

Lej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**IGNIMBRITAS, LAHARES Y COLAPSOS DE LA REGION DE TAXHIMAY, DEL SECTOR SEPTENTRIONAL DE LA SIERRA DE LAS CRUCES.**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**  
**INGENIERO GEOLOGO**  
**P R E S E N T A :**  
**JAVIER CARRASCO HERNANDEZ**



**MEXICO, D. F.**

**1999.**

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

275114



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-I-049

**SR. JAVIER CARRASCO HERNANDEZ**  
Presente

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

**IGNIMBRITAS, LAHARES Y COLAPSOS, DE LA REGION DE TAXHIMAY, DEL  
SECTOR SEPTENTRIONAL DE LA SIERRA DE LAS CRUCES**

- I INTRODUCCION**
- II ESTRATIGRAFIA**
- III GEOLOGIA ESTRUCTURAL**
- IV EVOLUCION GEOLOGICA-ESTRUCTURAL**
- V CONCLUSIONES**
- RECOMENDACIONES**
- BIBLIOGRAFIA**
- ILUSTRACIONES**

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

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

Atentamente

**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

Cd. Universitaria, a 2 de diciembre de 1998

EL DIRECTOR

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS\*RI/R\*gtg

**IGNIMBRITAS, LAHARES Y COLAPSOS DE LA REGION DE TAXHIMAY,  
DEL SECTOR SEPTENTRIONAL DE LA SIERRA DE LAS CRUCES**

**Javier Carrasco Hernández**

**A mis padres**

**Joaquín Carrasco y María Epricia Hernández.**

**A mis hermanos**

**José Alfredo, Rosalba y Cesar Joaquín.**

**A mis abuelos**

**Joaquín Carrasco y Guadalupe Pérez.  
Enrique Hernández y Pipina Ordoñez.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Manifiesto mi agradecimiento a DGAPA por el apoyo económico otorgado con el proyecto PAPIIT IN-108196. Así como al Instituto de Geología de la UNAM por el complemento de beca asignado, durante la realización de este trabajo.

Deseo expresar mi gratitud a Gerardo Aguirre Díaz por su ayuda incondicional y dedicación al dirigir esta tesis. Por medio del presente trabajo reconozco la labor realizada por Jorge Nieto Obregón, quien fue pieza fundamental para el desarrollo y terminación de esta tesis.

Asimismo agradezco la colaboración de Gilberto Silva Romo, Claudia Mendoza Rosales, Adán Castro Flores, Juan Manuel López e Isaac Farras, por su constante supervisión y asesoría en los trabajos de computo. Del mismo modo, agradezco a Juan José Ramírez por su cooperación en los trabajos de laboratorio.

Igualmente reitero mi agradecimiento a la Sra. Gudelia Medrano por su amabilidad y atenciones recibidas durante mi estancia en Taxhimay. También reincido mi gratitud a Rogelio, quien contribuyo a la eficaz captura de la información geológica.

De igual manera resalto mi gratitud a la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ingeniería y a la Unidad de Investigación en Ciencias de la Tierra (UNICIT), las facilidades brindadas con respecto al uso de instalaciones y apoyo del personal técnico-académico.

Finalmente agradezco el apoyo moral de familiares, compañeros y amigos; que contribuyeron al desarrollo y finalización de este trabajo de investigación.

# INDICE

<u>Contenido</u>	<u>Página</u>
Lista de figuras. ....	iii
Lista de tablas. ....	Vi
Resumen. ....	1

## Capítulo I

<b>INTRODUCCION.</b> ....	2
<b>I.1</b> Propósito del estudio. ....	2
<b>I.2</b> Localización. ....	2
<b>I.3</b> Objetivos. ....	7
<b>I.4</b> Metodología de la investigación. ....	7
<b>I.4.1</b> Etapa Pre-exploratoria. ....	7
<b>I.4.2</b> Etapa Exploratoria. ....	9
<b>I.4.3</b> Etapa Post-exploratoria. ....	9
<b>I.5</b> Características del CVTM. ....	10
<b>I.6</b> Estudios previos. ....	13

## Capítulo II

<b>ESTRATIGRAFIA.</b> ....	14
<b>II.1</b> Campo Volcánico Sierra de Las Cruces. ....	16
<b>II.1.1</b> Domos El Chino y La Campana. ....	16
<b>II.1.2</b> Domo El Idolo. ....	16
<b>II.1.3</b> Domo El Podrido. ....	16
<b>II.1.4</b> Domo La Presa. ....	17
<b>II.1.5</b> Volcán El Castillo. ....	17
<b>II.1.6</b> Volcán El Templo. ....	18
<b>II.1.7</b> Toba La Presa. ....	19
<b>II.1.8</b> Volcán Chapa de Mota. ....	19
<b>II.1.9</b> Domo El Nopal. ....	22
<b>II.2</b> Sector Taxhimay. ....	22
<b>II.2.1</b> Volcán Las Animas. ....	22
<b>II.2.2</b> Toba Las Animas. ....	23
<b>II.2.3</b> Lahar Las Animas. ....	23
<b>II.2.4</b> Domo Iglesias Viejas. ....	23
<b>II.2.5</b> Toba Taxhimay. ....	23

	II.2.6 Depósitos fluvio-lacustres Taxhimay. ....	31
	II.2.7 Lahar Taxhimay. ....	31
II.3	Sector Poza Honda. ....	31
	II.3.1 Basalto Arboleda. ....	31
	II.3.2 Toba Arboleda. ....	34
	II.3.3 Andesita El Fresno. ....	34
	II.3.4 Toba Poza Honda. ....	34
	II.3.5 Domo La Autopista. ....	37
	II.3.6 Andesita Danxho. ....	37
	II.3.7 Basalto Jilotepec. ....	38
	II.3.8 Domo El Zapote. ....	38
	II.3.9 Domo Santa Ana. ....	38

### Capítulo III

<b>GEOLOGIA ESTRUCTURAL.</b> .....	39
<b>III.1</b> Análisis de alineamientos de trazas de falla. ....	39
<b>III.1.1</b> Sector septentrional de la Sierra de Las Cruces. ....	39

### Capítulo IV

<b>EVOLUCION GEOLOGICA-ESTRUCTURAL.</b> .....	50
<b>IV.1</b> Campo Volcánico Sierra de Las Cruces Norte. ....	50
<b>IV.2</b> Sector Taxhimay. ....	52
<b>IV.3</b> Sector Poza Honda. ....	53
<b>IV.3.1</b> Evolución geológica. ....	53
<b>IV.3.2</b> Caracterización del graben Poza Honda. ....	57

### Capítulo V

<b>CONCLUSIONES.</b> .....	61
<b>RECOMENDACIONES.</b> .....	61
<b>REFERENCIAS CITADAS.</b> .....	62
<b>ANEXO 1.</b> .....	66
<b>ANEXO 2.</b> .....	68
Anexo 2-1. ....	69
Anexo 2-2. ....	70



## LISTA DE FIGURAS

<b><u>Figura</u></b>		<b><u>Página</u></b>
<b>Fig.1</b>	Mapa de localización regional del sector septentrional de la Sierra de Las Cruces. ....	3
<b>Fig.2</b>	Mapa de la parte septentrional de la Sierra de Las Cruces dividido en tres sectores principales. ....	4
<b>Fig.3</b>	Mapa geológico del sector septentrional de la Sierra de Las Cruces que muestra las unidades geológicas. ....	5
<b>Fig.4</b>	Leyenda del mapa geológico de la parte septentrional de la Sierra de Las Cruces que presenta la sucesión de las unidades geológicas. ....	6
<b>Fig.5</b>	Diagrama de planeación que muestra el avance programado de las actividades realizadas durante la investigación. ....	8
<b>Fig.6</b>	Cuadro que muestra la secuencia de actividades realizadas en la etapa Pre-exploratoria. ....	9
<b>Fig.7</b>	Cuadro que presenta el método general para un levantamiento de campo. ....	9
<b>Fig.8</b>	Cuadro que presenta la etapa final de la investigación. ....	10
<b>Fig.9</b>	Mapa índice del sector septentrional de la Sierra de Las Cruces que indica la localización de las muestras colectadas y secciones estratigráficas. ....	15
<b>Fig.10</b>	Sección estratigráfica La Presa (S1). ....	20
<b>Fig.11</b>	Sección estratigráfica El Arenal II (S2). ....	21
<b>Fig.12</b>	Sección estratigráfica Las Animas (S3). ....	24
<b>Fig.13</b>	Sección estratigráfica Tipo Taxhimay (S4). ....	25
<b>Fig.14</b>	Sección estratigráfica La Presa Taxhimay (S5). ....	28
<b>Fig.15</b>	Cuadro de correlación estratigráfica del sector Taxhimay que muestra los estratos índice. ....	29

<b><u>Figura</u></b>		<b><u>Página</u></b>
<b>Fig.16</b>	Sección estratigráfica Cañada del Carrizal (S11). .....	30
<b>Fig.17</b>	Sección estratigráfica Anahuac (S7). .....	32
<b>Fig.18</b>	Sección estratigráfica La Arboleda (S14). .....	33
<b>Fig.19</b>	Sección estratigráfica Los Fresnos (S15). .....	35
<b>Fig.20</b>	Sección estratigráfica Poza Honda (S16). .....	36
<b>Fig.21</b>	Imagen Gema que muestra los alineamientos de trazas de falla potenciales a lo largo de la Sierra de Las Cruces. ....	41
<b>Fig.22</b>	Roseta estructural convencional que presenta una dirección principal y dos secundarias de alineamientos. ....	42
<b>Fig.23</b>	Roseta estructural que muestra la dirección y longitud de los alineamientos comprendidos en el cuadrante NE, así como su porcentaje de densidad-longitud en la roseta DL. ....	43
<b>Fig.24</b>	Roseta estructural representativa del cuadrante NW que muestra la concentración, dirección y longitud de los alineamientos, así como su porcentaje de densidad-longitud en la roseta DL. ....	44
<b>Fig.25</b>	Roseta estructural que muestra la caracterización de los alineamientos en el cuadrante SW, así como su porcentaje de densidad-longitud en la roseta DL. ....	45
<b>Fig.26</b>	Roseta DL que presenta los porcentajes de densidad-longitud en las tres direcciones principales de alineamientos. ....	46
<b>Fig.27</b>	Diagrama que muestra gráficamente las diferencias entre la roseta estructural convencional y la roseta DL. ....	47
<b>Fig.28</b>	Escarpe de la falla normal ubicada al norte del sector Taxhimay, en donde se observan facetas triangulares. ....	48
<b>Fig.29</b>	Mapa de alineamientos de trazas de falla que muestra las ocho fallas definidas en campo. ....	49
<b>Fig.30</b>	Desarrollo del volcán El Castillo. ....	51

<b><u>Figura</u></b>		<b>Página</b>
<b>Fig.31</b>	Colapso sectorial del volcán El Castillo. ....	51
<b>Fig.32</b>	Periodo de quietud volcánica. ....	51
<b>Fig.33</b>	Emplazamiento del volcán El Templo. ....	51
<b>Fig.34</b>	Colapso sectorial del volcán El Templo. ....	51
<b>Fig.35</b>	Periodo de quietud volcánica en el CVSCN. ....	51
<b>Fig.36</b>	Desarrollo del volcán Chapa de Mota y el emplazamiento del domo El Nopal. ....	51
<b>Fig.37</b>	Colapso sectorial del volcán Chapa de Mota. ....	51
<b>Fig.38</b>	Término del volcanismo en el CVSCN. ....	51
<b>Fig.39</b>	Sección geológica de la zona norte del sector Taxhimay que muestra el desplazamiento de las secuencias volcánicas y sedimentarias. ....	54
<b>Fig.40</b>	Emplazamiento de la ignimbrita Arboleda sobre el basalto Arboleda y cono de escoria. ....	55
<b>Fig.41</b>	Secuencia fluvio-lacustre sobre depósitos piroclásticos. ....	55
<b>Fig.42</b>	Emplazamiento de la ignimbrita Poza Honda sobre depósitos fluvio-lacustres. ....	55
<b>Fig.43</b>	Desarrollo del domo La Autopista. ....	55
<b>Fig.44</b>	Derrame de lava sobre secuencias volcánicas. ....	56
<b>Fig.45</b>	Fracturamiento de la zona. ....	56
<b>Fig.46</b>	Constitución del Graben Poza Honda. ....	56
<b>Fig.47</b>	Emplazamiento del domo El Zapote. ....	56
<b>Fig.48</b>	Fotografía del graben de Poza Honda que muestra el basculamiento hacia el NW del bloque caído. ....	57

<b><u>Figura</u></b>		<b><u>Página</u></b>
<b>Fig.49</b>	Mapa geológico del sector Poza Honda que muestra la ubicación del graben y las principales unidades litológicas. ....	58
<b>Fig.50</b>	Sección geológica del emplazamiento del domo El Zapote sobre el escarpe de falla norte del graben Poza Honda. ....	59
<b>Fig.51</b>	Sección geológica del graben Poza Honda que muestra el basculamiento del bloque caído. ....	60

### LISTA DE TABLAS

<b><u>Tabla</u></b>		<b><u>Página</u></b>
<b>Tabla 1</b>	Localización geográfica de las estructuras volcánicas principales del CVSCN. ....	7
<b>Tabla 2</b>	Caracterización estructural de las ocho fallas normales definidas en campo. ....	48
<b>Tabla 3</b>	Características principales del graben de Poza Honda. ....	57

## RESUMEN

El sector norte de la cadena volcánica de la Sierra de Las Cruces se localiza entre las coordenadas 19° 00' a 20° 00' Lat. N y 99° 12' a 99° 36' Long. W. El área estudiada cubre 598 km<sup>2</sup>, en la cual se describieron 41 unidades geológicas y se midieron 16 secciones estratigráficas. Esta se subdividió en tres zonas con base a las características litológicas de cada una : 1) Campo Volcánico Sierra de Las Cruces Norte (CVSCN), 2) Sector Taxhimay y 3) Sector Poza Honda.

El CVSCN está constituido principalmente por tres estructuras volcánicas de colapso. Del más antiguo al más joven, estas se denominan : El Castillo, El Templo y Chapa de Mota. Cada erupción de colapso dirigido produjo un escarpe de colapso, "megahummocks", una avalancha de escombros y lahares. Los depósitos plinianos y piroclásticos asociados están representados por secuencias de "surges", ignimbritas y cenizas de caída. Los colapsos del volcán El Templo y del volcán Chapa de Mota ocurrieron hacia el SE mientras que el del volcán El Castillo ocurrió hacia el NE. La edad de los volcanes, así como de los domos asociados se estima del Mioceno. Debido a que depósitos lacustres pliocenicos sobreyacen a dichas estructuras volcánicas.

El sector Taxhimay está caracterizado por secuencias piroclásticas y epiclásticas (incluyendo lahares), que rellenaron la cuenca que actualmente ocupa la presa Taxhimay y bordean al volcán Las Animas. El volcán Las Animas está incluido en este sector; como los demás volcanes del CVSCN, también se colapsó en su flanco oriental originando un depósito de avalancha, lahares y una ignimbrita (ignimbrita Las Animas).

El sector Poza Honda ubicado en el margen NE del CVSCN se caracteriza por formar un paisaje de mesetas, valles y cañones. Incluye secuencias piroclásticas (tobas Arboleda y Poza Honda) hacia la base y un derrame de lava (basalto Jilotepec) hacia la cima. Fallas normales con una orientación NE-SW disectaron el sector, para formar una depresión estructural (graben Poza Honda) con bloque caído basculado 10° hacia el NW y salto de falla medido entre 30 y 50 m.

En total ocho fallas de tipo normal y con un rumbo general NE afectan el área de estudio. Un mayor número de alineamientos son evidentes en foto-imágenes topográficas Gema<sup>1</sup> y fotografías aéreas, en las cuales se distinguen dos sistemas de alineamientos NE-SW y E-W principalmente.

En el modelo que se propone para la evolución geológica de la parte norte de la Sierra de Las Cruces se hace notar que el colapso sectorial dirigido afectó a cada uno de los volcanes que se desarrollaron en este lugar.

<sup>1</sup> Son imágenes generadas por el programa FORTRAN de García-Estrada (1997) basados en los modelos digitales del archivo de topografía Gema del INEGI a escala 1 : 250,000.

# **I. INTRODUCCION**

## **I.1 Propósito del estudio**

El presente trabajo es un estudio geológico del sector septentrional de la Sierra de Las Cruces, en el cual se estableció una nomenclatura para las unidades estratigráficas nuevas y una cartografía geológica. Además se propone un modelo de evolución volcánico-estructural que pretende explicar los fenómenos geológicos que conformaron la parte norte de la Sierra de Las Cruces.

## **I.2 Localización**

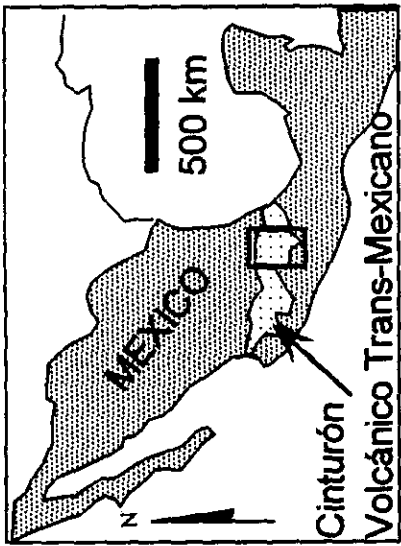
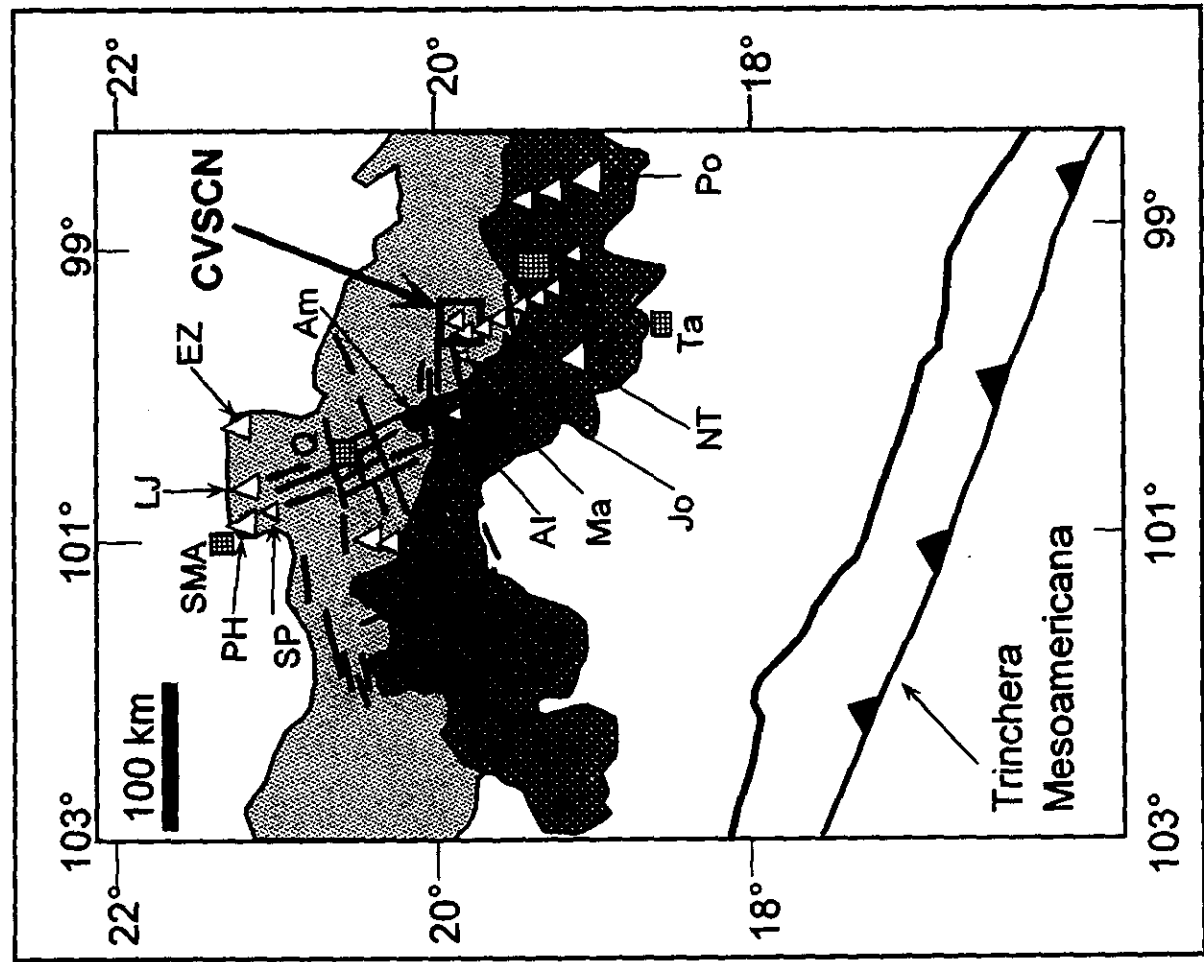
La Sierra de Las Cruces (SC) está situada en el sector central del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (CVTM) (Fig. 1). La SC es una cadena volcánica con orientación NNW-SSE, mide 110 km de largo por 23 km de ancho y constituye el límite orográfico entre el valle de la Ciudad de México-Cuatitlán y el valle de Toluca-Ixtlahuaca. El extremo norte de la SC se ubica entre los límites estatales de Hidalgo y el Estado de México. Existen dos vías de acceso principales. Una desde la Ciudad de México, por la carretera federal rumbo a Villa del Carbón y la segunda por la autopista México-Querétaro, hasta Tepeji del Río. El área de estudio se localiza 40 km al NW de la Ciudad de México, en el extremo norte de la SC.

El área de estudio se clasificó en tres sectores, con base a su caracterización geológica (Fig. 2):

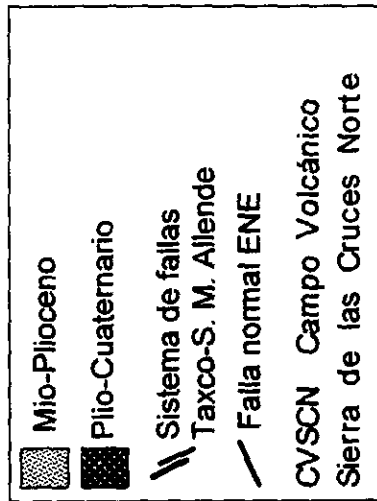
- a) Campo Volcánico Sierra de Las Cruces Norte (CVSCN).
- b) Sector Taxhimay.
- c) Sector Poza Honda.

El CVSCN constituye la zona norte de la SC. Este sector está compuesto por un grupo de volcanes y domos interpuestos entre sí. (la Tabla 1 muestra la ubicación geográfica de las principales estructuras volcánicas del CVSCN). Los volcanes y algunos domos sufrieron colapsos o derrumbes sectoriales, por lo que su morfología original (anterior al colapso) fue cambiada por una morfología de estructuras de escarpes de colapso y montículos en los respectivos sectores colapsados.

El sector Taxhimay se ubica al sur del CVSCN. Incluye un volcán con colapso sectorial en su extremo oeste, así como una secuencia de derrames piroclásticos, depósitos epiclásticos y lahares. El sector Poza Honda está ubicado al norte del CVSCN. Se caracteriza por una depresión estructural (graben Poza Honda) y fallas asociadas e ignimbritas (Figs. 3 y 4).



