

3
2 ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

GEOLOGIA VOLCANICA DE LA REGION DE
TULANCINGO ESTADO DE HIDALGO

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO GEOLOGO
P R E S E N T A :
JOSE ARTURO CASTRO GARCIA



MEXICO, D. F.

1991

FALLA EN ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
I. INTRODUCCION	
I.1. Objetivos	4
I.2. Metodo de trabajo	5
Actividades de gabinete	5
Actividades de campo	6
I.3. Antecedentes y trabajos previos	7
II. GEOGRAFIA	
II.1. Localización y vias de acceso	9
II.2. Fisiografía	10
II.3. Clima y temperatura	13
II.4. Hidrografía	14
II.5. Aspectos arqueológicos	14
III. GEOMORFOLOGIA	
III.1. Formas erosivas y acumulativas	18
IV. GEOLOGIA	
IV.1. Marco geológico	19
IV.2. Estratigrafía	20
Rocas andesíticas correlacionables	
con el Grupo Pachuca	20
Riolita Chignahuapan	21

	Riolita Navajas	22
	Rocas andesíticas no diferenciadas	23
	Formación Atotonilco el Grande	24
	Rocas volcánicas cuaternarias	25
	Depósitos aluviales	26
IV.3.	Características petrológicas	26
	Andesitas basálticas cuaternarias	27
	Rocas andesíticas terciarias	28
	Rocas basálticas terciarias	30
	Rocas riolíticas terciarias	30
IV.4.	Características químicas	32
IV.5.	Geología estructural	37
	Etapas del vulcanismo en México	37
	Marco tectónico y evolutivo del AMT ...	38
	Relación de la tectónica con las características vulcanogénicas locales.	40
IV.6.	Geología histórica	41

V. VULCANOLOGIA

V.1.	Estructuras volcánicas	44
	Complejo de el Yolo	44
	Volcán Navajas	45
	Caldera de Chichicuahutla	47
V.2.	Tipo de vulcanismo que las produjo	48
V.3.	Riesgo volcánico	51

VI. ASPECTOS ECONOMICOS

**VI.1. Yacimientos localizados, explotación
y uso de sus materiales 59**

VII. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES 62

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 64

ANEXO: PLANO GEOLOGICO.

RESUMEN

La zona de Tulancingo se localiza en la parte nor-oriental del "Arco Magmático Transmexicano". Las rocas más antiguas del área están representadas por el Complejo de El Yolo, es un conjunto de domos de composición ácida, localizada al E-SE de la Cd. de Tulancingo; al NW se encuentra la Sierra de las Navajas, es un estratovolcán con su cráter principal de 3 Km de diámetro, destruido en su flanco NE, además tiene un cráter menor de 2 Km de diámetro aproximadamente que fue obturado por un cuerpo viscoso. Estas estructuras tuvieron una actividad explosiva y efusiva de tipo peleano. Hacia el S-SE del área, se localiza la Caldera de Chichicuahutla; estructura de explosión originada por una erupción paroximal-freatomagmática que arrojó cenizas, brechas y lavas de composición andesítica, dando lugar a una estructura de tipo maar. Se encuentra seccionada por una falla en su borde norte; representa la culminación del vulcanismo terciario en el área.

Las características petrológicas y químicas de las rocas terciarias corresponden a riolitas de textura vitroporfídica, con paragénesis de: $\text{Fld} + \text{Plg}(5\% - 20\%)$, $\text{Cpx}(0.5\% - 1.5\%)$, $\text{Anf}(1\% - 3\%)$, Ox de Fe-Ti (2%) y raramente biotita, presentando un enriquecimiento de Na_2O y K_2O . Las rocas andesíticas de este período presentan tres facies petrogenéticas: I.- $\text{Plg} + \text{Ol} + \text{Opx} + \text{Cpx}$; II.- $\text{Plg} + \text{Opx} + \text{Cpx}$ y III.- $\text{Plg} + \text{Anf}$. Todas con fenocristales de oligoclasa-andesina ($30\% - 35\%$) con textura pilotaxítica, que muestra un enriquecimiento de Al_2O_3 y CaO .

Durante el Cuaternario se desarrolló un vulcanismo, cuyos aparatos son conos cineríticos de pequeñas dimensiones ($0.5-1.0$ Km de diámetro), que expulsaron derrames de corta longitud en su última etapa eruptiva, manifestando una actividad estromboliana.

Las rocas cuaternarias, son andesitas básicas con textura microlítica y microdolerítica, con paragénesis de: $\text{Ol}(3\% - 5\%)$, $\text{Plg}(10\% - 20\%)$, $\text{Cpx}(1\% - 3\%)$ y Ox de Fe-Ti ; los Opx son raros. Las características químicas muestran un enriquecimiento de Fe , con una ligera tendencia a la serie Tolehítica.

Desde el punto de vista tectónico, los grupos descritos ponen en evidencia por su orientación y química, una estrecha relación con la naturaleza de los esfuerzos locales. Las estructuras que forman los complejos de El Yolo y Sierra de las Navajas definen una orientación NW-SE, que corresponde a la dirección de máximo esfuerzo, mientras que la orientación de los aparatos cuaternarios definen la dirección de mínimo esfuerzo. Es decir, aparentemente los lineamientos y características químicas definen esfuerzos de naturaleza compresional para los primeros y tensional para los últimos.

A B S T R A C T

At the north-oriental margin of the "Transmexican Magmatic Arc" lies the Tulancingo zone. The Complejo El Yolo includes the older rocks in the area represented by a felsic dome field located east-southeast of Tulancingo City. Sierra de las Navajas to the northwest, is a stratovolcano with a crater three km in diameter, actually destroyed at its northeastern flank; there is also another smaller, crater less than two km in diameter, that was plugged by a viscous body. This structures had a pelean explosive and extrusive activity. The Chichicuahutla Caldera, southwest of the area is a structure of explosion, originated from a paroximal-freatomagmatic eruption that delivered ash, breccia and andesitic lava, this gave place to a maar tipe structure. At the northern rim, a fault represents the Tertiary vulcanism climax in the area.

The Tertiary rocks chemical and petrologic characteristic is expressed as vitrophanitic rhyolite, whose paragenesis is: Fld+Plg (5% - 20%), Cpx (0.5% - 1.5%), Anf (1% - 3%), Ox of Fe-Ti (2%) with occasional biotite that shows Na₂O and K₂O enrichment. Andesitic rocks of this period include three petrogenetic phases: I.- Plg + Ol + Opx + Cpx; II.- Plg + Opx + Cpx and III.- Plg + Anf. All with oligoclase-andesine phenocrysts (30% - 35%) with a phylotaxitic texture that shows Al₂O₃ and CaO enrichment.

Quaternary vulcanism is represented by small (0.5 - 1.0 km in diameter) cineritic cones and small strombolian flow that were formed during the late eruptive phase.

Quaternary rocks are, microlitic and microdoleritic texture, mafic andesites with a paragenesis of: Ol (3% - 5%), Plg (10% - 20%), Cpx (1% - 3%) and Ox of Fe-Ti; chemical characteristic is Fe enrichment with a tendency toward the tholeiitic series.

From a tectonic point of view, the orientation and chemistry of the described groups, show a close relation to the nature of the local stress. The El Yolo and the Sierra de las Navajas structures, have a northwest orientation which is in correspondance with the maximum stress direction, while the Quaternary structures orientation coincide with the minimum stress. The lineations and chemical characteristics define compressional stress for the first and tensional stress for the latter.

C A P I T U L O I

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

El vulcanismo, fenómeno geológico que se origina en el interior de la tierra por complicados procesos que dan lugar a la generación de rocas fundidas (magmas), los que ascienden hasta la superficie terrestre, su salida puede ser violenta o tranquila por una erupción volcánica.

Al emplazarse el material igneo en la superficie terrestre, un porcentaje importante de los componentes volátiles diluidos en él, escapan libremente hacia la atmósfera o hidrósfera, mientras que el resto del material fundido se enfría y solidifica formando las rocas volcánicas.

De esta forma, los productos volcánicos quedan a nuestro alcance, permitiendo el estudio completo de su naturaleza, tanto en el campo como en laboratorio, constituyendo una valiosa fuente de información sobre la composición de este y los mecanismos de su génesis.

El estudio de la actividad volcánica y la dispersión de sus productos tienen una aplicación inmediata; los datos obtenidos permiten establecer la vigilancia y medidas preventivas para minimizar los daños que provoca la fuerza destructora de algunas

erupciones volcánicas; así como la explotación y aprovechamiento de los recursos naturales asociados al vulcanismo.

I.1. OBJETIVOS

El presente estudio se orientó a la vulcanología, con el objeto de definir la evolución de las estructuras volcánicas del área, y la relación que existe entre ellas, a fin de ampliar el conocimiento sobre los diferentes productos volcánicos que se emplazaron en la zona estudiada, definiendo los fenómenos volcánicos que los produjeron, clasificándolos y estableciendo las relaciones estratigráficas que guardan entre si.

Dada la diversidad de episodios y procesos volcánicos que han ocurrido en el área desde principios del Terciario hasta el Reciente, se definieron las relaciones genéticas de la actividad volcánica local con el modelo geodinámico global que actualmente se maneja en Geología.

Es de singular importancia, hacer énfasis sobre los depósitos del material que actualmente se explota en la zona, considerando desde el punto de vista económico la factibilidad de explotación de éstos. Actualmente están sujetos a una explotación intensa sin definir el método más adecuado para su aprovechamiento.

I.2. METODO DE TRABAJO

Para un mejor desarrollo del tema, los métodos de trabajo se subdividieron en dos etapas de actividades.

Actividades de Gabinete

a) Selección y análisis de la información bibliográfica del área tomando en cuenta aquella de índole local y regional, procurando recopilar la mayor cantidad de datos e información existente, recurriendo a las dependencias u organismos que disponen de ella.

b) Interpretación fotogeológica.

Se realizó a partir de fotografías aéreas a escala 1: 50 000 procesadas por INEGI (1983), y tomando como base las cartas topográficas escala 1:50 000, editadas por la misma dependencia, se elaboró un mapa base donde se vaciaron los datos geológicos interpretados, derivados del análisis fotogeológico, que consisten en lo siguiente: Contactos geológicos, rasgos estructurales, fallas, fracturas, estructuras volcánicas, dirección de flujo y extensión o dispersión de las lavas, etc.

c) Preparación de muestras en lámina delgada para su análisis petrográfico y su clasificación, tomando como base sus relaciones de campo, fábrica y mineralogía.

Selección y preparación de las muestras para obtener su análisis químico correspondiente y elaborar sus diagramas de variación.

d) La información obtenida en campo y gabinete fue procesada, analizada y transferida al mapa geológico definitivo. Las gráficas, perfiles y secciones cuya interpretación se basa en los datos obtenidos, así como las conclusiones apoyadas en éstos, toman en cuenta los comentarios o indicaciones que se juzgaron pertinentes.

Actividades de Campo

a) Reconocimiento preliminar del área.

Se hizo un reconocimiento previo de la zona de estudio para evaluar la información recopilada y complementarla con la observación directa de los afloramientos, fundamentar el programa detallado de reconocimiento, así como familiarizarse con las rocas, caminos y poblaciones e ir identificando las unidades litológicas que ahí afloran.

b) Comprobación de campo de los datos derivados de la fotointerpretación y muestreo de las unidades litológicas establecidas.

Tomando como base la interpretación fotogeológica, se programaron varios caminamientos en localidades clave, a fin de definir satisfactoriamente la naturaleza o modelo evolutivo de las estructuras volcánicas y geológicas, así como esquematizar para cada caso el modelo más apropiado.

c) Conforme se fueron identificando las unidades litológicas en los caminamientos programados, se muestrearon sistemáticamente las diferentes unidades, asignándoles un nombre informal que permite un manejo más práctico. Posteriormente se efectuaron los análisis petrográficos y químicos que condujeron a una clasificación precisa de las rocas, al considerar la mineralogía, composición química y modal.

d) Elaboración de secciones geológicas.

Con el fin de conocer mejor el comportamiento estructural de las unidades geológicas, se elaboraron cuatro secciones, considerando los datos estructurales tomados en el terreno, cuando fue posible identificarlos con precisión.

I.3. ANTECEDENTES Y TRABAJOS PREVIOS

Las rocas volcánicas en el Estado de Hidalgo cubren aproximadamente el 50% de su superficie; a pesar de esto no existen trabajos sistemáticos sobre el magmatismo de la zona, objeto del presente estudio.

Se conocen los trabajos de Ordoñez (1892), quien hace la primer descripción de las rocas riolíticas de la Sierra de las Navajas. En 1956 Segerstrom, hace una sinopsis de la geología del área. Posteriormente Geyne, Fries y Segerstrom (1963), estudiaron la Sierra de Pachuca y la Sierra de las Navajas con fines mineros. A partir de 1969 la Secretaria de Agricultura y Recursos

Hidráulicos (SARH), ha hecho diversos estudios geológicos relacionados con la exploración y explotación de las aguas subterráneas dentro del Valle de Tulancingo. Por último la zona ha sido incluida en trabajos de índole regional por diferentes autores: Carrillo Bravo (1965), Robin C. (1976 y 1978), Demant A. y Robin C. (1975), Demant A. (1978) etc.

C A P I T U L O II

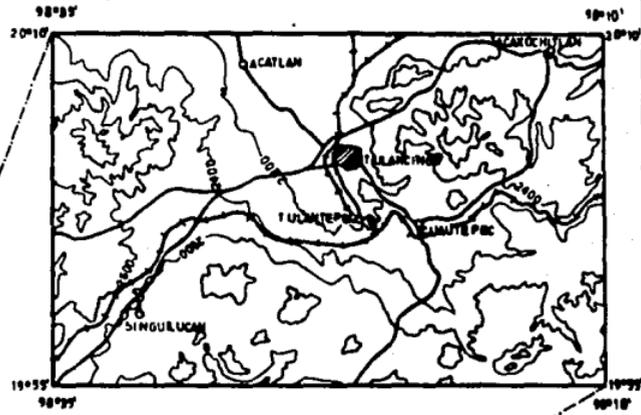
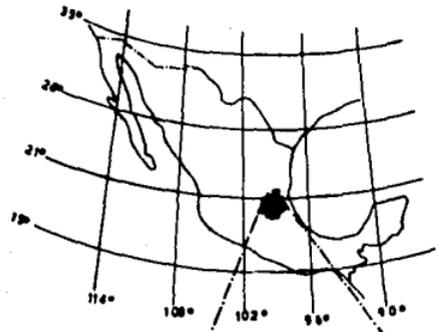
G E O G R A F I A

II.1. LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO

La zona de estudio corresponde a la porción sur-oriental del Estado de Hidalgo, muy próxima con el Estado de Puebla; la superficie cubierta es de forma rectangular, con aproximadamente 1200 Km² de extensión, se ubica entre las coordenadas geográficas: 98° 10' y 98° 35' de longitud oeste, 19° 55' y 20° 10' de latitud norte.

La zona cuenta con numerosas poblaciones de categoría diversa, de éstas la más importante es Tulancingo de Bravo. Comprende los municipios de Acaxochitlán, Tulancingo de Bravo, Santiago Tulantepec, Cuahutepec de Hinojosa y Ahuazotepic.

Sus principales vías de acceso son: partiendo de la Ciudad de México, se toma la carretera federal No. 132 hacia San Juan Teotihuacán y pasando por Otumba se llega directamente a Tulancingo; o bien, partiendo de la Ciudad de Pachuca se toma la carretera federal No. 130 Pachuca-Cd. Madero- Tampico, Tamps. (Fig. 1).



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA**

TESIS PROFESIONAL:
GEOLOGIA VOLCANICA DE LA ZONA
DE TULANCINGO EDO. DE HIDALGO
PLANO DE LOCALIZACION
POR: J. ARTURO CASTRO GARCIA

FIG: (1)	ESC: 1:400,000	JUNIO DE 91	SUP: 1200 m ²
------------	----------------	-------------	--------------------------

Desde la Ciudad de Tulancingo se desprenden algunos ramales que comunican entre si las localidades más importantes de la zona, son carreteras de segundo orden, terracerías y brechas transitables todo el año. Además existen caminos de herradura y veredas, que conducen a las poblaciones más pequeñas y apartadas, a partir de las cuales se pueden realizar los recorridos geológicos.

