

04010  
21

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

---

---

INSTITUTO DE GEOFISICA  
PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA



GEOLOGIA DEL COMPLEJO VOLCANICO SAN MIGUEL,  
AL SUR PONIENTE DE LA CUENCA DE MEXICO.

**T E S I S**

PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**MAESTRA EN CIENCIAS**  
**( V U L C A N O L O G I A )**  
P R E S E N T A :  
**ESTHER ROMERO TERAN**

ASESOR: DR. HUGO DELGADO GRANADOS



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.

*La ciencia se compone de errores,  
que a su vez son los pasos hacia  
la verdad.*

*Julio Verne*

*Las grandes mentes discuten ideas;  
Las mentes promedio, discuten eventos;  
Las mentes pequeñas, critican a la gente.*

*Anónimo.*

A mi madre Sra. Crescencia Terán Carranza, por darme su cariño, confianza y apoyo incondicional.

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, Inés, Isabel, Socorro, Yolanda, José, María del Carmen, Roberto, Luz María, Elvira y Fabiola.

A todos mis cuñados (a), sobrinos (a) y familiares.

Con todo cariño agradezco el apoyo, comprensión y confianza que me brindaron mis profesores, amigos y familiares para llevar a cabo la realización de este trabajo.

Con especial afecto a: Pati, Sra. Esther, Karina, Lilia, Edith, Susana, Laura, Tanía, Karla, Sara, Alejandra, Flor, María Eugenia, Alberto Palomo, Réne, Lucio, Noé, José Ignacio, Marco, Ricardo, José Carlos, Guillermo, Lester, Gabriel, Fernando, Oscar, Carlos Linares, Isaac, Alberto, Betatriz, Carlos Silvestre, José Luis, Renato, Bernardo, Armando, Teodoro y todos aquellos que de alguna manera me han brindado su amistad, afecto y apoyo.

Un particular agradecimiento a mi distinguido jurado, Dr. Hugo Delgado Granados, Dra. Ofelia Morton Bermea, Dra. Ana Lilian Martín del Pozzo, Dr. José Lugo Hubp, Dr. Gerardo Aguirre Díaz, por el apoyo y tiempo que me brindaron ya que sin ello no hubiera sido posible el termino de esta tesis.

Agradezco al Posgrado por permitirme por todo el apoyo brindado, a CONACYT por la beca otorgada para realizar mis estudios y apoyo económico para trabajo de campo, también el apoyo económico brindado por el SEGEOMET, y el uso de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería.

## Resumen

El volcán Complejo Volcánico San Miguel ( CVSM ), se localiza al suroeste de la Ciudad de México, en la porción sur de la sierra de Las Cruces. Este volcán se formó hace más de 3 Ma y representa la transición de un período de volcanismo caracterizado por la construcción de grandes ( estrato-volcanes, típicos del volcanismo poligenético ), a un período de volcanismo monogenético que tuvo como consecuencia dar origen a pequeños volcanes, ubicados en el borde sur de la Cuenca de México, entre el Plioceno Tardío y el presente. El CVSM incluye volcanismo efusivo y explosivo que se caracterizó principalmente por la construcción de domos de lava de composición intermedia acompañados por flujos de bloques y cenizas. La fase efusiva del CVSM, que comprende a un conjunto de domos pliocenos representados por la Formación Tépec, con una edad probable de más de 3.0 Ma y por domos de la Formación Tenámitl con una edad probable de 3.0 Ma entre estos dos eventos se nota un cambio en el contenido de plagioclasa, siendo más abundante en el primero. Además presentan cierto lineamiento hacia el NE estas unidades se encuentran afectadas por la falla Contreras (N 55° E). Posteriormente, se emplazó la Formación Mixtli, que consiste en domos con aproximadamente 2.5 Ma. Le siguen los domos de la Formación Xomulli probablemente de 2.0 Ma, y la Formación Totolin con menos de 1.9 Ma. Durante el Pleistoceno se emplazaron los domos de la Formación Acolli hace menos de 1.7 Ma, y la Formación Acatzingo hace menos de 1.0 Ma. Finalmente, se tiene la Formación Tlan. Las lavas de los domos que constituyen al Complejo Volcánico San Miguel (CVSM), son de composición andesítica y dacítica con variaciones en el contenido de sílice y minerales hidratados como hornblenda y biotita.

Al final de la evolución geológica del CVSM, sus productos se tornaron más máficos, incluyendo flujos de basaltos y andesitas basálticas, que fueron extruídos a través de fracturas en las faldas del CVSM, con una distribución hacia la parte NW y SE del volcán. Durante el Pleistoceno medio el CVSM fue ocupado por glaciares, que erosionaron al volcán dejando característicos valles con forma de "U" y circos glaciares, principalmente. Desde la mitad del presente siglo las faldas del CVSM, han sido alcanzadas por los suburbios urbanos, principalmente en la parte noroeste y suroeste de éste, de esta forma se observa un acelerado proceso de ocupación y cambio de usos de suelo, caracterizados por la expansión ladera arriba de nuevos sistemas de aprovechamiento rural-urbano. Esto ha ocasionado grandes alteraciones e impactos en el medio físico, cuyas consecuencias se manifiestan con particular claridad en los componentes más sensibles e inestables del sistema natural como la vegetación y los suelos,

causando grandes cambios en la geomorfología de la zona y generando zonas de alto riesgo para la población.

## **Lista de figuras, tablas y fotografías**

I.1 Localización del área de estudio

II.1 Mapa regional donde se delimitan diferentes unidades a partir del modelo sombreado.

Tabla 1. Datos radiométricos reportados en el área de estudio

II.2 Mapa geológico que muestra la distribución de las diferentes unidades del volcán San Miguel y su entorno.

II.3 Mapa geológico del Complejo Geológico San Miguel

II.4 Representa las primera cuatro unidades que constituyen al CVSM.

Foto 1. Parte de la pared NW del domo Tlacotin

Foto2. Bloque pulido y estriado, localizado en el cuarto Dínamo

Foto 3. Parte de la pared SE del domo San Bernabé

Foto 4. Parte de la pared N del domo San Miguel

II.5 Mapa topográfico mostrando los principales edificios volcánicos

Foto 5. Parte del depósito de lahar que se encuentra al Nw del domo El Muñeco.

Foto 6. distribución de tefras indiferenciadas en el valle que se encuentra entre el cerro El Muñeco y el cerro La Palma Chica

Foto 7. Parte de la pared SE del domo Coconetlá.

II.6 Representa las {ultimas cuatro unidades que constituyen al CVSM

Foto 8. Parte del flujo de bloques y cenizas que pertenece al domo La Palma Grande.

Foto 9. Se observa secuencia de domos que se encuentran SW del domo La Palma Chica.

Foto 10. Secuencia de domos que se encuentran al SW del CVSM.

Foto 11. Se observa la parte NW del flujo de lava El Tizón.

III.1 Mapa en donde se localizan las fallas principales que hay en el área de estudio, incluyendo las que menciona D Cerna et al., 1988.

III.2 Sección geológica de la Cuenca de México (Mooser, 1990)

III.3 Modelo sombreado, en donde están representados los lineamientos que cortan al Complejo Volcánico San Miguel.

IV.1 Mapa en donde se encuentran ubicadas las muestras colectadas en el área de estudio.

Tabla 2. Datos geoquímicos (elementos mayores), analizados en el LUGIS.

Tabla 3. Datos geoquímicos (elementos traza), analizados en el LUGIS.

IV.2 Diagrama TAS en donde se clasificaron las muestras de Chichinautzin, Ajusco y CVSM.

IV.3 Diagrama alcalino-subalcalino de Irvine y Baragar (1971).

IV.4 Diagrama de Harker para las muestras del CVSM y su entorno

IV.5 Diagrama de Harker para las muestras del CVSM, Formación Ajusco y Grupo Chichinautzin.

IV.6 Mapa geológico del CVSM, en donde el tono oscuro corresponde a la Formación Acolli.

IV.7 Diagrama de araña normalizado a MORB con las constantes de Pearce (1983), para los elementos traza del Grupo Chichinautzin y la Formación Ajusco.

IV.8 Diagrama de araña normalizado a MORB con las constantes de Pearce (1983), para los elementos traza del CVSM.

Tabla 4. Se resumen las etapas eruptivas presentes en el área de estudio.

V.1 Representa las primeras etapas eruptivas del CVSM.

V.2 Representa las últimas etapas eruptivas del CVSM.

# Contenido

Resumen

Lista de figuras, tablas y fotografías

<b>I. Introducción</b> .....	<b>I</b>
<b>I.1 Antecedentes</b> .....	<b>1</b>
<b>I.2 Trabajos Previos</b> .....	<b>1</b>
<b>I.3 Planteamiento del problema</b> .....	<b>3</b>
<b>I.4 Objetivo principal</b> .....	<b>4</b>
<b>I.5 Objetivos específicos</b> .....	<b>4</b>
<b>I.6 Localización y extensión</b> .....	<b>4</b>
<b>I.7 Metodología</b> .....	<b>4</b>
<b>II. Estratigrafía</b> .....	<b>6</b>
<b>II.1 Terciario-Cuaternario</b> .....	<b>6</b>
II.1.1 Grupo Las Cruces.....	6
<b>II.2 Plioceno - Pleistoceno</b> .....	<b>7</b>
II.2.1 Complejo Volcánico La Nopalera (T <sub>Np</sub> ) .....	7
II.2.2 Complejo Volcánico Santa Cruz Ayotusco (T <sub>Ay</sub> ).....	7
III.2.3 Formación Tarango (T <sub>Tg</sub> ).....	8
III.2.4 Complejo Volcánico San Miguel (T <sub>SM</sub> ).....	9
a) Formación Tépec (T <sub>TP</sub> ) .....	9
b) Formación Tenámitl (T <sub>Tn</sub> ).....	11
c) Formación Mixtli (T <sub>Mx</sub> ).....	13
d) Formación Xomulli (T <sub>Xm</sub> ).....	14
e) Formación Totolin (T <sub>Tn</sub> ) .....	15
f) Formación Acolli (Q <sub>ac</sub> ).....	16
g) Formación Acatzingo (Q <sub>Ac</sub> ) .....	17
h) Formación Tlan (Q <sub>Tl</sub> ).....	18
III.2.5 Formación San Martín (T <sub>Md</sub> ).....	19
III.2.6 Formación Piedra Grande (T <sub>PG</sub> ).....	19
III.2.7 Formación La Cima (T <sub>Cm</sub> ) .....	19
III.2.8 Formación Ajusco (Q <sub>Aj</sub> )... ..	20

III.2.7 Grupo Chichinautzin (Q <sub>Ch</sub> ) .....	21
III.2.8 Basalto La Pila (Q <sub>Pi</sub> ).....	22
<b>III.3 Holoceno .....</b>	<b>22</b>
III.3.1 Andesita-Basáltica Tezontle (Q <sub>Tz</sub> ).....	22
III.3.2 Depósitos de Tefras Indiferenciadas (Q <sub>ti</sub> ) .....	22
III.3.3 Depósitos de Talud (Q <sub>td</sub> ).....	22
III.3.4 Depósitos Coluviales (Q <sub>cl</sub> ) y Aluviales (Q <sub>al</sub> ).....	23
<b>III. Geología Estructural .....</b>	<b>24</b>
<b>IV. Petrología.....</b>	<b>27</b>
IV.1 Petrografía .....	27
IV.2 Geoquímica.....	27
IV.2.1 Clasificación de las rocas .....	28
IV.2.2 Características químicas .....	28
<b>V. Evolución del Complejo Volcán San Miguel.....</b>	<b>31</b>
V.1 Volcanismo previo .....	31
V.2 Período eruptivo del CVSM.....	32
V.3 Eventos post-eruptivos.....	33
V.4 Eventos vecinos posteriores a la formación del CVSM .....	33
<b>VI. Conclusiones y perspectivas .....</b>	<b>35</b>
VI.1 Conclusiones .....	35
Bibliografía.....	37
Apendice .....	41

# **I. Introducción**

## **I.1 Antecedentes**

Los estudios detallados de los volcanes con actividad reciente y en particular de las características de erupciones pasadas, su edad, su evolución magmática, áreas afectadas y los efectos de las erupciones sobre la gente y sus alrededores, aporta información fundamental para estudiar su comportamiento en el pasado y durante erupciones futuras.

La actividad de los volcanes representa un peligro latente para ciudades densamente pobladas como la Ciudad de México, que se encuentra en la parte central de la Faja Volcánica Trans-Mexicana y está rodeada por numerosos volcanes y campos volcánicos activos como el Popocatepetl y el Campo Volcánico de Chichinautzin.

En la Sierra de las Cruces y zonas circunvecinas los trabajos publicados son de carácter regional y la mayoría se han enfocado a reconocer la estructura geológica de la Cuenca de México, particularmente la del subsuelo de la zona urbana, para determinar si ésta influye de manera adversa en las obras civiles ya existentes o en las que están por construirse. Por esta razón el Complejo Volcánico San Miguel (CVSM), se localiza al suroeste de la Ciudad de México, en la porción sur de la Sierra de Las Cruces es motivo de este estudio.

## **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.

Blázquez (1944) ofreció pruebas de que la edad glacial estuvo ampliamente representada en México. Menciona que en la cuenca de México, en la Sierra de Las Cruces y Nevada, son particularmente abundantes los cantos pulidos y estriados

Bryan (1948) describió la Formación Tarango que aflora al pie de las estructuras mayores que limitan el sur de la Cuenca de México. La descripción

del afloramiento dice que "consiste en 300 a 400m de toba, aglomerado, grava volcánica de origen fluvial y capas delgadas de pómez".

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

Blázquez (1956) y Mooser (1957) mencionaron 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 lavas andesíticas, la parte superior de la sierra esta formada por flujos de lavas riodacíticas con laderas suaves.

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 ocurrieron durante el Pleistoceno.

Gunn y Mooser (1971) sostuvieron 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.

Mooser (1984) mencionó que la formación del estratovolcán San Miguel debió iniciar cuando la actividad erosiva se intensificó a finales del Plioceno y corresponden con la fase de la Tarango Inferior. Posteriormente la segunda fase de la Formación Tarango, la denomina Tarango Superior y la relaciona a la siguiente etapa eruptiva del San Miguel (contemporánea con la formación de la caldera del volcán) y con la aparición de la glaciación Illinois de Norteamérica.

Mooser et al. (1986) mencionan que la vida activa del San Miguel se inició a finales del Plioceno.

Delgado (1986) reportó evidencias de glaciación para el Valle de Monte Alegre, donde la morfología revela morrenas y circos, además mencionó que los depósitos de material ubicados en el flanco noroeste del volcán Ajusco son producto de erosión glacial.

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, hablan acerca de la migración del volcanismo hacia el sur en la sierra. Reportan varias edades radiométricas, una edad de  $0.39 \pm 0.15$  Ma para un flujo de lava andesítica, localizada al SW del Cerro La Cruz del Marqués, otros dos flujos de lava andesítica localizados en la Magdalena Contreras (Cuarto Dínamo) con una edad de  $1.92 \pm 0.13$  Ma y en el Desierto de los Leones la edad es de  $1.79 \pm 0.10$  Ma.

Delgado y Martin 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 consideran que el cierre de la actividad tectónica estuvo relacionado al vulcanismo desde el Plioceno. El lineamiento de NW  $65^\circ$  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.

### **1.3 Planteamiento del problema**

El conocimiento geológico de la cuenca de México se limita al conocimiento litológico. Para entender la evolución geológica de la cuenca es necesario contar con una estratigrafía geológica. No es congruente que la ciudad más poblada del planeta no cuente con el estudio detallado de su entorno geológico, incluyendo el entendimiento genético de sus rocas y su distribución.

Para conocer en detalle la evolución geológica de la cuenca de México es necesario estudiar la evolución particular de los diferentes volcanes que la rodean. Para ello, es necesario reconocer cuidadosamente las secuencias estratigráficas y calibrarlas por métodos radiométricos. Los trabajos desarrollados en La Sierra de Las Cruces hasta el momento se han enfocado a la petrografía de las rocas volcánicas y en menor grado a las relaciones temporales de éstas.

Se hace necesario entonces, conocer la estratigrafía y estructura de cada edificio volcánico, como el Complejo Volcánico San Miguel (CVSM), determinar su comportamiento eruptivo.

El estudio del CVSM, presenta dos tipos de actividad eruptiva efusiva y explosiva. Cada una de estos tipos eruptivos presenta dificultades particulares. En este trabajo se aborda solamente la descripción de los diferentes cuerpos de

lava, y al entendimiento de la secuencia estratigráfica relacionada al volcanismo efusivo.

#### **I.4 Objetivo principal**

Realizar un estudio geológico preliminar de las fases iniciales efusivas del complejo volcánico San Miguel incluyendo cartografía, estratigrafía, petrografía, geoquímica y geología estructural.

#### **I.5 Objetivos específicos**

- Describir la distribución y alcance de las lavas del volcán San Miguel mediante un mapa geológico.
- Definir la estratigrafía de los productos efusivos del volcán San Miguel.
- Calibrar la estratigrafía mediante el uso de fechamientos radiométricos K-Ar reportados en el área de estudio.
- Estudiar los rasgos petrográficos y geoquímicos de las lavas del volcán San Miguel.
- Cartografiar las estructuras geológicas presentes en la zona de estudio.
- Reconstruir la evolución geológica del complejo volcánico San Miguel que abarca sólo los productos efusivos de la etapa inicial del volcán.

#### **1.6 Localización y extensión**

La zona de estudio se encuentra al sur de la Ciudad de México, entre las coordenadas 19°10'00" y 19°28'00" de latitud norte, 99°25'00" y 99°10'00" de longitud oeste. La altitud del volcán San Miguel es de 3,800 msnm. El área de estudio cubre una superficie aproximada de 450 km<sup>2</sup>. El área limita al SE y SW con la Sierra Chichinautzin, al NW con la Cuenca de Toluca, al SE se encuentra el Volcán Ajusco y hacia el E parte de las lavas del Xitle (Figura I.1).

#### **I.7 Metodología**

Inicialmente se realizó una compilación bibliográfica de los trabajos realizados en el volcán San Miguel y áreas circundantes, principalmente la información referente a la Sierra de Las Cruces. Posteriormente, se hizo una búsqueda cartográfica, quedando el área de trabajo comprendida en cuatro cartas topográficas escala 1:50,000 del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (Milpa Alta, Ciudad de México, Tenango de Arista y

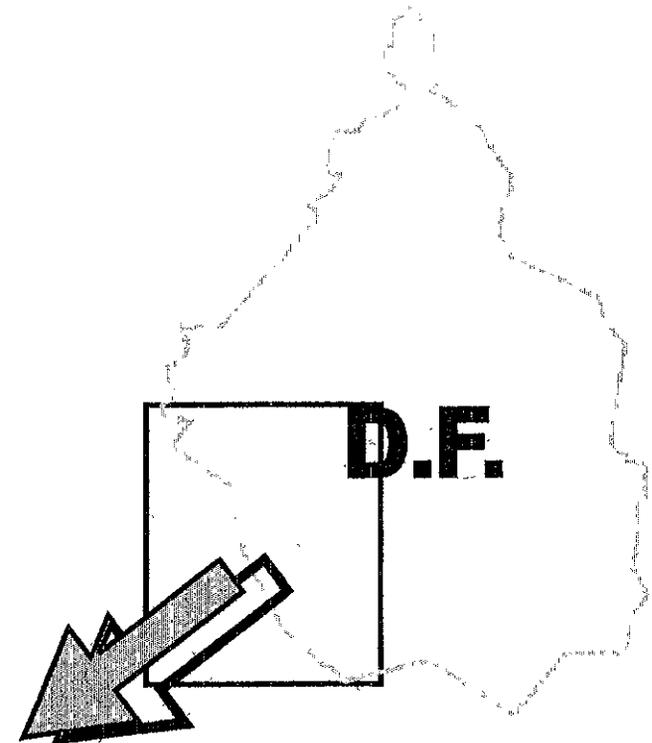
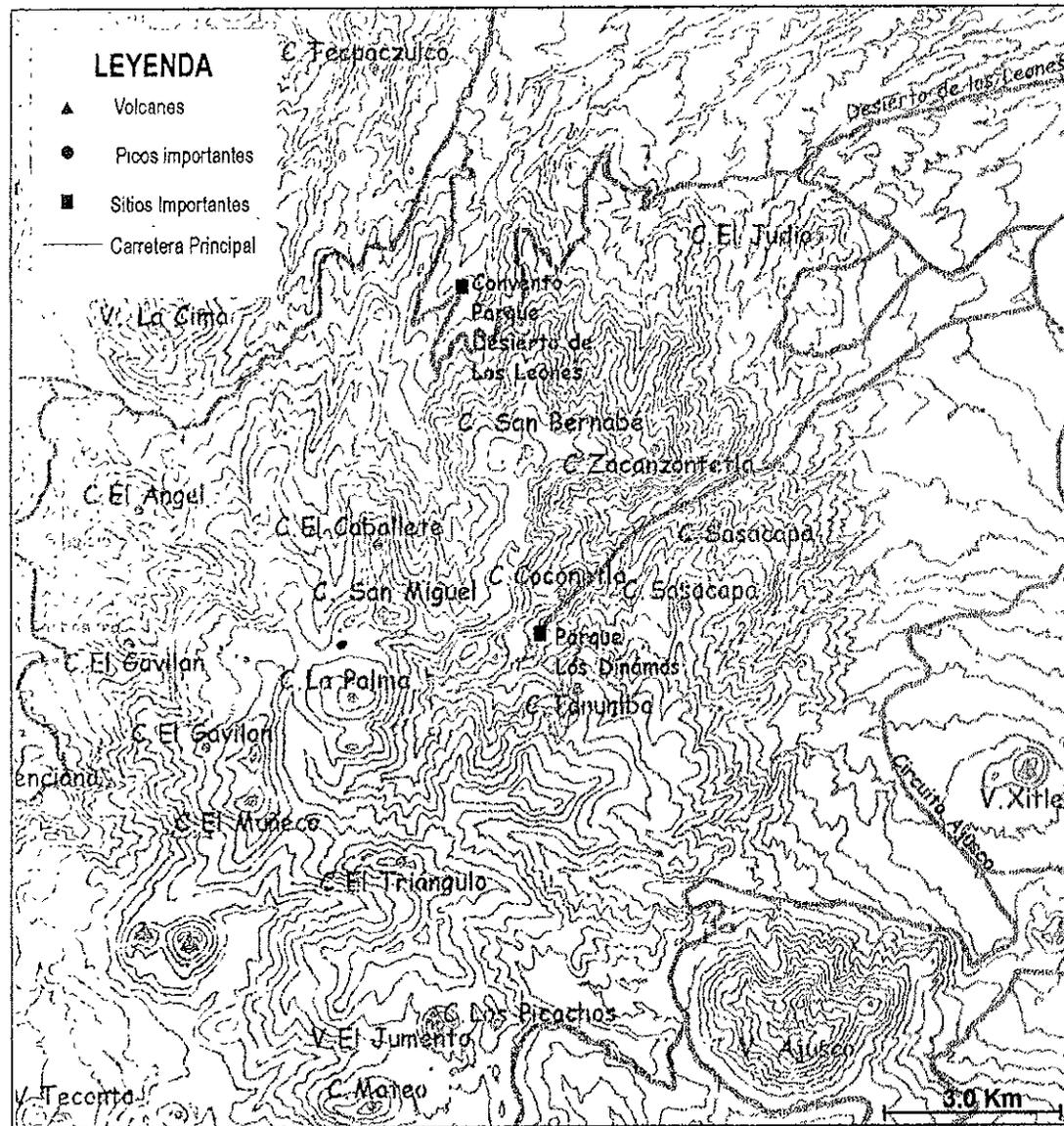


Figura I.1 Mapa de localización del área de estudio.

Estado de México. También, se utilizaron fotografías aéreas a escala 1:16,000 y 1:50,000.

El trabajo se realizó de la siguiente manera:

- Compilación bibliográfica de los trabajos realizados en el volcán San Miguel y áreas circundantes.
- Búsqueda cartográfica.
- Interpretación geológica de fotografías aéreas de la zona de trabajo.
- Elaboración de un mapa geológico preliminar basado en la fotointerpretación.
- Colecta y molienda de muestras para análisis químicos, llevada a cabo de la siguiente manera:
  1. Durante el trabajo en campo se descostró la muestra de roca y se seleccionaron esquirlas de roca, sana.
  2. En el laboratorio de preparación de muestras del Instituto de Geofísica, se molieron las esquirlas, envueltas en bolsas de plástico y utilizando un mortero metálico convencional reduciendo su tamaño menor a 5.0 mm y nuevamente se seleccionaron las que no estuvieran intemperizadas o que presentaran minerales alterados por oxidación.
  3. Posteriormente se molieron en molino y mortero de agata hasta pulverizar la roca y tamizarla en la malla 230.
  4. Finalmente las muestras pulverizadas se llevaron al laboratorio de Fluorescencia de Rayos X del LUGIS (Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica).
- Análisis petrográfico en sección delgada de muestras de roca.
- Integración de la información.
- Elaboración de base topográfica y mapa geológico.
- Integración de la información.

## **II. Estratigrafía**

La región de la Sierra de las Cruces es una zona muy estudiada desde el punto de vista litológico debido a que en la Cuenca de México se han llevado a cabo muchas obras de ingeniería de gran magnitud como el drenaje profundo. No obstante, pese a que se conoce la diversidad litológica a detalle, no existe al momento, ningún ordenamiento estratigráfico de las secuencias, basado en trabajo de campo y fechamientos que calibren las secuencias. Por ello, a continuación se propone una secuencia estratigráfica para el área de estudio, de acuerdo con una sistemática definida.

### **II.1 Terciario-Cuaternario**

#### **II.1.1 Grupo Las Cruces**

En la Sierra de Las Cruces domina el material piroclástico. Blázquez (1948) encontró en el túnel del Lerma, brechas con espesores de 800 m y numerosas alternancias con derrames andesíticos que son también abundantes. Más tarde, esta secuencia fue definida por Schlaepfer (1968) y descrita por Sánchez-Rubio (1978) como una serie dacítica porfírica.

El conjunto de materiales de composición intermedia (andesitas y dacitas) ha recibido el nombre de "Formación Las Cruces" (Schlaepfer, 1968) y ha sido interpretada como resultado de una larga sucesión de episodios eruptivos que abarcan del Mioceno Tardío al Pleistoceno. La franja culminante de la Sierra de Las Cruces, está constituida básicamente por una potente acumulación de derrames lávicos, brechas y domos volcánicos, intercalados con depósitos de pómez, tobas y en menor volumen, por depósitos de oleadas y flujos piroclásticos, además de depósitos de lahares (Mooser, 1974).