### SIMBOLOGIA



△	Volcán	●	Caldera
LJ	LA JOYA	Am	AMEALCO
PH	PALO HUERFANO	Ma	MAZAHUA
EZ	EL ZAMORANO		Población
SP	SAN PEDRO	SMA	SAN MIGUEL ALLENDE
AL	ALTAMIRANO	Q	QUERETARO
NT	NEVADO DE TOLUCA	M	MEXICO
Po	POPOCATEPETL	Ta	TAXCO
Jo	JOCOTTILAN		

Fig 1.- Mapa de localización regional del sector septentrional de la Sierra de Las Cruces.

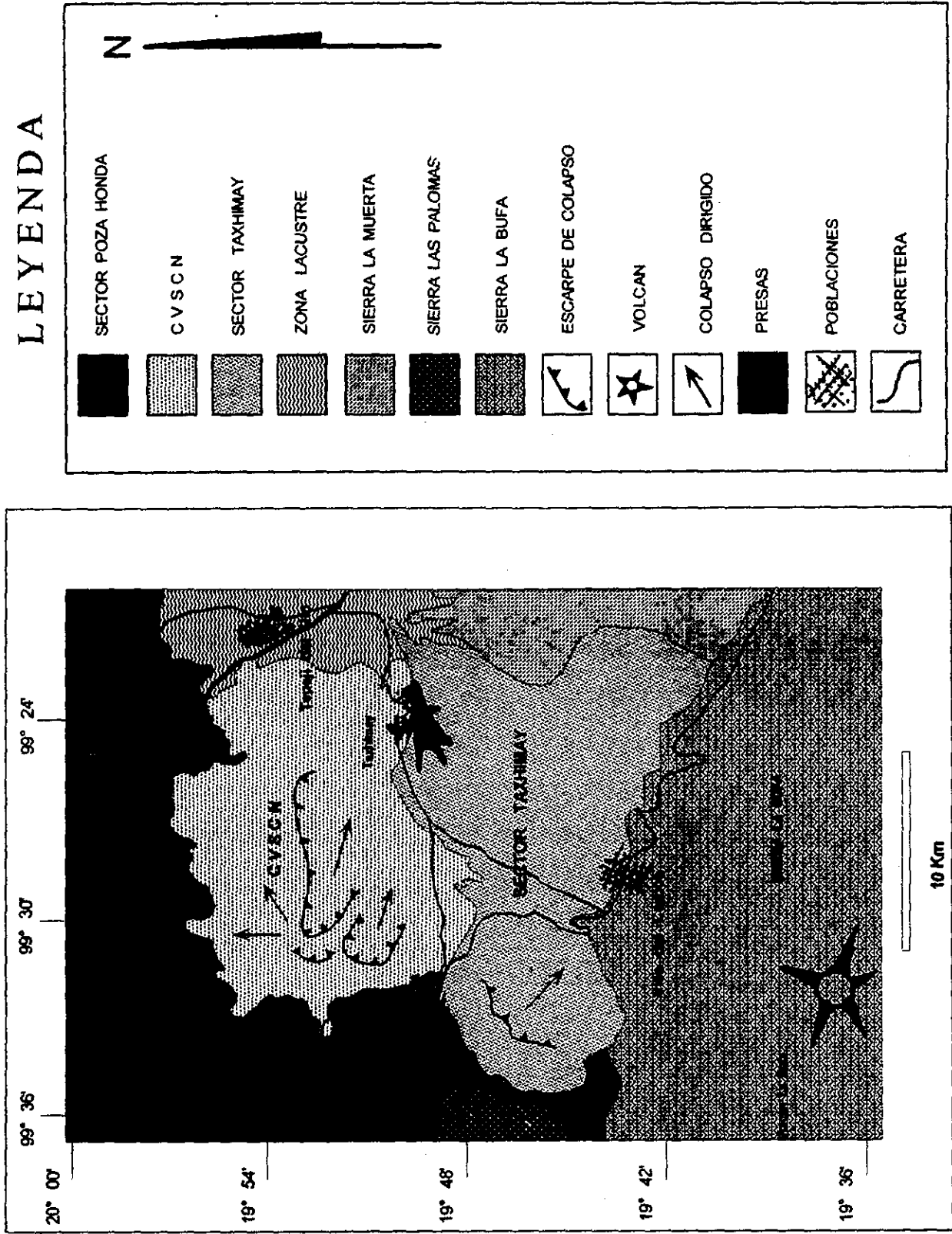


Fig. 2.- Mapa de la parte septentrional de la Sierra de Las Cruces dividido en tres sectores principales.



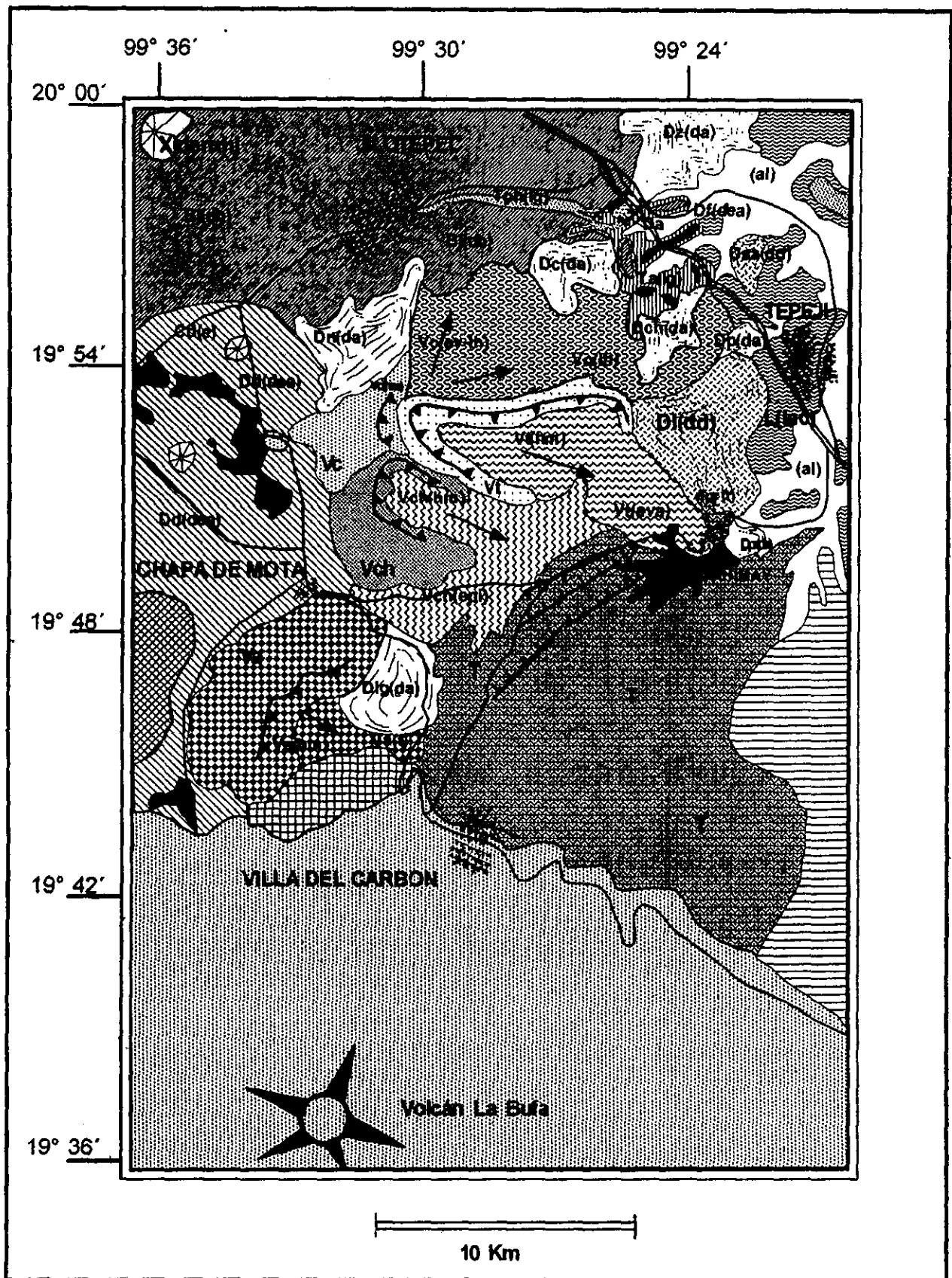


Fig.3.- Mapa geológico del sector septentrional de la Sierra de Las Cruces que muestra las unidades geológicas.

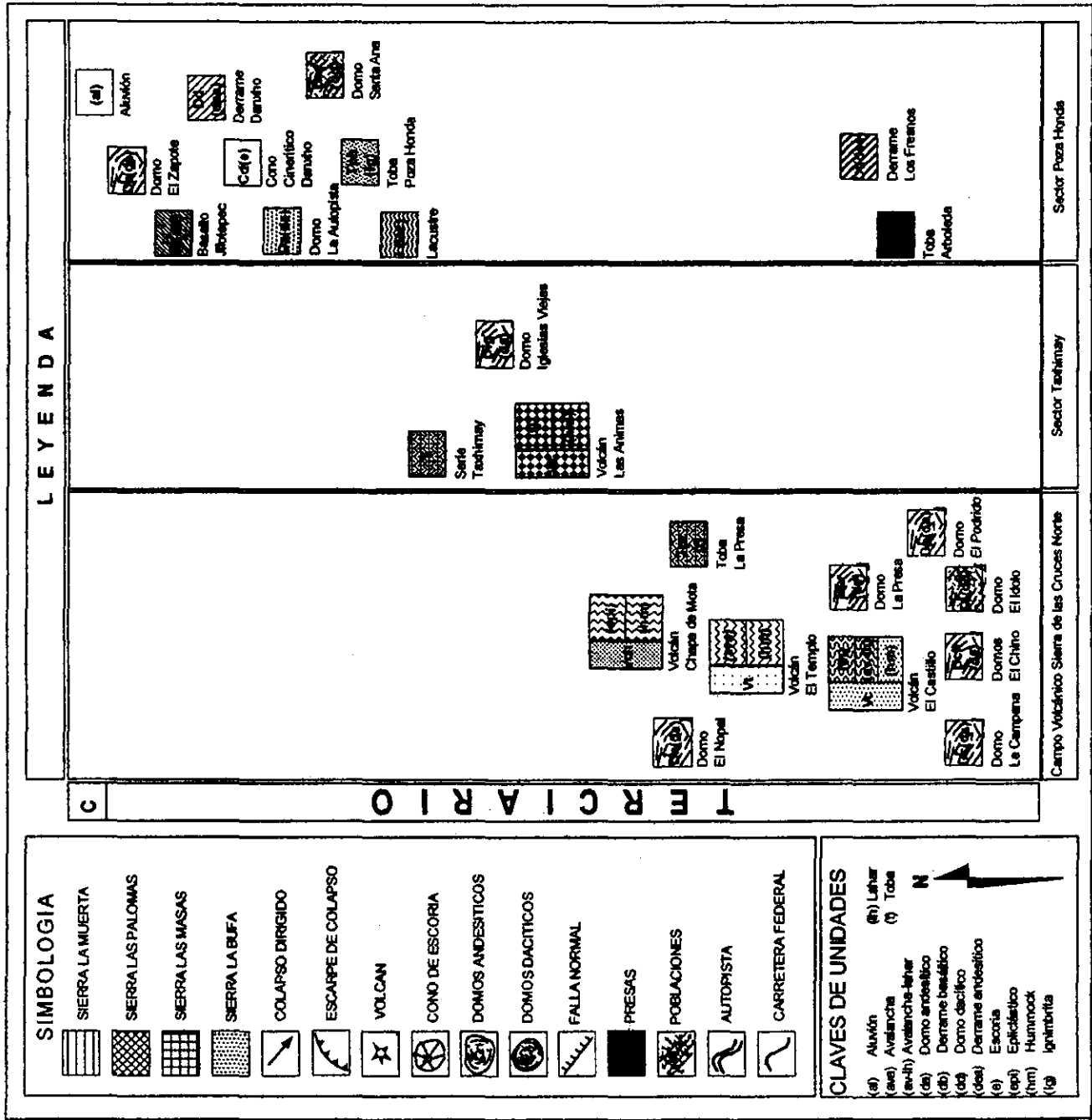


Fig. 4.- Leyenda del mapa geológico de la Sierra de Las Cruces que presenta la sucesión de las unidades geológicas.

TABLA 1.- PRINCIPALES ESTRUCTURAS VOLCANICAS DEL CAMPO VOLCANICO SIERRA DE LAS CRUCES NORTE

<b>Estructuras Volcánicas.</b>	<b>Coordenadas Geográficas.</b>	
<u><i>Volcán Chapa de Mota.</i></u>	N 19°51'30"	W 99°30'54"
<u><i>Volcán El Templo.</i></u>	N 19°53'18"	W 99°29'18"
<u><i>Volcán El Castillo.</i></u>	N 19°53'15"	W 99°30'36"
<u><i>Domo La Campana.</i></u>	N 19°56'24"	W 99°26'42"
<u><i>Domo El Chino.</i></u>	N 19°55'24"	W 99°24'06"
<u><i>Domo El Idolo.</i></u>	N 19°53'12"	W 99°24'18"
<u><i>Domo El Podrido.</i></u>	N 19°54'40"	W 99°22'30"
<u><i>Domo La Presa.</i></u>	N 19°50'20"	W 99°22'30"
<u><i>Domo El Nopal.</i></u>	N 19°53'48"	W 99°30'54"

### I.3 Objetivos

- a) Elaborar un mapa geológico.
  - Definir unidades estratigráficas.
  - Correlacionar unidades estratigráficas índice.
  - Proponer columnas estratigráficas tipo.
  - Indicar una columna estratigráfica compuesta.
  - Identificar y cartografiar sistemas de fallamiento.
- b) Interpretar fotografías aéreas e imágenes Gema.
  - Definir contactos y estructuras geológicas.
  - Proponer alineamientos de trazas de falla.
- c) Análisis petrográfico.
  - Describir cada litología con base a sus características petrográficas.
- d) Proponer modelos evolutivos para las estructuras volcánicas identificadas.

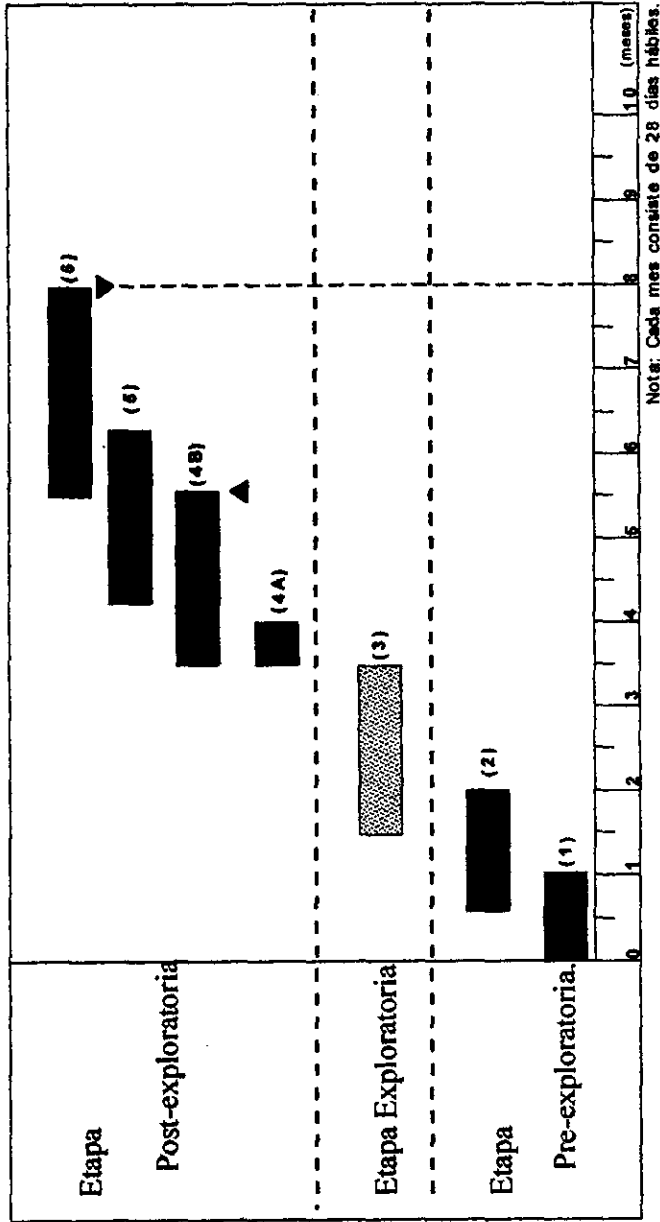
### I.4 Metodología de la investigación

El desarrollo de la investigación se sintetiza en el cronograma de la figura 5.

#### I.4.1 Etapa Pre-exploratoria

Esta etapa se caracteriza por la búsqueda de antecedentes bibliográficos de la zona de interés. Es importante tomar en cuenta los trabajos de investigación previos, ya que evita repetir informes ya hechos y aumenta la posibilidad de enfocar la investigación en aspectos de mayor detalle (Fig. 6).

# METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION



## SECUENCIA DE ACTIVIDADES.

### Etapa Pre-exploratoria.

- (1) Investigación documental.
- (2) Fotointerpretación.

### Etapa Exploratoria.

- (3) Levantamiento geológico.

### Etapa Post-exploratoria.

- (4) Tratamiento de muestras.  
(4A) Láminas delgadas.  
(4B) Fechamiento por Trazas de Fisión. (+)
- (5) Procesamiento de información geológica.
- (6) Elaboración de la Tesis.

- ▲ Muestras enviadas para su análisis.
- ▼ Culminación de la Tesis.

(+) Edad no disponible para la Tesis.

Fig. 5.- Diagrama de planeación que muestra el avance programado de las actividades realizadas durante la investigación.

La interpretación en imágenes Gema y fotografías aéreas a escalas 1:50 000 y 1:250 000, proporciona una guía fundamental para la planeación de las rutas de exploración.

#### **ETAPA PRE-EXPLORATORIA**

##### **Investigación documental.**

Consulta de publicaciones de artículos técnicos que aporten datos geológicos que involucren a la zona de estudio.

##### **Fotointerpretación.**

Identificación de contactos litológicos y estructuras geológicas mayores.

Elaboración de un mapa geológico preliminar sobre un mapa topográfico de INEGI, escala 1: 50 000 y elaboración de una versión final del mapa geológico digitizado.

Fig. 6.- Cuadro que muestra la secuencia de actividades realizadas en la etapa Pre-exploratoria.

#### **I.4.2 Etapa Exploratoria**

La exploración de campo implica ejecutar una serie de técnicas para la captura de la información geológica. En esta ocasión se emplearon las técnicas fundamentales para hacer un levantamiento geológico (Fig. 7).

#### **ETAPA EXPLORATORIA**

##### **Cartografía geológica.**

Identificación de las unidades litoestratigráficas.

Descripción de las unidades litoestratigráficas.

Selección de muestras para los diversos análisis planeados.

Verificación y mapeo sistemático de los contactos litológicos y estructuras geológicas propuestas.

Captura de datos estructurales.

Reconocimiento de litologías tipo para una correlación de estratos a escala regional.

Fig. 7.- Cuadro que presenta el método general para un levantamiento de campo.

#### **I.4.3 Etapa Post-exploratoria**

En esta etapa se integra la información recolectada en campo para realizar la interpretación geológica de la zona. Como parte de este proceso se seleccionan muestras de roca recolectadas para su estudio petrográfico, así como para análisis químicos y fechamientos que se realizarán en un futuro (fuera del contexto de esta tesis). En particular se recolectaron muestras aptas para un fechamiento por la técnica de trazas de fisión.

Asimismo se realiza el trabajo de gabinete correspondiente para la redacción de la tesis y la elaboración del mapa geológico, tablas y figuras correspondientes (Fig. 8).

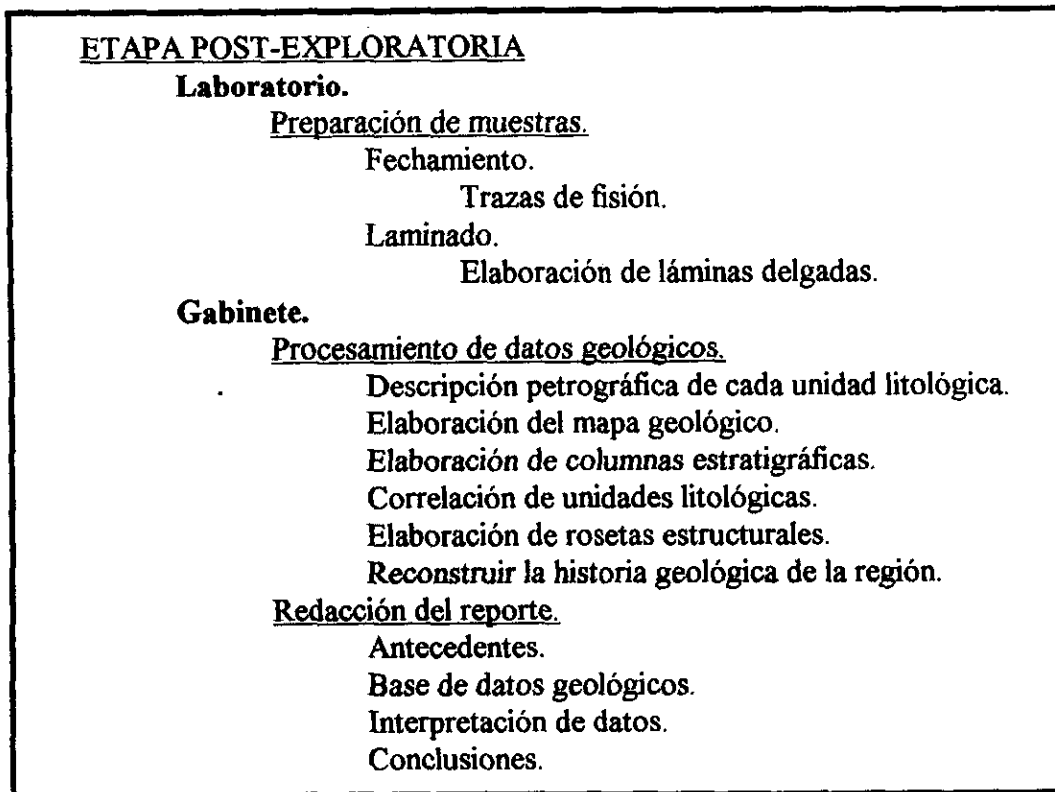


Fig. 8.- Cuadro que presenta la etapa final de la investigación.

## **I.5 Características del CVTM**

La provincia del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (CVTM) se interpreta como un arco volcánico continental activo relacionado a la subducción de la placa de Cocos y la placa de Rivera bajo la placa Norteamericana a lo largo de la trinchera Mesoamericana (Demant, 1978; Johnson et al., 1990; Siebe et al., 1995; Suter et al., 1995; Aguirre et al., 1998). Atraviesa la parte central de México de Oeste a Este, desde Puerto Vallarta hasta Veracruz (Nixon et al., 1987; Aguirre et al., 1998). El CVTM alcanza una longitud de 1000 a 1200 km y un espesor que varía entre 20 a 150 km (Nixon, 1982; Carrasco y Gómez, 1997). Además guarda una relación oblicua de 15° a 16° con respecto a la orientación de la Trinchera Mesoamericana (Urrutia y Del Castillo, 1977; Pardo y Suárez, 1995).

