

16  
2ej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**GEOLOGIA DEL VOLCAN AJUSCO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERA GEOLOGA**

**PRESENTA:**

**ESTHER ROMERO TERAN**



**MEXICO, D. F.**

**1998.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

266112



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE INGENIERIA EN  
CIENCIAS DE LA TIERRA

ASUNTO : Solicitud de Jurado para Examen  
Profesional.

**ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS**  
Director de la Facultad de Ingeniería  
de la U.N.A.M.  
Presente

La señorita ESTHER ROMERO TERAN registrada con número de cuenta 8425692-0 de la carrera de Ingeniero Geólogo, habiendo satisfecho los requisitos académicos necesarios para realizar sus trámites de examen profesional, le ruega atentamente autorizarle el siguiente jurado :

<b>PRESIDENTE :</b>	<b>ING. HECTOR LUIS MACIAS GONZALEZ</b>
<b>VOCAL :</b>	<b>DR. HUGO DELGADO GRANADOS</b>
<b>SECRETARIO :</b>	<b>M. C. GILBERTO SILVA ROMO</b>
<b>1ER. SPTE. :</b>	<b>ING. JORGE NIETO OBREGON</b>
<b>2DO. : SPTE. :</b>	<b>ING. CLAUDIA CRISTINA MENDOZA ROSALES</b>

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Ciudad Universitaria, a 2 de julio de 1998  
EL JEFE DE LA DIVISION

  
M. en C. ROLANDO DE LA LLATA ROMERO

ENTERADO

  
ESTHER ROMERO TERAN



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-I-009

**SRITA. ESTHER ROMERO TERAN**  
**Presente**

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el Dr. Hugo Delgado Granados, y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

#### GEOLOGIA DEL VOLCAN AJUSCO

- I INTRODUCCION
  - II GEOMORFOLOGIA
  - III GEOLOGIA
  - IV VULCANOLOGIA
  - V EVOLUCION DEL VOLCAN AJUSCO
  - VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFIA  
ANEXOS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Ciudad Universitaria, a 28 de febrero de 1997  
EL DIRECTOR

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

A mi madre Sra. Crescencia Teràn Carranza, por darme la vida, su cariño y confianza, pero antetodo por ser una gran mujer.

A la memoria de mis seres queridos que siempre están presentes en mis pensamientos.

Mi padre Sr. Ignacio Romero Almeida

Mis abuelos maternos: Sra. Simona Carranza Fuentes y Sr. José Guadalupe Terán Casas.

A mis hermanos: Santa, María Inès, Isabel, Socorro, Yolanda, José, María del Carmen, Roberto, Luz María, Elvira y Fabiola.

A todos mis cuñados (a), sobrinos (a) y familiares, por su apoyo y confianza.

Con todo cariño agradezco el apoyo, comprensión y confianza que me han brindado mis profesores, amigos y familiares para llevar a cabo la realización de mi tesis: Gracias a ellos he culminado uno de mis grandes anhelos

Con especial afecto a: Alma, Edith, Angélica, María Eugenia, Lilia, Patricia, María Elena, Karina, Héctor, Alberto, René, Carlos, Víctor, Ricardo, J. Carlos, Armando, Gabriel, J. Luis, Renato, Bernardo y a todos aquellos que de alguna manera han brindado su amistad y apoyo.

Un particular agradecimiento a mi distinguido jurado, Dr. Hugo Delgado Granados, Ing. Claudia Cristina Mendoza Rosales, M. C. Gilberto Silva Romo, Ing. Héctor Macías González, Ing. Jorge Nieto Obregón, Ing. Javier Arellano Gil, por el apoyo, motivación y tiempo que me brindaron ya que sin ello no hubiera sido posible el término de esta tesis, no sin antes mencionar que el respaldo del Quím. Rufino Lozano fue básica para dicho fin.

Finalmente se agradece el apoyo económico para el trabajo de campo, fechamientos y análisis químicos y beca, brindado por los proyectos DGAPA IN 102497, In 107494.

# INDÍCE

RESUMEN

LISTA DE FIGURAS

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 TRABAJOS PREVIOS.....	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.4 OBJETIVO PRINCIPAL.....	5
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
1.6 LOCALIZACIÓN.....	6
1.7 METODOLOGÍA.....	6
<b>II. GEOMORFOLOGÍA.....</b>	<b>8</b>
II.1 CLIMA.....	8
II.2 VEGETACIÓN.....	8
II.3 HIDROLOGÍA.....	9
II.4 PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS.....	9
II.4.1 Formas de relieve endógeno.....	10
II.4.2 Formas de relieve exógeno.....	13
<b>III. GEOLOGÍA.....</b>	<b>17</b>
III.1 ESQUEMA GEOLÓGICO GENERAL.....	17
III.2 ESTRATIGRAFÍA.....	18
III.2.1 Plioceno.....	18
III.2.2 Pleistoceno.....	19
III.2.3 Grupo Chichinautzin.....	25
III.2.3 Holoceno.....	30
III.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	33
III.4 PETROLOGÍA.....	34
III.5 GEOQUÍMICA.....	34
III.5.1 Clasificación de las rocas.....	35
III. 5.2 Ambientes Tectónicos.....	36
III.5.3 Evolución Magmática.....	36
III.5.4 Afinidad Tectono - Magmática.....	38
<b>IV. VULCANOLOGÍA.....</b>	<b>40</b>
IV.1 CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL.....	40
IV.2 CLASIFICACIÓN POR SU ACTIVIDAD VOLCÁNICA.....	40
IV.3 CLASIFICACIÓN POR SU TIPO DE ERUPCIÓN.....	41
IV.4 MECANISMOS DE ERUPCIÓN PELEANOS (COLAPSO DE DOMOS).....	42
IV.5 FLUJOS PIROCLÁSTICOS.....	43
IV.6 DEPÓSITOS.....	44
<b>V. EVOLUCIÓN DEL VOLCÁN AJUSCO.....</b>	<b>46</b>
V.1 ETAPA PRE-ERUPTIVA AJUSCO.....	46
V.2 PERÍODO ERUPTIVO AJUSCO.....	46
V.3 EVENTO FINAL.....	48
V.4 ETAPA POS-ERUPTIVA.....	48
<b>VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>50</b>
VI.1 CONCLUSIONES.....	50

VI. RECOMENDACIONES.....	50
<b>PETROGRAFIA.....</b>	<b>55</b>



## Resumen

El conocimiento existente sobre la geología del volcán Ajusco (VA) es escasa. Por esta razón, el objetivo del presente trabajo realizar un reconocimiento geológico general del volcán. El VA, se localiza al sur de la Ciudad de México, en la porción central de la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM). Este volcán nació hace más de 3 Ma en una fosa volcano-tectónica (Graben del Tezontle), con una orientación casi E-W y una longitud de 8 km.

Este volcán compuesto representa la transición de un período de volcanismo caracterizado por la construcción de grandes edificios (estrato-volcanes, típicos del volcanismo poligenético), a un período de volcanismo monogenético que dió origen a pequeños volcanes, ubicados en el borde sur de la Cuenca de México, desde el Plioceno Tardío hasta el presente.

El volcanismo que originó al VA fue principalmente efusivo y se caracterizó por la construcción de domos de composición intermedia acompañados por flujos piroclásticos de bloques y cenizas.

La estratigrafía calibrada mediante fechamientos radiométricos de K-Ar, indica que el volcán comprende cuatro fases de construcción de domos, el primer emplazamiento corresponde al domo dacítico Cruz del Marqués con una edad probable de  $> 3$  Ma, seguido por el emplazamiento del domo andesítico Santo Tomás con una edad de 3.4 Ma, entre estos dos eventos se nota un cambio en el contenido de hornblenda que a su vez, indica un aumento en el contenido de agua en el magma. Posteriormente, el siguiente emplazamiento dió origen al domo dacítico Pipixaca extruído hace 2 Ma y finalmente se emplazó el domo dacítico Pico del Aguila hace 0.6 Ma.

Las lavas de los domos son de composición andesítica y dacítica con variaciones en el contenido de sílice y minerales hidratados como la hornblenda y biotita, además de la presencia de olivino hacia la última fase de construcción.

Es importante considerar la variación en el contenido de sílice y olivino, ya que la cantidad de hornblenda hacia el final de la evolución disminuyó y el olivino se incrementó, determinando un período de transición representado por los flujos de andesita-basáltica y posteriormente teniendo la presencia de lavas máficas para los flujos recientes. La transición del volcanismo poligenético a monogenético, está relacionado a un cambio en el régimen de esfuerzos.

La actividad del VA culminó hace  $< 0.6$  Ma al colapsarse el flanco NE, produciendo un depósito de avalancha de escombros tipo Bandai, con un volumen aproximado de  $1.4 \text{ km}^3$ , el cual se emplazó a una distancia de 16 km, producto de esfuerzos tensionales con una orientación NE-SW. Las fallas normales asociadas a estos esfuerzos tienen una orientación NW-SE. Los montículos formados por esta avalancha fueron cubiertos por las lavas de los volcanes Cuilotepec y Xitle.

Al final de la evolución geológica del VA, sus productos se tornaron más máficos y los flujos de andesitas-basálticas, fueron extruídos a través de fracturas en las faldas de la montaña. Hace 27,000 años el VA fué ocupado por glaciales, los cuales erosionaron al volcán dejando como rasgos característicos valles en forma de "U", circos glaciales y morrenas.

## Lista de Figuras

- Fig. I.1 Mapa de localización del área de estudio
- Fig. II.1 Origen del relieve terrestre
- Fig. II.2 Esquema general de unidades geomorfológicas
- Fig. II.3 Mapa Geomorfológico
- Fig. II.4 Mapa del Ajusco en donde se indican los valles y sus morrenas
- Fig. II.5 Mapa geomorfológico, rasgos glaciales del volcán Ajusco
- Fig. III.1 Mapa Tectónico
- Fig. III.2 Mapa topográfico mostrando los principales edificios volcánicos
- Fig. III.3 Mapa geológico del volcán Ajusco y su entorno
- Fig. III.4 Secciones geológicas representativas del área de estudio
- Fig. III.5 Unidades estratigráficas pertenecientes a la Formación Ajusco
- Fig. III.6 Mapa en donde se ubican fechamiento y descripción de columnas
- Fig. III.7 Columna del flujo piroclástico asociado al domo Cruz del Marqués
- Fig. III.8 Columna del flujo piroclástico asociado al domo Santo Tomás
- Fig. III.9 Columna del flujo piroclástico asociado al domo Pipixaca
- Fig. III.10 Columna del flujo piroclástico asociado al domo Pico del Aguila
- Fig. III.11 Depósito de avalancha de escombros Zacatépetl
- Fig. III.12 Mapa de distribución de los depósitos de avalancha de escombros
- Fig. III.13 Afloramiento del flujo viborillas
- Fig. III.14 Mapa estructural del volcán Ajusco y su entorno
- Fig. III.14 Diagramas estructurales
- Fig. III.15 Diagramas de TAS
- Fig. III.16 Diagrama de Percerillo y Taylor
- Fig. III.17 Diagrama Harker
- Fig. III.18 Diagrama de Mullen
- Fig. III.19 Diagramas araña
- Fig. IV.1 Clasificación genética del volcán Ajusco
- Fig. IV.2 Afloramiento del domo Pico del Aguila

### Tablas

- Tabla 1 Unidades geomorfológicas, características y composición

**Tabla 2 Altitudes de morrenas de cada etapa de glaciación**

**Tabla 3 Petrografía**

**Tabla 4 Datos geoquímicos de elementos traza**

**Tabla 5 Datos geoquímicos de elementos mayores**

# I. INTRODUCCIÓN

## I.1 Antecedentes

Los volcanes activos de México representan un peligro potencial ya que se encuentran en las zonas más pobladas del país. En México hay en actividad cuando menos más de 15 volcanes, más de dos campos monogenéticos y cuatro calderas considerados activos. Ejemplos de ellos son: entre los volcanes activos se encuentra el Popocatepetl, el Ceboruco, Pico de Orizaba, etc; los campos volcánicos son: Michocán-Guanajuato, Sierra Chichinautzin y El Pinacate, entre las calderas esta la de La Primavera, Los Humeros, Los Azufres y Huichapan. Además los desastres asociados a ellos como el Parícutin (1943), El Chichón (1980) y del Volcán Colima (1990). Por ello, es importante estudiar y determinar si un volcán en particular debe considerarse activo o no para consideraciones de peligro y riesgo volcánico.

En la última década de los '90s, la vulcanología ha cobrado importancia debido, principalmente a la actividad del Volcán Popocatepetl dada su cercanía a la Ciudad de México. La actividad de estos volcanes se considera importante, ya que es un peligro latente para ciudades densamente pobladas como el caso de la Ciudad de México que se encuentra en la parte central de la Faja Volcánica Trans-Mexicana y está rodeada por numerosos volcanes, algunos de los cuales son activos como el Volcán Popocatepetl y el Campo Volcánico de Chichinautzin.

Sin embargo, no se tienen estudios detallados de la mayor parte de las zonas circundantes a la Ciudad de México, ni se cuenta con una cartografía geológica detallada, es importante considerar que en muchos volcanes, las observaciones de erupciones históricas constituyen una fuente importante de información sobre las características de erupciones pasadas, su edad, las áreas impactadas y los efectos de las erupciones sobre la gente y sus alrededores.

Por lo anterior, el propósito de este trabajo es contribuir al conocimiento geológico de la región mediante un compresivo del volcán Ajusco.

## I.2 Trabajos Previos

Félix y Lenk (1890), realizaron estudios petrográficos con los que concluyeron la existencia de un magma original cuarzo diorítico que, a través de múltiples y pequeñas diferenciaciones, produjo las lavas y piroclastos de las grandes sierras que circundan la Ciudad de México.

Marroquín y Sánchez (1901) realizaron estudios de hidrología en el área del Ajusco y de Las Cruces, notando la permeabilidad de las rocas. Definen dos tipos de rocas en la cadena de montañas del Ajusco, 1) andesita con horblenda y 2) basaltos ricos en olivino y otros en hiperstena y augita.

Wittich (1919), estudio los fenómenos micro-volcánicos del Pedregal de San Angel. Menciona que durante sus estudios, "en el camino encontro la corriente magmática, unas lomas andesíticas, pertenecientes según su carácter petrográfico al antiguo macizo del Ajusco, del cuál se habían desprendido en la época de hundimientos muy anteriores", esta loma es: Zacatepec (Zacatépetl).

Blásquez (1944), descubrió e informó sobre detritus glaciales en la Sierra de Las Cruces, al NW del Ajusco, confirmando la presencia de clima frío y riguroso cercano al Ajusco, posiblemente simultáneo a las glaciaciones que tuvieron lugar en esa montaña.

Arellano (1948), hace una recopilación de algunos análisis químicos de las rocas volcánicas al sur de la Cuenca de México, con el fin de establecer con alguna precisión la constitución de las rocas volcánicas que constituyen parte de la estratigrafía de la Cuenca. Con los resultados de sus análisis comprueba nuevamente la hibridez de muchas de las lavas del sur de la Cuenca de México, debido al alto contenido de sodio.

Ugalde Villareal (1950), considera que la Sierra del Ajusco, es el resultado de la acumulación de grandes cuerpos ígneos extrusivos emitidos durante dos etapas, producto de la liberación de la energía endógena del planeta, manifestándose en rocas de composición mineralógica diferente y dando origen a las diferentes estructuras.

Maldonado-Koerdell (1954), describe al cerro Zacatépétl como una roca andesítica de color rojizo-blanquecino, sin porosidad que fue expulsada por los volcanes de las serranías del Ajusco y Las Cruces.

Fries (1960) define por primera vez, la Serie Basáltica Chichinautzin considerada como un complejo de múltiples conos cineríticos, conos escoriáceos, anillos de tefra y mantos de lava, tefra y brechas volcánicas, con sedimentos volcánicos intercalados todos ellos de composición basáltica-andesítica.

Blázquez (1956) y Mooser (1957) mencionan que hacia el oeste y noreste de las laderas del Ajusco, se encuentran las rocas más viejas de la región conocidas como la Serie Andesítica Las Cruces. La parte inferior de estas rocas es una brecha volcánica con mantos intercalados de andesita, la parte superior de la sierra es de mantos riódacíticos con laderas suaves.

Andrade (1961) considera que en el transcurso del Plioceno se iniciaron nuevas emisiones andesíticas, originando así grandes complejos volcánicos. Durante este tiempo se formó el macizo del Ajusco.

Lorenzo (1962) efectuó algunos reconocimientos en las laderas de la cara norte del Ajusco; notó la presencia de morrenas en el volcán y por lo tanto, la ocurrencia de glaciaciones.

Mooser (1963) nombra Serie Andesítica Ajusco a los distintos cuerpos de roca de los picos más altos. Menciona que en cierto momento del Terciario tardío comienza a formarse el fracturamiento Humboldt, (fracturamiento Clarión ó Eje Neovolcánico), por esta razón nacen los volcanes de Zempoala, Ajusco, Iztaccíhuatl y Popocatépétl.

Schlaepfer (1968) definió a la Formación Las Cruces y a la Formación Ajusco. Además, menciona que la Formación Ajusco muestra pendientes abruptas y los centros eruptivos de este volcán están erosionados debido a procesos de glaciación que durante el Pleistoceno.

Gunn y Mooser (1971) sostienen que en esta cordillera no existen tipos puros de andesita y que la masa mayor del Ajusco, cerca del camino a Monte Alegre, es una dacita de biotita.

Bloomfield (1975) obtuvo edades de 8,440 a 38,590 años antes del presente en volcanes de la región de Toluca y de la Sierra Chichinautzin.

Sánchez-Rubio (1978) definió la Formación Las Cruces como una serie de dacitas porfíricas.

Martín del Pozzo (1980) determina que la roca del volcán Ajusco es una andesita porfírica, constituida por fenocristales de plagioclasa zoneada y oxihorblenda principalmente, se observa augita en algunas muestras. El Tanque y el Santo Tomás se consideran volcanes adventicios del volcán compuesto Ajusco. Además, observó piroclastos de tamaño lapilli asociados a lavas.

Lugo (1984) hace un estudio geomorfológico de los conos volcánicos del sur de la Ciudad de México explicando los procesos morfogénicos. Considera que la génesis del Volcán Ajusco, producto de los procesos explosivos y efusivos, que dieron origen a coladas de lava cubiertas por flujos piroclásticos en varias etapas .

Bremery Urrutía (1985) obtuvieron una edad de más de 700,000 años para el Ajusco, basándose en la magnetización remanente.

White y colaboradores (1990) reportan un orden de acontecimientos glaciales y de las cenizas volcánicas del Ajusco. Además de la descripción y establecimiento de la serie glacial durante el Pleistoceno Tardío y el Holoceno, para el centro de México.

Urrutia y Martin del Pozzo (1991) obtienen datos paleomagnéticos para el complejo volcánico del Ajusco que indican polaridades reversa, normal y reversa respectivamente, lo que sugiere que la actividad volcánica ocurrió en períodos transicionales y excursiones del campo geomagnético probablemente durante el Cron Brunhes.



Mora y colaboradores (1992) reportan resultados de un estudio combinado de K-Ar y paleomagnetismo de las rocas volcánicas de la sierra de Las Cruces y Cuenca de México. Reportan una edad de  $0.39 \pm 0.15$  Ma para un flujo de lava andesítica, localizada al SW del Cerro La Cruz del Marqués.

Delgado y Martín del Pozzo (1993) proponen que durante el Plioceno Tardío y Holoceno, ocurrieron tres diferentes períodos de volcanismo en la región donde se unen la Sierra de Las Cruces, el Ajusco y Chichinautzin. Además, mencionan que el Ajusco se formó por la extrusión de varios domos de lava andesítica.

Cervantes y Molinero (1995) reportan que el volcán Ajusco sufrió un colapso estructural de la parte noroeste del edificio volcánico, dicho depósito lo clasificaron como un evento tipo Bandai, debido a que no se observó componente magmática alguna.

### **1.3 Planteamiento del problema**

Este trabajo pretende proporcionar información volcanológica del Ajusco, ya que pertenece al conjunto de volcanes que limitan a la Ciudad de México y del cual es importante mencionar que los trabajos que se han desarrollado en dicha área, en buena medida se han enfocado a la petrografía de las rocas volcánicas y sólo en menor grado a las relaciones temporales de éstas.

Por esta razón, el propósito del presente trabajo es reconocer la geología del volcán Ajusco a través de la integración de la información obtenida en campo y tomando en cuenta los antecedentes que existen al respecto para calibrar la estratigrafía del área.

### **1.4 Objetivo principal**

Realizar un estudio geológico del volcán Ajusco incluyendo cartografía, estratigrafía, geoquímica, petrografía y geología estructural. Estos estudios son

con el fin de reconstruir de los eventos que originaron al volcán y así relacionarlos con eventos anteriores y posteriores.

## **I.5 Objetivos específicos**

- a) Elaborar un mapa geológico del volcán Ajusco a escala 1:10,000.
- b) Definir la estratigrafía del volcán Ajusco.
- c) Calibrar la estratigrafía mediante fechamientos radiométricos de K-Ar.
- d) Reconocer la petrografía y geoquímica de las rocas volcánicas del volcán Ajusco
- e) Caracterizar los depósitos piroclásticos del volcán.
- f) Integración de la información geológica, vulcanológica y estructural.

## **I.6 Localización**

La zona de estudio se encuentra al sur de la Ciudad de México, entre las coordenadas 19°09' 00" y 19°12' 00" de latitud norte, 99°16' 29" y 99°13' 20" de longitud oeste. La altitud del volcán Ajusco es de 3,930 msnm. El área de estudio cubre una superficie aproximada de 50 km<sup>2</sup> la cual queda comprendida en la Delegación Tlalpan y al norte se encuentra la Delegación Magdalena Contreras. El área está limitada al S y SE por la Sierra Chichinautzin, al SW por la Sierra de Las Cruces y hacia el N por parte de las lavas del Xitle. Las principales vías de acceso son: carretera Picacho Ajusco, Circuito Ajusco y carretera Federal No. 95 México-Cuernavaca (fig. I.1).

## **I.7 Metodología**

Inicialmente se realizó una compilación bibliográfica de los trabajos realizados en el volcán Ajusco y áreas circundantes. Posteriormente, se hizo la búsqueda cartográfica, quedando el área de trabajo comprendida en dos cartas topográficas de la Tesorería del Distrito Federal (E14A49-12 Volcán Ajusco y E14A49-22 Volcán Malacatepec) escala 1: 10,000, y en las cartas topográficas: escala 1: 20,000 de Sistema de Información Geográfica ( cartas San Miguel

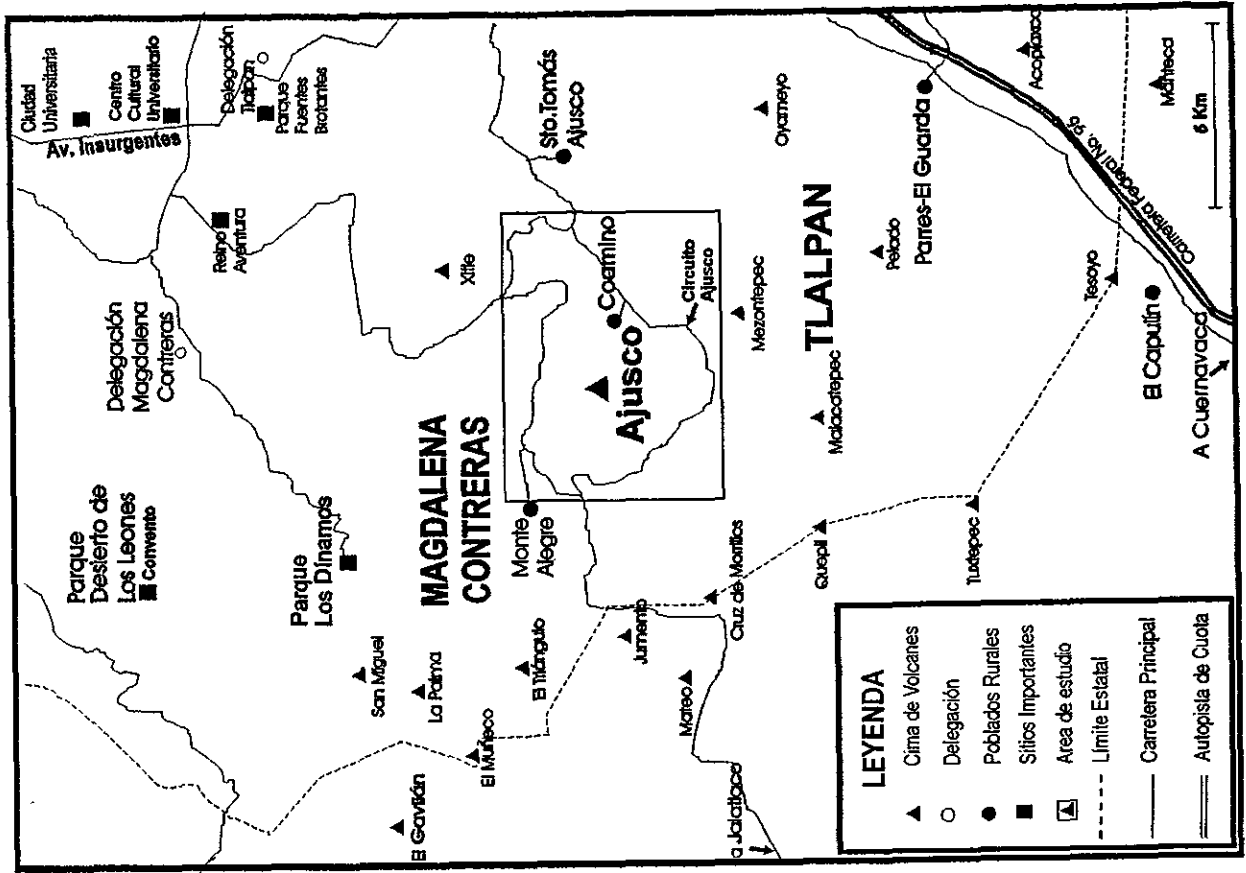
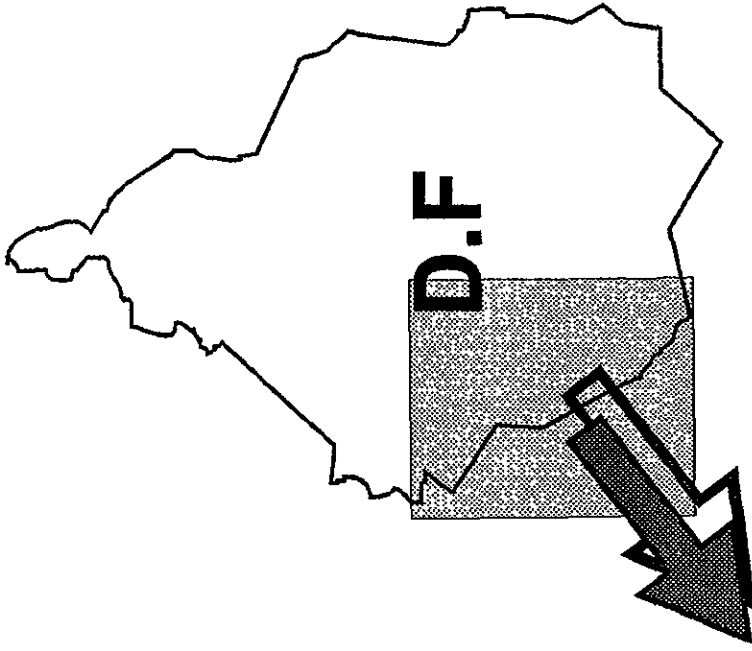


Fig.1.1 Mapa de localización del área de estudio.

Ajusco y Ciudad Universitaria). Se utilizó la carta escala 1: 50,000 del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

Asimismo, también se utilizaron fotografías aéreas del año de 1974 a escala 1:16,000.

El trabajo se realizó de la siguiente manera:

1. Digitación en Autocad versión 10 y 12 de las cartas topográficas con escala 1: 10,000 y 1:20,000 mencionadas con anterioridad.
2. Interpretación geológica de fotografías aéreas escala 1:16,000 de la zona de trabajo.
3. Elaboración de un mapa geológico preliminar basado en la fotointerpretación.
4. Realización de trabajo de campo con el objeto de hacer el levantamiento geológico y obtención de muestras.
5. Elaboración de láminas delgadas de las rocas muestreadas para análisis petrográfico.
6. Recolectar y moler muestras de roca para análisis químicos.
7. Obtención y envío de muestras para fecharlas en el laboratorio de Teledyne
8. Verificación de contactos, mediante fotointerpretación y visitas al campo.
9. Elaboración final del mapa geológico.
10. Análisis estructural
11. Procesamiento de los datos obtenidos en los análisis químicos.
12. Integración e interpretación de la información.

## **II. GEOMORFOLOGÍA**

### **II.1 Clima.**

La temperatura tiene un comportamiento inverso a la altitud. Es decir, mientras más nos alejamos del nivel medio del mar en la vertical dentro de la tropósfera (parte inferior de la atmósfera en la que se desarrollan los fenómenos meteorológicos), la temperatura disminuye hacia las partes altas alcanzando, por ejemplo, valores con un promedio mínimo de 8°C en las cimas del Ajusco. Además, la temperatura media mensual varía entre los 8 y 16 °C.

Con respecto a la precipitación, el volcán Ajusco se encuentra incluido en la zona más lluviosa del centro del país. Así, las partes de mayor altitud captan más de 1500 mm de precipitación anual, debido por una parte a la altitud que tiene el volcán y por otro lado a la dirección de los vientos locales que, viniendo del noroeste, son obligados a ascender orográficamente provocando lluvias abundantes.