Entre el conjunto de estructuras volcánicas de esa sierra destaca el estratovolcán San Miguel, cuya actividad inició en el Plioceno Tardío y continuó en el Cuaternario, destacando la erupción de la unidad denominada "cenizas azules" hace 170,000 años (Mooser, 1975).

Vázquez y Jaimes (1988) indican que la secuencia volcánica incluye derrames lávicos de composición dacítica y andesítica, depósitos de rocas piroclásticas donde destacan las capas de pómez y depósitos de flujos

piroclásticos. Estos autores además mencionan que en el Plioceno Tardío y Pleistoceno la actividad volcánica se caracterizó por las erupciones del volcán San Miguel, del cual emanaron los flujos lávicos y depósitos piroclásticos.

Delgado y Martin del Pozzo (1993) consideran que un período eruptivo de Las Cruces, que está representado por la actividad del volcán poligenético Los Picachos que está constituido por flujos piroclásticos dacíticos, lahares y lavas de la Formación Las Cruces, que esta constituida de dos miembros (Brecha Piroclástica Cantimplora y Lava Dacítica Apilulco), formada principalmente durante el Plioceno Tardío-Pleistoceno Temprano. Esta formación incluye a el conjunto de estratovolcanes alineados en una dirección que es casi N-S, que se distribuye en el límite sudoccidental de la Cuenca de México (figura II.1).

En este trabajo se considera que la Formación Las Cruces debe de ser elevada en rango a Grupo Las Cruces, debido a que comprende los productos volcánicos que provienen de diferentes fuentes que tuvieron actividad en diferentes tiempos, pero cuyos depósitos y lavas se intercalan. Aquí se han distinguido varias unidades, en función de la fotografía aérea y cartografía tales como la Formación La Nopalera ( $T_{Np}$ ), Formación Sta. Cruz Ayotusco ( $T_{Ay}$ ), Formación San Martín ( $T_{Ma}$ ), Formación Piedra Grande ( $Q_{PG}$ ) y Formación La Cima ( $Q_{Cm}$ ) que son descritas de una manera general y el Complejo Volcánico San Miguel que recibe mayor atención por ser el motivo de este estudio.

## **II.2 Plioceno - Pleistoceno**

### **II.2.1 Complejo Volcánico La Nopalera ( $T_{Np}$ )**

Este complejo es un conjunto de estructuras volcánicas al NW del complejo volcánico San Miguel. Incluyen depósitos piroclásticos y domos de lava de composición intermedia, algunos con circos de erosión. Esta unidad se encuentra limitada al norte por la Sierra de Monte Alto y hacia el SE por la Sierra de Guadalupe, probablemente de edad pliocénica ( figura II.2).

### **II.2.2 Complejo Volcánico Santa Cruz Ayotusco ( $T_{Ay}$ )**

Este complejo está constituido principalmente por domos de lava y depósitos flujos piroclásticos de composición intermedia. Esta unidad está limitada hacia el N por el conjunto de estructuras volcánicas de La Nopalera, al S por el Cerro Piedra Grande y al SE por el Cerro San Martín.

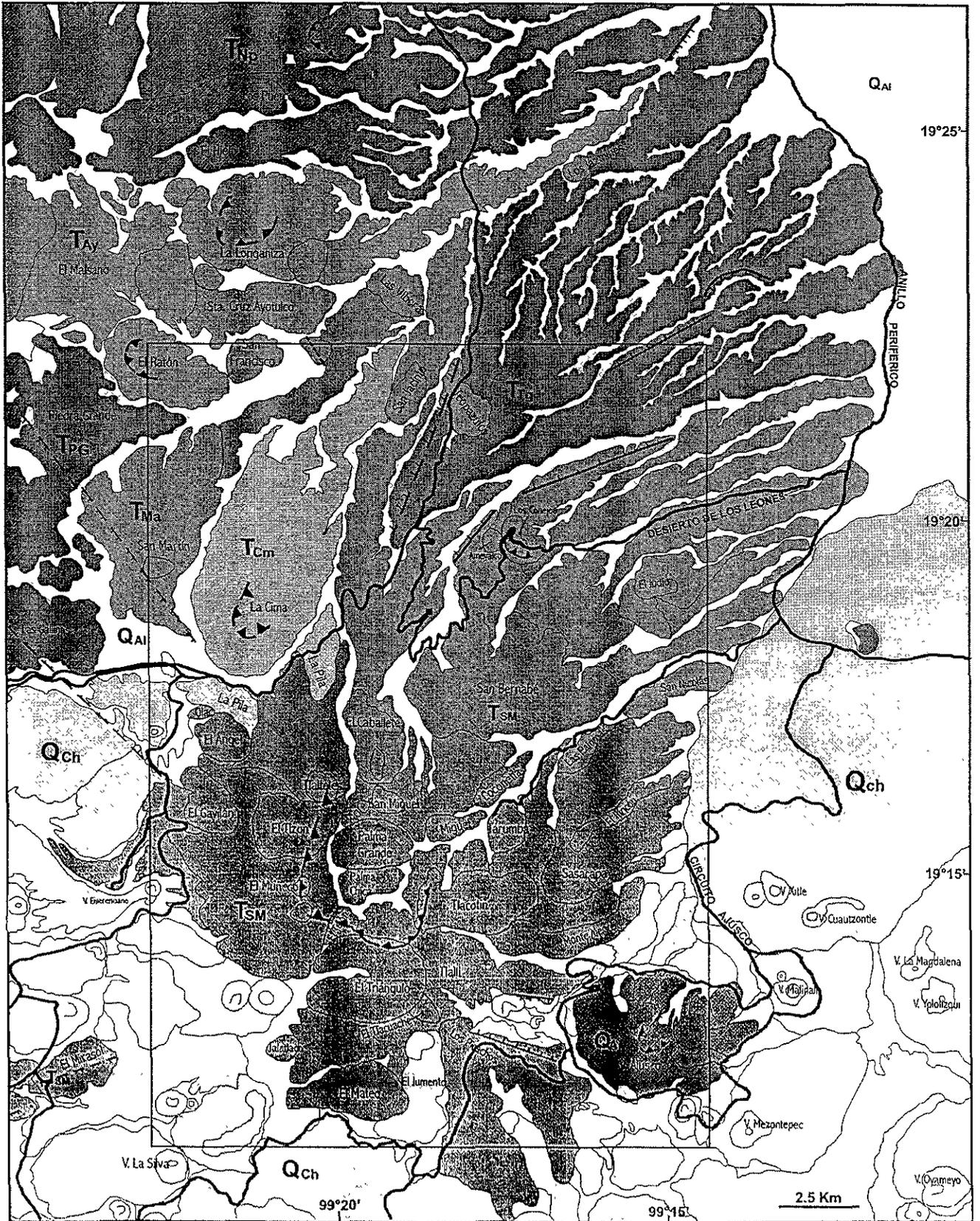
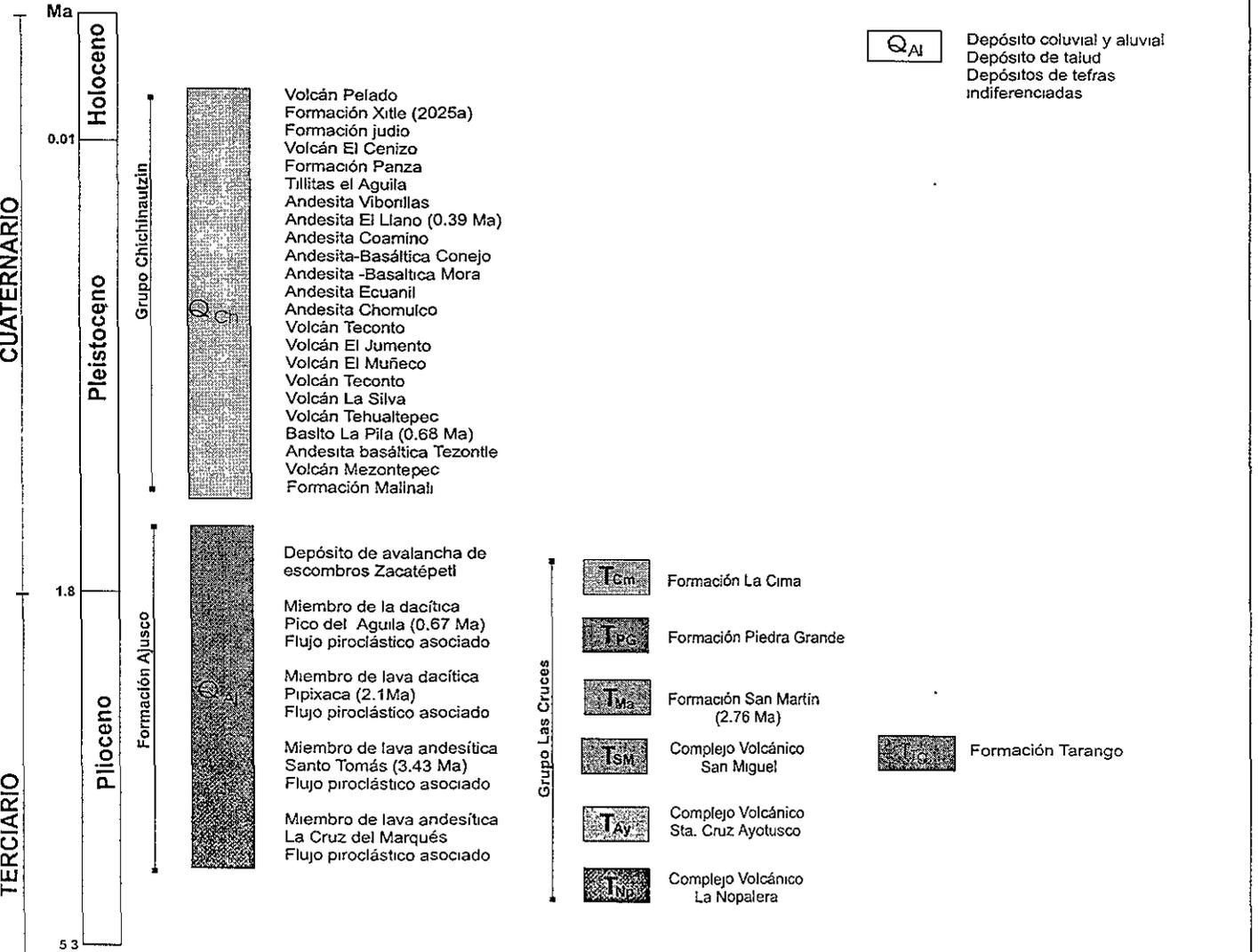


Figura II.2 Mapa geológico general de la porción sur de la sierra de Las cruces, que muestra la distribución de las diferentes unidades en el área de estudio. Dentro del recuadro queda comprendida el área que corresponde al CVSM.

# UNIDADES ESTRATIGRAFICAS

## Rocas Volcánicas

## Rocas Sedimentarias



Simbología	
	Vías de comunicación
	Estructuras de colapso
	Fallas

### III.2.3 Formación Tarango (T<sub>Tg</sub>)

Bryan (1948) describe y menciona con este nombre a una secuencia que se encuentra en las inmediaciones de una localidad a cuatro kilómetros al surponiente de Mixcoac en donde esta bien expuesta en minas de arena y aflora al pie de las estructuras mayores del sur de la Cuenca de México. La descripción de Bryan dice que "consiste en 300 a 400 m de toba, aglomerado, grava volcánica de origen fluvial y capas delgadas de pómez".

Arellano (1953) menciona que el nombre de Tarango se refiere exclusivamente a material volcánico clástico. Establece que el principio del gran vulcanismo fue a fines de Mioceno, esta edad se aplica a la base de la Formación Tarango y el fin de su depositación se llevó a cabo a fines del Plioceno. Los sedimentos posteriores a este vulcanismo corresponden a tres formaciones principales, comenzando con la más antigua son: Tacubaya, Becerra y Noche Buena.

Mooser (1975) menciona que su formación no corresponde a un ciclo cerrado de carácter erosivo, sino a varias fases de actividad alternada, a veces erosivo-denudatoria y a veces "volcánico-magmática", y menciona que los depósitos de la Formación Tarango se transportaron por dos medios principales, uno en que la ceniza proveniente de las erupciones volcánicas se transportó por aire y se depositó en horizontes paralelos al relieve preexistente, y otro en que los productos circularon por las depresiones topográficas en forma de flujos piroclásticos o lahares. La fuerte pendiente de los derrames favoreció el rápido desplazamiento del material hasta su depositación como aluviones y proluviones. Esta superposición de capas formó los llamados abanicos volcánicos (Formación Tarango), Bryan 1948. Durante el Plioceno Tardío y Pleistoceno la actividad volcánica incluyó las erupciones del Volcán San Miguel, del cual emanaron flujos de lava y varios depósitos piroclásticos. En la zona de montaña (altitudes mayores a 3000 msnm) afloran secuencias de lavas y capas de ceniza volcánica, en tanto que en el piedemonte los depósitos volcánicos se interdigitan con otros de origen erosivo-fluvial; estos últimos se formaron por la erosión de los conos y abanicos volcánicos.

### **III.2.4 Complejo Volcánico San Miguel (T<sub>SM</sub>)**

Para Mooser et al. (1986) la actividad del volcán San Miguel (VSM) se inició a finales del Plioceno, y duró hasta algo más de 100,000 años A.P. Esta consistió en dos fases principales: la primera de tipo explosivo, representada por piroclastos y pómez, que tras su depositación fueron erosionados durante un lapso de calma volcánica. La segunda fase sucedió hace 170,000 años con una erupción paroxísmica, tal vez la más violenta del volcán, formándose así el rasgo actual del amplio cráter. Esta consistió en la emisión de lavas, que debieron ser amplias en volumen, aunque de poca longitud, y de piroclastos asociados representados por depósitos de pómez de composición andesítica y andesitas, denominadas aquí Andesita azul.

El VSM se ha considerado como una sola estructura, de ahí su denominación, sin embargo en el presente estudio se propone cambiar este nombre por el de Complejo Volcánico San Miguel (CVSM) debido a que está constituido por un conjunto de diversas estructuras volcánicas, que se describen más adelante.

El enfoque del presente trabajo está dirigido hacia la fase efusiva del CVSM, en donde la estratigrafía se calibró mediante fechamientos radiométricos de K-Ar obtenidas por diferentes autores (ver tabla 1). El volcán comprende ocho fases de construcción de domos de lava (figura II.3), que a continuación serán descritas:

#### **a) Formación Tépec (T<sub>TP</sub>)**

Esta unidad está formada por tres domos, alineados con una orientación preferencial NE-SW (figura II.4.a). Las lavas de los domos son de composición andesítica y dacítica (figura IV.2). Cada domo se encuentra asociado con sus respectivos depósitos de bloques y cenizas.

La andesita Sasacapa, la roca es de color gris claro al intemperismo y gris oscuro al fresco que presenta textura porfírica con fenocristales de plagioclasa y hornblenda en una matriz microcristalina (LC-54 y LC-52). Se localiza en el cerro que lleva dicho nombre, el cual está comprendido en el extremo NE del cerro Tlacotin con una altura aproximada de 3380 msnm. Este domo presenta un relieve muy erosionado, principalmente en su parte central hay un circo erosivo, producto del período glacial presente en esta zona (figura II.5), y en el cual se

Sitio	Localidad	Latitud	Longitud	Roca	Edad (Ma)	Autor
F10	Xitle			Basalto	2025a	3
F5	El Llano	19°11'45"	99°15'38"	Basalto	0.390±16	2
F8	El Aguila	19°12'58"	99°15'11"	Andesita	0.67±06	3
F1	La Pila	19°17'40"	99°20'27"	Basalto	0.680±28	1
F3	El Caballete	19°18'29"	99°19'00"	Andesita	1.790±10	2
F4	Tarumba	19°16'00"	99°17'15"	Andesita	1.920±13	2
F7	Pipixaca	19°13'20"	99°14'02"	Dacita	2.10±6	3
F2	San Martín	19°22'28"	99°28'08"	Andesita	2.760±19	2
F9	Sto. Tomás	19°13'25"	99°14'35"	Dacita	3.43±42	3
F6	San Miguel	19°16'48"	99°18'00"	Toba	9.81±00	2

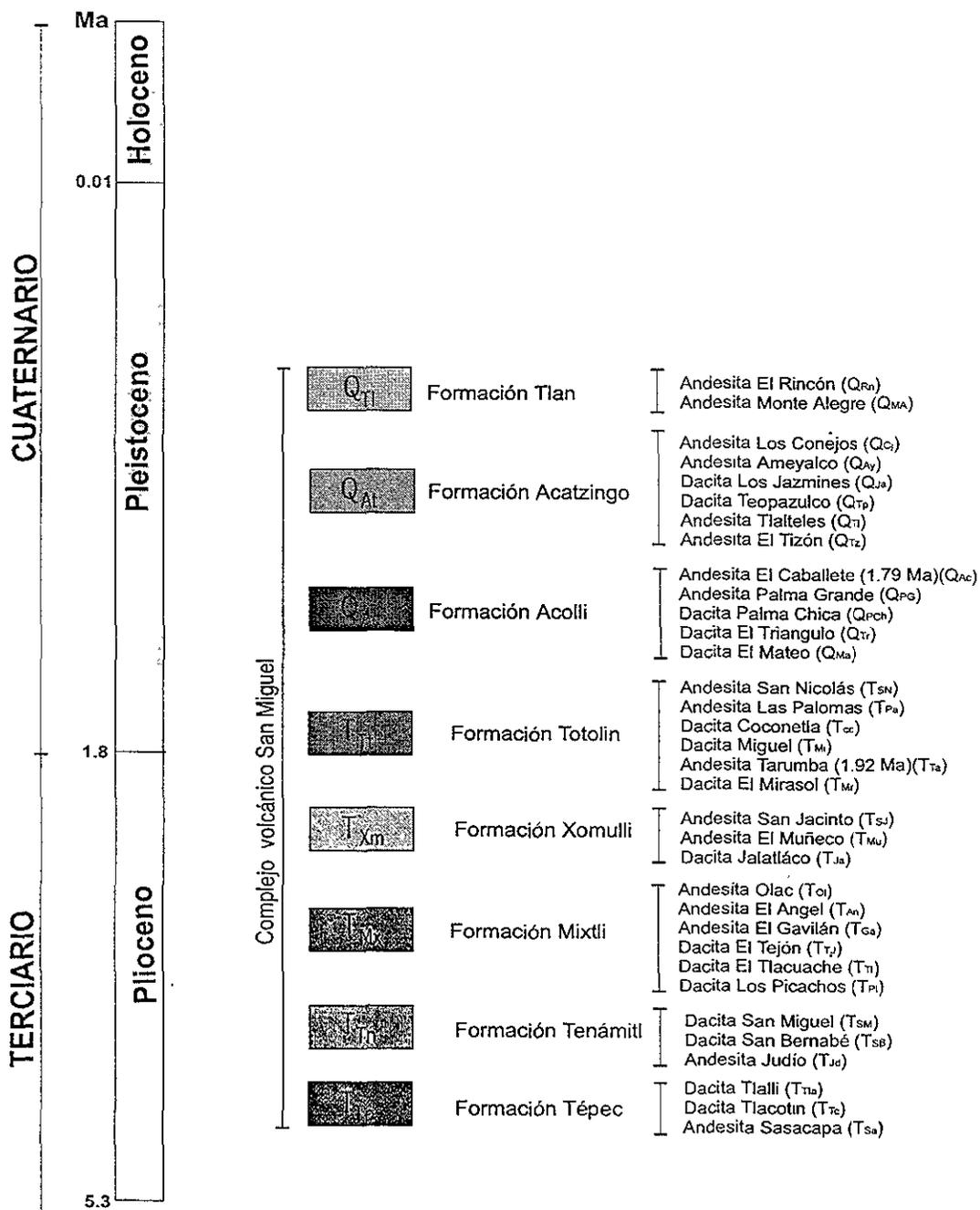
**Tabla1.** Datos radiométricos reportados en el área de estudio. Los autores son:

1. Osete et., al. 1998, 2. Mora et al. 1991, 3. Delgado, 1998.



Figura II.3 Mapa geológico del Complejo volcánico San Miguel

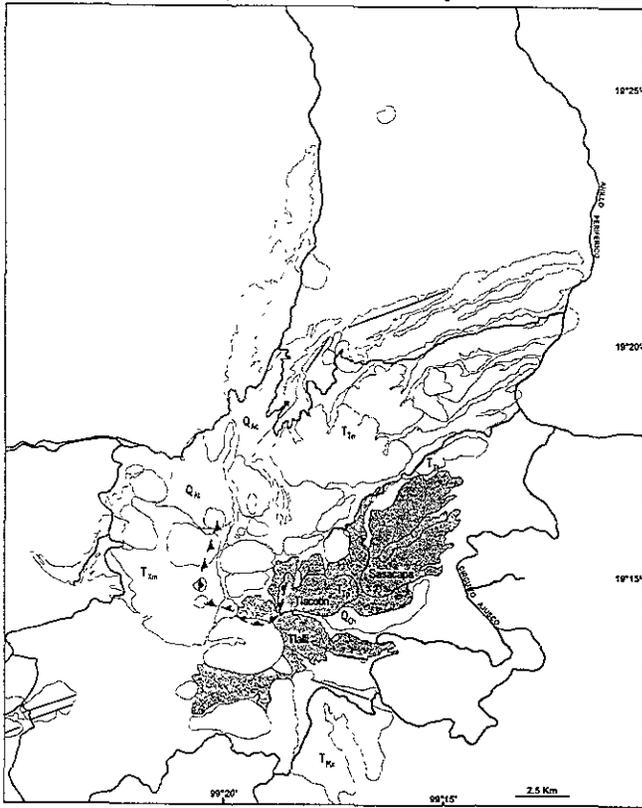
# UNIDADES ESTRATIGRAFICAS



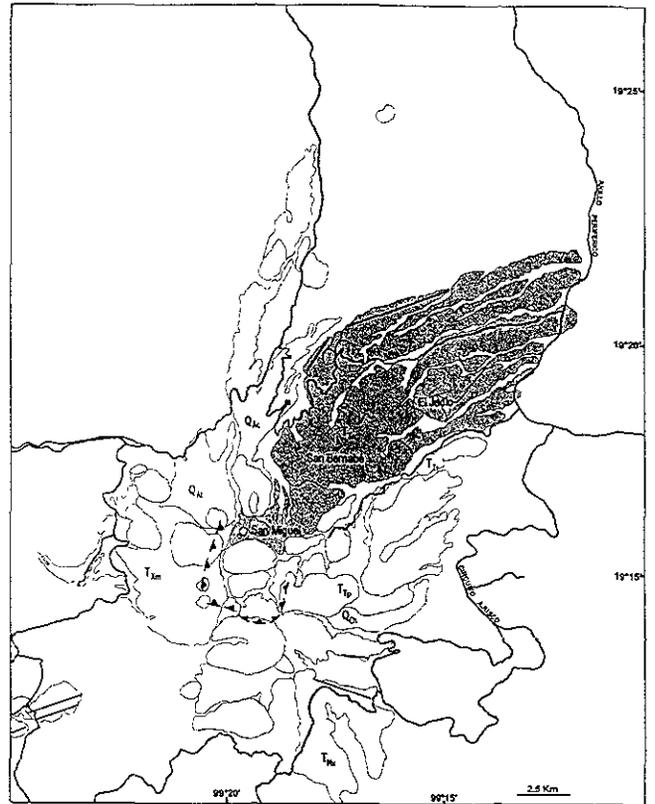
## Simbología

-  Vías de comunicación
-  Circos de erosión
-  Fallas

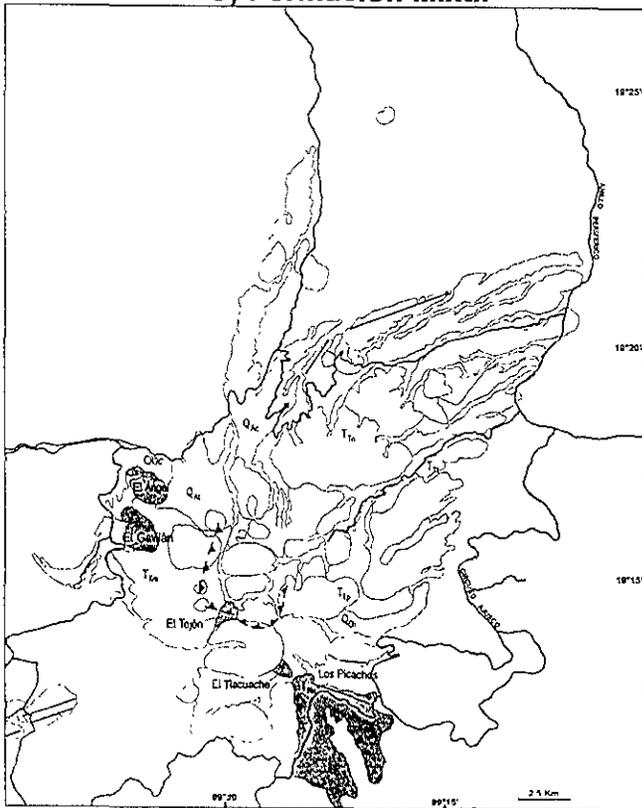
**A) Formación Tépec**



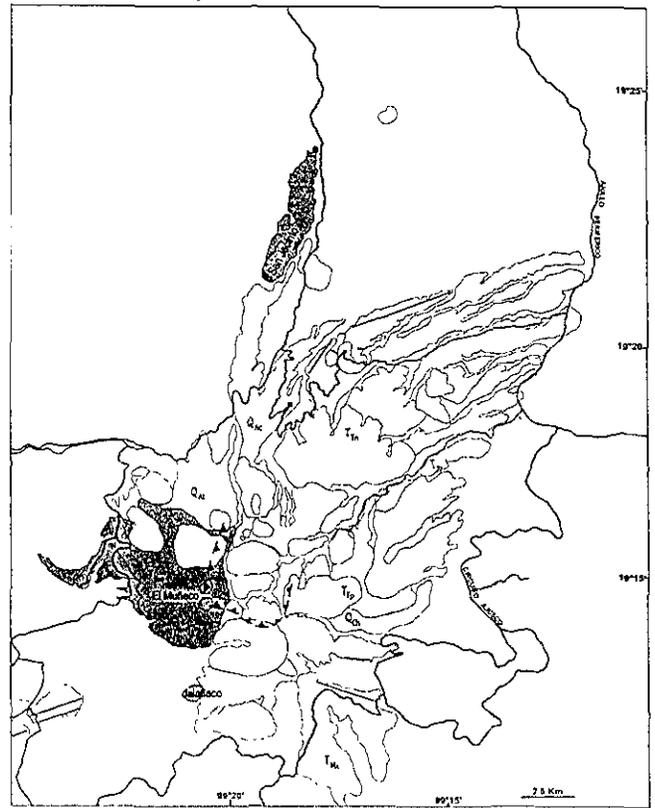
**B) Formación Tenámitl**



**C) Formación Mixtli**



**D) Formación Xomulli**



**Figura II.4** Representa cuatro de las unidades que constituyen al CVSM, el tono oscuro señala la formación que le corresponde.

encuentra emplazado el flujo de lava andesítica El Rincón. En la parte SE del domo cerca de la localidad llamada Rancho Viejo se puede observar un depósito de caída con un espesor aproximado de 1.5 m, soportado grano a grano por pómez de color pardo rosado de intemperismo y al fresco pardo amarillento, de forma subangulosa a subredondeada rica en hornblenda y biotita, presenta gradación normal incipiente, con imbricación hacia el NE, el tamaño de la pómez es de 10.0 cm hasta 2.0 cm, hay muy pocos líticos accidentales, y está cubierto por suelo que a su vez le sobreyace un depósito de talud.