El vulcanismo dentro del CVTM está formado por secuencias volcánicas que son predominantemente de composición calco-alcalina, aunque en los extremos oriental y occidental es común un vulcanismo del tipo alcalino (Robin y Nicolas, 1978; Robin, 1982b; Mahood, 1980; Nelson y Carmichael, 1984; Luhr y Carmichael, 1985; Negendank et al., 1985; Nelson y Livieres, 1986; Aguilar-Vargas y Verma, 1987; Besch et al., 1988; Nelson et al., 1995). Recientemente (Márquez et al., 1999) han propuesto que un magmatismo tipo

OIB (Ocean Island Basalt) es más común de lo que se pensaba, por lo que se ha propuesto un modelo de rift continental para el origen de esta provincia. El intervalo de tiempo en el que se formó el CVTM comienza desde el Mioceno medio y la mayor parte de las erupciones sucedieron durante el Plioceno hasta el Cuaternario (Nixon et al., 1987, Ferrari et al., 1999).

De acuerdo con Aguirre et al. (1988) el CVTM está dividido en tres zonas sujetas a sus particulares rasgos tectónicos, vulcanológicos y petrológicos.

#### Sector Oeste

Zona caracterizada por la triple unión Colima-Chapala-Zacoalco, donde el vulcanismo del tipo alcalino es común aunque predomina el calco-alcalino.

#### Sector Central

Vulcanismo poligenético y monogenético que en conjunto forman una cadena volcánica de orientación Este-Oeste, donde el vulcanismo de carácter calco-alcalino es el dominante.

#### Sector Este

Esta zona se caracteriza por sus grandes estratovolcanes andesítico-dacíticos con vulcanismo del tipo calco-alcalino, además de vulcanismo monogenético alcalino en la región de Los Tuxtlas.

Se ha inferido que la zona de Benioff asociada al CVTM tiene ángulos de subducción muy elevados en la parte oeste del CVTM en el sector de la placa Rivera; mientras que en la región central del CVTM la zona de Benioff es muy somera y subhorizontal con ángulos de subducción de 12° a 15° en el sector de la placa de Cocos (Suárez et al., 1990, Singh y Pardo, 1993, Pardo y Suárez, 1995).

Todavía existen controversias cuando se discute el origen y los límites espacio-temporales del CVTM (Aguirre et al., 1998). De tal forma que se han propuesto numerosas hipótesis que tratan de explicar la falta de paralelismo entre el CVTM y la trinchera Mesoamericana.

En términos generales se pueden clasificar en dos grandes grupos tales hipótesis:

#### Vulcanismo-Subducción

Aquellas hipótesis que coinciden que existe una relación directa entre el vulcanismo del CVTM y la subducción en la Trinchera Mesoamericana.

## Zona cortical de debilidad

Son las hipótesis que sugieren que no existe relación tectónica directa con la subducción de la Trinchera Mesoamericana y explican el origen del CVTM como resultado de zonas de debilidad dentro de la corteza continental de México, activadas por episodios tempranos de deformación.

A continuación se enlistaran algunas de las principales hipótesis que tratan de explicar el origen del CVTM:

### Vulcanismo-Subducción

- a) Vulcanismo del CVTM relacionado a la subducción de la Trinchera Mesoamericana (Gunn y Mooser, 1970; Mooser, 1972; Demant y Robin, 1975; Robin y Nicolas, 1978; Menard, 1978; Nixon, 1982; Macías et al, 1997, Aguirre et al., 1998; Ferrari et al., 1999).
- b) En un cuadro de tectónica global se puede explicar el vulcanismo del CVTM como resultado de la subducción desde el Mioceno tardío del nuevo sistema de placas Rivera-Cocos debajo de una placa continental deformada y fracturada durante el desplazamiento diferencial entre la placa Norteamericana y la placa Caribeña (Demant, 1982).
- c) Se distinguen dos subprovincias calco-alcálicas la Oeste y la Central-Este, la primera asociada a la subducción de la placa Rivera y la segunda en relación a la subducción de la placa de Cocos (Nixon, 1982).
- d) Las variaciones entre el CVTM y la Trinchera Mesoamericana están relacionadas a la profundidad de la zona de Benioff de la corteza continental de México. (Pardo y Suárez, 1995; Macías et al., 1997; Aguirre et al., 1998 ).

### Zona de debilidad cortical

- a) Prolongación continental de la falla de Clarión (Mooser y Maldonado-Koerddell, 1961).
- b) Una geosutura antigua accionada por una falla transcurrente lateral izquierda y reactivada en el Terciario (Mooser, 1972).
- c) Una extensión del sistema de fallas de San Andrés desde el Golfo de California. (Gastil y Jensky, 1973).
- d) Tres grandes bloques de la corteza continental en el CVTM (bloque de Jalisco, bloque Michoacan-Oaxaca y bloque Guerrero) que con movimiento relativo propio se están separando de la placa Norteamericana (Johnson et al., 1990).
- e) Un rift continental activo (triple unión) miocénico generado por la ascensión de una pluma del manto en el sector oeste del CVTM, con cambios transicionales del vulcanismo hacia el este, donde el vulcanismo tipo OIB predomina sobre el tipo calco-alcálico (Márquez et al., 1999).



## I.6 Estudios previos

El sector septentrional de la Sierra de Las Cruces no había sido estudiado y sólo se tenía una cartografía geológica a nivel regional hecha por Mooser et al. (1996). Existen trabajos realizados por Lindsay et al. (1984), Mora et al. (1991), Siebe et al. (1992), Carranza y Espinosa (1994), Suter et al. (1995) y Macías et al. (1997) que aportan datos geológicos de las zonas circunvecinas del CVSCN. A manera de síntesis se muestran las aportaciones de los estudios previos a la presente investigación.

El sector septentrional de la Sierra de Las Cruces es considerado como un complejo volcánico conformado por calderas con sus respectivos domos y depósitos piroclásticos asociados. En donde las tobas retrabajadas y depósitos fluvio-lacustres están definidos como parte de la formación Tarango (Mooser et al., 1996).

Los resultados de un estudio geocronológico empleando el método de K-Ar en rocas volcánicas de la Sierra de Las Cruces, sugieren una migración aparente espacio-temporal de norte a sur de la actividad volcánica durante un intervalo de edad del Plioceno al Pleistoceno (Mora et al., 1991).

En una zona del sector Poza Honda ubicada a 40 km hacia el NE del embalse Trinidad Fabela y justo en el tajo de autopista México-Querétaro a sólo 3 km hacia el SE de la salida a Jilotepec, se encuentra una serie de fallas normales de rumbo SW-NE con bloque caído hacia el NW y echados de falla entre 50° a 70°, que corresponden a una extrapolación del rumbo de la falla Pastores. En donde se observa que una lava gris afanítica (basalto Jilotepec) fue desplazada por un salto de falla entre 25 a 30 m. Un fechamiento por  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  del basalto Jilotepec determinó una edad de  $2.4 \pm 0.2$  Ma., que implica una edad máxima para esa falla. (Suter et al., 1995).

El volcán Jocotitlán uno de los volcanes circunvecinos más cercanos al CVSCN se caracteriza por su prehistórico colapso de su flanco NE, así como por su consecuente depósito de avalancha con morfología de "hummocks" de excepcional tamaño y forma cónica. (Siebe et al., 1992; Macías et al., 1997).

En la parte superior de los depósitos lacustres ubicados al este del CVSCN, se han reportado fósiles de los équidos *Dinohippus mexicanus*, *Neohipparion eurystyle* y el carnívoro *Machairodus*, los cuales corresponden a una edad de 4.7 Ma (Lindsay et al., 1984; Carranza y Espinosa, 1994; Carranza, comunicación personal, 1999).

## II. ESTRATIGRAFIA

El área de estudio se dividió en tres sectores con base a las características geológicas (Fig. 2). El Campo Volcánico Sierra de Las Cruces Norte (CVSCN) incluye a las rocas más antiguas de la región y se caracteriza por tres escarpes de colapso correspondientes a los volcanes El Castillo, El Templo y Chapa de Mota. Las avalanchas de escombros, "hummocks" y depósitos piroclásticos están vinculados directamente a cada escarpe de colapso. El sector Taxhimay está representado por el volcán de colapso Las Animas, ubicado en el extremo occidental. Este volcán se encuentra bordeado por la toba Taxhimay, depósitos fluvio-lacustres y lahares provenientes del volcán La Bufa. El sector Poza Honda localizado al norte del CVSCN está constituido por secuencias ignimbríticas (Toba Arboleda y Toba Poza Honda) y derrames de lava probablemente basálticos situados tanto en la base como en la cima de las tobas.

El mapa geológico del área de estudio se encuentra en el Anexo 1 de este trabajo. Un mapa simplificado se muestra en la Fig. 3, así como la leyenda del levantamiento geológico (Fig.4). Se midieron 16 secciones estratigráficas, de las cuales 10 pertenecen al sector Taxhimay, que es donde se tiene una secuencia volcano-sedimentaria relativamente compleja pues agrupa eventos de varias estructuras volcánicas de los alrededores (Fig. 9 y Anexo 2). Las secciones se muestran a lo largo de la descripción de las diferentes unidades reconocidas en este estudio. La figura 4 muestra una tabla que agrupa a las unidades litoestratigráficas del área de estudio. No se realizaron fechamientos radiométricos de las unidades cartografiadas. Sin embargo, se colectaron varias muestras para ser analizadas en un futuro con la técnica de trazas de fisión utilizando esquirlas de vidrio volcánico y otras para ser fechadas con la técnica de  $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}^*$ . Asimismo, no fue el propósito del presente estudio realizar análisis químicos, aunque también se colectaron muestras para este fin y que cuyos resultados serán reportados en futuros trabajos. Se estimó en forma cualitativa la composición de las rocas volcánicas con base a su aspecto megascópico y su contenido mineral. De esta manera, se designa como roca máfica a aquella que es de color gris oscuro, con olivino, plagioclasa y piroxenos, generalmente afanítica o de grano fino. De composición intermedia se designa la roca gris a gris claro, generalmente porfirica, con abundantes fenocristales de plagioclasa, piroxenos, con o sin hornblenda y en ocasiones cuarzo. Las rocas ácidas son aquellas de color gris claro, rosa o gris oscuro en caso de obsidiana. También se incluyen en esta categoría a los depósitos de pómez blanca o ignimbritas. La mineralogía consta generalmente de sanidino, plagioclasa o cuarzo, con o sin algunos ferromagnesianos como biotita u hornblenda. Todos los porcentajes que se mencionan en la descripción petrográfica de las unidades son en volumen del total.

A continuación se describen las unidades litoestratigráficas identificadas en este trabajo, de la más antigua a la más joven, por sector. A dichas unidades se les asigno una nomenclatura de acuerdo a la toponimia de la región.

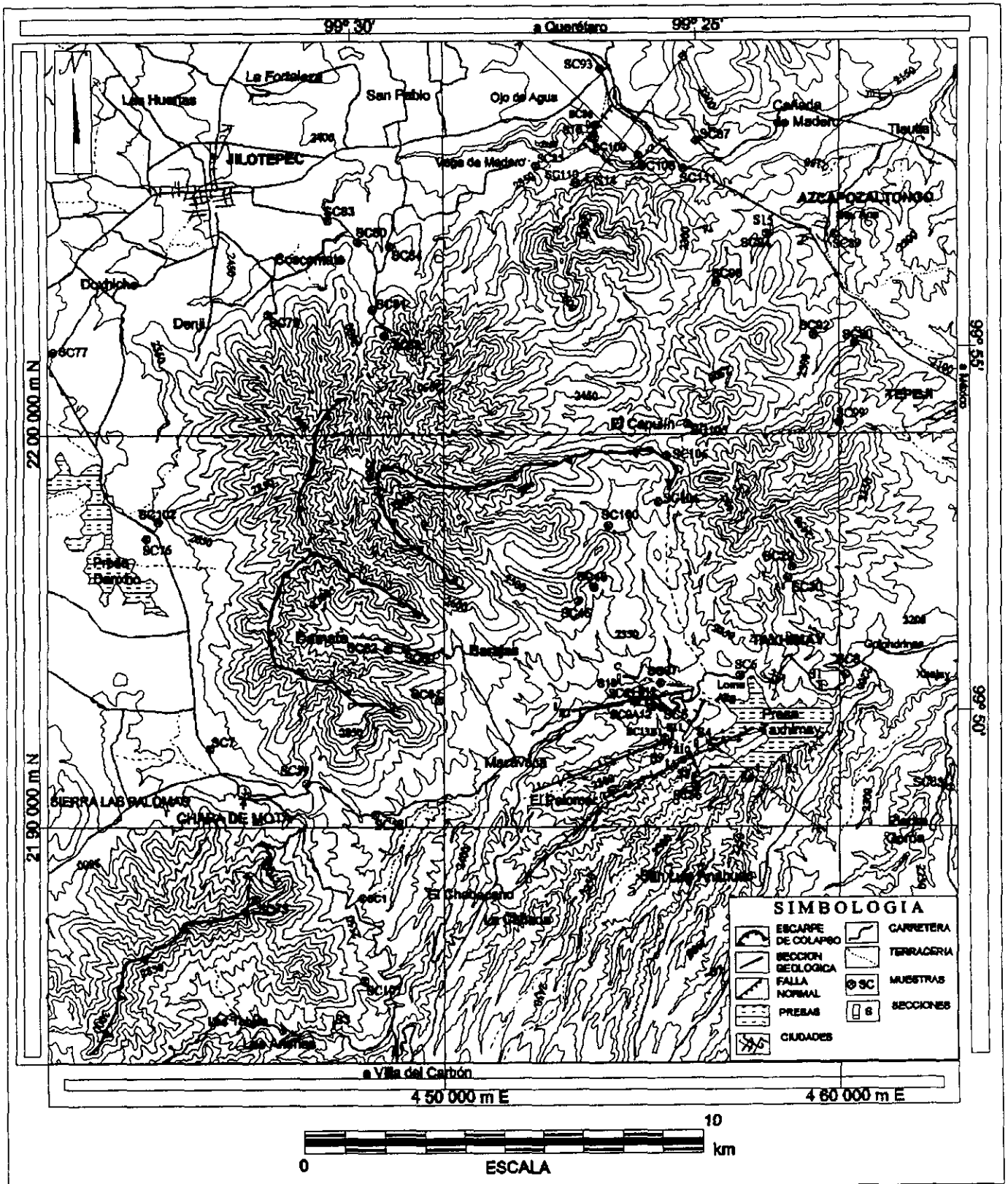


Fig. 9.- Mapa índice del sector septentrional de la Sierra de Las Cruces que indica la localización de las muestras colectadas y secciones estratigráficas.

## **II.1 Campo Volcánico Sierra de las Cruces Norte**

### **II.1.1 Domos El Chino y La Campana**

Dos domos volcánicos forman las unidades más antiguas en el área de estudio. Los domos son de composición intermedia, probablemente andesíticos. Están situados en el extremo NE del CVSCN (Fig. 3). Se encuentran bordeados por la avalancha de escombros del volcán El Castillo (descrita más adelante). La roca presenta coloración gris oscura y roja al intemperismo. Los afloramientos son generalmente de bloques de roca subredondeada por el intemperismo, o como lava en lajas gruesas. Tiene textura porfirítica, con fenocristales de plagioclasa, muchos de los cuales presentan arreglos en forma de roseta. La matriz es microcristalina de grano fino constituida por microlitos de plagioclasa y clinopiroxeno. Los fenocristales de plagioclasa (25%) son equidimensionales, en su mayoría con extinción ondulatoria u oscilatoria. Es común que se encuentren formando glomerocristales con piroxenos. Los fenocristales de clinopiroxeno y ortopiroxeno (ambos 10%), son generalmente tabulares, algunos clinopiroxenos tienen macla sencilla.

### **II.1.2 Domo El Idolo**

Se define como Domo El Idolo a un domo dacítico que se encuentra en el extremo SE del CVSCN. La roca es rosa y gris clara a oscura al intemperismo. La unidad se presenta como lava en bloques o con lajamiento vertical, con textura fluidal. Tiene textura porfirica, con fenocristales de plagioclasa (7%) y anfíbol (23%), con una matriz microcristalina compuesta de microlitos de plagioclasa (70%) y escaso vidrio oscuro. El anfíbol generalmente presenta bordes oxidados o está completamente oxidado, es de forma acicular, hexagonal o tabular y por lo regular de mayor tamaño que los cristales de plagioclasa. La plagioclasa es escasa y relativamente más pequeña. Se caracteriza por sus texturas de cedazo y bordes de reacción.

### **II.1.3 Domo El Podrido**

El Domo El Podrido es de composición intermedia, probablemente andesítico. Se encuentra emplazado en el margen NE del domo El Idolo. La roca es gris oscura, muy vítrea, de grano fino con fenocristales esporádicos de plagioclasa y piroxenos. Se caracteriza por tener un lajamiento vertical bien desarrollado hacia la cima y uno semi-vertical hacia la base, en donde está en contacto con una avalancha de escombros asociada al volcán El Castillo. La lava contiene una matriz vítrea de grano fino constituida por piroxenos, microlitos de plagioclasa y vidrio. Los fenocristales de plagioclasa (30%) no tienen un tamaño uniforme y por lo regular se encuentran claros, sin texturas de desequilibrio. Los fenocristales de piroxeno (15%) son de forma tabular e incluyen ortopiroxenos y clinopiroxenos, por lo regular muy sanos.

## II.1.4 Domo La Presa

El Domo La Presa se localiza en el extremo SE del CVSCN. Se trata de un domo de composición intermedia, tal vez andesítico, que se emplazó en el flanco sur del domo El Idolo. Aflora donde se construyó la cortina de la Presa Taxhimay, de ahí el nombre de La Presa. La roca es gris, roja o amarilla al intemperismo. La unidad presenta un lajamiento en formas de agujas de 20 a 40 cm de espesor. El lajamiento va cambiando de inclinación hacia lo que se supone fue la parte interna del domo, en donde la roca presenta un lajamiento vertical. Tiene textura porfírica con fenocristales de plagioclasa (10%), clinopiroxenos y ortopiroxenos (ambos 15%). La matriz es traquítica de grano fino, compuesta de microlitos de plagioclasa. Los fenocristales muestran texturas de desequilibrio, como por ejemplo, plagioclasa con núcleos de cedazo, o con corrosión marginal y con un manto de plagioclasa clara. Los piroxenos están totalmente reemplazados por óxidos de hierro y titanio.

## II.1.5 Volcán El Castillo

El Volcán El Castillo está ubicado en el extremo occidental del CVSCN. Es el volcán más antiguo de la zona. Las lavas que forman esta estructura son del tipo lobular, de composición intermedia, probablemente dacítica. La roca presenta tonalidades grises y rojizas al intemperismo. Se observa una marcada foliación de flujo y juntas de enfriamiento verticales a subhorizontales, lo que hace suponer que fueron emplazadas como flujos de lava muy viscosos, semejantes a aquellos que forman domos. La roca es porfírica con fenocristales de plagioclasa (18%) y piroxenos (20%) muy alterados, con matriz de grano fino constituida por microlitos de plagioclasa y vidrio intersertal devitrificado. Los fenocristales de plagioclasa muestran escasas texturas de desequilibrio (huellas de corrosión) y tienen zoneamiento ondulatorio. Los fenocristales de ortopiroxeno son de forma tabular y de menor tamaño que las plagioclasas.

El flanco oriental del volcán se derrumbó, probablemente con una erupción del tipo del volcán Saint Helens (Lipman y Mullineaux, 1982; Lauber, 1987) y produjo un depósito de avalancha y lahares. La morfología actual del volcán está caracterizada por un escarpe de colapso en forma de herradura, con la abertura hacia el oriente. El flanco poniente (no colapsado) del volcán está formado por lóbulos de lava dacítica con alto grado de disección del drenaje. La zona de colapso está representada por "hummocks" gigantes formados por bloques de lava dacítica, de 1 a 2 km de diámetro, que yacen en el perímetro inferior delimitado por la fractura semi-anular. En el extremo oriental justo al término de la zona de "hummocks" se encuentra un depósito de avalancha, que lateralmente tiene el aspecto de un lahar. El lahar presenta dos direcciones de flujo, una hacia el noreste y otra al este.

El depósito de avalancha-lahar está definido por dos facies que corresponden a una variación oeste-este del tamaño de bloques. La facies oeste, corresponde al depósito de avalancha y está limitada al oeste por la zona de "hummocks". Esta facies forma una topografía abrupta de peñascos, producto de la acción erosiva que afectó al depósito. La facies este está caracterizada por extensas mesetas que se extienden hasta el margen NE del

CVSCN. Los depósitos de lahar bordean totalmente a los domos El Chino y yacen discordantemente sobre los domos La Campana y El Idolo.

El depósito de facies oeste (avalancha) tiene un espesor menor a los 300 m. Está principalmente formado por bloques subangulosos de dacita gris o rosa. Los bloques son porfíricos, con fenocristales de plagioclasa, piroxenos y anfíboles contenidos en una matriz de grano fino compuesta de microlitos de plagioclasa sana, anfíboles y vidrio intersertal gris claro. Los fenocristales de plagioclasa (5%) y anfíboles (15%) hexagonales están en buen estado, aunque algunos anfíboles presentan texturas de cedazo (corrosión marginal, bordes de reacción y manteado) con parcial a total reemplazamiento por piroxeno y óxidos de hierro-titanio. Los bloques están soportados por escasa matriz de material molido de los mismos bloques, muy cohesiva y con variación del tamaño de grava a arena fina.

La facies este corresponde a las mesetas de lahar. Tiene un espesor menor a 150 m y está compuesta por bloques dacíticos, andesitas y basaltos vesiculares subangulosos con diámetros menores a 1.5 m y sin estructuras de tipo "jigsaw". Los bloques están soportados por escasa matriz, semi-cohesiva y constituida por material molido del tamaño de arena gruesa a fina.

#### II.1.6 Volcán El Templo

El Volcán El Templo es una estructura volcánica ubicada al Sur del CVSCN, más joven que el volcán El Castillo. El Templo se encuentra delimitado al NW por el depósito de colapso del volcán El Castillo y al N-NE por el depósito avalancha-lahar proveniente de El Castillo en sus dos facies. El volcán El Templo está constituido por andesita gris y roja al intemperismo, con textura porfírica, con fenocristales de plagioclasa (22%), clinortopiroxenos (15%) y olivino (5%). En una matriz de grano fino con textura traquítica, formada por microlitos de plagioclasa y escaso vidrio intersertal. Los fenocristales de plagioclasa se encuentran parcialmente corroidos y forman pequeñas glomeraciones cristalinas, mientras que los fenocristales de clino y ortopiroxeno tienen textura de cedazo con reemplazamiento parcial y total a óxidos de hierro-titanio. El olivino opaco se encuentra generalmente sano. El volcán El Templo se derrumbó en su flanco oriental. La geoforma actual del volcán corresponde a la de un escarpe de colapso con forma de herradura con abertura hacia el SE, la cual coincide con la dirección del colapso. Una avalancha de escombros y una zona de "hummocks" constituyen el depósito de colapso. Los "hummocks" son megabloques andesíticos con diámetro no mayor a 4 km, distribuidos caóticamente dentro del perímetro marcado por la fractura semi-anular de colapso del volcán.