II.2. FISIOGRAFIA

La zona de estudio se localiza en la parte septentrional de la Provincia Fisiográfica denominada Eje Neovolcánico (Raiz, 1964), también llamada Provincia de la Zona de Fosas Tectónicas y Vulcanismo Reciente (Alvarez, 1949; E. García, 1973). En posteriores estudios Demant (1976), denomina a esta misma provincia como Eje Neovolcánico Transmexicano; sin embargo de acuerdo con Verma et al. (1985), se le ha llamado Cinturón Volcánico Mexicano. Aspecto que ha producido controversia; quizá lo más apropiado sería definirla como la provincia del "Arco Magmático Transmexicano" (Silva-Mora, comunicación verbal). La idea de proponer esta última denominación, surge de la Tectónica de Placas, teoría unificadora que combina la geología superficial con la evolución planetaria.

Definir con este concepto al Cinturón Volcánico Mexicano, forma una idea más precisa del complejo arco magmático continental, que presumiblemente debe su origen a la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa Norteamericana a lo largo de la Trinchera Mesoamericana, (Mooser, 1968, 1972, 1975; Demant, 1975; Robin, 1975; Neguendank, 1973, 1981 ; Fig. 2)

Esta provincia se caracteriza por tener una orientación regional E-W y cruzar a la República Mexicana desde el Océano Pacífico hasta el Golfo de México, entre las latitudes de 19° y 20° , con una longitud de 1000 Km., y una amplitud de 50 a 200 Km., formando una altiplanicie a más de 2000 msnm. de la que sobresalen numerosas elevaciones que fluctúan entre 2100 y 5600 msnm. y corresponden a formas constructivas poco o nada disectadas, que son el resultado del apilamiento de lavas emitidas por la actividad volcánica que se inició desde principios del Terciario hasta el reciente.

Las geoformas que se presentan en su mayoría constituyen aparatos volcánicos, aunque existen otro tipo de estructuras, tales como domos, maars, volcanes de escudo, calderas, volcanes compuestos, conos cineríticos y domos de lava. La naturaleza litológica de los materiales que los forman, varía de basalto a riolita, con un predominio de las andesitas y dacitas. Por tal motivo son comunes los flujos

de lava andesítica o bien depósitos piroclásticos de diferente tipo (ash-flow, ash-fall, base surge etc.), cuya composición varía de intermedia a ácida.

En su mayoría, los aparatos volcánicos muestran diferentes períodos de actividad, presentando diversos grados de destrucción, ya sea por la actividad volcánica explosiva o por el interperismo y la erosión que los ha afectado. En lo que respecta al área de estudio, está formada por el Valle de Tulancingo y el Valle de Tortugas, separados en su parte central por el Cerro Napateco (2600 msnm), ambos valles tienen aproximadamente 10 km. de ancho por 15 km. de largo, son más o menos planos y se unen unos 15 km. al norte de la Ciudad de Tulancingo. La altura promedio de estos valles es de 2100 msnm., el resto del área es montañosa, destacando por su elevación la Sierra de las Navajas (3100 msnm), localizada al occidente de la Ciudad de Tulancingo.

Dentro del área hay conos de tipo cinerítico y estratovolcanes que varían en altura y dimensiones, destacando los volcanes La Paila, Coatzetzengo, Volcán Seco y una gran estructura semi-circular llamada la Caldera de Chichicuahutla, que se caracteriza por ser una depresión de aproximadamente 5 km., de diámetro, con un volcán instalado en su interior; esta última estructura tiene alturas que fluctúan entre 2850 y 3100 msnm.



Fig.(2) Configuración de las tres provincias magmáticas mexicanas y los elementos litosféricos que definen su comportamiento.

- a) Provincia del Arco Magmático Transmexicano
- b) Provincia de la Sierra Madre Occidental
- c) Provincia Alcalina de la Sierra Madre Oriental

MODIFICADO DE ROBIN Y DENANT (1976)

II.3. CLIMA Y TEMPERATURA

De acuerdo a la clasificación de W. Köppen, modificada por E. García (1973), en el área se manifiestan diversas clases de clima, variando de semiseco estepario a templado con verano cálido, en el Valle de Tulancingo (BS,KW); templado subhúmedo, con verano fresco y lluvioso en la Sierra de las Navajas [C(E)(W2)(W)] y templado húmedo con verano cálido en la parte sur del área [C(W1)(W)]. En la Sierra de Acoculco y el Complejo de El Yolo, el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano [C(Wo)(W)]. La parte más oriental del área tiene un clima templado húmedo con abundantes lluvias en verano [C(fm)].

Con relación a la temperatura, se registra una media anual entre 26.6 °C a 27.1 °C, el mes más cálido es mayo con 32.0 °C en promedio; la de los meses más fríos es entre 7.7 °C a 5.9 °C es de Noviembre a Febrero.

La humedad en la zona presenta un régimen de lluvias de verano, e invierno seco. La época de lluvias es en los meses de Julio a Septiembre, con una precipitación media anual del orden de 650 mm.

II.4. HIDROGRAFIA

En el área el drenaje es superficial y denso en las sierras más prominentes, de tipo subparalelo y arborecente, con cauces profundos y fuertes pendientes. En los lomeríos volcánicos predomina el de tipo radial, menos denso y con cauces poco profundos. Dentro del valle es subdendrítico y paralelo, poco denso y con cauces someros y un carácter intermitente. Entre las corrientes superficiales destacan el Río Grande de Tulancingo, siendo su tributario más importante el Río Chico; otra corriente de importancia es el Río Nuevo. Ambos drenan hacia el N-NW, además existe una gran cantidad de bordos y represas utilizados para captar aguas superficiales con fines agrícolas.

II.5. ASPECTOS ARQUEOLOGICOS

En el país existen muchas localidades arqueológicas. Por tal motivo es importante mencionar la presencia de grandes flujos vítreos de composición intermedia o riolítica, es decir, este tipo de depósitos contienen obsidiana. Esta roca que en realidad es un vidrio volcánico, es de color negro con bordes traslúcidos, carece de elementos cristalinos y presenta fractura concoidea.

Desde el año de 1822 ya se conocían en México los vestigios importantes sobre la minería prehispánica de la obsidiana y la fabricación de instrumentos por los pueblos prehispánicos en los yacimientos de este material localizados en la Sierra de las Navajas.

Holmes (1900) comparó los yacimientos de obsidiana de la Sierra de las Navajas con los yacimientos de obsidiana de Cliff en Oregon U.S.A., El Chayal y la Joya en Guatemala. Además se interesó por los sistemas de explotación minera y los volúmenes extraídos, ya que dicha roca estuvo sujeta a una gran demanda en tiempos prehispánicos, época en que los pobladores de la Gran Tenochtitlán, Tula, Teotihuacán, etc. los explotaron, utilizando el vidrio como materia prima para su industria, aprovechando su dureza, fácil quebradura y sus aristas cortantes, en la fabricación de cuchillos, agujas, puntas de lanza, hachas, etc.

C A P I T U L O I I I

G E O M O R F O L O G I A

En el área existen estructuras complejas originadas por procesos endógenos y exógenos, debidos a la actividad volcánica que ha ocurrido desde mediados del Terciario hasta nuestros días.

Los procesos volcánicos efusivos y explosivos están estrechamente asociados y con frecuencia se encuentran intercalados, manifestando diferentes etapas de la actividad eruptiva.

De esta forma la edificación de un aparato se integra a la evolución morfológica de la región y puede ser fosilizado si es hundido por movimientos tectónicos y recubierto por sedimentos aluviales o por coladas de otros aparatos más jóvenes. Lo más común, es que una vez edificado sea sometido al ataque de los agentes atmosféricos y la erosión.

Las sierras localizadas en el área pueden ser clasificadas desde el punto de vista morfológico, de acuerdo a este criterio se hizo una división de cada una de ellas, para su mejor descripción.

La sierra situada al oriente de la Ciudad de Tulancingo, donde se localizan los Cerros Napateco, Jaguey, La Esperanza, El Yolo, etc., constituye un complejo dómico de lava, producto de magmas viscosos, ricos en gases que se forman en la superficie o muy cerca de ella, son producto de la acumulación de lava sobre el mismo conducto eruptivo, sus dimensiones dependen del volumen del material involucrado . (figuras 11,12,13)

En el extremo sur-oriental del área, en las proximidades de San Lorenzo Tezoncualpan, Acoculco y Alguajoyucan, un material similar pero menos viscoso formó domos de lava de los que derivan flujos de poca extensión, describen una superficie lobular abanicada, en dirección NE mientras que al S y SW del área se desarrolló un campo de conos cineríticos que expulsaron extensos mantos lávicos, algunos de estos aparatos están aislados. Además sobresale una gran estructura de origen poligenético conocida como Caldera de Chichicuahutla, localizada 5 Km. al oriente de Singuilucan, tiene la forma de una media luna y una altura estimada de 250 m., sobre la superficie del valle donde se emplazó (Ver plano geológico anexo; Fig. 3).

III.1. FORMAS EROSIVAS Y ACUMULATIVAS

Las diferentes litologías, cuya resistencia a la erosión e interperismo es diferencial, da origen al relieve típico del área, mecanismo que origina zonas de relieve muy suave con

lomeríos bajos, constitutidos por cenizas, brechas y suelos originados por la alteración de las diferentes rocas.

Las superficies topográficamente bajas y puertos de erosión se desarrollan por la denudación de materiales extremadamente suaves como las cenizas y tobas, que son transportadas y depositadas en el valle.'

Las formas acumulativas son productos del apilamiento sucesivo de derrames depositados in-situ, que al ser disectados por las corrientes superficiales forman profundos barrancos con pendientes muy abruptas, acumulando los productos de su denudación. En las zonas de pendiente suave donde predominan los lomeríos bajos se forman depósitos de pie de monte y/o aluviales.

C A P I T U L O I V

G E O L O G I A

IV.1. MARCO GEOLOGICO

La definición y extensión de las diferentes unidades litológicas que afloran en la superficie cartografiada y sus rasgos estructurales, fue transferida a las cartas topográficas F14D82, F14D83, E14B12 y E14B13 a escala 1:50 000 (INEGI, 1983).

La geología en el área está representada por materiales de origen volcánico, que conforman las sierras que rodean a la Ciudad de Tulancingo; en el Valle de Tulancingo el material que predomina es de origen epiclástico, derivado de la denudación de dichas sierras, rellena las zonas más bajas y en los pequeños valles intermontanos, se han acumulado depósitos aluviales.

Al hacer los caminamientos programados de verificación se hizo un muestreo sistemático de las unidades identificadas, y la descripción correspondiente a los afloramientos visitados, registrando los rasgos estructurales, fracturamiento, fábrica, alteración, etc.

La composición de estos materiales es diversa; no obstante hay un predominio de rocas andesíticas y riolíticas.

IV.2. ESTRATIGRAFIA

La historia ígnea de la zona inicia con el emplazamiento de una potente secuencia de rocas volcánicas, que comprenden desde el Oligoceno-Mioceno hasta el Cuaternario, y sobreyace a rocas sedimentarias terrígenas (Formación Méndez), del Cretácico Superior, que no aflora en el área. Sus afloramientos más cercanos se localizan en el fondo de la barranca de Alcholoya, aproximadamente 30 km al nor-ocete de Tulancingo.

ROCAS ANDESITICAS CORRELACIONABLES CON EL GRUPO FACHUCA

Estas rocas se localizan aproximadamente 20 km. al sur-ocete de Tulancingo, en el flanco sur de la Sierra de las Navajas, predominando el Cerro Ventoso.

Localmente se trata de rocas de color gris-verde a rosado de fábrica porfídica, con cristales de plagioclasas y hornblenda como minerales esenciales. La matriz es un vidrio gris oscuro con abundantes microlitos y óxidos de Fe-Ti. Sus afloramientos son de aspecto masivo con fracturamiento pseudo-columnar y foliación irregular.

Presumiblemente estas rocas representan la primer manifestación de vulcanismo dentro del área, aunque no fue posible establecer su contacto inferior, subyacen a productos del

Cuaternario o del Plioceno tardío (Gayne et al., 1963). Este autor asignó a estas rocas una edad de Oligoceno-Mioceno. Sin embargo, hasta ahora no se tienen datos geocronológicos de estas rocas en el área y su relación con rocas más jóvenes permite establecer su edad relativa en el Mioceno tardío.

RIOLITA CHIGMANUAPAN

En la zona de estudio estas rocas surgieron de los aparatos dómicos situados en el límite oriental del área, sobresaliendo los Cerros Napateco y Yolo, así como los lomeríos situados al oriente de Cuauhtepac de Hinojosa.

Localmente esta unidad consiste de flujos de composición riolítica de color rosado y fábrica porfídica, presentando estructura fluidal y acordelada bien desarrollada. Al microscopio, se observa textura holocristalina, con fenocristales de sanidino y otros más pequeños de biotita. La magnetita es escasa; en ocasiones presenta estructura fluidal en la matriz, otras veces es esferulítica.

Forma acantilados con juntas verticales irregulares, provocadas por un intenso fracturamiento. Es común la presencia de lentes de material vítreo que en ocasiones llega a ser masivo.

Por su relación estratigráfica con las rocas del área, Gayne, et. al. (1962) les asignó una edad de Plioceno-inferior.

RIOLITA NAVAJAS

Esta unidad se localiza en la parte nor-occidental del área, destacando por su importancia el Cerro del Milagro; consiste de una serie de flujos y brechas de composición riolítica, con depósitos piroclásticos en su base, que fueron producto de la actividad explosiva del Volcán Navajas, cuyas emisiones son materiales de composición ácida, productos viscosos que en el último episodio explosivo destruyeron el flanco NW de su cráter. Localmente las rocas que conforman esta unidad son de color rosa claro a pardo, con fábrica fluidal ondulada bien desarrollada y vesicular. Además es frecuente encontrar entre los flujos lentos de obsidiana con bordes de color verde olivo.

En muestra de mano la roca presenta fábrica afanítica y vesicular con matriz vítrea y fenocristales de cuarzo, plagioclasa y raros minerales máficos (posiblemente hornblenda).

En su extremo oriental esta unidad sobreyace discordantemente a los derrames andesíticos y dacíticos del Grupo Pachuca. Por tal motivo, Gayne, et. al. (1963) propone una edad del Plioceno medio.

ROCAS ANDESITICAS NO DIFERENCIADAS

Estas rocas se localizan 8 km. al sur de Tulancingo, cerca del poblado de San José y a 5 km. al sur-este de Singuilucan, destacando por su importancia la Caldera de Chichicuahutla (Ver plano geológico anexo; Fig. 3)

Son rocas de color gris-verdoso, de fábrica porfídica, sus afloramientos son de aspecto masivo, con morfología de tipo domo. Al microscopio se observa textura pilotaxítica, con fenocristales de andesina y hornblenda, englobados en una matriz vítrea con abundantes microlitos de andesina que conforman una textura pilotaxítica.

La Caldera de Chichicuahutla se caracteriza por ser una estructura de explosión de tipo maar, formada por una secuencia de brechas con fenocristales de andesina y olivino, en una matriz de cenizas y lapilli y lavas de composición andesítica que fueron expulsadas en su última etapa de actividad. Las lavas se caracterizan por tener un mayor porcentaje de fenocristales de olivino, mientras que

las plagioclasas disminuyen. La matriz está compuesta por un vidrio oscuro, con abundantes microlitos de hiperstena, augita y algunos óxidos de Fe-Ti, conformando una textura hialopilitica.

Estas rocas representan la culminación del vulcanismo Terciario en el área, aunque no se observó su contacto inferior, su posición estratigráfica con respecto a las rocas cuaternarias permite asignarles una edad del Plioceno superior.

FORMACION ATOTONILCO EL GRANDE

Esta unidad se encuentra alojada dentro del Valle de Tulancingo, su litología está representada primordialmente por horizontes de material piroclástico, intercalado con lavas básicas. El material piroclástico está constituido por cenizas con fragmentos del tamaño de lapilli y brechas volcánicas, con clastos de hasta 15 cm de diámetro; los flujos de basalto son de color negro e interperiza a un color pardo-rojizo, con estructura compacta vesicular.

Fries (1962), basándose en los restos de molares de mastodonte y de caballo colectados por Villarello y Bose (1902, p. 19-20), asignó a esta unidad una edad Pleistocénica. Por su relación estratigráfica con la unidad que la subyace, Robin (1982) asigna una edad del Plioceno superior.