La dacita Tlacotin (foto 1), la roca es de color gris claro al fresco y pardo rosado al intemperismo, con una textura porfídica, con fenocristales de plagioclasa y hornblenda. Los minerales se encuentran muy alterados; la hornblenda presenta bordes de oxidación o está totalmente reemplazada. Hacia la parte N y cerca del cuarto Dínamo se pueden observar depósitos de flujos de bloques y cenizas. En la parte SW del domo presenta zonas escarpadas, y en las partes más bajas se pueden observar depósitos de talud. El flujo de bloques y cenizas que se localiza al NW del domo con un espesor aproximado de 6.5 m, presenta estratificación, es monolitológico de color pardo rosado soportado por una matriz del tamaño de arena fina, con gradación normal, el tamaño de los clastos de composición dacítica van desde 3.0 cm hasta 30.0 cm, 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 más baja conforme al eje de dispersión dando una forma lobulada, verticalmente y en dirección del eje de dispersión presenta una forma lenticular. En esta misma localidad se observa la presencia de bloques pulidos y estriados, distribuidos en la zona como producto de la acción glacial (foto 2).

La dacita Tlalli, roca masiva de color pardo rosado al intemperismo y gris oscuro al fresco, con una textura porfídica. En esta roca los fenocristales son menos abundantes que en la unidad anterior, además tiene biotita (LC-25 y LC-26). Hacia la parte SW aflora un depósito de bloques y cenizas que está soldado, es masivo, constituido por bloques de composición dacítica que presentan un tamaño que va desde 25.0 cm hasta 1.0 m de forma subangulosa a subredondeada, embebidos en una matriz del tamaño de arena fina, con un espesor aproximado de 5 m, dadas las condiciones de intemperismo el depósito no presenta una morfología regular, más bien se presenta en forma de montículos aislados, le subyace el macizo rocoso del domo. En la parte NW del

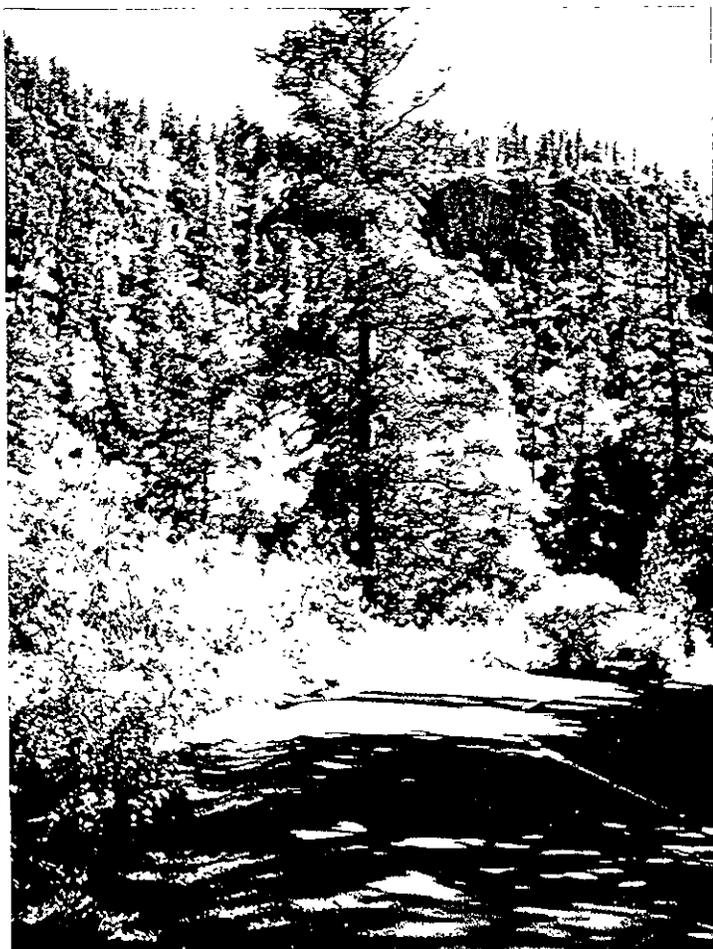


Foto 1. Se aprecia parte de la pared NW del domo Tlacotin.



Foto 2. Bloque pulido y estriado, localizado en el cuarto Dínamo.  
Como éste hay varios distribuidos en la zona.

domo Tlalli se observan circos de erosión que han afectado a los depósitos piroclásticos en todo el complejo volcánico, a esta unidad le sobreyacen al NW los domos El Triángulo y El Tlacuache.

La Formación Tépec limita al NE con las lavas del volcán Xitle, al SE por el volcán Ajusco y al N por los domos San Miguel y San Bernabé. El conjunto de domos presentan una altura máxima de 3380 msnm para el cerro Sasacapa, de 3700 y 3750 msnm para los cerros Tlacotin y Tlalli respectivamente.

Esta unidad probablemente tiene una edad mayor a 3 Ma. Comprende el primer emplazamiento que dio origen al CVSM, como el producto de procesos combinados, es decir, por emisión de material de composición dacítica y andesítica acompañada de flujos bloques y cenizas. Se ha considerado que son los primeros domos que se emplazaron, debido a que son los domos mas erosionados e intemperizados, la morfología muestra que es un cuerpo independiente de los demás, ya que se observa que los domos más jóvenes de los cuales se tienen algunas 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 cantidad de minerales arcillosos y de oxidos de fierro.

#### **b) Formación Tenámitl (T<sub>Tn</sub>)**

Esta constituida por los domos de composición intermedia, que se encuentran alineados en la dirección NE-SW. Cada domo se encuentra asociado con sus respectivos depósitos de bloques y cenizas (figura II.4.b).

La andesita El Judío, la roca presenta un color de intemperismo pardo amarillento y gris claro al fresco. Tiene textura porfídica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda, en una matriz cristalina (muestra LC-47,48), este domo presenta depósitos de bloques y cenizas hacia la parte NE, debido a que la mayor parte de los afloramientos han sido cubiertos y removidos por los habitantes de esta zona es difícil describir una secuencia completa. Este domo se encuentra limitado en la parte NW por el Cerro San Bernabé cuyos depósitos piroclásticos lo rodean y al SW se encuentran los flujos de lava que pertenecen al volcán Xitle.

La andesita San Bernabé, la roca presenta un color de intemperismo pardo rosado y al fresco gris claro, textura porfírica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos (<2mm) embebidos en una matriz sacarosa (muestras LC-46,45,44). El flujo de bloques y cenizas que se localiza al NE del domo , el



Foto3. Se observa parte de la pared SE del domo San Bernabé.



Foto 4. Se aprecia parte de la pared N del domo San Miguel.

afloramiento se encuentra pasando el convento del Desierto de Los Leones, con un espesor aproximado de 4.5 m, presenta estratificación, es monolítico de color pardo rosado soportado por una matriz del tamaño de grava, con gradación normal incipiente, el tamaño de los clastos de composición dacítica van desde 2.0 cm hasta 25.0 cm, la forma para los de mayor tamaño son subredondeados y los pequeños son subangulosos, en la parte inferior los clastos se encuentran en contacto, 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, Verticalmente y en dirección del eje de dispersión presenta una forma lenticular. El domo San Bernabé tiene una superficie suave y su morfología es regular, en la cima presenta circos erosivos, y pendientes muy fuertes principalmente hacia el SE y NW (foto 3), en la porción SE la pendiente es muy fuerte de 90°, la cima se encuentra erosionada y en la parte que va del NE al NW del domo se observan tres circos glaciales incipientes (figura II.5).

La dacita San Miguel (foto 4), la roca tiene un color pardo grisáceo y al fresco gris oscuro, masiva, textura porfídica con fenocristales de plagioclasa (5mm), hornblenda (2mm) que se encuentra oxidada y piroxenos, embebidos en una matriz microcristalina (muestra LC-18,17), este domo presenta un relieve muy erosionado, principalmente en su parte central hay un circo erosivo y al centro se encuentran emplazados depósitos piroclásticos. Sus laderas poseen fuerte inclinación y se ven afectados por procesos gravitacionales intensos, dando como resultado depósitos de talud, sobre todo en la parte NE y NW del domo. Al NE sobreyace al domo San Bernabé, al N subyace al domo El Caballete y al S-SE con los domos El Miguel y La Palma Grande.

La Formación Tenámitl, limita al NE con las lavas del volcán Xitle, al SE con la Formación Tépec y al N por los depósitos de la Formación Tarango. El conjunto de domos presentan una altura máxima de 3770 msnm para el cerro San Miguel, de 3500 y 2750 msnm para los cerros San Bernabé y El Judío respectivamente.

El emplazamiento de estos domos, debido a la orientación y alineamiento de estos, se relaciona con un emplazamiento a partir de fracturamiento NE - SW. Es probable que el origen de estos domos tengan una edad aproximada de 3.0 Ma.

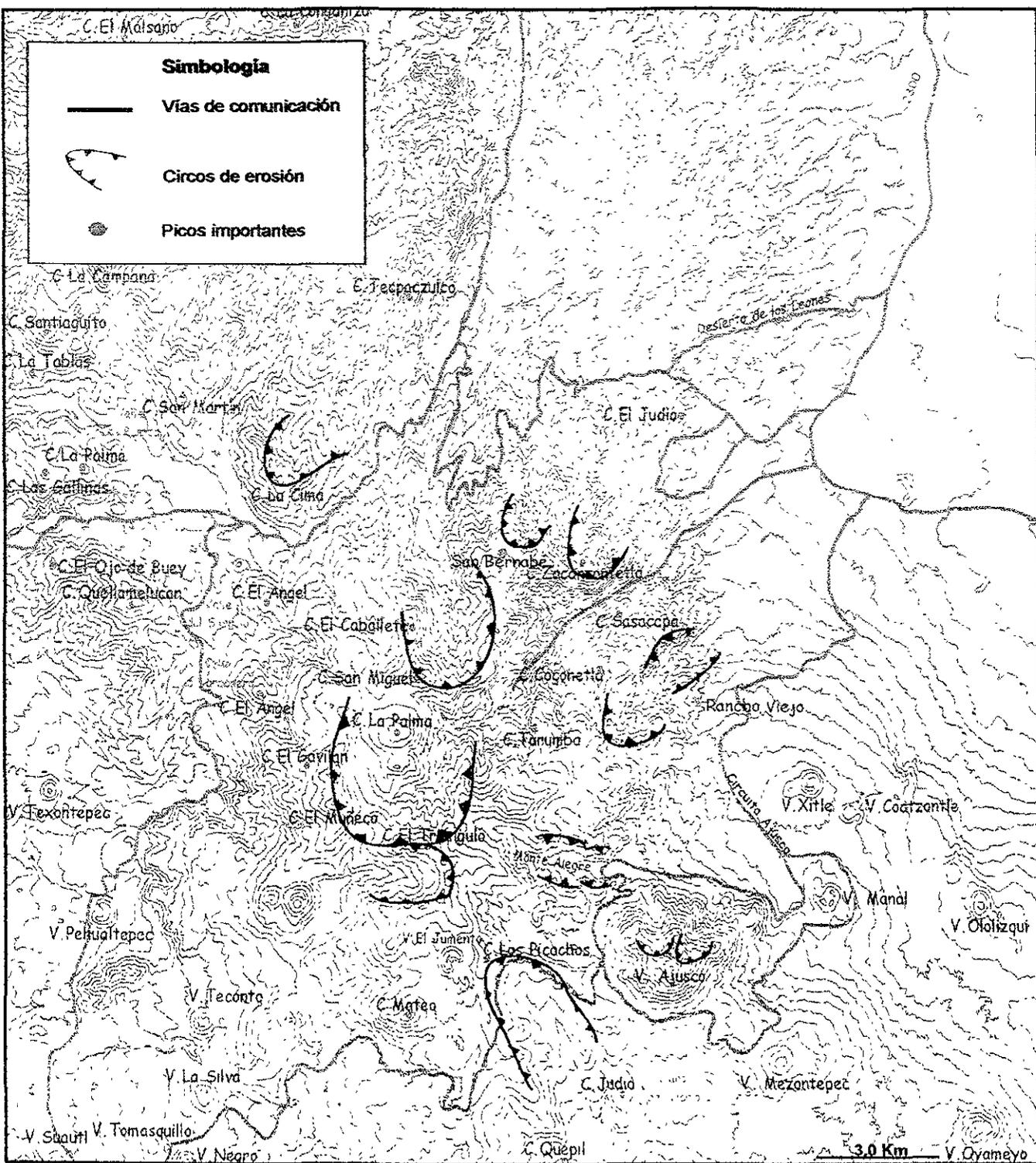


Figura II.5 Mapa topográfico mostrando los principales edificios volcánicos.



**Foto 5.** Se observa parte del depósito de lahar que se encuentra al NW y en las faldas del domo El Muñeco.

### **c) Formación Mixtli (T<sub>Mx</sub>)**

Esta unidad esta formada por un conjunto de domos de lava de composición andesítica y dacítica, presentan una orientación preferencial NW-SW. Cada domo se encuentra asociado con sus respectivos depósitos de bloques y cenizas (figura II.4.c).

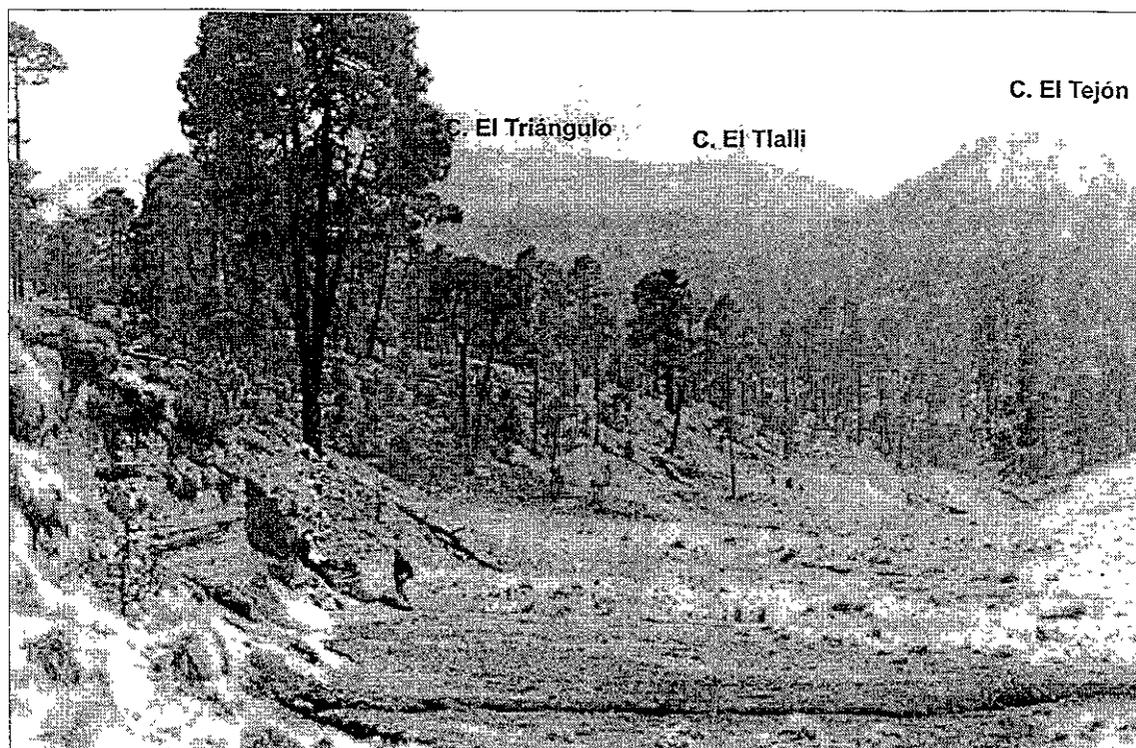
La dacita Los Picachos, la roca presenta un color de intemperismo pardo grisáceo y al fresco gris oscuro, es masiva, textura porfídica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos, embebidos en una matriz cristalina (muestras LC-29,31), este domo se encuentra en contacto al NE con el flujo de lava El Tezontlé y a su vez por el graben que lleva el mismo nombre, al NW se encuentra el volcán El Jumento, presenta un relieve muy erosionado, principalmente en su parte central hay un circo erosivo, y en el cual se encuentra emplazado el volcán Agua Grande. En la parte central y a los lados se pueden observar algunos depósitos de tefras indiferenciadas que lo cubren, procedentes de los volcanes cuaternarios que lo rodean, hacia el SW se pueden observar depósitos piroclásticos de bloques y cenizas.

Posteriormente hacia el NW se encuentra la dacita El Tejón (foto 6), esta roca aflora en el arroyo las viborillas, roca masiva de color gris claro al fresco con una textura fanerítica en la cual pueden observarse los fenocristales de plagioclasa, cuarzo, hornblenda y piroxenos embebidos en una matriz vítrea, sobreyace al domo Tlalli y a su vez subyace al domo El Triángulo.

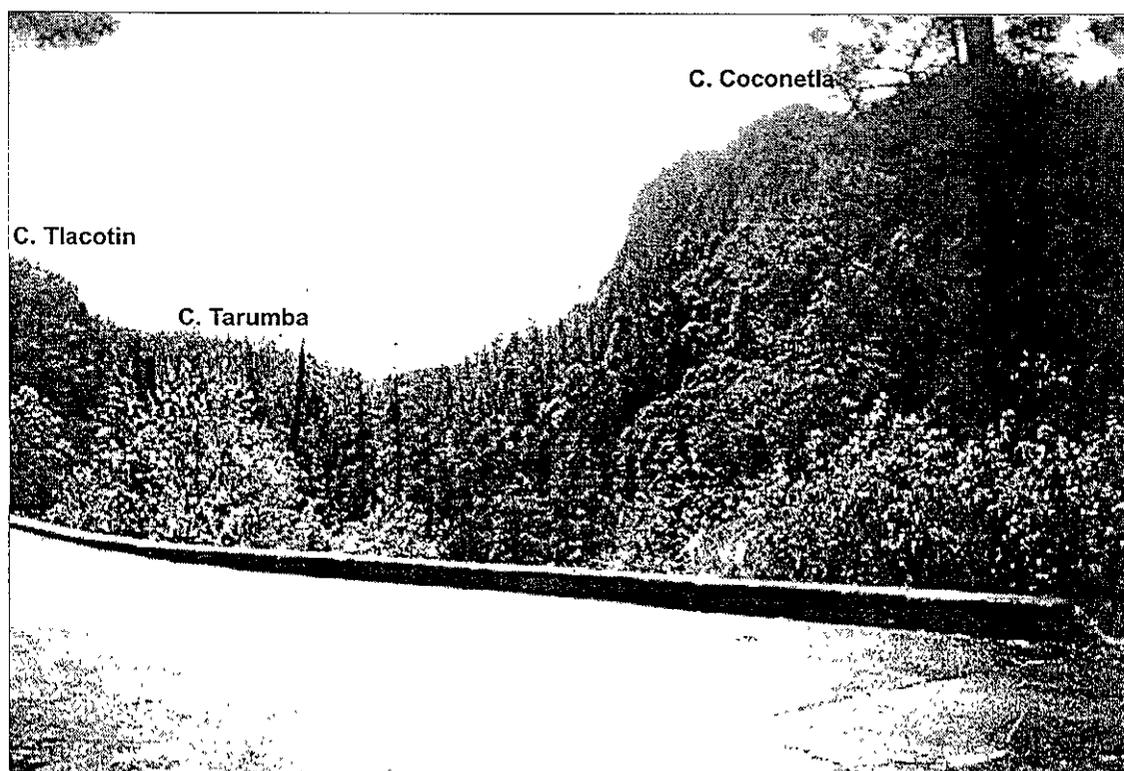
Finalmente se encuentran las andesitas El Gavilán, El Ángel y Olac estos flujos están constituidos por una roca que presenta un color de intemperismo gris rosado y al fresco rosa, textura porfídica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz vítrea (muestras LC-42,41) El grado de intemperismo de la roca es mayor en la andesita Olac esta se encuentra en contacto con el flujo de lava La Pila y la andesita El Ángel.

La Formación Mixtli, limita de manera general ya que los domos no se encuentran en contacto, al SE por el volcán Ajusco y al N por las formaciones Tépec, y al SW por las lavas del Grupo Chichinautzin. El conjunto de domos presentan una altura máxima de 3710 msnm para el cerro Los Picachos.

El emplazamiento de estos domos, debido a la orientación y alineamiento de estos, se relaciona con un emplazamiento a partir de fracturamiento NW -



**Foto 6.** En el extremo derecho inferior se observa un depósito de tefras indiferenciadas y en el fondo se observa una secuencia de domos.



**Foto 7.** En el extremo derecho de la fotografía, se observa la pared SE del domo la Coconetla.

SW. Es probable que el origen de estos domos tengan una edad aproximada de menos de 2.5 Ma.

Esta Formación le sobreyace a varias Formaciones como la Tenámitl y Tépec, entre otras mas jóvenes.

#### **d) Formación Xomulli ( $T_{xm}$ )**

Esta unidad esta formada por tres domos, que en conjunto, presentan una orientación preferencial casi N-S, las lavas de los domos son de composición andesítica y dacítica. Cada domo se encuentra asociado con sus respectivos depósitos de bloques y cenizas (figura II.4.d).

Inicialmente hacia sur se encuentra la dacita Jalatláco, la cual presenta una textura porfídica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda, piroxenos en una matriz vítrea (muestra LC-24), al este se encuentra en contacto con la andesita Tlalli, hacia el norte se encuentra el cerro El Muñeco y hacia el W se encuentran los depósitos de tefras indiferenciadas.

Posteriormente le sigue, la andesita El Muñeco con una altura de 3880 msnm, la roca presenta una textura porfirítica-microlítica, con fenocristales de plagioclasa con textura dendrítica y ligero zoneamiento oscilatorio, la matriz microlítica presenta cierto grado de flujo y el vidrio esta en proceso de desvitrificación (muestras LC-23,24), en la parte Sw un depósito de lahar con la siguientes características: es masivo, constituido por clastos de composición andesítica, con diferentes grados de intemperismo, presentan tamaños que van desde 60 cm los más grandes hasta de 15-10 cm los más pequeños, de forma es subredondeada y subangulosa respectivamente, y se encuentran en contacto, no presentan imbricación ni estratificación y la distribución de los clastos es aleatoria (foto 5). El domo El Muñeco presenta superficies irregulares en la cima donde se encuentra el límite del macizo rocoso. Presenta pendientes de casi 90° en el flanco E, es domo se encuentra cubriendo al cerro El Gavilán, le sobreyacen el flujo andesítico El Tizón, la andesita Tlalteles, y al NE sobreyace a la dacita San Miguel, siguiendo la secuencia hacia el norte se encuentra la andesita San Jacinto con una altura de 2840 msnm, acompañado de un flujo piroclástico que se encuentran emplazados hacia el NE.

El emplazamiento de estos domos, debido a la orientación y alineamiento de estos, se relaciona con un emplazamiento a partir de fracturamiento con una

orientación casi N - S. Es probable que el origen de estos domos tengan una edad aproximada de 2.0 Ma.

### **e) Formación Totolin ( $T_{Tn}$ )**

Esta unidad esta formada por un conjunto de domos, que en conjunto, presentan una orientación preferencial casi NE-SW, las lavas de los domos son de composición andesítica y dacítica. Cada unidad se encuentra asociado con sus respectivos depósitos de bloques y cenizas (figura II.6.e).

Haciendo la descripción de las unidades a partir del SW al NE, inicialmente tenemos la dacita El Mirasol, tiene un color de intemperismo pardo rosado y al fresco rosa con textura porfídica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda, piroxenos y cuarzo, esta unidad se encuentra afectado por dos fallas de tipo normal N 60° E 35° SE, le sobreyacen flujos de lava que pertenecen al grupo Chichinautzin.

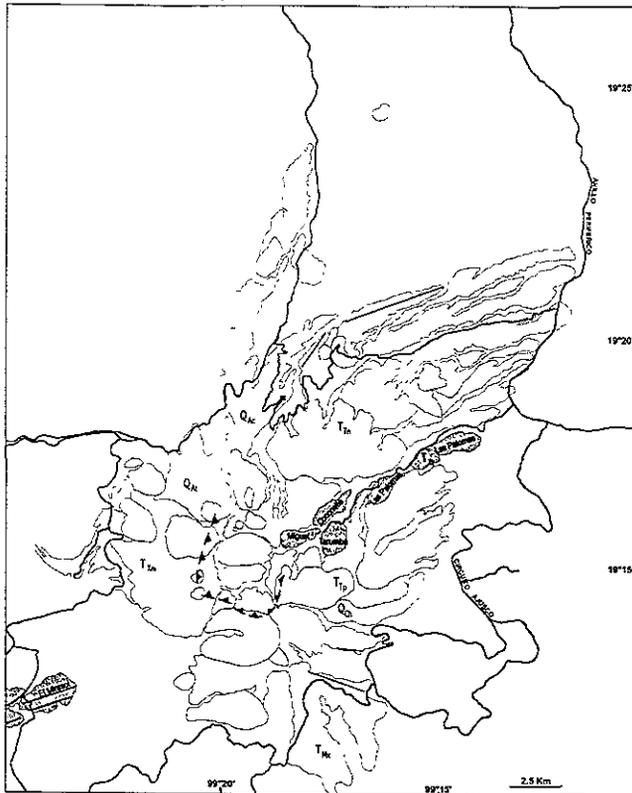
La dacita Miguel con una textura porfirítica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda embebidos en una matriz microlítica (muestra LC-6), sobreyace a la dacita San Miguel, enfrente se encuentra la dacita Tarumba con una edad de  $1.920 \pm 13$  Ma (Mora Álvarez G. et al., 1991), sobreyace a la andesita Tlacotín.

Frente a la dacita Tarumba, se encuentra la dacita Coconetla (foto 7), color de intemperismo gris oscuro y al fresco gris claro, masiva, textura porfídica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos, embebidos en una matriz vítrea (muestra LC-7), presenta hacia el SW pendientes hasta de 90°, y se encuentra en contacto a hacia el N con los domos San Miguel y San Bernabé.