La avalancha de escombros asociada al colapso tiene un espesor de 50 m y muestra coloraciones grises y rojas al intemperismo. El depósito es litológicamente homogéneo, formado por bloques andesíticos similares a los "hummocks". El tamaño de los bloques es diverso, con diámetros mayores a los 3 m, los cuales están contenidos en escasa matriz de material molido de los propios bloques del tamaño de la grava a arena fina. Es común observar la estructura de rompecabezas en los bloques fragmentados mayores a 1 m de diámetro.

## II.1.7 Toba La Presa

La Toba La Presa es una secuencia piroclástica, localizada en el extremo SE del CVSCN y que sobreyace al domo andesítico La Presa y al depósito de avalancha de escombros del volcán El Templo. Esta unidad está constituida por ignimbritas y derrames de ceniza de color café claro a rosado, con espesor menor a los 12 m. Las ignimbritas contienen en general fenocristales de cuarzo, así como líticos diversos y pómez (menor a 1 cm), en una matriz de ceniza poco cohesiva de tamaño de arena media a fina (Fig. 10).

## II.1.8 Volcán Chapa de Mota

El Volcán Chapa de Mota está ubicado en el extremo SW del CVSCN. Colinda al norte con el volcán El Castillo y al este con el volcán El Templo. El volcán Chapa de Mota se emplazó a un costado de los volcanes mencionados. Como los volcanes vecinos, El Chapa de Mota también se colapsó en su sector sur. El volcán está constituido por lavas andesíticas gris oscuro, vesiculares o lajeadas. La lava es porfírica con fenocristales de plagioclasa (10%), ortopiroxeno (5%) y olivino (1%). La matriz es de grano grueso con microlitos de plagioclasa sanos y vidrio devitrificado. Los fenocristales de plagioclasa ocasionalmente tienen texturas de desequilibrio (manteado, huellas de corrosión y bordes de reacción). Los fenocristales de ortopiroxeno muestran texturas de cedazo con total reemplazamiento por óxidos de hierro y titanio. El olivino está totalmente alterado a iddingsita. Hacia la zona central del volcán se observan tonalidades rojizas a amarillas debidas a intensa actividad fumarólica fósil, donde también se observan brechas volcánicas con intensa alteración hidrotermal (propilitización-cloritización-oxidación).

La geoforma actual del aparato volcánico corresponde a una estructura de colapso sectorial, en donde el escarpe de colapso tiene forma de herradura con la abertura hacia el SE.

El depósito de colapso está constituido por una serie de "hummocks" andesíticos de diámetros menores a los 2.5 km, distribuidos caóticamente en el interior de la fractura de colapso. Asociado a este evento se tiene una secuencia de lahares con un espesor de hasta 50 m, compuesta por estratos de color café a amarillo marrón, con espesores menores a 1.5 m cada uno. Se observan derrames de ceniza y depósitos de caída ricos en pómez. También se tienen, aunque escasos, horizontes de origen fluvial con estratificación cruzada y limos con caliche distribuidos heterogéneamente a lo largo de la secuencia (Fig. 11). Coronando a la secuencia anterior se encuentra un lahar masivo de color gris claro a oscuro con un espesor aproximado de 5 m. Está compuesto por bloques de andesita gris, andesita roja, escoria con alteración hidrotermal y andesita gris oscura, con diámetros de hasta 1.5 m. La matriz es poco cohesiva o no cohesiva de tamaño de arena fina a limo.

## SECCION LA PRESA (S1)

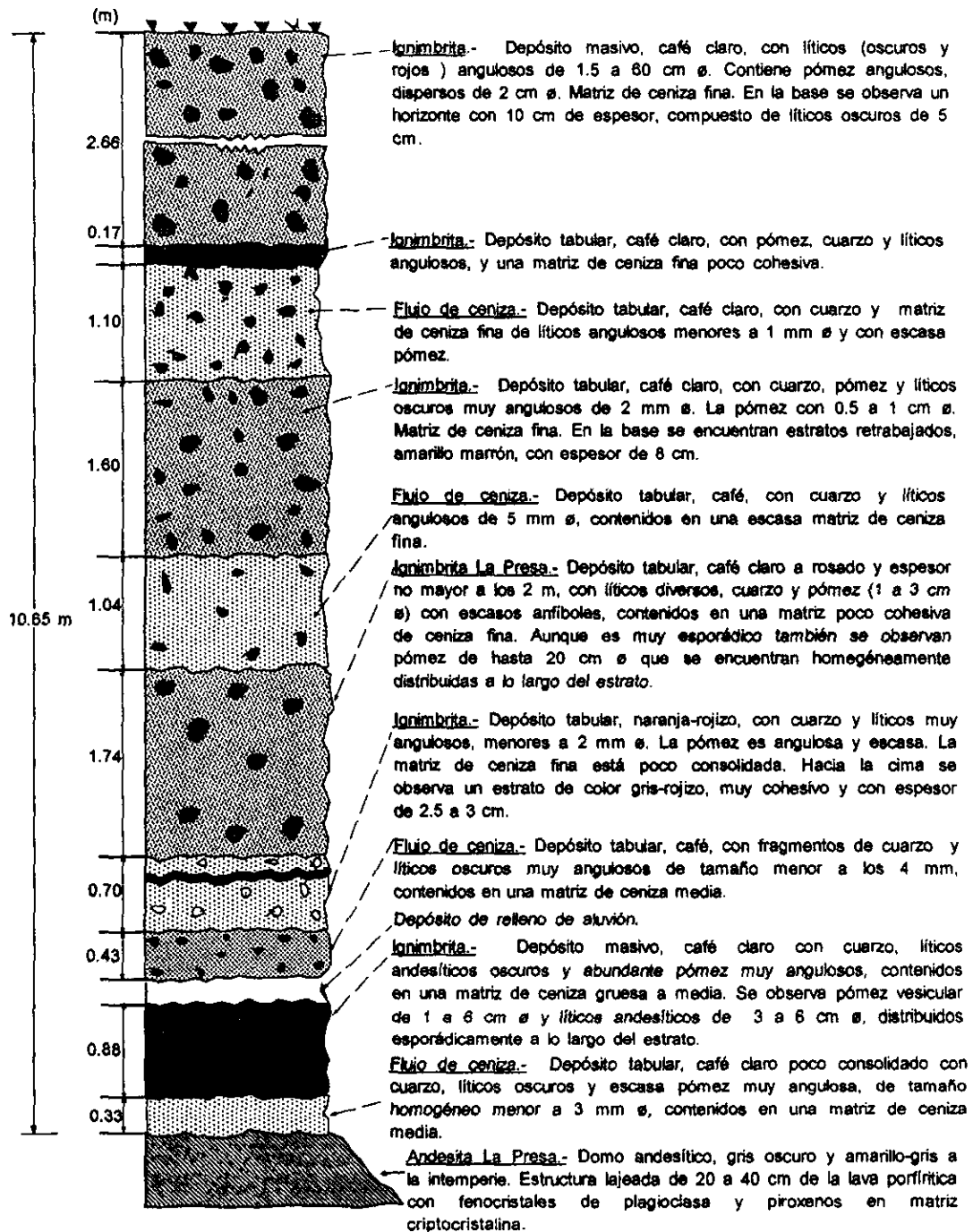


Fig. 10.- Sección estratigráfica La Presa (S1), con espesor total de 10.65 m. Base : 19° 50' 16" Lat. N, - 99° 23' 10" Long. W



## SECCION EL ARENAL II (S2)

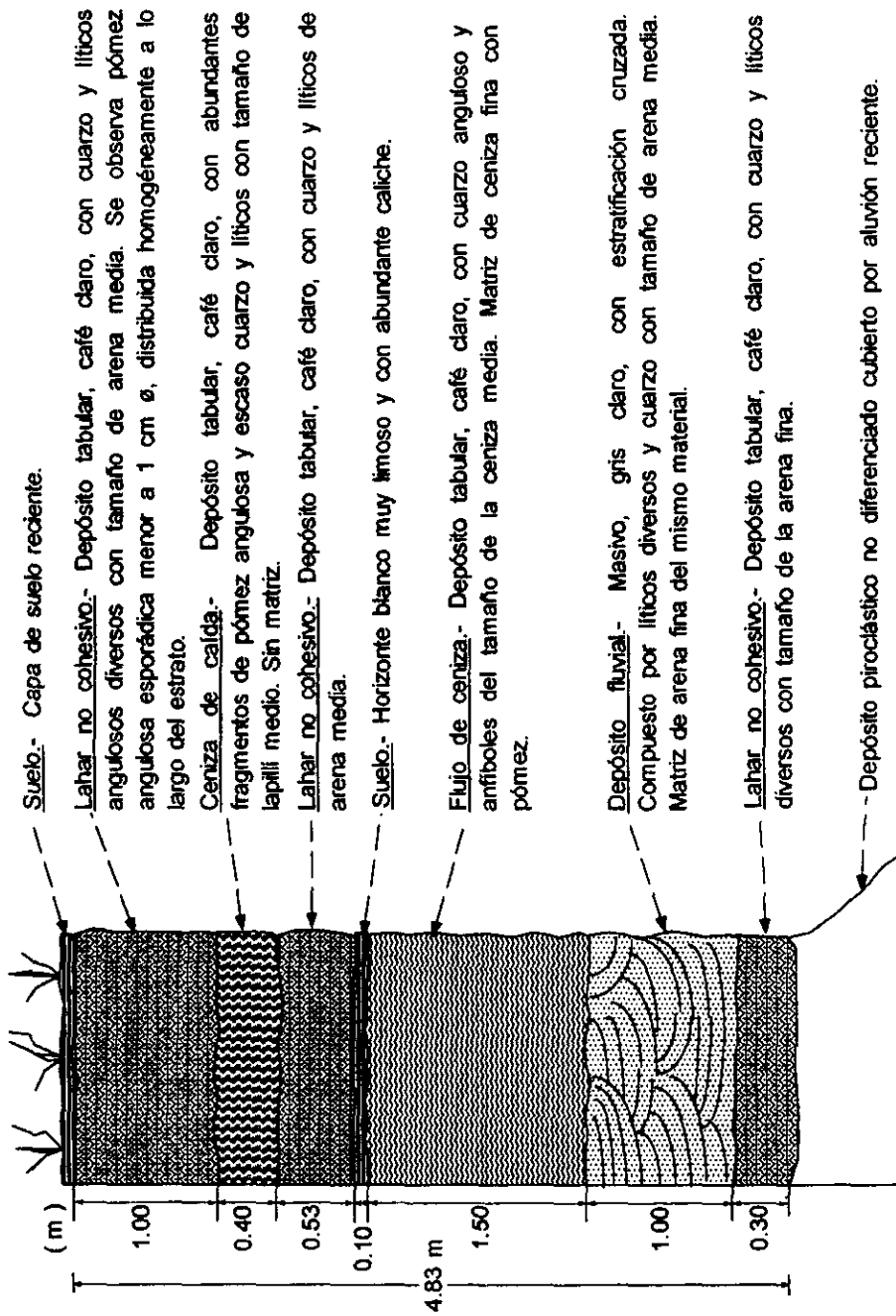


Fig. 11.- Sección estratigráfica El Arenal II (S2) con espesor total de 4.83 m.  
Base: 19° 49' 59" Lat. N, - 99° 27' 00" Long. W

## II.1.9 Domo El Nopal

El Domo El Nopal es una estructura volcánica ubicada en el extremo NW del CVSCN, el cual se emplazó sobre la ladera norte del volcán El Castillo y en parte sobre el depósito de avalancha de éste. La roca de esta estructura es de grano fino, presenta tonos desde el gris oscuro y rojizo a la intemperie, con lajamiento y en bloque tipo AA. La lava es porfírica con fenocristales de plagioclasa (15%) y ortopiroxeno (20%) y matriz fina compuesta de plagioclasa y escaso vidrio. Se observan texturas de desequilibrio (manteado, cedazo y márgenes de corrosión) afectando a las plagioclasas. Contiene glomerocristales de plagioclasa de diversos tamaños con un marcado zoneamiento y extinción ondulante. El ortopiroxeno se presenta de formas tabular, rombo y octagonal, se encuentra en buen estado y en ocasiones se asocia con los cristales de plagioclasa formando glomerocristales.

## II.2 Sector Taxhimay

### II.2.1 Volcán Las Animas

El Volcán Las Animas se encuentra al oeste del valle de Taxhimay y al suroeste del CVSCN (Fig. 3). Es una estructura volcánica elevada (3,050 metros sobre el nivel del mar), que tuvo un desarrollo semejante al de los volcanes del CVSCN. Sin embargo, dada su ubicación (separado del CVSCN), se prefirió agruparlo con las unidades del sector Taxhimay.

El volcán Las Animas al igual que los volcanes del CVSCN tuvo una erupción del tipo St. Helens, la cual provocó el desplome del flanco SE del volcán. La geoforma actual corresponde al de un escarpe de colapso con forma de herradura, cuya abertura está dirigida hacia el SE. La dirección de los productos piroclásticos y de colapso coincide con la orientación de la abertura de la herradura. La zona de colapso está representada por un grupo de "hummocks" de lava, posiblemente de composición dacítica, hasta con 1.5 km de diámetro, que presentan una distribución caótica dentro del contorno inferior definido por el escarpe semi-circular de colapso. La secuencia piroclástica está descrita más abajo como la toba Las Animas. Posterior al colapso, un domo se emplazó dentro de la abertura dejada por el colapso. Este domo se describe como la unidad Domo Iglesias Viejas.

Los flancos que se preservan del volcán están compuestos por derrames de lava de composición intermedia, probablemente dacítica. En afloramiento la roca es gris clara a rosada con una marcada foliación interna de flujo y bandeamiento paralelo. Presenta juntas columnares de enfriamiento con inclinaciones entre 45° y 30°. La lava es porfírica y consiste de fenocristales de plagioclasa (25%) y anfíboles (10%). Los fenocristales de plagioclasa no están corroídos, aunque tienen zoneamiento y extinción ondulante. Los fenocristales de anfíbol tienen formas tabular, acicular y hexagonal y textura de cedazo con reemplazamiento total o parcial por piroxeno y óxidos de hierro-titanio. La matriz traquítica de grano fino está constituida por microlitos de plagioclasa sana y escaso vidrio intersertal.

## II.2.2 Toba Las Animas

La Toba Las Animas es una secuencia piroclástica café clara a amarilla, con un espesor aproximado de 42 m, que se ubica al sur del colapso del volcán Las Animas. La toba consiste en su base de una ignimbrita café clara con abundantes bloques de pómez densa (poco vesiculada), rica en biotita hexagonal café oscura y anfíboles; con una matriz de ceniza devitrificada con biotita hexagonal café oscura y dorada, cuarzo y feldespato. Le sobreyace una serie de depósitos piroclásticos que no fueron diferenciados, de color amarillo-ocre, muy intemperizados. Aparentemente son principalmente depósitos de caída (Fig. 12).

## II.2.3 Lahar Las Animas

El Lahar Las Animas yace sobre la toba Las Animas. El depósito es gris claro, de forma masiva y con espesor aproximado de 15 m. El lahar está soportado por bloques de dacita blanca con diámetros menores a los 30 cm y escasa matriz. Esta bien compactado por lo que puede clasificarse como semi-cohesivo (Fig. 12).

## II.2.4 Domo Iglesias Viejas

El Domo Iglesias Viejas es un domo andesítico emplazado dentro del cráter producido por el colapso que destruyó el flanco SE del volcán Las Animas. La roca es gris oscura al intemperismo y gris clara al fresco. La lava es porfírica, constituida por fenocristales de plagioclasa (18%), clino y ortopiroxeno (10%) y olivino (3%). Los fenocristales de plagioclasa de varios tamaños presentan texturas de desequilibrio (cedazo, huellas de corrosión y bordes de reacción). Los fenocristales de clino y ortopiroxeno por lo general están en buen estado, aunque algunos presentan huellas y bordes de corrosión. El olivino es opaco y es el fenocristal de menor tamaño. Por lo regular los fenocristales están agrupados en glomerocristales. La matriz es de grano medio, compuesta por microlitos de plagioclasa sana, olivino opaco y vidrio oscuro.

## II.2.5 Toba Taxhimay

La Toba Taxhimay es una secuencia piroclástica que se ubica en el valle al sur del CVSCN y que aflora en los paredones cavados en el embalse de la presa Taxhimay. Esta toba se encuentra sobreyaciendo a los depósitos de colapso y piroclásticos de los volcanes del CVSCN. Esta unidad está compuesta por paquetes ignimbriticos intercalados con depósitos sedimentarios fluviolacustres. No aflora la base pero el espesor expuesto tiene aproximadamente 35 m. Los estratos piroclásticos son generalmente tabulares de color rosado, café claro y amarillo ocre. Están constituidos por lapilli pumítico grueso a ceniza fina, cuarzo, anfíbol y líticos diversos, todos éstos angulosos a subangulosos (Figs. 13 y 14). Esta unidad se caracteriza por tener un estrato índice (ignimbrita Taxhimay, Fig. 15). La ignimbrita Taxhimay es gris clara a rosada y tiene un espesor variable entre 2.5 a 5.5 m. Está constituida por esquirlas de vidrio (95%), pómez y líticos diversos (ambos 5%, Figs. 13 y 16).

## SECCION LAS ANIMAS (S3)

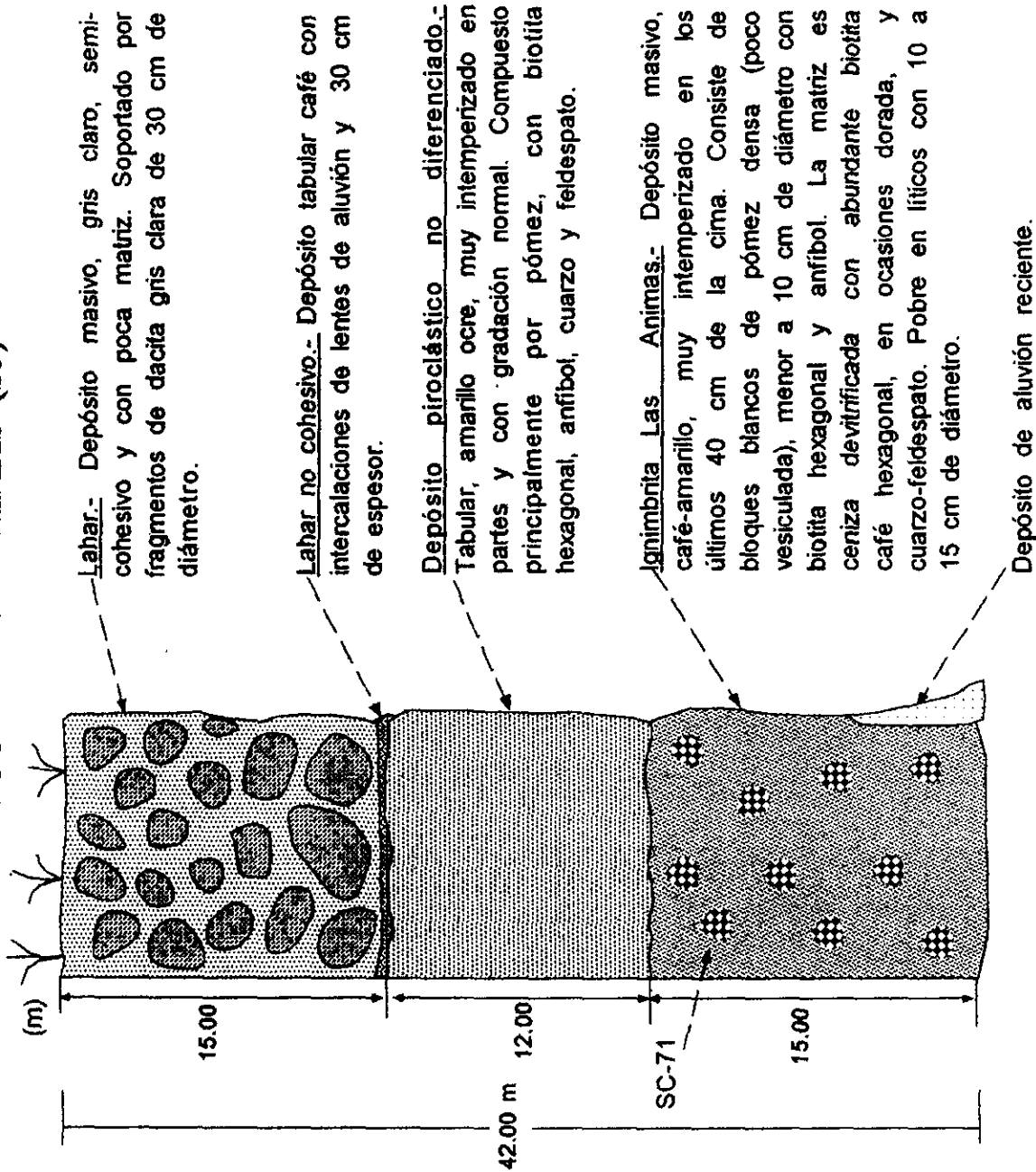


Fig. 12.- Sección estratigráfica Las Animas (S3), con espesor total de 42 m.  
Base : 19° 45' 29" Lat. N, - 99° 30' 15" Long. W

