiera	m/ cono l/ lava	CF calderas
VC/ de actividad central, estructuras poligeneticas con volcanes monogeneticos asociados.	Poligeneticos: Estrato-volcanes Accumulante sectorial * nevolcanes de 4000 m * nevolcanes de 4000 m Inactivos: ▲ nevolcanes de 7000 m	





VOLCANES CUATERNARIOS DE MEXICO  
(DENSIDAD)