ROCAS VOLCANICAS CUATERNARIAS

La secuencia está constituida por derrames lávicos que tienen composición de andesita basáltica; fueron emitidas por 30 conos cineríticos o volcanes monogenéticos. Tales lavas se emplazaron al sur y sur-este del valle, así como en los flancos

nor-poniente y nor-occidental. En general estas rocas forman extensos derrames que fluyeron hacia el valle cubriendo parcialmente su flanco sur-occidental.

Por su expresión morfológica, grado de alteración y erosión, es posible que los episodios que los emplazaron fueron dos: uno de edad Pleistocénica y otro durante el Holoceno. El primer episodio está representado por conos cineríticos cuya forma está total o parcialmente erosionada, aspecto que permite proponer para estos una edad del Pleistoceno. El segundo episodio, representado por aparatos cuya morfología está intacta,, lo constituyen materiales que consisten en flujos cuya composición petrográfica corresponde a una andesita basáltica, que se extiende en forma de lenguetas fácilmente identificables en el valle. En dichas rocas el olivino es el mineral característico, estas son muy densas y presentan un fracturamiento superficial en dirección NE-SW. Por lo común son de color gris oscuro con tonos parduzcos por interperización.

Se propone para estos derrames una edad Pleistocénica superior o quizás del Holoceno por lo bien conservados que tienen sus rasgos.

DEPOSITOS ALUVIALES

En esta unidad se consideran los abanicos aluviales, depósitos de pie de monte y suelos residuales. En general estos depósitos están constituidos por partículas del tamaño de grava, arena, arcilla y limo que tienden a alojarse en las partes más bajas del valle. En lugares de pendiente suave, donde predomina la erosión o la acumulación de talud es frecuente que se formen zonas de cultivo con suelo coluvial. Son el producto de la erosión y denudación de las rocas vecinas, se incluyen en esta unidad los suelos vegetales, taludes y detritos con cantidades menores de cenizas, los cuales rellenaron las zonas topográficamente más bajas.

IV.3. CARACTERISTICAS PETROLOGICAS

Es importante conocer las características petrográficas y químicas de las rocas que están expuestas en el área, ya que conducen a proponer un modelo petrogenético más real y a definir las condiciones de cristalización.

La composición que presentan estas lavas es variada, va de basáltos hasta riolitas, rocas que se diferencian por su contenido de SiO_2 . Taylor (1969), propone los siguientes porcentajes de SiO_2 para clasificar las rocas volcánicas

calcoalcalinas: basaltos $49\% < \text{SiO}_2 < 53\%$, andesitas basálticas $53\% < \text{SiO}_2 < 56\%$, andesitas $56\% < \text{SiO}_2 < 62\%$, dacitas $62\% < \text{SiO}_2 < 68\%$ y riolitas $> 68\%$.

Andesitas basálticas Cuaternarias. (Qab)

Estas rocas aunque corresponden a una misma etapa del magmatismo en la zona, pueden ser agrupadas en dos periodos de actividad. Esto conduce a distinguir dos tipos o facies petrogenéticas estrechamente asociadas, definidas de acuerdo a los criterios petrográficos establecidos.

Tipo I. Andesitas basálticas "antiguas"

Esta denominación corresponde a rocas de fábrica afanítica y textura generalmente microlítica, donde los fenocristales constituyen del 5% al 10% del total; de estos al olivino le corresponde del 3% al 5% y representa la facie intratelúrica que es acompañada de Cpx (augita) que constituye entre el 1% y el 3%, aproximadamente. Las plagioclasas (andesina) forman el 10%, mientras que los cristales de Opx son raros o escasos. Las plagioclasas, el olivino, los Cpx así como los óxido de Fe-Ti pueden presentar diferentes formas: cúbico acicular o xenomorfo y son los minerales característicos de la matriz que generalmente es vítrea.

Tipo II. Andesitas basálticas "recientes"

Rocas que en general presentan fábrica porfídica con textura ofítica y microdolerítica, tienen un mayor porcentaje de fenocristales (15% a 25%) del total de la roca, valores en los

que aumenta el porcentaje que corresponde a los cristales de olivino (5% a 8%), se caracterizan por una aureola de reacción, que manifiesta remplazamiento a iddingsita, posiblemente ocasionada por alteración deutérica.

En este segundo grupo, los cristales de plagioclasa representan del 15% al 20% , y se caracterizan por alteración interna, donde se observa una transformación o remplazamiento a sericita. Los microlitos de plagioclasa, ortopiroxenos, clinopiroxenos y minerales opacos son las facies habituales de la matriz.

Rocas Andesíticas Terciarias. (Tpb y Tomv)

Son rocas generalmente de color gris a gris verde con fabrica porfirítica y textura predominantemente pilotaxítica, con abundantes fenocristales de plagioclasa zonificada y piroxenos. El olivino, los anfíboles y la biotita pueden estar presentes. La matriz esencialmente compuesta por microlitos de oligoclasa y andesina, contiene Opx (hiperstena) y Cpx (augita).

Con base en el análisis petrográfico y la mineralogía que existe para cada caso, es posible describir tres facies petrográficas en las andesitas:

Tipo I. Plagioclasa + Olivino + Opx + Cpx

Tipo II. Plagioclasa + Opx + Cpx

Tipo III. Plagioclasa + Anfíboles

El primer tipo se caracteriza por la presencia de abundantes fenocristales de oligoclasa-andesina, y escasos fenocristales de olivino, en una matriz de vidrio muy oscuro, que contiene abundantes cristalitas de andesina, hiperstena, augita y magnetita, con textura pilotaxítica.

El segundo tipo tiene abundantes fenocristales de andesina, y en menor abundancia de hiperstena y augita, englobados en una matriz microlítica, con cristalitas de augita, olivino, magnetita y vidrio intersticial.

El tercer tipo presenta fenocristales de andesina y hornblenda, inmersos en una matriz microlítica, con abundante vidrio de color gris oscuro y magnetita.

Es posible que las tres facies andesíticas anteriores correspondan a eventos volcánicos distintos, debido a su paragénesis mineral.

En condiciones generales los fenocristales se encuentran en un rango de 40% a 50%, conformando las plagioclasas en promedio un 30% a 35%, con un tamaño que oscila entre 0.5 mm y 3 mm; están fuertemente zonificadas y macladas, presentando corrosión en sus

bordes o inclusiones de minúsculos cristales de Fe-Mg (posiblemente Cpx) y minerales opacos, aspecto que representa condiciones de desequilibrio fisicoquímico para dichos cristales.

Rocas Basálticas Terciarias. (Tpb)

Son rocas con fábrica afanítica y textura microlítica, presentan un intercrecimiento de cristales de andesina y oligoclasa en proporción del 60%, cristales de olivino 20% y augita 10%, el resto lo constituye la matriz, que está formada por un vidrio de color negro, con abundantes óxidos de Fe-Ti (5%).

Las plagioclasas son tabulares, con zonas de reemplazamiento por sericita, lo que representa un tipo de alteración propilitica, el olivino se encuentra reemplazado total o parcialmente por iddingsita. (Muestras AC-3 y AC-69)

Rocas Riolíticas Terciarias (Tpn y Tpch)

Poseen una composición petrológica relativamente uniforme, su característica distintiva es una fábrica vítrea y textura vitroporfídica, con fenocristales de plagioclasa (oligoclasa) y feldespatos alcalinos (sanidino), en un porcentaje total de 5% a 15%. En algunos casos las plagioclasas están corroídas en sus bordes o en su interior, rasgos que indican un fenómeno de reabsorción magmática que las afectó. Acompañando a las plagioclasas se tienen Cpx (augita) y anfíboles (hornblenda), en proporción de 1% a 3%; asociados a estos, existe magnetita con un volumen hasta del 3%, el silice en

forma de tridimita raras veces se encuentra en la matriz, formada por un vidrio de color rosa claro, en ocasiones con estructura fluidal y generalmente presenta rasgos de devitrificación.

Otro grupo de rocas riolíticas tiene fabrica afírica y textura vitroporfírica o perlítica, donde el vidrio puede constituir de un 85% al 100% de la roca (muestras: AC-9, AC-74 y AC-75), con cristalitas aciculares alineados según el flujo del material. Son muy compactas y en proceso de devitrificación, formando esferulitos. La paragénesis esta formada por fenocristales de plagioclasa (5% al 20%), sanidino con bordes redondeados (5% al 10%), sílice (3% al 5%), variedad tridimita; como minerales accesorios augita (0.5% al 1.5%), óxidos de FeTi (2%) y raramente hornblenda (muestra AC-85).

IV.4. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Una visión significativa del origen y evolución de un magma, es poder materializar su variación composicional, que permite relacionarlo a otros cuerpos ígneos en tiempo y espacio. Ya que el valor de las variaciones químicas de las rocas refleja la tendencia y evolución de los procesos que las originaron (Wilcox, 1979).

Los análisis químicos de la tabla (I), representan una aproximación de la composición química de los magmas que produjeron las rocas que ahí afloran, sin considerar sus

File name AC-Arturo.Buc

Sample	AC-3	AC-00	AC-32	AC-61	AC-73	AC-17	AC-12	AC-35	AC-19	AC-33	AC-45	AC-85	AC-40	AC-57	AC-49
SiO ₂	49.00	52.16	52.60	53.01	54.82	55.17	58.89	59.48	59.71	69.57	72.70	72.99	75.00	75.00	75.08
TiO ₂	1.75	1.25	0.73	0.60	2.22	0.46	0.50	0.47	0.40	0.16	0.15	0.28	0.16	0.16	0.16
Al ₂ O ₃	20.00	11.33	15.84	16.12	15.43	19.48	17.28	14.52	17.20	15.47	12.75	6.79	13.10	13.29	12.98
Fe ₂ O ₃	3.29	10.47	3.90	1.99	3.39	3.19	2.26	1.53	2.26	2.31	2.20	5.57	1.23	0.85	0.76
FeO	5.58	4.94	4.70	5.74	3.56	2.87	3.91	4.26	3.11	0.49	0.19	0.80	0.40	0.48	0.83
MnO	0.17	0.17	0.73	0.70	0.24	0.40	0.53	0.55	0.48	0.25	0.10	0.11	0.04	0.03	0.05
MgO	4.96	4.82	5.19	5.66	4.16	2.93	2.80	3.42	2.90	0.30	0.34	2.96	0.60	0.92	0.80
CaO	8.42	8.72	8.25	8.25	7.22	7.60	6.64	5.36	5.79	2.14	0.43	0.42	0.38	0.27	0.43
K ₂ O	3.70	4.00	3.70	3.40	6.40	3.80	3.70	3.70	3.70	4.30	4.60	5.20	3.90	3.70	4.00
Na ₂ O	1.00	0.80	1.50	0.73	1.50	0.71	0.78	2.70	1.80	2.80	4.00	4.30	4.50	4.40	4.40
P ₂ O ₅	0.75	0.28	0.36	0.60	0.40	0.19	0.17	0.48	0.20	0.14	0.02	0.13	0.12	0.16	0.12
H ₂ O ⁺	1.16	0.73	0.02	0.21	0.84	0.32	0.51	0.73	0.27	0.49	0.03	0.41	0.27	0.62	0.36
H ₂ O ⁻	0.30	0.29	0.76	1.61	0.28	1.00	1.13	1.53	0.73	1.50	0.70	0.81	0.88	0.16	0.01
Total	100.08	99.96	98.28	98.62	99.66	98.12	98.30	98.73	98.55	99.92	98.21	99.97	99.78	100.04	99.98

NORMA C.I.P.M.

o	0.00	0.00	0.06	4.08	0.00	8.18	13.65	11.11	13.39	28.04	28.38	35.11	33.72	35.14	32.87
or	5.91	4.73	8.86	4.31	8.86	4.20	4.61	15.96	10.84	16.55	23.64	25.41	26.59	26.00	26.00
ab	31.31	33.85	31.31	28.77	45.67	32.15	31.31	31.31	31.31	36.39	38.92	10.99	33.00	31.31	33.85
an	35.01	10.60	22.18	26.57	8.95	34.00	28.24	15.04	25.01	9.70	2.00	0.00	1.10	0.29	1.35
ne	0.00	0.00	0.00	0.00	4.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
c	0.80	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.81	0.12	0.00	1.41	2.33	1.14
di	1.50	25.86	13.44	8.52	18.99	2.02	2.96	6.91	1.97	0.00	0.00	1.02	0.00	0.00	0.00
hy	11.95	14.10	16.03	19.14	0.00	11.97	11.63	11.92	11.23	3.31	2.78	14.34	1.49	2.29	2.72
ol	4.07	2.03	0.00	0.00	1.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ac	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.15	0.00	0.00	0.00
nt	4.71	3.99	3.23	2.89	4.92	2.84	2.90	2.22	2.75	1.38	1.16	0.00	0.96	1.18	1.10
il	3.32	2.37	1.39	1.14	4.22	0.87	0.95	0.89	0.76	0.30	0.28	0.53	0.30	0.30	0.30
hm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57	0.04	0.00
ap	1.74	0.65	0.83	1.39	0.93	0.44	0.39	1.11	0.46	0.32	0.05	0.30	0.28	0.37	0.28

Tabla I: Características químicas de los elementos mayores y minerales normativos de las lavas de Tulancingo. Análisis efectuados en el Instituto de Geología de la U.N.A.M.

File name AC-Arturo.Boc

Sample	AC-3	AC-80	AC-32	AC-61	AC-73	AC-17	AC-12	AC-35	AC-19	AC-33	AC-45	AC-85	AC-40	AC-57	AC-49
SiO ₂	49.00	52.16	52.60	53.01	54.02	55.17	58.09	59.48	59.71	69.57	72.70	72.99	75.00	75.00	75.08
TiO ₂	1.75	1.25	0.73	0.60	2.22	0.46	0.50	0.47	0.40	0.16	0.15	0.28	0.16	0.16	0.16
Al ₂ O ₃	20.00	11.33	15.84	16.12	15.43	19.48	17.28	14.52	17.20	15.47	12.75	6.79	13.10	13.29	12.98
Fe ₂ O ₃	3.29	10.47	3.90	1.99	3.39	3.19	2.26	1.53	2.26	2.31	2.20	5.57	1.23	0.85	0.76
FeO	5.58	4.94	4.70	5.74	3.56	2.87	3.91	4.26	3.11	0.49	0.19	0.80	0.40	0.48	0.83
MnO	0.17	0.17	0.73	0.70	0.24	0.40	0.53	0.55	0.48	0.25	0.10	0.11	0.04	0.03	0.05
HgO	4.96	4.82	5.19	5.66	4.16	2.93	2.80	3.42	2.90	0.30	0.34	2.96	0.60	0.92	0.80
CaO	8.42	8.72	8.25	8.25	7.22	7.60	6.64	5.36	5.79	2.14	0.43	0.42	0.38	0.27	0.43
Na ₂ O	3.70	4.00	3.70	3.40	6.40	3.80	3.70	3.70	3.70	4.30	4.60	5.20	3.90	3.70	4.00
K ₂ O	1.00	0.80	1.50	0.73	1.50	0.71	0.78	2.70	1.80	2.80	4.00	4.30	4.50	4.40	4.40
P ₂ O ₅	0.75	0.28	0.36	0.60	0.40	0.19	0.17	0.48	0.20	0.14	0.02	0.13	0.12	0.16	0.12
H ₂ O+	1.16	0.73	0.02	0.21	0.84	0.32	0.51	0.73	0.27	0.49	0.03	0.41	0.27	0.62	0.36
H ₂ O-	0.30	0.29	0.76	1.61	0.28	1.00	1.13	1.53	0.73	1.50	0.70	0.01	0.08	0.16	0.01
Total	100.08	99.96	98.28	98.62	99.66	98.12	98.30	98.73	98.55	99.92	98.21	99.97	99.78	100.04	99.98

ROBNA C.I.P.M.

o	0.00	0.00	0.06	4.08	0.00	8.18	13.65	11.11	13.39	28.04	28.38	35.11	33.72	35.14	32.87
or	5.91	4.73	8.86	4.31	8.86	4.20	4.61	15.96	10.64	16.55	23.64	25.41	26.59	26.00	26.00
ab	31.31	33.85	31.31	28.77	45.67	32.15	31.31	31.31	31.31	36.39	38.92	10.99	33.00	31.31	33.85
aa	35.01	10.60	22.18	26.57	8.95	34.00	28.24	15.04	25.01	9.70	2.00	0.00	1.10	0.29	1.35
na	0.00	0.00	0.00	0.00	4.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.81	0.12	0.00	1.41	2.33	1.14
dl	1.50	25.86	13.44	8.52	18.99	2.02	2.96	6.91	1.97	0.00	0.00	1.02	0.00	0.00	0.00
hy	11.05	14.10	16.03	19.14	0.00	11.97	11.63	11.92	11.23	3.31	2.78	14.34	1.49	2.29	2.72
ol	4.07	2.03	0.00	0.00	1.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ac	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.15	0.00	0.00	0.00
st	4.71	3.99	3.23	2.89	4.92	2.84	2.90	2.22	2.75	1.38	1.16	0.00	0.96	1.18	1.10
il	3.32	2.37	1.39	1.14	4.22	0.87	0.95	0.89	0.76	0.30	0.28	0.53	0.30	0.30	0.30
ham	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57	0.04	0.00
ap	1.74	0.65	0.83	1.39	0.93	0.44	0.39	1.11	0.46	0.32	0.05	0.30	0.28	0.37	0.28

Tabla I: Características químicas de los elementos mayores y minerales normativos de las lavas de Tulancingo. Análisis efectuados en el Instituto de Geología de la U.N.A.M.

constituyentes volátiles. El rango de variación en el contenido de SiO_2 y $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$, "Contenido Total de Alcalis" (Kuno, 1959 y Zanetin, 1984), de las lavas de Tulancingo, permite diferenciar dos grupos de rocas, cuyo contenido de $49\% < \text{SiO}_2 < 75\%$ permite que algunas de ellas (muestras, AC-73 y AC-35) se ubiquen en el dominio de las rocas alcalinas. Aspecto que puede interpretarse como un enriquecimiento en álcalis, es decir, una tendencia hacia, más que un carácter netamente alcalino. Lo anterior se confirma ya que la figura (4) muestra que dichas lavas ocupan dos de los dominios definidos por Kuno (1959).