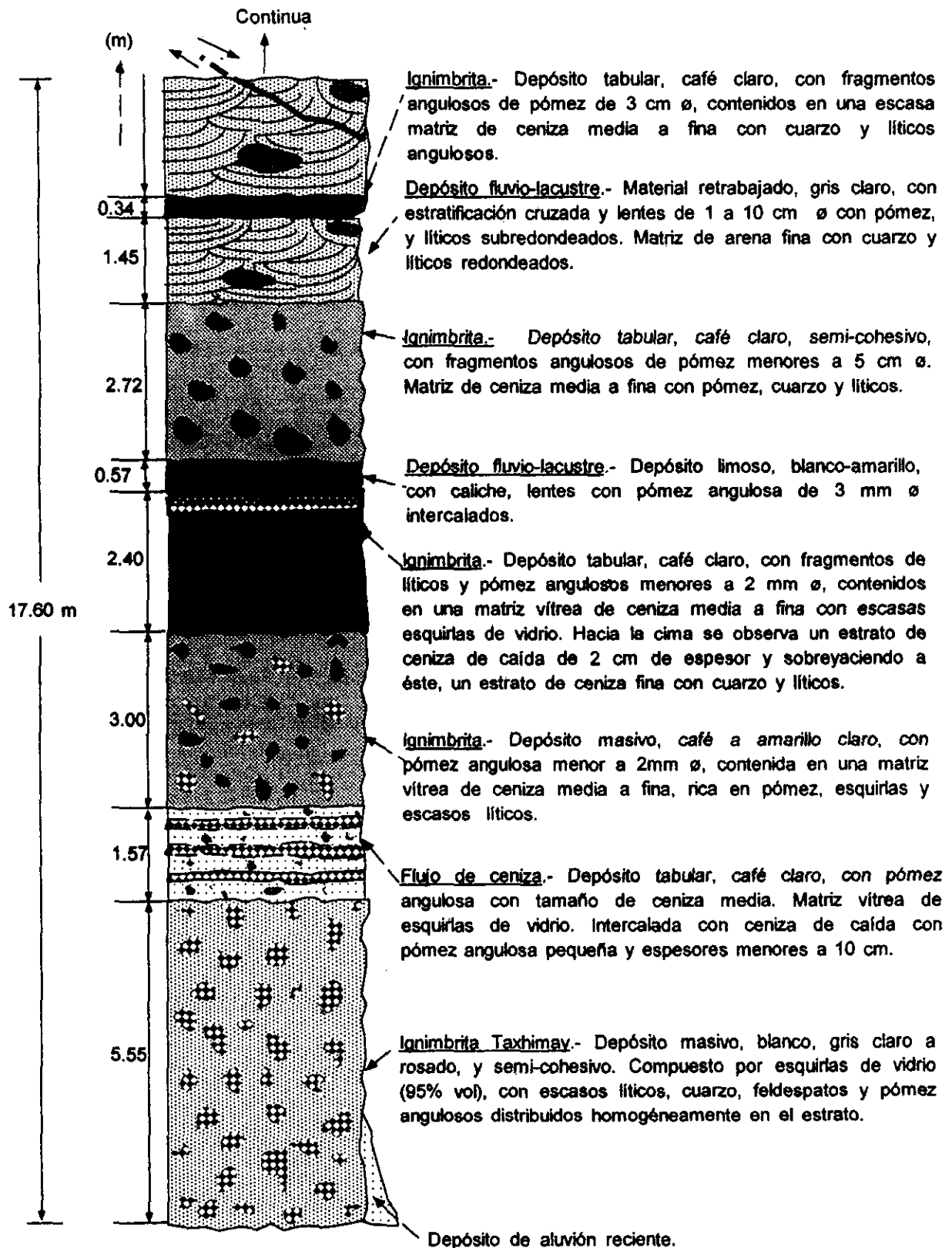
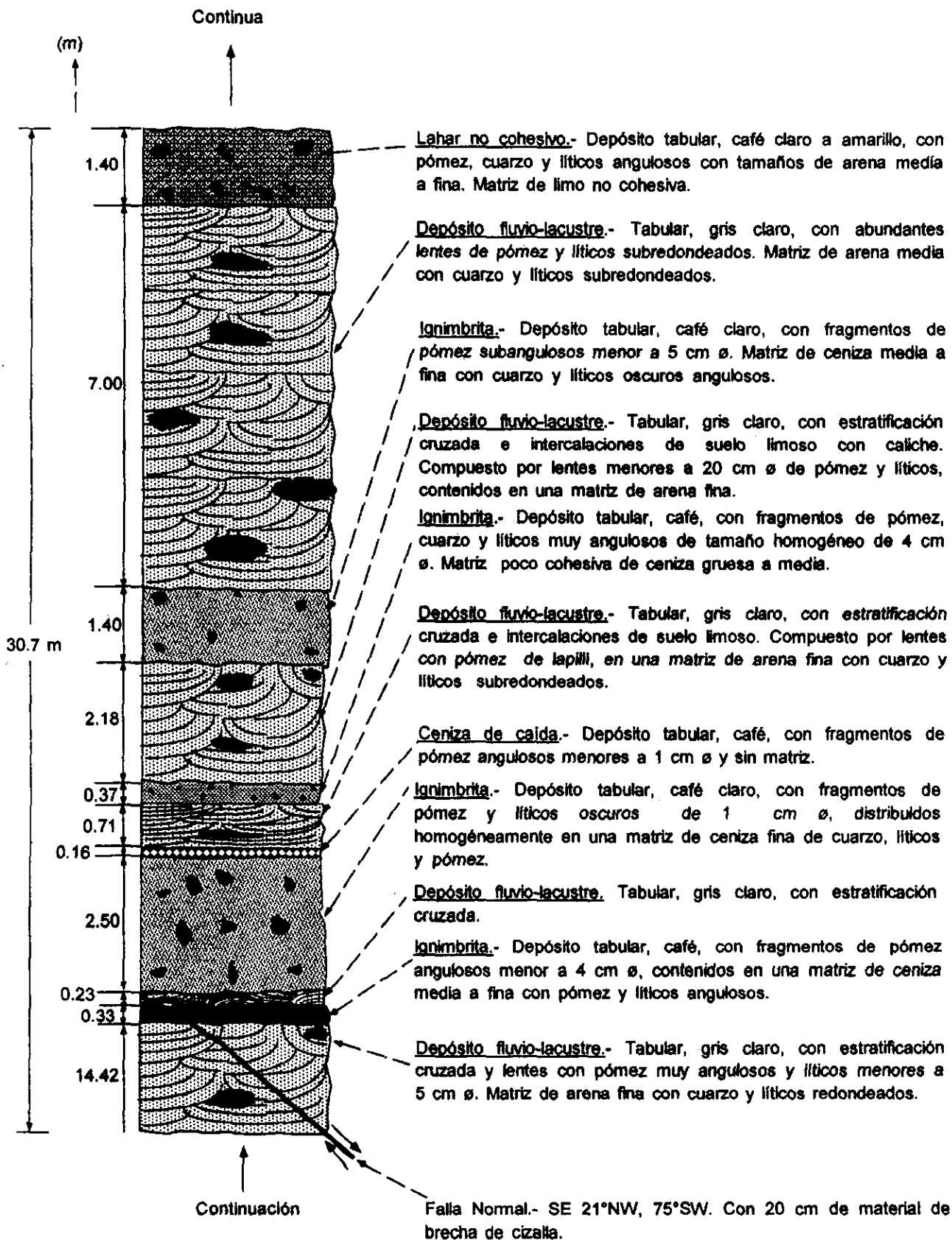
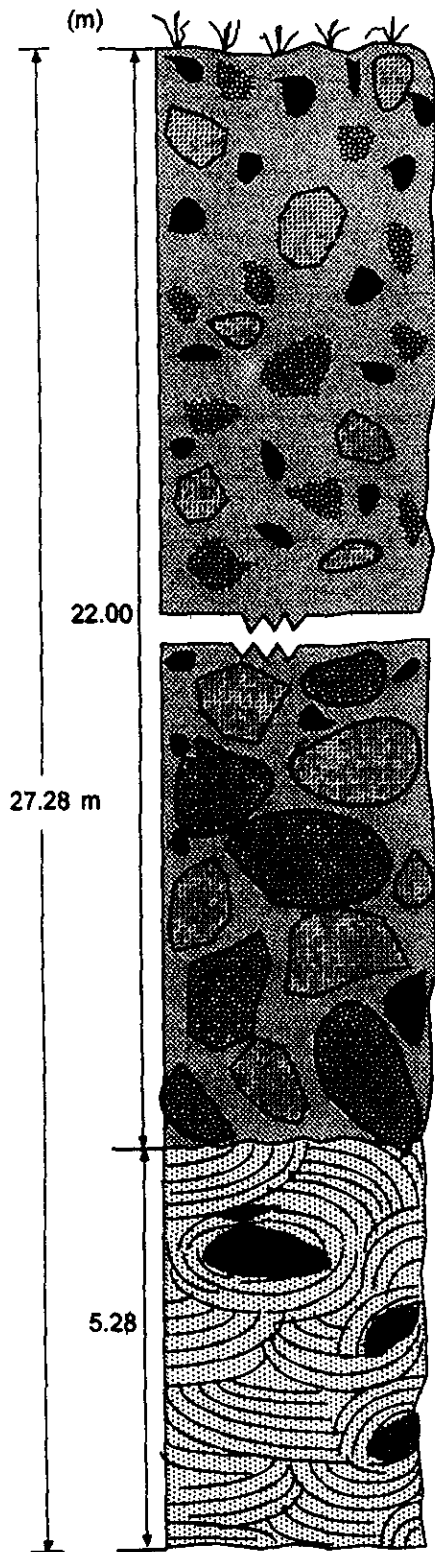


Fig. 13.- Sección estratigráfica Tipo Taxhimay (S4), con espesor total de 75.58 m.  
Base: 19° 49' 26" Lat. N , 99° 25' 02" Long. W



## SECCION TIPO TAXHIMAY (S4)



Lahar.- Depósito masivo, gris claro a oscuro, con gradación normal. Consiste de abundantes líticos de varios tipos ( dacita clara, dacita roja, andesita afanítica gris oscuro y escoria con alteración hidrotermal), con 0.02 a 2 m  $\phi$ . Predomina la dacita clara y rojiza con anfíboles. Matriz semi-cohesiva de arena fina a limo de cuarzo y líticos.

Depósito fluvio-lacustre.- Tabular, gris claro a oscuro, con estratificación cruzada, lenticular e intercalaciones de horizontes de suelo limoso. Contiene lentes de 5 a 30 cm  $\phi$  con pómez redondeada y líticos diversos subredondeados. Matriz de arena media a gruesa de cuarzo, feldespatos y líticos diversos subredondeados.

↑  
Continuación

# SECCION LA PRESA TAXHIMAY (S5)

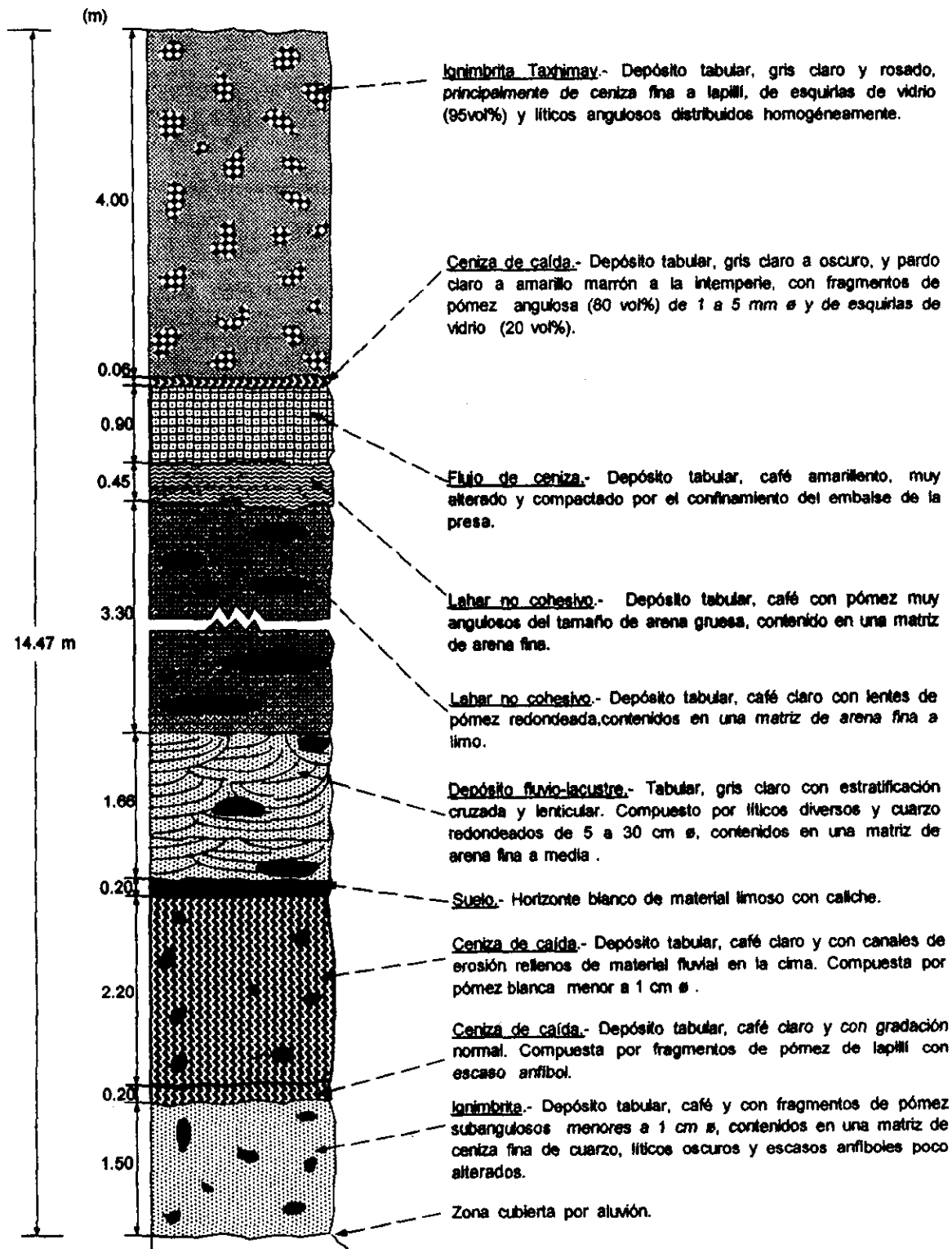


Fig. 14.- Sección estratigráfica La Presa Taxhimay (S5) con espesor total de 14.47 m. Base: 19° 49' 19" Lat. N, - 99° 23' 45" Long. W



# CORRELACION ESTRATIGRAFICA DEL SECTOR TAXHIMAY

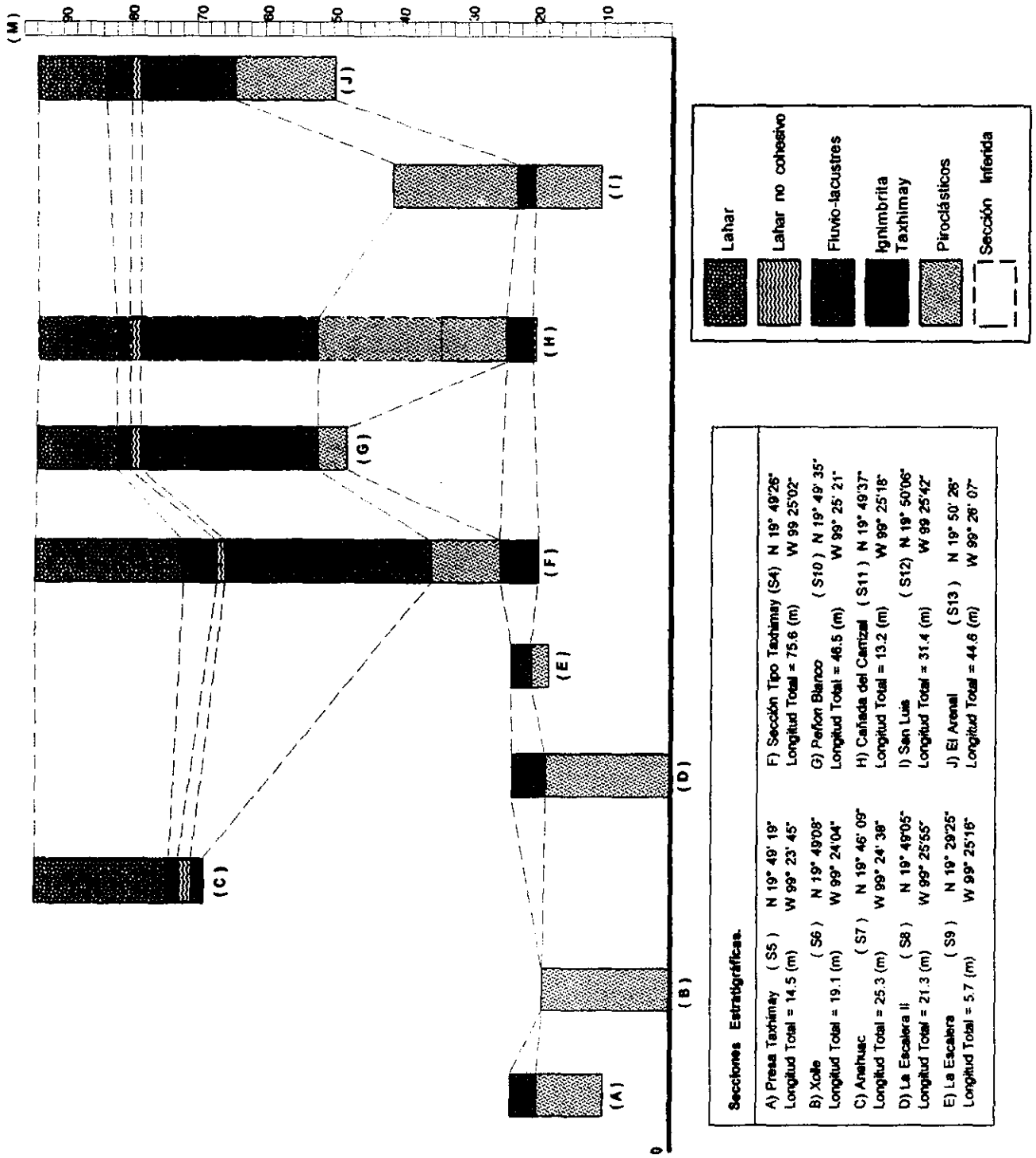


Fig. 15.- Cuadro de correlación estratigráfica del sector Taxhimay que muestra los estratos índice.

## SECCION CAÑADA DEL CARRIZAL (S11)

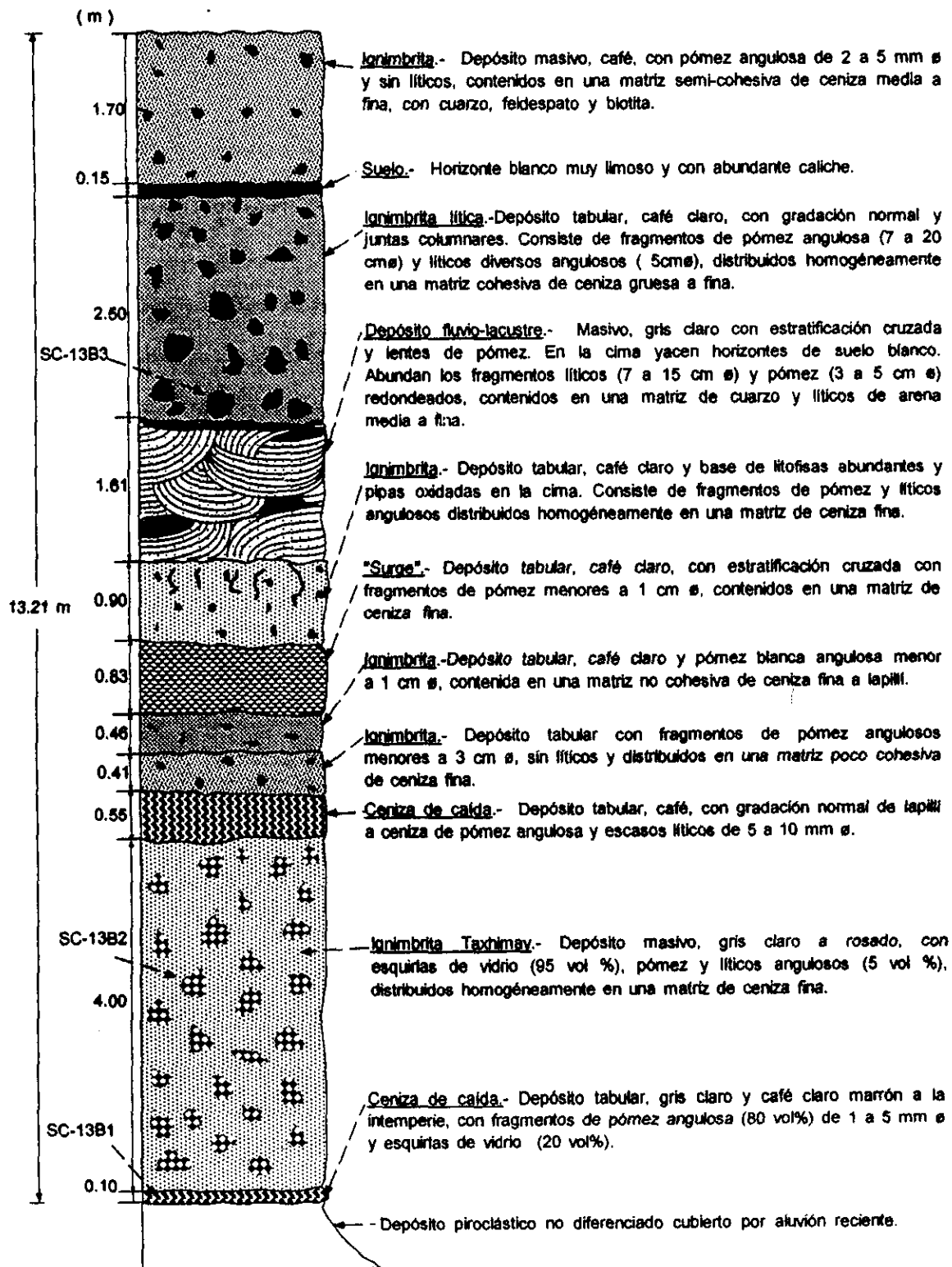


Fig. 16.- Sección Estratigráfica Cañada del Carrizal (S11) con espesor total de 13.21 m. Base: 19° 49' 37" lat. N , - 99° 25' 18" long. W

## II.2.6 Depósitos Fluvio-lacustres Taxhimay

Se denomina como Depósitos Fluvio-lacustres Taxhimay a una secuencia sedimentaria, estratificada, que yace sobre la toba Taxhimay. A diferencia de esta última, en los depósitos fluvio-lacustres Taxhimay predominan los depósitos retrabajados y sedimentarios, aunque también incluyen depósitos piroclásticos intercalados, principalmente de flujo. Tienen un espesor aproximado de 80 m. Los depósitos fluvio-lacustres no están diferenciados. Algunos tienen estratificación cruzada y lenticular.

En la mitad inferior de la secuencia los depósitos fluviales son de color gris claro a amarillo con un espesor total no mayor a los 15 m, donde predomina la estratificación cruzada y los lentes compuestos de líticos diversos y pómez. Estos depósitos incluyen cuarzo, feldespatos, pómez y bloques de líticos diversos, así como matriz de arena media a fina. Con frecuencia se observan horizontes de suelo limoso y caliche con espesores menores a los 15 cm intercalados en la secuencia (Fig. 13).

En la parte superior de la secuencia predominan los depósitos de lahar no cohesivo de color café claro, individualmente con 1 a 2 m de espesor, interestratificados con depósitos fluvio-lacustres. Los depósitos de lahar no cohesivo están compuestos de abundantes líticos diversos y pómez de 5 a 15 cm de diámetro y una matriz semi-cohesiva de arena gruesa a limo (Fig. 17).

## II.2.7 Lahar Taxhimay

El Lahar Taxhimay es un depósito de lahar, gris claro a oscuro y con espesor aproximado de 22 m, que sobreyace al depósito fluvio-lacustre Taxhimay. Está constituido por líticos diversos y de tamaños entre 0.02 a 2 m de diámetro. Abundan los líticos de lava gris clara o roja, porfírica y probablemente dacítica con líticos de lava gris oscura, afanítica y posiblemente andesítica, contenidos en una matriz cohesiva, con tamaños de arena fina a limo. En la base del depósito se observan bloques de ignimbrita roja a naranja con 3 m de diámetro, rica en fragmentos de pómez con anfíboles (Figs. 13 y 17).

## II.3 Sector Poza Honda

### II.3.1 Basalto Arboleda

El Basalto Arboleda es un derrame de lava que subyace a la Toba Arboleda (descrita más abajo) y que aflora en el fondo del cañón del mismo nombre (Fig. 18), en el margen NE del CVSCN. La roca es gris oscuro y se presenta como lava en bloques o lajeada. Es de textura afanítica, con fenocristales de olivino (5%) y plagioclasa (15%). Los fenocristales de olivino son pequeños y la mayoría están alterados a iddingsita. Los fenocristales de plagioclasa son escasos y están sanos. La matriz es cristalina, de grano medio, compuesta por microlitos de plagioclasa generalmente más grandes que los cristales de olivino.