Se presentan dos climas en la zona del volcán Ajusco. Los dos con lluvias en verano; uno es el templado subhúmedo de las partes más bajas y otro el semifrío subhúmedo en las partes de mayor altitud.

### **II.2 Vegetación.**

En las cimas de los cerros Pico del Aguila y Cruz del Marqués, que son los de mayor altitud (alrededor de los 3900 msnm), se presentan plantas resistentes al frío y las fuertes pendientes, como lo demuestran las amplias zonas de zacatonales de las cumbres.

Por debajo de los 3000 metros de altitud, la variedad de árboles existentes son: pinos, oyameles, ocotes y una gran variedad de plantas silvestres, muchas de ellas endémicas.

## **II.3 Hidrología.**

Por los altos valores que presenta la pendiente (mayor a 45%), se esperaría un escurrimiento superficial abundante, pero al mismo tiempo las rocas ígneas extrusivas presentes en el volcán Ajusco, posibilitan la infiltración del agua de lluvia al subsuelo. El escurrimiento superficial sobrepasa el 30% del total de la precipitación, lo cual significa que el material volcánico tiene una capacidad de infiltración sumamente alta, esto conlleva a que la totalidad del área tenga una hidrología subterránea con zonas de recarga de mantos acuíferos que se localizan en los valles adyacentes (Hernández, 1994).

## **II.4 Procesos Geomorfológicos.**

Hacia la porción centro-oriental de la Faja Volcánica Trans-Mexicana, se localiza la Cuenca de México. Esta presenta una estructura geomorfológica con límites espaciales precisos: parteaguas cerrados, que la definen como una cuenca endorreica, rodeada por montañas jóvenes y antiguas.

La geomorfología apoya a las investigaciones sobre riesgo volcánico. Estas se realizan directamente en los volcanes activos y en las zonas de mayor posibilidad de nacimiento o reactivación. Las mediciones de alta precisión en los aparatos potencialmente activos (altitud y pendiente) permiten reconocer cambios bruscos de milímetros y centímetros en las etapas de preactividad.

La cartografía geomorfológica puede pasar de la información general al detalle sobre determinados problemas, como los riesgos por lahares: localización y alcance estimado. (Lugo, 1991).

El relieve terrestre es el resultado de la interacción de los procesos endógenos y exógenos. Los procesos endógenos son los que generan las irregularidades de la superficie terrestre y los procesos exógenos son aquéllos que nivelan las irregularidades originadas por la actividad endógena (fig. II.1).

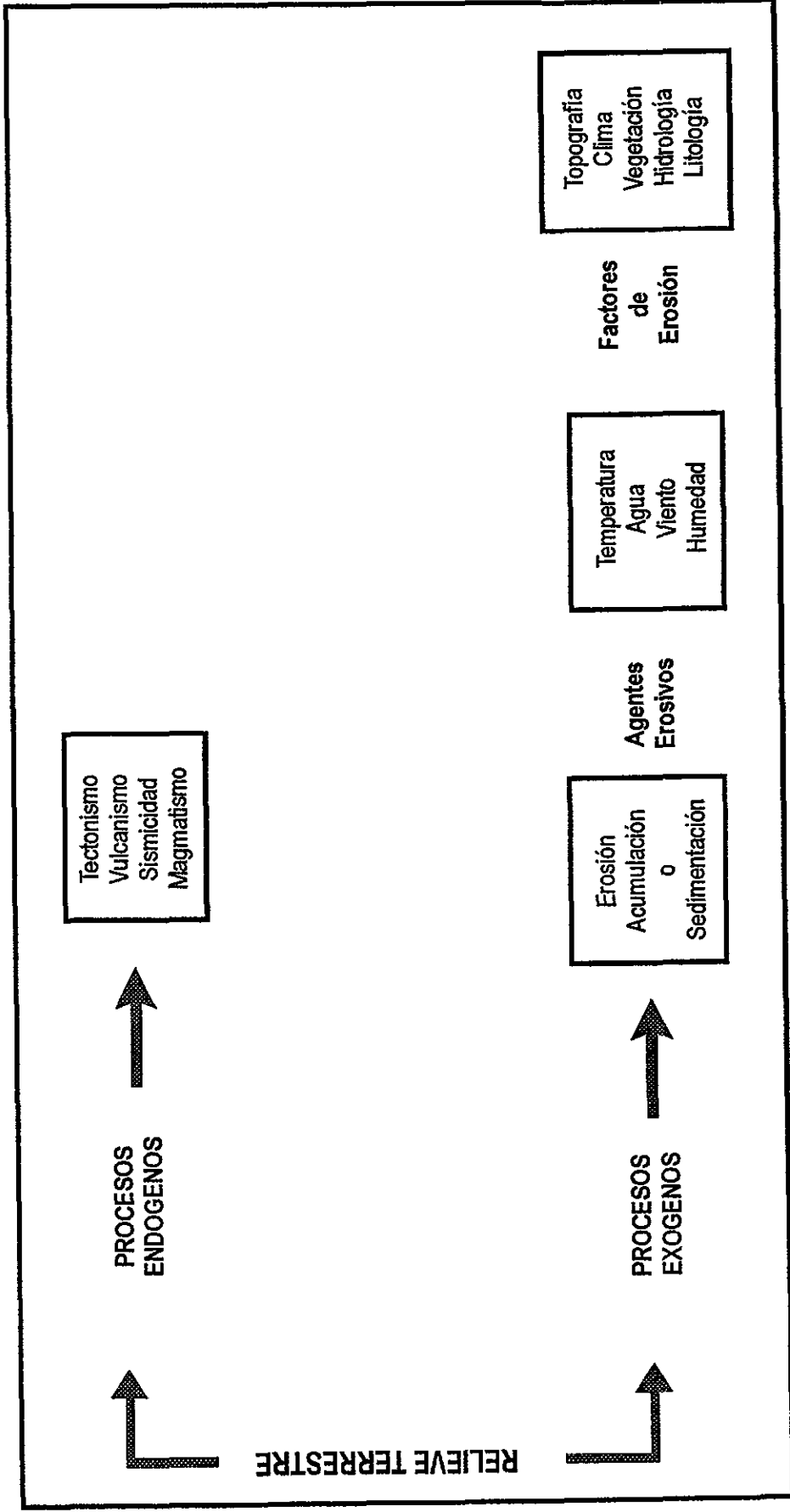


Fig. II.1 Origen del relieve terrestre

## **II.4.1 Formas de relieve endógeno**

Hoy en día se sabe que los movimientos que ocurren en el interior de la Tierra son de magnitudes considerables. Se manifiestan por la sismicidad, el volcanismo, el magmatismo intrusivo, la ruptura de las rocas con o sin movimiento de los bloques resultantes y su deformación. Estos fenómenos son parte del gran grupo de los endógenos.

El volcanismo es uno de los procesos más importantes en la geomorfología, porque produce grandes cambios en poco tiempo, ya sea por el nacimiento y reactivación de volcanes, la formación de estructuras como conos, calderas o maares, desarrollo de grietas, ascenso y descenso del nivel de la superficie.

Es importante mencionar que el estudio del relieve volcánico es fundamental para la determinación futura de los procesos correspondientes (explosivos, efusivos) y la secuencia con que ocurrieron (fig. II.2). En el mapa geomorfológico elaborado en este trabajo se reconocieron las siguientes formas de relieve (fig. II.3 y tabla 1).

### **A. Relieve volcánico acumulativo:**

#### **a) Volcanes**

Dentro de esta categoría se distinguen dos tipos principales: los volcanes monogenéticos y poligenéticos. Un volcán monogenético es aquél que hace erupción durante una sola etapa, a través de una fisura o conducto y construye un pequeño edificio en forma de maar, cono escoriácico domo o volcán escudo (Fedotov, 1976 in Martín del Pozzo, 1992). Las erupciones de los volcanes monogenéticos son de períodos muy cortos que van de unos años a decenas de años (Luhr y Simkin, 1994).

Los volcanes monogenéticos presentes en la zona de trabajo se localizan en la porción SE y S del volcán Ajusco. Las características comunes de acuerdo



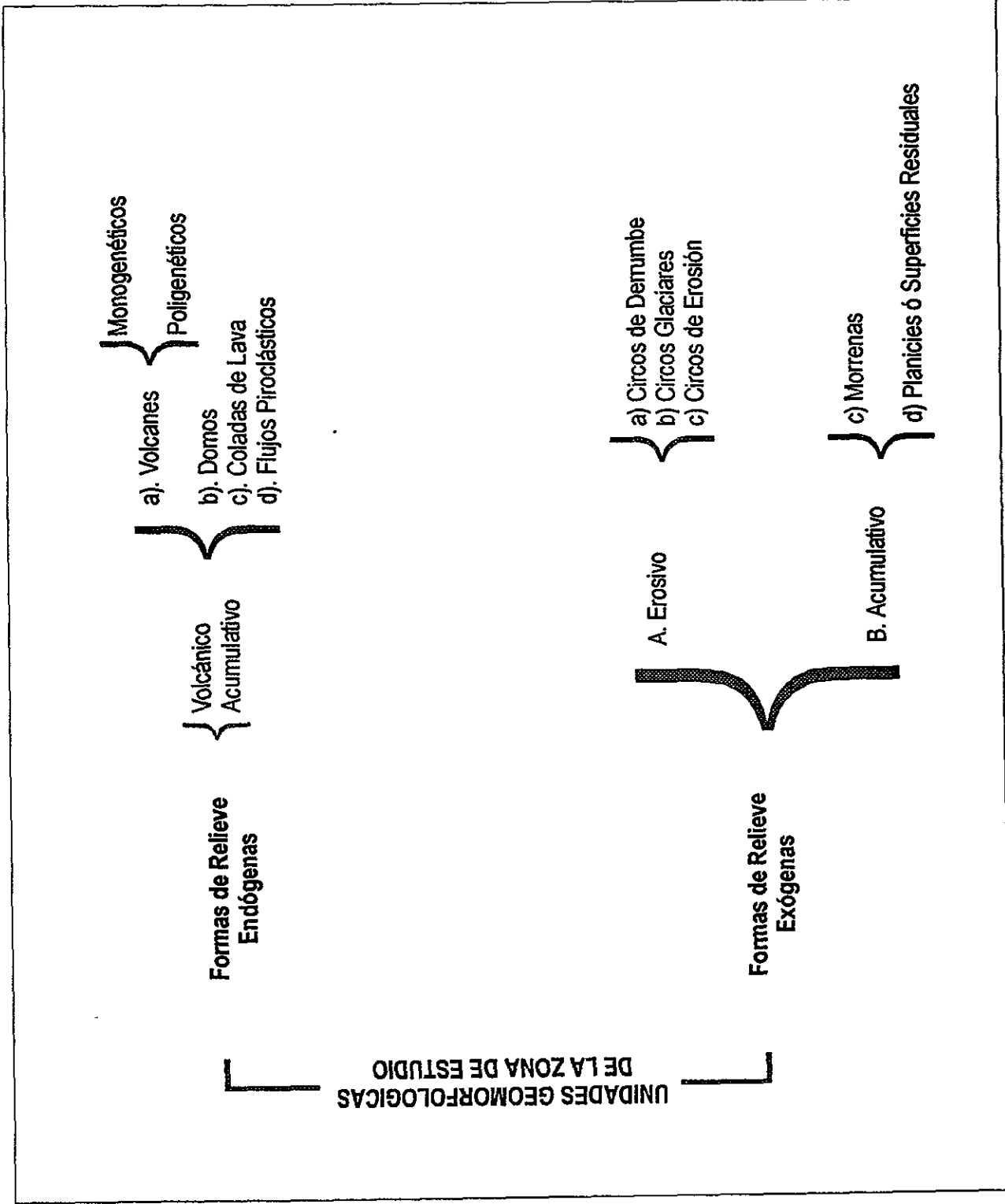


Fig. II.2 Esquema general en el que se muestran las unidades geomorfológicas presentes en la zona de trabajo.

con la edad son: la mayoría posee un cráter con un grado variable de relleno, algunos se encuentran abiertos en forma de herradura (por un fenómeno volcánico explosivo de colapso, o por erosión), la pendiente en promedio es de 32°, la profundidad del fondo del cráter para el caso del Xitle es de 115m (en forma de embudo, sin relleno en su fondo). En la mayoría de los casos su altura relativa (altura del cono-altura base) es menor a 250 m (Lugo,1991).

Los volcanes poligenéticos son el resultado de varias erupciones, separadas por largos períodos y frecuentemente involucran magmas diferentes (Cas y Wrigth, 1987). De esta manera, el volcán Ajusco es considerado un volcán poligenético, ya que es el resultado de varias etapas de actividad volcánica, durante varios millones de años, dando origen a un volcán compuesto, constituido por un conjunto de domos de composición andesítica y dacítica acompañados de flujos piroclásticos, con una altura de 830 m a partir de la base hasta la cima del domo de mayor altitud. El diámetro aproximado en el eje mayor es de 4 km y en el eje menor mide 3 km. Sus laderas poseen fuerte inclinación y se ven afectados por procesos gravitacionales intensos, dando como resultado depósitos de talud.

## **b) Domos**

En el mapa geomorfológico (fig.II.3), el volcán Ajusco se muestra constituido por cuatro domos de composición andesítica y dacítica, los domos dacíticos están representados por los cerros: La Cruz del Marqués, Santo Tomás, Pico del Aguila y Pipixaca.

El domo La Cruz del Marqués, en la porción SE presenta una pendiente >45° y hacia el SW las pendientes son más suaves debido a la acumulación de los depósitos de talud, producto de procesos gravitacionales; tiene superficies muy suaves debido a que comprende a la parte más vieja del volcán Ajusco (>3Ma). Además, un glaciar suavizó su superficie.

El domo Santo Tomás presenta una superficie suave y su morfología es regular. Hacia la porción sur la pendiente es muy fuerte >45°, la cima se

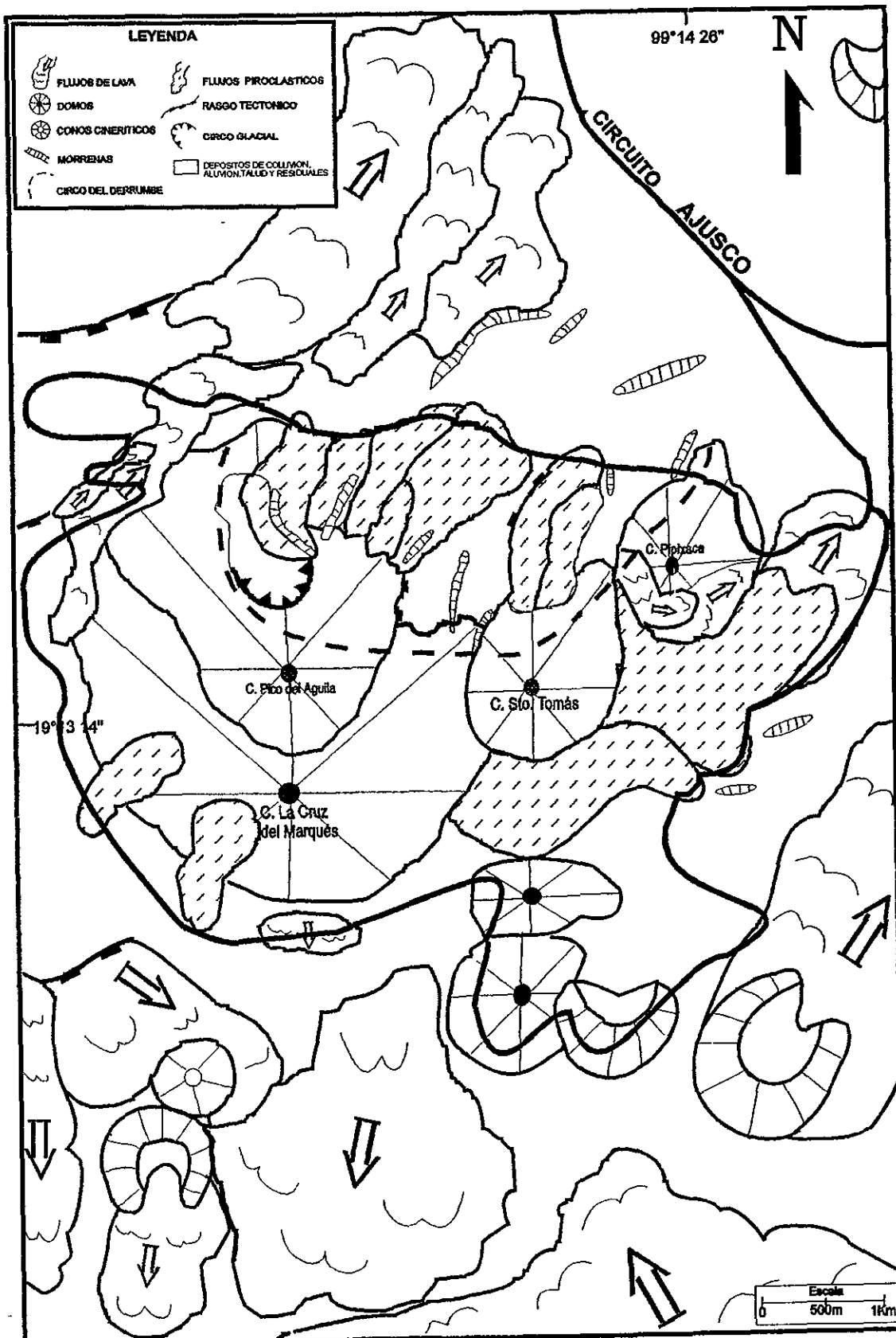


Fig.II.3 Mapa geomorfológico

M A P A G E O M O R F O L Ó G I C O

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS		CARACTERÍSTICAS	COMPOSICIÓN
Volcanes	Monogenéticos	Se localizan en la porción NE y S del volcán Ajusco. Cráter con un grado de relleno y en forma de herradura. Pendiente 32°.	Cenizas Máficas
	Poligenéticos	El Ajusco es el resultado de varias etapas de actividad volcánica.	Dacitas
Domos		Hacia los flancos presenta pendientes mayores a 45 grados y en la cima el relieve es suave.	Andesitas Dacitas
Coladas de lavas		Extruidas por fracturas en las faldas de la montaña en la porción NE, SW y S del volcán Ajusco.	Máficas
Flujos piroclásticos		Se encuentran asociados a los domos	Depósitos de piroclásticos de bloques y cenizas
Circos glaciales		Se forman por la combinación de la acción periglacial y la erosión glacial, localizados en la cabecera del valle.	
Circos de derrumbe		Producto del colapso estructural del edificio volcánico, comprende la porción NE del volcán.	
Morrenas		Crestas de material de erosión glacial acumulados a lo largo de margenes terminales de glaciares.	Detritos rocosos de composición andesítica y dacítica.
Planicies o superficies residuales		Se forman en las partes bajas de la montaña.	Material retrabajado por diferentes tipos de erosión

Tabla 1 Muestra las principales unidades estratigráficas, con sus características y tipos de rocas.

encuentra cubierta por depósitos de talud y detritos glaciales. En la parte central del domo se observa un circo glacial incipiente.

El domo Pipixaca a pesar de que su composición química incluye un alto contenido de sílice, muestra gran intemperización; esto se debe a los cambios bruscos de temperatura y sobre todo, a que la roca se encuentra muy fracturada.

El Pico del Aguila presenta superficies irregulares en la cima donde se encuentra el límite del macizo rocoso. Además, comprende la parte más joven del volcán, presenta pendientes de casi 90° en el flanco E. La pendiente es el producto del colapso estructural que afectó al volcán.

### **c) Coladas de lava.**

Los flujos o coladas de lava son cuerpos tabulares de amplia extensión superficial y alargados en la dirección principal del flujo, los tamaños y formas de los flujos están controlados por su viscosidad, composición, temperatura de erupción, límite elástico y topografía del área (Barker, 1983).

Al término de la construcción del volcán Ajusco, las emanaciones de lava se hicieron más máficas, en donde los flujos de andesita basáltica y basaltos de olivino, fueron extruídos por fracturas en las faldas de la montaña. Las formas jóvenes no modeladas por los procesos exógenos, están presentes en la porción N, SW y S del volcán Ajusco.

Los volcanes más jóvenes pertenecientes al Grupo Chichinautzin muestran coladas de lavas asociadas, algunas se encuentran cubriendo parcial o totalmente los materiales eyectados por volcanes más antiguos. Por esto mismo, las alturas relativas son muy variables, en algunos casos son menores a 10 m. Por su juventud no presentan una red fluvial integrada, mostrando por lo general corrientes aisladas. En conjunto las escorrentías son superficies de poca inclinación (4° a 12°). La mayoría de las lavas fluyeron en bloques, aunque existen algunos flujos de lava pahohoe y aa. La viscosidad, volumen y extensión

de las lavas, parecen estar determinadas por la tasa de efusión. (Martin del Pozzo 1982, Lugo,1991).

#### **d) Flujos piroclásticos**

Sus superficies se encuentran alteradas por procesos exógenos de remoción y acumulación. Por lo general no presentan grandes espesores los cuales van de 1 y 2 hasta 10 m. Los límites son irregulares e imprecisos debido a la sobreposición de materiales provenientes de diferentes eventos. Su distribución es alrededor del domo de donde proceden. De manera general, los depósitos piroclásticos de caída presentes en el volcán se encuentran alternando con depósitos de flujos piroclásticos de bloques y cenizas.

### **II.4.2 Formas de relieve exógeno**

La transformación permanente de la superficie terrestre se realiza también por la acción de los procesos exógenos condicionados por el clima y la gravedad. Los procesos exógenos se presentan en grandes regiones con un dominio determinado: erosión ó acumulación fluvial, procesos glaciales, eólicos y cársticos. Esto se debe al régimen tectónico, la fisiografía en grandes extensiones y al clima; todos los factores en estrecha relación (Lugo,1991).

La acción de los glaciares se expresa por una secuencia de formas erosivas (valles, circos, etc) y acumulativas (morrenas) que definen una secuencia evolutiva, originadas durante el Pleistoceno Tardío y Holoceno. Durante la evolución del volcán Ajusco se presentaron tres glaciaciones y dos eventos neoglaciales: Marqués, Santo Tomás y Albergue (27000, 25000 y 15000-8000 años) respectivamente (White y colaboradores, 1990) (fig. II.4 y tabla 2). Las evidencias de las glaciaciones en el Ajusco se presentan bajo diversas formas: 1) morrenas características, distribuidas en pares de morrenas laterales, para cada estadio y subestadio de glaciación; 2) un circo glacial en el valle del Aguila y otras dos cabeceras de valle en forma de circo sobre las caras norte y este de la montaña, más abajo los cortes transversales de los dos últimos valles muestran los típicos cortes en forma de "U" propios de valles glaciados; 3) depósitos

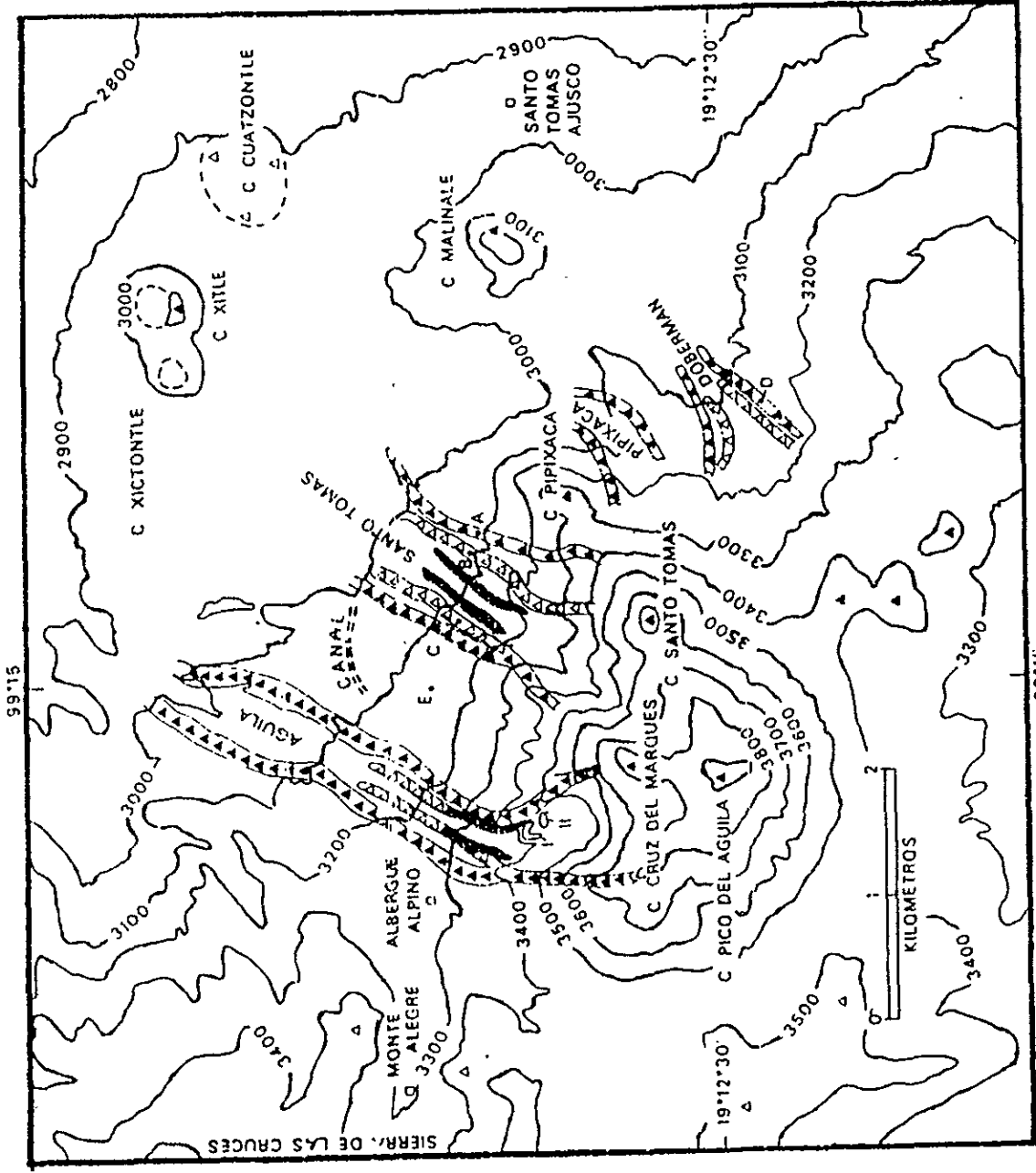


Fig. 11.4 Los puntos marcados con la letra A, B, C, D y E son los cortes de carretera de los que se hicieron descripciones de suelos y en los cuales se tomaron las muestras para fechamientos radiocarbónicos (White y colaboradores, 1990).

ALTITUDES DE LAS MORRENAS DE CADA ETAPA DE GLACIACION EN EL AJUSCO*							
ETAPAS DE GLACIACION	VALLF DEL AGUILA		VALLF DE SANTO TOMAS		VALLF DEL DOBERMAN		
	Morrena lateral izquierda	Morrena lateral derecha	Morrena lateral izquierda	Morrena lateral derecha	Morrena lateral izquierda	Morrena lateral derecha	
GLACIACION AGUILA	Límite superior	3390▲	3420	3390▲	3450	3200*	3200*
	Límite inferior	3000* erosionada	3000	3000	3000	3040	3020
GLACIACION SANTO TOMAS	Límite superior	3320	3300*	3300*	3250*	3180*	3180*
	Límite inferior	3090*	3090	3050* erosionada	3050	3080	3070*▼ erosionada
GLACIACION ALBERGUE	Límite superior	3300	3300*	no localizada	no localizada	no localizada	no localizada
	Límite inferior	3190	3190				
NEOGLACIACION		I 3340 II 3360					

\*Alturas en metros sobre el nivel del mar \*Altura estimada ▲ Probablemente más alta ▼ Probablemente más baja

Tabla 2 Muestra las altitudes de las morrenas de cada etapa de glaciación en el Ajusco (Whitte y colaboradores, 1978)



glaciales, tanto en forma de derrubios y por cantos rodados que se desprendieron de las laderas superiores del volcán y que aparecen mezclados en forma de morrenas de fondo en los pisos de los valles glaciados; 4) abanicos aluviales glaciales formados dentro e inmediatamente afuera de las posiciones terminales de las morrenas y 5) aluvión glacial constituido por grava, cantos redondeados y subredondeados, y de arena, transportados por la fusión de nieve, en el norte y al este hacia la Cuenca de México. No obstante, en el transcurso de este trabajo se estableció que algunas de las morrenas reportadas por White y colaboradores (1990) son en realidad, depósitos de flujos piroclásticos de bloques y cenizas.

Delgado (1986), reportó evidencias de glaciación en el valle de Monte Alegre, donde la morfología revela la presencia de morrenas y circos. Posteriormente Delgado y Martín del Pozzo (1993), reportan que los glaciares correspondientes a las glaciaciones Santo Tomás y Albergue dejaron "cuernos", valles en forma de "U", circos y morrenas en los volcanes Los Picachos y Ajusco. Concluyen que el período eruptivo Chichinautzin fue contemporáneo con un período interglacial durante el Pleistoceno Tardío, entre dichas glaciaciones (fig. II.5).

### **a) Formas de derrumbes gigantes**

Los derrumbes gigantes están caracterizados por una topografía de tipo ("aborregada") constituida por numerosos montículos y depresiones cerradas, no tienen una tendencia predominante de alineamiento aunque pueden presentar un alineamiento del eje mayor en la dirección de la fuente, formando pendientes fuertes en la margen distal, se forman "levees" en ambos lados y algo muy importante, es la forma de herradura del área fuente (Ui, 1989; Siebert, 1984).