Todas las muestras analizadas ocupan el dominio de la serie magmática calco-alcalino (fig.5), diagrama donde se individualiza un grupo de rocas básicas y otro de rocas ácidas, al aumentar el contenido de sílice y alcalinos. Sin embargo, los grupos están restringidos al dominio de un margen continental activo. Son en general basaltos, andesitas básicas, andesitas y riolitas de composición química calco-alcalina, aunque existen dos casos que en el diagrama (fig.4) señalan una anomalía por su ubicación en el campo del traquibasalto y traquiandesita (Muestras AC-73 y AC-35, respectivamente), cuya afinidad alcalina en estas rocas no se confirma, pues caen dentro del campo de las rocas ricas en K (diagrama SiO_2 & K_2O ; fig.5) Otra peculiaridad de estas lavas se manifiesta por el punto que representa la muestra AC-80 que se ubica en el dominio de la serie toleítica (Fig. 7).

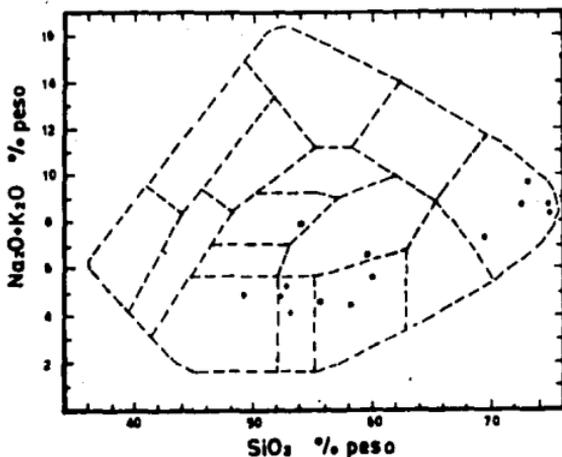


Fig. (4) Diagrama Alcali & SiO_2 (Kuno, 1959). Espectro de composición para subdividir las rocas ígneas en dos categorías: alcalinas y subalcalinas

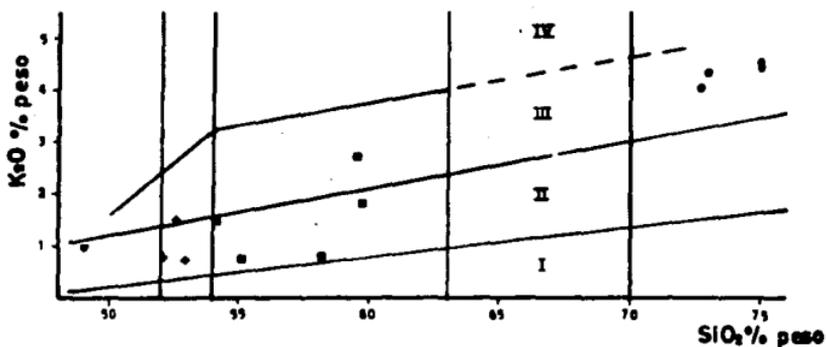


Fig. (5) Diagrama K_2O & SiO_2 Pacarilo y Taylor, (1976). Muestra la evolución del potasio en función de la sílice de la roca.

Serie	Litología
I.- Tolusítica	• Basalto
II.- Calcio-alcalina	• Andesita básica
III.- Alcalina	• Andesita
IV.- Shoshonítica	• Riolita

Al relacionar los parámetros químicos más importantes, considerando el contenido de TiO_2 , Al_2O_3 , FeO_T , MgO , CaO , Na_2O , K_2O y Na_2O+K_2O , Contenido Total de Alcalis (TAS), así como la variación significativa en el contenido de SiO_2 (49% a 75%), que se correlaciona con el aumento de K_2O (Harker, 1909; Fig. 6). Las rocas andesíticas presentan una disminución burda en el contenido de Al_2O_3 y CaO , que es más evidente en el segundo, mientras que en las rocas ácidas es claro el enriquecimiento de K_2O , e indica que es de menor intensidad en las rocas básicas, que presentan un contenido de Na_2O poco variable.

En general, la figura 6 muestra la relación que mantienen entre sí las muestras analizadas, y pone en evidencia una separación de los eventos volcánicos, permitiendo interpretar que se trata de mágnas independientes; la falta de continuidad sólo podría explicarse si se consideran eventos separados en el tiempo; donde para cada caso se propone un mecanismo de cristalización fraccionada, al que es posible atribuir la correlación tan regular que presentan las rocas de la zona.

El diagrama AFM muestra la relación sílice Vs elementos máficos que confirma la afinidad calco-alcalina de dichas rocas, con la excepción de una básica (muestra AC-80) que se localiza en el campo de la serie toleítica Kuno (1969), dos más de composición ácida localizadas cerca del vertice de los alcalinos, sugieren también su pertenencia a dicha serie. Sin embargo, podría explicarse su localización al ligero enriquecimiento en

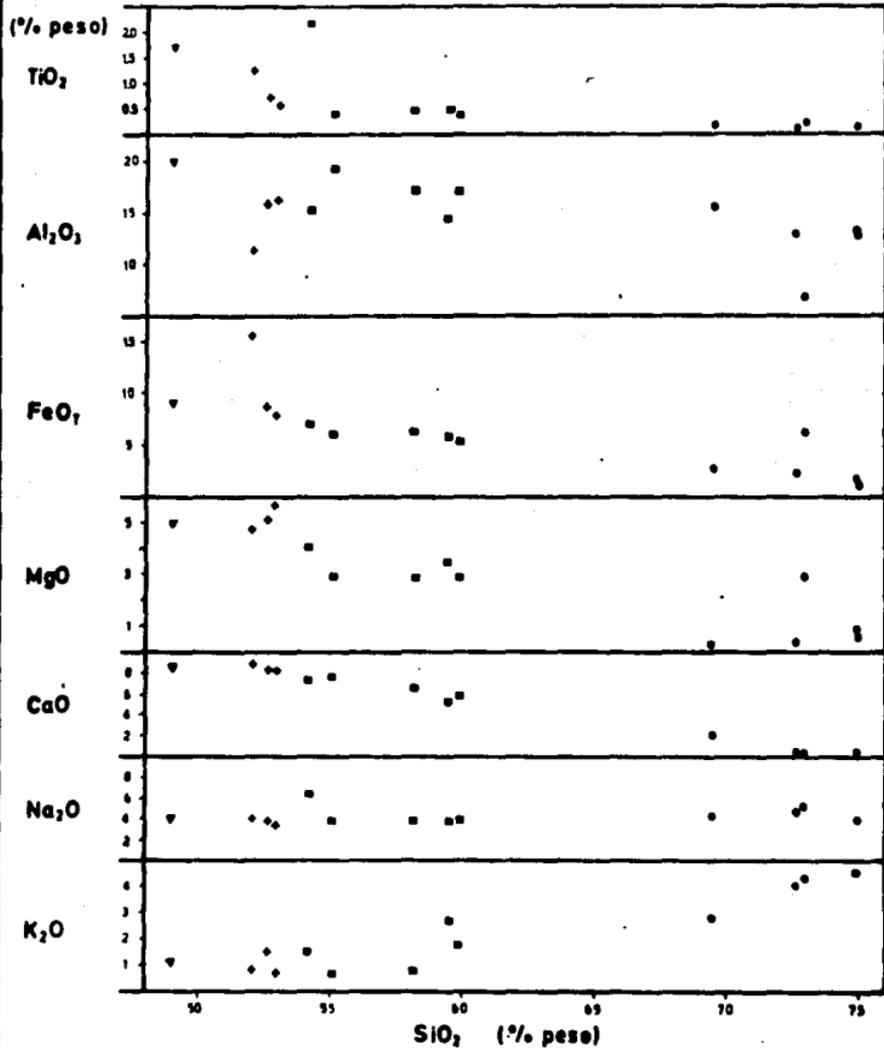


Fig.(8) Diagrama de Marker, (1909). Representa la concentración absoluta de óxidos & sílice.

Fe, típico de la serie calco-alkalina. La muestra AC-80 es más ferrífera (15.5%) y menos aluminosa (11.33%) con un contenido muy bajo de K (0.80%) (Fig. 7). Esto permite considerar que la unidad a la que pertenece la roca podría estar asociada a un proceso de rompimiento profundo de la corteza en su parte inferior o representar el producto final de una cámara magmática que no fué afectada por procesos de diferenciación, ya que se relaciona con el complejo que generó la Sierra de Las Navajas.

Los parámetros $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}=\text{A}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}=\text{F}$ y $\text{MgO}=\text{M}$ indican que la fracción cristal-líquido en la última etapa de diferenciación, enriquecieron de hierro los mágnas y adquirieron un ligero aumento de álcalis, que es posible en la diferenciación de las rocas calco-alkalinas.

En las rocas volcánicas saturadas en sílice, la presencia de cuarzo o nefelina, permite una clasificación más precisa, pudiendo definir si es una riolita o fonolita, dependiendo del contenido de estos minerales. Para discriminar este tipo de rocas se empleó el diagrama KCN, el cual muestra la relación en composición de los diferentes grupos de rocas calco-alkalinas comunes (Fig. 8).

En este caso se agruparon las muestras de acuerdo a su grado de evolución, obteniendo tres grupos particulares:

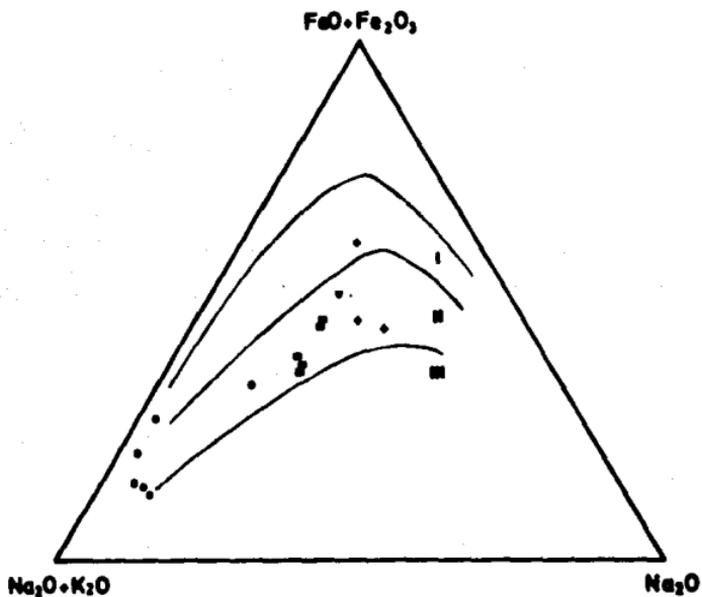


Fig.(7). Diagrama AFM usado para discriminar entre serie Telehítica y Calco-alcáline (Kuno, 1968).

Demuestra la variación en composición de las lavas de

Toluatlago.

I.-Serie Telehítica

II.-Serie Calco-alcáline

III.-Serie Alcalina

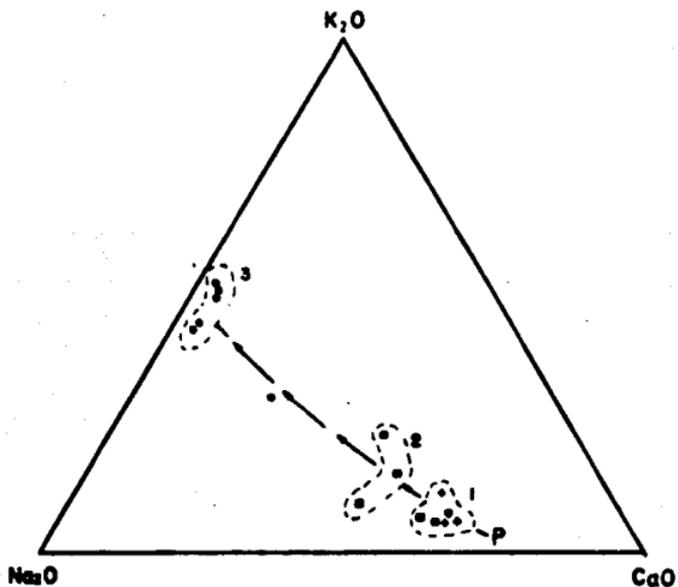


Fig.(8). Diagrama de equilibrio KCM. Muestra la relación en composición y fase de los diferentes grupos de rocas calcio-alcálicas comunes. "P" representa la composición del magma inicial y la trayectoria de su evolución.

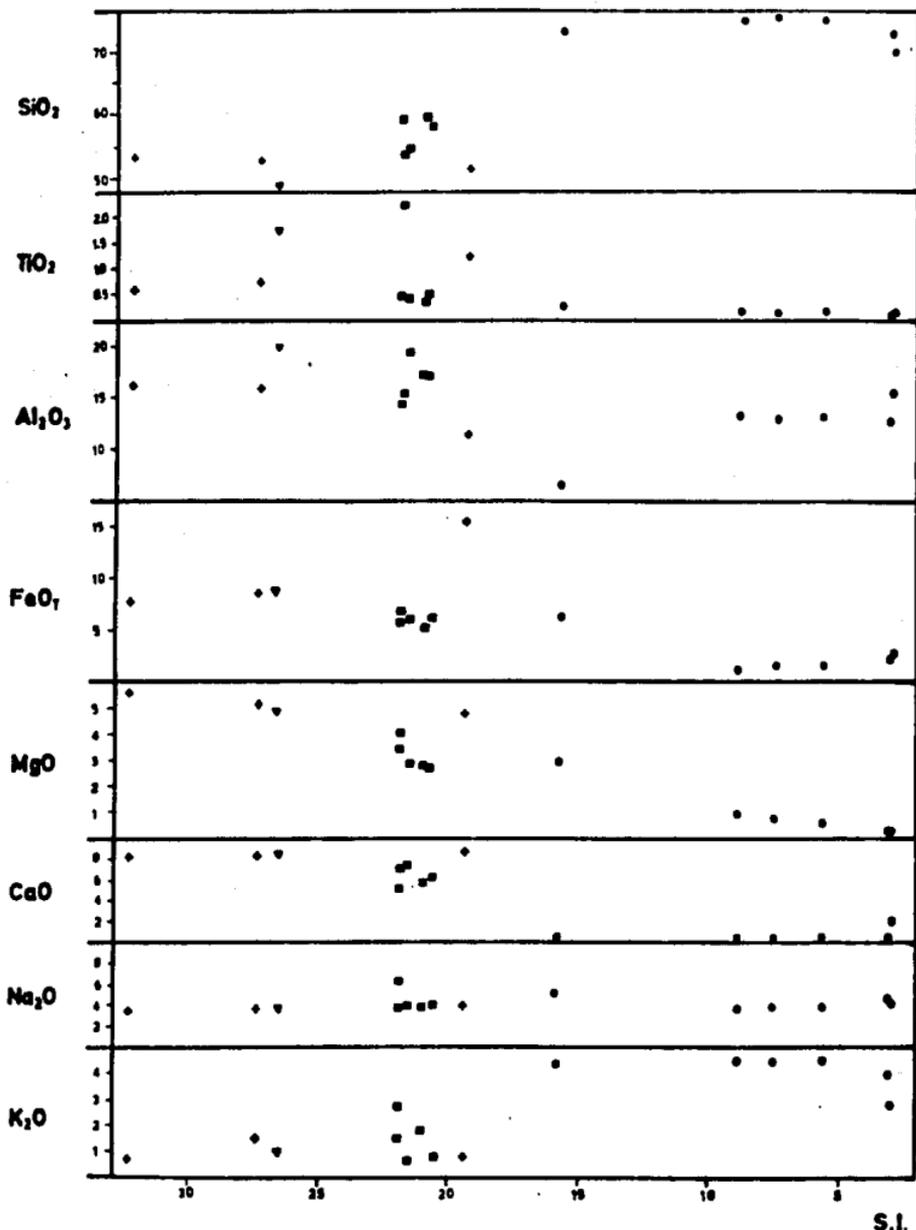
(Nicholls y Rind, 1983)

En el grupo 1 y 2 la tendencia cálcica en las andesitas básicas y en las andesitas se materializa, pues son rocas relativamente ricas en Ca que es una característica de las rocas de un margen continental activo. La relativa pobreza en K que se manifiesta, podría significar una tendencia Tolehítica.