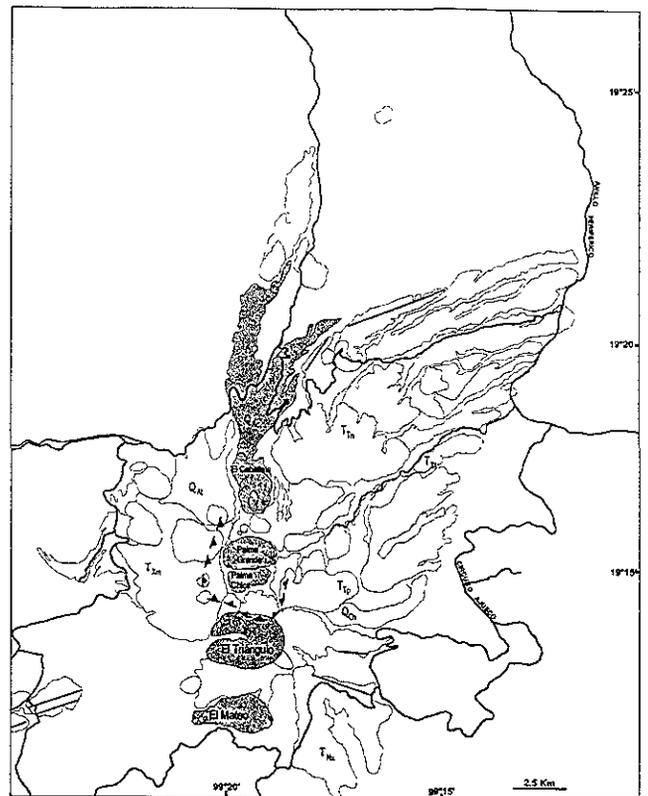
Finalmente se encuentran las andesitas Las Palomas y San Nicolás, de manera general, la roca presenta un color de intemperismo gris oscuro y al fresco gris claro, masiva, textura porfídica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz vítrea y presenta vesículas (muestra LC-49) son flujos de lava que sobreyacen a un flujo de bloques y cenizas de la andesita Sasacapa, se encuentran emplazados sobre la falla Contreras.

La Formación Totolin, aparentemente se encuentra emplazada sobre la falla Contreras que tiene una dirección N 55° E. Es probable que el origen de estos domos podría tener una edad de menos de 1.9 Ma.

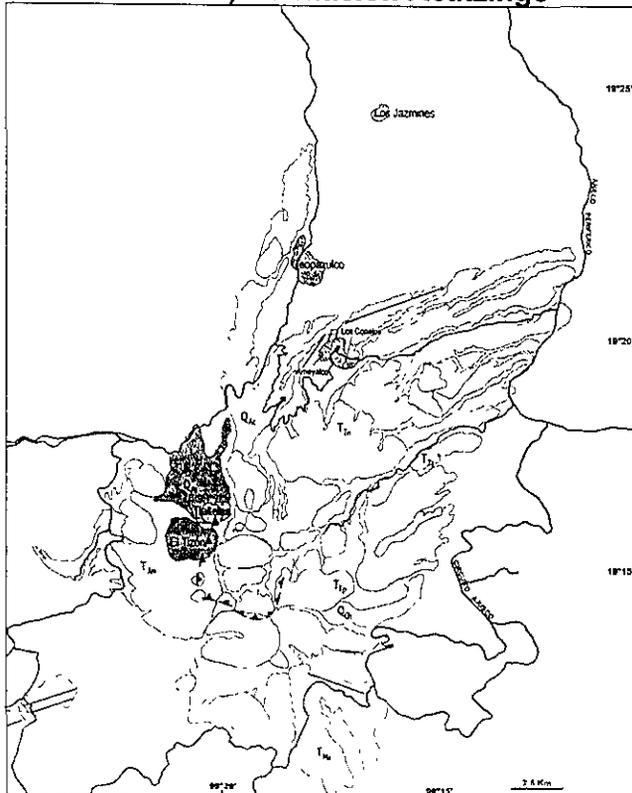
E) Formación Totolin



F) Formación Acolli



G) Formación Acatzingo



H) Formación Tlan

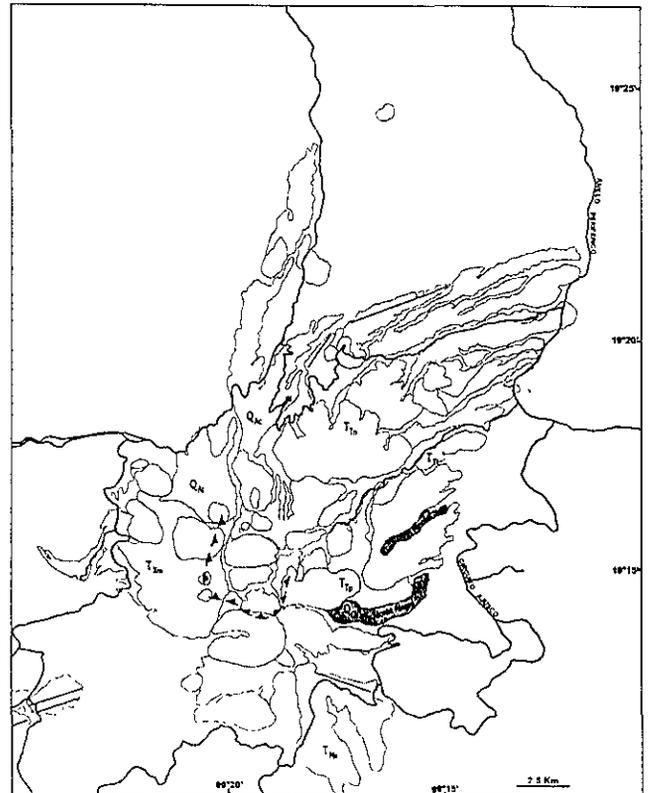


Figura II.6 Representa las últimas cuatro unidades que constituyen al CVSM, el tono oscuro señala la formación que le corresponde.

## **f) Formación Acolli (Q<sub>ac</sub>)**

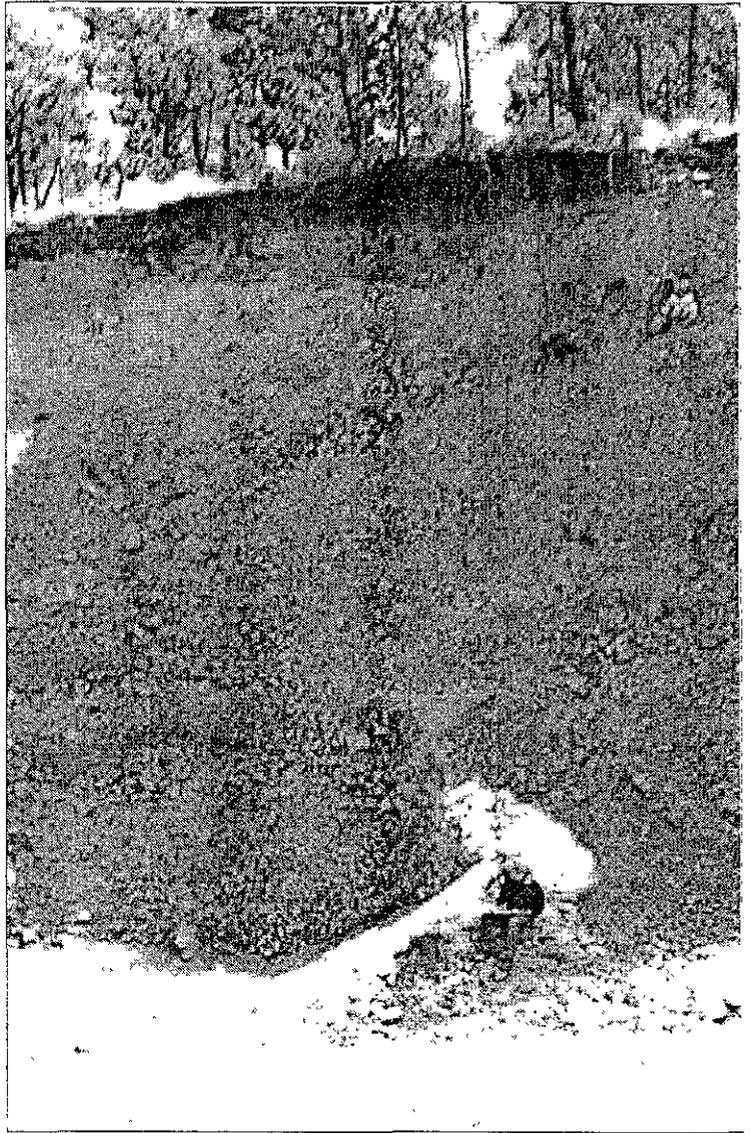
Esta unidad esta formada por un conjunto de domos, que en conjunto, presentan una orientación preferencial N-S, las lavas de los domos son de composición andesítica y dacítica. Cada domo se encuentra asociado con sus respectivos depósitos de bloques y cenizas (figura II.6.f).

Inicialmente hacia el sur se encuentra emplazada la andesita El Mateo, la roca tiene un color de intemperismo pardo grisáceo y al fresco gris oscuro, masiva, textura afanítica con cristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos los cuales, se encuentran reemplazados por óxidos, y están embebidos en una matriz vítrea y además presenta vesículas (muestra LC-20), en el arroyo que se encuentra al NW del domo, se encuentra un depósito de bloques y cenizas, es masivo, constituido por bloques de composición dacítica que presentan un tamaño que va desde 50.0 cm hasta 1.0 m de forma subangulosa a subredondeada, embebidos en una matriz del tamaño de grava, con un espesor aproximado de 3.0 m, los clastos se encuentran en contacto, gradación normal incipiente, a este depósito le subyace el macizo rocoso del domo. Este domo sobreyace al N con el domo Tlalli, hacia el SE esta en contacto con el flujo de lava que pertenece al volcán Jumento.

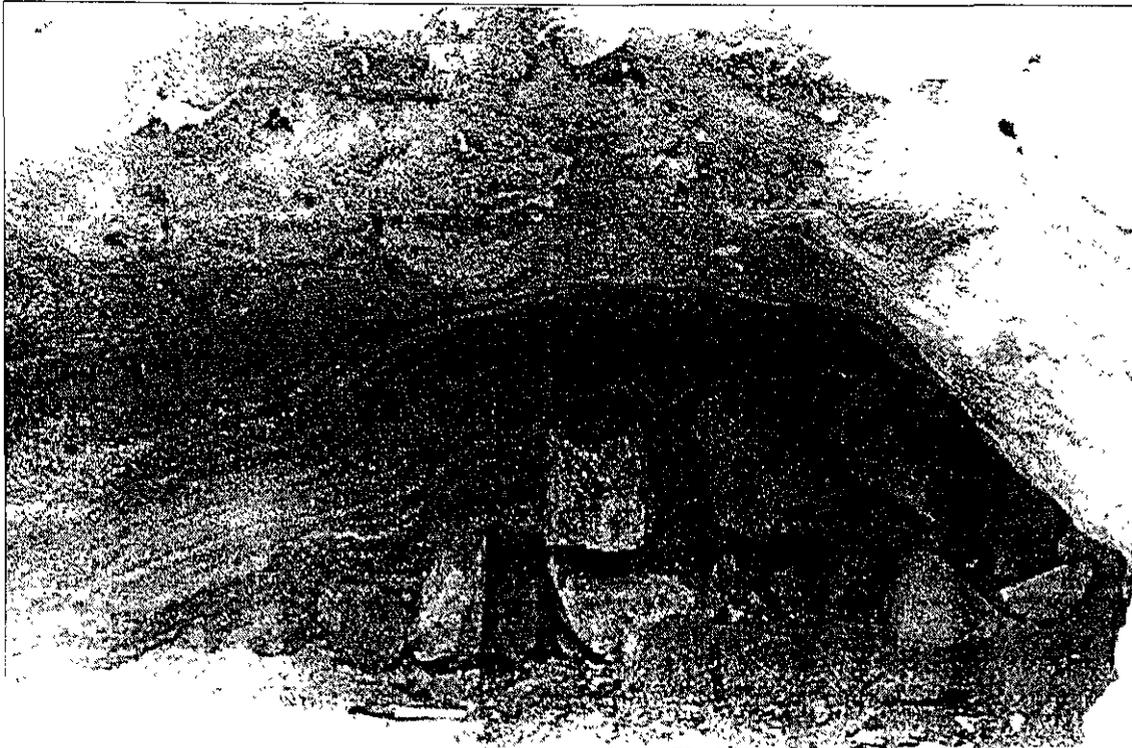
posteriormente se encuentra la dacita El Triángulo, la roca presenta un color al fresco gris claro con una textura porfídica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos, la roca se encuentra intemperizada y tanto la hornblenda como los piroxenos se encuentran reemplazados por óxidos, esa andesita sobreyace a los domos Tlalli, El Tejón y El Tlacuache, este domo presenta un relieve muy erosionado, principalmente en su parte central hay un circo erosivo, producto del período glacial presente en esta zona.

La dacita La Palma Chica con un color de intemperismo gris pardo y al fresco gris claro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa (<3mm), hornblenda, biotita (muy poca) y piroxenos (<1mm), se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz sacarosa ( muestra LC-15), presenta en la parte SE del domo un depósito de bloques y cenizas de color pardo amarillento, El flujo de bloques y cenizas (foto 9) que se localiza al NW del domo con un espesor aproximado de 2.5 m, presenta estratificación, es monolitológico de color pardo rosado soportado por una matriz del tamaño de arena fina, con gradación normal, el tamaño de los clastos de composición

**Foto 8.** Se observa parte del flujo piroclástico de bloques y cenizas que pertenecen al domo La Palma Grande.



**Foto 9.** Depósito de escoria que sobreyace a un depósito de flujo piroclástico, ubicado al SW del domo La Palma Chica.



dacítica van desde 2.0 cm hasta 15.0 cm, a esta sección le sobreyace una pequeña capa de suelo y le subyace un depósito piroclástico y un horizonte con un espesor de 15.0 cm de un paleosuelo, este depósito se adelgaza hacia la parte mas baja conforme al eje de dispersión dando una forma lobulada, Verticalmente y en dirección del eje de dispersión presenta una forma lenticular, a este domo le subyace a la andesita Palma Grande, la roca tiene un color de intemperismo gris pardo y al fresco gris claro, masiva, textura porfídica con fenocristales de plagioclasa (<2mm), hornblenda, biotita y piroxenos (<1mm) se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz vítrea (muestra LC-3) se encuentra acompañado por flujos piroclásticos de bloques y cenizas, este depósito se localiza al NW del domo con un espesor aproximado de 4.5 m (foto 8), es masivo, es monolitológico de color pardo rosado, soportado clasto a clasto, el tamaño de los clastos de composición dacítica van desde 3.0 cm hasta 30.0 cm, a esta sección le sobreyace una pequeña capa de suelo y le subyace el macizo rocoso del domo, a estos domos le sobreyacen depósitos de tefras indiferenciadas, y hacia el N sobreyace a la dacita San Miguel.

La andesita El Caballete, la roca tiene un color de intemperismo gris pardo y al fresco gris claro, masiva, textura porfídica con fenocristales de plagioclasa (<5mm), hornblenda y piroxenos (<1mm) se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz vítrea (muestra LC-19), con una edad de  $1.790 \pm 10$  Ma ( Mora Álvarez G. et al, 1991) presenta depósitos piroclásticos emplazados hacia el NE, y posiblemente la parte distal fue cubierta por el material que constituye a las Formaciones Tacubaya y Becerra, probablemente forma parte del material volcánico presente en la Formación Tarango superior.

La Formación Acolli, limita al NE con los depósitos de la Formación Tarango, al SE con el cerro Los Picachos y al S-SW se encuentran los flujos de lava del Grupo Chichicnautzin.

El emplazamiento de estos domos, debido a la orientación y alineamiento de estos, se relaciona con un emplazamiento a partir de fracturamiento N - S. Es probable que el origen de estos domos tengan una edad menor a 1.7 Ma.

### **g) Formación Acatzingo (Q<sub>At</sub>)**

Esta unidad esta formada por un conjunto de domos, que presentan una orientación preferencial al NE, las lavas de los domos son de composición

andesítica y dacítica. Cada domo se encuentra asociado con sus respectivos depósitos de bloques y cenizas (figura II.6.g).

La andesita El Tizón (foto 11), roca de color pardo grisáceo y gris claro al fresco, la roca se encuentra muy intemperizada ya que presenta una textura de porfídica en donde los fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos, presentan coronas de oxidación y en algunos casos están reemplazadas por óxidos (foto 11), sobreyace a la andesita El Muñeco.

Posteriormente se encuentra, la andesita Tlalteles presenta un color de intemperismo pardo amarillento y al fresco gris claro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos (<2mm) se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz sacarosa (muestra LC-9), sobreyace a la andesita El Muñeco, andesita El Ángel y en las faldas de este domo se encuentra emplazado el flujo de lava basáltica La Pila, hacia el NE se encuentran los domos alineados dacita Teopazulco y dacita Jazmines que sobreyacen a los depósitos de la Formación Tarango, y la andesita Ameyalco y Los Conejo sobreyacen a los depósitos piroclásticos que pertenecen a la dacita San Bernabé.

Esta unidad tiene una edad probable de menos de 1.0 Ma.

#### **h) Formación Tlan (Q<sub>TI</sub>)**

Esta unidad esta formada por dos flujos de lava de composición andesítica, llamadas andesita Monte Alegre y andesita El Rincón (figura II.6.h).

El flujo de lava en bloques de composición andesítica Monte Alegre, presenta un color de intemperismo gris oscuro y al fresco gris claro, masiva, textura porfídica con fenocristales de plagioclasa (<3mm), hornblenda y piroxenos (<2mm) se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz vítrea (muestra LC-8), sobreyace a un flujo que pertenece al Cerro Tlacotin, hacia el sur limita con flujos de lava basáltica más jóvenes que pertenecen al Grupo Chichinautzin, en la cima presenta rasgos de erosión glacial, esto indica que tiene una edad probablemente anterior al Pleistoceno medio.

El otro flujo de lava en bloques de composición andesítica El Rincón, con un color de intemperismo pardo grisáceo y al fresco gris claro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa (<4mm), hornblenda y piroxenos (<1mm) se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz

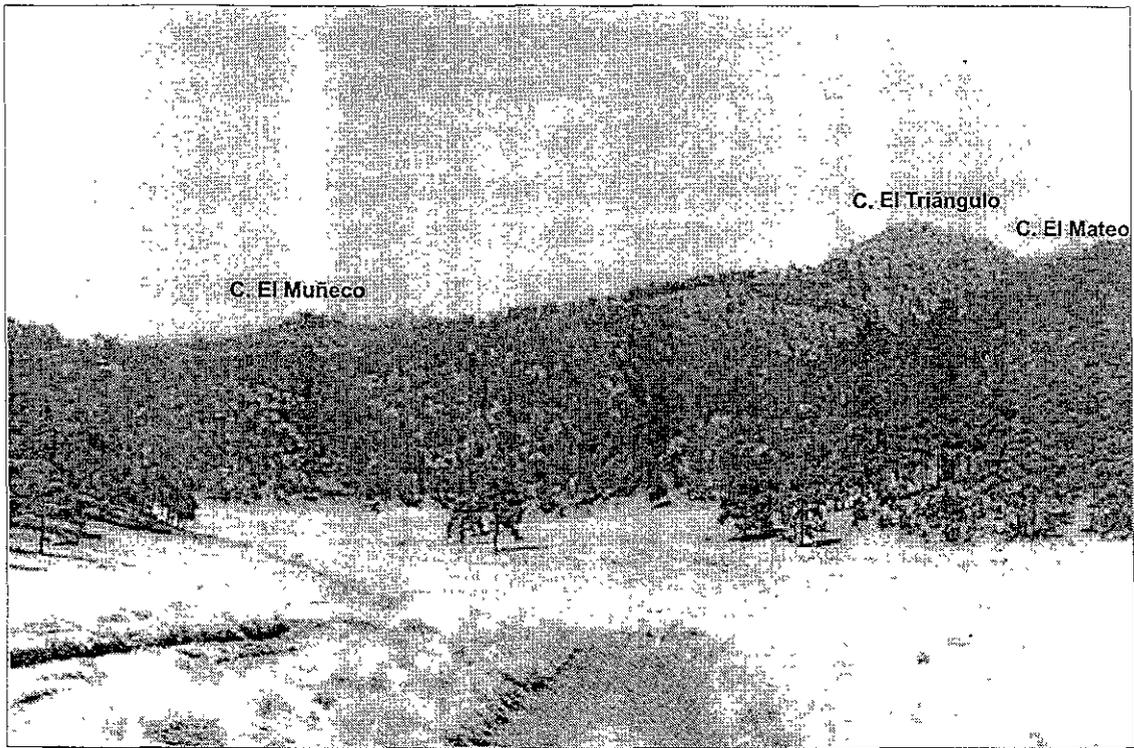


Foto 10. Secuencia de domos que se encuentran en la parte SW del CVSM.

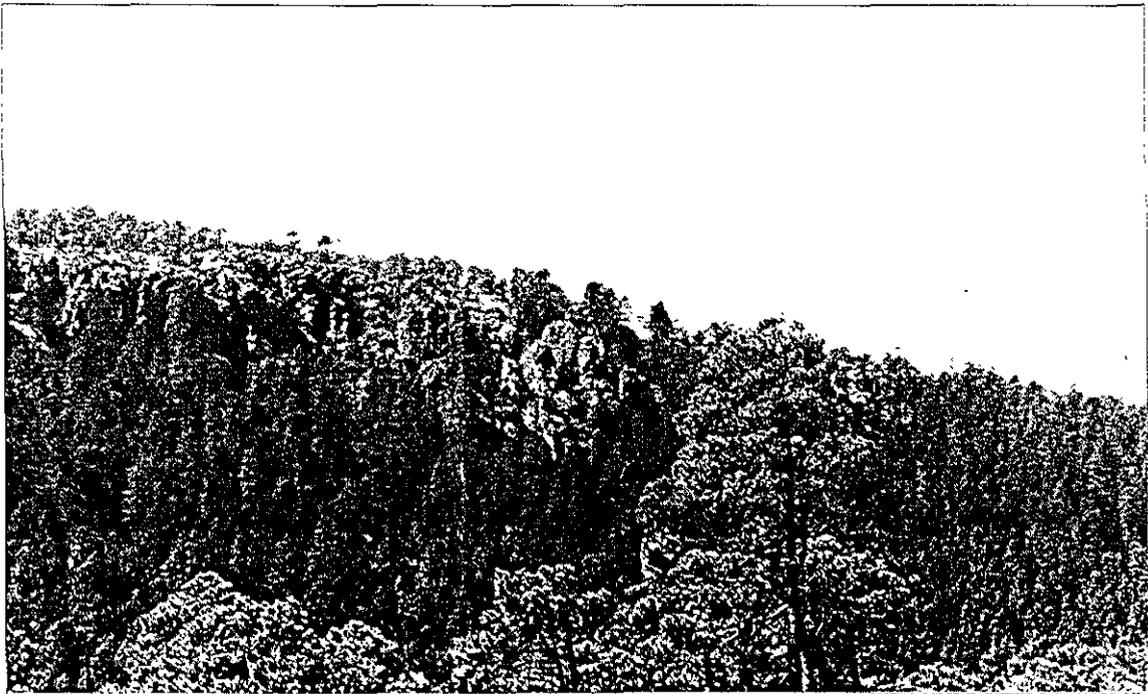


Foto 11. Se observa la parte NW del flujo de lava El Tizón, vista desde el cerro Tlatteles.

vítrea (muestra LC-51), sobreyace al cerro Sasacapa, al parecer fluyo en un valle glacial.

Es probable que el origen de estos flujos de lava tengan una edad aproximada de menos de 0.5 Ma.

Esta Formación sobreyace a la Formación Tépec y NE se encuentran en contacto con los flujos de lava del volcán Xitle.

### **III.2.5 Formación San Martín ( $T_{Ma}$ )**

El cerro La Palma con una altura de 3310 msnm. Se encuentra limitado al SW por el cerro San Martín y al NW por el cerro La Piedad Grande, este domo de composición andesítica acompañado por un flujo piroclástico que se emplazaron hacia el NE, además se encuentra afectado en la parte SW por una falla de tipo normal que es parte de un pequeño graben, este volcán se origino hace  $2.760 \pm 19$  Ma ( Mora et al., 1991)

### **III.2.6 Formación Piedra Grande ( $T_{PG}$ )**

Se localiza al NW del cerro La Palma, al NW se encuentra el conjunto de estructuras volcánicas que se le ha llamado La Nopalera, la morfología que se observa indica que su composición es intermedia, además es una estructura que se encuentra afectada por una falla con una orientación hacia SE, su edad volcán corresponde al Pleistoceno Superior.

### **III.2.7 Formación La Cima ( $T_{Cm}$ )**

El Cerro La Cima con una altura de 3430 msnm. Haciendo la descripción con respecto a la morfología que presenta, el domo se encuentra acompañado de un flujo piroclástico que se emplazo hacia el NE. Este domo probablemente tiene una edad menor a 2.0 Ma. De acuerdo a la cartografía se observa que anteriormente se emplazo el volcán La Cima cuya edad es de 2.76 Ma y pertenece a la Formación Las Cruces, dicho volcán se encuentra limitado en la parte NW por el Cerro San Martín y al SW se encuentra rodeado por los depósitos que pertenecen al Complejo de domos San Miguel, tales como flujo de lava La Pila, Tlalteles, El Caballete y San Jacinto.

### III.2.8 Formación Ajusco ( $Q_{Aj}$ )

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.

Se considera al volcán Ajusco (VA) como una serie de domos dacíticos y andesíticos acompañados de flujos piroclásticos de bloques y cenizas. La Formación Ajusco se ha dividido en varios miembros.

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.

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 (White et al.,1990) el VA fue ocupado por glaciares, los cuales erosionaron al volcán dejando como rasgos característicos valles en forma de "U", circos glaciales y morrenas (Romero, 1998)

### **III.2.7 Grupo Chichinautzin (Q<sub>Ch</sub>)**

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 publico 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.

### **III.2.8 Basalto La Pila ( $Q_{Pl}$ )**

Flujo de lava basáltica La Pila ubicada en la parte SW y NE del Cerro Tlalteles, se observa que su emplazamiento en dos direcciones NW y al NE con una edad  $0.68 \pm 28$  Ma (Osete et al., 1998).

## **III.3 Holoceno**

### **III.3.1 Andesita-Basáltica Tezontle ( $Q_{Tz}$ )**

El flujo de lava mas joven corresponde a la andesita- basáltica Tezontle Color de intemperismo gris oscuro y al fresco gris claro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa (<3mm), hornblenda, olivino y piroxenos (<2mm) se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz vítrea, presenta vesículas (muestra LC-27), el cual se emplazo a lo largo de una falla de tipo normal que afecto a el domo Los Picachos, que junto con otra falla que se localiza al NE conforman lo que se llama el graben del Tezontle.