El circo de derrumbe es la cicatriz del colapso estructural del edificio volcánico, acaecido posiblemente durante el Pleistoceno Temprano (Cervantes y Molinero, 1995).

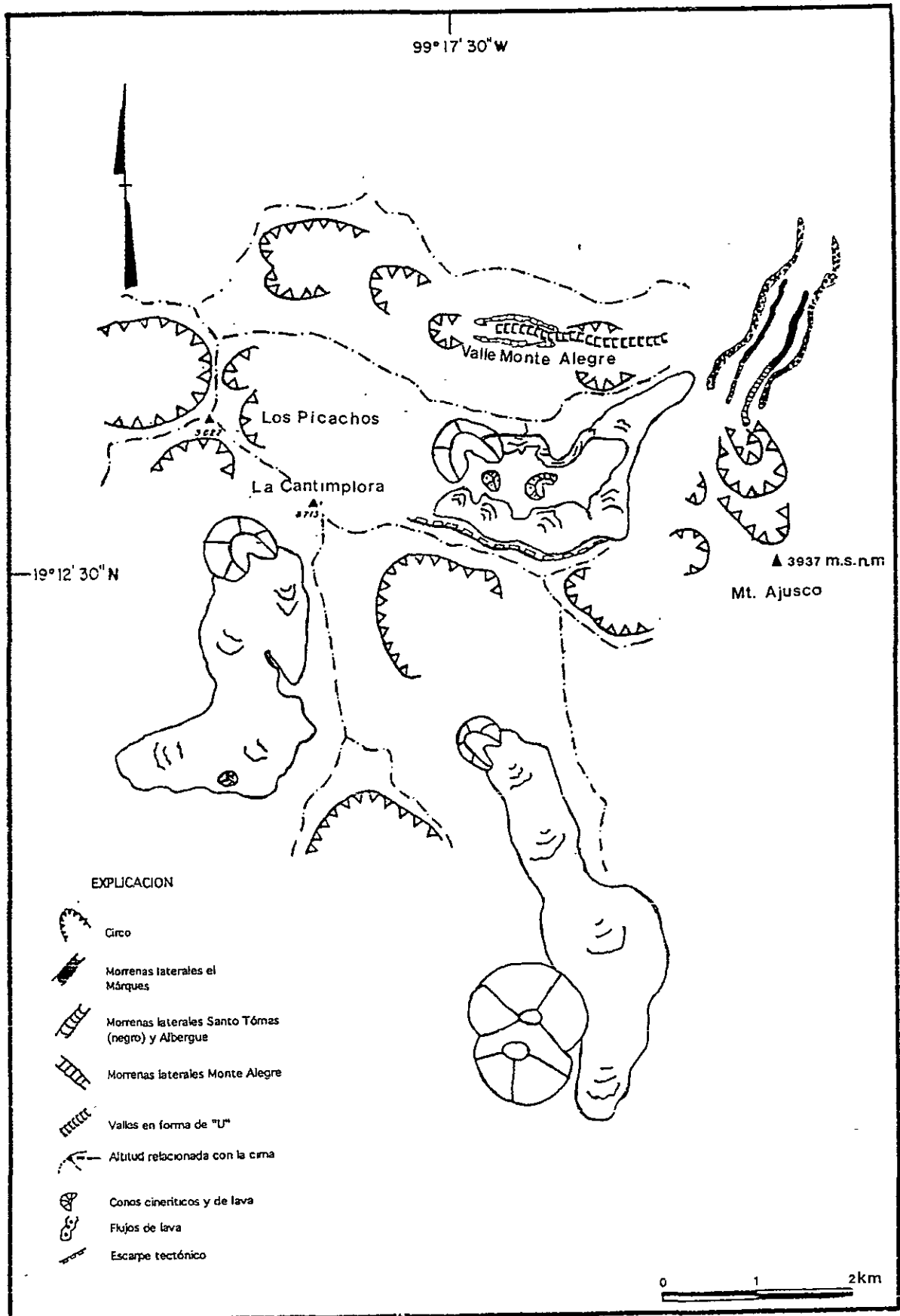


Fig. II.5 Mapa geomofológico. Rasgos glaciares del volcán Ajusco de acuerdo con Delgado y Martín del Pozzo, 1993.

Dicho colapso comprende la porción norte del volcán, dando origen a un circo de derrumbe, la distancia aproximada entre los picos es de 4 km y apuntan hacia el NE. Posteriormente, los glaciares ocuparon el circo que dejó el colapso.

### **b) Circos glaciales**

Los circos son producidos por los defectos combinados de la acción periglacial y la erosión glacial, localizados generalmente en la cabecera de un valle profundo (Summerfield, 1991).

El término periglacial fue introducido por Lozinski, 1909 in Rise 1983, para referirse al área que bordea un casquete glaciar continental y se caracteriza por la severidad de su clima. Actualmente el término se aplica a ambientes donde la acción de congelar y descongelar es frecuentemente o donde el proceso superficial fué dominante durante el Pleistoceno.

### **c) Morrenas**

Las formas de acumulación glacial más representativas, son las morrenas que se originan por los detritos rocosos que transportan los glaciares (till) y son depositados en el frente de estos (morrenas frontales), en sus flancos (morrenas laterales) o los que permanecen como remanentes sobre el antiguo cauce cuando los hielos se retiran (morrenas basales), los cuales se sitúan en los fondos planos de los valles en "U" originados por la erosión glacial (Lugo, 1991).

Las morrenas frontales también pueden definirse como crestas de materiales de depositación glacial acumulados a lo largo de márgenes terminales de una masa de hielo en movimiento, el desarrollo de estas morrenas pueden ser debido en parte a la extrusión de detritos igualmente saturados, debajo de los frentes de las masas de hielo en movimiento. En las morrenas laterales, la mayoría de los detritos de ellas proceden de la caída de la roca, más que a la propia erosión glacial (Rise, 1983).

El relieve del volcán Ajusco, se debe de manera general a la existencia de una pendiente de por lo menos 14°. Se ha considerado que el flujo de hielo tuvo

más posibilidades de deslizarse, así de esta manera podría explicarse la presencia de morrenas frontales en la cota 2990. Dichas morrenas se encuentran muy erosionadas y cubiertas por el desarrollo de suelo y vegetación, además de estar cubiertas de tefras pertenecientes a los eventos volcánicos recientes.

#### **d) Planicies o superficies residuales.**

Están comprendidas en las partes bajas de la zona de estudio, constituidas por el material que ha sido transportado por los diferentes procesos de erosión, además han sido cubiertas por tefras indiferenciadas recientes.

Es posible que su origen se deba a que las lluvias provocan una gran remoción de detritos, es decir, se lleva a cabo un lavado superficial, dicho material posteriormente es transportado y depositado en las partes bajas que presentan una pendiente de 3° a 4°

### **III. GEOLOGÍA**

#### **III.1 Esquema Geológico General**

La región en la que se ubica el Volcán Ajusco, pertenece a la porción central de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), donde las rocas volcánicas son principalmente de composición andesítica y dacítica. Aquí, los volcanes activos se extienden desde Nayarit hasta el sur de Veracruz (fig. III.1). Esta constituye una de las regiones más activas del territorio mexicano cuyo marco tectónico, de acuerdo con Drummond en 1981 in Swinamer, 1989; está integrado por la trinchera mesoamericana, la dorsal del Pacífico Oriental, la Placa de Cocos y la placa de Rivera. Demant (1982) consideró que el volcanismo de la parte central y oriental de la FVTM está en relación con la subducción de la Placa de Cocos. Considero que hay algunas variaciones en la geoquímica de las rocas de oeste a este, que parecen relacionarse con los cambios en la edad y espesor de la Placa de Cocos.

Los cambios de los focos magmáticos de la FVTM, posiblemente reflejan las variaciones de ángulo de subducción y de profundidad que tiene la placa de Cocos, con la placa continental de Norteamérica. Otro parámetro significativo, es la velocidad de desplazamiento relativo entre ambas placas; estos factores geológicos han dado como consecuencia que se reconozcan cuando menos dos etapas mayores de vulcanismo durante el Oligoceno-Mioceno y el Plioceno-Cuaternario, (Venegas y colaboradores, 1985).

En la FVTM, el vulcanismo poligénico y monogénico ocurrieron con la deformación extensional desde el Mioceno. A escala regional, la deformación esta manifestada por dos grupos de fallas. El grupo dominante consiste de fallas normales casi paralelas al arco. en el otro grupo son fallas normales con una orientación N-NW que cruzan el arco, sobre los límites de bloques corticales. En la FVTM el desarrollo del vulcanismo poligénico se desarrollo a lo largo de fallas de esfuerzos pequeños y los volcanes monogénicos son emplazadas a lo largo fallas que han tenido grandes esfuerzos, además el esfuerzo local mas que el

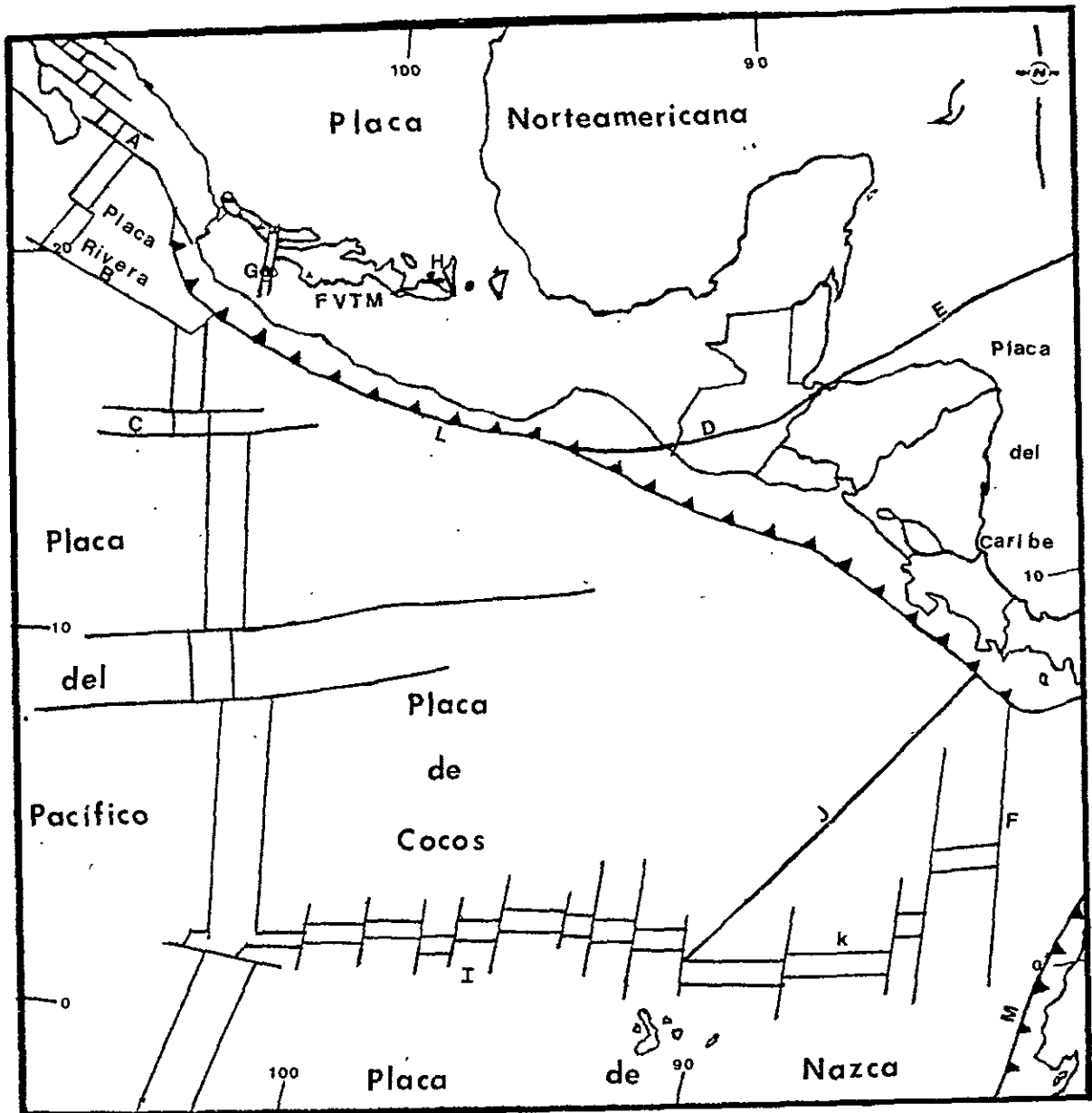


Fig.III.1 Mapa Tectónico, presenta la distribución del ambiente tectónico mayor en la región Central de América (Drummond 1981 in Swinamer, 1989).

- A Zona de fractura Tamayo
- B Zona de fractura Rivera
- C Zona de fractura Orozco
- D Zona de fractura de Montagua
- E Zona de fractura Swan
- F Zona de fractura Panamá
- G Graben de Colima
- H Ciudad de México
- I Cresta de los Galápagos
- J Cresta de Cocos
- K Cresta de Carnegie
- L Fosa Meso-Americana
- M Fosa Perú-Chile
- FVTM Faja Volcánica Trans-Mexicana

esfuerzo regional controlan la coexistencia de ambos tipos de vulcanismo en la FVTM (Alaníz-Alvarez y colaboradores, 1998).

La Cuenca de México se localiza en el borde meridional de la mesa central del sur, sobre la cual se edificó un tramo de la FVTM, esencialmente durante el Plioceno-Holoceno. El Volcán Ajusco y la Sierra de Las Cruces delimitan a la Cuenca de México en la parte poniente y sur poniente la Sierra Chichinautzin (fig. III.2). Las partes centrales y noroccidentales están ocupadas por área urbana de la Ciudad de México.

Delgado y Martín del Pozzo (1993), consideran que entre el Plioceno Tardío y el Holoceno ocurrieron tres diferentes períodos de vulcanismo en la región donde se unen las Sierras de Las Cruces, el Ajusco y Chichinautzin. Durante el período Eruptivo Ajusco (Pleistoceno Medio), el volcán se formó por el emplazamiento de varios domos de lava dacítica y andesítica.

## **III.2 Estratigrafía**

### **Rocas Volcánicas**

#### **III.2.1 Plioceno**

##### **Formación Las Cruces (TLC)**

La etapa eruptiva que precede al surgimiento del volcán Ajusco, corresponde a la Formación Las Cruces. Definida por Schlaepfer (1968) y descrita por Sánchez-Rubio (1978) como una serie dacítica porfirítica, más tarde Delgado y Martín del Pozzo (1993) consideran que el período eruptivo Las Cruces está representado por la actividad del volcán poligenético Los Picachos esta constituido por flujos piroclásticos dacíticos, lahares y lavas de la Formación Las Cruces constituido de dos miembros (Brecha Piroclástica Cantimplora y Lava Dacítica Apilulco), formada principalmente durante el Plioceno Tardío-Pleistoceno





Temprano. Esta formación es el conjunto de tres estratovolcanes (La Palma, Los Picachos y Los Tepalcates) alineados en una dirección que es casi N-S, dicha formación se distribuye en el límite sudoccidental de la Cuenca de México (fig. III.3 y III.4).

### **III.2.2 Pleistoceno**

#### **Formación Ajusco**

Schlaepfer (1968) nombra Formación Ajusco, al conjunto formado por varias rocas volcánicas cuyo origen se atribuye a mantos andesíticos-dacíticos. Mooser (1963) nombró Serie-Andesítica Ajusco a los distintos cuerpos de roca, Martín del Pozzo en 1980, considera que El Tanque y el Santo Tomás son volcanes adventicios del volcán compuesto Ajusco. Urrutia y colaboradores (1981), reconocieron polaridades inversas de las rocas de la Formación Ajusco, indicando una edad mínima de 0.73 Ma. Mora y colaboradores (1991), obtienen un dato de  $0.394 \pm 0.155$  Ma de un basalto sobre el flanco sur del volcán Ajusco. Delgado y Martín del Pozzo (1993) le asignan una edad mayor a los 0.73 Ma.

En este trabajo se considera al volcán Ajusco como una serie de domos dacíticos y andesíticos acompañados de flujos piroclásticos de bloques y cenizas. La Formación Ajusco (fig. III.5), se ha dividido en varios miembros descritos a continuación:

#### **a) Miembro de Lava Dacita Cruz del Marqués(QCM)**

La dacita Cruz del Marqués, dacita pofirítica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda en una matriz vítrea (muestra CM-4), se localiza en el cerro que lleva dicho nombre, el cual está comprendido en el extremo SW del volcán Ajusco con una altura aproximada de 3930 msnm, presenta un relieve muy erosionado, producto del período glacial que estuvo presente en esta zona y el

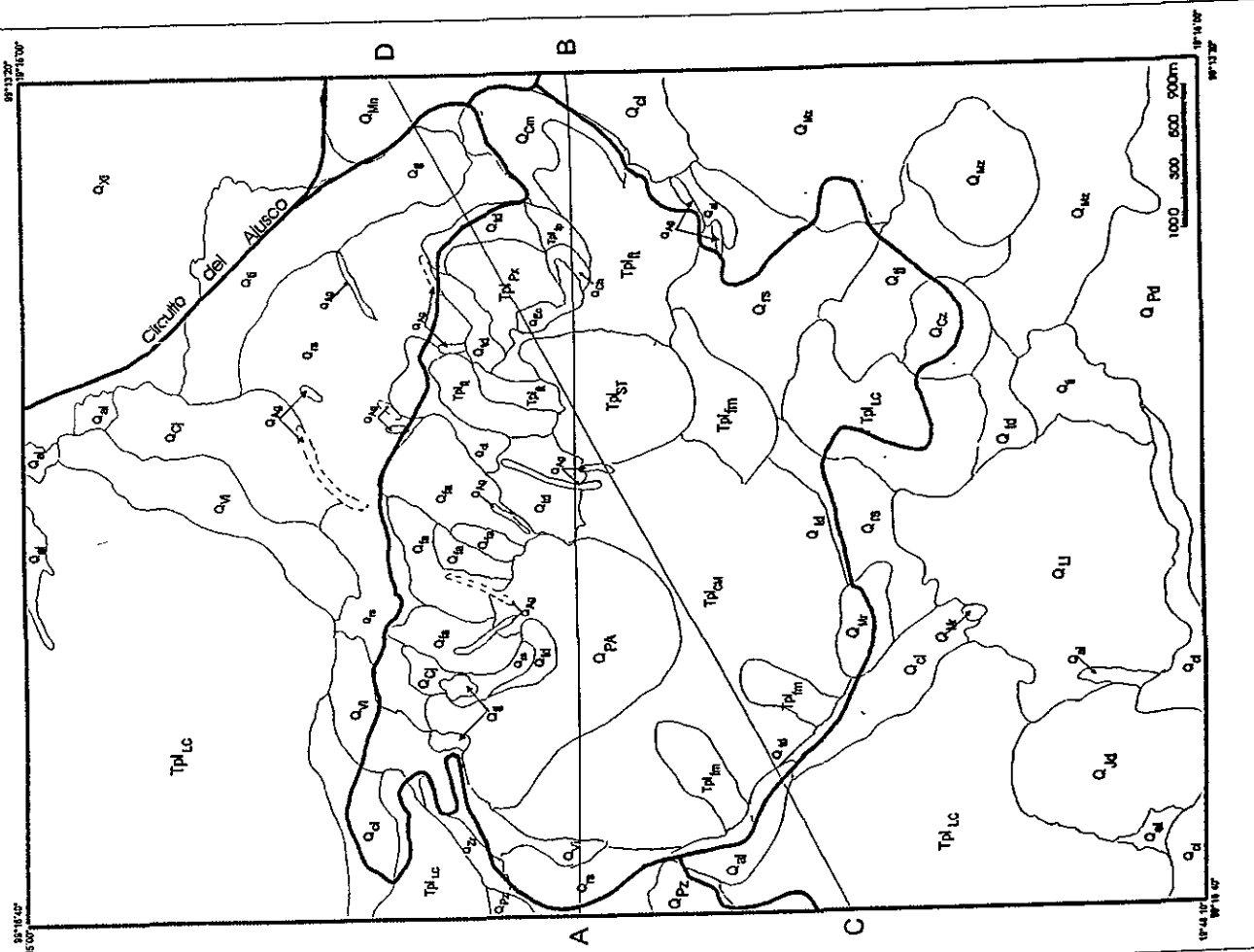
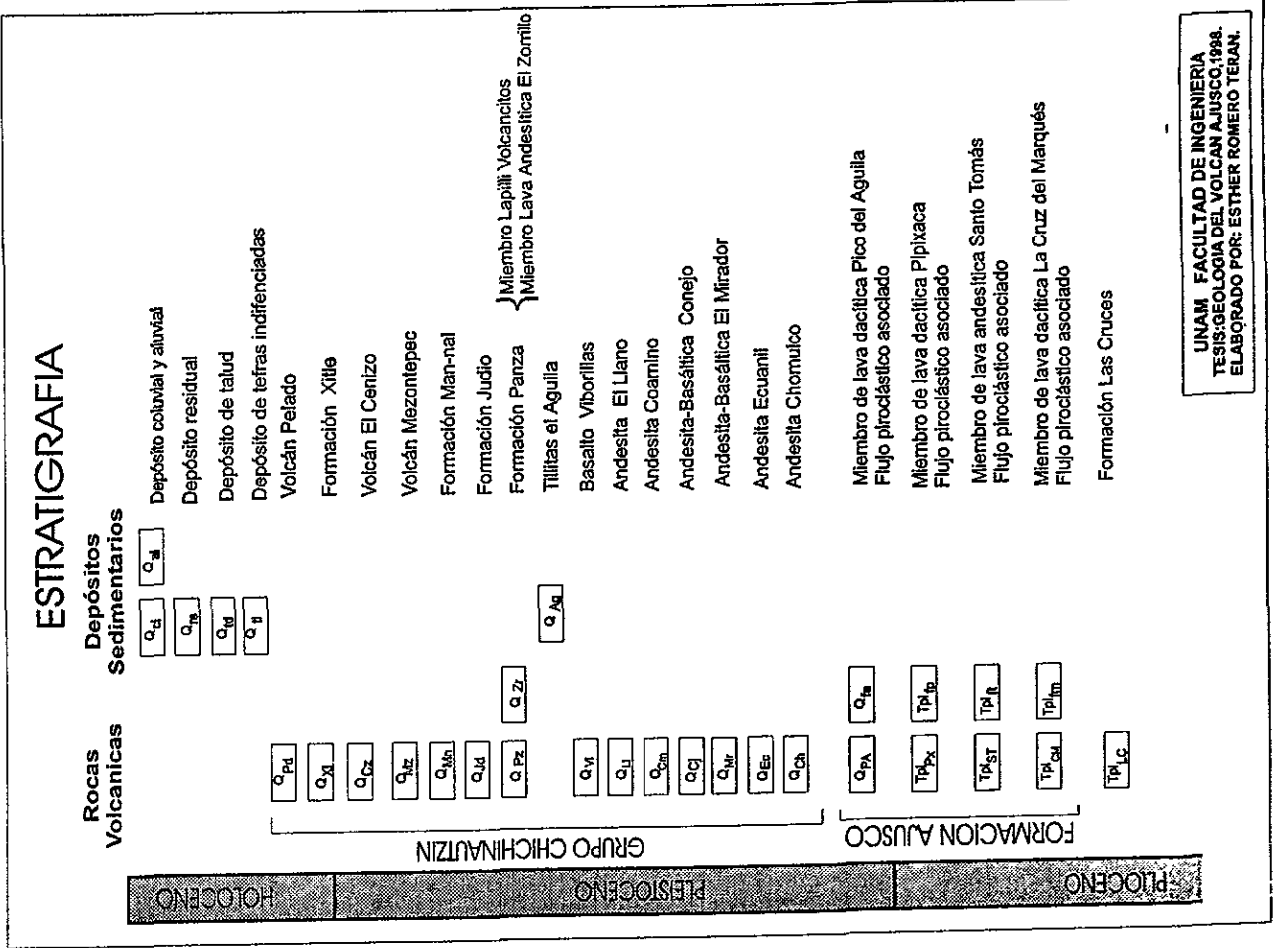


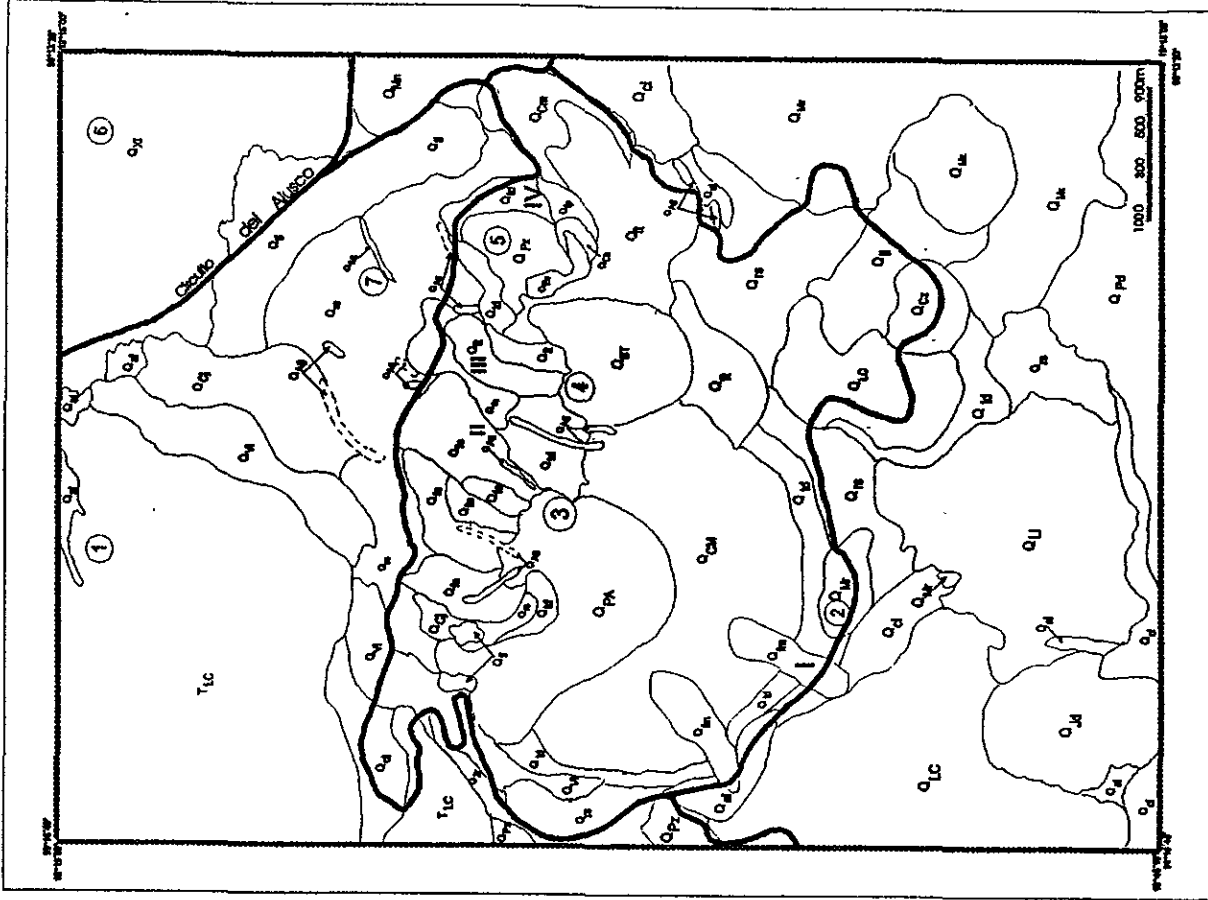
Fig. III.3 Mapa geológico del Volcán Ajusco y su entorno.



UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS: GEOLOGIA DEL VOLCAN AJUSCO, 1988.

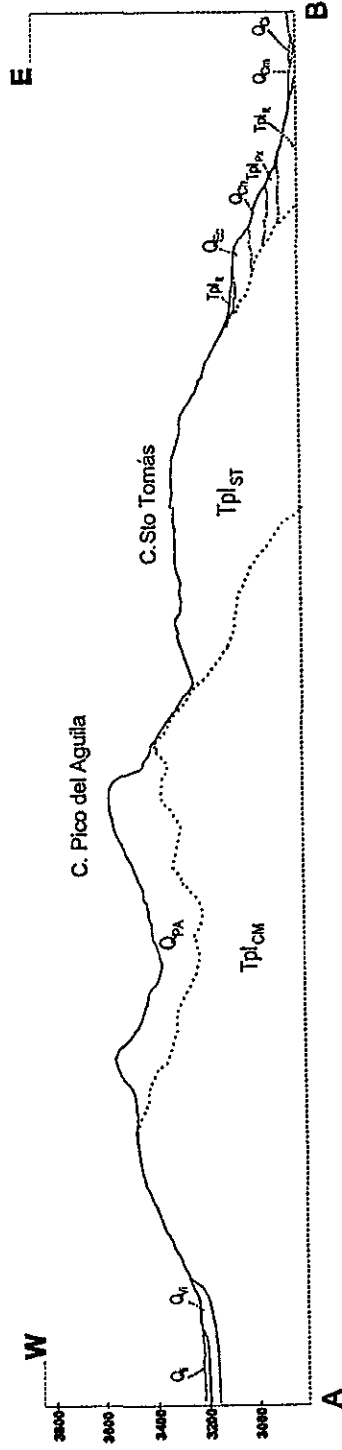
ELABORADO POR: ESTHER ROMERO TERAN.