En el grupo 3 la tendencia Na-K de las rocas riolíticas, exceptuando la muestra AC-33 que es una roca no saturada en SiO₂, se encuentra localizada en un punto intermedio de transición entre los dos grupos definidos, lo que podría interpretarse como la representación de la composición del magma que produjo las riolitas o la de un magma diferente que no tiene relación con ninguno de los grupos.

El diagrama de índice de solidificación/óxidos (Kuno, 1969), presenta la variación de los elementos mayores y permite apreciar una correlación lineal entre estos (Fig. 9).

El aumento de SiO₂ y K₂O al disminuir el valor del Índice de Solidificación (SI) es muy significativo en las rocas básicas, mientras que el Al₂O₃ tiende a ser constante y el FeO, MgO y CaO tienen una tendencia a disminuir en toda la serie. El Na₂O manifiesta un tenue aumento, sin cambios significativos. Mientras que en las rocas saturadas el contenido de SiO₂ y K₂O tiende a disminuir, aumentando el Al₂O₃ y el FeO_T se mantiene casi constante, mientras que el CaO y el Na₂O insinúan un aumento.



S.I.

Fig. (9). Índice de Solidificación (S.I.), Kuno (1959) es una representación numérica del diagrama AFM.

La correlación observada en esta gráfica sugiere que la tendencia de evolución se desarrolla siguiendo un orden cronológico ascendente con respecto al SI, notándose una discontinuidad geoquímica entre los productos intermedios y ácidos. Esta discontinuidad geoquímica podría interpretarse como un hiatus que marca una interrupción en el período de actividad, posiblemente debido al cambio de régimen tectónico o a una fuente diferente para los márgmas que alimentaron esas estructuras.

IV.5. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Etapas del Vulcanismo en México.

La actividad volcánica en México se desarrolló en tres periodos que coinciden o marcan diferente dinámica litosférica, relacionada con la deriva de la placa Norteamericana y el ambiente tectónico que se ha generado.

1) Período Jurásico.- Cretácico, con una actividad de tipo arco volcánico-mar marginal, Arco Alisistos Teloloapan. (Campa et al, 1976), producto de la subducción de la placa paleo-pacífica (Kula-Farallón). No aflora en la localidad, solo existen evidencias de su presencia en el área de Zimapán, aproximadamente 130 km. en línea recta al NW de Tulancingo, donde

se presenta como una secuencia volcanosedimentaria que podría corresponder a los depósitos de una cuenca post-arco del Jurásico-Cretácico Inferior (F. Trancas, Carrillo-Martínez y Suter, 1982).

2) Vulcanismo Oligoceno-Mioceno de tipo margen continental activo, relacionado con la Placa Farallón, que originó la Sierra Madre Occidental y parte del Altiplano Central (Demant, 1978, Mc.Dowell y Clabaugh, 1979). Para este período se conocen algunos eventos datados que se han agrupado en el Grupo Pachuca; en el área sólo existe un grupo de rocas que se pueden correlacionar con la parte superior de dicho grupo.

3) Período Plio-Cuaternario: con basaltos toleíticos y magmatismo alcalino en el Golfo de California (Cutman, 1977; Johnpeer, 1977; Batiza, 1978; Gastil, 1979); un vulcanismo alcalino toleítico a lo largo del Golfo de México (Robin y Demant, 1974) y un vulcanismo de carácter calco-alcalino que predomina en la parte central del Arco Magmático Transmexicano (AMT), producto de la subducción de la Placa de Cocos y la tectónica compleja que existe en sus límites (Fig. 10).

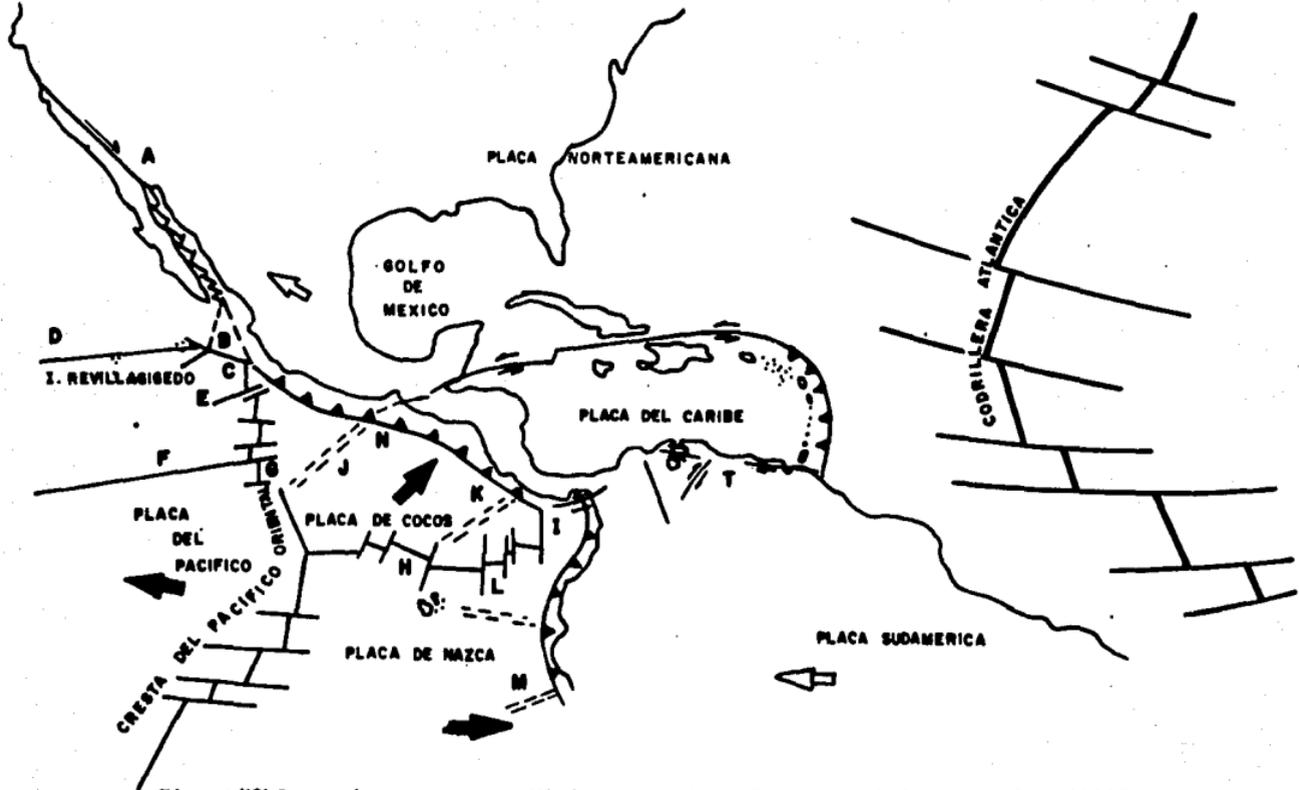


Figura (10) Tectonica actual en México y region adyacente. Molnar y Sykes (1969), Sclater et. al. (1971), Malfait y Dinkelman (1972), Herron (1972), Stover (1973), Jordan (1975), Karig et.al. (1978) y Lonsdale y Klitgord (1978). (A) sistema de fracturas de San Andres-Golfo de California. (B) Fractura Rivera, (C) Junta triple Rivera, (D) Fractura Clarion. (E) fractura Orozco, (F) Fractura Siqueiros, (G) Fractura Cliperton, (H) Cresta de Galapagos, (I) Fractura de Panamá, (J) Cresta de Tehuentepec, (K) Cresta de Cocos, (L) Cresta de Carnegie, (M) Cresta de Nazca, (N) Fosa mesoamericana, (O) Falla Polochic Motagua

Marco Tectónico y Evolutivo del Arco Magnético Transmexicano

A fines del Oligoceno-principios del Mioceno (\pm 26 ma), cesa la actividad magnética de la Sierra Madre Occidental (Mc. Dowell y Clabaugh, op. cit), al extinguirse la Placa Farallón debajo de la Placa Norteamericana. La consumación de ésta, dio origen a una reorganización de la dinámica litosférica en el sur de México (Placas Rivera y Cocos), cuya dinámica diferente de la Placa Farallón, da lugar a un régimen tectónico transtensivo (Atwater, 1970; Coney; 1976, Urrutia, 1984), que son los elementos responsables del vulcanismo en el AMT a fines del Cenozoico (Fig.10). Además explica la diferencia en composición química de las rocas y la disposición geométrica distinta del vulcanismo en el AMT con respecto a la Sierra Madre Occidental.

Es evidente que la tectónica litosférica actual, se manifiesta en México a partir del Mioceno superior (\pm 10 ma), por lo tanto es importante reconocer para el AMT un desarrollo a partir de este periodo y tomar en cuenta que los mágnas derivados de la placa que se subducta, necesita alcanzar una profundidad determinada para que ocurra. Aspecto que permite no involucrar en su evolución ciclos volcánicos anteriores, ya sea por su significado geodinámico, geoquímico o petrográfico (Demant, 1982).

Relación de la Tectónica con las Características Volcanogénicas Locales

Las estructuras volcánicas terciarias correspondientes al Mioceno-Plioceno, cuyo emplazamiento fué favorecido por la reactivación de antiguas fallas de rumbo NW-SE, que al ser afectadas por el nuevo régimen tectónico que produjo un fracturamiento de rumbo NE-SW, generando zonas de máxima compresión (Nakamura, 1977; Demant, 1978) y como consecuencia, esfuerzos transcompresivos y transtensivos (Shubert, 1972), que permitieron la instalación de cámaras magmáticas que sufrieron fenómenos de diferenciación, originando los centros silíceos de la Sierra de las Navajas, Sierra de Acoculco, el Complejo de El Yolo y otros que definen un lineamiento NW-SE.

Para el Cuaternario, al existir esfuerzos transtensivos, la litósfera tiende a formar fallas de desplazamiento y los cuerpos plutónicos que se instalan en esta zona tienden a elongarse en la dirección de mínimo esfuerzo horizontal (Nakamura, 1977). Esto indica que el proceso formador del conducto principal, que puede ser un orificio o una fisura fué afectado por los esfuerzos regionales de dirección NE-SW, distorsionando los aparatos y extendiéndolos hasta formar coalecencias hasta de cuatro cráteres pequeños, cuyos conos cineríticos expulsaron derrames de corta longitud, llegando a formar mantos (Volcanes: La Paila, Seco, El Aguila, Tío Lolo y Coatzetzengo). (Ver plano geológico anexo; Fig.3)

Desde el punto de vista tectónico, los grupos descritos ponen en evidencia por su orientación, una estrecha relación con la naturaleza de los esfuerzos regionales. Es decir, aparentemente los lineamientos definen una naturaleza compresional para las primeras y tensional para las últimas, pudiendo ser correlacionables en tiempo y espacio.

Esto sugiere que la relación entre la química del magma y la orientación de los esfuerzos pueden ayudar a distinguir el tipo de régimen tectónico, pero no son definitivos.

IV.6. GEOLOGIA HISTORICA

El inicio del Cenozoico en México se caracteriza por la fase final de la Orogenia Laramide o Hidalgoana (D. Cserna, 1960) que plegó y levantó la secuencia sedimentaria marina del Mesozoico. Hacia mediados del Eoceno cesan los esfuerzos compresionales, provocando en la parte central de México fallas normales de carácter regional, dislocando la corteza en bloques, que dieron origen a un sistema de fosas tectónicas de orientación NW-SE. (Schlaepfer, 1968).

A fines del Eoceno inicia el vulcanismo en la región, con productos de composición intermedia a ácida, mismos que no afloran en la zona estudiada (Mooser, 1968).

Durante el Oligoceno medio-tardío, inicia un largo período de vulcanismo en la región, dando origen a una serie de derrames de composición variable, que van de andesitas a riolitas. Geyne et al., (1963) denominó a los productos de este período como Grupo Pachuca; en el área de estudio sus representantes son derrames andesíticos de fábrica porfídica, con plagioclasas y anfíboles.

Durante el Mioceno - Plioceno temprano, el vulcanismo tiene un carácter dacítico-riolítico, representado por una serie de derrames ignimbríticos y tobas de composición ácida. Productos que fueron expulsados por estructuras complejas de tipo caldera y domos (Riolita Chignahuapan y Riolita Navajas). Su distribución define una orientación al NW que corresponde a una morfología con bloques basculados al NE que forman pequeñas fosas y pilares de orientación NE-SW. La culminación de este período de vulcanismo estuvo acompañado de fallamiento que permitió el alojamiento de la mineralización metálica en el distrito minero de Pachuca y Real del Monte, (Geyne et al., 1963).

A fines del Plioceno termina la actividad volcánica de las estructuras mencionadas con la emisión de un magma andesítico que edificó la Caldera de Chichicuahutla y varios conos de menor dimensión, así como la instalación de un domo que obturó el cráter menor del Volcán Navajas.

Para el Cuaternario el régimen tectónico transtensivo propició el emplazamiento de conos cineríticos a lo largo de fallas y fracturas. Estos se caracterizan por tener una composición andesítica-basáltica, su edificación fue en dos periodos, como se deduce de su expresión morfológica. Los volcanes La Pila y Coatzacoatzengo son los testigos más jóvenes de esta actividad, pues sus rasgos morfológicos indican su corta edad, quizá del Holoceno.

Debe mencionarse que en los complejos de El Yolo y la Caldera de Acoculco,, existen cuerpos tardíos de la misma composición que fueron emplazados durante el Pleistoceno o quizá el Cuaternario (C. La Minilla, C. Napateco, C. Huapacalco y C. Verde. Ver plano geológico anexo; Fig. 3).

En resumen, los diferentes rasgos asociados a la evolución del vulcanismo en la superficie estudiada, indican que los procesos tectónicos que se originaron desde el Mioceno Tardío, producto de la interacción de las placas litosféricas (Cocos y Norteamericana) en el sur de Norteamérica, favorecieron su desarrollo, permitiendo definir una actividad desarrollada en impulsos irregulares separados por períodos de actividad volcánica nula o incipiente.

CAPITULO V

VULCANOLOGIA

V.1. Estructuras Volcánicas

Desde el punto de vista vulcanológico, existen diferencias notables entre las estructuras volcánicas del área, las más importantes son:

a) El Complejo de El Yolo.- Es un campo de domos riolíticos (Fig. 11). Un representante de estos cuerpos es el cerro Napateco, que es una estructura de tipo exógena que describe una traza de forma elíptica con una orientación $N 75^{\circ} E$ y una longitud de 4.5 Km en su eje mayor, su eje menor tiene 3 km de longitud; alcanza una altura máxima en su parte lobular de 560 m. sobre el valle. Su alargamiento hacia el norte y noreste, se debe al escurrimiento del material que alcanza un espesor de 300 m; los depósitos brechoides y de lapilli que se encuentran en su base, pueden alcanzar varias decenas de metros de espesor y son los materiales emitidos antes de su emplazamiento (Fig. 12).