## SECCION ANAHUAC (S7)

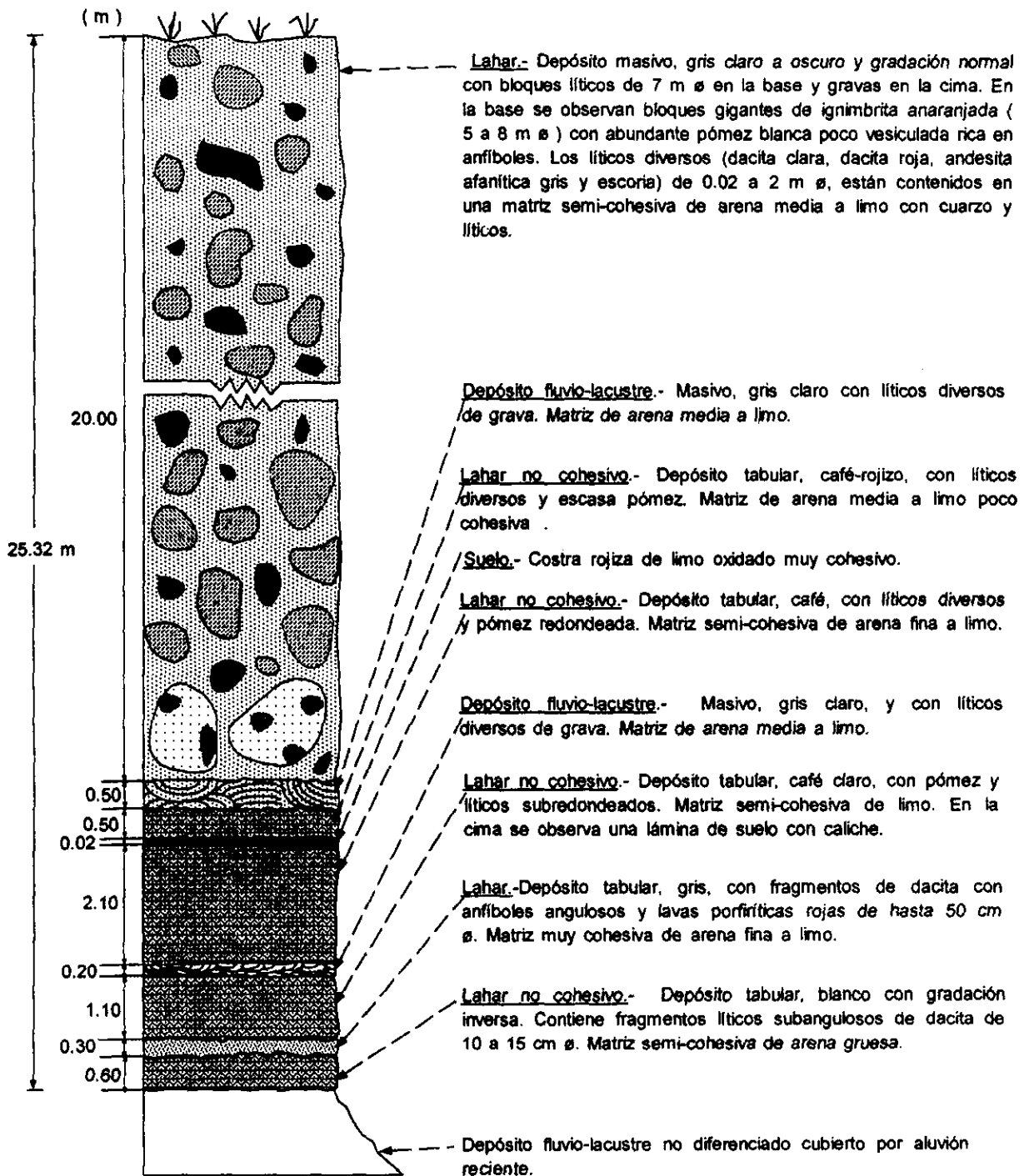


Fig. 17.- Sección estratigráfica Anahuac (S7) con espesor total de 25.32 m.  
Base : 19° 46' 08" Lat. N , - 99° 24' 36" Long. W

## SECCION LA ARBOLEDA (S14)

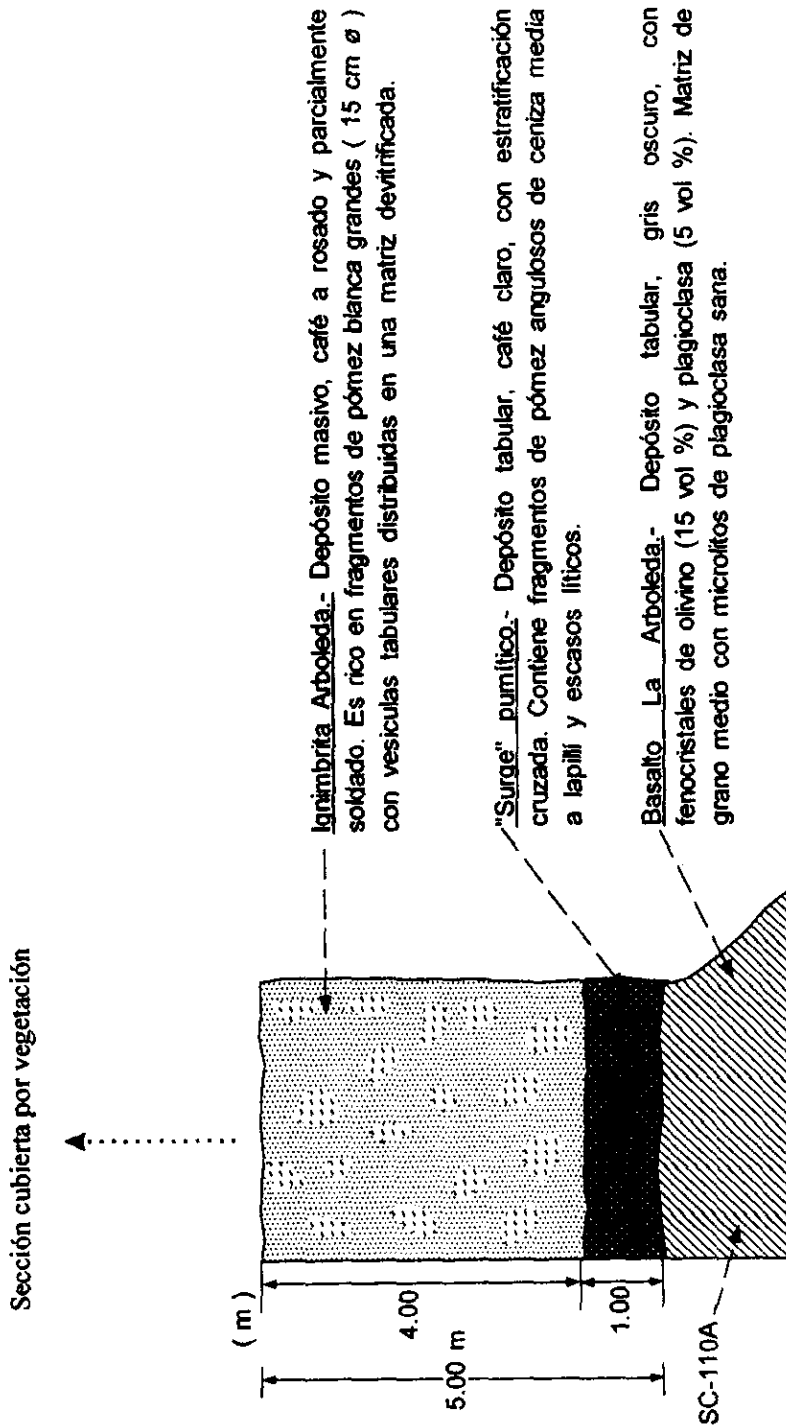


Fig. 18.- Sección estratigráfica La Arboleda (S14) con espesor total de 5 m.  
Base: 19° 57' 24" Lat. N y - 99° 26' 46" Long. W

### II.3.2 Toba Arboleda

La Toba Arboleda es una secuencia piroclástica que aflora en el límite NE del CVSCN. La secuencia incluye dos unidades de ignimbrita, depósitos tipo “surge” y depósitos de lapilli fino de pómez y ceniza de caída. Las dos ignimbritas están localmente separadas por un derrame de lava máfica vesicular, lo que indica que estos productos fueron emitidos de manera discreta separada y no sucesivamente en una sola erupción. El derrame de lava sobrecalentó la ignimbrita subyacente, ocasionando una distintiva franja endurecida y naranja ladrillo en la parte superior de ésta de hasta 60 cm de espesor.

La ignimbrita inferior tiene tonalidades gris claro, blanco y rosado y está compuesta por fragmentos de pómez blanca con vesículas tabulares de hasta 20 cm de diámetro, contenidos en una matriz devitrificada y parcialmente soldada. El derrame de lava que le sobreyace es de color gris oscuro, de forma tabular y 3 m de espesor. Está constituida por fenocristales de olivino (10%), clinopiroxenos (5%) y plagioclasa (5%). Por la abundancia de olivino es probable que la roca sea de composición basáltica. El olivino es anhedral-subhedral y de varios tamaños, reemplazados por iddingsita. El clinopiroxeno por lo regular es más pequeño que los microlitos de plagioclasa y presenta texturas de desequilibrio (cedazo, manteado y bordes de reacción). La matriz cristalina es de grano grueso y textura traquítica, compuesta por microlitos de plagioclasa sanos.

Sobre este derrame yace una ignimbrita gris claro de 15 m de espesor, endurecida pero sin soldar y muy intemperizada. Es rica en fragmentos de pómez blancos (1 a 2 cm) contenidos en una matriz de ceniza devitrificada. En la parte superior se observa una secuencia de “surges” con abundantes fragmentos de escorias con alteración hidrotermal (Fig. 19).

### II.3.3 Andesita El Fresno

Se denomina Andesita El Fresno a un derrame de lava de composición intermedia, probablemente andesítico, que está ubicado al NE del CVSCN. Esta lava sobreyace a la toba Arboleda. El derrame es gris oscuro, con intenso lajamiento delgado y estructura en bloques. La lava es de textura porfírica muy cristalina, con fenocristales de plagioclasa (25%), clino y ortopiroxenos (15%) y olivino (5%). La plagioclasa presenta texturas de desequilibrio (cedazo y bordes de reacción). Los piroxenos (clino y orto) están en buen estado y el olivino es anhedral sano. La matriz es holocristalina, de grano grueso y compuesta por microlitos de plagioclasa sana y pigmentos de óxidos (Fig. 19).

### II.3.4 Toba Poza Honda

La Toba Poza Honda aflora en el margen N-NE del CVSCN y sobreyace a la toba Arboleda. Se trata de un paquete piroclástico masivo de color amarillo, café y naranja. Tiene un espesor menor a los 50 m. Se caracteriza por estar situada entre dos derrames de lava, donde el basalto de la cima tiene una edad de 2.4 Ma (Suter, et al., 1995). En la base del

## SECCION LOS FRESNOS (S15)

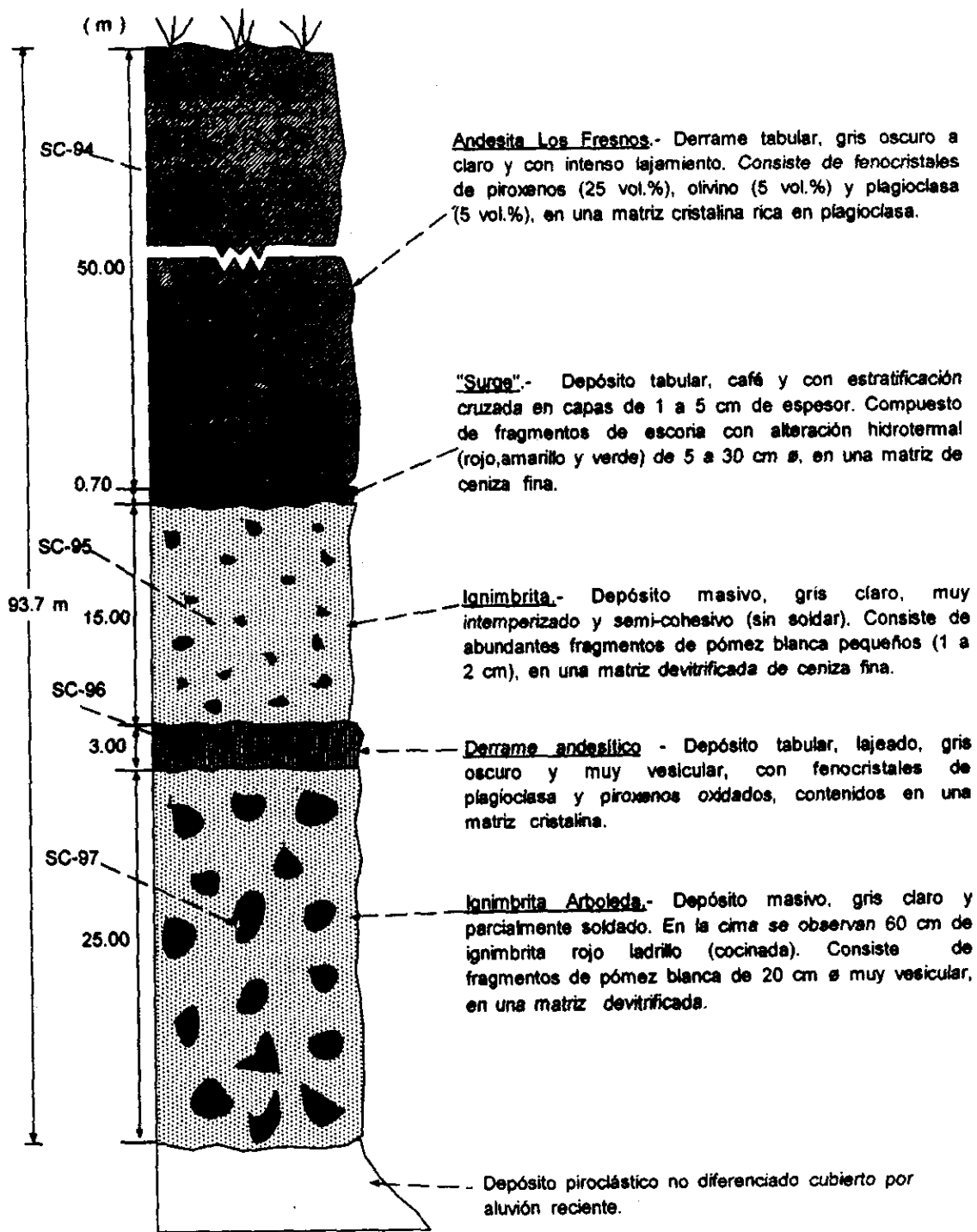


Fig. 19 Sección estratigráfica Los Fresnos (S15) con espesor total de 93.7 m.  
Base : 19° 56'40" Lat. N , - 99° 23' 50" Long. W

## SECCION POZA HONDA (S16)

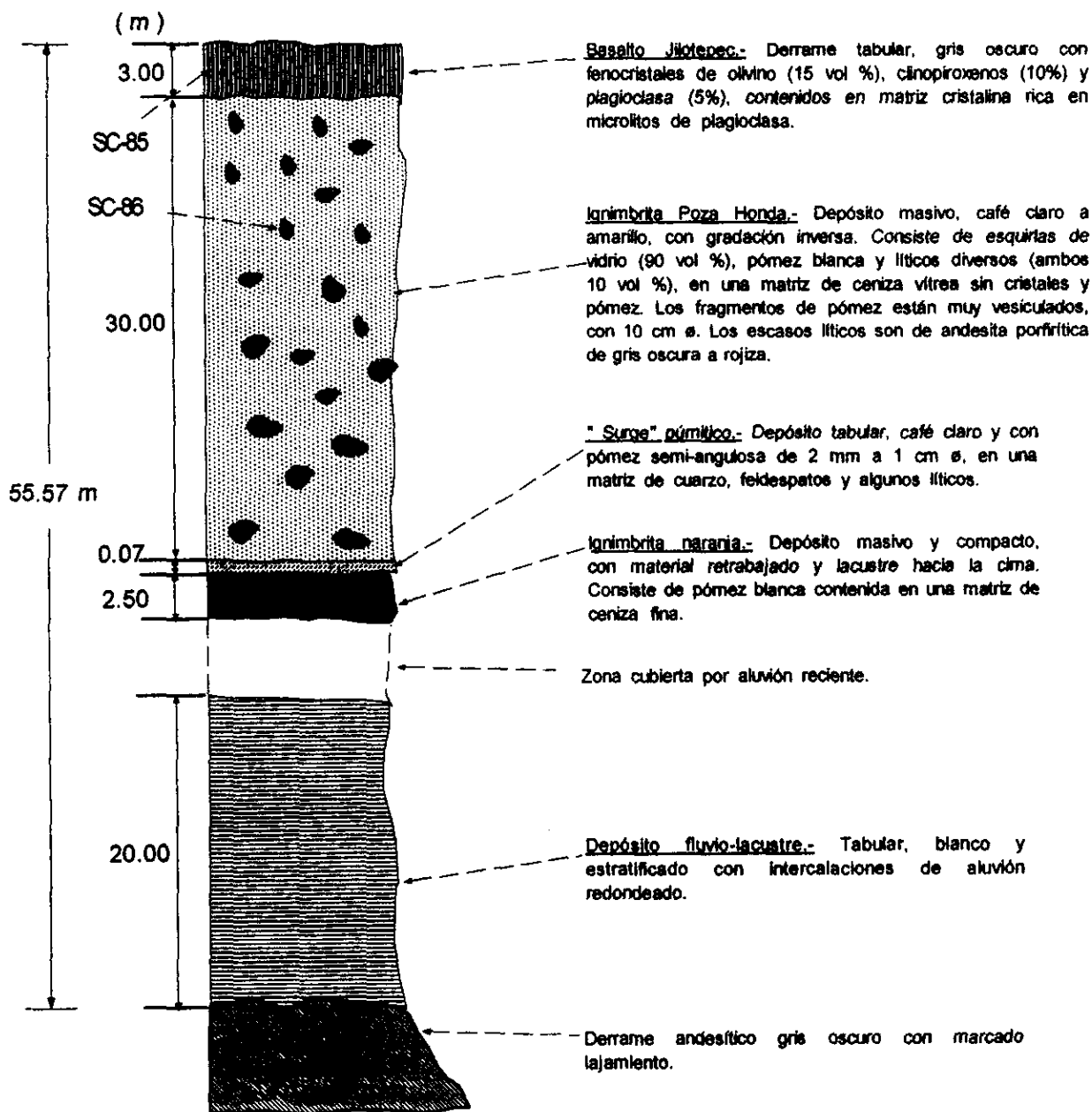


Fig. 20.- Sección estratigráfica Poza Honda (S16) con espesor total de 55.57 m. Base: 19° 58' 05" Lat. N, -99° 26' 29" Long. W



paquete se encuentra un depósito fluvio-lacustre blanco con intercalaciones de aluvión redondeado y con espesor de 20 m (Fig. 20).

El paquete ignimbrítico comprende tres depósitos. En la base se encuentra una ignimbrita compacta y masiva de color café a naranja, con un espesor de 2.5 m, compuesta principalmente de ceniza con escasos fragmentos de pómez blanca, aun vítreos, menores a los 5 cm de diámetro y distribuidos heterogéneamente a lo largo del estrato. Sobreyace al anterior depósito un “surge” pumítico de color gris y espesor de 7 cm, constituido por fragmentos de pómez semiangulosos, con tamaños entre 2 mm y 1 cm, abundantes cristales (cuarzo y feldespatos) y escasos líticos.

El tercer depósito corresponde a una ignimbrita de estructura masiva y deleznable de color café claro a amarillo pálido, con espesor de 30 m. Se encuentra sobreyaciendo al “surge” pumítico y subyaciendo a un derrame basáltico pliocénico (ver abajo). La ignimbrita está constituida principalmente por esquirlas de vidrio (90%), pómez blanca vítrea (9%) y escasos líticos diversos (1%). Los fragmentos de pómez están muy vesiculados y tienen tamaños de hasta 10 cm de diámetro. Los líticos son de andesita porfirítica gris a rojiza. Se observa una gradación inversa de la ceniza, desde la base con matriz de ceniza fina y hacia la cima con ceniza media a gruesa.

### II.3.5 Domo La Autopista

El Domo La Autopista es de composición intermedia, posiblemente andesítico, de distribución local, situado en el margen NE del CVSCN. La lava es porfirítica, café y rojo, con lajamiento horizontal a semi-vertical. La roca contiene fenocristales de plagioclasa (10%) y clinopiroxeno (15%). Los fenocristales de plagioclasa están en buen estado, con zoneamiento y extinción ondulante, aunque algunos presentan huellas de cedazo y márgenes corroídos. Los fenocristales de clinopiroxeno están sanos, por lo regular son pequeños y se confunden con los componentes de la matriz. La matriz es de grano medio y con textura de mosaico, compuesta de microlitos de plagioclasa y cristales pequeños de piroxenos sanos.

### II.3.6 Andesita Danxho

La Andesita Danxho es un derrame de composición intermedia-máfica, tal vez andesítico-basáltica, gris oscuro y vesicular, proveniente de un remanente de pequeño cono de escoria, muy erosionado, compuesto de bombas y lapilli gruesa de coloración rojiza, localizado en el extremo NW del domo El Nopal. La lava es porfirítica, con lajamiento fino, y con fenocristales de plagioclasa (25%), clino y ortopiroxenos (10%) y olivino (1%). Los fenocristales de plagioclasa tienen extinción ondulante y zoneamiento marcado algunos con huellas y márgenes de corrosión. Algunos clino y ortopiroxenos tienen texturas de desequilibrio. La matriz es de grano medio y está conformada por microlitos de plagioclasa sanos, máficos oxidados y vidrio oscuro.

### II.3.7 Basalto Jilotepec

El Basalto Jilotepec es un derrame de lava máfico, formador de amplias mesetas, que se ubica al norte del CVSCN. El basalto yace sobre la toba Poza Honda y registra una edad de 2.4 Ma, reportada por Suter et al. (1995). Se trata de una lava de grano fino, porfirítica, de color gris oscuro, autobrechada en su base, lajeada y compacta en su parte media y muy vesiculada en la cima. Se compone de fenocristales de olivino (5%), clinopiroxenos (10%) y escasos fenocristales de plagioclasa (15%). Los fenocristales de olivino se encuentran reemplazados parcial o totalmente a iddingsita, aunque algunos presentan bordes de corrosión y coronas de reacción. Los clinopiroxenos de forma tabular por lo regular se encuentran sanos. La matriz cristalina de grano grueso está constituida por plagioclasa tabular en buen estado y de tamaño uniforme.

### II.3.8 Domo El Zapote

El Domo El Zapote es un domo andesítico que se localiza en el extremo NE del CVSCN. Se encuentra intrusionando al domo La Autopista y por lo consecuente a la toba Arboleda, toba Poza Honda y basalto Jilotepec. La roca es gris oscura y presenta un lajamiento marcado. La lava porfirítica consiste de fenocristales de clino y ortopiroxenos (10%) y plagioclasas (15%). Los fenocristales de clino y ortopiroxeno tienen texturas de cedazo, bordes de reacción y están total o parcialmente reemplazados por óxidos de fierro y titanio. Los fenocristales de plagioclasa grandes presentan texturas de desequilibrio (cedazo, manteado y bordes de reacción), mientras que los cristales de plagioclasa muestran extinción ondulante y zoneamiento. La matriz es holocristalina de grano medio y textura traquítica, constituida por microlitos de plagioclasa y máficos oxidados.