Localidad	Latitud y Longitud	Edad	Autor
Tierras del Aguila (7)		27,000 años	White et al, 1991
Formacion Xite (6)		2025 ± 65 años	Delgado et al, 1985
El Mirador (2)	19°11' 45" N 99°15' 36" W	0.39 ± 0.16 Ma	Mora et al, 1991
Pico del Aguila (3)	19°12' 59" N	0.67 ± 0.6 Ma	En este trabajo
Pipixaca (5)	19°13' 20" N	2.1 ± 0.6 Ma	En este trabajo
Santo Tomas (4)	19°13' 26" N	3.48 ± 0.42 Ma	En este trabajo
Magdalena Comieros (1)		1.92 ± 0.13 Ma	Mora et al, 1991

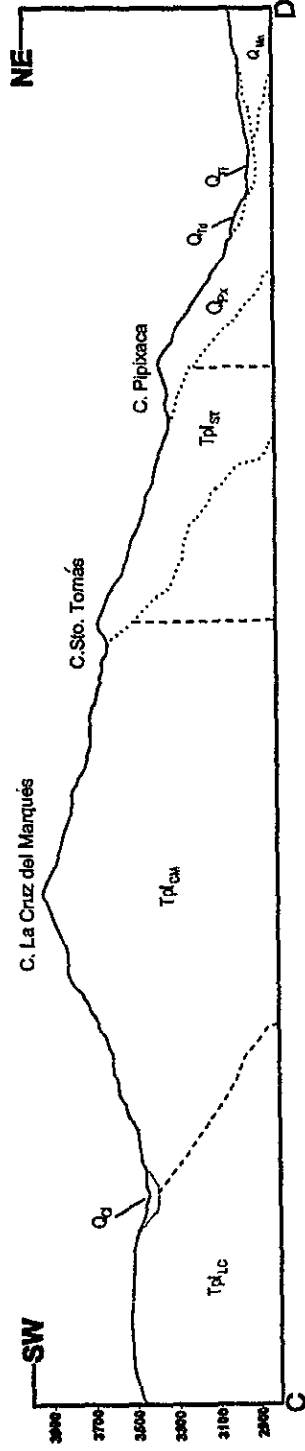
- Ubicación de Columnas:
- I - Flujo Piroclástico Marqués
  - II - Flujo Piroclástico El Aguila
  - III - Flujo Piroclástico Tomás
  - IV - Flujo Piroclástico Pipixaca

Fig. III.6 En este mapa se localizan los lugares en donde se tomaron muestras para fechamientos y descripciones de columnas.



$Q_r$	Depósito Coluvial
$Q_c$	Depósito de Tefras Indiferenciadas
$Q_e$	Andesita Ecuaniil
$Q_b$	Andesita Chomulcal
$Q_r$	Basalto Vibonillas
$Q_{ca}$	Andesita Coamino
$Tpl_{pa}$	Miembro de Lava Dacítica Pipixaca
$Tpl_{sr}$	Miembro de Lava Andesítica Santo Tom s
$Tpl_{ca}$	Miembro de Lava Dacítica La Cruz del Marqu s

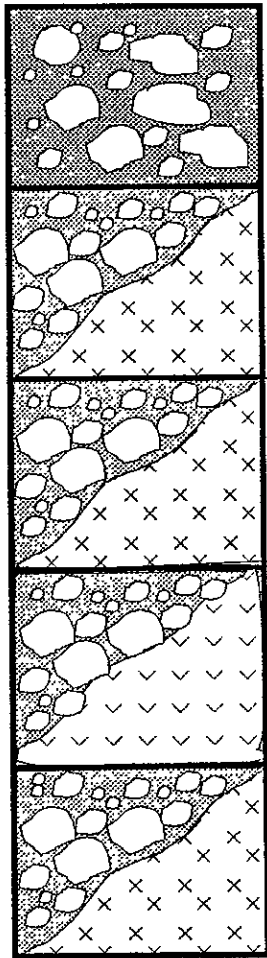
Fig. III.14 Sección geológica del área de estudio



- $Q_c$  Depósito Coluvial
- $Q_{tc}$  Depósito de Talud
- $Q_l$  Depósito de Tefras Indiferenciadas
- $Q_{lx}$  Formación Man-nal
- $Q_{px}$  Miembro de Lava Dacítica Pipixaca
- $Tpl_{st}$  Miembro de Lava Andesítica Santo Tomas
- $Tpl_{ca}$  Miembro de Lava Dacítica La Cruz del Marques
- $Tpl_c$  Formación Las Cruces

Fig. III.14 Sección geológica del área de estudio

# FORMACIÓN AJUSCO



Depósito de Avalancha de  
Escombros Zacatépetl

Miembro de Lava Dacítica Pico del Agulla

Miembro de Lava Dacítica Pipixaca

Miembro de Lava Andesítica Santo Tomás

Miembro de Lava Dacítica La Cruz del Marqués

Fig. III.5 Unidades estratigráficas que pertenecen a la Formación Ajusco

constante intemperismo. En la parte SW del domo presenta zonas escarpadas, además de presentar depósitos de talud en las partes mas bajas.

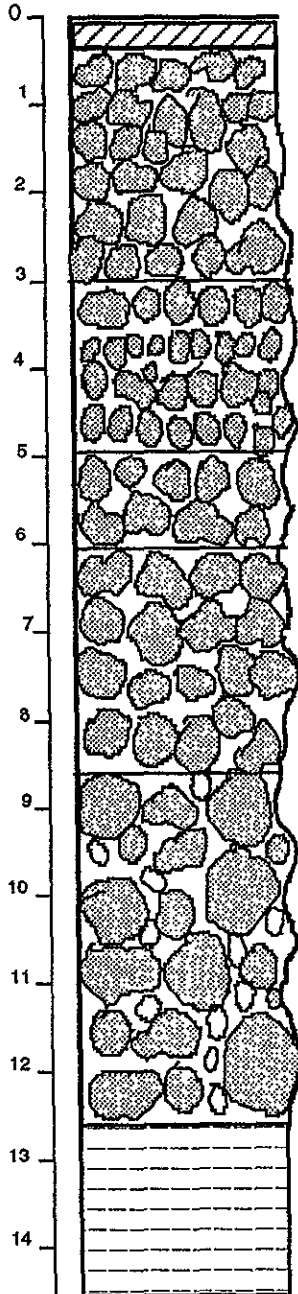
Esta unidad probablemente tiene una edad mayor a 3 Ma. Comprende el primer emplazamiento que dió origen al volcán Ajusco, como el producto de procesos combinados, es decir, por emisión de material de composición dacítica acompañada de flujos piroclásticos de bloques y cenizas. Se ha considerado que fue el primer domo que se emplazo, debido a que es uno de los domos mas erosionados e intemperizados, la morfología muestra que es un cuerpo independiente de los demas, ya que se observa que los domos mas jovenes de los cuales se tienen sus edades se emplazaron sobre dicho domo y su área abarca la mayor parte del volcán. La roca es de color gris claro al fresco y color de intemperismo pardo rosado, los minerales se encuentran muy alterados, presentando una gran mayor cantidad de minerales arcillosos y de oxidos de fierro.

La sección en donde se describió el flujo piroclástico asociado al domo Cruz del Marqués se localiza al SW de dicho domo (fig.III.6 y III.7), con un espesor de 12.5 m, esta constituida por 5 unidades, cada una con diferentes espesores, a esta sección le sobreyace una pequeña capa de suelo y le subyace el macizo rocoso del domo, este depósito se adelgaza hacia la parte mas baja conforme al eje de dispersión dando una forma lobulada, los tamaños de los clastos van disminuyendo de igual manera. Verticalmente y en dirección del eje de dispersión presenta una forma lenticular. La principal estructura que se presenta es la estratificación gradada dentro de las secuencias, la imbricación es incipiente.

### **b) Miembro de Lava Andesítica SantoTomás(QST)**

La andesita Santo Tomás se localiza al NE del volcán Ajusco, formando el Cerro Santo Tomás con una altura de 3610 msnm. El domo se origino hace  $3.43 \pm 0.42$  Ma debido a procesos combinados, es decir por emisión de lavas de composición andesítica y dacítica, la andesíta es de color gris claro al fresco con una textura porfírica con fenocristales de plagioclasa, homblenda, en una matriz vítrea (muestra ST-2) y la dacítica con textura porfírica con cristales de

(m)



Suelo

Depósito de material de composición dacítica de forma subangulosa - angulosa , con estratificación incipiente de tamaños que van desde 5 a 20 cm los clastos se encuentran en contacto y la matriz es de ceniza lapilli la cual es muy escasa.

Depósito de material el cual presenta gradación inversa, imbricación al SW 60° y con estratificación en la parte superior, presenta clastos de composición dacítica de forma subangulosa su tamaño son de 15 a 30 cm, los más abundantes son los de 15 cm hacia la parte inferior los clastos de menor tamaño ( 5-0.5 cm ) de forma subangulosa a redondeada matriz de ceniza-lapilli, en la parte inferior la secuencia es parecida solo que la cantidad de matriz a disminuido notablemente.

El material presenta clastos de composición dacítica de forma subangulosa a angulosa , con tamaños desde 0.5 a 30 cm con una estratificación incipiente, la maytriz es de ceniza-lapilli es muy escasa ya que los clastos se encuentran en contacto.

Los clastos presentan una forma que va de subangulosa a subredondeada , se encuentran en contacto con tamaños desde de 0.5 a 40 cm los mas pequeños van de 5 a 0.5 cm de forma subangulosa, matriz de ceniza -lapilli, con estratificación e imbricación incipiente, la composición de la roca es andesítica.

Clastos de composición andesítica de forma subangulosa a subredondeada (clastos grandes) ,los clastos pequeños son de forma angulosa matriz de ceniza-lapilli , no presenta imbricación , ni gradación con tamaños que van desde 5 a 30 cm,grandes y pequeños 0.5 a 2.0 cm .

Roca masiva con un color de intemperismo rosado y al fresco gris pardo , dacita porfírica con fenocristales de plagioclasa , hornblenda en una matriz vítreo.

Fig. III.7 Flujo piroclástico asociado al Miembro de Lava Dacítica La Cruz del Marqués localizada al SW de dicho domo.



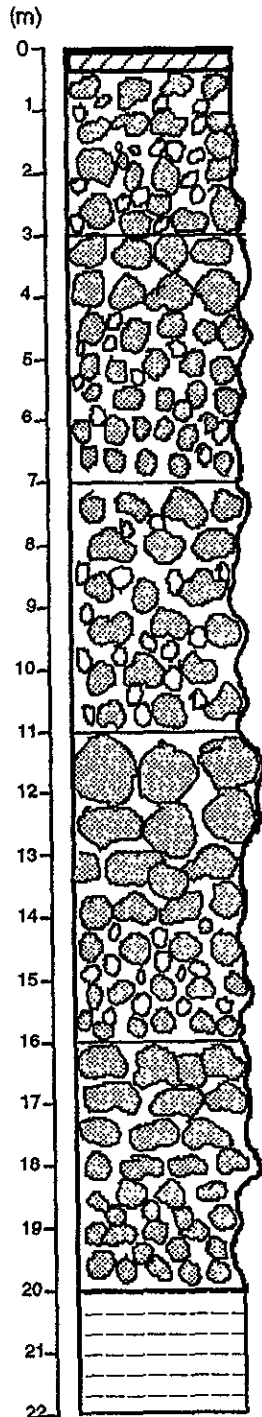
hornblenda, oligoclasa, andesina en una matriz vítrea con minerales arcillosos ausencia de fenocristales (muestra ST-5), acompañado por flujos piroclásticos de bloques y cenizas, la sección tipo se localiza al NE y otra al SW del domo.

La sección localizada al NE del domo (fig. III.8), de manera general el depósito presenta dos partes la superior soportada por matriz y la inferior soportada por bloques, el depósito tiene un espesor de 22 m, esta constituida por 5 unidades, cada una con diferentes espesores, a esta sección le sobreyace una pequeña capa de suelo y le subyace el macizo rocoso del domo, este depósito se adelgaza hacia la parte mas baja conforme al eje de dispersión dando una forma linguoide, los tamaños de los clastos van disminuyendo de igual manera. Verticalmente y en dirección del eje de dispersión presenta una forma lenticular. La principal estructura presente es la estratificación gradada dentro de las secuencias y la imbricación es incipiente. El flujo piroclástico asociado presente en la parte SE de dicho domo se encuentra cubierto por depósitos de tefras indiferenciadas.

### **c) Miembro de Lava Dacítica Pipixaca (Q<sub>px</sub>)**

La dacita Pipixaca se localiza en el extremo SE del edificio volcánico, con una altura de 3370 msnm, con una edad de  $2.1 \pm 0.6$  Ma en la cima la superficie esta muy fracturada, el domo esta constituido por una dacita porfírica con fenocristales de plagioclasa, la hornblenda (Px-1), disminuyó notoriamente con relación al domo Santo Tomás.

Este domo al igual que los demás esta acompañado por flujos piroclásticos de bloques y cenizas, con un espesor de 10.5 m esta contituida por 3 unidades, cada una con diferentes espesores, en la parte superior presenta material constituido por bloques dacíticos de forma subredondeada, soportados por clástos de menor tamaño de forma subangulosa, el tamaño de los bloques son de 1.5 a 2 m y los clástos pequeños entre 10 a 20 cm con un espesor de 3 m, hacia la parte inferior el tamaño de los clástos dacíticos van disminuyendo su forma subangulosa a subredondeada, presentan gradación invertida e imbricación con una orientación al N57°E y estratificación incipiente, a este depósito le sobreyace el flujo de lava Chomulco, cubriendo la parte proximal del depósito (fig. III.9)



**Paleosuelo-suelo**

Depósito de material homogéneo constituido por clastos de dacita de forma angular, no presenta imbricación, ni estratificación, el tamaño de los clastos son desde 12-21 cm, los más abundantes son los de 1-2.5 cm, la matriz es de ceniza-lapilli constituida por cuarzo alterado, lílicos y plagioclasa de forma subredondeada.

Depósito de material con estratificación incipiente, presenta imbricación hacia el NE, gradación invertida, se observa contacto entre clastos de forma angular a subangular los tamaños de 7 a 20 cm predominando los de 10 cm, la roca que constituye al depósito es una matriz porfirítica en una matriz vítrea.

Depósito de material constituido por clastos de forma subangular a subredondeada con tamaños que van desde 15-70 cm (los más abundantes son los de 15-25 cm), también de 2-8 cm y los más pequeños son de 0.5-1.5 cm de forma angular el material se encuentra en una matriz de ceniza-lapilli, presentando imbricación y estratificación incipiente.

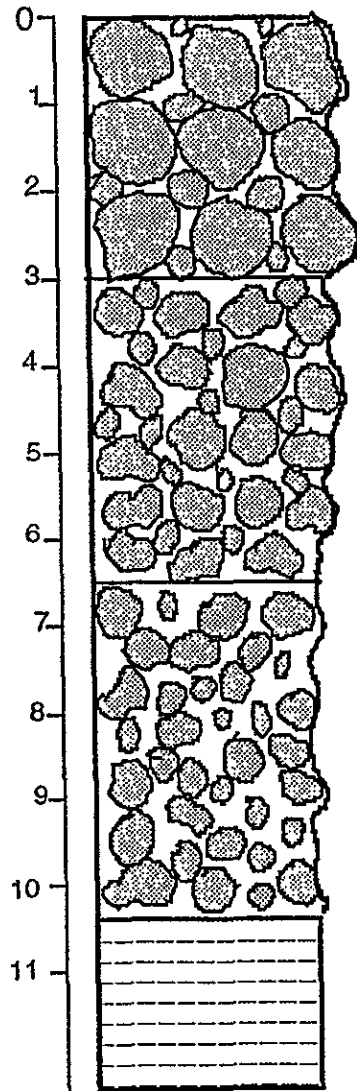
Depósito con gradación invertida constituida con clastos pequeños de 3-8 cm aumentando de tamaño desde 25 cm a 3.0 m, tienen forma angular, existe contacto entre ellos, se encuentran en una matriz de ceniza-lapilli, están imbricados hacia el norte, los bloques son andesitas.

Depósito con gradación invertida con una imbricación hacia el norte los bloques son de composición andesítica con tamaños que van desde 20 cm a 1.7 m y de 3.0 m a 5.0 cm, los clastos grandes tienen forma subangular y los de menor tamaño son subangulosos a subredondeados, los cuales se encuentran en contacto.

Roca masiva con color de intemperismo rosado y al fresco gris pardo, andesita porfirítica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda en una matriz vítrea.

Fig. III.8 Sección tipo ubicada al NE del domo Santo Tomás. Flujo piroclástico asociado al Miembro de Lava Andesítica Santo Tomás.

(m)



Depósito de material constituido por bloques de aproximadamente 1.5-2.0 m de forma subredondeada, los clastos se encuentran en contacto, los cuales estan soportados por clastos de menor tamaño con forma subangulosa de composición dacítica

Depósito de material constituido por clastos de dacita de forma subangulosa presenta una estratificación e imbricación incipiente, los clastos se encuentran en contacto, los tamaños son desde 30 cm hasta 3 mm. La matriz es de ceniza lapilli y hacia la parte inferior los tamaños van desde 70 cm a 1 cm y su forma es subangulosa a subredondeada.

Material constituido por clastos de composición dacítica de forma subredondeada, con tamaños que van desde 30 cm a 3 mm, la imbricación presenta una orientación de 57°NE, presenta gradación invertida y estratificación incipiente.

Roca masiva con color de intemperismo rosado y al fresco gris pardo, dacita con fenocristales de plagioclasa, homblenda en una matriz vítrea.

Fig. III.9 Depósito piroclástico asociado al Miembro de Lava Dacítica Pipixaca, localizada al SW de dicho domo.

#### **d) Miembro de Lava Dacítica Pico del Aguila (QPA)**

Se localiza en el cerro que lleva dicho nombre con una altitud de 3880 msnm. constituido por dacitas con textura porfírica en una matriz vítrea, presenta fenocristales de plagioclasa y hornblenda principalmente muestra PA-1; este domo tiene una edad de  $0.67 \pm 0.6$  Ma al igual que los otros domos esta acompañado por flujos piroclásticos.

El flujo piroclástico asociado, se localiza al NE del domo (fig.III.10), tiene como característica la presencia de un depósito constituido por bloques desde 30 cm a 2.5 m de forma angulosa a subangulosa; la matriz esta soldada y constituida por clastos pequeños de menos de 50 cm. La estructura principales la estratificación gradada, gradación e imbricación son incipientes, el espesor del depósito es de 17 m.

En el extremo NW se encuentra parte del un escarpe de falla de tipo normal la cual fue el producto del colapso estructural al igual que el circo de derrumbe presente en el NW del domo.

#### **e) Depósito de Avalancha de Escombros Zacatépetl (QZa)**

Wittich (1919) describe parte de esta unidad como lomas andesíticas pertenecientes petrográficamente al Ajusco como resultado de desprendimientos anteriores (refiriéndose al Cerro Zacatépetl). Maldonado-Koerdell (1954) se refiere al cerro Zacatépetl como una roca andesítica emplazada por volcanes de las serranías del Ajusco y de Las Cruces. Mooser (1962) incluye al Cerro Zacatépetl dentro de la Formación Xochitepec. Schlaepfer (1968) incluye al Cerro Zacatépetl y a las rocas que afloran al oeste de Tlalpuente como rocas volcánicas del Terciario Medio. Vazquez-Sánchez y Jaimes-Palomera (1989) incluyen al Cerro Zacatépetl como parte de la Formación Las Cruces. Cervantes y Molinero (1995) definen el Miembro de Depósito de Avalancha de Escombros Zacatépetl formados por el Colapso Estructural del volcán Ajusco, produciendo un depósito de avalancha de escombros tipo Bandai, con un volumen aproximado de

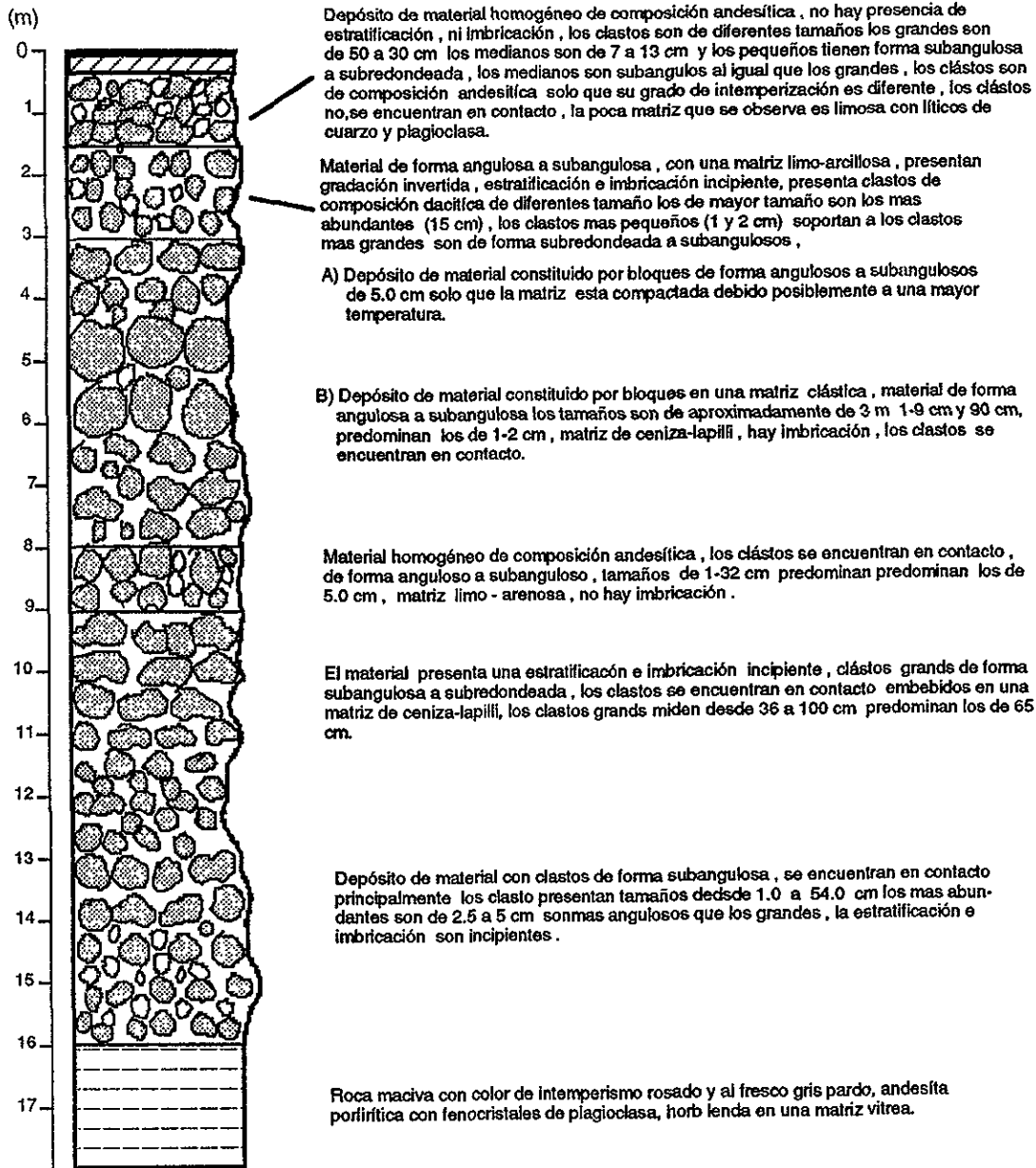


Fig. III.10 Depósito piroclástico asociado al Miembro de lava dacítica Pico del Aguila localizada al NE de dicho domo.

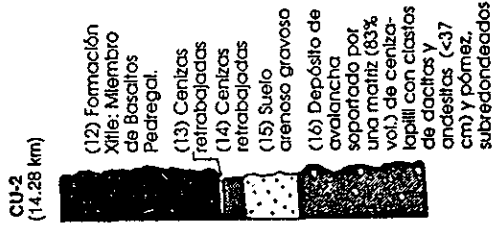
1.4 km<sup>3</sup>, el cual se emplazó a una distancia de 16 km lo clasificaron como un evento de tipo Bandai.

Mencionan que este depósito no presenta muchos afloramientos puesto que ha sido cubierto por eventos volcánicos posteriores y ocultados por el crecimiento de la Ciudad de México. El depósito presenta las facies características de los depósitos de avalancha de escombros (facies de matriz y facies de bloques) así como facies intermedias entre estas (fig. III.11).

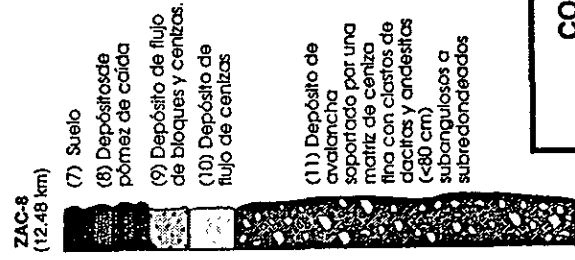
Para la facies de bloques (proximal) definen la sección que se encuentra dentro del Parque Ecológico de la Universidad Nacional Autónoma de México, al oeste de Tlalpuente. El depósito de avalancha de escombros consta, en esta parte de una roca dacítica que en algunas partes presenta bandeamiento y que presenta fracturas irregulares (en rompecabeza). Existen grandes fracturas con pequeños bloques y matriz de ceniza-lapilli formada por cristales y material triturado de la misma roca, este depósito presenta en la parte superior un suelo desarrollado. El espesor de la unidad en esta localidad debe de ser mayor 50 m (no se encontro la base del depósito). La sección se encuentra rodeada por lavas de la Formación Xitle notándose un contacto claro entre estas unidades.

Para la facies intermedia se definen dos localidades la Barranca de las Fuentes Brotantes y el Cerro Zacatépetl. La Barranca de las Fuentes Brotantes se encuentra dentro del Parque Nacional del mismo nombre, al sur de la Ciudad de México. El depósito presenta dos partes, la superior soportada por matriz y la inferior soportada por bloques. La parte inferior está soportada por clastos de andesita y dacitas que van desde 1.5 cm hasta 1.18 m con un promedio entre los 15 a 20 cm, los clastos son angulosos a subangulosos, se encuentran en una matriz de ceniza gruesa (45% vol.) color ocre formada por el mismo material de los clastos presentan una imbricación en dirección N40°E. La parte superior, soportada por una matriz de ceniza-lapilli (64% vol.) presenta clastos andesíticos y dacíticos de 0.5 a 50 cm, subangulosos a subredondeados, se presenta la imbricación de los clastos, aunque en menor grado que en la parte superior. El espesor de este depósito es de aproximadamente de 25 m. El depósito se encuentra sobreyacido por la Formación Fuentes Brotantes en un contacto claro.

**Facies Distal**



**Facies Intermedia**



**Facies Proximal**

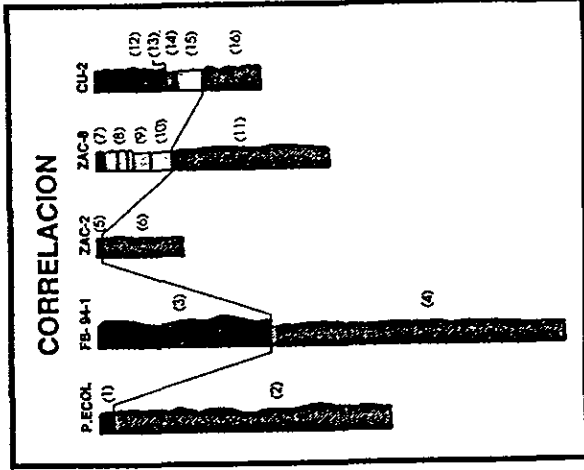
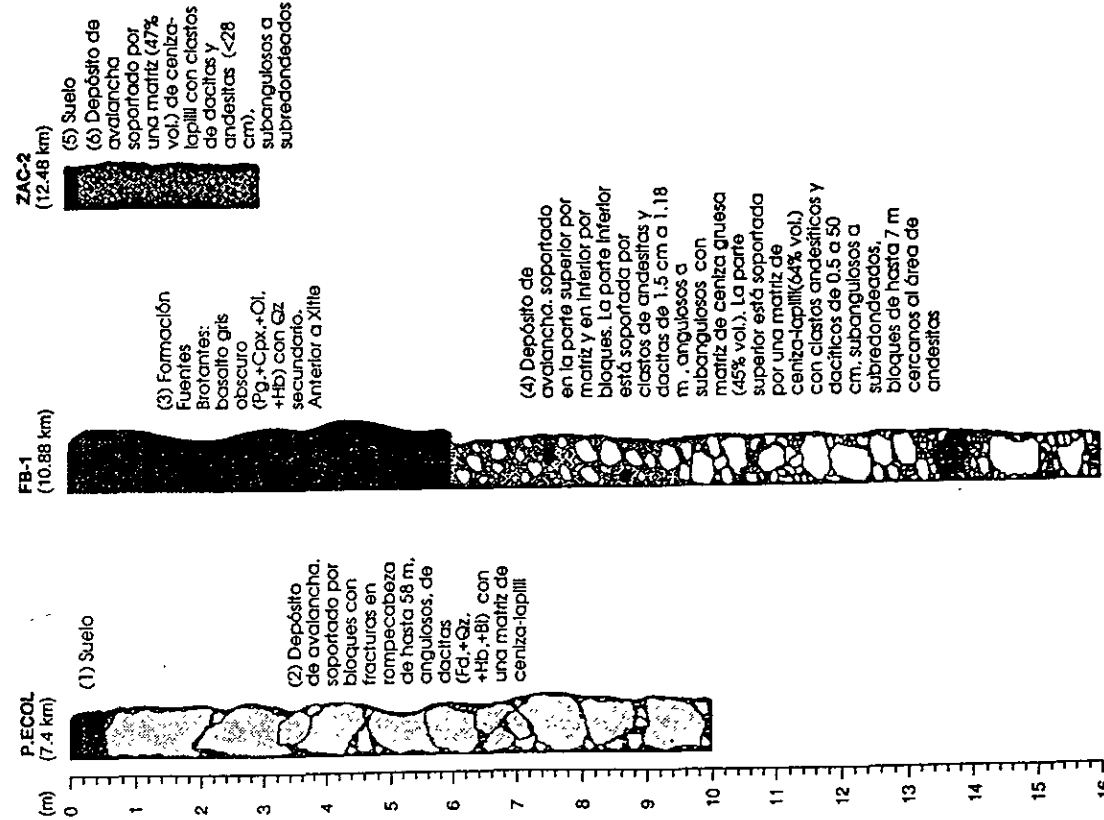


Fig. III.11 Depósito de avalancha de escombros Zacatépelt. Se presentan las características de este depósito en su facies proximal, intermedia y distal (Cervantes y Molinero, 1995).