El desarrollo y emplazamiento de estructuras dómicas, se debe a diapirismo de un magma de baja densidad, que aprovecha o provoca un fracturamiento y abombamiento de la superficie,

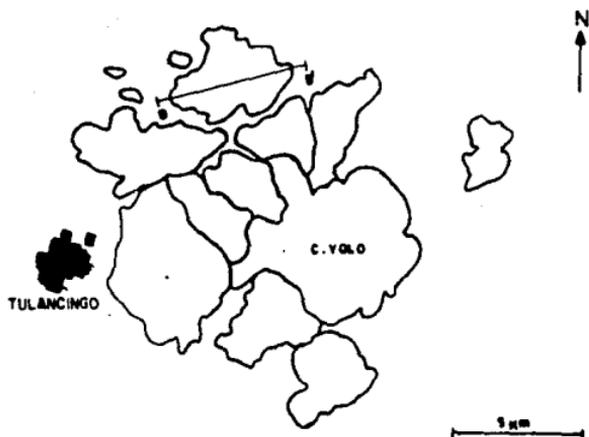


Fig.(11) Distribución de las estructuras dómicas de el "Complejo de El Yolo"

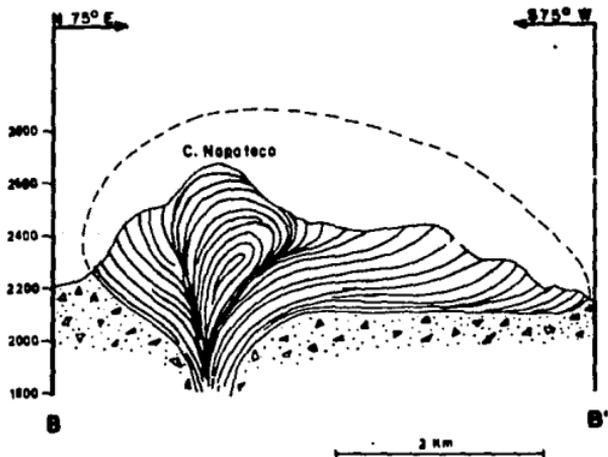


Fig.(12) Sección estructural de uno de los domos que conforman "El Complejo de El Yolo", en línea discontinua se muestra una reconstrucción de la estructura.

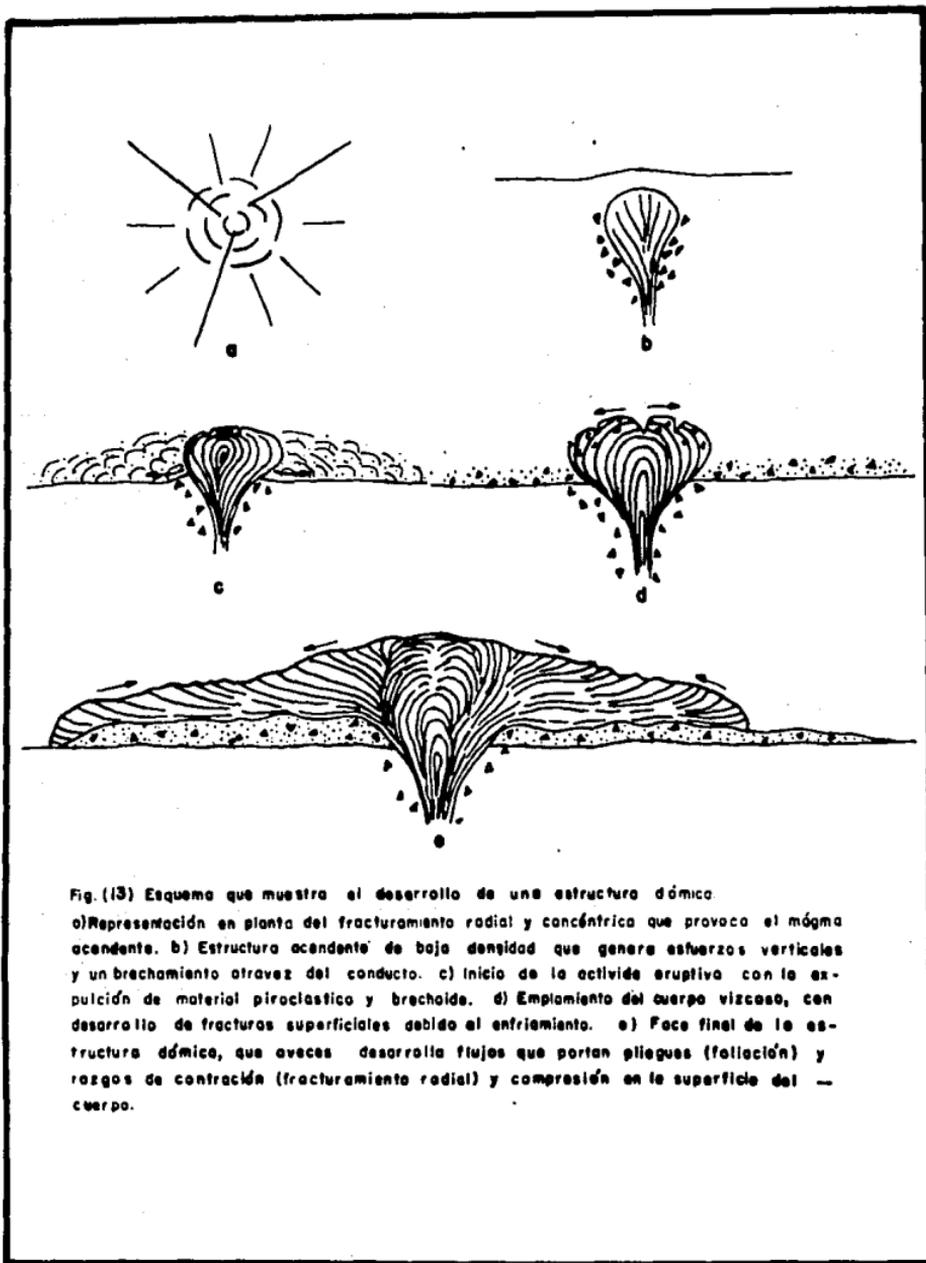


Fig. (13) Esquema que muestra el desarrollo de una estructura dómica

a) Representación en planta del fracturamiento radial y concéntrica que provoca el magma ascendente. b) Estructura ascendente de baja densidad que genera esfuerzos verticales y un brechamiento a través del conducto. c) Inicio de la actividad eruptiva con la expulsión de material piroclástico y brechoidal. d) Emplazamiento del cuerpo viscoso, con desarrollo de fracturas superficiales debido al enfriamiento. e) Fase final de la estructura dómica, que a veces desarrolla flujos que portan pliegues (foliación) y rasgos de contracción (fracturamiento radial) y compresión en la superficie del cuerpo.

facilitando el emplazamiento del material viscoso que poco a poco forma la estructura, mientras el conducto alimentador aporte material que permita su crecimiento (Fig. 13).

b) El Volcán Navajas - Es una estructura compleja con dos cráteres, constituido por depósitos piroclásticos de caída libre, con capas de pumicita muy fina, asociados a horizontes de brechas en su parte basal, flujos de material vítreo (obsidiana), y flujos de riolita vítrea que es vesicular en su parte más alta.

Los flujos son de frente circular y lobulados, con un diámetro de 4 y 6 km. y una longitud de 2 a 7 km. a partir del centro de emisión, con un espesor promedio de 100 m.

Los cráteres, con un diámetro de 3 km. para el conducto principal y otro de 2 km. que se ubica en el flanco oriental. El primero fué formado en un evento altamente explosivo pues está destruido en su flanco NE, a partir del cual se extienden los productos de ese evento; el segundo implica una estructura parásita que posiblemente se formó durante el evento que destruyó el conducto principal y fue obturado por un cuerpo viscoso que actualmente lo taponaa. En general la elevación máxima de la estructura es de 1080 m (C. Navajas) a partir de la base del Valle de Tulancingo, sus productos cubren una superficie de 90 km² aproximadamente (Fig. 14).

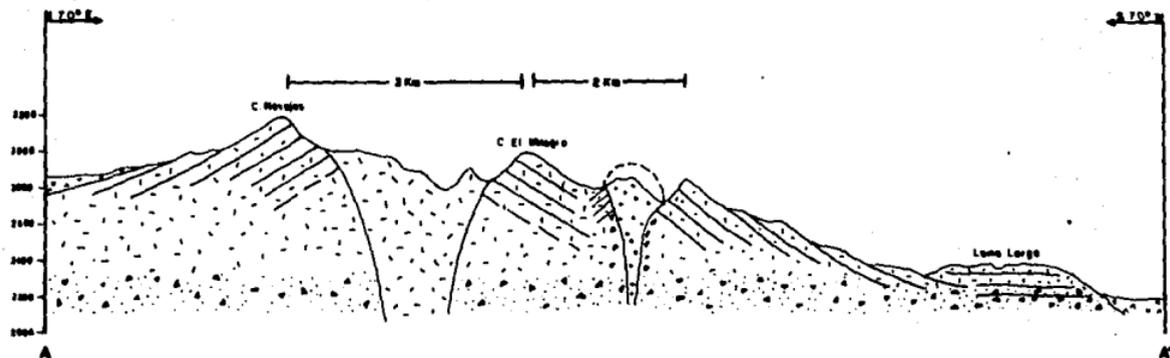


Fig. 114) Sección idealizada a lo largo de la Sierra de las Navajas. Se presentan dos cráteres del "Volcán Navajas", con depósitos de material volcánico-clástico (brechas y lavas) de composición ríolítica en su base, hacia lo cimo una alternancia de flujos lávicos y material brechado de la misma composición, y zonas de obsidiana. El cráter menor de la estructura lleva un tapón de lava de composición andesítica que obstruyó el conducto.

Las rocas de esta estructura presentan una naturaleza química calco-alcalina; petrográficamente son riolitas que en algunos casos tienen foliación vertical debida a la contracción del material al enfriarse, rasgos que permiten diferenciar la sucesión del material emitido. Debe mencionarse el material vítreo que está asociado a los diferentes flujos, constituye un volumen importante de obsidiana pura, de color verde olivo (a trasluz); otro contiene gran cantidad de burbujas que le dan un brillo lustroso a la roca. Por otra parte, los depósitos de tefra y pumicita se localizan en la base de los flujos vítreos de forma lobular; su coloración varia de un gris-cremoso a un pardo-amarillento (cuando esta alterado), el tamaño de sus fragmentos es del orden de unos milímetros hasta 5 cm. de diámetro y representan la facie inicial que emplazó los flujos vítreos.

En resumen, durante la edificación de esta estructura, ocurrieron cinco fases:

1.- Expulsión en la etapa inicial de material piroclástico al ascender el cuerpo diapírico, que aprovechó las zonas ya fracturadas, acentuando el fracturamiento de naturaleza radial y concéntrico en la superficie.

2.- Un brechamiento de las rocas preexistentes y la presencia de un magma ascendente, debido al establecimiento de un sistema

fluiditizado al momento del rompimiento de la corteza. Su depósito y dispersión sobre el material piroclástico emitido en la fase anterior.

3.- La construcción del edificio principal en una sucesión de productos que se dispersaron en forma radial.

4.- La destrucción del flanco NE debido a una explosión dirigida, posiblemente por la existencia de un tapón en el conducto principal que favoreció la descompresión de la cámara magmática y la expulsión de un volumen importante de material vítreo.

5.-Por último el ascenso de un material de composición intermedia que obtura el cráter menor de la estructura, que pone de manifiesto la acción de los mecanismos de diferenciación que actuaron.

c) La Caldera de Chichicuahutla es una estructura de forma semi-circular, seccionada en su parte norte por una falla que se prolonga burdamente en dirección E-W. La traza de esta se interpreta por el emplazamiento de los volcanes La Minilla, Coatzetzingo, Tío Lolo y la "Caldera de Acoculco" , que materializan su presencia y orientación (Plano anexo; Fig. 3). En lo que sería la parte central del cráter de esta estructura seccionada, se localiza el volcan Tío Lolo (Fig. 15).

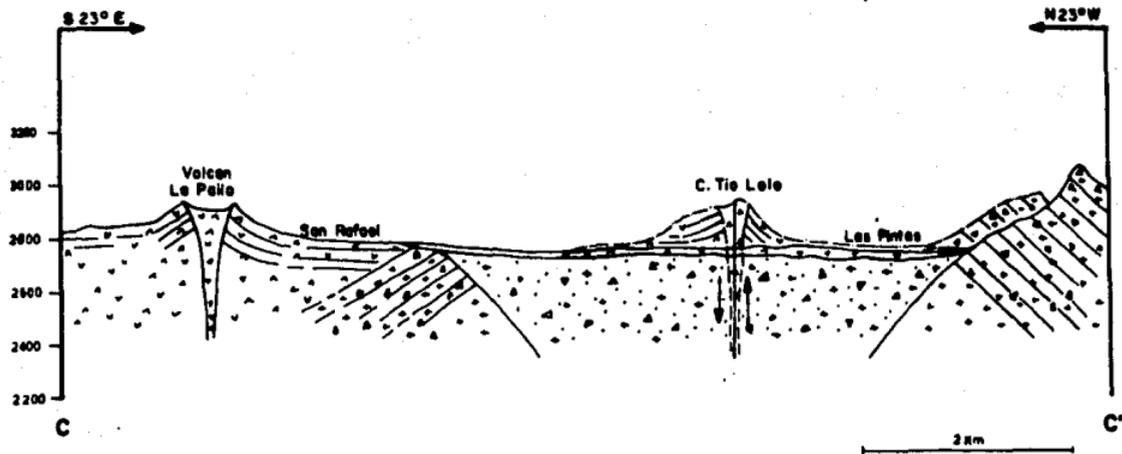


Fig.(18) Sección compuesta. En primer plano se muestra el colapso del borde norte de la "Caldera" Chicauilla, hacia este flanco existe una sucesión de conos cineríticos de composición intermedia-básica (Volcan Le Palio). El segundo plano muestra un cono cinerítico (C. Tio - Lolo) que se alojó en el interior del cráter de la estructura mayor, justo en el plano de falla.

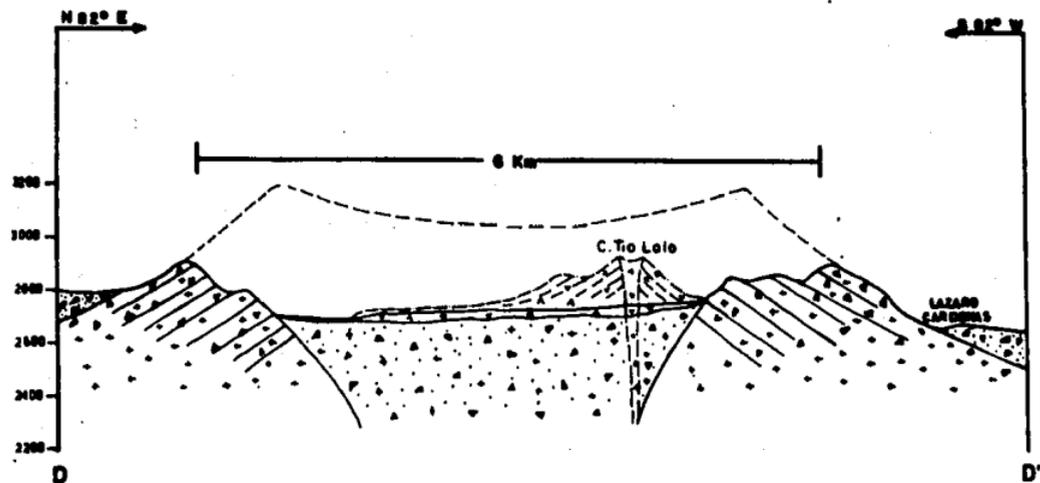


Fig. (16) Sección transversal compuesta. El primer plano muestra la "Caldera" Chichicauhte con sus dos flancos remanentes y una reconstrucción (línea discontinua) del posible cráter original. En segundo plano (línea punteada) se tiene el cono cinerítico que cubrió los depósitos del cráter.

El cráter cuya forma actual de media luna tiene un diámetro de 6 km., formado por una secuencia de brechas con una matriz de cenizas, capas de lapilli y lavas de composición andesítica, materiales que se encuentran intercalados y pueden ser identificados en sus bordes (Fig. 16). La fragmentación de los materiales se debe a un proceso similar al que forma los maars, los diversos episodios explosivos que edificaron la estructura están relacionados a erupciones freato-magmáticas, que son el producto del contacto del magma con un horizonte freático, casi en la superficie.