### **III.3.2 Depósitos de Tefras Indiferenciadas ( $Q_{ti}$ )**

Son depósitos que se presentan en las faldas de la montaña e incluso en la cima, el material distribuido en la parte SE y SW del volcán San Miguel proviene de los diferentes eventos volcánicos recientes, probablemente pertenecen al Nevado de Toluca, Xitle, Pelado o Popocatépetl dada su cercanía a estos centros volcánicos.

### **III.3.3 Depósitos de Talud ( $Q_{td}$ )**

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 que debilito 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  $30^\circ$ . Su distribución se observa en las laderas de los domos San Miguel, Coconetla, San Bernabé entre otros.

### **III.3.4 Depósitos Coluviales ( $Q_{ci}$ ) y Aluviales ( $Q_{al}$ )**

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 San Miguel se encuentran 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 a principalmente algunos volcanes que pertenecen a la Formación Las Cruces parte del Grupo Chichinautzin. Dichos depósitos se encuentran rellenando depresiones y formando llanos.

### III. Geología Estructural

De Cserna et. al. (1988) mencionan el enjambre de fallas las Cruces, el límite septentrional de este enjambre mayor corresponde a la barranca del río Hondo, y el límite meridional a la barranca del Río Magdalena (Figura III.1). Entre estas dos barrancas pudieron inferir mediante observaciones en el campo la localización de un total de ocho fallas con rumbo general N 55°E y con longitud promedio de 11 km, trazable en la superficie desde el contacto occidental de los depósitos aluviales de la Cuenca hacia el surponiente.

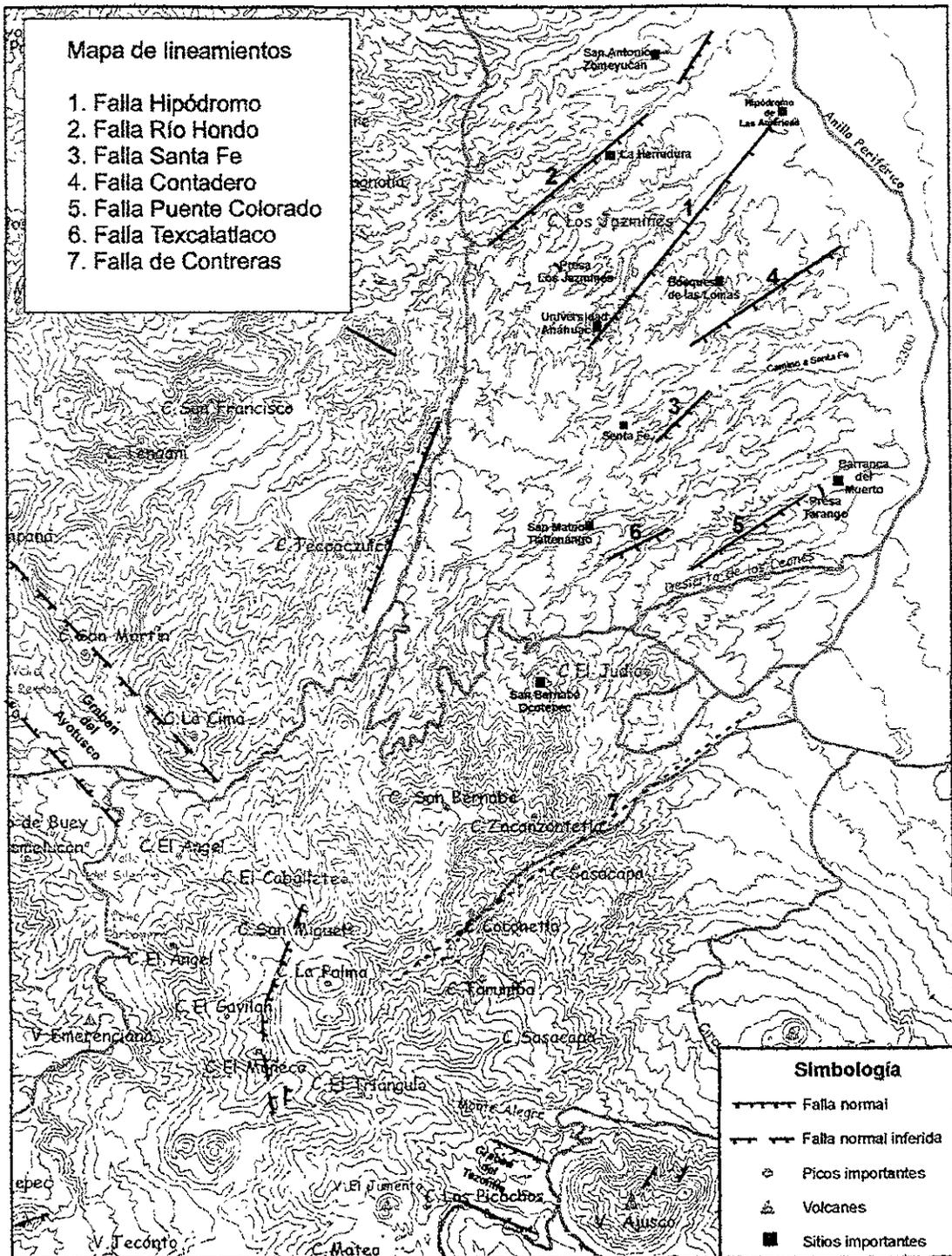
**Falla Hipódromo.** Se extiende desde la altura de la Universidad Anáhuac hasta el Hipódromo de Las Américas en lo que se refiere a su expresión superficial (figura III.1). Su traza es de 6 km de longitud y tiene una trayectoria rectilínea que sigue un rumbo N53°E. A la altura del fraccionamiento La Herradura, un ramal se dirige hacia el poniente, hacia la presa de Jazmines; esta falla tiene un bloque hundido en el sur.

**Falla Río Hondo.** El rumbo del tramo suroccidental de esta falla al poniente-surponiente de la Loma del Carmen es N60°E, mientras su tramo nororiental a partir de este punto es N 40°E. Su longitud superficial es de 14 km, estas fallas son indicativas de desplazamientos verticales aparentes (figura III.1).

**Falla Santa Fe y contadero.** Al sur de la falla Hipódromo, la más septentrional de estas dos fallas es el tramo noroccidental de la Falla Santa Fe, al surponiente del fraccionamiento Vista Hermosa tiene un rumbo de N45°E, mientras que desde ese punto hasta su terminación abrupta contra la Falla Contadero es de N80°E (figura III.1). La longitud de este tramo noroccidental es de 10 km.

Mooser y colaboradores (1985) fecharon material piroclástico en una de las minas de arena de Locaxco en 170,000 años A.P. Esto indica que la falla es más reciente que 170,000 años. El desplazamiento es aparentemente vertical y corresponde a unos 20 m, con el bloque hundido hacia el norponiente.

**La Falla Contadero.** Tiene 17 km de longitud y una trayectoria es ligeramente convexa hacia el norponiente (figura III.1). Los datos geofísicos recabados para el túnel Analco-Cerro del Judío, junto con los resultados de los sondeos perforados, indican que el bloque hundido de esta falla esta en el



**Figura III.1** En este mapa se localizan los principales fallas que hay en el área de estudio incluyendo, las fallas que menciona D Cserna et. Al., 1988.

suroriente (Ing. L.P. Hartweg; en De Cserna et. al., 1988). No obstante, a lo largo de esta falla también se manifiesta desplazamiento lateral diestro por la separación horizontal de la falla Santa Fe, que alcanza 1500 m. En vista de que la falla Santa Fe es posterior al material piroclástico fechadas en 170,000 años A.P. y que la falla Contadero desplaza a la falla Santa Fe, el desplazamiento a lo largo de la falla Contadero debe de haber ocurrido durante los últimos 100,000 años.

**Falla Puente Colorado.** Se extiende desde Santa Rosa Xochiac hacia el nororiente hasta la Barranca del Muerto, con un desarrollo longitudinal de 10 km. El tramo suroccidental tiene un rumbo de N60°E, mientras que el nororiental de N65°E (figura III.1).

**Falla Texcaltlaco.** Cuya traza superficial se extiende desde las cercanías de San Bernabé Ocotepc hasta la presa Tarango con una longitud cercana a los 7 km y trayectoria convexa hacia el norponiente (figura III.1).

**Falla Contreras.** Se localiza a lo largo del Río Magdalena cuyo Valle se conoce como Barranca de Contreras (figura III.1). Fue Mooser (1975) quien señaló esta estructura como una falla profunda de desplazamiento vertical con el bloque hundido en el suroriente, y que se formó durante el Mioceno temprano. Asimismo, ese autor atribuyó a la amplia Barranca de Contreras un origen glacial desarrollado durante los avances de la glaciación Illinois tardía, hace unos 170,000 años A.P.

La Falla Contreras presenta un lineamiento prominente con una longitud superficial de unos 13 km, que se extiende desde la cercanía desde el cerro de Las Palmas hacia el nororiente hasta Contreras, donde se pierde en la zona urbana. La dirección de este lineamiento es de N55°E. En el área del Cuarto Dínamo, afloran andesitas porfíricas que fueron consideradas del Mioceno Superior (Mooser et. al., 1974) o como perteneciente a las bases mayores implicando para ellas una edad del Mioceno medio o inferior (Mooser, 1975). Estas andesitas tienen un contacto rectilíneo (N 40°-45° E) con andesitas de grano fino que están al suroriente. Este contacto pudiera corresponder a una falla de desplazamiento vertical aparente con el bloque hundido en el suroriente.

Aguas abajo en esta barranca, a lo alto del Segundo Dinamo, en la margen suroriental se observó una pared vertical formada en andesitas, que tienen rumbo N60°E. Esta pared forma el borde suroriental de la barranca parece

corresponder a una fractura de descompresión. Refleja la existencia de una falla a lo largo de este tramo del río Magdalena.

Para Mooser (1990) desde el punto de vista de su estructura, el valle está flanqueado al poniente por la fosa de la Sierra de Las Cruces, al norte por la fosa de Barrientos al sur por la fosa compleja del Chichinautzin. En la sección geológica que este autor presenta, la fosa Las Lomas cuyos límites son al sur por la falla Contreras que afecta se localiza en la parte meridional del CVSM y al norte por la falla Satélite ubicada en el borde sur de la Sierra de Guadalupe, ver figura III.2.

En el modelo sombreado (Figura III.3) se han considerado dos patrones principales estructuras uno en la dirección SE y casi E-W y el segundo al NE-SW forma un fracturamiento en bloques. La mayor parte de los lineamientos definidos se encuentran principalmente en la parte NE-NW del área de estudios, en donde se localizan fallas de tipo normal, son paralelas y escalonadas. Además puede observarse el lineamiento al NW de algunos domos y algunos conos cineríticos en la dirección E-W.

La Formación Tépec, se encuentra afectada en la parte NE por la falla Contreras que tiene una dirección N 55° E. El conjunto de domos presentan una altura máxima de 3380 msnm para el cerro Sasacapa, de 3700 y 3750 msnm para los cerros Tlacotin y Tlalli respectivamente. Estos domos están orientados igual que el fracturamiento NE – SW de la región.

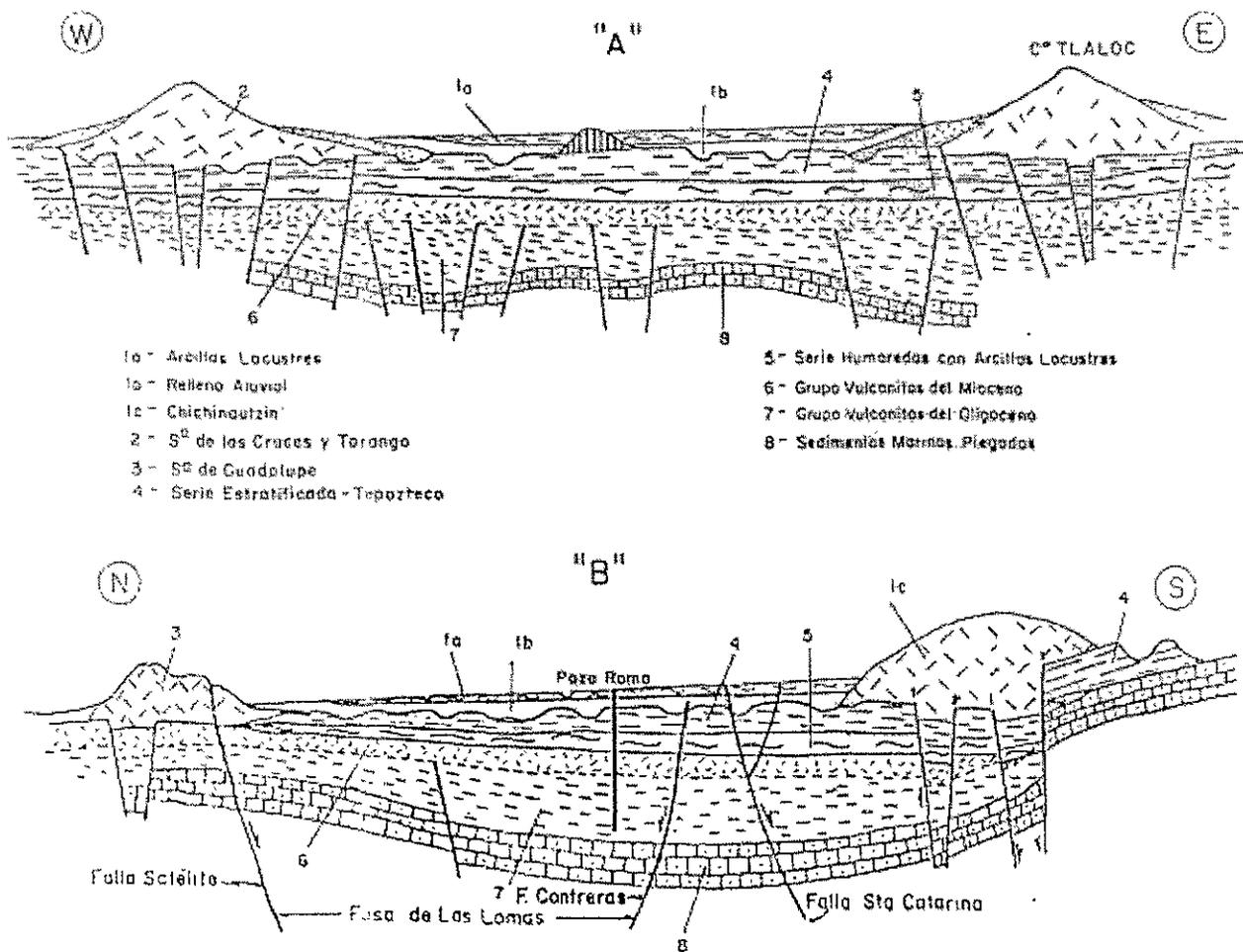


Figura III.2 Sección geológica de la cuenca de México (Mooser, 1990).

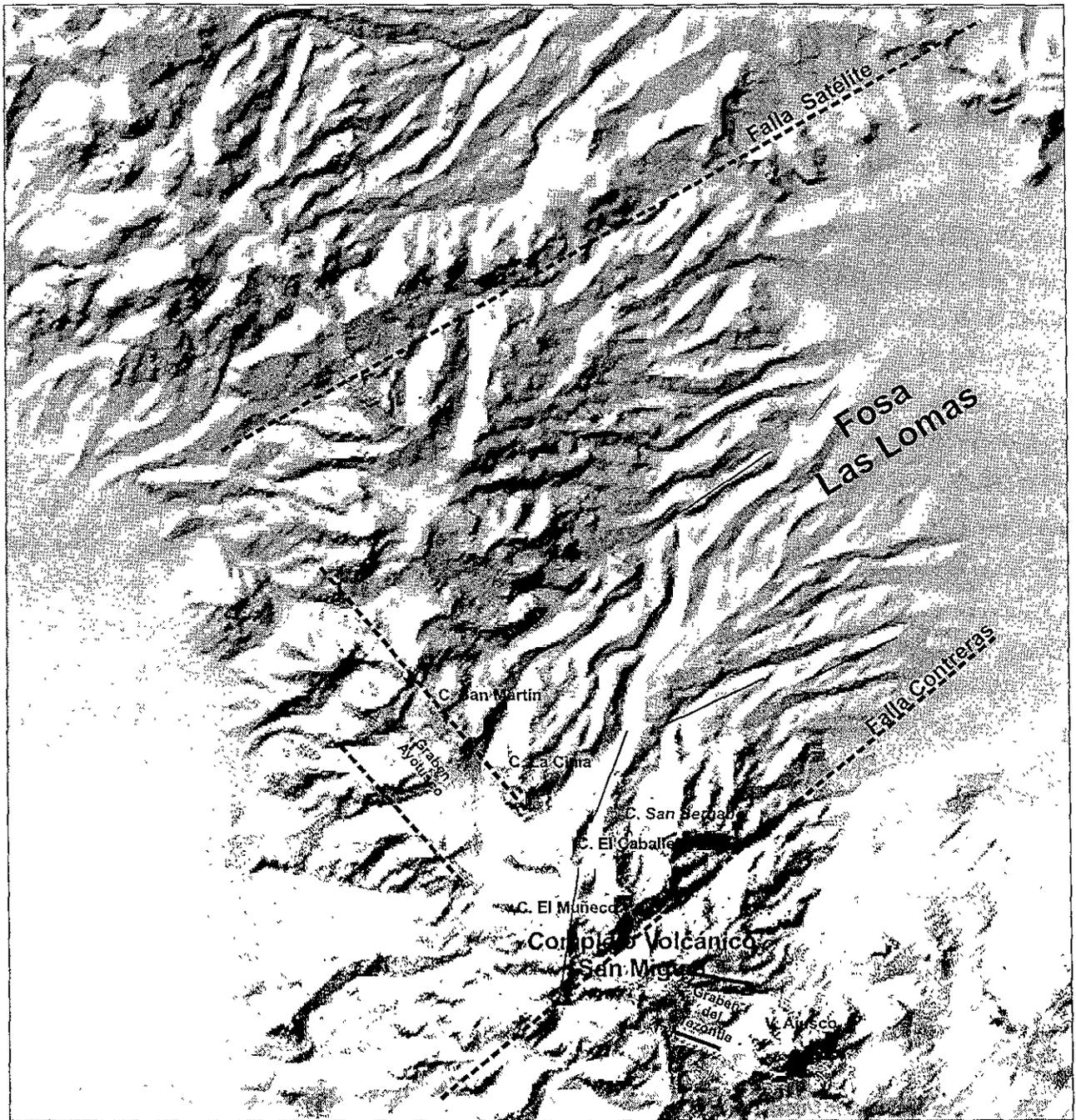


Figura III.3 En el modelo sombreado, están representados los principales lineamientos que cortan al Complejo San Miguel.

## **IV. Petrología**

### **IV.1 Petrografía**

Se llevo a cabo el análisis petrográfico de 32 muestras de las cuales solo 14 muestras fueron seleccionadas para análisis químicos. La ubicación de los sitios de muestreo se observa en la figura IV.1.

Las lavas de los domos que constituyen al CVSM, son de composición andesítica y dacítica con variaciones en el contenido de sílice y minerales hidratados como hornblenda y biotita.

La mayoría de las lavas del CVSM son de coloración gris y rosa principalmente, en donde los fenocristales, como la plagioclasa varia en tamaño teniendo hasta 4mm de longitud, y los anfíboles y piroxenos hasta 2mm, las muestras presentan textura porfídica, con fenocristales de plagioclasa, piroxenos, anfíboles y biotita. Debido a las condiciones de intemperismo de la mayoría de las muestras, en algunos casos los fenocristales de hornblenda presentan alteraciones o están totalmente reemplazadas por óxidos de hierro, siendo esta más abundante para los domos mas jóvenes, algunas muestras presentan textura fluidal. En caso de la plagioclasa son los fenocristales más abundante y en la mayoría de las muestras se presenta zoneamiento o dada la condición de la roca presenta textura esquelética o bordes de reacción. Para la hornblenda al igual que la biotita se presentan reemplazadas o presentan bordes de alteración a óxidos de hierro, es notoria la abundancia de minerales arcillosos y muy pocas muestras tienen biotita y es muy escasa, también conforme el material es más joven se puede observar el aumento en el contenido de olivino. La matriz esta compuesta generalmente de plagioclasa y en menor proporción de vidrio, piroxenos, hornblenda, hematita y minerales arcillosos. En ocasiones la matriz presenta textura fluidal, (ver anexo petrográfico).

### **IV.2 Geoquímica**

Los análisis químicos fueron realizados por el M. en C. Rufino Lozano en el Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS). Se obtuvieron datos de elementos mayores y elementos traza mediante fluorescencia de rayos X de 14 muestras (tablas 2 y 3) del Grupo Las Cruces: Formación Tépec, Formación Tenámítl, Formación Totolin, Formación Acolli, Formación Tlan, rocas de la

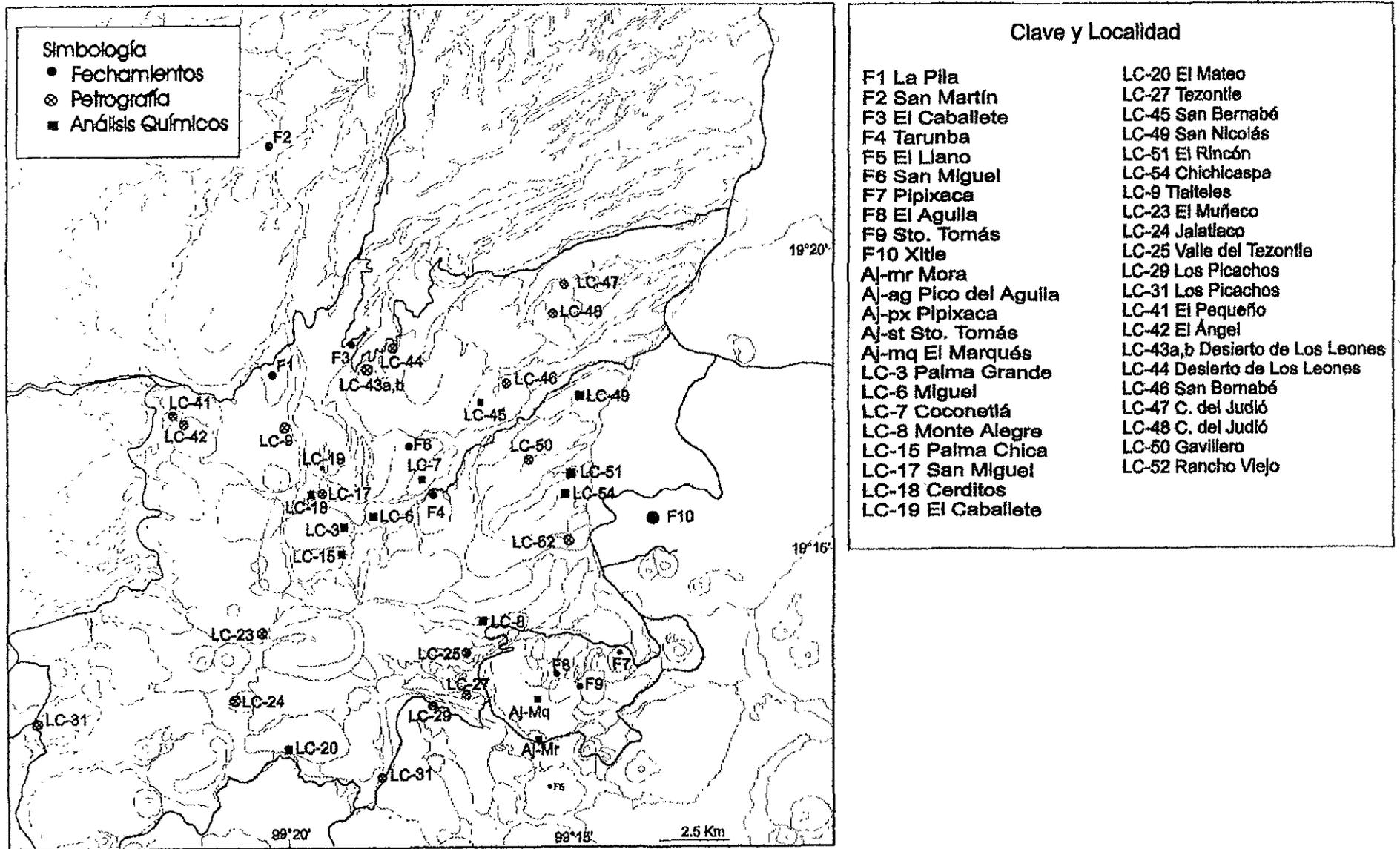


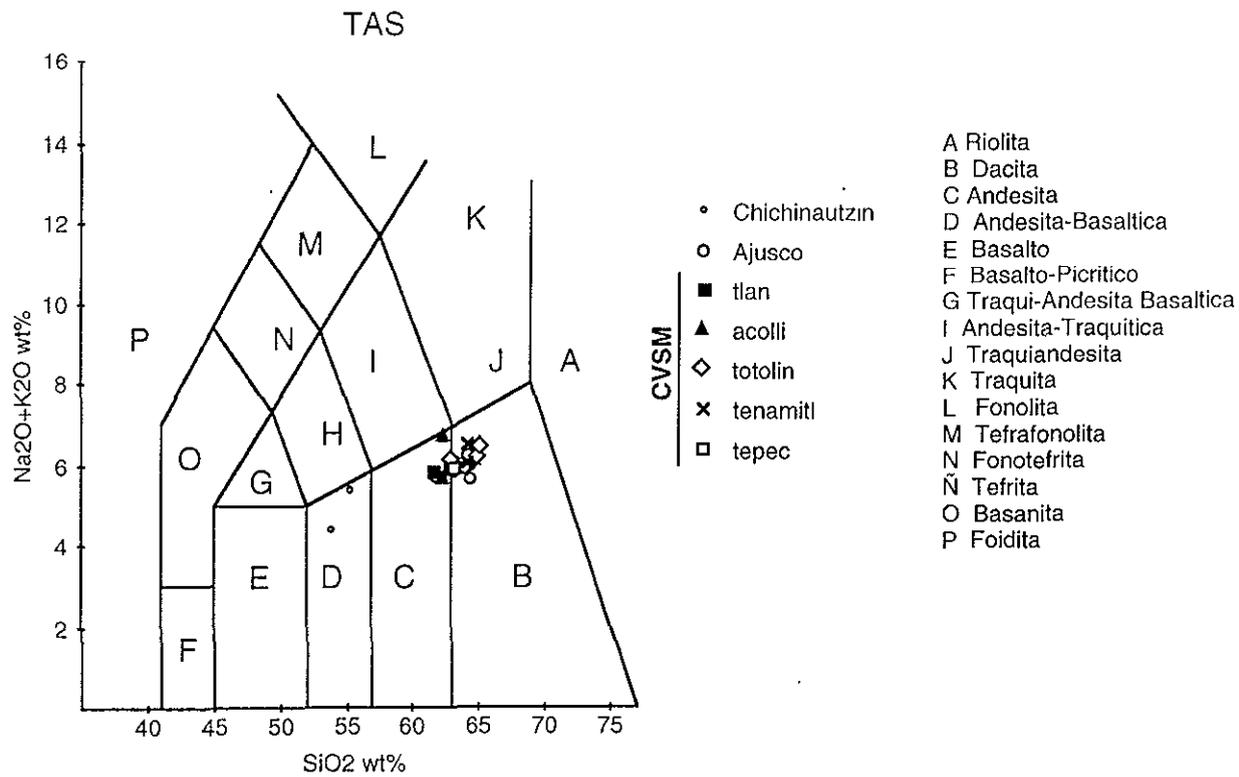
Figura IV.1 Mapa en donde se encuentran ubicados los sitios de muestreo..