El Cerro Zacatépétl, es un montículo (hummock) característico de este tipo de depósitos. En dicho Cerro se encuentra el depósito de avalancha de escombros soportada por bloques y por matriz. Los bloques consisten de andesitas que van desde angulosas a subredondeados, con tamaños entre los 0.01 m a de 2 m. La matriz es de ceniza-lapilli y está compuesta por fragmentos de los bloques y cristales provenientes de los mismos bloques y varía entre el 43% en volumen y el 57% en volumen. Tiene un espesor de por lo menos 80 m, en la parte superior desarrolla un suelo.

La facies de matriz (distal) se encuentran dentro del campus de la Universidad Nacional Autónoma de México. El depósito de avalancha se encuentra soportada por una matriz de ceniza-lapilli (83% vol.) con bloques de andesita y dacitas menores a 37 cm subredondeados, el espesor es mayor a 2 m. En la parte superior presenta un suelo arenoso-gravoso, sobre el cual se encuentran cenizas retrabajadas sobreyacidas a su vez por las lavas de la Formación Xitle y se encontraron depósitos de la Formación Las Cruces, se puede inferir que el depósito de avalancha de escombros sobreyace a esta Formación.

El depósito de avalancha de escombros Zacatépétl, es producto de un colapso estructural indicado por esfuerzos tensionales con una orientación NE-SW. Las fallas normales asociadas a estos esfuerzos tienen una orientación NW-SE. Los montículos formados por esta avalancha fueron cubiertos por las lavas de los volcanes Cuilotepec y Xitle

Es importante mencionar que de acuerdo a la información obtenida en campo y al análisis geomorfológico se concluyó, que no solamente se colapsó la parte noroeste del volcán sino que posiblemente se colapso toda la parte frontal del edificio, dejando la presencia del circo de derrumbe (fig.II.3), el cual presenta una superficie suavizada, debido al glacial que ocupó los valles (fig.III.12). fecha que ellos obtuvieron para una de las rocas.



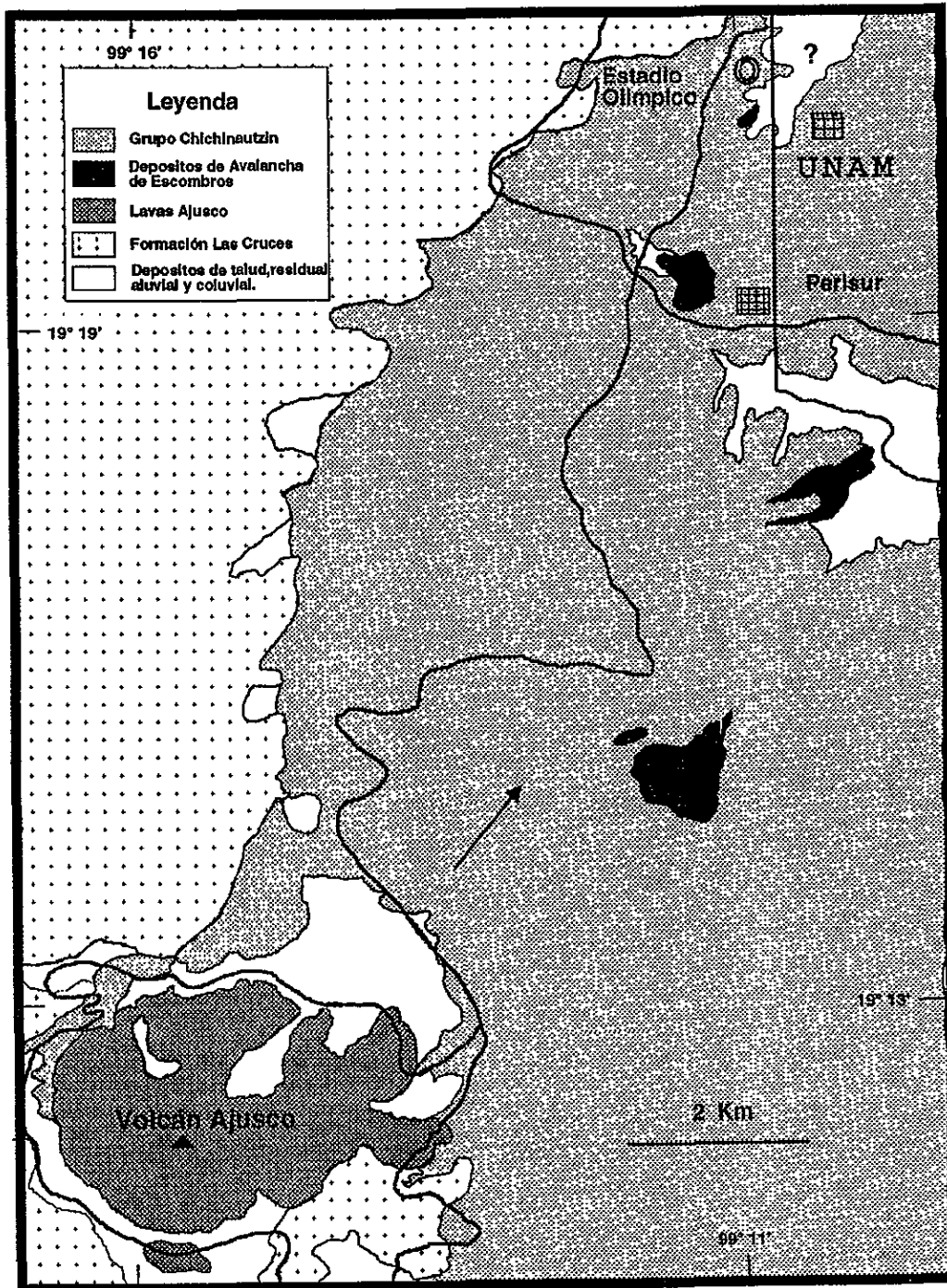


Fig. III.12 Distribución de los depósitos de avalancha de escombros Zacatpetl.

### III.2.3 Grupo Chichinautzin

Las emisiones del Grupo Chichinautzin, se realizaron a través de fracturas dirigidas de NE y SW. Están interestratificadas con depósitos lacustres, depósitos eólicos y suelos del Pleistoceno (Arellano, 1953).

Originalmente fue definido por Fries (1960) como grupo para comprender a “todas las corrientes lávicas, tobas, brechas y materiales clásticos interestratificados depositados por agua de composición andesítica ó basáltica que descansan arriba de la Formación Cuernavaca o de unidades más antiguas”; no publicó ninguna subdivisión.

Para Mooser (1963), los volcanes del Grupo Chichinautzin parecen haber surgido a lo largo de fracturas tensionales dirigidas de oeste-suroeste a este-noroeste sus lavas interrumpieron el drenaje antiguo y transformaron el Valle de México en una Cuenca cerrada. Schlaepfer (1968) le cambia el rango de grupo a Formación Chichinautzin. Bloomfield (1975), Martín del Pozzo (1982) y Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera (1989) le siguen denominando Formación Chichinautzin.

Delgado y Martín del Pozzo (1993) nuevamente le asigna el rango de grupo a las rocas de la Sierra Chichinautzin y consideran que entre el Plioceno Tardío y el Holoceno predomina el volcanismo monogenético de naturaleza estromboliana.

De acuerdo a las edades de Bloomfield (1975) y a los parámetros geomorfológicos utilizados por Martín del Pozzo (1982), la edad más antigua del Grupo Chichinautzin es el volcán Quepil, el cual tiene una edad de 38,000 a.

Cervantes y Molinero (1995), definen que la Formación Xitle esta constituida por dos unidades Holocénicas y le asignan una edad de  $2025 \pm 55$  años.

Arana y Delgado (1997), reportan que el carbón obtenido de los depósitos piroclásticos de ceniza pertenecientes al Volcán Pelado, arrojaron una edad menor a 1000 años (utilizando el método de  $^{14}\text{C}$ ), lo cual implica que el Volcán

Pelado es más joven que el Xitle y por consiguiente el más joven del Grupo Chichinautzin.

### **Andesita Chomulco (Qch)**

Aflora en la parte SE del Cerro Pipixaca, como un derrame de lava andesítica. Está andesita con textura porfírica constituida por fenocristales de plagioclasa y hornblenda, tiene una matriz microcristalina (muestra Px-3), la cual está compuesta de pequeños cristales de plagioclasa, hornblenda y minerales arcillosos, este flujo andesítico se encuentra cubriendo parte del depósito piroclástico Pipixaca y le sobreyace el flujo de lava Ecuaniil. La parte superficial del flujo se encuentra muy alterado formando una capa de suelo, además está cubierta por tefras indiferenciadas pertenecientes al período eruptivo Cuaternario. Su edad es Pleistoceno Tardío.

### **Andesita Ecuaniil (QEc)**

Flujo de lava andesítica ubicada en la parte SW del Cerro Pipixaca. En la parte proximal del derrame subyace el Miembro de Lava Dacítica Pipixaca y en la parte distal cubre al flujo de lava andesítica Chomulco. Las partes superficiales de este flujo se encuentran muy alteradas y cubiertas por tefras indiferenciadas pertenecientes al período eruptivo Cuaternario. Su edad es Pleistoceno Tardío.

### **Andesita-Basáltica Mirador (QMr)**

Mora y colaboradores (1991), la definen como un flujo de lava basáltica, con una edad de  $0.39 \pm 0.15$  Ma. Localizada al SW del Cerro La Cruz del Marqués definida en este trabajo como una andesita-basáltica presenta una textura porfírica con fenocristales de olivino y plagioclasa principalmente, la matriz microcristalina está constituida por pequeños cristales de plagioclasa, hornblenda y minerales arcillosos (muestra Mr-1). Este flujo sobreyace a parte de los depósitos piroclásticos asociados al domo La Cruz Marqués. Su extensión no es muy

grande debido a que la parte frontal del flujo se encuentran cubiertos por el flujo de lava andesítica El Llano. Su edad es Pleistoceno Medio.

### **Andesita-Basáltica Conejo (QCj)**

Este derrame de lava andesítica que forma escarpes pronunciados, las partes superficiales de este flujo se encuentran muy alteradas desarrollando una capa de suelo. Está formado por una andesita-basáltica con textura porfirítica compuesta por fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos, en una matriz microcristalina de plagioclasa, feldespato potásico, hornblenda y olivino (muestra Cj-1), en la parte distal del flujo subyace una brecha la cual se encuentra cubriendo parte de un flujo piroclástico de bloques y cenizas pertenecientes al Miembro de lava andesítica Pico del Aguila, hacia el norte limita con depósitos de aluvión y depósitos residuales. Su edad es Pleistoceno Temprano.

### **Andesita Coamino (QCm)**

Anteriormente Schlaefer (1968), la define como parte de las Rocas Volcánicas del Terciario Medio. Flujo de lava andesítica (andesita con textura porfirítica con fenocristales de plagioclasa y piroxenos en una matriz microlítica con pequeños cristales de plagioclasa minerales arcillosos (muestra Cm-3). Aflora en la parte sureste del Cerro Santo Tomás y al sur del Cerro Pipixaca, a dicho flujo le sobreyace parte del depósito de flujos piroclásticos de bloques y cenizas del domo Santo Tomás, que a su vez se encuentran cubiertos por depósitos de tefras indiferenciadas, hacia la parte frontal del derrame se encuentra cubierto por tefras pertenecientes al volcán Xitle. Su edad es Pleistoceno.

### **Andesita El Llano (QLI)**

Se encuentra al suroeste del área de estudio entre el Volcán Pelado y la Formación Las Cruces, este flujo de composición andesítica, andesita con fenocristales de plagioclasa y hornblenda, cuyas plagioclasas que en su mayoría

se encuentran zoneadas (muestra FG), este flujo sobreyace al flujo El Mirador y de igual manera se encuentra cubierto por tefras indiferenciadas posiblemente pertenecientes al Volcán Pelado. Su edad es Pleistoceno Temprano.

### **Basalto Viborillas (Qvj)**

Se encuentran al sureste del área de estudio entre la Formación Las Cruces y la Andesita Conejo es un basalto del olivino y piroxeno con una textura porfirítica, la matriz es microcristalina y está compuesta de plagioclasa, clinopiroxenos y olivino, los fenocristales se encuentran muy corroídos y los de olivino están fuertemente alterados a iddingsita (Vib-1). Se encuentra sobreyaciendo a la Formación Las Cruces, cubre en la parte de depósitos del domo La Cruz del Marqués y el domo Pico del Águila y a la Andesita Conejo, así mismo, subyace a las lavas de la Formación Xitle y a su vez los cubre coluvián. Su edad es de Pleistoceno Tardío (fig. 13).

### **Formación Panza (QPz)**

La Formación Panza fue definida por Delgado y Martín del Pozzo (1993), esta constituida por dos miembros: Miembro Volcancitos y Lapilli está representado por residuos piroclásticos erosionados del Volcán Panza y conos adventicios asociados, el espesor de este miembro es aproximadamente de 85 m y el Miembro de Lava Andesítica El Zorrillo consiste en un flujo de lava fisural, extruida a lo largo de fracturas paralelas al sistema volcánico Panza; presenta un espesor de 50 m, los flujos de lava se presentan a lo largo de los flancos del Valle del Rancho el Zorrillo con una extensión de 2 km. Estos flujos de lava son más jóvenes que los productos del evento explosivo que construyó los conos (Panza y pequeños conos asociados) que cubren las rocas de la Formación Las Cruces y parte del flanco en el Volcán Ajusco.

Se ha considerado que la andesita El Zorrillo, andesita textura porfirítica con fenocristales de plagioclasa, olivinos y piroxeno, la matriz consiste básicamente de plagioclasa zoneada (muestra Zr), se depositó en un valle glacial y el cual sobreyace al Basalto Viborillas.



Foto 1

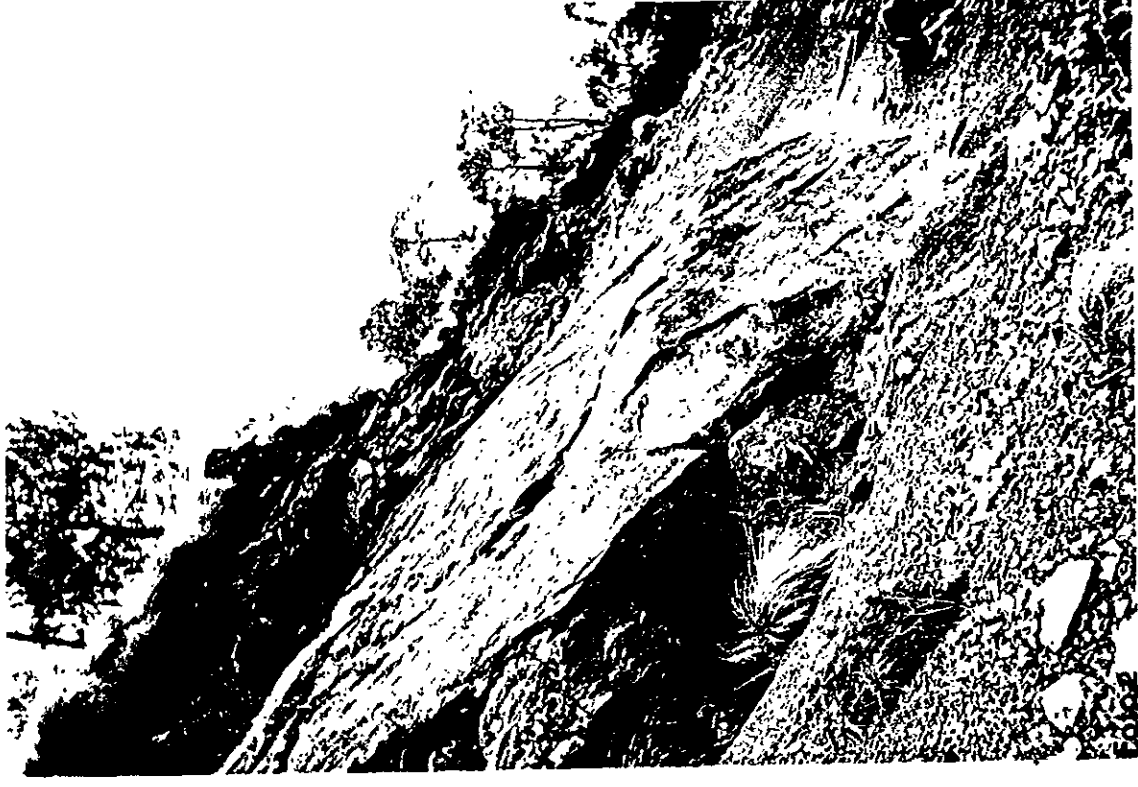


Fig. III.13 Se muestran las fotografías de los siguientes afloramientos:  
Foto 1 Afloramiento en donde el flujo de lava Viborillas sobreyace a una parte de los flujos piroclásticos asociados al domo La Cruz del Marqués y esta cubierto por detrito glacial.

Foto 2 Afloramiento del flujo de lava Viborillas, en el cual se encontraron estrías glaciales.

## **Formación Judío (QJd)**

Delgado y Martín del Pozzo (1993), dividen a la formación en dos miembros: Miembro Lava Andesítica Agua Grande y Miembro Lava en Bloques el Arroyo, el primer miembro esta constituido por lavas en bloques de composición andesítica, las cuales constituyen al cono Agua Grande y el espesor de la unidad es de 70 m, aflora en una área aproximada de 1 km<sup>2</sup>. El otro miembro esta comprendido por dos unidades, sus lavas son de composición andesítica las cuales fluyeron en dos eventos. Las primeras lavas de esta unidad cubren parte del cono el Quepil y ambas lavas cubren parte de la Formación Las Cruces.

## **Formación Man-nal (QMn)**

Cono compuesto de escoria muy porosa, la cual esta constituida por fenocristales de olivino y clinopiroxeno dentro de una matriz microcristalina. Los flancos se encuentran cubiertos por los depósitos de caída del Xitle y su edad debe de ser Pleistoceno Medio, sobreyace en la parte noroeste a la andesita Coamino (Cervantes y Molinero, 1995)

## **Volcán Mezontepec (QMz)**

El Cerro de Mezontepec se extiende con sus laderas de pendientes leves e irregulares en dirección norte, hasta los llanos del Rancho el Ajusco (2800 msnm). Aparentemente este aparato volcánico emanó corrientes de lava a través del cráter, destruyendolo y cubriendo sus laderas (compuestas de piroclastos) de lava. Asimismo, las lomas alargadas, son antiguas corrientes de lava, cuyas grietas fueron rellenas de cenizas y se desarrollo un suelo con más rapidez que en las superficies planas (Lugo, 1970).

## **Volcán El Cenizo (QCz)**

Se localiza al SW del Cerro Santo Tomás, la unidad se encuentra aflorando cerca de la carretera del Circuito Ajusco. De extensión muy limitada forma un cono de escoria, con un espesor de menos de 7 m, en forma de media luna. Esta compuesto de escoria basáltica, vesicular y subangulosa de color gris oscuro a ocre rojizo (debido al intemperismo). La escoria está muy intemperizada los tamaños son de 28 cm y los mas pequeños son de 5 cm. Se encuentra entre la Formación Las Cruces y el Volcán Mezontepec sobreyace a parte de los domos que pertenecen a la Formación Las Cruces. Su edad probable es Pleistoceno Medio.

### **III.2.3 Holoceno**

#### **Formación Xitle (Qxi)**

La Formación Xitle esta dividida en dos miembros:

- -Miembro de Tefras Entronque, en donde reconocieron tres eventos principales que dieron origen a este miembro.
- Obtuvieron una edad de  $2025 \pm 55$  años de un suelo bajo estos depósitos. Dichos depósitos se dispersaron hacia el sur y sureste del volcán Xitle, consideran que los patrones de viento que originaron esta dispersión son muy parecidos a los patrones de viento observados en la actualidad.
- -Miembro de Basaltos Pedregal, esta constituido por siete flujos diferentes. Para este miembro obtuvieron una edad de  $1945 \pm 55$  años determinada en un suelo localizado bajo estos depósitos. Estos flujos son basaltos de olivino, resultado de un magnetismo profundo que involucra a la litósfera oceánica sin que se observe una fusión parcial de grandes porciones.
- Estos dos miembros corresponden a dos fases eruptivas del Xitle, una efusiva clasificada como hawaiana la explosiva clasificada como tipo vulcaniana.
- La edad más joven que se tiene para este grupo es de alrededor de  $2025 \pm 55$  años, abarcando diez unidades Pleistocénicas y cuatro unidades Holocénicas (Cervantes y Molinero, 1995).



## **Volcán Pelado (QPd)**

Un estudio reciente llevado a cabo por Arana y Delgado (1997), reportan que este volcán monogenético fue originado en la intersección de dos fisuras con una orientación E-W y NE-SW. Dicho volcán fue construido por eventos explosivos y efusivos, los eventos explosivos construyeron el cono. La fase efusiva tuvo lugar durante y después del evento explosivo, dicha fase esta comprendida por la emisión de flujos de lava de composición andesita basáltica y basaltos de olivino que sepultaron a los depósitos piroclásticos. El carbón obtenido de los depósitos de flujos de ceniza, se obtuvo por  $^{14}\text{C}$  arrojando una edad menor a los 1000 años.

Esto implica que el Volcán Pelado es el volcán más joven reportado a la fecha para el Grupo Chichinautzin y no el Volcán Xitle.

## **Depósitos Sedimentarios**

### **Tillitas El Aguila (QAg)**

La descripción de depósitos glaciales de México, escrita por Blásquez en 1944 in White y colaboradores 1990, es la más antigua de las publicaciones sobre geología glacial y la mejor para su tiempo; descubrió e informo sobre detritus glaciales en la Sierra de Las Cruces y confirma la presencia de clima frío cercano al NW del Ajusco, posiblemente simultáneo a las glaciaciones que tuvieron lugar en esa montaña. Delgado (1986), reporta la evidencia de glaciación para el Valle de Monte Alegre, donde la morfología revela morrenas y circos, además menciona que los depósitos de material ubicados en los flancos noroeste del volcán Ajusco son producto de erosión glacial. White y colaboradores (1990) ofrecen un orden de acontecimientos glaciales y de las cenizas volcánicas del Ajusco. Consideran que el vulcanismo del período eruptivo del Chichinautzin fue contemporáneo a tres glaciaciones y dos eventos neoglaciales en el volcán Ajusco; Las glaciaciones son: Marqués, Santo Tomás y Albergue (27000, 25000 y 15000 -18000 años) y los eventos neoglaciales durante los pasados 2000 años. Cabe señalar que algunos depósitos descritos como tillitas son en realidad flujos piroclásticos,

principalmente los depósitos de los flujos piroclásticos asociados al domo Santo Tomás.

### **Depósitos de Tefras Indiferenciadas (Q<sub>ti</sub>)**

Son depósitos que se presentan en las faldas de la montaña e incluso en la cima, dicho material proviene de los diferentes eventos volcánicos recientes, probablemente pertenecen al Nevado de Toluca, Xitle, Pelado o Popocatepetl dada su cercanía a estos centros volcánicos.

### **Depósitos de Talud (Q<sub>td</sub>)**

Estos depósitos están constituidos por fragmentos de roca de diferentes tamaños, los cuales se desprendieron de los escarpes por la acción de heladas ó porque el intemperismo químico debilitó su base de sustentación, estos caen por rodamiento y deslizamiento alcanzando posiciones de reposo, en la parte superior descansan los fragmentos más grandes de forma angular, estos depósitos presentan una pendiente de 30°.

### **Depósitos Coluviales (Q<sub>cl</sub>) y Aluviales (Q<sub>al</sub>)**

Estos depósitos consisten principalmente de material suelto de origen volcánico pertenecientes al grupo Chichinautzin, Detritus glaciares, Formación Ajusco y la Formación Las Cruces.

La distribución de estos depósitos en los flancos del Volcán Ajusco en la porción NE y SW cubren depósitos del grupo Chichinautzin y en menor proporción a la Formación Ajusco y hacia el NW y SW cubren principalmente a la formación Las Cruces parte del Grupo Chichinautzin y los depósitos glaciares. Dichos depósitos se encuentran rellenando depresiones y formando llanos.

### III.3 Geología Estructural

De acuerdo con Delgado y Martín del Pozzo en 1993, consideran que el cierre de la actividad tectónica estuvo relacionado al vulcanismo desde el Plioceno. El alineamiento de  $N65^{\circ}W$  de los volcanes. (Los Picachos, Ajusco y Panza) están relacionados a una falla normal, la cual también representa la dirección máxima local del esfuerzo compresivo de varias fallas normales que son paralelas a este alineamiento para formar lo que se ha denominado graben del Tezontle, fig. III.14.

El colapso estructural presente en el volcán Ajusco afectó la parte frontal del edificio, el cual dió origen a un depósito de avalancha de escombros (Depósito de Avalancha de Escombros Zacatépetl). Los datos obtenidos en el NE del domo Pico del Águila y al NW del domo Santo Tomás pertenecen a la parte del domo que se colapsó y produjo el depósito de avalancha de escombros.

Las fallas de tipo normal producidas por esfuerzos compresivos con una orientación E-W, dichas fallas presentan rumbos entre  $N 52^{\circ} E$  y  $N 80^{\circ} E$  (fig. III.15a) siendo las más sobresalientes las de  $N 65^{\circ} E$ . La inclinación de los planos es principalmente entre los  $70^{\circ}$  y  $85^{\circ}$  (fig. III.15b), además en dicha figura se observa que la concentración de los polos está en la dirección NW, lo cual confirma la dirección del esfuerzo compresivo.

En la parte NW del domo La Cruz del Marqués cerca del arroyo Viborillas se encontraron estrías en las paredes de la roca perteneciente al flujo Viborillas con una orientación de  $N 14^{\circ} E$   $82^{\circ}SE$   $15^{\circ}NE$ , el cual debió haber sido afectado por procesos glaciales que denudaron el flujo y agrandaron el cauce del arroyo dándole una forma de U, de esta manera las estructuras formadas por la erosión glacial fueron cubiertas por la actividad volcánica posterior, emplazándose el flujo de lava El Zorrillo (fig. III.16).

Al SW del volcán Ajusco cerca del flujo de lava El Mirador en la parte distal se encuentra una falla de tipo normal con una orientación  $N 75^{\circ} W$   $82^{\circ} SW$ .