V.2. TIPO DE VULCANISMO

La actividad eruptiva y las características petrológicas y geoquímicas de las rocas emplazadas durante el Terciario medio, está representada por los depósitos que forman las estructuras de El Yolo, los flujos derivados de la Caldera de Acoculco (De la Cruz, M y Castillo, D., 1986) y el Volcán Navajas, cuya composición riolítica, pueden representar el principio o el final de un ciclo particular de la actividad volcánica local, comúnmente este tipo de vulcanismo se asocia a una secuencia calderica (Sheridan, 1979).

El desarrollo de las estructuras dómicas, se inicia con la expulsión de piroclásticos, producto de la interacción freato-magmática de un magma rico en sílice y elementos volátiles con el manto freático local. La forma de los cuerpos dómicos sugiere la

acumulación de lava viscosa sobre una chimenea volcánica (Schneider, 1911), que inicia con una actividad explosiva y efusiva de tipo peleano (Rittmann, 1963), donde la fase explosiva generalmente precede a la emisión de lavas muy viscosas o en estado semi-sólido.

Al igual que las estructuras dómicas, el volcán Navajas, por la naturaleza y composición riolítica de sus flujos, podría corresponder a las primeras fases de un evento caldérico.

La estructura denominada Caldera de Chichicuahutla es un aparato producto de la reacción de un magma andesítico, al ponerse en contacto con el nivel freático superficial que produjo erupciones freatomagmáticas, arrojando gran cantidad de ceniza y brechas en pulsaciones, que originaron una depresión de tipo maar, presenta un cráter de paredes casi verticales y un cono de poca altura, formado por la acumulación casi in-situ del material juvenil y preexistente, molido por las explosiones freatomagmáticas; posteriormente continuó la actividad volcánica instalándose el volcán Tío Lolo dentro de su cráter.

Durante el Cuaternario la dinámica eruptiva fue más tranquila en el área de estudio; representada por conos cineríticos que aparentemente fueron edificados en un solo evento eruptivo. Esta fase dió origen a estructuras de tamaño pequeño (0.5 - 1 Km de diámetro), constituidas por fragmentos del tamaño de lapilli, cenizas, escorias y lavas de composición andesítica,

que se fueron apilando una sobre otra como consecuencia de erupciones explosivas de intensidad moderada. La mayoría de dichos volcanes aún conservan su forma original, poseen un cráter con paredes casi verticales, ligeramente fracturados en los bordes (ej. C. Pelón y C. La Gloria); otros, tienen un cráter en forma de herradura (ej. C. Tecajete, C. La Paila y C. Chato), producto de una fase paroximal en la última etapa eruptiva, que arrojó un derrame de lava muy fluida que se desbordó por la zona más débil, manifestando un tipo de actividad vulcaniana-estromboliana.

Cualitativamente la paragénesis mineral de estas lavas es homogénea, formada por $Ol+Plg+Opx+Cpx+Ox$.

La distribución espacial y lineamiento de dichos conos, en general $N 35^{\circ} E$ y $N 65^{\circ} E$ esta asociada a un sistema de fracturamiento regional desarrollado durante el Plio-cuaternario. Existe otro lineamiento menos frecuente, de dirección $N 5^{\circ} W$, que corresponde a lineamientos más antiguos que fueron reactivados durante esta época, que al interceptar al primero, favoreció el emplazamiento de estructuras de importancia como la Caldera de Chichicuahutla y la Caldera de Acoculco, o bien desarrolló campos donde la concentración de pequeños volcanes es importante.

V.3. RIESGO VOLCANICO

Para hablar sobre este tema, es importante definir lo que se entiende por "Riesgo Volcánico": Es la condición, posibilidad o probabilidad, de pérdida o daño de bienes materiales particulares, infraestructura civil y la pérdida de vidas humanas, como consecuencia de un fenómeno de actividad volcánica.

A lo largo de la historia de la humanidad, son innumerables las erupciones volcánicas que han segado miles y hasta centenas de miles de vida humanas, y en consecuencia el deterioro económico de las sociedades afectadas por estos fenómenos geológicos. Tal es el caso entre otros, de los fenómenos sísmicos o terremotos que se asocian a dicha actividad.

Un ejemplo clásico que se encuentra en la mayoría de los textos sobre vulcanología, fué la erupción del "Vesubio" en el año 79 AC.; dicha erupción arrasó la ciudad de Pompeya con ráfagas de ceniza ardiente y la ciudad de Herculano con torrentes de barro incandescente.

En 1815 la erupción del volcán "Tambora" (Indonesia), considerada la más grande erupción que el registro histórico tiene, provocó la muerte de más de 90,000 seres humanos, además causó un impacto climático global.

La erupción del volcán "Krakatoa" (1883) que desapareció una Isla del archipiélago de Sumatra, localizada entre Java y Sumatra, Indonesia.

En México, en el año de 1943, nace el volcán Parícutín en Michoacán, arrojando piroclásticos y lava que cubrieron casi totalmente el poblado de San Juan Parangaricutirimicuaró, originando el consecuente daño a la agricultura local. Se menciona por la importancia que tiene para la vulcanología moderna, por la gran cantidad de datos que aportó durante el transcurso de su actividad que terminó el mes de marzo de 1952.

Es importante mencionar lo que ocurrió en los meses de Marzo-Abril de 1982, la erupción del volcán "Chichónal" en el estado de Chiapas, México; aparato que entra en actividad con violentas explosiones de tipo peleano, arrojando flujos piroclásticos que causaron la muerte de personas y animales, así como serios daños a la agricultura (Silva et al. 1982, Duffied et al. 1984). Fenómeno que puso en evidencia la carencia o deficiencia de medidas preventivas para mitigar los efectos de este tipo de riesgos en México. Más recientemente, en abril de 1991 entra en actividad por un corto período el Volcán de Colima; que pone de manifiesto un mejoramiento de la observación y protección de la población, por la existencia de planes más precisos por lo que no hubo víctimas humanas y muy pocos daños a la economía.

Entre otros hechos catastróficos a nivel mundial, deben considerarse los del Monte Santa Elena USA (1980), Galunggung, Indonesia (1982), Nevado de Ruiz, Colombia (1985), Pinatubo, Filipinas (1991), Monte Unzen, Japón (1991), etc.

La relación de eventos anteriormente descritos, permite formarse una idea sobre la violencia y catástrofe que ha producido la actividad volcánica; cuya potencia destructora podemos compararla con la que produciría una bomba de hidrógeno pequeña, por la energía liberada.

Actualmente se sabe que la actividad volcánica y sísmica son el resultado de la interacción entre las placas litosféricas que conforman la superficie terrestre. El análisis de esta interacción permite asociar éstos fenómenos con algunos procesos tectónicos, pues tales manifestaciones no están distribuidas al azar, por el contrario, ocurren en regiones cuyas características y rasgos, permiten ubicarlos con precisión. (Cordoba, D.A. y Silva-Mora L., 1989)

Los datos que permiten calcular la probabilidad de una erupción en un volcán o en un campo volcánico particular, tienen como base el conocimiento del modelo evolutivo ó de desarrollo de dichas estructuras. Existen varios, pero uno de los más conocidos es el desarrollado por Wickmann (1966), para un intervalo de tiempo dado, cuya base se apoya en el registro histórico de las erupciones y periodos de reposo del volcán o zona volcánica en análisis.

Por ejemplo, existe mucha información para el caso de estructuras pequeñas, como los conos cineríticos o volcanes monogenéticos; el análisis e interpretación de su comportamiento (p.e. Parícutín), indica que tal tipo de aparatos solo tiene un

corto periodo de actividad, generalmente de poca intensidad. Sin embargo, para el caso de los grandes estratovolcanes mexicanos que son poligenéticos, sólo existe información parcial sobre su actividad. Por tal motivo, es importante el estudio sistemático de dichas estructuras y el establecimiento de medidas o acciones preventivas que reduzcan al mínimo los efectos o daños que puedan causar.

Si se conoce con detalle la geología de una región determinada y contamos con información geocronológica, se puede estimar con cierta precisión la relación de erupción, asociando el número de eventos con el intervalo de tiempo en que ocurrieron (Scandone, 1979), pues para tiempos históricos la actividad volcánica es un proceso variable e independiente del tiempo, en tanto que el tiempo de erupción es una variable aleatoria.

De acuerdo a los cálculos de Scandone op cit., quien determinó una relación de la actividad eruptiva para el AMT, de $(7 \times 10^{-2})^{-1}$ años, es decir, en tiempo histórico, existe una probabilidad de que ocurran 7 eventos eruptivos por cada 100 años a lo largo del AMT.

Otros eventos igualmente catastróficos que pueden acompañar a la actividad volcánica incluyen emisión de gases tóxicos, lluvia ácida, colapso estructural, eyecciones balísticas de grandes bloques y los efectos que ocasiona en la atmósfera las cenizas que son arrojadas.

Por tal motivo es de vital importancia la investigación sobre los volcanes, que deben cubrir temas, que son la base para mitigar el riesgo de un desastre volcánico (Tilling, R., 1989).

- 1.- Identificación de los volcanes de alto riesgo.
- 2.- Definir el tipo de riesgo y zonificarlo.
- 3.- Monitoreo volcánico y previsión de las posibles erupciones.
- 4.- Medidas de prevención y orientación ingenieril.
- 5.- Manejo o coordinación de los programas de emergencia volcánica.

- 1.- Identificación de los volcánes de alto riesgo.

Para lograr esto es necesario seguir criterios científicos que incluyen los siguientes factores:

- a) Frecuencia, sitios y naturaleza o tipo de las erupciones registrada históricamente.
- b) Información sobre erupciones prehistóricas recientes, con inferencia del mapeo y estudios radiométricos de las rocas que forman el volcán.
- c) Conocer la deformación de la corteza y/o los eventos sísmicos que ocurren al iniciarse la actividad.
- d) Definir la naturaleza de los productos emitidos para tener una idea del posible índice o potencial explosivo.
- e) Localizar los lugares densamente poblados que puedan ser afectados, para implementar técnicas de evacuación en caso de desastre.

2.-Definir el tipo de riesgo y zonificarlo.

Para esto se requiere un mapa de los diferentes centros volcánicos y un registro histórico de las erupciones. Datos que permiten delimitar las zonas de alto riesgo volcánico. Este puede complementarse con estudios sobre la estratigrafía volcánica, así como de las características petrográficas y geoquímicas de los mágnas emitidos, incluyendo su volumen. Con estos datos es posible reconstruir los eventos eruptivos pasados y dar un valor a la probabilidad de que ocurra una erupción, así como proponer un programa de riesgo y daños.

3.-Monitoreo volcánico y previsión de las posibles erupciones.

Elaborar un programa de monitoreo en zonas volcánicas identificadas como de "alto riesgo", que debe incluir la instalación de redes sismológicas para el seguimiento de la actividad sísmica relacionada con erupciones volcánicas y complementarla con un significativo número de dataciones radiométricas, para conocer con más precisión el grado de evolución de ciertos volcanes o zonas de alto riesgo.

4.-Medidas de prevención y orientación ingenieril.

Las erupciones volcánicas no pueden ser controladas, pero algunos de sus productos (lavas), pueden ser conducidos por canales o ser contenidos por barreras o diques construídos por la ingeniería. Así como la elaboración de estrictos códigos de construcción en áreas donde el riesgo es particularmente alto.

5.-Manejo o coordinación de los programas de emergencia volcánica.

El diseño de un organigrama que involucre al personal que se encargue de hacer el trabajo, del cual emanen los planes de evacuación para un caso de emergencia volcánica, y de cualquier otra índole que afecte a la sociedad, se presenta en la Fig. (17).

De esta forma autoridades civiles y militares podrán implementar programas preventivos para disminuir el impacto social y económico de una erupción volcánica.



Fig.(17) Diagrama ilustrativo de un programa efectivo de riesgo y mitigación volcánica que debe ser elaborado en fundamento en estudios básicos, seguido por investigación especializada para preparar mapas de riesgo y predecir el comportamiento futuro de los volcanes.

La cima del triángulo indica la división de responsabilidades primarias entre las autoridades científicas y civiles, quienes deben considerar todos los factores socioeconómicos y políticos para la prevención de desastres. (Tilling and Bailey, 1985)

C A P I T U L O VI

ASPECTOS ECONOMICOS

IV.1. YACIMIENTOS LOCALIZADOS, EXPLOTACION Y USO DE SUS MATERIALES

Uno de los aspectos económicos que pueden beneficiar el área, es la explotación de materiales como el del yacimiento de pómez, localizado a 3 km. al NE de la Ciudad de Tulancingo (Fig. 3).

El yacimiento tiene una orientación NW-SE, cuenta con una extensión de 1200 m de largo y 500 m de ancho aproximadamente, y actualmente una profundidad del orden de 80 m bajo el nivel de la Ciudad de Tulancingo. Litológicamente está constituido por tobas de caída libre, flujos de ceniza y otro tipo de piroclásticos de composición riolítica, que derivan de las estructuras dómicas. Presenta estructura estratiforme poco compacta, aunque algunos paquetes son más compactos, por lo que adquiere mayor dureza. Los fragmentos de pómez son muy porosos y de tamaños de arena gruesa (5 mm), grava (6 cm) y bloques con (50 - 70 cm de diámetro), su color puede variar de café cremoso a gris claro con lustre resinoso. Es común encontrar entre los horizontes tobáceos fragmentos de vidrio de color negro, muy lustroso (obsidiana).

La explotación del yacimiento se hace por el método de tajo a cielo abierto, que ha dejado paredes verticales por no contar con un plan de minado bien definido o calculado; la extracción del material se realiza en diversos sectores.

La pómez por su dureza (5.5 a 7.0 en la escala de Mohs), es considerada como una roca abrasiva natural y su baja densidad le permite diversos usos, por ejemplo para la fabricación de tabiques ligeros, aislantes térmicos, abrasivos, filtros, celosías, pastas acústicas, agregados para concreto, etc.

Otro de los materiales que pueden ser susceptibles de explotación comercial es el caolín, que se encuentra en un yacimiento, 16 km. aproximadamente al SE de Tulancingo (Fig. 3). Es producto de la alteración hidrotermal de rocas riolíticas terciarias, alteradas parcialmente, por lo que adquieren coloraciones rosadas a crema-blanco.

Localmente las riolitas se asocian a capas de vidrio volcánico (obsidiana), mismas que encajonan el yacimiento de caolín, su morfología es suave y en ocasiones casi plana, con lomas arredondadas .

El yacimiento tiene forma alargada con rumbo NW-SE, es masivo y con algo de vidrio (obsidiana) en capas, y óxido de fierro. Este es de tipo epigenético, formado por la acción de soluciones hidrotermales. Krapkopf (1969), propone que el

reemplazamiento de los minerales primarios (feldespatos), a minerales arcillosos (caolín), depende de la temperatura, del ratio de variación Si/Al con cantidades variables de agua y considerables cantidades de Mg, Ca, Fe y elementos alcalinos. De esta forma los iones principales que entran en actividad con Al, Si, Fe y Alcalis, y en un medio ácido se transforman en minerales arcillosos, dependiendo del pH de la roca receptora.

Actualmente el yacimiento presenta un tajo de explotación a cielo abierto de dimensiones reducidas: 20 m de largo, 8 m de ancho y una profundidad aproximada de 6 m; fuera de esta obra, de explotación no existe algún otro desarrollo en el yacimiento.

Comercialmente el caolín se usa para la fabricación de porcelana y loza, componentes electrónicos, refractarios, aislantes eléctricos, etc.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

CAPITULO VII

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Las características petrográficas y geoquímicas de las lavas de Tulancingo, así como la correlación existente entre los elementos de éstas, son un indicio importante para fundamentar una hipótesis petrogenética; por lo tanto la interpretación y evolución de esta serie, permite sugerir la presencia de un magma inicial con procesos de diferenciación.

Los diagramas preparados muestran la existencia de una continuidad geoquímica para las andesitas del Terciario y las andesitas básicas Cuaternarias; es evidente que este mecanismo provocó un enriquecimiento de K_2O , lo que refleja un patrón evolutivo en el correspondiente sistema magmático.

La discontinuidad geoquímica que existe entre las andesitas y riolitas del Terciario, podría interpretarse como un hiatus que marca una interrupción en el periodo de actividad magmática, o bien podría tratarse de diferentes mágnas, que posiblemente se deban al cambio del régimen tectónico en la región.

Por falta de dataciones radiométricas no es posible fijar una edad absoluta para las unidades litológicas estudiadas,

aunque su evolución química y relaciones de campo permiten proponer una evolución del magmatismo conjuntamente con el contexto estructural.