Unidades	Muestra	Localidad	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3t	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	PxC
Formación Ajusco	Aj-ag	El Aguila	64.39	0.68	16.50	4.41	0.08	1.98	4.46	4.40	1.59	0.17	0.43
	Aj-px	Pipixaca	63.20	0.70	16.07	2.39	0.08	2.97	4.44	3.98	1.85	0.16	
	Aj-st	Sto. Tomás	64.35	0.65	16.95	4.30	0.09	1.64	4.27	4.04	1.58	0.15	0.73
	Aj-mq	El Marqués	63.18	0.69	16.72	4.82	0.09	2.64	4.86	4.26	1.58	0.17	0.22
Tépec	LC-54	Chichicaspa	63.07	0.75	16.12	5.53	0.09	2.40	4.74	4.11	1.82	0.20	0.84
Tenámitl	LC-17	San Miguel	64.13	0.84	16.27	5.17	0.08	2.27	4.45	4.29	1.74	0.20	0.13
	LC-18	Cerditos	63.31	0.83	16.58	5.22	0.09	2.49	4.47	4.31	1.57	0.17	0.54
	LC-45	San Bernabé	64.09	0.73	16.25	4.64	0.08	2.31	4.80	4.50	1.98	0.27	0.19
Totolin	LC-6	Miguel	65.19	0.65	16.02	4.17	0.07	1.82	4.50	4.50	1.91	0.20	1.01
	LC-7	Coconetlá	64.97	0.61	16.46	4.42	0.07	2.47	4.36	4.44	1.72	0.19	0.13
	LC-49	San Nicolás	62.84	0.74	16.03	5.11	0.08	3.10	4.84	4.09	2.02	0.19	1.02
Acolli	LC-3	Palma Grande	62.32	0.83	16.10	5.53	0.10	2.51	5.14	4.34	2.38	0.42	0.21
	LC-15	Palma Chica	64.80	0.76	16.29	4.94	0.09	2.30	4.25	4.39	1.70	0.16	0.23
	LC-19	El Caballete	62.38	0.91	17.30	5.43	0.09	2.57	3.79	3.93	1.74	0.22	1.65
	LC-20	El Mateo	62.96	0.78	16.86	5.38	0.08	2.71	4.80	4.65	1.53	0.20	0.06
Tlan	LC-8	Monte Alegre	61.52	0.70	17.12	5.64	0.09	3.33	5.30	4.44	1.41	0.19	0.07
	LC-51	El Rincón	62.70	0.78	15.94	5.49	0.08	3.21	5.16	4.21	1.72	0.20	0.17
Chichinautzin	LC-27	Tezontlé	55.31	1.00	16.17	7.35	0.11	6.77	7.31	3.96	1.39	0.36	-0.12
	Aj-Mr	Mora	53.79	0.94	16.00	7.52	0.13	8.52	7.36	3.43	0.99	0.21	0.29

Tabla 2. Datos geoquímicos (elementos mayores), analizados en el LUGIS.

Unidades	Muestra	Localidad	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	Ga	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Th	Pb	
Formación Ajusco	Aj-ag	El Aguila	32	870	405	15	164	4	20	62	38	53	40	37	79	7	9	
	Aj-px	Pipixaca	32	688	376	16	162	3	18	89	98	56	92	37	76	3	7	
	Aj-st	Sto. Tomás	31	869	376	17	150	4	20	63	23	43	30	36	73	4	9	
	Aj-mq	El Marqués	33	699	457	17	155	5	20	120	89	37	41	39	76	5	8	
C V S M	Tépec	LC-54	Chichicaspá	45	602	539	24	173	4	0	104	83	18	24	41	74	4	9
	Tenámitl	LC-17	San Miguel	43	493	528	17	185	3	0	92	41	13	9	19	79	6	6
		LC-18	Cerditos	34	507	398	18	150	3	0	124	37	14	9	14	71	2	6
		LC-45	San Bernabé	47	741	661	15	191	4	0	96	42	14	21	39	73	3	6
	Totolin	LC-6	Miguel	48	582	616	14	198	5	0	80	32	11	10	25	76	7	10
		LC-7	Coconetlá	50	496	575	13	182	4	0	76	88	15	32	23	80	7	14
		LC-49	San Nicolás	45	498	492	16	167	4	0	99	86	17	28	25	75	3	11
	Acolli	LC-3	Palma Grande	54	1024	1040	16	219	4	0	108	33	18	20	46	76	10	11
		LC-15	Palma Chica	40	518	439	16	153	3	0	108	39	16	10	16	66	3	6
		LC-19	El Caballete	43	523	558	20	198	6	0	94	43	13	10	22	85	3	10
		LC-20	El Mateo	33	551	440	14	168	3	0	90	56	15	23	23	78	4	7
	Tlan	LC-8	Monte Alegre	37	499	436	14	160	3	0	111	105	20	46	17	72	2	10
		LC-51	El Rincón	43	555	508	16	166	4	0	108	90	19	27	33	69	4	6
	Chichinautzin	LC-27	Tezontlé	26	762	664	16	172	4	0	150	283	32	139	47	82	2	5
		Aj-Mr	Mora	19	651	340	17	143	4	19	172	478	51	175	98	75	3	6

Tabla 3. Datos geoquímicos (elemento trazas), analizados en el LUGIS.



**Figura IV.2** En el diagrama TAS, se puede observar que: estas muestras de Chichinautzin caen en el campo de las andesitas-basálticas, las del CVSM y Ajusco caen en los campos de las andesitas y dacitas.

Formación Ajusco (Romero, 1998) y del Grupo Chichinautzin. Posteriormente, los datos fueron normalizados y graficados usando los paquetes IGPET y MACSUITE.

#### **IV.2.1 Clasificación de las rocas**

Las rocas fueron clasificadas químicamente usando el diagrama TAS (Total Alkali Silica) publicado por Le Maitre (1984) y ligeramente modificado por Le Bas y colaboradores (1986).

En el diagrama TAS (figura IV.2) se puede observar que las muestras se ubican en los campos de las dacitas, andesitas y andesitas-basálticas, mencionadas en este orden, de acuerdo con su aparición en la secuencia estratigráficas.

Las rocas del CVSM quedaron comprendidas en el campo de las dacitas y algunas en el límite del campo de las andesitas y sólo las rocas del Grupo Chichinautzin quedaron clasificadas como andesitas-basálticas.

La información petrográfica y la geoquímica muestra que, los contenidos de  $\text{SiO}_2$  varían de 65.0 % a 54.0 %. Los contenidos totales de alcalis ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) varían de 5.0 % a 4.0 % en las andesitas, andesitas-basálticas y mientras que las dacitas muestran valores menores al 6.0 %. En la figura IV.3 se muestran los campos alcalino y subalcalino, y se observa que todas las muestras se concentran en el campo de las rocas subalcalinas. Las rocas del Grupo Chichinautzin no sólo tienen menor contenido de sílice y alcalis, sino además, son las rocas más ricas en  $\text{MgO}$  (figuras IV.4 y IV.5).

#### **IV.2.2 Características químicas**

Los diagramas de variación de tipo Harker son indicados en las figuras IV.4 y IV.5 ordenado estratigráficamente. El  $\text{TiO}_2$ , indica presencia de ilmenita y titanio-magnetita en los primeros productos, pero desaparece al final de la evolución del CVSM y posiblemente aparece magnetita.

La tendencia de aumento en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$  y  $\text{MgO}$ , combinada con la disminución de  $\text{SiO}_2$  conforme a la secuencia estratigráfica, podría estar relacionada con una disminución de hornblenda (que se manifiesta también en una disminución del tamaño en los cristales, ver apéndice), aumento en la abundancia de piroxenos (acompañado de la aparición y aumento de la cantidad de ortopiroxenos respecto a los clinopiroxenos), aparición de olivino (primero en

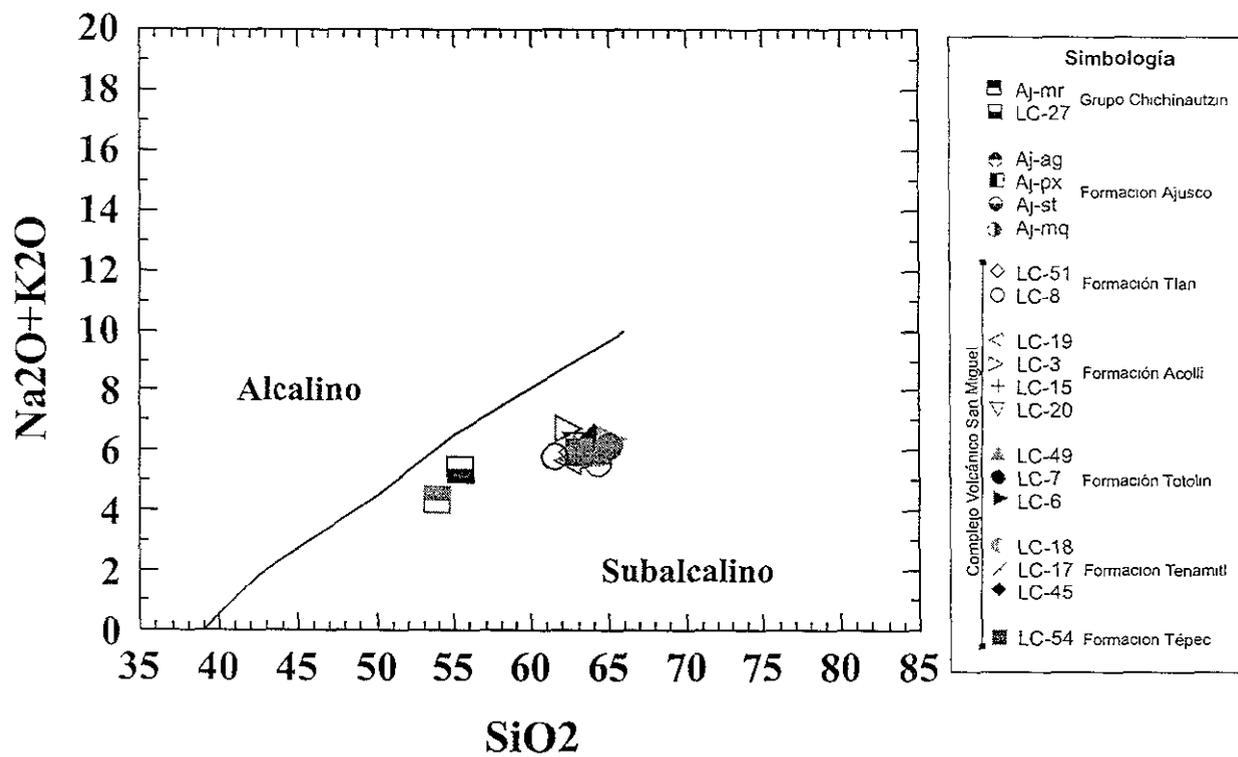
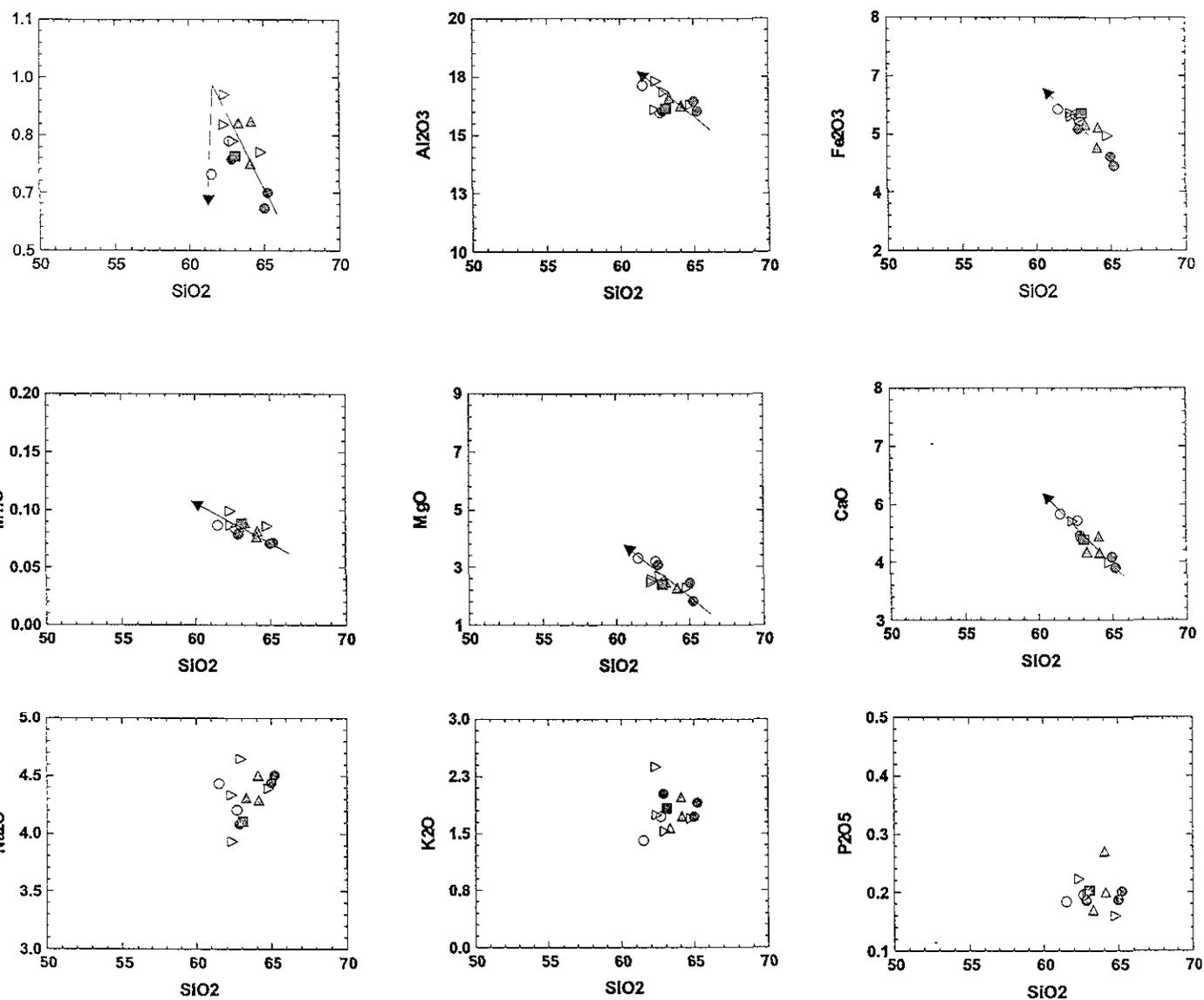


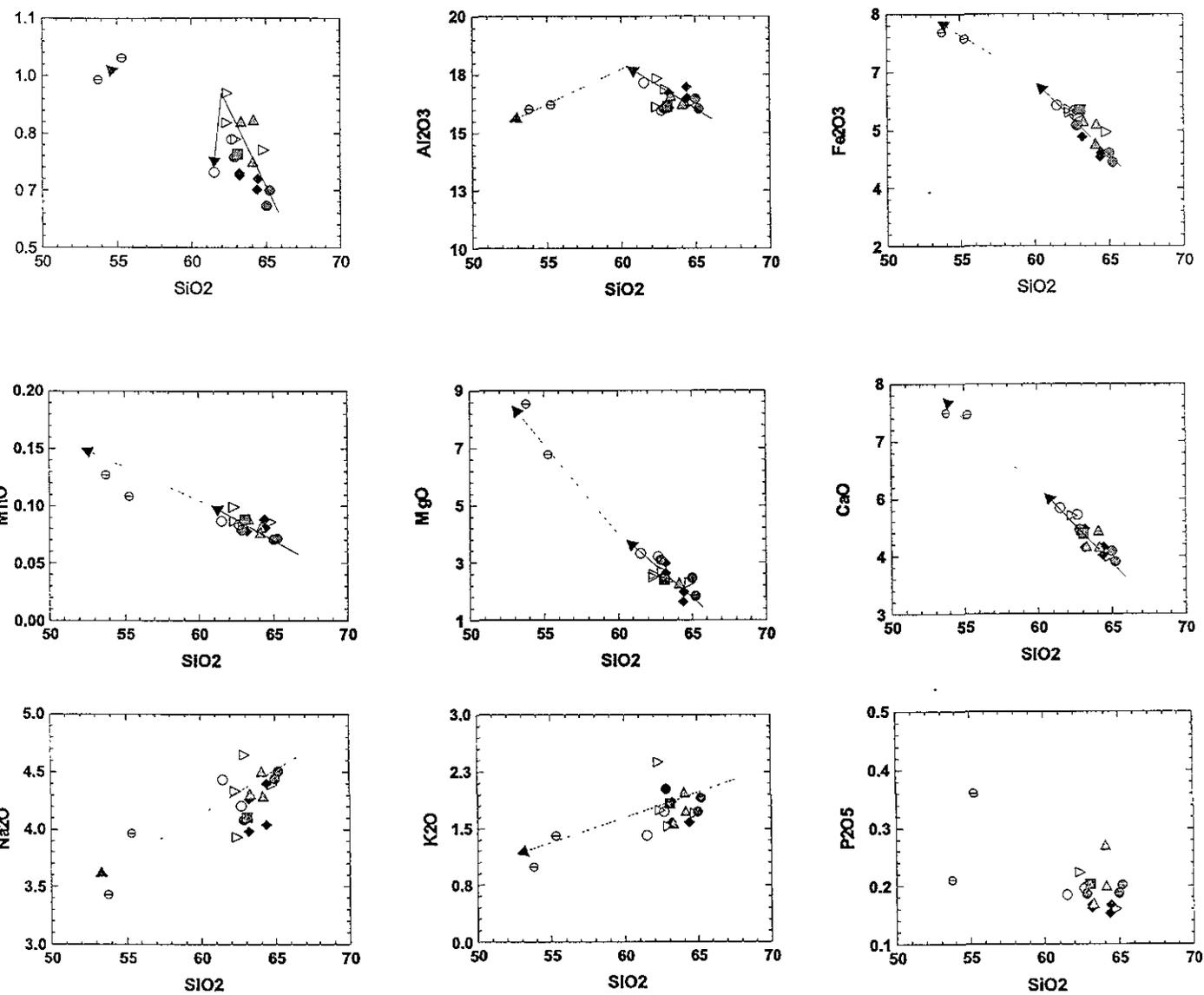
Figura IV.3 Diagrama alcalino-subalcalino de Irvine y Baragar (1971)



**Simbología:**

- Formación Tlan
- △ Formación Acolli
- ⊙ Formación Totolin
- △ Formación Tenámitl
- ⊠ Formación Tépec

**Figura IV.4** Diagrama de Harker para todo los elementos mayores del Complejo Volcánico San Miguel. La flecha indica el sentido de la evolución



**Simbología:**

- Grupo Chichinautzin
- ◆ Formación Ajusco
- Formación Tlan
- ▷ Formación Acolli
- Formación Totolin
- △ Formación Tenámitl
- ▣ Formación Tépec

**Figura IV.5** Diagrama de Harker para todos los elementos mayores del CVSM, de la Formación Ajusco y del Grupo Chichinautzin. La flecha indica el sentido de la evolución

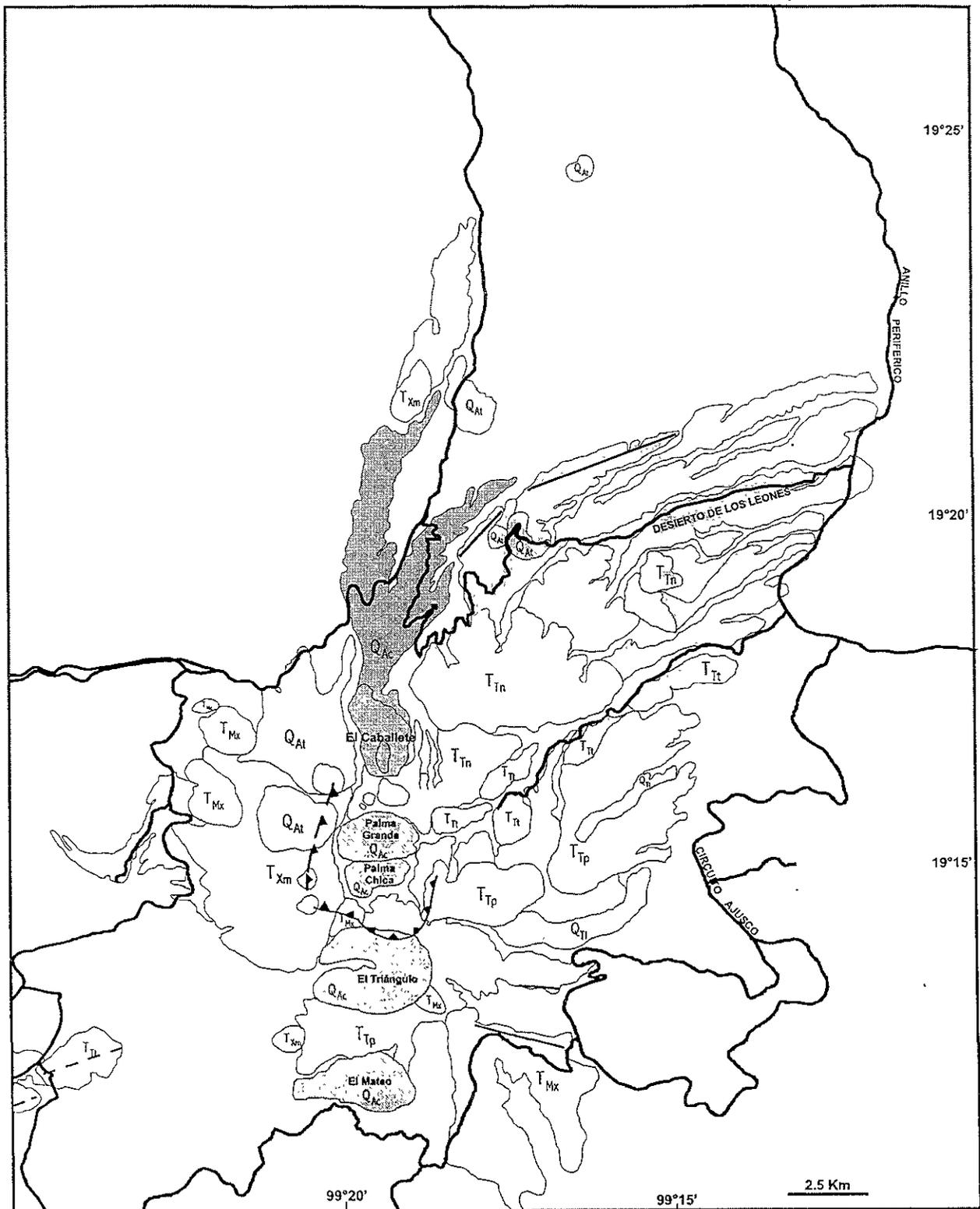


Figura IV.6 Mapa geológico del CVSM, en donde el tono oscuro corresponde a la Formación Acolli (Q<sub>Ac</sub>).

trazas), y posiblemente aparición de óxidos como lo sugiere la mayor abundancia en Ni y Cr al final del periodo eruptivo del CVSM.

En la figura IV.5 se han graficado todas las muestras incluyendo rocas de la Formación Ajusco y del Grupo Chichinautzin. Se observan dos tendencias generales, una que corresponde a las rocas más jóvenes (Chichinautzin) y la otra en donde quedaron en conjunto las rocas de la Formación Ajusco y las del Complejo Volcánico San Miguel.

El  $\text{Na}_2\text{O}$  presenta una pendiente positiva, esto se puede atribuir a la cristalización de la plagioclasa, ya que las rocas más viejas en esta unidad son las que presentan cristales de mayor tamaño, son más abundantes y van disminuyendo sucesivamente hacia las rocas más jóvenes. Cabe mencionar la importancia que tendría si se tuvieran muestras de cada subunidad (domos) para poder ver en conjunto las tendencias que hay en todo el complejo volcánico.

Tomando en cuenta que cada unidad está constituida por diferentes domos de lava, las tendencias no varían, es decir, por ejemplo en la Formación Acolli, ver figura IV.6, tenemos una secuencia con variaciones tanto en composición como variaciones en los tamaños de los cristales. Esta Formación está constituida por dacitas y andesitas, las dacitas corresponden a los domos El Mateo, El Triángulo y Palma Chica, las andesitas son Palma Grande y El Caballete. Como se observa en la (figura IV.4), los óxidos como el  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , presentan una correlación negativa al aumentar el contenido de  $\text{SiO}_2$ , productos de la cristalización de los ferromagnesianos como los piroxeno y hornblenda.

En el diagrama de  $\text{MgO}$  se puede observar una pendiente negativa, la cual indica un incremento en la cristalización de la plagioclasa hacia las rocas más jóvenes (andesitas). Lo mismo ocurre para el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

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 al domo El Mateo, Palma Chica y El Triángulo, presentan los cristales de mayor tamaño, son más abundantes y van disminuyendo sucesivamente hacia las rocas más jóvenes.