### II.3.9 Domo Santa Ana

El Domo Santa Ana es un domo de composición intermedia, posiblemente dacítico, ubicado en el extremo NE del CVSCN, que subyace a depósitos lacustres. La lava es gris clara a rosada y consiste de fenocristales de anfíbol (15%) y plagioclasa (25%). Los fenocristales de anfíbol tienen forma tabular, acicular y hexagonal y presentan texturas de cedazo, con reemplazamiento completo por opacita, piroxeno y óxidos de fierro-titanio. Los fenocristales de plagioclasa se encuentran en su mayoría sanos, aunque algunos muestran márgenes corroídos. La matriz es de grano medio, textura traquítica y constituida por microlitos de plagioclasa en buen estado y vidrio intersertal.

### III GEOLOGIA ESTRUCTURAL

#### III.1 Análisis de alineamientos de trazas de falla

##### III.1.1 Sector septentrional de la Sierra de Las Cruces

Se efectuó un análisis interpretativo de lineamientos estructurales de la Sierra de Las Cruces, para identificar fallas potenciales. Para este fin, se emplearon imágenes generadas por el programa FORTRAN de García-Estrada (1997) basados en los modelos digitales del archivo de topografía Gema a escala 1:250 000 del INEGI (empleando programas de computación como el Surfer y Photo stycler). Además se verificaron dichos lineamientos con fotografías aéreas convencionales, escala 1:50,000 y 1: 25,000.

La captura de datos consistió en definir los lineamientos de posibles fallas sobre la foto-imágen. Se midieron la longitud de éstos y su orientación con base a su azimut. Con esta información se generaron rosetas convencionales, para visualizar el rumbo de las posibles fallas y el porcentaje para rumbos dominantes. Además se elaboraron rosetas que muestran la concentración, longitud y orientación de los alineamientos definidos con base a la metodología propuesta por Aguirre-Díaz (1988). Este tipo de rosetas reconocen la longitud y densidad de alineamientos por medio del aquí denominado factor DL:

El factor DL está constituido por la suma del porcentaje de densidad (D%) y el porcentaje de longitud (L%) de alineamientos, para cada cuadrante coordenado.

$$DL = (D\% + L\%)$$

En donde la sumatoria de cada factor de los cuadrantes coordenados debe ser igual a 200% ( por emplear dos razones de por ciento).

$$DL_{TOTAL} = \sum_{n=1}^4 DL_n (\%)$$

n : Número de cuadrantes coordenados.

Por último el porcentaje de densidad-longitud para cada cuadrante coordenado se obtiene por una simple regla de proporciones.

$$\frac{DL_{TOTAL}}{DL_n} = \frac{100\%}{X\%}$$

X%: Por ciento de densidad-longitud.

Se registraron un total de 152 alineamientos (Fig.21), cuyo procesamiento se hizo de la siguiente manera :

- a) Se generó una roseta convencional con todos los datos registrados.
- b) La base de datos se dividió en cuatro sectores correspondiendo a los cuadrantes coordenados.
- c) Para cada cuadrante se realizó una roseta que además de indicar orientación y concentración porcentual de alineamientos, muestra las longitudes predominantes, por medio de una malla radial referida en kilómetros.
- d) Finalmente se elaboró una roseta global asociando los datos de los cuadrantes estudiados e interviniendo el factor DL.

En el análisis de la roseta convencional, se distinguen tres sistemas de lineamientos. El sistema principal corresponde a aquellos lineamientos con rumbo NE, con un alto índice de concentración en el intervalo NE (10,20)°SW. Los otros dos sistemas comparten el mismo porcentaje de densidad pero con diferentes direcciones, NW (80,90)°SE y SW(70,80)°NE (Fig.22).

La roseta del cuadrante NE muestra una alta densidad de datos en el intervalo azimutal (10°,20°). Aunque cuenta con el promedio por longitud de lineamientos más pequeño de los tres sistemas, mantiene su rango de importancia por contener el mayor número de lineamientos por cuadrantes (Fig. 23).

El siguiente sistema con base a su concentración de lineamientos corresponde a la dirección preferencial NW(70,80)°SE. Este sistema se distingue por contener los lineamientos más largos, ya que mantiene un promedio de 8.4 km de longitud por lineamiento (Fig.24).

El sistema SW(70,80)°NE contiene el menor número de lineamientos por cuadrante. Aunque el promedio de longitud por lineamiento sea 6.8 km, contiene el lineamiento de mayor longitud con orientación Este-Oeste de los tres sistemas estudiados (Fig. 25). Este lineamiento de rumbo SW 84° 30' NE y 23 km de longitud se localiza al sur de la estructura volcánica La Bufa. (Fig. 21).

La roseta DL (Densidad-Longitud) muestra que la dirección preferencial NE (48%) es el sistema más representativo del patrón de lineamientos en la Sierra de Las Cruces Norte. Su alto índice de concentración de lineamientos con 6 km de longitud promedio, mantiene en planos secundarios a los sistemas que cuentan con mayor longitud en promedio de lineamiento, pero con menor densidad (Figs. 26 y 27).

Mediante el análisis fotogeológico y de los modelos topográficos digitales, se identificaron varios alineamientos en la región norte de la Sierra de Las Cruces. De estos resultados sólo se confirmaron ocho fallas normales en campo, de las cuales dos pertenecen al sector Poza Honda y seis al sector Taxhimay (Fig. 28 y Tabla 2).

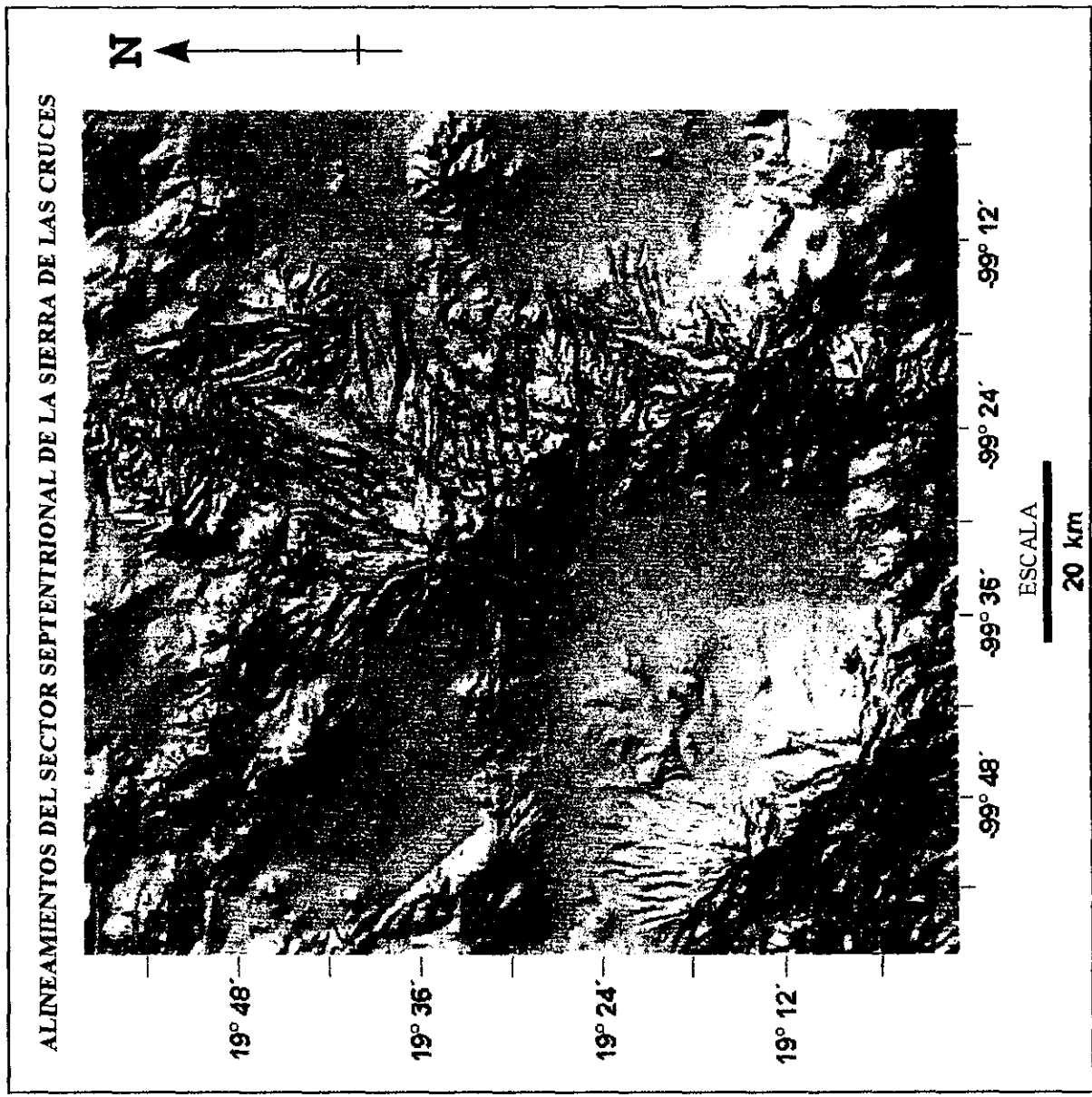


Fig. 21.- Imagen Gerna que muestra los alineamientos de trazas de falla potenciales (en amarillo) y resalta el alineamiento SW 84° 30' NE con 23 km de longitud (en rojo) a lo largo de la Sierra de Las Cruces.

# ROSETA ESTRUCTURAL DE ALINEAMIENTOS

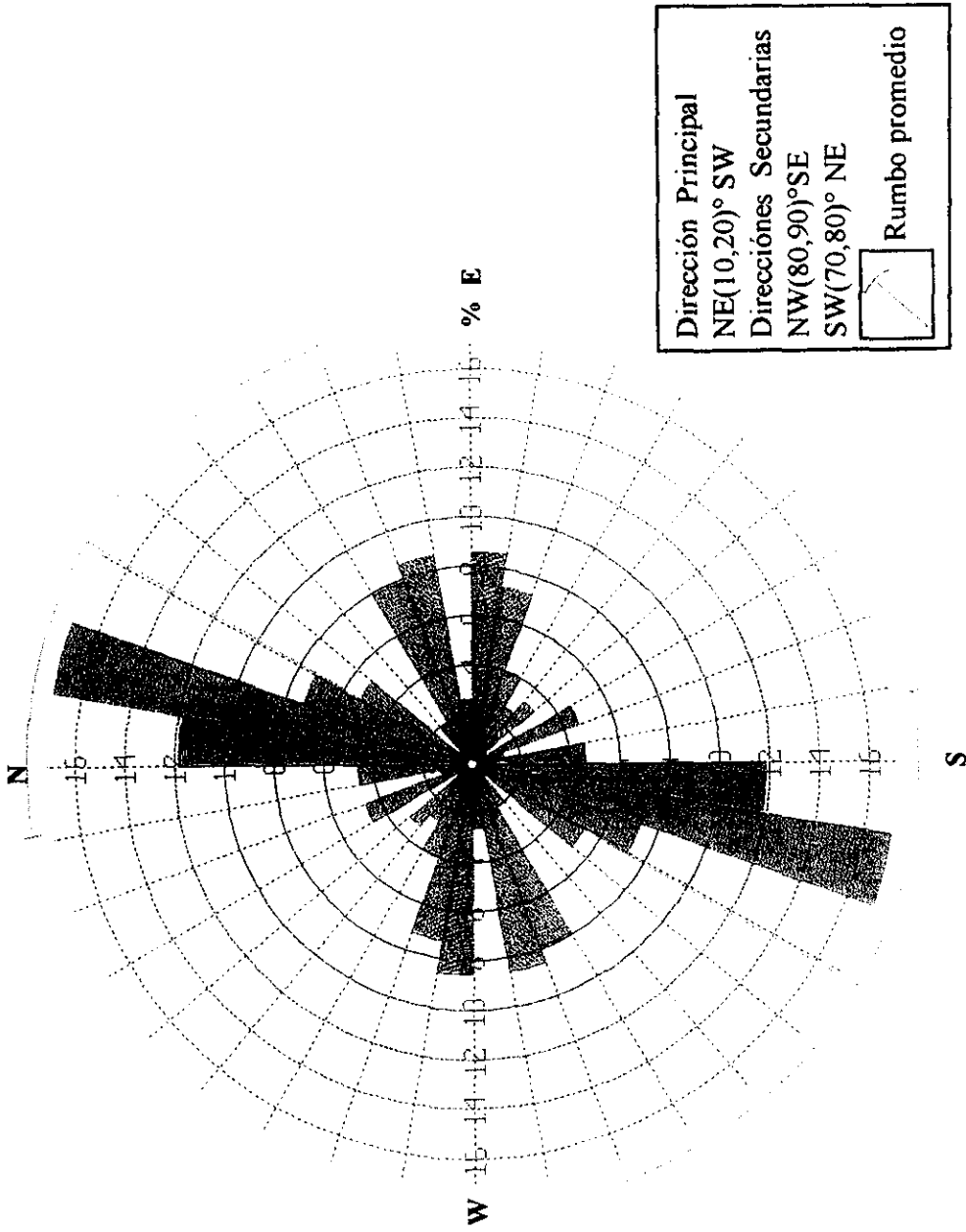


Fig. 22.- Roseta estructural convencional que presenta una dirección principal y dos secundarias de alineamientos.

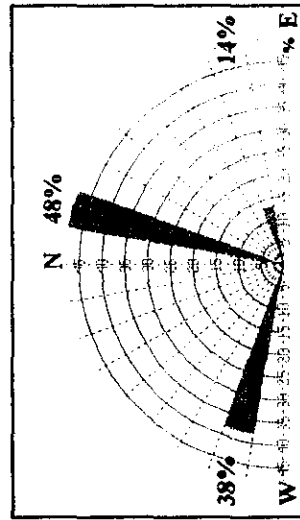
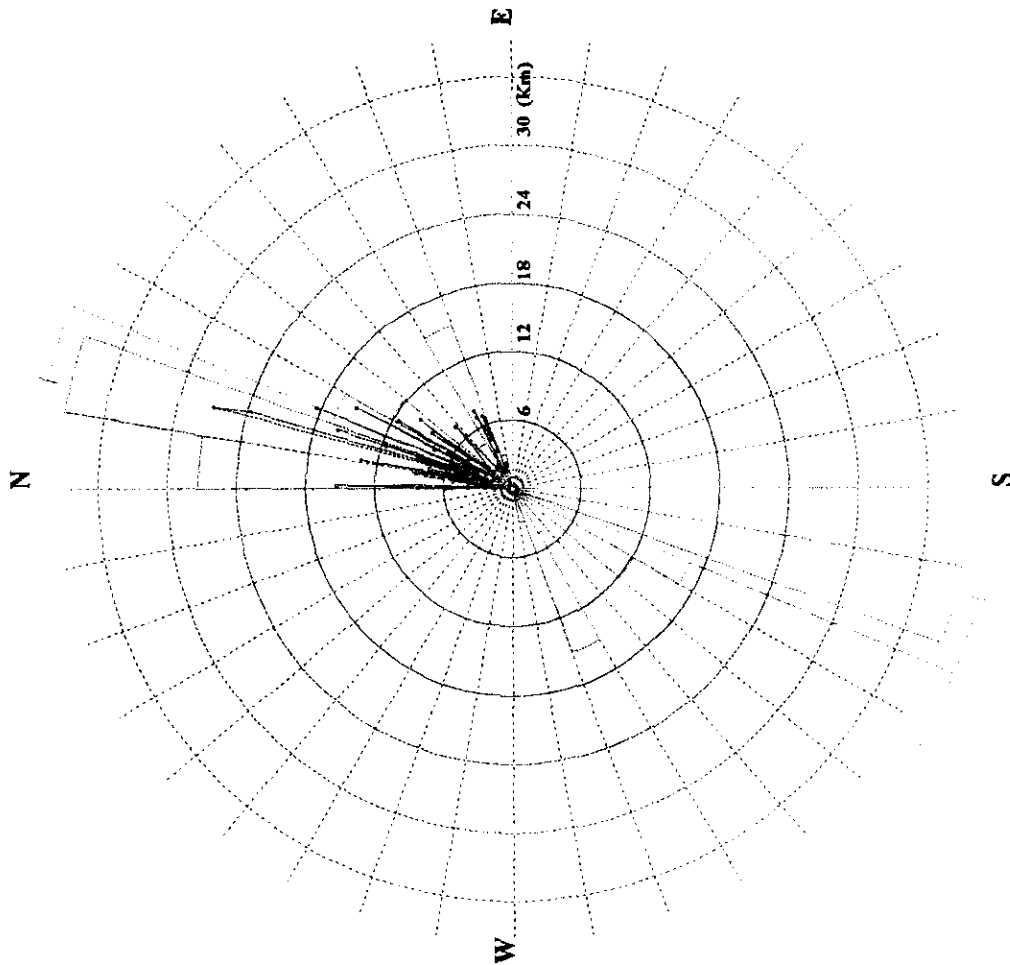
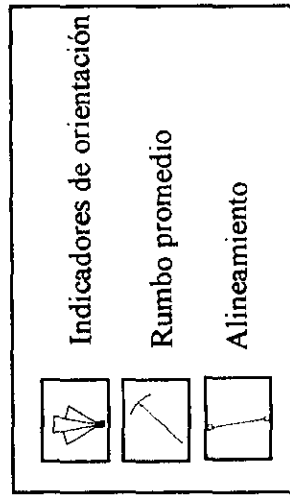
**ANALISIS ESTRUCTURAL  
ALINEAMIENTOS DE TRAZAS DE FALLA  
SECTOR NE**

Trazas de falla	Longitud (Km)	Azimid
Máxima.	27.8	15.0°
Mínima.	1.1	5.0°
Promedio.	6	23.0°

Número de trazas de falla **79**

**RUMBO PROMEDIO**  
NE 23° SW

**DIRECCION PRINCIPAL.**  
NE (10,20)° SW



Roseta DL

Fig. 23.- Roseta estructural que muestra la dirección y longitud de los alineamientos comprendidos en el cuadrante NE, así como su porcentaje de densidad-longitud en la roseta DL.

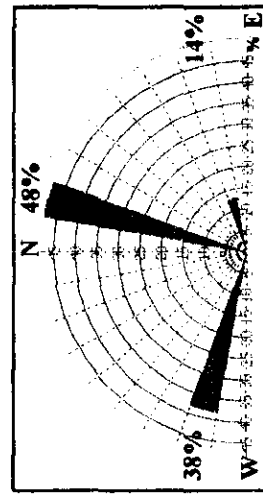
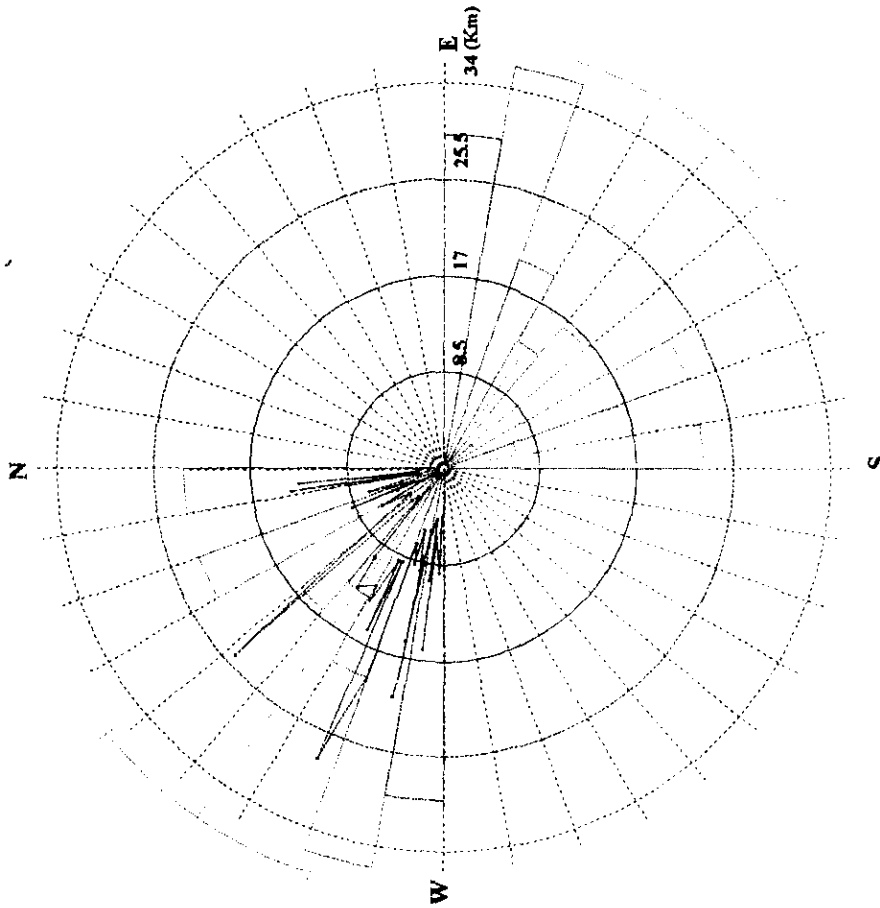
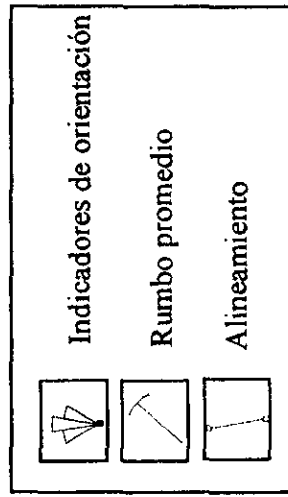
# ANÁLISIS ESTRUCTURAL ALINEAMIENTOS DE TRAZAS DE FALLA SECTOR NW

Trazas de falla	Longitud (km)	Azímuth
Máxima.	28.2	294.0°
Mínima.	1	335.0°
Promedio.	8.4	305.0°

Número de trazas de falla	52
---------------------------	----

RUMBO PROMEDIO NW 55° SE

DIRECCION PRINCIPAL NW (70,80° SE



Roseta DL.

Fig. 24.- Roseta estructural representativa del cuadrante NW que muestra la concentración, dirección y longitud de los alineamientos, así como su porcentaje de densidad-longitud en la roseta DL.