La cartografía y características petrológicas y químicas que se discuten en el presente trabajo, son una aportación inicial al área, que se deberá continuar en las hojas aledañas a una escala de 1: 50 000, a fin de elaborar la carta geológica de la Hoja Tulancingo a una escala de 1:100 000, que redundará en un conocimiento más amplio de esta provincia magmática, y en particular enriquecer el acervo geológico del Estado de Hidalgo.

El conocimiento y explotación de yacimientos minerales y bancos de material que existen en el área, tiene gran importancia para la economía de la zona, ya que estos se pueden comercializar y como consecuencia implica un incremento en las fuentes de trabajo para la región.

El capítulo referente a riesgo volcánico pretende esquematizar la secuencia a seguir para el estudio de una zona volcánica como la presente. Por las características petrológicas y químicas que presentan las rocas de la zona, así como por el modelo evolutivo regional el área actualmente se encuentra en un periodo de estabilidad tectónica, por lo que en la actualidad no existe riesgo de una erupción volcánica en el área.

REFERENCIAS Y CITAS BIBLIOGRAFICAS

1. ALMARAZ-MUÑOZ G. y MORALES-GARZA A. 1990. Prospección Geohidrográfica de la Meseta Tarasca, Mich. Tesis, Ing. Geól. UNAM, Fac. Ing. pp. 54 (Inedita)
2. ALVAREZ, M. Jr. 1949. Unidades tectónicas de la República Mexicana. Bol. Soc. Geol. Mexicana, V. 14, p. 1-22.
3. ATWATER, T. and MOZNAR P. 1973. Relative motion of the pacific and north american plates deduced from sea-floor spreading in the Atlantic, Indian and South Pacific Ocean. Geological Sciences, V. 13, p. 136-148. Stanford University Publications.
4. BORNHORST, T. 1988. Character of mid-cenozoic andesites, basaltic andesites, and related volcanic rocks. Mogollon-Datil volcanic field, southwestern. New Mexico: Colorado School of Mines, Quarterly. pp. 1-13
5. CAMPA, M.F., OVIEDO R. y TARDY M. 1976. La cabalgadura laramídica del dominio vulcano-sedimentario (Arco Alisistos-Teloloapan), sobre el miogeosinclinal mexicano en los límites de los Estados de Guerrero y México. III Congr., Latino Amer. Geol. Mex. 76. Resum. p. 25.
6. CARRILLO BRAVO, J. 1965. Estudio geológico de una parte del anticlinorio de Huayacocotla. Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol. V. XVII, n.5-6, p. 73.
7. CARRILLO-MARTINEZ M. y SUTER, MAX. 1982. Tectónica de los alrededores de Zimapán, Hidalgo y Querétaro. México, Soc. Geol. Mexicana, Convención Geol. Nal., 6, Libro-guía de la excursión geológica a la región de Zimapán y áreas circundantes, Estados de Hidalgo y Querétaro, p. 1-20.
8. CSERNA DE Z. 1960. Orogenesis in time and space in Mexico. Geol. Rundschau 50 p. 595-626.
9. CONEY, P.J. 1976. Plate tectonics and the Laramide Orogeny. New Mexico. Geol. Soc., Sp. publ. 6, 5-10
10. CORDOBA, D.A. 1988. Riesgo sísmico y volcánico en la porción central de la República Mexicana. Alternativas Tecnológicas 21. Memorias; "Problemática del Desarrollo Tecnológico Nacional". Academia Mexicana de Ingeniería. pp. 15-26
11. _____ y SILVA-MORA, L. 1989. Temblores y erupciones durante la próxima década en México Central. Rev. Soc. Mex. de Historia Natural. Vol. XL, México D.F. pp. 91-93

12. COX, K.G., BELL J.D., AND PANKHURST R.J. 1979. The interpretation of Igneous Rocks. George Allen and Unwind LTD.
13. CUTMANN, G.T. 1977. Texture and genesis of phenocryst and megacryst in basaltic lavas from Pinacate: Am. Jour. Sci. V. 277, p. 833-861.
14. DAUTRIA, J.M. et LIOTARD, J.M. 1990. Les basaltes d'affinité Toleitique de la marge méditerranéenne française. Petrologie. C.R. Acad. Sci. Paris t. 311, serie 11, p. 821-827.
15. DE LA CRUZ, V. y CASTILLO, D. 1986. Geología de la zona geotérmica de la Caldera de Acoculco, Puebla. Geotermia. Rev. Mex. de Geoenergía. V.2, N° 3, pp. 245-254.
16. DEMANT, A. 1972. Contribution a' l'Etude du Vvolcanisme Tertiaire de la Sardaigne Nord-Occidentale. Le Cycle "Ande' Sitique Terminal (Region Mara-Roma) Tesis Doctoral 3°. ciclo. Faculté des Sciences de Marseille, France.
17. _____. 1975. Caracteres químicos principales del vulcanismo terciario y cuaternario de la Baja California, sus relaciones con la evolución del margen continental Pacífico de México. Univ. Nal. Auton, Mexico. Inst. Geología, Rev. 75 (1). p. 19-69.
18. _____, ROBIN, C. 1975. Las fases del vulcanismo en México una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el Cretácico. Univ. Nal. Auton. México. Inst. Geología, Rev. 75(1). p. 70-83.
19. _____. 1978. Algunos caracteres petrográficos de las rocas del Eje Neovolcánico Mexicano. IV. Conv. Soc., Geol. Mexicana . Resúmenes. p. 17.
20. DUFFIED, W.A., et. al. 1984. Geology of El Chichón volcano, Chiapas, México. J. Volc. Geotherm. Res., 20, 117-132.
21. FERRIS, H. y MAHOOD, G.A. 1986. Volcanismo riolítico en el Eje Neovolcanico Mexicano. Geof. Int. Vol. 25-1, pp. 117-156.
22. FINK, J.H. 1983. Structure and emplacement of a rhyolitic obsidian flow: Little glass Mountain, Medicine Lake Highland, northern California. Geol. Soc. of America Bull. V. 94, pp. 362-380.
23. FRIES, C. Jr. AND GUTIERREZ, C. 1951. Activiti of Paricutin Volcano from January 1 to June 30. Transaction, American Geophysical Union. Vol. 33, N. 1, pp. 91-100
24. GASTIL, G., KRUMMENACHER; MINCH J. 1979. The record of Cenozoic volcanism around the Gulf of California. Geol. Soc., of Amer. Bull. Part I, V. 90, p. 839-857.

25. GEYNE, A.R., FRIES, C., SERGESTROM, BLACK AND WILSON. 1963. Geology and mineral deposit of the Pachuca-Real del Monte district, state of Hidalgo, México. Consejo de Recursos Naturales no Renovables. Publ. 5E, 208 p.
26. GUNN, B.M. and MOSSER, F. 1970. Geochemistry of the volcanic of central México. Bull. Volc. 34, pp. 577-616.
27. HARKER, A. 1909. The Natural Hisotry of Igneus Rocks. Methuen and Co. London.
28. HOLMES, W.H. 1900. The obsidian mines of Hidalgo, Mexico, American Anthropologist, n.s., 2: p. 405-416.
29. IRVINE, T.N. and BARAGAN, W.R.A. 1971. A guide to chemical clasification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earths Science. V. 8, pp. 523-548.
30. KUNO, H. 1959. Origin of cenozoic petrographic provinces of Japan and Surrounding Areas. Bul. Volc., 20, p. 37-76.
31. LE BAS M.J., LE MAITRE, R.W. STRECKESEN, I.A. and ZANETTIN, B. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total Alkali-Silica Diagram. Journal of Petrology V. 27, p. 3 pp. 743-750.
32. LE MAITRE, R.W. 1976. The chemical variability of some Common Ingeous rocks. Journal of Petrology, Vol. 17 p. 4, pp. 589,637.
33. LONGORIA, J.F. 1987. Mesozoic plate tectonic reconstruction of México, evidence from the stratigraphic record. Tectonophysics.
34. LUHR, J.F. and CARMICHEL, I.S.E. 1985. Contemporaneous eruptions of calco-alkaline and alkaline magmas along the volcanic front of the Mexican Volcalnic Belt. Geof. Int. Vol. 24-I, pp. 203-216.
35. Mc DOWELL, F.W. and CLABAUGH S.E. 1979. Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of western Mexico, Geol. Soc. of America, special paper 180, p. 113-123.
36. MIYASHIRO, A. 1974. Volcanic rock series in island arc and active margins. Am. Jou. Sci. 234, p. 321-355.
37. MOOSER, F. 1968. The mexican volcanic belt; Structure and tectonics. Geofísica Internacional 12 (2) p. 55-70.
38. _____, 1972. El Eje Neovolcánico Mexicano: Debilidad cortical Pre-Paleozoica reactivada en el Terciario. Soc. Geol. Mex., II Conv. Nal. Mazatlan resúmenes, p. 186-188.

39. _____ . 1975. The Mexican Volcanic Belt: Interpretation derived from fractures and form. Trans. Amer. Geophys. Union. Vol. 56, p. 1066.
40. NAKAMURA, K. 1977. Volcanoes as possible indicators of tectonic stress orientation - principle and proposal. Journal of Volcanology and Geothermal Research. V.2, p. 1-16.
41. NAKAMURA, K., JACOB, K. and DAVIES, J. 1977. Volcanoes as possible indicators of tectonic stress orientation-Aleutians and Alaska. Pageoph. vol. 115, Birkhäuser Verlag. Basel.
42. NEGENDANK, J.F. 1972. Volcanics of the Valley of Mexico, part I; Petrography of Volcanics: N. Jb. Miner. Abh., V. 116, p. 308-320.
43. _____ . 1973. Some aspects of volcanic rocks of the Valle of Mexico. Bull. Vol. 37, No. 3, p.292-303.
44. _____ . 1981. Evolution of some Tertiary and Quaternary central volcanoes of the Transmexican Volcanic Belt and possible different position of the Benioff zone. Zbl. Geol. Paleont., 3/4, 183-194.
45. NICHOLLS I.A. 1971. Petrology of santorini volcano, cyclades, Grece. Journ. Petrol. 12, p. 67-119.
46. _____ and RINGWOOD A.E. 1972. Production of silica saturated Tholeiitic magmas in island arcs, Earth and Planet. Sc. Let., Vol. 17, p. 243-246.
47. ORDÓÑEZ EZEQUIEL. 1892. Algunas obsidianas de México. Soc. Cient. Antonio Alzate, Mem. V. 6, p. 33-45.
48. PECCERILLO , A. and TAYLOR, S.R. 1976. Geochemistry of Eocene Calc - Alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area Northern. Turkey. Countr. Mineral. and Petrol., 58; p. 63-81.
49. RITTMANN, A. 1963. Les volcans et leur activité. Paris:Masson p. 457.
50. ROBIN, C. y BOBIER, C. 1975. Las fases del vulcanismo en la región de Tlalchinol (Hidalgo), según datos paleomagnéticos y geoquímicos. Univ. Nal. Auton. México Inst. Geología, Bol. 95, p. 49-85.
51. _____ et DEMANT A. 1975. Les quatre provinces volcaniques du Mexique. C.R. Acad. Sci. Paris. Volc. Tect., T. 280, ser. D -1-4. p. 1345-1349.
52. _____ , 1976. Las series volcánicas de la Sierra Madre Oriental (basaltos e ignimbritas) descripción y caracteres químicos. Univ. Nal. Auton. México. Inst. Geología. Rev. 2. pp. 13-35

53. _____ y CANTAGREL J.M. 1976. La zone orientale de l'axe volcanique transmexicain: formations calco-alcalines au miocene et au plio-quatenaire. Aeme Renn. Ann. Sc. Terre; Paris, p. 353, Soc. Geol. Fr. Edit.
54. _____ et NICOLAS E. 1978. Particularités geoquimiques des suites andesitiques de la zone orientale de l'axe transmexicain, dans leur contexte tectonique. Bull. Soc. Geol. Fr. (7) T.XX No. 2, p. 193-202.
55. SCANDONE, R. 1979. Preliminary evaluation of the volcanic hazard in the Southern Valley of Mexico. Geof. Int. V. 18 , p. 21-35.
56. SEGERSTROM K. 1956-b. Geología general y rocas volcánicas del area entre México D.F. y Huachinango, Puebla. Guidebook Excursions A-10 and C-13 p. 13-26, Inst. Geología Cong. 20th. México. pp. 13-26
57. _____ 1961. Geology of south-central Hidalgo and north-eastern México. US Geol. Sur. Bull, 1104-C, p. 87-162.
58. SEELEY, W. 1960. Industrial mineral and rocks. The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers. New York.
59. SETTLE, MARK. 1979. The structure and emplacement of cinder cone fields. American Journal of Science, Vol.279, pp. 1089-1107
60. SCHLAEPFER, 1968. Hoja México R-14-Q-h-5: Carta Geológica de México, Serie 1:100,000 (Mapa con texto) Inst. Geología, UNAM.
61. SHERIDAN. 1979. Emplacemen of piroclastic flow a review. Geol. Soc. Amer. Spec. paper 180.
62. SHURBET. D.H. 1972. Low-velocity layer in the upper mantle beneath Mexico. Geol. Soc. Amer. Bull. V. 83, p. 3475-3478.
63. SILVA-MORA, L. 1979. Contribution a la Connaissance de L'axe Volcanique Transmexicain: Etude Géologique et Pétrologie des laves du Michoacan Oriental. These de Docteur Ingénieur. Université de Droit D'economie et des Sciences D'aix Marseille. pp. 234
64. _____ et. al. 1982. The March-April 1982 eruptions of Chichonal Volcano, Chiapas, Mexico. Preliminary observations. EOS (Trans, Amer. Geoph. Union) 63, 1126 (abs).
65. _____ 1988. Esquema magmático de la Sierra Madre Oriental en la región de Zimapan-Jacala-El Realito, estados de Hidalgo y San Luis Potosí. Univ. Nal. Autón. México. Inst. Geología. Tercer Simp. Geol. Reg. México, Memoria. pp. 74-77

66. _____ 1988. Algunos aspectos de los basaltos y andesitas cuaternarias de Michoacán Oriental. Univ. Nat. Auton. México. Inst. Geología, Revista Vol. 7, no. 1, pp. 89-96.
67. STRECKEISEN, A.L. 1967. One classification of eruptive rocks. Geol. Rundschau v. 63, p. 773-785.
68. TILLING, R.I. and BAILEY R.A. 1985. Volcano Hazard Program in the United States, J. Geodyn., V.3, p. 425-446.
69. _____. 1989. Volcanic hazards and their migration: progress and problems. Reviews of Geophysics, 27, 2, pp. 237-267
70. THORNBURY .1969. Principles of Geomorphology. John Wiley and Sons. Japan.
71. THORPE, R.S. 1982. Andesites. Evolution and classification of orogenic volcanic rocks. John Wiley and Sons.
72. TRUCHAN, M. and LARSON, R. 1973. Tectonic Lineaments of the cocos plate. Earth an planetary sciences Letters 17, p. 426-432.
73. URRUTIA-FUCUGAUCHI, J. 1984. On the tectonic evolution of Mexico: Paleomagnetic Constraints. Am. Geophys. Union, Geodyn. Ser., 12: p. 29-47.
74. _____ and BÖHNEL, H. 1988. Tectonics along the Mexican Volcanic according to paleomagnetic data. Physics of the earth and planetary interiors. 52, p. 320-329.
75. VEGA-CARRILLO J.J. 1990. Paleomagnetismo y minerografía de la mina del Encino, Jalisco. Tesis. Ing. Geól. UNAM, Fac. Ing. pp. 56 (inédita)
76. VENEGAS S.S., HERRERA, F.J. Y MACIEL, F.R. 1985. Algunas características de la Faja Volcánica Mexicana y de sus recursos geotérmicos. Geof. Int. Vol. 2I, p. 47-81.
77. VERMA, S.P. 1982. Geochemistry of Los Humeros. Caldera, Puebla, México. Bull. Vulcanologic, Vol. 45-1.
78. VILLARELLO, J. y BOSE E. 1902. Criaderos de fierro de la Hacienda de Vaquerias, Estado de Hidalgo. Inst. Geol. Mex., Bol. 16, p. 15-44.
79. WICKMAN, F.E. 1966. Repose period patterns of volcanoes: Arck. Miner. Geol., V. 4, p. 291-367.
80. ZANETTIN, B. 1984. Proposed new chemical classification of volcanic rocks. Episodes. 7, p. 19-20.