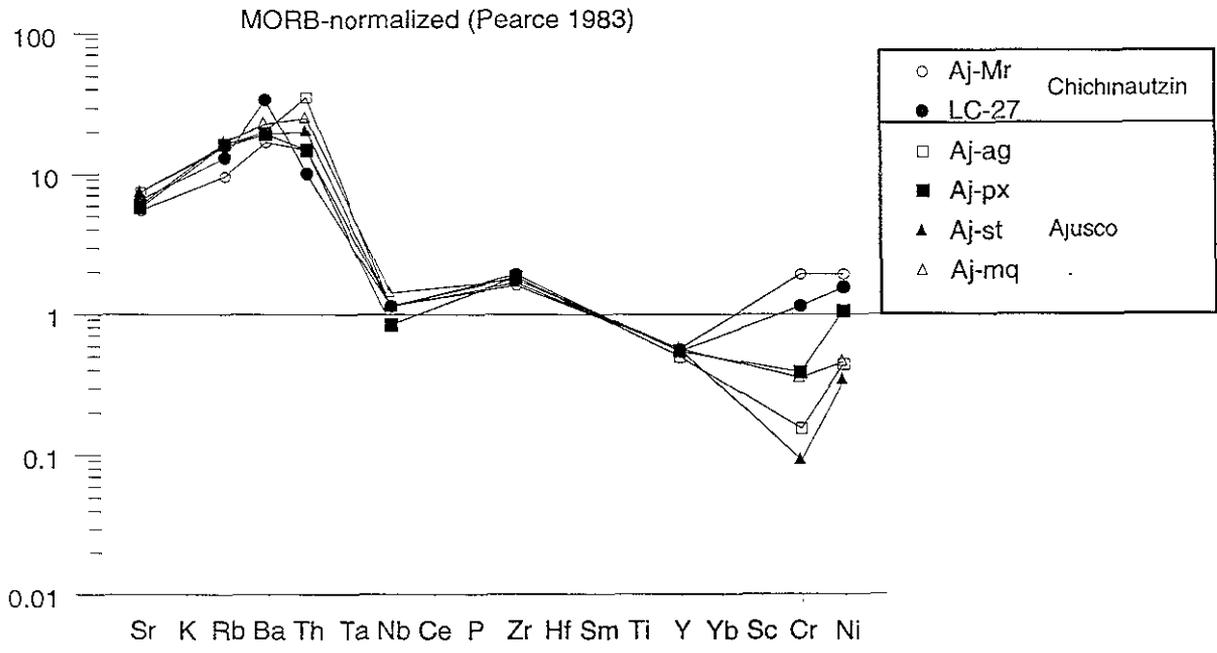
En general, los diagramas muestran un incremento progresivo y continuo de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$  y  $\text{CaO}$  a partir de CVSM y el Ajusco hacia la aparición de las rocas del Grupo Chichinautzin. La disminución en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$  en el Grupo Chichinautzin respecto a los otros dos volcanes podría sugerir la

profundización de la fuente de estos magmas, desde una posición de la corteza oceánica o incluso desde el manto, esto tendría que sustentarse con más datos.

Dos aspectos saltan a la vista. Por una parte, las rocas que dieron lugar a la Formación Ajusco poseen rasgos geoquímicos similares a los del CVSM, lo cual podría indicar una fuente para ambos sistemas volcánicos, ya que son contemporáneos.

El segundo aspecto relevante es que la evolución del CVSM apunta hacia una transición del volcanismo predominantemente félsico-intermedio que construye volcanes de tamaño grande a medio (los volcanes San Miguel y Ajusco) a un volcanismo intermedio máfico que surge a través de fisuras y construye pequeños volcanes. Esta sería una evidencia de una transición del volcanismo poligenético hacia el volcanismo monogenético.

Los elementos compatibles (Ni y Cr) son retenidos preferentemente en los sólidos residuales durante la fusión parcial y extraídos de los sólidos cristalizados durante la cristalización fraccionada (Rollinson, 1993). Por ello los valores más bajos en estos se observan en las rocas más jóvenes (figuras IV.7 y IV.8), esto puede atribuirse a que estas rocas del CVSM provienen de un nivel más profundo y corresponden a magmas menos evolucionados, conforme avanzamos verticalmente en la secuencia estratigráfica.



**Figura IV.7** Diagrama de araña normalizado a MORB con las constantes de Pearce (1983), para los elementos traza del Grupo Chichinautzin y la Formación Ajusco.

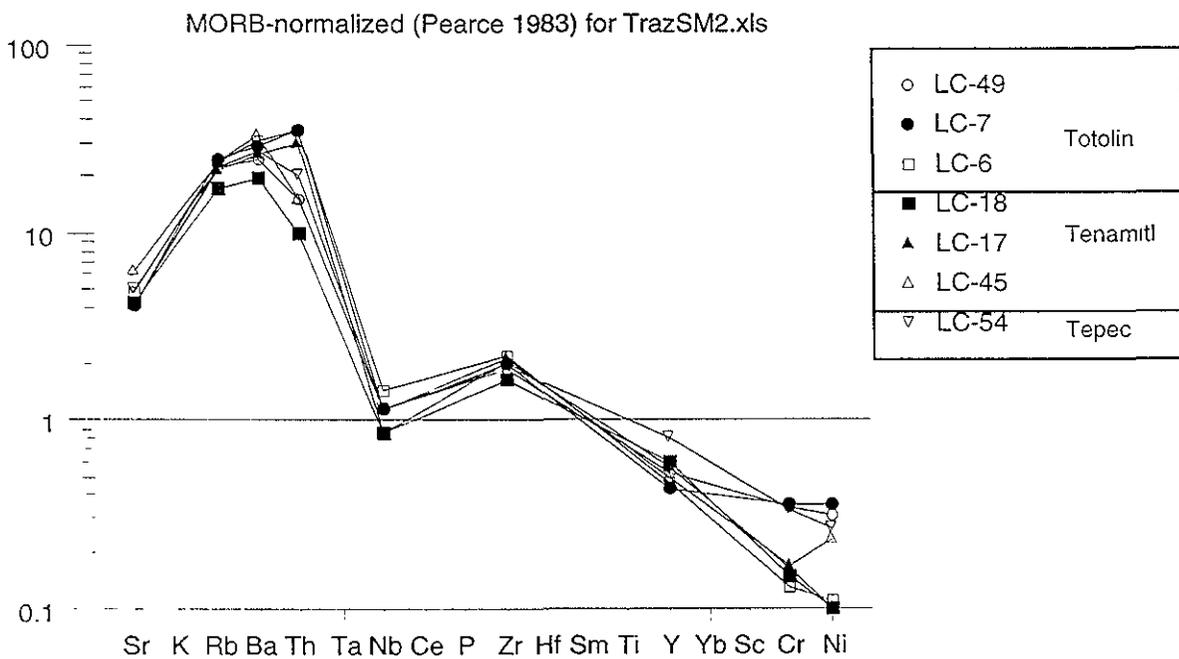
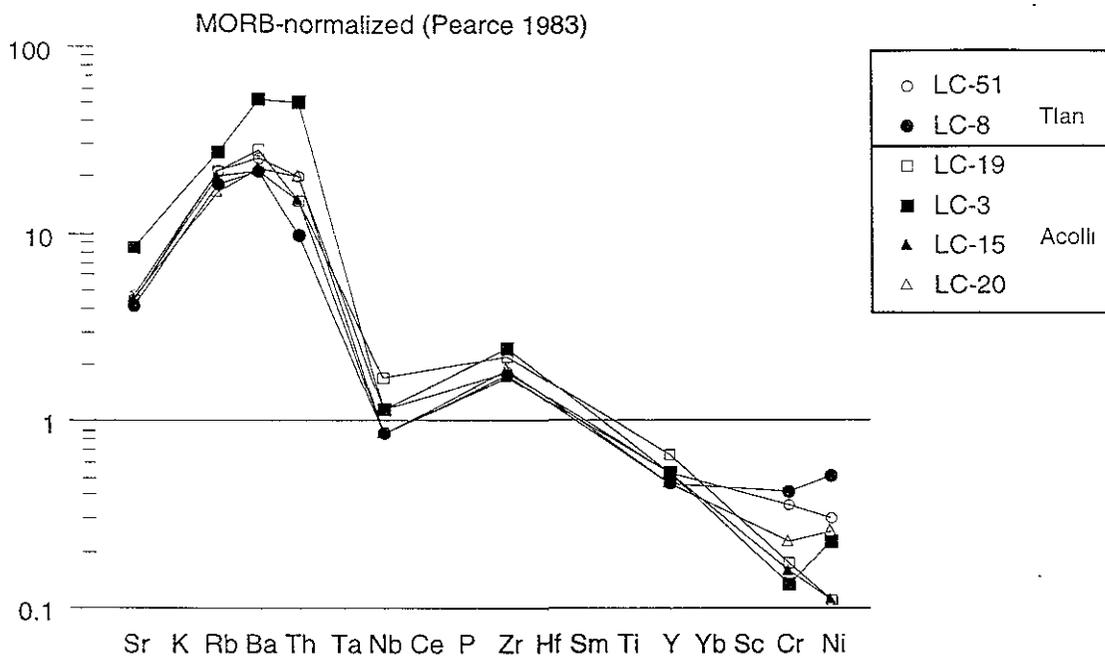


Figura IV.8 Diagrama de araña normalizado a MORB con las constantes de Pearce (1983), para los elementos traza del CVSM

## **V. Evolución del Complejo Volcán San Miguel**

La región en la que se ubica el CVSM, pertenece a la porción central de la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM), la evolución tectónica de la parte occidental y central de la FVTM está caracterizada por una fase de fallamiento transcurrente seguida en el Mioceno Medio de una fase transtensional y extensional entre el Mioceno Tardío y el presente. La deformación tiene una tendencia NW-SE en la parte occidental y en una zona amplia de 50 a 70 km orientada E-W que en la parte central de la FVTM y la fase de fallamiento transcurrente los lleva a proponer que las fallas transcurrentes NW-SE y E-W podrían haber provisto de vías preferenciales al magma cortical, permitiendo la formación de la FVTM con su orientación oblicua con respecto a la trinchera (Ferrari et al., 1994).

En la FVTM, el vulcanismo poligenético y monogénético ocurrieron durante un régimen extensional desde el Mioceno. A escala regional, la deformación se manifiesta 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 (Alaníz-Alvarez et. al., 1998).

### **V.1 Vulcanismo previo**

La actividad volcánica en la Cuenca de México comenzó en el Mioceno, y se caracterizó por una composición andesítica. Según Mooser (1981) la historia geológica de la Cuenca de México se prolonga durante 50 millones de años y abarca dos etapas tectónicas: la primera duró 45 Ma y formó estructuras con orientaciones sudoeste a noreste, desarrollando un sistema de bloques y fosas tectónicas; la segunda perdura desde hace cinco millones de años y ha formado estructuras orientadas generalmente de oeste a este, desarrollando un moderno sistema de bloques con fosas tectónicas.

Durante el Mioceno y el Plioceno Temprano ocurrieron las primeras emisiones volcánicas que se asocian con la formación de la sierra de Las Cruces, Monte Bajo y Monte Alto, donde de acuerdo con Mooser (1974), se produce una migración del vulcanismo de norte a sur, en donde existen estructuras de grandes dimensiones como los restos de los complejos de San Miguel y La

Palma. En este tiempo se formó la sierra de Guadalupe cuyos materiales de composición intermedia y félsica se interdigitaron con los depósitos piroclásticos de la base de la sierra de Monte Bajo (figura II.1).

La formación del estratovolcán San Miguel, debió iniciar cuando la actividad erosiva se intensificó a finales del Plioceno y cuando se depósito la Formación Tarango Inferior, que consiste en una secuencia de depósitos de pómez de caída, flujos piroclásticos y lahares, así como el transporte y acumulación de depósitos epiclásticos. La segunda fase de la Formación Tarango, denominada Tarango Superior se relaciona con la formación de la caldera del volcán San Miguel y la glaciación Illinois de Norteamérica (Mooser, 1984).

La descripción de depósitos glaciales de México por Blásquez (1944), es la más antigua de las publicaciones sobre geología glacial y la mejor para su tiempo; *descubrió e informó sobre detritus glaciales en la Sierra de Las Cruces.*

Mooser (1975) considera que en la Barranca de Contreras hubo presencia glacial desarrollado durante los avances de la glaciación Illinois tardía, hace unos 170,000 años A.P.

Delgado (1986) reporta la evidencia de glaciación para el Valle de Monte Alegre, donde la morfología revela morrenas y circos que 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 de Chichinautzin fue contemporáneo a tres glaciaciones y dos eventos neoglaciales en el volcán Ajusco.

## **V.2 Período eruptivo del CVSM**

Se emplazaron diferentes estructuras volcánicas durante el Plioceno en una fosa tectónica llamada Las Lomas, limitada por las fallas Satélite en el norte y Contreras en el sur Mooser, 1990.

El CVSM inició hace más de 3 Ma y representa la transición de un período de vulcanismo caracterizado por la construcción de grandes edificios (típicos del vulcanismo poligenético) a un período de vulcanismo monogenético que dio origen a pequeños volcanes, ubicados en el borde sur de la cuenca de México. Desde el Plioceno Tardío hasta el presente.

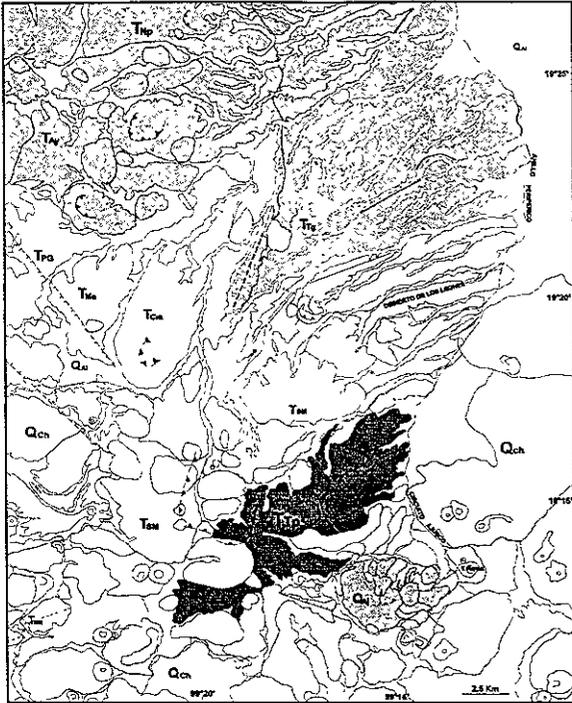
El vulcanismo que originó al CVSM fue efusivo y explosivo, y se caracterizó por la construcción de domos de composición felsico-intermedia, acompañados de flujos piroclásticos de bloques y cenizas, además de la presencia de algunos

ETAPAS		UNIDADES
<b>Pre-eruptiva al CVSM</b>		Complejo Volcánico La Nopalera ( $T_{Np}$ ), Complejo Volcánico Sta Cruz Ayotsco ( $T_{Ay}$ ) y Formación Tarango ( $T_{Tg}$ )
E R U P T I V A  D E L C V S M	Formación Tépec ( $T_{Tp}$ )	Andesita Sasacapa, Dacita Tlacotin, Dacita Tlalli
	Formación Tenámitl ( $T_{Tn}$ )	Andesita El Judío, Dacita San Bernabé, Dacita San Miguel
	Formación Mixtli ( $T_{Mx}$ )	Dacita Los Picachos, Dacita El Tlacuache, Dacita El Tejón, Andesita El Gavilán, Andesita El Angel, Andesita El Pequeño
	Formación Xomulli ( $T_{Xm}$ )	Dacita Jalatlaca, Andesita El Muñeco, Andesita San Jacinto
	Formación Totolin ( $T_{Tt}$ )	Dacita El Mirasol, Andesita Tarumba, Dacita Miguel, Dacita Coconetla, Andesita Las Palomas, Andesita San Nicolás
	Formación Acolli ( $Q_{Ac}$ )	Dacita El Mateo, Dacita El Triángulo, Dacita Palma Chica, Dacita Palma Grande, Andesita El Caballete
	Formación Acatzingo ( $Q_{At}$ )	Andesita El Tizón, Andesita Tlalteles, Dacita Teopazulco, Dacita Los Jazmines, Andesita Ameyalco, Andesita Los Conejos
	Formación Tlan ( $Q_{Tl}$ )	Andesita Monte Alegre, Andesita El Rincón
<b>Post-eruptiva Grupo Chichinautzin (<math>Q_{Ch}</math>)</b>		Andesita-basáltica Tezontlé, Basalto La Pila, entre otros.

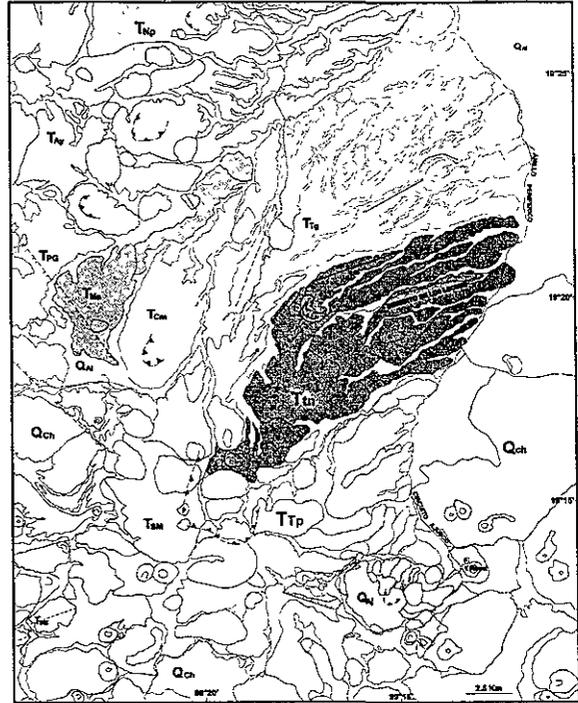
**Tabla 4.** Se resumen las etapas eruptivas presentes en el área de estudio.

# Etapas eruptivas del CVSM

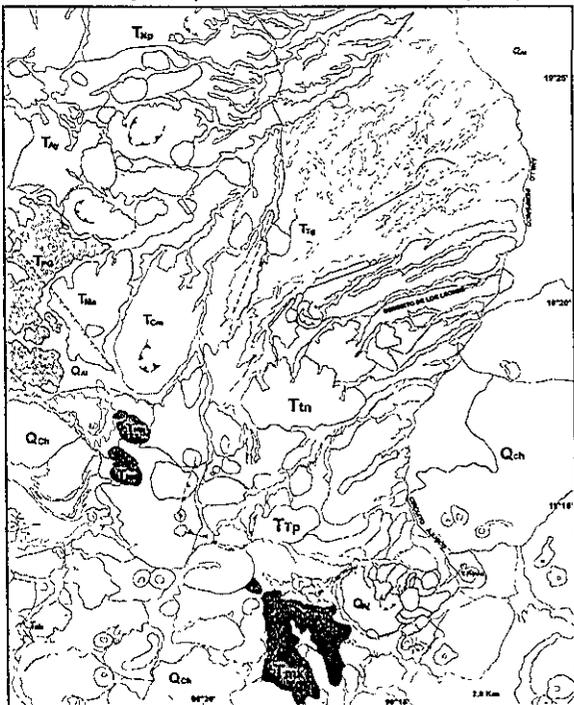
**Etapa A) Formación Tépec (T<sub>tp</sub>)**



**Etapa B) Formación Tenámtila (T<sub>tn</sub>)**



**Etapa C) Formación Mixtli (T<sub>mx</sub>)**



**Etapa D) Formación Xomulli (T<sub>xm</sub>)**

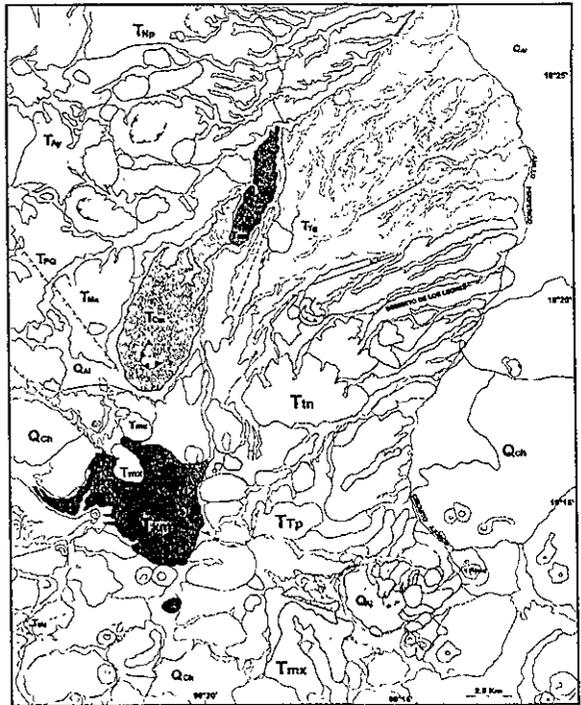


Figura V.1 Representa las primeras etapas eruptivas del CVSM.

depósitos de: lahares, material de origen glacial (bloques erráticos), caída de pómez, y de oleadas piroclásticas.

El CVSM comprende siete fases de construcción de domos. El primer conjunto de domos que posiblemente se emplazaron durante el Plioceno (figura V.1), comenzando con la Formación Tépec con una edad probable de más de 3.0 Ma, seguido por los domos de la Formación Tenámit, con una edad probable de 3.0 Ma. Estas unidades se encuentran afectadas por la falla Contreras (N 55° E). El siguiente grupo de domos dió origen a la unidad llamada Formación Mixtli, extruída hace aproximadamente 2.5 Ma. Después se emplazó la Formación Xomulli, posiblemente hace 2.0 Ma, y hace menos de 1.9 Ma la Formación Totolin.

Durante el Pleistoceno (figura V.2) se emplazaron los domos, que corresponden a la Formación Acolli (hace menos de 1.7 Ma), la Formación Acatzingo (menos de 1.0 Ma) y finalmente se emplazaron los flujos de lava andesítica de la Formación Tlan (0.5 Ma). Estos domos son de composición andesítica y dacítica con variaciones en el contenido de sílice y minerales hidratados como hornblenda y biotita, además de la presencia de olivino hacia la última fase de construcción.

Cabe mencionar que durante el periodo eruptivo del CVSM se emplazaron otras estructuras vecinas como los volcanes Ajusco, San Martín y La Cima.

### **V.3 Eventos post-eruptivos**

Al final de la evolución geológica del CVSM, sus productos se tornaron más máficos, incluyendo flujos de basaltos y andesitas basálticas que fueron extruídos a través de fracturas en las faldas de la montaña, y distribuidas en la parte NW y SE del volcán.

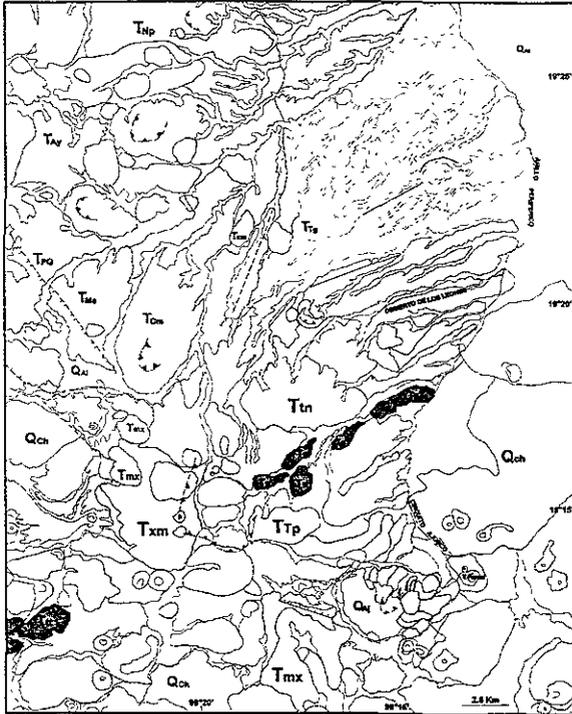
Durante el Pleistoceno medio el CVSM fue ocupado por glaciares, los cuales erosionaron al CVSM dejando como rasgos característicos valles en forma de "U", circos glaciales, bloques erráticos y posiblemente la presencia de morrenas.

### **V.4 Eventos vecinos posteriores a la formación del CVSM**

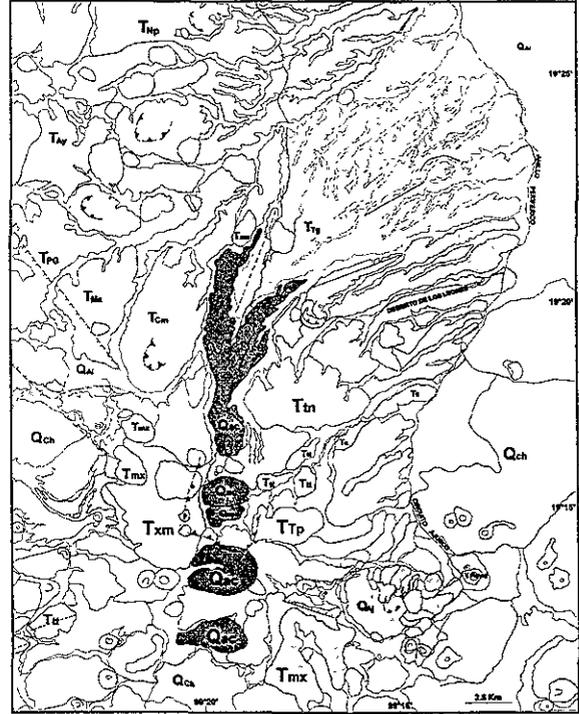
El vulcanismo cercano posterior al CVSM incluye al Grupo Chichinautzin, que consiste en un vulcanismo monogénético, desarrollado durante el Pleistoceno Tardío y el Holoceno. Entre los volcanes del Grupo Chichinautzin se tiene Xitle,

## Etapas eruptivas del CVSM

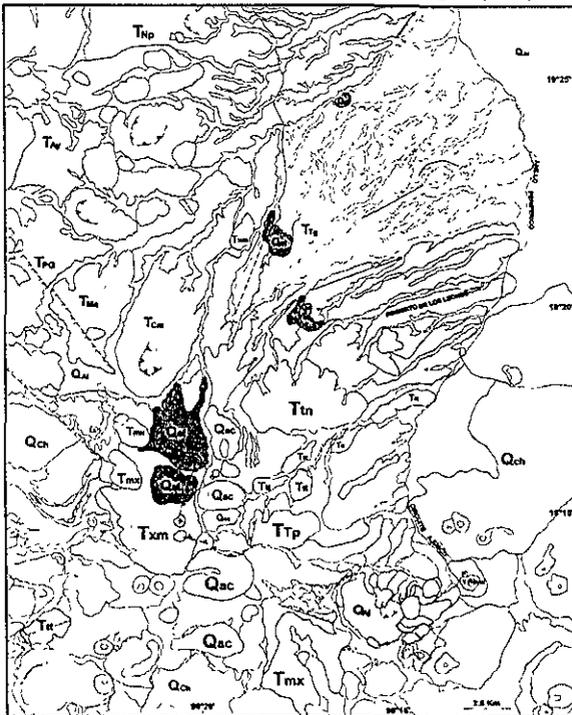
Etapa E) Formación Totolin (T<sub>tt</sub>)



Etapa F) Formación Acolli (Q<sub>ad</sub>)



Etapa G) Formación Acatzingo (Q<sub>at</sub>)



Etapa D) Formación Tlan (Q<sub>tl</sub>)

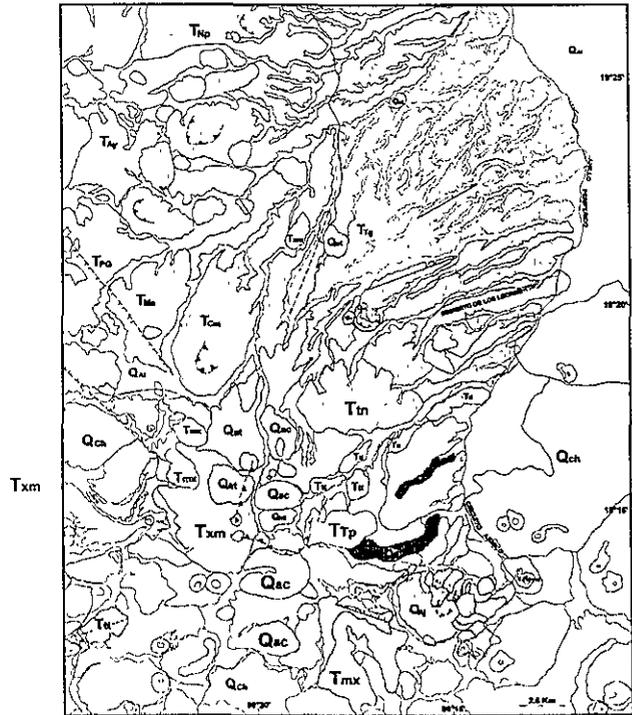


Figura V.2 Representa las ultimas etapas eruptivas del CVSM.