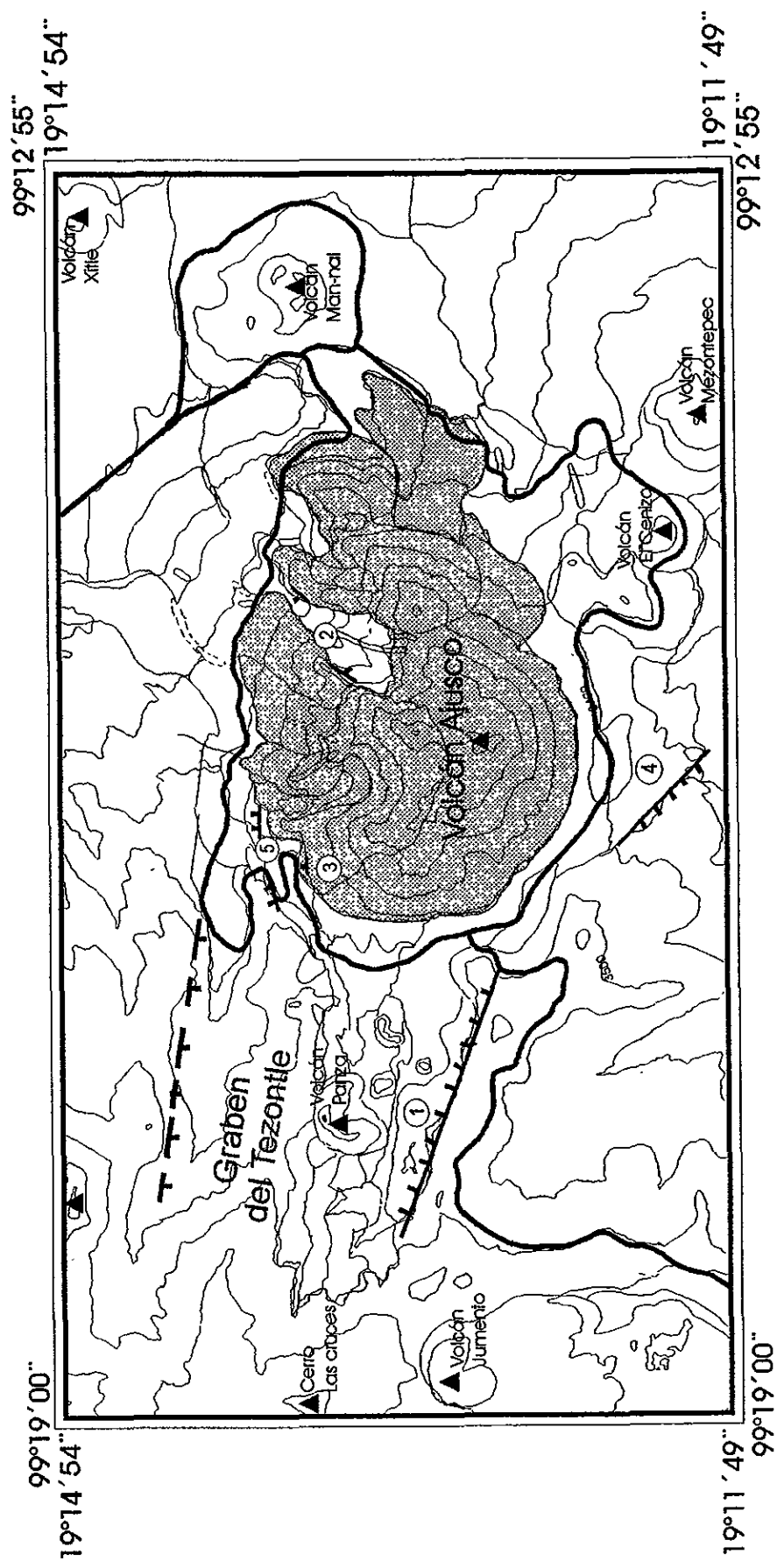


Fig. III.14 Mapa en donde se ubican los lugares en donde se tomarón datos estructurales, los numeros representan las estaciones estructurales

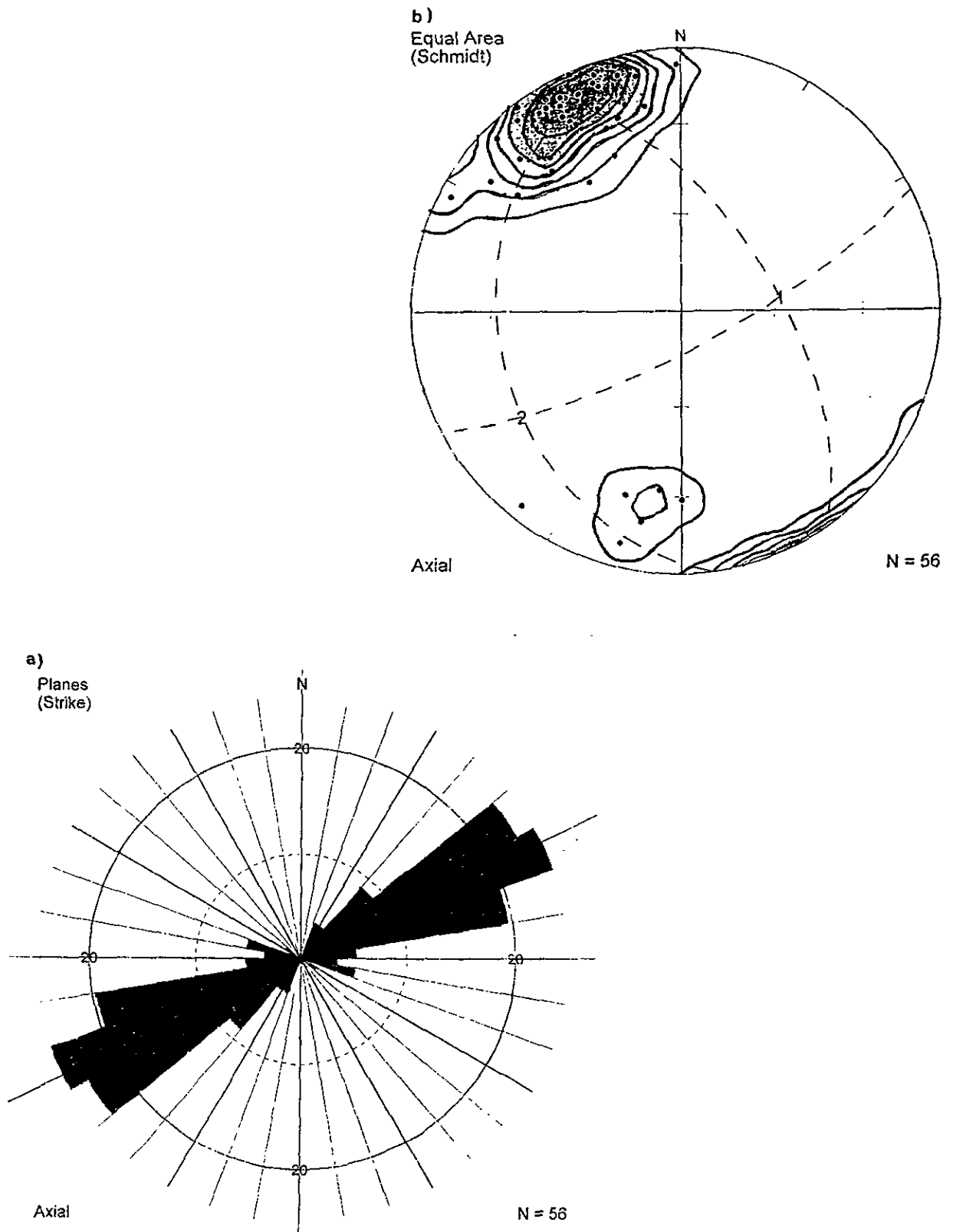


Fig. III.15 Datos estructurales graficados en los siguientes diagramas:

a) Roseta de fracturas

b) Boquilla de Schmidt con polos de fallas

A lo largo de lava Viborillas y Conejo, se obtuvieron datos estructurales que reflejan la orientación de una falla de tipo normal con dirección preferencial al N75° E 81 °SW.

### **III.4 Petrología**

La mineralogía observada en los domos que constituyen al volcán Ajusco es bastante uniforme, ya que está constituida por una dacita porfirítica con fenocristales de plagioclasa y hornblenda en una matriz vítrea. Es importante mencionar que la cantidad de hornblenda en el domo Santo Tomás es muy abundante en comparación con los otros domos ya que conforme el domo es más joven disminuye notablemente la cantidad de hornblenda, también conforme el material es más joven se puede observar el aumento de Fe y Mg que se refleja en el contenido de olivino. Es frecuente observar la estructura zonal de las plagioclasas debido a que no alcanza el equilibrio con el líquido residual. El enfriamiento rápido de los cristales formados originalmente permite que reaccionen con el líquido residual, los cristales formados posteriormente son más sódicos y se precipitan alrededor de los primitivos, ver tabla 3 y anexo petrográfico.

El domo Santo Tomás presenta dos tipos de lavas, en la base es de composición andesítica y en la cima es dacítica, esto se explica debido como producto de diferenciación magmática.

En el domo La Cruz del Marqués es muy notoria la alteración de la roca por lo cual en a petrografía refleja la textura esquelética en las plagioclasas, la hornblenda se encuentra sustituida por ferromagnesianos y que a su vez la mayoría están oxidados la abundancia de minerales arcillosos.

### **III.5 Geoquímica**

En este trabajo, se utilizaron los análisis químicos de roca total para caracterizar, la clasificación de las rocas, el ambiente tectónico, la evolución magmática, etc. Estos análisis químicos fueron realizados por el Químico Rufino

Lozano en el Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS), del Instituto de Geología de la UNAM. Se obtuvieron datos de elementos mayores (tabla 4) y elementos traza (tabla 5) para 20 muestras, posteriormente los datos fueron normalizados y graficados, en los paquetes IGPET y MACSUITE, obteniendo los siguientes resultados:

### III.5.1 Clasificación de las rocas

Las rocas fueron clasificadas químicamente usando el diagrama TAS (Total Alkali Silica), publicado por Le Maitre (1984) y fue ligeramente modificado por Le Bas y colaboradores (1986). El diagrama se divide en 15 campos y muestra los nombres de las rocas volcánicas: basalto, andesita basáltica, andesita, dacita, etc. En la abcisa se usa los valores % SiO<sub>2</sub> y en la ordenada %Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O además de utilizar los datos normalizados.

En el diagrama TAS (fig. III.16), se puede observar que las muestras quedarán clasificadas en los siguientes campos: andesitas-basálticas, andesitas y dacitas.

Con base en la información estratigráfica se pudieron determinar tres suites: 1) suite Ajusco, 2) suite Transicional y 3) suite Chichinautzin.

Las suite Ajusco quedaron clasificadas como dacitas básicamente, para la suite Transicional tanto la información petrográfica y los análisis químicos mostrarán que durante el emplazamiento posterior a los domos que constituyen al volcán Ajusco hubo un incremento de MgO y disminución de CaO básicamente, dando origen a rocas cada vez más básicas. Estas están comprendidas dentro del campo de andesitas-basálticas. Finalmente, las rocas pertenecientes al suite Chichinautzin están clasificadas como andesitas debido a que posiblemente el magma se diferencio dando como resultado una disminución de MgO.

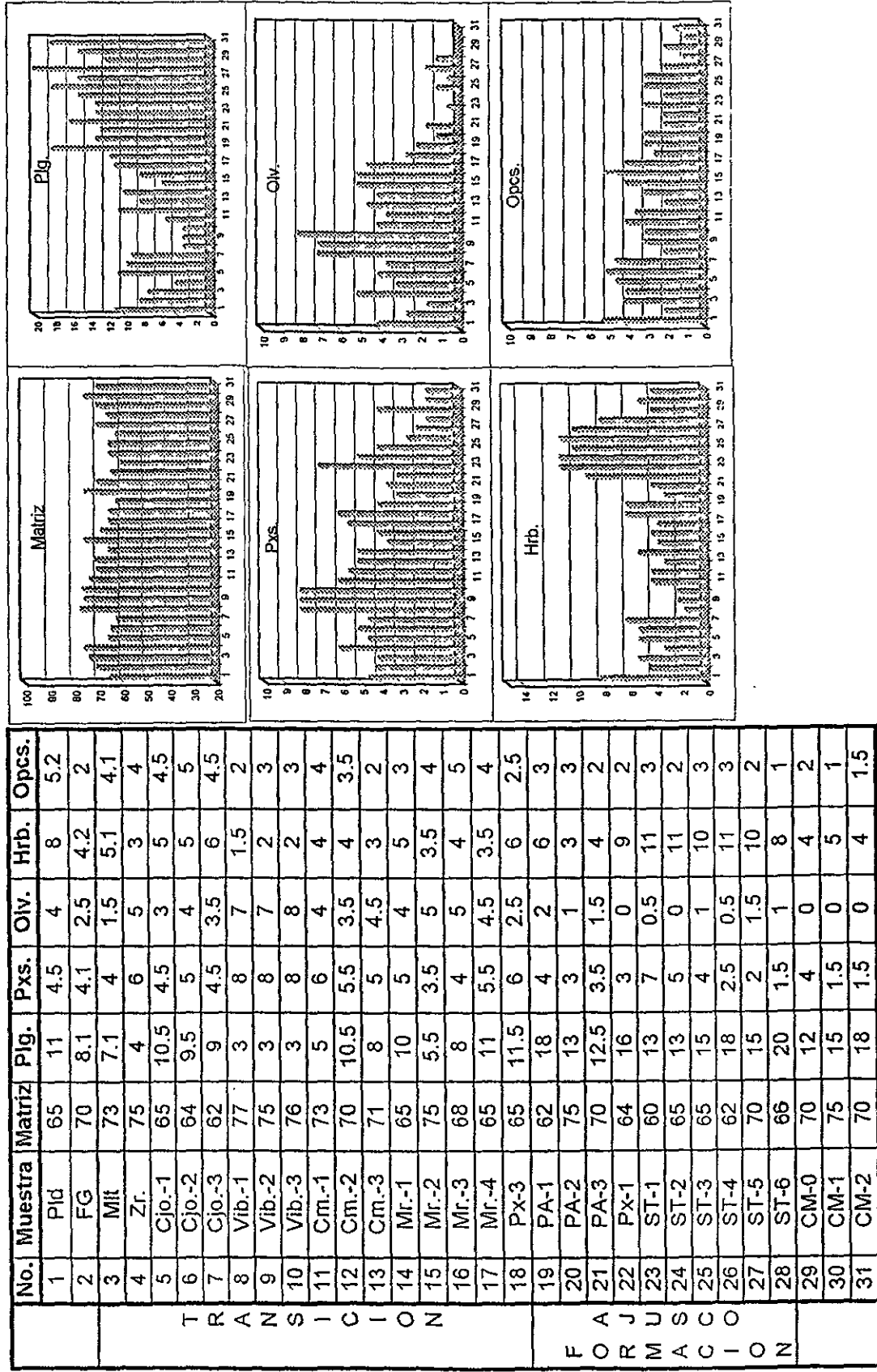


Tabla 3 muestra el contenido mineral en porcentaje de los principales minerales. En la abscisa representa el número de muestra en orden estratigráfico y la ordenada al contenido del mineral en porcentaje



MUESTRA	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PxCl	Feo	H <sub>2</sub> O+	H <sub>2</sub> O-
Pelado	61.62	0.94	15.86	5.594	0.097	3.976	5.111	4.021	1.811	0.25	-0.13			
Malacatepec	61.7	0.958	15.91	5.396	0.096	3.58	4.992	4.187	1.837	0.256	0.14			
F. Grandes	60.99	0.831	16.42	5.478	0.097	4.223	5.432	4.2	1.574	0.222	-0.06			
Conejo-1	55.65	1.296	15.96	7.516	0.122	5.684	6.68	4.095	1.656	0.42	-0.01			
Conejo-2	56.74	1.182	15.98	7.127	0.118	5.873	6.422	3.842	1.678	0.347	0.21			
Viborillas-1	56.73	1.304	16.11	2.272	0.122	6.059	6.557	4.038	1.633	0.391		4.76	0.17	0.27
Viborillas-2	56.83	1.236	15.93	2.134	0.122	6.475	6.683	3.916	1.561	0.361		4.9	0.13	0.05
Coamino-1	65.86	0.561	16.86	2.011	0.076	1.534	4.196	4.343	1.702	0.159		1.68	0.31	0.43
Coamino-2	63.33	0.749	17.12	1.295	0.082	2.3	4.769	4.036	1.787	0.152		3.08	0.19	0.53
Mora-1	53.79	0.938	16	7.521	0.127	8.517	7.358	3.43	0.985	0.21	0.29			
Mora-2	60.37	0.803	16.16	5.529	0.099	4.698	5.547	4.089	1.639	0.22	0.14			
Pipixaca-2	62.97	0.716	16.2	4.745	0.076	3.082	4.302	3.64	1.396	0.142	1.89			
Pipixaca-3	62	0.731	16.96	4.976	0.088	3.321	4.578	3.978	1.609	0.135	0.97			
P.Águila	64.39	0.68	16.55	4.411	0.081	1.983	4.462	4.401	1.586	0.168	0.43			
Pipixaca-1	63.2	0.696	16.07	2.393	0.078	2.971	4.439	3.984	1.852	0.162		1.96	0.69	1.55
Tomás-1	64.35	0.653	16.95	4.298	0.088	1.644	4.274	4.04	1.581	0.153	0.73			
Tomás-2	61.72	0.95	15.83	5.627	0.097	3.97	5.126	3.872	1.804	0.248	-0.18			
Marqués-0	63.18	0.689	16.72	4.82	0.088	2.641	4.855	4.26	1.581	0.167	0.22			
Marqués-1	63.94	0.661	16.64	4.36	0.082	1.982	4.534	4.328	1.602	0.168	0.39			
Marqués-2	64.14	0.699	16.52	4.493	0.083	2.11	4.413	4.587	1.658	0.178	0.26			

Tabla 4 Datos geoquímicos (elementos mayores), analizados en el LUGIS, por el Quím. Rufino Lozano

MUESTRA	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	Ga	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Th	Pb
Pelado	43	797	542	22	204	11	21	102	142	116	166	43	87	6	10
Malacatepec	44	705	550	22	211	11	17	105	119	82	117	40	87	6	10
F. Grandes	32	729	528	17	182	5	19	108	153	51	120	42	87	4	8
Conejo-1	28	849	643	23	213	13	18	131	197	46	142	40	88	5	7
Conejo-2	31	797	587	22	194	12	17	129	239	57	166	46	85	5	8
Viborillas-1	29	800	603	22	212	13	17	117	208	65	115	25	80		
Viborillas-2	28	771	590	21	208	12	17	129	270	64	133	26	83		
Coamino-1	38	772	415	21	184	5	20	66	16	65	7	14	58		
Coamino-2	47	568	585	21	207	7	20	85	50	71	12	15	83		
Mora-1	19	651	340	17	143	4	19	172	478	51	175	98	75	3	6
Mora-2	31	670	530	16	181	5	19	112	222	41	127	44	85	6	6
Pipixaca-2	32	688	376	16	162	3	18	89	98	56	92	37	76	3	7
Pipixaca-3	30	682	390	17	168	5	12	87	113	48	95	34	80	5	9
P.Águila	32	870	405	15	164	4	20	62	38	53	40	37	79	7	9
Pipixaca-1	40	600	419	21	170	5	20	80	77	75	45	25	71		
Tomás-1	31	869	376	17	150	4	20	63	23	43	30	36	73	4	9
Tomás-2	31	898	377	17	150	3	19	74	22	43	30	35	69	5	8
Marqués-0	33	699	457	17	155	5	20	120	89	37	41	39	76	5	8
Marqués-1	32	796	469	15	169	4	13	79	38	39	29	36	79	6	10
Marqués-2	34	744	489	17	170	4	15	86	41	33	29	44	83	5	9

Tabla 5 datos geoquímicos (elementos traza), analizados en el LUGIS, por Quím. Rufino Lozano

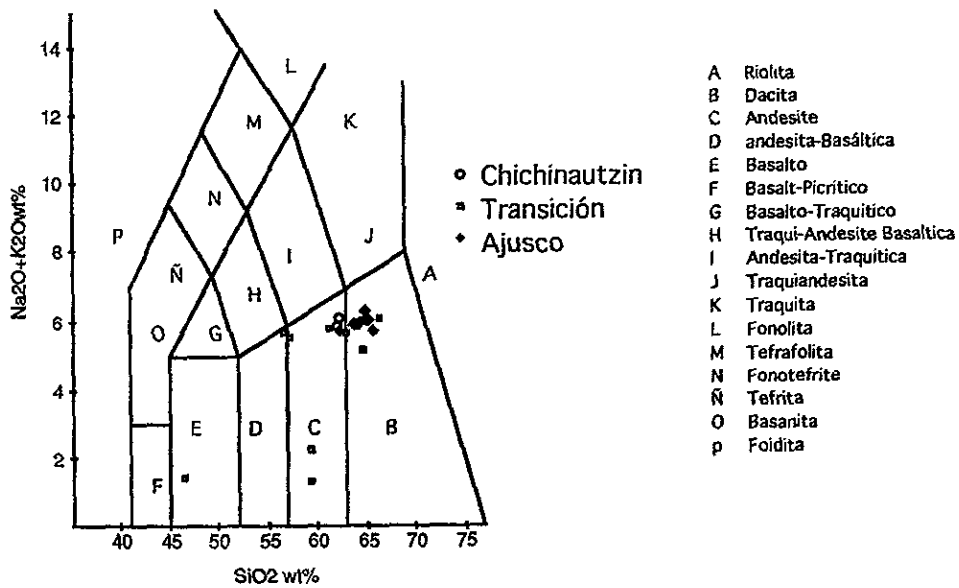


Fig. III.16 En el diagrama TAS, se puede observar que: las muestras Chichinautzin caen en el campo de las andesitas, las que hemos llamado Transición caen en los campos de andesitas-basálticas y andesitas, por ultimo las de la Formación Ajusco caen en el campo de las dacitas.

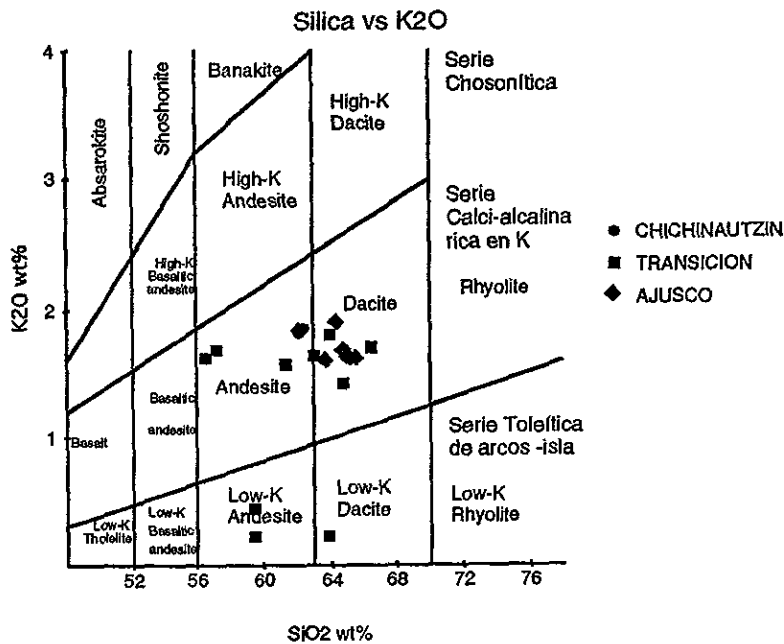


Fig. III.17 En el diagrama de Perceval y Taylor, se observa que la mayoría de las muestras caen dentro de la serie calci-alcálica rica en K y solo algunas muestras del grupo Transición, caen en la serie Toleítica de arcos de isla bajo en K.

### **III. 5.2 Ambientes Tectónicos**

En el diagrama de Peccerillo y Taylor (fig.iii.17), está basado en la variación en peso por ciento de  $K_2O$  y el peso de  $SiO_2$ , representado en un diagrama que permite diferenciar cuatro series: toleítica, calci-alkalina, calci-alkalina rica en K y la serie shosonítica.

En dicho diagrama nuevamente su clasificación corresponde con el diagrama anterior y además las muestras caen dentro del campo de la serie calci-alkalina y toleítica de arcos de isla con contenidos medio y bajo de potasio respectivamente, dentro de los campos de andesitas-basálticas, andesitas y dacitas.

### **III.5.3 Evolución Magmática**

Los datos geoquímicos pueden ser manipulados a través de diagramas de variación de tipo Harker, en el cual se gráfica el contenido en por ciento de un óxido en un índice de diferenciación. Generalmente el por ciento de  $SiO_2$  o de  $MgO$  se utiliza como abscisa. En general para suites de rocas ígneas cogenéticas, pares de óxidos se correlacionan claramente por sus pendientes positivas o negativas. Tales correlaciones pueden ser inferidas por procesos de mezcla de magmas, contaminación de la corteza o por fraccionamiento. Es decir, en dichos diagramas pueden observarse tendencias de variación composicional como consecuencia de procesos de fraccionamiento cristal-líquido o de fusión parcial o cristalización fraccionada. Generalmente, las tendencias coherentes de elementos mayores observadas en dichos diagramas, se considera que representan el curso de la evolución química de los magmas.

En los diagramas de variación se pueden presentar curvas de tendencia segmentada, las cuales aportan evidencias de la separación de la fase cristal-líquido durante la evolución magmática. En general los puntos de inflexión en las curvas de tendencia son interpretados para marcar el inicio de la cristalización de un nuevo mineral o grupo de minerales. Por esta razón las curvas de tendencia coherentes en diagramas de Harker son consideradas generalmente para

representar el curso de la evolución química de los magmas y son referidos como una línea del líquido descendente (Wilson, 1989).

Los diagramas en este trabajo utilizan elementos mayores. Como se observa en la fig. III.18, los óxidos como el  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  y  $\text{FeO}$ , presentan una correlación negativa al aumentar el contenido de  $\text{SiO}_2$ , esto se puede atribuir a la cristalización de los ferromagnesianos como los piroxeno, olivino y hornblenda.

En el diagrama de  $\text{MgO}$  se puede observar una pendiente negativa, la cual indica un incremento en la cristalización de los minerales ferromagnesianos que indica que en la suite Transicional aumentó el óxido de magnesio y posteriormente disminuye en la suite Chichinautzin, además de aumentar notablemente el contenido de olivino y clinopiroxenos. Lo mismo ocurre para el  $\text{FeO}$ .

El  $\text{P}_2\text{O}_5$  presenta una correlación negativa y un cambio de pendiente lo cual sugiere un proceso de cristalización fraccionada conforme se diferenciaba el magma, esto se observa principalmente en las rocas más jóvenes.

Para el  $\text{Na}_2\text{O}$  se presenta una posible correlación positiva, esto se puede atribuir a la cristalización de la plagioclasa ya que en las rocas pertenecientes a la suite Ajusco presentan los cristales de mayor tamaño, son más abundantes y van disminuyendo sucesivamente hacia las rocas más jóvenes.

Es importante mencionar que estos diagramas muestran claramente que las rocas de la suite Ajusco corresponden a un magma muy diferenciado y que posteriormente en la suite Transicional debido al aumento del contenido de  $\text{MgO}$ , implica que su origen corresponde a un magma primitivo, finalmente para la suite Chichinautzin el magma sufrió una diferenciación magmática.

En los diagramas tectonomagmáticos (fig. III.19) muestran que algunas de las andesitas-basálticas de la suite Chichinautzin y Transición pertenecen a OIA (Basalto de Isla Oceanica Alcalina).

tectonic  
Mullen 83

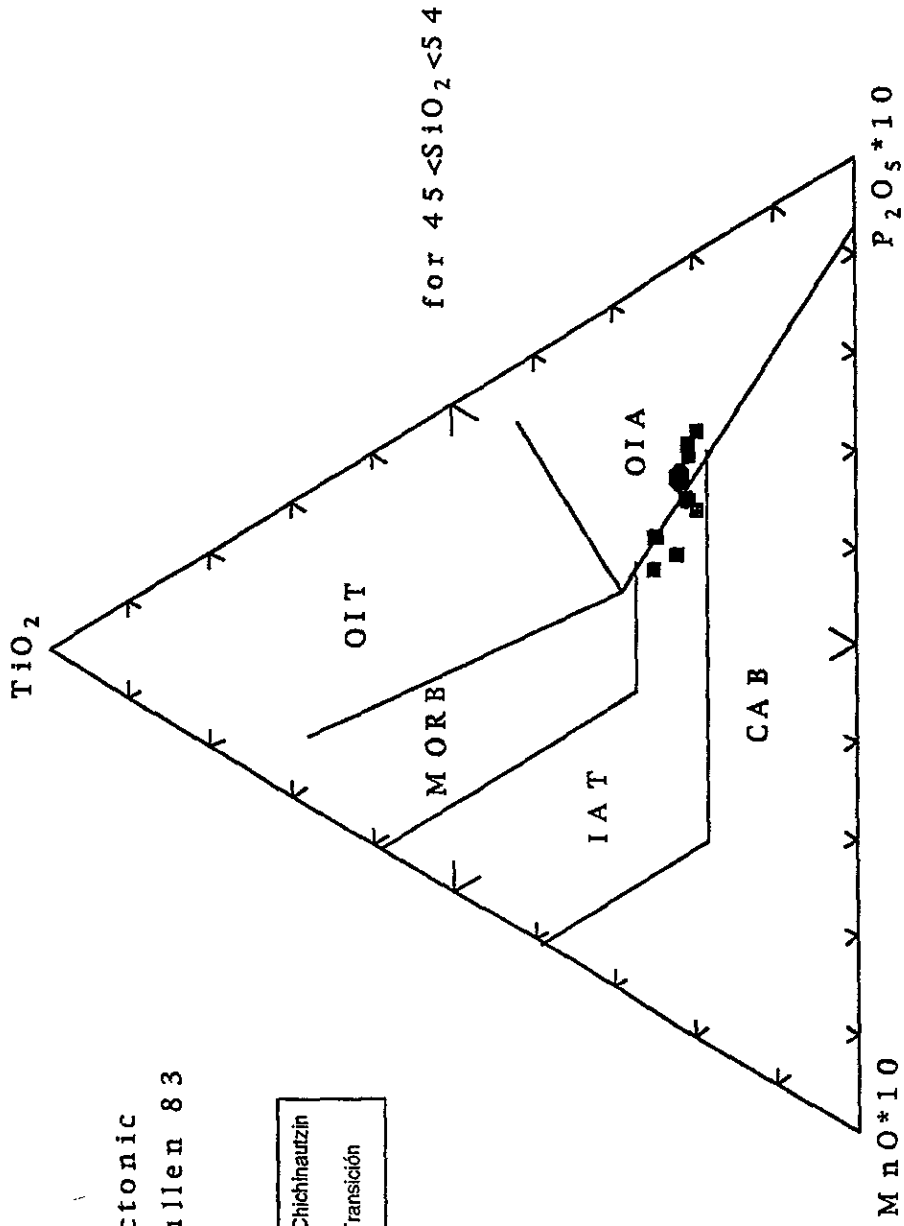
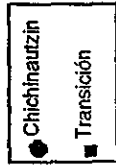


Fig. II.19 El diagrama  $TiO_2$ ,  $MnO \cdot 10$ ,  $P_2O_5 \cdot 10$ , propuesto por Mullen (1983), presenta los límites para los diferentes ambientes tectónicos. discrimina las rocas basálticas y propone cinco campos: OIT (Toleíta de Isla Oceánica), OIA (Basalto de Isla Oceánica-Alcalina), MORB (Basalto de Cresta Oceánica), CAB (Basalto de Arco de Isla Calci-alcalina), IAT (Toleíta de Arco de Isla) y CAB (Basalto de Arco de Isla Calci-alcalina).

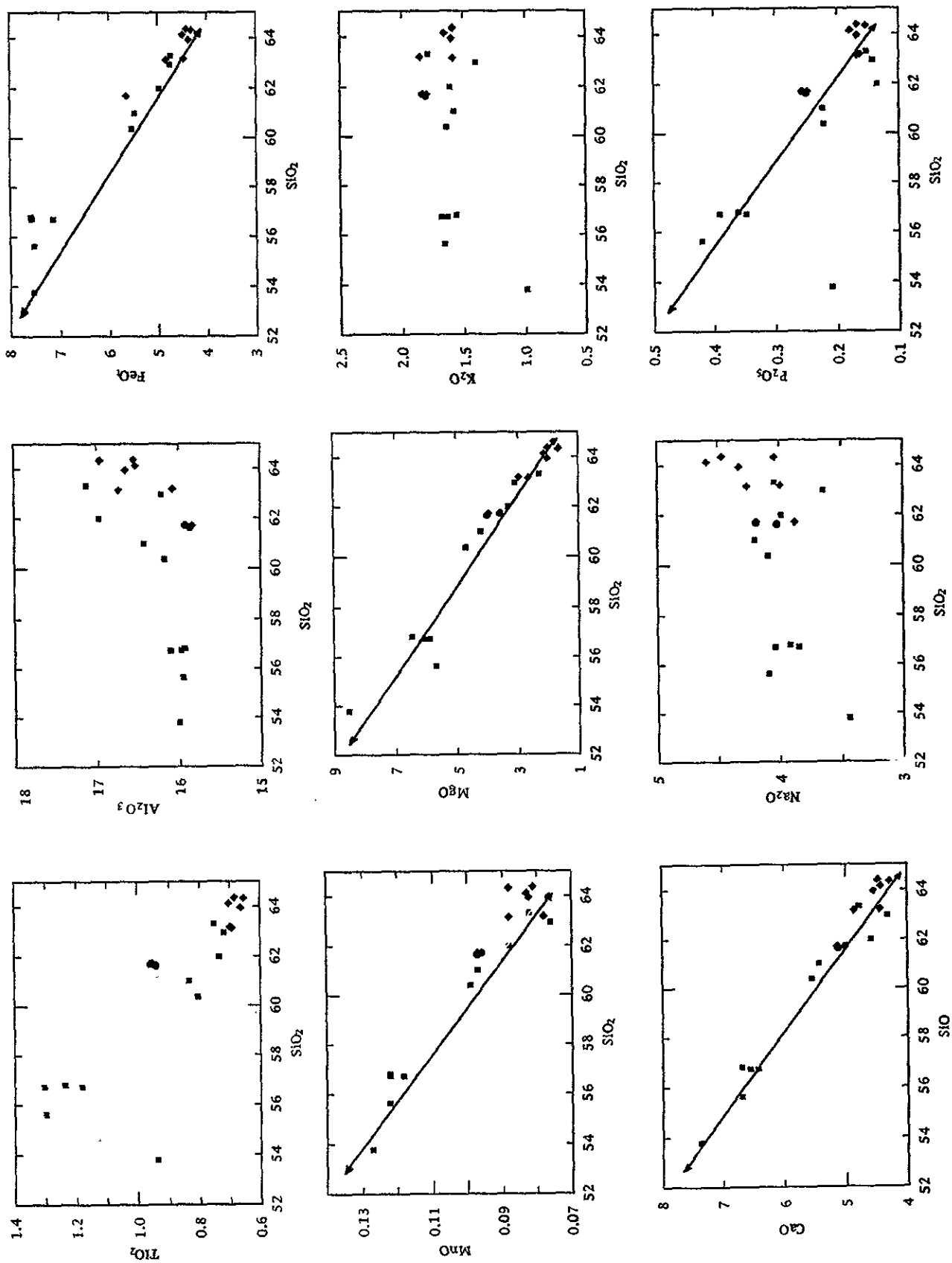


Fig. III-18 Diagramas de Harker para todos los elementos mayores en donde los símbolos corresponden a:  $\blacksquare$  Chichimutzin,  $\blacklozenge$  Trenelón y  $\blacklozenge$  Formación Ajuaco

### III.5.4 Afinidad Tectono - Magmática

La evolución de los elementos traza puede ser considerada en función del coeficiente de partición  $D$  (relaciona la concentración en el mineral y la concentración en el líquido). Los elementos con valores  $D < 1$  se denominan incompatibles y se concentran preferentemente en la fase líquida durante la fusión y la cristalización. Son denominados litófilos o litófilos de radio iónico grande, por ejemplo K, Rb, Sr, Ba, Zr, Th y TR ligeras. Por otra parte, los elementos con  $D > 1$  (por ejemplo Ni, Cr) se denominan compatibles y estos son retenidos preferentemente en los sólidos residuales durante la fusión parcial y extraídos de los sólidos cristalizados durante la cristalización fraccionada.

Para poder entender los patrones de abundancia de los elementos traza en cualquier roca volcánica, se puede utilizar los diagramas-araña (spiderdiagrams), en los que las abundancias de un rango de elementos traza incompatibles son normalizados con respecto a estimaciones de sus abundancias para este caso de elementos traza en MORB (Wilson, 1989), ver fig. III.20.

Para hacer uso de estos diagramas es necesario conocer el grado de fraccionamiento de la roca volcánica que está siendo clasificada, ya que éstos sólo son aplicables a rocas volcánicas básicas, la identificación correcta de un ambiente tectónico con estos diagramas, es mayor para magmas no extruídos en ambientes intra-placa continental (Delgado, 1991).

De los elementos incompatibles que tienen ( $D < 1$ ) durante la mezcla parcial y en los procesos de cristalización fraccionada. La principal excepción es el Sr, el cual puede ser compatible con la plagioclasa.

Los elementos con  $D > 1$  en este caso el Ni y Cr se denominan compatibles y estos son retenidos preferentemente en los sólidos residuales durante la fusión parcial y extraídos de los sólidos cristalizados durante la cristalización fraccionada, posiblemente para la suite Ajusco conforme el magma se vuelve menos diferenciado aumenta el contenido de Cr, pero para la suite Transición y Chichinautzin se observa una variación en el contenido de Cr. Lo anterior puede atribuirse a que las rocas del Ajusco provienen de un nivel del manto además



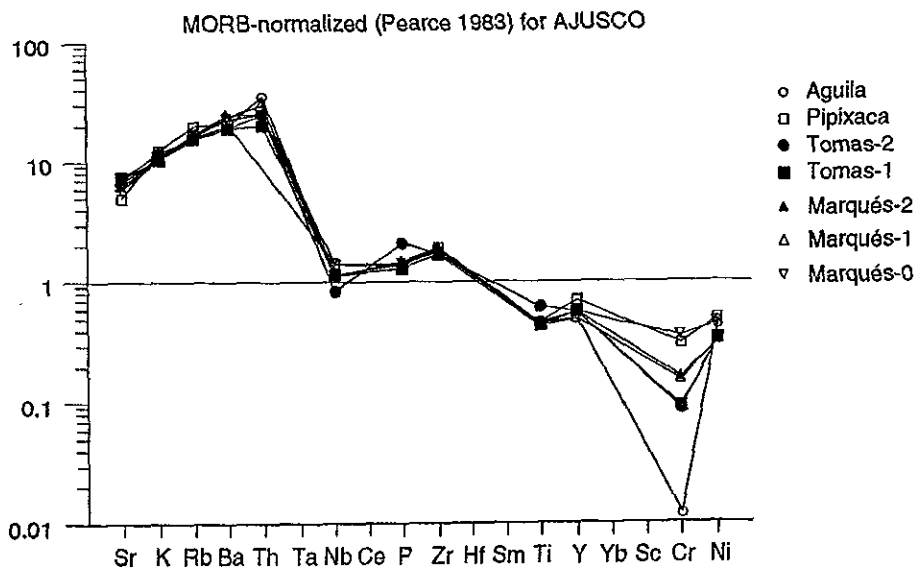
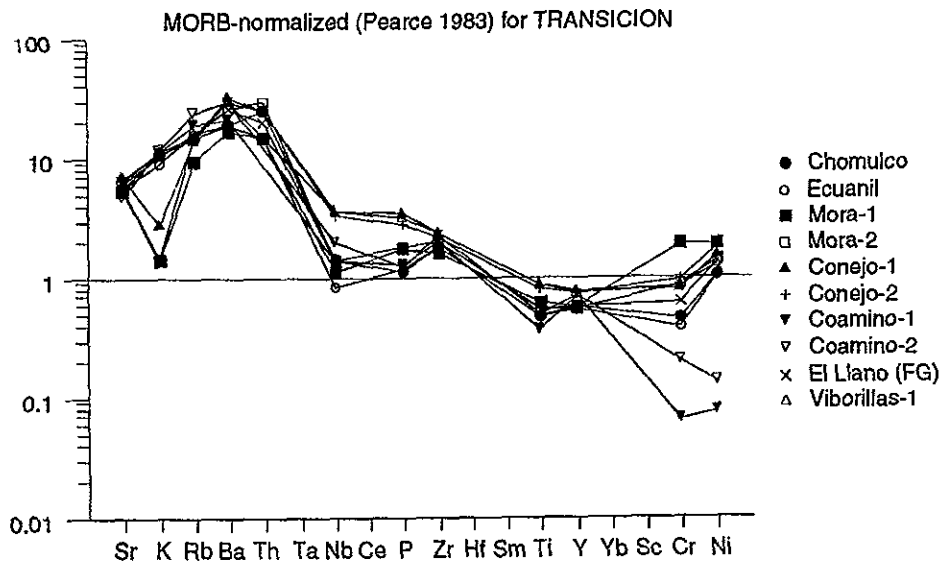
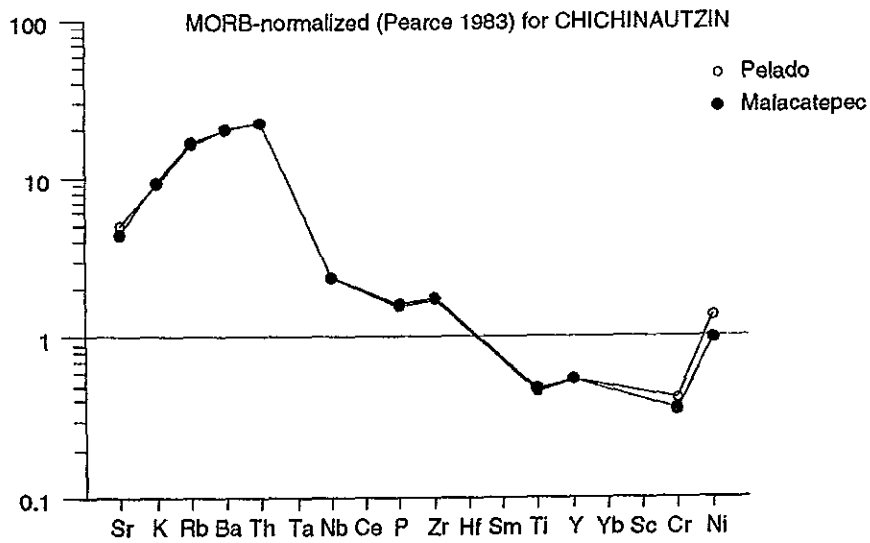


Fig. III.20 Diagramas de araña, normalizados a MORB con las constantes de Pearce (1983), para elementos traza

corresponden a magmas mas evolucionados y las rocas recientes son de magmas menos evolucionados y ascenso probablemente fue mas rápido.

## **IV. VULCANOLOGÍA**

El volcán Ajusco esta constituido por un conjunto de domos de composición intermedia, su actividad dio origen a un volcán poligenético, dicho volcán surgió a partir de erupciones de lavas muy viscosas, en períodos separados por 1Ma aproximadamente, el emplazamiento del material fue acompañado por flujos piroclásticos de bloques y cenizas posiblemente generados por el colapso de la actividad del crecimiento del domo. Constituidos por roca densa y poco vesiculada de composición andesítica y dacítica.

Con base en las características del volcán Ajusco se clasifico de acuerdo a varios parámetros (fig.IV.1) la cual se obtuvo a partir de: información preliminar de algunos autores, observaciones realizadas en campo, además de la fotointerpretación, etc.

### **IV.1 Clasificación estructural**

El término volcán compuesto se refiere a ciertos volcanes, los cuales están formados por una mezcla de lava y escoria. Muchos volcanes compuestos consisten de cerros individuales, los cuales estan generalmente relacionados, pero es posible que algunos son superposiciones accidentales no relacionados a puntos de erupción y de edades diferentes, (Ollier, 1988).

El volcán Ajusco se ha considerado como un volcán compuesto debido a que esta constituido por cuatro domos félsicos de composición andesítica y dacítica acompañados de flujos piroclásticos de bloques y cenizas, dicho volcán nace hace más de 3 Ma, dentro de un fosa volcano-tectónica (graben del Tezontle), con una orientación aproximada E-W y con una longitud de 8 Km.

### **IV.2 Clasificación por su actividad volcánica**

Los volcanes pueden ser subdivididos en dos tipos: monogenéticos y poligenéticos: Para los volcanes monogenéticos su edificio es el producto de una



erupción ó una fase eruptiva y los volcanes poligenéticos son el resultado de muchas erupciones, separadas por largos períodos de tiempo y frecuentemente involucran magmas diferentes. Una diferencia significativa entre volcanes monogenéticos y poligenéticos, es la siguiente, los volcanes monogenéticos tienen un simple conducto del sistema magmático, usado principalmente durante una erupción o una prolongada fase eruptiva (Cas y Wrigth 1987).

De acuerdo a la actividad volcánica presente en el volcán Ajusco se ha considerado como un volcán poligenético, ya que el edificio está conformado por un conjunto de domos que han sido el resultado de varias erupciones, separadas por un período aproximado de 1Ma de edad, dichas erupciones involucran magmas de composición andesítica y dacítica

### **IV.3 Clasificación por su tipo de erupción**

La salida de la fracción líquida del magma viene determinada por la propiedad física que caracteriza el movimiento de un fluido esto es: la viscosidad, el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidades. De esta manera la lava se comporta como un fluido Newtoniano que se expande con una velocidad radial lo suficientemente pequeña para que el movimiento pueda considerarse como laminar (Hupper y colaboradores, 1982 en Cas y Wrigth, 1987 ).

El vulcanismo efusivo se caracteriza por flujos de material magmático coherente expulsado a la superficie durante la actividad volcánica. Para que se de un vulcanismo de tipo efusivo se requiere principalmente que el contenido de volátiles exsueles en la cámara magmática antes y durante la erupción sea lo suficiente bajo para prevenir que se forme una presión de gases que pueda causar una fragmentación explosiva. Esta exsolución de gases aumentará la viscosidad y el esfuerzo cortante del magma, lo cual afectará la movilidad, distancia y espesor del flujo.

El tipo de erupción presente en el volcán Ajusco es de tipo efusivo debido a las características reológicas de las rocas que lo constituyen, corresponden a magmas con una cantidad de volátiles muy baja que dió origen a lavas muy viscosas y vesiculadas.

#### **IV.4 Mecanismos de erupción peleanos (colapso de domos)**

Peleano, es el nombre general para muchas erupciones violentas y de magmas muy viscosos. El magma es usualmente de composición intermedia a ácida, las nubes ardientes son características de este tipo de erupción.

Las erupciones peleanas son divididas dentro de varios de tipos, incluyendo los siguientes: Peleano (sensu estricto), italicos San Vicente (o La Soufrieres), Merapi y Katmai, (Cliff Ollier, 1988).

Para Heiken y Wohletz (1985), peléano es un termino usado para describir erupciones que involucran magmas viscosos andesíticos, dacíticos y riolíticos, que son caracterizados por explosiones de moderada a extrema violencia en la cual los fragmentos caliente, sólidos o viscosos de lava nueva son eyectados comunmente como flujos piroclásticos. Estas erupciones son usualmente asociadas con el crecimiento de domos de lava silicica.

Se ha considerado que el volcán Ajusco durante su formación el tipo de explosividad corresponde a la Peleana, ya que durante el crecimiento del domo estuvo acompañado nubes ardientes (flujos piroclásticos de bloques y cenizas) los cuales no viajaron grandes distancias, pero si a temperaturas muy altas, debido a que en algunos depósitos las rocas se encuentran soldadas.

Los flujos fragmentados de lava o colapso de flujos de lava, se presentan desde la cima o sobre los flancos del volcán: el colapso puede ser simplemente gravitacional (el cuál no es estrictamente piroclástico) o podría ser una explosión dirigida. Sin embargo la fuerza de la presión dentro de un domo debido a un colapso gravitacional inicial podría producir un colapso explosivo. En algunos casos las explosiones podrían ser también provocadas por contacto del crecimiento del domo con agua superficial. Cada erupción podría ser considerada freatomagmática, cuando ocurre un colapso gravitacional, se generan pequeños volúmenes de flujos piroclásticos (Sheridan, 1983).

El colapso estructural de una parte del edificio volcánico produce depósitos de avalancha de escombros, los factores que pueden contribuir a un colapso estructural del edificio volcánico son diversos, de acuerdo con Uí y colaboradores 1986, entre ellos se puede mencionar:

1. Ajustes gravitacionales que llevan el asentamiento del cono.
2. Rompimiento y deslizamiento a lo largo de las fallas, alrededor de la fuente resultando en una falla del segmento del cono debido a un temblor o una erupción explosiva.
3. Falla mecánica del edificio volcánico.
4. Pendientes fuertes mayores a 20°.
5. Temblor de alta magnitud.
6. Dilatación por intrusión de diques paralelos
7. Reducción en la resistencia del edificio debido a saturación de aguas hidrotermales.

Durante el Pleistoceno, la actividad del volcán Ajusco culminó con el colapso estructural de la parte noroeste del edificio volcánico, la cual dio origen a un depósito de avalancha de escombros (fig. III.2). El Depósito de Avalancha de Escombros Zacatepétl presenta las facies características de los depósitos de avalancha de escombros (facies de matriz y facies de bloques) así como facies intermedias entre estas, dicho depósito se clasificó como un evento de tipo Bandai debido a que no se observó alguna componente magmática (Cervantes y Molinero, 1995). Anteriormente la actividad del volcán produjo pequeños depósitos de flujos piroclásticos ocasionados durante el crecimiento del domo.

#### **IV.5 Flujos piroclásticos.**

En las erupciones peleanas el magma es usualmente de composición intermedia a ácida, las nubes ardientes son características de este tipo de erupción, donde las nubes de ceniza son erupcionadas lateralmente.

Se define como nube ardiente a los flujos de bloques y cenizas, cuyo componente magmático es una roca densa, pobremente vesiculada de magmas andesíticos y dacíticos (Peter Francis, 1993).

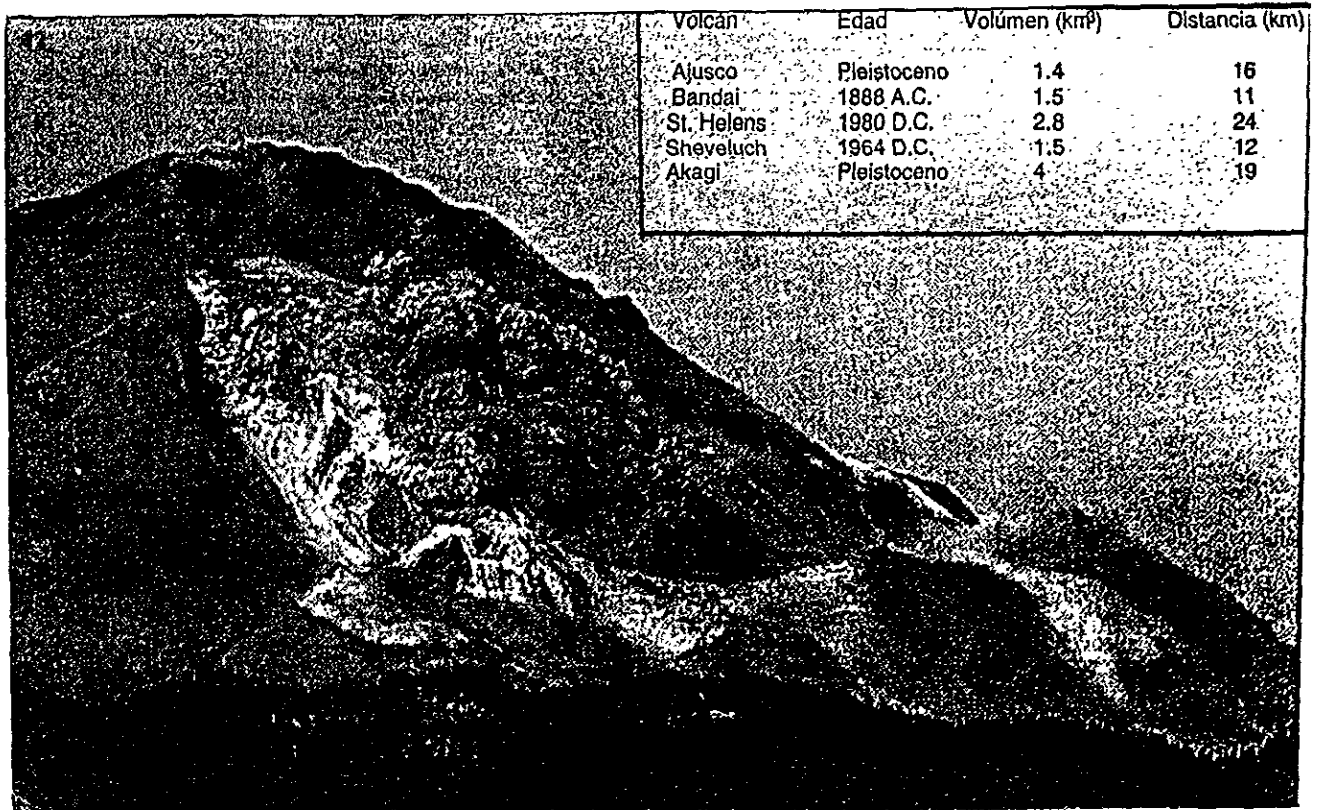


Fig. IV.2

- a) Recreación a partir de una fotografía de la erupción del Monte Santa Elena (1980), representa lo que podría haber ocurrido con el volcán Ajusco; la tabla muestra algunos eventos de este tipo en el mundo, los dos primeros son de tipo Bandai y los otros son de tipo Bezymianny (Cervantes y Molinero, 1995)
- b) La fotografía muestra el perfil del domo Pico del Aguila, que fue afectada por el colapso estructural



La Nube ardiente podría ser restringida a pequeños volúmenes de flujos de bloques y cenizas, producidos por el colapso de la actividad de crecimiento de flujos de lava o domos (La Croix, 1904).

Los depósitos de flujos de bloques y cenizas son pequeños volúmenes de flujos piroclásticos  $<1\text{Km}^3$ . Estos flujos son topográficamente controlados, son depósitos no clasificados tienen una matriz de ceniza y contienen bloques líticos cognados los cuales pueden exceder 5 m de diámetro, algunos de estos bloques se emplazan como bloques calientes. Los clástos podrían ser de algunos tipos de magmas y también podrían ser depósitos monolitológicos, muchos ejemplos de unidades de flujos presentan gradación inversa (Cas y Writgth, 1987).

El término nube ardiente, (literalmente " glowing cloud ") se define como flujos de bloques y cenizas, cuyo componente magmático es una roca densa, en contraste a las pumicitas vesiculadas que forman ignimbritas. Pobremente vesiculares son los magmas andesíticos y dacíticos, usualmente proveen material juvenil, pero hay algunas variedades de basaltos escoriáceos (Peter Francis, 1993).

Los diferentes tipos de nube ardiente son originados por: 1) colapso de columna; 2) proyección lateral; 3) colapso de domo y 4) "boiling-over" con una columna vertical los depósitos producidos son llamados flujos de bloques y cenizas y /o depósitos de could surge (Fisher y Schmincke, 1984).

De manera general, los depósitos de flujos piroclásticos de bloques y cenizas presentes en los flancos del volcán están contituidos por material de composición intermedia ya sea rocas andesíticas o dacíticas y en ocasiones ambas.

## **IV.6 Depósitos**

Los depósitos principales presentes en el volcán Ajusco corresponden a los flujos piroclásticos de bloques y cenizas, depósitos de avalancha de escombros Zacatepétl y los flujos de lava extruída por fracturas en las faldas de

la montaña al final de la construcción del volcán, las rocas se hicieron máficas. Dichos flujos son lavas de andesitas-basálticas, las cuales marcan una transición entre el cambio de composición ácida a básica.

## **V. EVOLUCIÓN DEL VOLCÁN AJUSCO**

### **V.1 Etapa pre-eruptiva Ajusco**

La etapa eruptiva que precede al surgimiento del volcán Ajusco, corresponde a la Formación Las Cruces. Definida por Schlaepfer (1968) y descrita por Sánchez- Rubio (1978) como una serie dacítica porfirítica, más tarde Mora y colaboradores en 1991 le asignan una edad de  $1.79 \pm 0.19$  a una roca tomada en el Desierto de los Leones el cual forma parte la Sierra de Las Cruces. Delgado y Martín del Pozzo (1993) consideran que el período eruptivo Las Cruces está representado por la actividad del volcán poligenético Los Picachos consistente de flujos piroclásticos dacíticos, lahares y lavas de la Formación Las Cruces constituido de dos miembros (Brecha Piroclástica Cantimplora y Lava Dacítica Apilulco), formada principalmente durante el Plioceno Tardío-Pleistoceno Temprano. Esta formación es el conjunto de tres estratovolcanes (La Palma, Los Picachos y Los Tepalcates) alineados en una dirección que es casi N-S. Dicha formación se distribuye en el límite sudoccidental de la Cuenca de México.

### **V.2 Período eruptivo Ajusco**

Para el período eruptivo del Ajusco, Schlaepfer (1960) nombra Formación Ajusco, al conjunto de rocas volcánicas cuyo origen se atribuye a mantos andesíticos-dacíticos. Mooser (1963) nombró Serie-Andesítica Ajusco a los distintos cuerpos de roca, Martín del Pozzo en 1980, considera que El Tanque y el Santo Tomás son volcanes adventicios del volcán compuesto Ajusco; además, observo piroclastos de tamaño lapilli asociados a lavas. Urrutia y colaboradores (1981), reconocieron polaridades inversas de las rocas de la Formación Ajusco, indicando una edad mínima de 0.73 Ma. Mora y colaboradores (1991), obtienen un dato de  $0.394 \pm 0.155$  Ma de un basalto sobre el flanco sur del volcán Ajusco. Delgado y Martín del Pozzo (1993) le asignan una edad mayor a los 0.73 Ma.

En este trabajo se ha considerado lo siguiente, este volcán nació hace más de 3 Ma en una fosa volcano-tectónica (Graben del Tezontle), con una orientación

casí E-W y una longitud de 8 Km. Las fallas de tipo normal producidas por esfuerzos compresivos con una orientación E-W , dichas fallas presentan una orientación al NE.

Este volcán compuesto representa la transición de un período de volcanismo caracterizado por la construcción de grandes edificios (estrato-volcanes, típicos del volcanismo poligenético), a un período de volcanismo monogenético que dió origen a pequeños volcanes, ubicados en el borde sur de la Cuenca de México, desde el Plioceno Tardío hasta el presente.

El volcanismo que originó al VA fue principalmente efusivo y se caracterizó por la construcción de domos de composición intermedia acompañados por flujos piroclásticos de bloques y cenizas.

La estratigrafía calibrada mediante fechamientos radiométricos de K-Ar, indica que el volcán comprende cuatro fases de construcción de domos, el primer emplazamiento corresponde al domo dacítico La Cruz del Marqués con una edad probable de 3 Ma, seguido por el emplazamiento del domo andesítico Santo Tomás con una edad de 3.4 Ma, entre estos dos eventos se nota un cambio en el contenido de hornblenda que a su vez, indica un aumento en el contenido de agua en el magma. Posteriormente, el siguiente emplazamiento dió origen al domo dacítico Pipixaca extruído hace 2 Ma y finalmente se emplazó el domo dacítico Pico del Aguila hace 0.6 Ma.

Las lavas de los domo son de composición andesítica y dacítica con variaciones en el contenido de sílice y minerales hidratados como la hornblenda y biotita, además de la presencia de olivino hacia la última fase de construcción.

Es importante considerar la variación en el contenido de sílice y olivino, ya que la cantidad de hornblenda hacia el final de la evolución disminuyó y el olivino se incrementó, determinando un período de transición representado por los flujos de andesita-basáltica y posteriormente teniendo la presencia de lavas máficas para los flujos recientes. La transición del volcanismo poligenético a monogenético, está relacionado a un cambio en el régimen de esfuerzos.

### **V.3 Evento final**

La actividad del volcán Ajusco, culminó hace  $< 0.6$  Ma al colapsarse el flanco NE del edificio volcánico de acuerdo con Cervantes y Molinero en 1995, produciendo un depósito de avalancha de escombros tipo Bandai, con un volumen aproximado de  $1.4 \text{ km}^3$ , el cual se emplazó a una distancia de 16 km, producto de esfuerzos tensionales con una orientación casi E-W.

Las fallas normales asociadas a estos esfuerzos tienen una orientación NE-SW. Los montículos formados por esta avalancha fueron cubiertos por las lavas de los volcanes Cuilotepec y Xitle.

### **V.4 Etapa pos-eruptiva**

Al final de la evolución geológica del VA, sus productos se tornaron más máficos y los flujos de andesitas-basálticas, fueron extruídos a través de fracturas en las faldas de la montaña.

Posteriormente hace 27,000 años el VA fué ocupado por glaciales, los cuales erosionaron al volcán dejando como rasgos característicos valles en forma de "U", circos glaciales y morrenas.