## VI. Conclusiones y perspectivas

### VI.1 Conclusiones

- El CVSM se ha considerado como una sola estructura, de ahí su denominación, sin embargo en el presente estudio se cambió este nombre por el de Complejo Volcánico San Miguel (CVSM) debido a que está constituido por un conjunto de estructuras volcánicas.
- El CVSM incluye volcanismo efusivo y explosivo que se caracterizó principalmente por la construcción de domos de lava de composición intermedia acompañados por flujos de bloques y cenizas.
- La edad del CVSM es Plioceno Tardío-Pleistoceno.
- El segundo aspecto relevante es que la evolución del CVSM apunta hacia una transición del volcanismo predominantemente félsico-intermedio que construye volcanes de tamaño grande a medio (volcán Ajusco) a un volcanismo intermedio máfico que surge a través de fisuras en las faldas de la montaña y construye pequeños volcanes. Esta sería una evidencia de una transición del volcanismo poligenético hacia el volcanismo monogenético.
- La mayor parte del volcán se encuentra anidado en una fosa llamada Las Lomas comprendida entre las fallas de tipo normal Contreras y Satélite.
- La fase efusiva del CVSM, comprende ocho fases de construcción de domos:
  1. Formación Tépec
  2. Formación Tenámitl
  3. Formación Mixtli
  4. Formación Xomulli
  5. Formación Totolin
  6. Formación Acolli
  7. Formación Acatzingo
  8. Formación Tlan
- De acuerdo a las edades radiométricas compiladas en área de estudio, algunos domos del CVSM y el volcán Ajusco, son contemporáneos y poseen rasgos geoquímicos similares.
- La presencia de bloques pulidos y estriados en el cuarto Dínamo, y la presencia de varios circos erosivos, podrían ser de origen glacial.

- El CVSM presenta laderas que poseen fuerte inclinación, se ven afectados por procesos gravitacionales intensos, dando como resultado depósitos de talud, sobre todo en la parte NE y NW del volcán.
- La tendencia de aumento en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$  y  $\text{MgO}$ , combinada con la disminución de  $\text{SiO}_2$  conforme a la secuencia estratigráfica, podría estar relacionada con una disminución de hornblenda (que se manifiesta también en una disminución del tamaño en los cristales), aumento en la abundancia de piroxenos (acompañado de la aparición y aumento de la cantidad de ortopiroxenos respecto a los clinopiroxenos), aparición de olivino (primero en trazas), y posiblemente aparición de óxidos con abundancia en Ni y Cr al final del periodo eruptivo del CVSM.

## **Bibliografía**

- 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.
- Alaniz-Alvarez Susana A. y colaboradores, 1998, Effect of strain rate in the distribution of monogenetic and polygenetic volcanism in the Transmexican Volcanic Belt, *Geolgy*, V. 26, p. 591-594.
- Arana Salinas L. y Delgado Granados H, 1997, Pelado volcano in southern city, ayoung monogenetic volcano (<1000 years old) and its posible impact in human settlements, *IAVCEI*, P. 123
- Blasquez, L. 1944, La edad glacial en México, Imprenta El Nigromante, México.
- Bryan Kirk, 1948, Los suelos y fósiles de la altiplanicie de México en relación a los cambios climáticos, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo XIII, pp.1-20.
- Blázquez 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 Rudschau*, V.64(2), p.476-497.C
- 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 geodinámica del volcanismo del Eje Neovolcánico Transmexicano: *Revista del Instituto de Geología, UNAM*, V.5(2),p. 217-222.
- De Cserna, Zoltan de, et. al., 1988, Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca de México, *Boletín* 104, Instituto de Geología, p.1-61.
- Delgado Granados H.,1986, Geomorfología de una porción de la Sierra de las Cruces, al sur de la Ciudad de México, Resumenes de la I Reunión Nacional de Geomorfología, Instituto de Geografía, UNAM, p.4.

- 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.
- Delgado Granados H., 1991, Volcano-Tectónica, Vulcanología: Estado del arte y perspectivas en México. Comunicaciones técnicas, Instituto de Geofísica, UNAM, vol. 1.
- 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.
- Ferrari L. et. al., 1994, Volcanic and tectonic evolution of central Mexico: Oligocene to present, Geofísica Internacional, Vol. 33, Num. 1, pp. 91-105. G
- Gunn, B.M. and F. Mooser, 1971, Geochemistry of the volcanics of central Mexico: Bulletin volcanologique, V.34(2), p. 577-616.
- García Romero A., 1998, Análisis integrado de paisajes en el occidente de la Cuenca de México (La vertiente oriental de la Sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo), Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
- Le Maintre R. W., 1989, A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell Scientific Publications, p. 193
- Lugo Hupp J., 1991, Elementos de geomorfología aplicada (métodos cartográficos), Instituto de Geografía, UNAM, 128p.
- Le Maintre R. W., 1989, A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell Scientific Publications, p. 193
- Maldonado-Koerdell, Manuel, 1954, La formación y caracteres del Pedregal de San Angel, Rev. Tlatoani (ENAH), No. 8, p. 1-6.
- 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 F. et al., 1974, Paleomagnetic investigations of the Tertiary and Quaternary igneous rocks, VII, a paleomagnetic and petrologic study of volcanics of the Valle de Mexico, p.451-483.
- Mooser F., 1975, Historia geológica de la cuenca de México: Memorias de las obras de drenaje profundo del Distrito Federal, Tomo 1, p.9-38.

- Mooser F., 1984, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, D.F., p. 3-32.
- Mooser F. et al., 1986, Características geológicas y geotécnicas del Valle de México: México, D.F., Depto. Distrito Federal Comisión de Vialidad y transporte Urbano, p. 32.
- Mooser F., 1990, El subsuelo de la cuenca del Valle de México y sus relaciones con la ingeniería de cimentación a cinco años del sismo, Soc. Mexicana de Mecánica de suelos A. C., Revista.
- Martin del Pozzo, A.L., 1980, Volcanología de la Sierra Chichinautzin, (Tesis de Maestría), Facultad de Ciencias de la UNAM.
- Martin del Pozzo, A.L., 1982, Monogenetic Vulcanism 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.
- Osete et al.,1998, Southward Migration of Continental Volcanic Activity in the Sierra de Las Cruces, Mexico: Paleomagnetic and Radiometric Evidence.
- Rollinson Hugh, 1993,Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation, Longman Scientific &Technical, 344pp.
- Romero T. E., 1998, Geología del Volcán Ajusco, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería. UNAM, p. 63.
- Schlaepfer Carmen, 1968, Geología de la hoja de México 14 Q-h(5): Instituto de Geología, UNAM, Esc 1:100,000.
- Sánchez Rubio, G., 1978, Notas sobre la volcanología cenozoica de la región entre Temascaltepec y La Marquesa, Estado de México, IV Conv. Geol. Nal., Méx., libro-guía, exc. A Tierra Caliente, p.26-32.
- 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.
- Santoyo E. y Gutiérrez S., 1990, El subsuelo de la cuenca del Valle de México y sus relaciones con la ingeniería de cimentación a cinco años del sismo, Soc. Mexicana de Mecánica de suelos A. C.
- Summerfield Michel A., 1991, Global geomorphology and introduction to the study of landforms, Longman scientific and technical, p 537.

- Tricart Jean, 1985, Pro-lagos. Los lagos del Eje Neovolcánico de México, Instituto de Geografía, UNAM, P. 62
- 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, 1988, 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 glaciares 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.
- Wilson Marjorie, 1989, Igneous Petrogenesis, Department of Earth Sciences, University of Leeds, p.457.

## **Apéndice**

## Unidad I (Formación Tépec)

Muestra: LC-54

Localidad: Sasacapa

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo pardo grisáceo y al fresco gris claro, masiva con una textura afanítica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda embebidos en una matriz vítrea

Descripción Microscópica

Textura: microlítica-porfídica

Mineralogía:

Esenciales: fenocristales de plagioclasa (andesina)

Accesorios: hornblenda, piroxenos, minerales opacos

Secundarios: minerales arcillosos, ferromagnesianos

Clasificación: andesita

Características: algunos fenocristales de plagioclasa presenta textura coronítica, las hornblendas y piroxenos se encuentran remplazadas por ferromagnesianos, tanto los fenocristales de plagioclasa o los otros minerales se encuentran fracturados o bien remplazados.

Muestra: LC-52

Localidad: Sasacapa (Rancho Viejo)

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo pardo amarillento y al fresco gris claro, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos embebidos en una matriz vítrea.

Descripción Microscópica

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Esenciales: plagioclasa (andesina)

Accesorios: hornblenda, piroxenos

Secundarios: minerales arcillosos, hematita-limolita

Clasificación: andesita

Características: la matriz esta constituida por microlitos de plagioclasas y hornblendas, los fenocristales de plagioclasa la mayoría están rotas, las hornblendas se encuentran sustituidas por óxidos o presentan textura esquelética.

Muestra: LC-26

Localidad: Tlalli

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo pardo grisáceo y al fresco gris oscuro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos (2mm>) embebidos en una matriz vítrea.

Descripción Microscópica

Textura: microlítica porfiroide

Mineralogía:

Esenciales: andesina

Accesorios: hornblenda, feldespato potásico

Secundarios: hematita, arcillas, vidrio

Clasificación: dacita

Características: se observa una matriz microlítica en donde los fenocristales se encuentran embebidos, la mayoría de las hornblendas se encuentran sustituidos por óxidos y otras presentan una textura esquelética, para los fenocristales de las plagioclasa la mayoría se encuentran rotos.

Muestra: LC-25

Localidad: Tlalli

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo pardo rosado y al fresco gris claro, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa (<2mm), hornblenda (<1mm), piroxenos, se observa cierta fluides en la textura.

Descripción Microscópica

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Esenciales: plagioclasa

Accesorios: hornblenda, biotita, piroxenos

Secundarios: hematita, arcillas

Clasificación: dacita

Características: los fenocristales de plagioclasa algunos se encuentran rotos otras, están zonadas, las hornblendas se encuentran reemplazadas por óxidos y otras presentan textura esquelética, todos están embebidos en una matriz microlítica.

## **Unidad II (Formación Tenámitl)**

Muestra: LC-48

Localidad: El Judío

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo pardo amarillento y al fresco gris claro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda (la mayoría están oxidadas), matriz vítrea consiste principalmente de plagioclasa.

Descripción Microscópica

Textura: microlítica porfiroide

Mineralogía:

Esenciales: plagioclasa (fenocristales)

Accesorios: biotita, piroxenos, hornblenda

Secundarios: arcillas, hematita

Clasificación: andesita

Características: la muestra esta muy alterada, esto hace difícil la determinación de la mineralogía, en general se observan fenocristales de plagioclasa, hornblenda, piroxenos y muy poca biotita, la mayoría están rotos o presentan una textura esquelética, o también están sustituidos por óxidos.

Muestra: LC-47

Localidad: El Judío

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo pardo grisáceo y al fresco gris oscuro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos (<2mm) embebidos en una matriz vítrea.

Descripción Microscópica

Textura: porfíritica

Mineralogía:

Esenciales: andesina

Accesorios: hornblenda, biotita (muy poca), piroxenos

Secundarios: hematita, arcillas

Clasificación: andesita

Características: la mayoría de las hornblendas y piroxenos presentan textura esquelética o están reemplazados por óxidos y los fenocristales de plagioclasa están rotos.

Muestra: LC-46

Localidad: San Bernabé

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo pardo rosado y al fresco gris rosado, masiva, con textura afanítica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos embebidos en una matriz sacrosa.

Descripción Microscópica

Textura: porfíritica

Mineralogía:

Esenciales: plagioclasa (andesina)

Accesorios: hornblenda, piroxenos

Secundarios: hematita, arcillas

Clasificación: dacita

Características: la matriz esta constituida por microlitos de plagioclasas y hornblendas, los fenocristales de plagioclasa la mayoría están rota, las hornblendas se encuentran sustituidas por óxidos o presentan textura esquelética.

Muestra: LC-45

Localidad: San Bernabé

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo pardo grisáceo y al fresco gris claro, masiva, con textura afanítica con fenocristales de plagioclasa (2mm), hornblenda (<1mm) y piroxenos (<2mm) embebidos en una matriz sacrosa.

Descripción Microscópica

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Esenciales: plagioclasa (fenocristales), vidrio

Accesorios: piroxenos, hornblenda

Secundarios: minerales arcillosos, hematita

Clasificación: Dacita

Características: fenocristales de plagioclasa se encuentran rotos, vidrio en proceso de desvitrificación, en la matriz se observa que los ferromagnesianos están oxidados, textura esquelética, matriz microlítica.

Muestra: LC-44

Localidad: Desierto de los Leones (San Bernabé)

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo pardo rosado y al fresco gris claro, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos (<2mm) embebidos en una matriz sacarosa.

Descripción Microscópica

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Esenciales: fenocristales de plagioclasas (andesina)

Accesorios: hornblenda, vidrio

Secundarios: minerales arcillosos, hematita-limolita

Clasificación: Dacita

Características: fenocristales de plagioclasa se encuentran rotos, vidrio en proceso de desvitrificación, en la matriz se observa que los ferromagnesianos están oxidados, textura esquelética, matriz microlítica

Muestra: LC-18

Localidad: San Miguel

Descripción Macroscópica

Color pardo grisáceo y al fresco gris oscuro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa (5mm), hornblenda (2mm) se encuentra oxidada, piroxenos embebidos en una matriz vítrea.

Descripción Microscópica

Textura: microlítica-porfídica

Mineralogía:

Esenciales: plagioclasa (fenocristales)

Accesorios: hornblenda es abundante,

Secundarios: hematita-limolita, minerales arcillosos

Clasificación: Dacita

Características: las plagioclasa presentan textura esquelética y algunas están rotas, la hornblenda se encuentra sustituidos por óxidos y es abundante, la matriz esta constituida principalmente por plagioclasas.

Muestra: LC-17

Localidad: San Miguel

Descripción Microscópica

Color pardo grisáceo y al fresco gris oscuro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda se encuentra oxidada, piroxenos embebidos en una matriz vítrea.

Textura: femicrolítica-porfídica

Mineralogía:

Esenciales: plagioclasa (andesina), vidrio ácido

Accesorios: hornblenda

Secundarios: minerales arcillosos, hematita

Clasificación: Dacita

Características: las hornblendas están sustituidas por óxidos, la matriz de microlitos de plagioclasa y vidrio en proceso de desvitrificación.

### **Unidad III (Formación Mixtli)**

Muestra: LC-31

Localidad: Los Picachos

Descripción Macroscópica

Color gris oscuro y al fresco gris un poco claro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa (<4mm), hornblenda y piroxenos (<2mm) algunos se encuentran reemplazados por óxidos, con matriz vítrea, presenta vesículas y fracturas.

Descripción Microscópica

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Esenciales: fenocristales de plagioclasa

Accesorios: hornblenda, vidrio ácido

Secundarios: minerales arcillosos, hematita-limolita

Clasificación: dacita

Características: las plagioclasa presentan una textura esquelética y otras coronítica, las hornblendas están sustituidas por óxidos, la matriz esta constituida por plagioclasa, hornblenda, vidrio y hay una gran cantidad de arcillas.

Muestra: LC-29

Localidad: Los Picachos

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo pardo grisáceo y al fresco gris oscuro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa (<2mm), hornblenda y piroxenos, embebidos en una matriz vítrea.

Descripción Microscópica

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Esenciales: fenocristales de plagioclasa

Accesorios: hornblenda

Secundarios: minerales arcillosos, hematita-limolita

Clasificación: dacita

Características: los fenocristales de plagioclasa se encuentran y presentan textura coronítica, las hornblendas se encuentran totalmente reemplazadas por óxidos, la matriz esta constituida por microlitos de plagioclasa y vidrio.

Muestra: LC-42

Localidad: El Ángel

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo gris rosado y al rosa un poco claro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz vítrea.

Descripción Microscópica

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Esenciales: fenocristales de plagioclasa (andesina)

Accesorios: hornblenda

Secundarios: hematita-limolita, minerales arcillosos

Clasificación: andesita

Características: los fenocristales de plagioclasa se encuentran rotos, algunas están zonadas, la matriz presenta una textura incipiente fluidal, las hornblendas están totalmente reemplazadas por óxidos, la matriz microlítica esta muy alterada ya que hay una gran cantidad de arcillas y hematita.

Muestra: LC-41

Localidad: Olac

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo gris rosado y al rosa un poco claro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz vítrea.

Descripción Microscópica

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Esenciales: plagioclasas

Accesorios: fenocristales de hornblenda, vidrio ácido

Secundarios: hematita, vesículas

Clasificación: andesita

Características: los fenocristales de hornblenda presentan textura esquelética, la matriz microlítica esta constituida por plagiocla principalmente, los fenocristales de plagioclasa estan zonados.

#### **Unidad IV (Formación Xomulli)**

Muestra: LC-24

Localidad: Jalatlaco

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo gris y al fresco grs claro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz sacarosa.

Descripción Microscópica

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Esenciales: plagioclasas, vidrio ácido

Accesorios: hornblendas, piroxenos, minerales opacos

Secundarios: hematita-limolita, minerales arcillosos

Clasificación: dacita

Características: fenocristales de plagioclasa presentan una textura esquelética, las hornblendas también presentan textura esquelética, la matriz es microlítica.

Muestra: LC-23

Localidad: El Muñeco

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo gris rosado y al fresco rosa, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa (<3mm), hornblenda y piroxenos (<2mm), algunos se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz vítrea y además se observa textura luidal.

Descripción Microscópica

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Esenciales: plagioclasa

Accesorios: hornblenda, piroxenos

Secundarios: minerales arcillosos, ferromagnesianos

Clasificación: andesita

Características: los fenocristales de plagioclasa están zonados y presentan una textura esquelética, la matriz es microlítica (plagioclasa), los piroxenos y hornblendas están reemplazadas por minerales arcillosos y ferromagnesianos.

Muestra: LC-21

Localidad: El Muñeco

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo pardo grisáceo y al fresco gris oscuro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda, piroxenos y biotita (muy poca), y se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz vítrea.

#### Descripción Microscópica

Textura: porfirítica-microlítica

Mineralogía:

Esenciales: plagiocla (andesita), vidrio ácido

Accesorios: biotita, hornblenda, piroxenos

Secundarios: minerales arcillosos, ferromagnesianos

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.

### Unidad V (Formación Totolin)

Muestra: LC-6

Localidad: Miguel

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo gris oscuro y al fresco gris claro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa (<4mm), hornblenda y piroxenos (<3mm) se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una sacarosa y presenta vesículas.

Descripción Microscópica

Textura:

Mineralogía:

Esenciales: andesina, oligoclasa, vidrio ácido

Secundarios: hornblenda, minerales opacos

Accesorios: minerales arcillosos, hematita-limolita

Clasificación: Dacita

Características: los fenocristales de plagioclasa se encuentra muy fracturada, fenocristales de hornblenda se encuentra remplazada por óxidos, vidrio en proceso desvitrificación, la matriz se encuentra desvitrificada y los microlitos de hornblenda y plagioclasa se encuentran remplazados por minerales arcillosos.

Muestra: LC-7

Localidad: La Coconetla

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo gris oscuro y al fresco gris claro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos, embebidos en una matriz vítrea.

Descripción Microscópica

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Esenciales: plagioclasa, vidrio ácido

Accesorios: hornblenda, minerales opacos

Secundarios: minerales arcillosos,

Clasificación: Dacita

Características: la matriz presenta una textura fluidal, el vidrio esta en proceso de desvitrificación además hay una gran cantidad de minerales arcilloso, los fenocristales de plagioclasa están muy fracturados, los fenocristales de hornblenda están oxidadas.

Muestra: LC-49

Localidad: San Nicolás

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo gris oscuro y al fresco gris claro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz vítrea y presenta vesículas.

Descripción Microscópica

Textura:

Mineralogía:

Esenciales: plagioclasa (andesina)

Accesorios: biotita, hornblenda, minerales opacos

Secundarios: minerales arcillosos, hematita.

Clasificación: Andesita

Características: Los fenocristales de plagioclasa presentan una textura mimequítica y algunas están zonadas, la matriz es microlítica en donde abundan las plagioclasa, el vidrio esta en proceso de desvitrificación

## Unidad VI (Formación Acolli)

Muestra: LC-20

Localidad: C. El Mateo

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo pardo grisáceo y al fresco gris oscuro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz vítrea y presenta vesículas

Descripción Microscópica

Textura: microlítica

Mineralogía:

Esenciales: microlitos de plagioclasa, vidrio ácido

Accesorios: hornblenda, piroxenos, minerales opacos

Secundarios: minerales arcillosos, ferromagnesianos

Clasificación: Andesita

Características: la matriz esta constituida por microlitos de plagioclasa, las hornblendas y piroxenos se encuentran fracturados y ligeramente alterados.

Muestra: LC-15

Localidad: Palma Chica

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo gris pardo y al fresco gris claro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa (<3mm), hornblenda y piroxenos (<1mm) se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz sacarosa.

Descripción Microscópica

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Esenciales: plagioclasa (andesina, oligoclasa), vidrio ácido

Accesorios: hornblenda, piroxeno, biotita (muy poca)

Secundarios: minerales arcillosos, hematita

Clasificación: Dacita

Características: los fenocristales de plagioclasa se encuentra corroída en el centro, las hornblendas, piroxenos y biotitas la mayoría se encuentran reemplazadas por ferromagnesianos, la matriz es microlítica de plagioclasa.

Muestra: LC-3

Localidad: Palma Grande

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo gris pardo y al fresco gris claro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa (<2mm), hornblenda y piroxenos (<1mm) se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz vítrea.

Descripción Microscópica

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Esenciales: plagioclasa (andesina), vidrio

Accesorios: hornblendas, muy poca biotita y piroxenos

Secundarios: minerales arcillosos, ferromagnesianos

Clasificación: Andesita

Características: los fenocristales de plagioclasa se encuentran fracturados, los fenocristales de hornblenda casi no están reemplazadas por ferromagnesianos, el vidrio esta en proceso de desvitrificación, matriz vítrea con una gran cantidad de minerales arcillosos y ferromagnesianos.

Color de intemperismo pardo grisáceo y al fresco gris claro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa (<4mm), hornblenda y piroxenos (<1mm) se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz vítrea.

Descripción Microscópica

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Esenciales: plagioclasa (andesina, oligoclasa), vidrio

Accesorios: anfíboles, piroxenos minerales opacos

Secundarios: ferromagnesianos

Clasificación: Andesita

Características: los pocos minerales de anfíboles y piroxenos están remplazados por ferromagnesianos generando manchones, la matriz microclítica de plagioclasas, anfíboles y piroxenos, las plagioclasas se presentan zonadas y algunas están fracturadas, o están corroídas en el centro.

## **Unidad (Grupo Chichinautzin)**

Muestra: LC-27

Localidad: Tezontle

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo gris oscuro y al fresco gris claro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa (<3mm), hornblenda, olivino y piroxenos (<2mm) se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz vítrea, presenta vesículas.

Descripción Microscópica

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Esenciales: andesina, olivino (fenocristales)

Accesorios: hornblenda, 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: LC-19

Localidad: El Caballete

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo gris pardo y al fresco gris claro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa (<5mm), hornblenda y piroxenos (<1mm) se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz vítrea.

Descripción Microscópica

Textura: microlítica-pofídica

Mineralogía:

Esenciales: plagioclasa (andesina)

Accesorios: anfíboles, piroxenos

Secundarios: minerales arcillosos, ferromagnesianos

Clasificación: Andesita

Características: los pocos fenocristales de plagioclasa algunas están fracturadas otras están zonadas y otras tienen textura esquelética, los anfíboles y piroxenos se encuentran reemplazados por ferromagnesianos y minerales arcillosos, se observa una textura fluidal muy incipiente en la matriz microlítica constituida principalmente de plagioclasa.

## **Unidad VII (Formación Acatzingo)**

Muestra: LC-9

Localidad: Tlalteles

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo pardo amarillento y al fresco gris claro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos (<2mm) se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz sacarosa.

Descripción Microscópica

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Esenciales: plagioclasa (andesina), vidrio

Accesorios: hornblenda, piroxenos,

Secundarios: minerales arcillosos, hematita-limolita

Clasificación: andesita

Características: los fenocristales de plagioclasa se encuentran fracturados, otras están zonadas, la mayoría de los anfíboles y piroxenos se encuentran reemplazados por hematita-limolita, y la matriz microlítica de plagioclasa, el vidrio está en proceso de desvitrificación.

## **Unidad VIII (Formación Tlan)**

Muestra: LC-8

Localidad: Monte Alegre

Descripción Macroscópica

Color de intemperismo gris oscuro y al fresco gris claro, masiva, textura afanítica con fenocristales de plagioclasa (<3mm), hornblenda y piroxenos (<2mm) se encuentran reemplazados por óxidos, embebidos en una matriz vítrea.

Descripción Microscópica

Textura: porfirítica

Mineralogía:

Esenciales: plagioclasa (andesina, oligoclasa), vidrio

Accesorios: anfíboles, minerales opacos

Secundarios: minerales arcillosos, ferromagnesianos

Clasificación: Andesita

Características: los minerales reemplazados (anfíboles) por ferromagnesianos generan manchones, las plagioclasas se encuentran fracturadas, el vidrio está en proceso de desvitrificación, la matriz microlítica.

Muestra: LC-51

Localidad: El Rincón

Descripción Macroscópica