La etapa pos-eruptiva, corresponde al período eruptivo del Grupo Chichinautzin (volcanismo monogénético desarrollado durante el Pleistoceno Tardío y el Holoceno). Durante el Pleistoceno Tardío surgen dentro de esta zona los volcanes La Panza y conos asociados, que tienen como característica principal estar alineados junto con el volcán Ajusco, sobre un sistema de fracturas hacia el  $N65^\circ W$ , a dicho fracturamiento se le atribuye el origen del flujo de lava Coamino de composición básica que se extiende hacia el sureste del volcán Ajusco, también se asocian fallas normales que conjuntas forman un graben.

El volcanismo que precede al Xitle y perteneciente al Grupo Chichinautzin observados en la zona consiste principalmente de conos de escoria como el volcán Man-nal, además flujos de lava fisurales como el Basalto Viborillas. Estos

eventos son manifestaciones del volcanismo monogénico característico de la Sierra Chichinautzin.

El Pelado surge durante el Holoceno y constituye el último evento de la actividad volcánica de dicho campo.

## **VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **VI.1 Conclusiones**

- -El volcán Ajusco es un volcán compuesto, representa la transición de un período de volcanismo poligenético, caracterizado por la construcción de grandes edificios.
- -La edad del volcán Ajusco mayor a los 3 Ma.
- -Calibración de la estratigrafía
- -Se definió la estratigrafía del Volcán Ajusco, el cual está constituido por cuatro domos de composición andesítica y dacítica, acompañados por flujos piroclásticos de bloques y cenizas
- -Aunque el objetivo de esta tesis no es determinar el origen del depósito de avalancha de escombros Zacatépétl. Es importante mencionar que la edad del domo Pico del Águila ( $0.67 \pm 0.6$  Ma), es parecida a la edad de la andesita del depósito de avalancha (0.7 Ma), lo cual indica que las dacitas del depósito sí pertenecen al volcán Ajusco.
- Hacia la fase final del período eruptivo del volcán Ajusco se determinó un período de transición representado por los flujos de andesita-basáltica y teniendo la presencia de lavas máficas para los flujos recientes.
- Se considera que el colapso del edificio volcánico que produjo el depósito de avalancha de escombros, fue producto de esfuerzos tensionales con una orientación NE-SW. Las fallas asociadas a estos esfuerzos tienen una orientación NW-SE.

### **VI. Recomendaciones**

- -Fecha la roca perteneciente al domo La Cruz del marqués, para definir que en realidad es el domo más antiguo y así obtener la edad del volcán y cuantos años duro su período eruptivo.
- -Hacer un estudio geomorfológico a detalle
- -Detallar la información de los depósitos piroclásticos

- -Obtener más análisis químicos tanto de los flancos de los domos como de los flujos para detallar el período de transición.
- -Detallar la geología estructural tanto del volcán Ajusco, graben del Tezontlé
- -Hacer un estudio detallado del depósito de avalancha de escombros Zacatépetl, principalmente análisis químicos, fechamientos entre otros.



## BIBLIOGRAFIA

Arellano, A.R.V., 1948, La composición de las rocas volcánicas en la parte sur de la Cuenca de Méjico: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo XIII, p.81-82.

Arellano, A.R., 1953, Estratigrafía de la Cuenca de México: Memorias del congreso científico mexicano, V.3, p.172-186.

Andrade Pulido J., 1961, Las condiciones geohidrológicas de la Sierra del Ajusco, (Tesis de licenciatura), Facultad de Ingeniería, UNAM.

Alaniz-Alvarez Susana A. y colaboradores, 1998, Effect of strain rate in the distribution of monogenetic and polygenetic volcanism in the Transmexican Volcanic Belt, *Geology*, V. 26, p. 591-594.

Arana Salinas L. y Delgado Granados H, 1997, Pelado volcano in southern city, a young monogenetic volcano (<1000 years old) and its posible impact in human settlements, *IAVCEI*, P. 123

Blazquez Luis, 1948, Hidrología de las Cuencas de los ríos Magdalena y Eslava, en relación con el aprovisionamiento de aguas para la Ciudad de México (Tesis de licenciatura), UNAM.

Bloomfield, K., 1975, A late Equaternary Monogenetic Volcano Field in Central Mexico: *Geologische Rundschau*, V.64(2), p.476-497.

Bremer Bremer, Martín, H y Jaime Urrutia F., 1985, Magnetoestratigrafía y variaciones del campo magnético en rocas volcánicas del centro de México, *Revista de Ingeniería*, V.55(2), p.41-45

Barker Daniel, 1983, *Igneous rocks*, Prentice-Hall, Englewood Cliff, Newjersey

Cas, R.Z.F. and Jonh Wrioth, 1987, *Volcanic successions modern and ancient*, London Chapman and Hall. 528 p.

Cervantes L.P. y Molinero M.R., 1995, Eventos volcánicos al sur de la Ciudad de México, (Tesis de Licenciatura), Facultad de Ingeniería, UNAM.

Demant A., 1982, Interpretación geodinamica del volcanismo del Eje Neovolcánico Transmexicano: *Revista del Instituto de Geología*, UNAM, V.5(2), p. 217-222.

Delgado Granados H., 1986, Geomorfología de una porción de la Sierra de las Cruces, al sur de la Ciudad de México, Resúmenes de la I Reunión Nacional de Geomorfología, Instituto de Geografía, UNAM, p.4.

Delgado G. H., 1991, Volcano-Tectónica, *Vulcanología: Estado del arte y perspectiva en México*. Comunicaciones técnicas, Instituto de Geofísica, UNAM, vol.1.

Delgado G. H. and Martin del Pozzo A.L.,1993, Plioceno to Holoceno volcanic geology at the junction of Las Cruces, Chichinautzin and Ajusco ranges, Southwest of Mexico City, V.32(3),p.511-522.

Fries Carl, 1960, Geología del Estado de Morelos y partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México, Boletín del Instituto de Geología de la UNAM. 60p.

Felix, Johannes and Hans , Lenk, 1890, Beitrage Zur Geologie und Paläontologie der Republik Mexico: Stuttgart Schweizer bart, V.1, p.78-88, und 102.

Fischer, R.V. and H. U Schmincke, 1984, Pyroclastic Rocks: Berlin, Springer Verlag, p.472.

Gunn, B.M. and F. Mooser, 1971, Geochemistry of the volcanics of central Mexico: Bulletin volcanologique, V.34(2), p. 577-616.

Lugo Hubp J., 1970, Geomorfología del sur de la Cuenca de México: Serie Varia, T.I(8), Instituto de Geografía, UNAM.

Lugo Hubp J., 1984, Geomorfología del sur de la Cuenca de México: Serie Varia, T.I(8), Instituto de Geografía, UNAM.

Lugo Hupp J., 1991, Elementos de geomorfología aplicada (metodos cartográficos), Instituto de Geografía, UNAM, 128p.

Le Maître R. W., 1989, A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell Scientific Publications, p. 193

Marroquín y Rivera, M.y Pedro C. Sánchez, 1901, Mémoire sur la Chaîne de Montagnes de Lájusco et le Captage de ses Eaux Souterraines: Memorias de la Sociedad Científica "Antonio Alzate", p. 167-200.

Mooser F.,1963, Historia geológica de la Cuenca de México: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, V.15, p.239-246

Mooser Federico, 1975, Historia geológica de la cuenca de México: Memorias de las obras de drenaje profundo del Distrito Federal, Tomo 1, p.9-38.

Martin del Pozzo, A.L., 1980, Volcanología de la Sierra Chichinautzin, (Tesis de Licenciatura), Facultad de Ciencias de la UNAM.

Martin del Pozzo, A.L., 1982, Monogenetic Vulcabism in the Sierra Chichinautzin, México, Bulletin of Volcanology, V. 45(1), p. 9 -29

Mora Alvarez y colaboradores, 1992, Southward migration of volcanic activity in the Sierra Las Cruces, basin of Mexico?, -a preliminary K-Ar dating and paleomagnetic study: Geofísica Internacional, V.30(2),p.61-70.

Ollier, Cliff.,1988, Volcanoes, New York, Basil Blackwell Inc., 228 p.

Pasquaré G., Ferrari L. Perazzoli V., Tiberi M. and Turchetti F., 1987, Morphological and structural analysis of the Central Sector of the Transmexican Volcanic. *Geofísica Internacional*. Vol. 31, No. 4, p. 431-442.

Rice R. J., 1983, *Fundamentos de geomorfología*, Paraninfo Madrid, p.392.

Sheridan Michael F., 1983, Emplacement of pyroclastic flows: A review, Department of Geology, Arizona State University, pg. 125-181,

Swinamer Terrance R., 1989, The geomorphology, petrography, geochemistry and petrogenesis of the volcanic rocks in the Sierra del Chichinautzin, México, (Tesis de grado de maestría), Queen's University Kingston, Ontario, Canada. p. 212.

Schlaepfer Carmen, 1968 , Geología de la hoja México 14 Q-h(5): Instituto de Geología, UNAM, Esc 1:100,000.

Sanchez-Rubio, 1978, Notas sobre

Summerfield Michel A., 1991, Global geomorphology and introduction to the study of landforms, Laggman scientific and technical, p 537.

Ugalde Villareal, Héctor, 1950, Estudio Geológico de la Sierra del Ajusco, (Tesis de Licenciatura), Facultad de Ingeniería, UNAM.

Ui, Tadahide, 1989, Discrimination between debris avalanches and other volcanoclastic deposits. *Procc. Vulcanology 1*, IAVCEI, p. 201-209.

Urrutia Fucugauchi y Martin del pozzo Ana Lilia, 1991, Implicaciones de los datos paleomagnéticos sobre la edad de la Sierra de Chichinautzin, Cuenca de México. *Geofísica Internacional*, Vol. 32, No. 3, pp. 523-533.

Vazquez-Sánchez E. y R. Jaimes Palomera, 1989, Geología de la Cuenca de México: *Geofísica Internacional*, V. 28(2), p. 133-190.

Venegas S. y colaboradores, 1985, Algunas características de la Faja Volcánica Mexicana y de sus recursos geotermicos, *Geofísica Internacional*, V. 24-1, pp. 47-81.

White y Sidney, 1978, Acontecimientos glaciales y periglaciales en el Ajusco. *Antropología e Historia*, Boletín del INAH, época III, No. 22, p. 51-56.

White, Sidney E. y colaboradores, 1990, El Ajusco: Geomorfología volcánica y acontecimientos glaciales durante el Pleistoceno Superior y comparación con las series Glaciares Mexicanas y las de las Montañas Rocallosas. (Trad. José L. Lorenzo), Colección científica, México, INAH

Wittich, Ernesto, 1919, Los fenómenos microvolcánicos en el Pedregal de San Angel, Mem. y Rev. de la Sociedad Científica "Antonio Alzate", T.38 (3 y 4), p. 101-120.

# **APENDICE**

## **PETROGRAFIA**

**Muestra:** Pld (Pelado)

**Localidad:** volcán Pelado, flujo distal al NW de dicho volcán.

**Descripción Macroscópica:**

**Color:** gris oscuro

**Textura:** afanítica, roca muy vesiculada

**Descripción Microscópica:**

**Textura:** Microcristalina

**Mineralogía:**

**Escenciales:** andesina, piroxenos. olivino

**Accesorios:** horblenda, minerales opacos

**Secundarios:** minerales arcillosos, ferromagnesianos

**Clasificación:** andesita

**Características:** se observa la presencia de vesículas de gran tamaño y abundancia, la matriz esta constituida por pequeños cristales de plagioclasa, los fenocristales de piroxenos presentan bordes de oxidación.

**Muestra:** F.G

**Localidad:** Flujo El Llano localizado al SW del volcán Ajusco

**Descripción Macroscópica:**

**Color:** gris oscuro

**Textura:** porfírica, con fenocristales de plagioclasa, horblenda

**Descripción Microscópica:**

**Textura:** microlítica

**Mineralogía:**

**Escenciales:** andesina, olivino, vidrio ácido. piroxenos, feldespatos potasic

**Accesorios:** minerales opacos

**Secundarios:** minerales arcillosos, ferromagnesianos

**Clasificación:** andesita

**Características:** presenta fenocristales de plagioclasa, los cristales pequeños de plagioclasa estan zoneados y alterados, en general la roca se encuentra alterada con ciertos contenidos de minerales arcillosos, se observa la presencia de vesículas y contenido de vidrio ácido.

**Muestra:** Mlt (Malacatepec)

**Localidad:** volcán Malacatepec

**Descripción Macroscópica:**

**Color:** gris oscuro

**Textura:** afanítica, muy vesicular

**Descripción Microscópica:**

**Textura:** porfírica

**Mineralogía:**

**Escenciales:** andesina, oligoclasa, piroxenos, feldespato k

**Accesorios:** horblenda, minerales opacos

**Secundarios:** minerales arcillosos, ferromagnesianos.

**Clasificación:** andesita

**Características:** se observa la presencia de vesículas de gran tamaño en un porcentaje del 3%, los fenocristales se encuentran rodeados por una matriz microlítica de feldespato potasico y plagioclasa además de minerales arcillosos,

algunas horblendas presentan oxidación, las plagioclasa se presentan en pequeños cristales euedrales sin zoneamiento.

**Muestra:** Zr

**Localidad:** Flujo de lava El Zorrillo

**Descripción Macroscópica:**

**Color:** gris oscuro

**Textura:** afanítica, con vesículas

**Minerales Observables:**

**Descripción Microscópica:**

**Textura:** microcristalina

**Mineralogía:**

**Escenciales:** plagioclasa, piroxenos, feldespato potasico, olivino

**Accesorios:** minerales opacos ,horblenda

**Secundarios:**hematita-limolita, minerales arcillosos

**Clasificación:** andesita

**Características:**se observa de manera incipiente una cierta textura fluidal, la mayoría de los fenocristales se encuentran oxidados, es decir algunos estan sustituidos por ferromagnesianos (hematita principalmente), las plagioclasa están zoneadas y corroidas.

**Muestra:** Cnj.-1

**Localidad:** Flujo de lava Conejo (parte proximal)

**Descripción Macroscópica:**

**Color:** gris claro

**Textura:** afanítica, con pequeñas vesículas y pequeños cristales de olivino

**Descripción Microscópica:**

**Textura:** porfirítica

**Mineralogía:**

**Escenciales:** plagioclasa, piroxenos, feldespato k, olivino.

**Accesorios:**horblenda,biotita

**Secundarios:**minerales arcillosos, hematita-limolita

**Clasificación:**andesita-basáltica

**Características:**las plagioclasa se encuentran zoneadas y corroidas, algunas biotitas estan alteradas a clorita, los feldespatos y piroxenos estan alterados y sustituidos por ferromagnesianos algunas minerales presentan una textura esquelal.

**Muestra:** Cnj.-2

**Localidad:** Flujo de lava Conejo

**Descripción Macroscópica:**

**Color:** gris claro

**Textura:** afanítica, con pequeñas vesículas y pequeños cristales de olivino

**Descripción Microscópica:**

**Textura:**porfirítica

**Mineralogía:**

**Escenciales:**plagioclasa,piroxenos olivino y feldespato k.

**Accesorios:** horblenda, minerales opacos

**Secundarios:**minerales arcillosos, clorita.

**Clasificación:** andesita-basáltica

**Características:** algunos fenocristales de plagioclasa, olivinos y piroxenos, estan corroidos en su interiorde esta manera presentan una textura esquelal, la matriz

consiste basicamente de plagioclasa zoneada, las horblendas estan oxidadas y muy corroidas.

Muestra: Cnj.-3

Localidad: Flujo de lava Conejo

Descripción Macroscópica:

Color: gris claro

Textura: afanítica, con pequeñas vesiculas

Descrpción Microscópica:

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Escenciales: plagioclasa, piroxenos olivino y feldespato

Accesorios: horblenda, minerales opacos

Secundarios: minerales arcillosos, clorita

Clasificación: andesita-basáltica

Características: algunos fenocristales de plagioclasa, olivinos y piroxenos, estan corroidos en su interiorde esta manera presentan una textura esqueletal, la matriz consiste basicamente de plagioclasa zoneada, las horblendas estan oxidadas y muy corroidas.

Muestra: Vib.-1

Localidad: Flujo de lava Viborillas (parte proximal)

Descripción Macroscópica:

Color: gris oscuro al fresco

Textura: afanítica muy vesiculada

Descrpción Microscópica:

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Escenciales: plagioclasa, piroxenos y olivino

Accesorios: minerales opacos

Secundarios: minerales arcillosos, hemitita-limolita

Clasificación: basalto

Características: matriz constituida por cristales pequeños de plagioclasa, piroxenos y olivino, el olivino se encuentra alterado a iddingsita, los fenocristales de plagioclasa se encuentran muy corroidos, hay presencia de vesiculas.

Muestra: Vib.-2

Localidad: flujo de lava Viborillas

Descripción Macroscópica:

Color: gris obscuro

Textura: afanítica, poco vesiculado, pequeños cristales de olivino

Descrpción Microscópica:

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Escenciales: plagioclasa, piroxenos ,olivino

Accesorios: minerales opacos

Secundarios: minerales arcillosos

Clasificación: basalto

Características: la matriz esta constituida por microcristales de plagioclasa, algunos fenocristales de plagioclasa presentan una textura esqueletal y otras presentan una corona corroida, los fenocristales de olivino estan alterados a iddingsita (la mayoría), los priroxenos tambien presenta corona de oxidación.

Muestra: Vib.-3  
Localidad: flujo de lava viborillas  
Descripción Macroscópica:  
Color: gris oscuro  
Textura: afanítica, poco vesiculado, con pequeños cristales de olivino  
Descripción Microscópica:  
Textura: porfirítica  
Mineralogía:  
Escenciales: plagioclasa, piroxenos y olivino (fenocristales)  
Accesorios: minerales opacos  
Secundarios: minerales arcillosos  
Clasificación: andesita  
Características: la matriz esta constituida por microcristales de plagioclasa que presentan fluides incipiente algunos de los fenocristales de olivino presentan una corona de alteración.

Muestra: Cm.-1  
Localidad: flujo de lava coamino  
Descripción Macroscópica:  
Color: gris oscuro al fresco, intemperismo de color gris claro  
Textura: porfirítica, con fenocristales de plagioclasa, horblenda  
Descripción Microscópica:  
Textura: porfirítica  
Mineralogía:  
Escenciales: piroxenos, plagioclasa (fenocristales)  
Accesorios: horblenda, minerales opacos  
Secundarios: minerales arcillosos, hematita-limolita.  
Clasificación: andesita-basáltica  
Características: matriz constituida por microlitos de plagioclasa con textura fluidal, la mayoría de los fenocristales se encuentran cizorroídos, algunas estan remplazadas por ferromagnesianos, otras presentan una textura fantasmal.

Muestra: Cm.-2  
Localidad: flujo de lava coamino  
Descripción Macroscópica:  
Color: gris claro al fresco  
Textura: porfirítica, con fenocristales de plagioclasa en una matriz vítrea  
Descripción Microscópica:  
Textura: porfirítica  
Mineralogía:  
Escenciales: plagioclasa, piroxenos  
Accesorios: horblenda, minerales opacos  
Secundarios: minerales arcillosos, hematita  
Clasificación: andesita-basáltica  
Características: los fenocristales de plagioclasa zoneada con corona de oxidación, la mayoría de las horblendas se encuentran remplazadas por ferromagnesianos.

Muestra: Cm.-3  
Localidad: flujo de lava coamino  
Descripción Macroscópica:  
Color: gris claro  
Textura: porfirítica, con fenocristales de plagioclasa



Descripción Microscópica:

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Escenciales: plagioclasa, piroxenos

Accesorios: horblenda (fenocristales), minerales opacos

Secundarios: minerales arcillosos, limolita

Clasificación: andesita

Características: la matriz es microlítica con pequeños cristales de plagioclasa, minerales arcillosos, algunos fenocristales de plagioclasa están zoneadas y la mayoría presenta el centro alterado o los bordes del cristal.

Muestra: Mr.-1

Localidad: flujo de lava El Mirador

Descripción Macroscópica:

Color: gris claro al fresco

Textura: afanítica, roca muy alterada en la cual se observan que los óxidos reemplazaron a los minerales existentes

Descripción Microscópica:

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Escenciales: andesina, olivino (fenocristales)

Accesorios: horblenda, minerales opacos

Secundarios: minerales arcillosos, hematita-limolita

Clasificación: andesita-basáltica

Características: algunos fenocristales de olivino están alterados a iddingsita, las plagioclasas constituyen a la matriz y además están alteradas, algunas muestras una textura esquelética o están corroídas.

Muestra: Mr.-2

Localidad: flujo de lava El Mirador

Descripción Macroscópica:

Color: gris oscuro al fresco

Textura: afanítica, con pequeñas vesículas

Descripción Microscópica:

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Escenciales: plagioclasa, piroxenos

Accesorios: horblenda, minerales opacos

Secundarios: minerales arcillosos

Clasificación: andesita-basáltica

Características: es muy notoria la presencia de fenocristales tanto de plagioclasas como de horblendas la mayoría presenta una textura fantasmal, la matriz está constituida por cristales pequeños de plagioclasa y minerales arcillosos.

Muestra: Mr.-3

Localidad: flujo de lava El Mirador

Descripción Macroscópica:

Color: gris oscuro al fresco

Textura: afanítica, con pequeñas vesículas

Descripción Microscópica:

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Escenciales: plagioclasa, olivino (fenocristales muy alterados)  
Accesorios: horblenda, minerales opacos  
Secundarios: minerales arcillosos, hematita-ilimolita.  
Clasificación: andesita-basáltica  
Características: matriz constituida por microcristales de plagioclasa, los fenocristales estan corroidos, algunos muestran corona de oxidación, es muy clara la presencia de vesiculas.

Muestra:Mr.-4

Localidad: Flujo de lava El Mirador

Descripción Macroscópica:

Color: gris oscuro al fresco

Textura: afanítica, con pequeñas vesiculas

Minerales Observables:

Descrpción Microscópica:

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Escenciales: andesina, olivino (fenocristales)

Accesorios: horblenda, minerales opacos

Secundarios: minerales arcillosos, hematita

Clasificación: andesita-basáltica

Características: los fenocristales de plagioclasa estan zoneados, la matriz tiene una textura microlítica constituida por plagioclasa, algunos fenocristales de olivino estan alterados a iddingsita, hay presencia de vesiculas.

Muestra: Px.-3

Localidad: flujo de lava Chomulco

Descripción Macroscópica:

Color: gris claro

Textura: porfirítica, con abundantes fenocristales de plagioclasa, hornblenda, biotita en una matriz cristalina

Descrpción Microscópica:

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Escenciales: plagioclasa (fenocristales), piroxenos

Accesorios: olivino, hornblenda (fenocristales), minerales opacos

Secundarios: minerales arcillosos, hematita-ilimolita.

Clasificación: andesita

Características: algunos de los cristales de plagioclasa estan zoneados, la mayoría de los cristales de hornblenda tienen el borde corroido, y remplazados por hematita, la matriz esta constituida por cristales pequeños de plagioclasa, hornblenda y minerales arcillosos, los pocos cristales de olivino se encuentran alterados y son muy pequeños.

Muestra: PA-1 (Pico Aguila)

Localidad: Cerro Pico del Aguila

Descripción Macroscópica:

Color:

Textura:

Descrpción Microscópica:

Textura: Porfirítica

Mineralogía:

Escenciales: andesina, oligoclasa, vidrio acido

Accesorios: horblenda, minerales opacos  
Secundarios: minerales arcillosos, hematita-limolita  
Clasificación: Dacita  
Características: fenocristales de plagioclasa con textura dendrítica, vidrio en proceso de desvitrificación, en la matriz se observa que los ferromagnesianos estan oxidados., textura esquelatal, matriz microlítica.

Muestra: PA-2

Localidad: Cerro Pico del Aguila

Descripción Macroscópica:

Color:

Textura:

Descrpcción Microscópica:

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Escenciales: andesina, vidrio acido

Accesorios: horblenda, minerales opacos

Secundarios: minerales arcillosos, hematita-limolita

Clasificación: dacita

Características: los fenocristales de plagioclasa presentan una textura dendrítica, el vidrio esta en proceso de desvitrificación, matriz microlítica, algunas horblendas presentan una textura esquelatal.

Muestra: PA-3

Localidad: Circo pico del Aguila

Descripción Macroscópica:

Color:

Textura:

Descrpcción Microscópica:

Textura: Traquítica

Mineralogía:

Escenciales: andesina-oligoclasa, vidrio ácido, feldespatos potasico (sanidino)

Accesorios: horblenda, minerales opacos

Secundarios: minerales arcillosos, hematita-limolita

Clasificación: dacita

Características: fenocristales con corona de oxidación, plagioclasas zoneadas algunas devoríticas, ferromagnesianos oxidados, hematita-limolita en pequeñas manchas, vidrio intersticial alterado a minerales arcillosos.

Muestra: Px.-1 (Pipixaca-1)

Localidad: Cerro Pipixaca

Descripción Macroscópica:

Color:

Textura:

Descrpcción Microscópica:

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Escenciales: fenocristales de andesina-oligoclasa, feldespatos k

Accesorios: horblenda. minerales opacos

Secundarios: minerales arcillosos

Clasificación: dacita

Características: matriz microlítica , los fenocristales estan zoneados y fracturados. la mayor parte de los cristales de hornblenda se encuentran remplazados por oxidos y estan corroidos en su interior

Muestra: ST-2 (Tomás -2)

Localidad: Cerro Santo Tomás

Descripción Macroscópica:

Color: pardo rosado

Textura: porfirítica, con fenocristales de plagioclasa (muy abundante) y hornblenda en una matriz cristalina

Descripción Microscópica:

Textura: Porfirítica

Mineralogía:

Escenciales: oligoclasa, andesina, vidrio acido, feldespatos potasico.

Accesorios: hornblenda, minerales opacos

Secundarios: minerales arcillosos, hematita-ilmolita

Clasificación: dacita

Características: fenocristales de plagioclasa, textura dendritica y zoneamiento oscilatorio normal, ferromagnesianos con bordes oxidados y textura esquelética.

Muestra: ST-4

Localidad: flujo piroclástico Tomás

Descripción Macroscópica:

Color: gris oscuro al fresco, color de intemperismo gris claro

Textura: porfirítica, con fenocristales de hornblenda, plagioclasa en una vítrea

Descripción Microscópica:

Textura: Traquítica

Mineralogía:

Escenciales: andesina, oligoclasa, vidrio acido

Accesorios: hornblenda, augita, minerales opacos.

Secundarios: minerales arcillosos, hematita-ilmolita

Clasificación: Andesita

Características: vidrio intersticial alterado a minerales arcillosos, piroxenos en cristales euedrales, ausencia de fenocristales.

Muestra: ST-5

Localidad: flujo piroclástico Tomás

Descripción Macroscópica:

Color: gris oscuro al fresco, color de intemperismo gris claro

Textura: porfirítica, con fenocristales de hornblenda, plagioclasa en una vítrea.

Descripción Microscópica:

Textura: Porfirítica

Mineralogía:

Escenciales: vidrio ácido, oligoclasa, andesina.

Accesorios: hornblenda, augita, minerales opacos.

Secundarios: minerales arcillosos, hematita-ilmolita.

Clasificación: andesita

Características: matriz vítrea con hematita-ilmolita y microlítica, ferromagnesianos en fenocristales bordes oxidados, algunas plagioclasa con corona y zoneamiento normal, pequeños cristales de augita.

Muestra: CM-0 (Marqués-0)

Localidad: Cerro la Cruz del Marqués

**Descripción Macroscópica:**

Color: gris oscuro al fresco, color de intemperismo gris claro

Textura: porfirítica, con fenocristales de plagioclasa, hornblenda con bordes oxidados

**Descripción Microscópica:**

Textura: Porfirítica

**Mineralogía:**

Escenciales: andesina, oligoclas, hiperstena

Accesorios: biotita, anfíboles (hornblenda), minerales opacos

Secundarios: minerales arcillosos, hematita-limolita

**Clasificación:**

Características: plagioclasa con textura dendrítica con ligero zoneamiento, algunas presentan una textura esqueletal, la hornblenda se encuentra sustituida por ferromagnesianos.

**Muestra: CM-3**

Localidad: Cerro la cruz del Marqués

**Descripción Macroscópica:**

Color: gris oscuro al fresco, color de intemperismo gris claro

Textura: porfirítica, con fenocristales de plagioclasa, hornblenda con bordes oxidados

**Descripción Microscópica:**

Textura: Porfirítica

**Mineralogía:**

Escenciales: andesina-oligoclasa, vidrio ácido

Accesorios: anfíboles, piroxenos, minerales opacos.

Secundarios: minerales arcillosos, hematita-limolita.

**Clasificación: andesita**

Características: matriz microlítica, vidrio en proceso de desvitrificación, ferromagnesianos oxidados, plagioclasa con zoneamiento y textura dendrítica (fenocristales).

**Muestra: CM-4**

Localidad: Cerro La Cruz del Marqués

**Descripción Macroscópica:**

Color: gris oscuro al fresco, color de intemperismo gris claro

Textura: porfirítica, con fenocristales de plagioclasa, hornblenda con bordes oxidados

**Descripción Microscópica:**

Textura: Porfirítica

**Mineralogía:**

Escenciales: andesina, oligoclasa, vidrio ácido.

Accesorios: anfíboles, piroxenos, minerales opacos

Secundarios: minerales arcillosos, hematita-limolita.

**Clasificación: Andesita**

Características: plagioclasa con textura dendrítica y ligero zoneamiento oscilatorio, ferromagnesianos oxidados, matriz microlítica mostrando cierto grado de flujo, hematita y limolita en manchas, vidrio en proceso de desvitrificación.