# ANÁLISIS ESTRUCTURAL ALINEAMIENTOS DE TRAZAS DE FALLA SECTOR SW

Trazas de fallas	Longitud (km)	Azímüt
Máxima.	23	264.5°
Mínima.	1.3	270.0°
Promedio.	6.8	259.0°

Número de trazas de falla	21
---------------------------	----

**RUMBO PROMEDIO** SW 79° NE  
**DIRECCION PRINCIPAL** SW (70,80)° NE

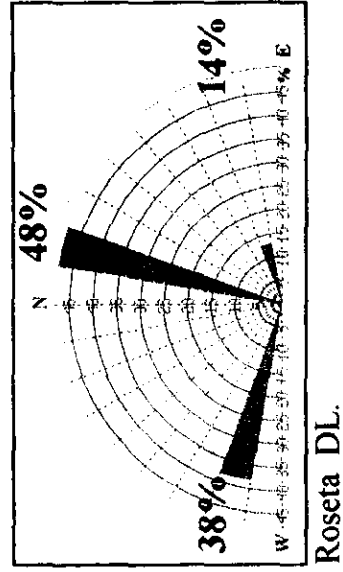
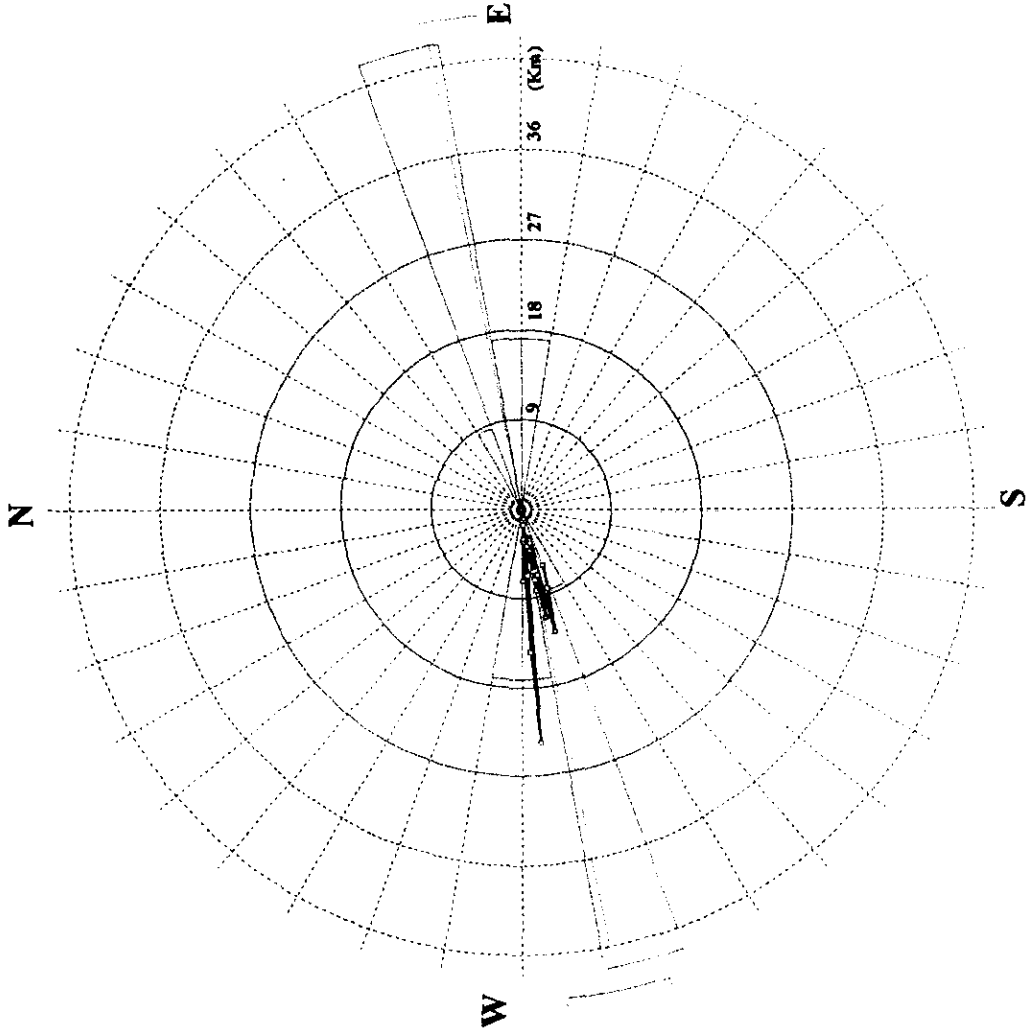
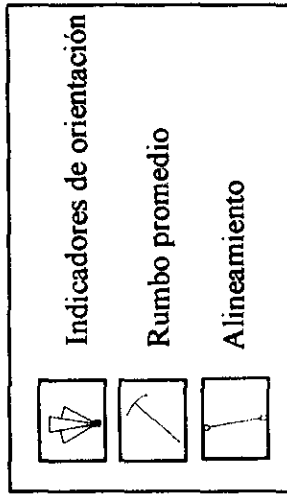
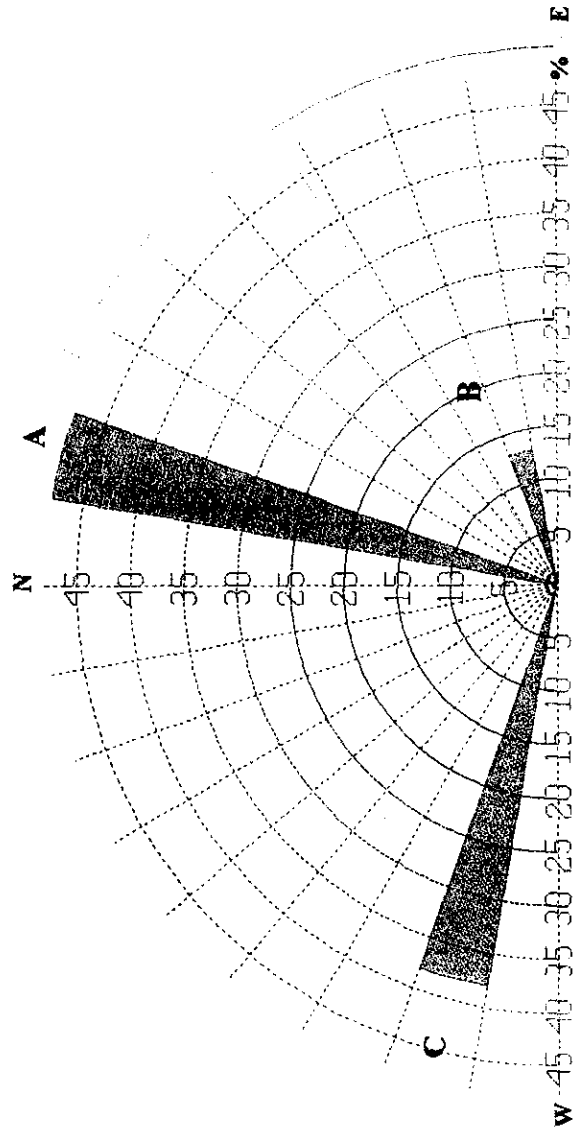


Fig. 25.- Roseta estructural que muestra la caracterización de los alineamientos en el cuadrante SW, así como su porcentaje de densidad-longitud en la roseta DL.

**ANALISIS ESTRUCTURAL  
ALINEAMIENTOS DE TRAZAS DE FALLA**

**DENSIDAD-LONGITUD (D + L)**

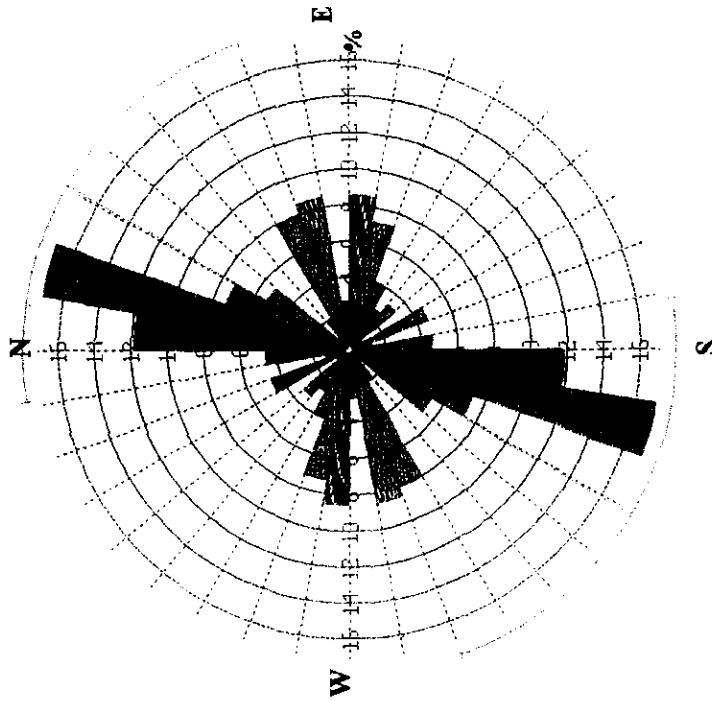


Clase	Densidad (%)	Longitud (%)	Promedio (km)	D + L	(%)	Dirección Principal
A	51.9736842	45.2569917	6.06962025	97.2306759	48.615338	NE (10,20)° SW
	13.8157895	13.5965457	6.84761905	27.4023352	13.7011676	SW (70,80)° NE
C	34.2105263	41.1564626	8.37692308	75.3669889	37.6834945	NW (70,90)° SE
<b>Total</b>	100	100		200	100	

Fig. 26 . - Roseta DL que presenta los porcentajes de densidad-longitud en las tres direcciones principales de alineamientos.

**ANALISIS ESTRUCTURAL**  
**ALINEAMIENTOS DE TRAZAS DE FALLA**

**ROSETA ESTRUCTURAL**



**ROSETA DENSIDAD-LONGITUD**  
**(D + L)**

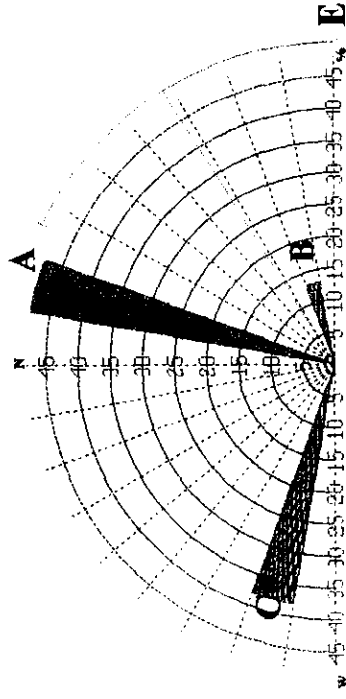


Fig. 27.- Diagrama que muestra gráficamente las diferencias entre la roseta estructural convencional (izquierda) y la roseta DL (derecha).

Sin embargo, esto no significa que sólo existan estas fallas en este sector. Seguramente se identificaría un mayor número de fallas si se realiza una investigación más detallada con enfoque estructural para verificar los alineamientos de fallas propuestos (Fig. 29).

Tabla 2.- CARACTERIZACION ESTRUCTURAL DE LAS FALLAS NORMALES DEFINIDAS EN CAMPO

SECTORES	CARACTERIZACION
SECTOR POZA HONDA	NE 43° SW, 60°SE SW 40° NE, 66° NW
SECTOR TAXHIMAY	NE 77° SW, 73°SE SW 67° NE, 58° NW SW 30° NE, 68° NW SW 64° NE, 63° NW SW 49° NE, 76° NW SE 21° NW, 75° SW



Fig. 28.- Escarpe de la falla normal SW 67° NE , 58° NW , situado al norte del sector Taxhimay, en donde se observan facetas triangulares.

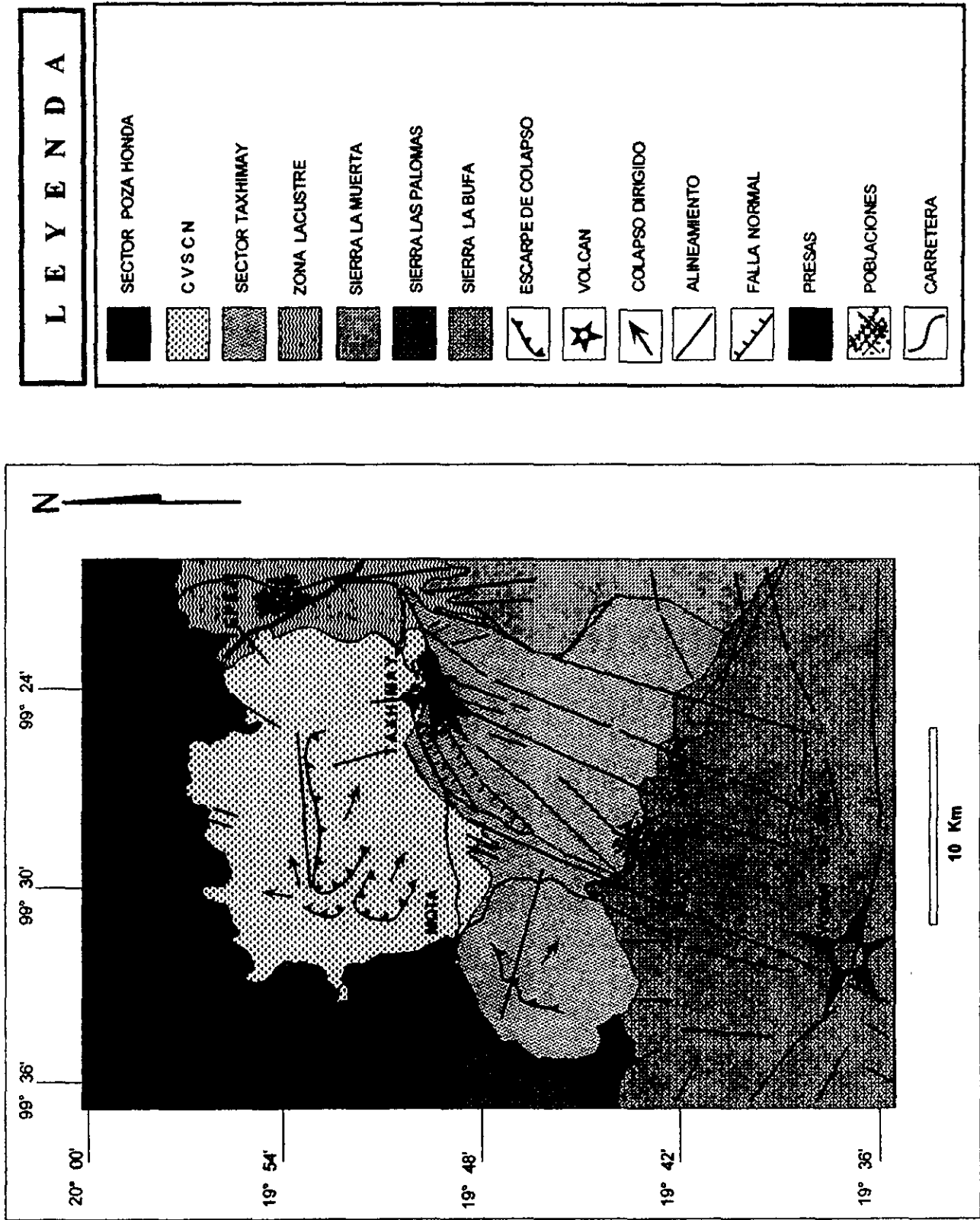


Fig. 29.- Mapa de alineamientos de trazas de falla que muestra las ocho fallas definidas en campo.

## IV. EVOLUCIÓN GEOLOGICA-ESTRUCTURAL

### IV.1 Campo Volcánico Sierra de Las Cruces Norte

El volcán El Castillo se constituyó como la estructura volcánica que forma el núcleo del CVSCN. Este volcán se edificó sobre una serie de domos andesíticos (El Chino y La Campana) al N-NE del volcán y dacíticos (El Idolo) al SE del volcán. Posteriormente en el extremo NE del domo El Idolo se emplazó un pequeño domo andesítico (El Podrido, Fig. 30). Así sobre un campo volcánico compuesto por domos, el volcán El Castillo empezó a crecer en volumen desarrollándose como un estratovolcán andesítico-dacítico de grandes proporciones. El flanco oriental del volcán se derrumbó, probablemente siguiendo un patrón similar a la erupción catastrófica del Mount Saint Helens de 1980 (Lipman y Mullineaux, 1982 ; Lauber, 1987) y más afín al colapso del volcán Jocotitlán descrito por Siebe et al., (1992). La parte derrumbada del volcán El Castillo se distribuyó en forma de “hummocks” gigantes que quedaron depositados dentro del escarpe de colapso y en las proximidades del volcán. Asimismo, se produjo una avalancha de escombros que llegó 12 km hacia el NE del centro del volcán. Junto con el colapso, posiblemente se produjo una onda de choque (blast) y un derrame piroclástico del tipo “surge”, seguidos de ignimbritas y ceniza de caída que cubren parte de los depósitos de avalancha. Este mismo material tobáceo fue removido por agua produciendo lahares que ahora forman amplias mesetas a varios kilómetros de la fuente (Figs. 31 y 32). Los domos pre-existentes (El Chino y La Campana) fueron rodeados y parcialmente sepultados por los depósitos asociados al colapso.

El volcán El Templo, fue edificado sobre los depósitos de colapso del volcán El Castillo, tal vez alimentado por la misma cámara magmática que produjo anteriormente a El Castillo. A su vez, el domo andesítico La Presa se emplazó junto al flanco SW del domo El Idolo (Fig. 33). Análogamente a El Castillo, el volcán El Templo tuvo una erupción violenta explosiva que provocó el colapso de su flanco SE y la consecuente avalancha de escombros, que bordearon el sector oeste de los domos El Idolo y La Presa (Fig.34). Asociada a esta erupción se tienen unos depósitos de pómez y ceniza de caída con una distribución hacia el SE del volcán. Posteriormente, seguramente se tuvo un período de quietud volcánica, durante la cual actuaron los procesos erosivos sobre el reciente paisaje volcánico (Fig.35).

Este lapso de quietud fue interrumpido por el surgimiento del volcán Chapa de Mota, el cual se formó sobre los flancos no colapsados de los volcanes El Castillo y El Templo. Contemporáneamente o tal vez un poco después al desarrollo del volcán El Templo, el domo andesítico El Nopal se emplazó en el flanco NW del volcán El Castillo (Fig. 36). Como los anteriores volcanes, el volcán Chapa de Mota tuvo una erupción explosiva que produjo el colapso de su flanco SE, generando “hummocks” gigantes dentro del escarpe de colapso y una avalancha de escombros que cubrió los depósitos plinianos y la avalancha del volcán El Templo (Fig. 37).

**EVOLUCION VOLCANICA  
CAMPO VOLCANICO SIERRA DE LAS CRUCES NORTE**

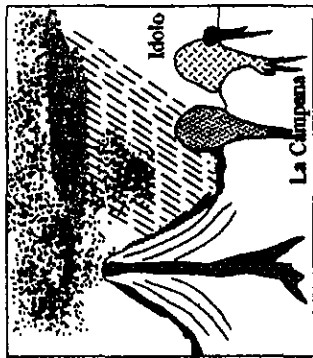


Fig. 30.- Desarrollo del volcán El Castillo.

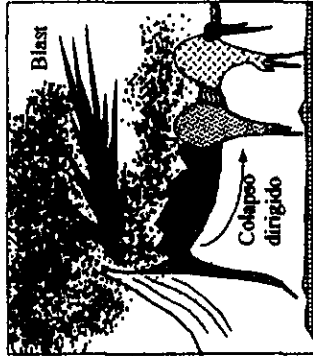


Fig. 31.- Colapso sectorial del volcán El Castillo.

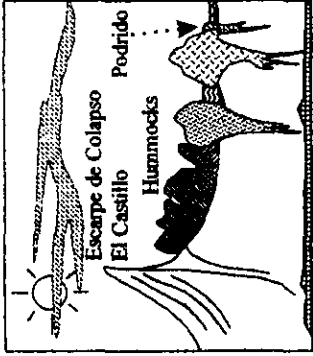


Fig. 32.- Periodo de quietud volcánica.

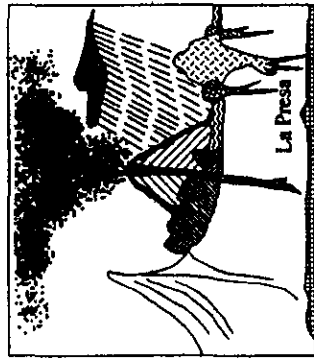


Fig. 33.- Emplazamiento del volcán El Templo.

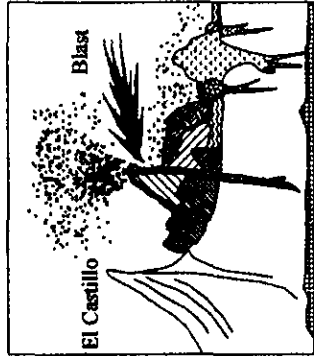


Fig. 34.- Colapso sectorial del volcán El Templo.

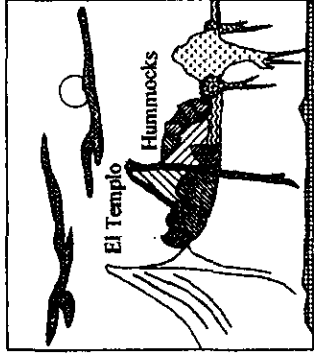


Fig. 35.- Periodo de quietud volcánica.

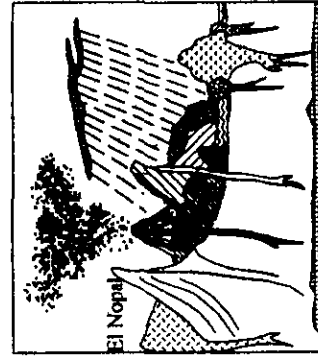


Fig. 36.- Desarrollo del volcán Chapa de Mota y el emplazamiento del domo El Nopal.

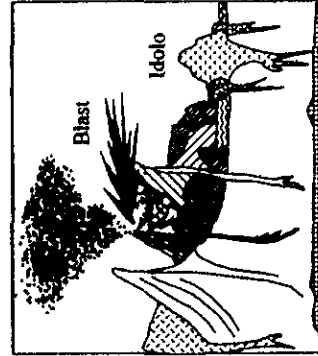


Fig. 37.- Colapso sectorial del volcán Chapa de Mota.

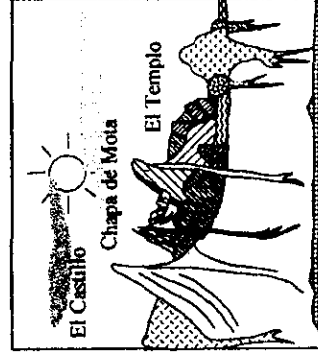


Fig. 38.- Término del volcanismo en el CVSCN.

Posteriormente sobrevino un lapso de quietud volcánica sin interrupción de los efectos erosivos en el CVSCN (Fig. 38).

Esta serie de colapsos sectoriales de los volcanes descritos son inusuales a los comúnmente reportados, pues contienen grandes bloques en el interior del escarpe de colapso, con dimensiones de varios kilómetros (hasta de 3.5 km) de longitud y que fueron formados durante el evento de colapso sectorial de cada uno de los volcanes referidos. Esta relativa rareza ya había sido mencionada en el estudio de Siebe et al. (1992) para describir el colapso y depósito de avalancha del volcán Jocotitlán, el cual está aproximadamente a 30 km al oeste del volcán Chapa de Mota; es decir muy cerca del área de estudio. Por lo tanto, estos “mega-hummocks” o bloques deslizados hacia el interior de la zona de colapso pudieran ser considerados como un rasgo peculiar de los volcanes de esta zona del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano.

#### **IV.2 Sector Taxhimay**

En el margen SW del CVSCN se edificó el volcán Las Animas sobre las avalanchas de escombros, lahares y depósitos plinianos asociados al vecino volcán Chapa de Mota. El volcán Las Animas tuvo una erupción violenta que destruyó el flanco SE de su estructura. Asociados a este evento también se produjeron depósitos de avalancha y “hummocks” así como depósitos de origen plinianos e ignimbritas que se distribuyeron hacia el SE del volcán, produciendo un escarpe de colapso semicircular y modificando el paisaje volcánico de la zona sur del CVSCN. Posteriormente, un domo andesítico, el domo Iglesias Viejas, fue emplazado dentro del escarpe de colapso (Fig. 3).

El volcán La Bufa se ubica al sur del volcán Las Animas. Se trata de una gran estructura volcánica que constituye la parte más elevada del sector norte de la Sierra de Las Cruces (3,550 msnm). Este volcán posiblemente emitió varios flujos piroclásticos y productos de tipo pliniano hacia el NE de su conducto, los cuales cubrieron los productos volcánicos de Las Animas y gran parte del relieve volcánico de la zona sur del CVSCN.

Después de este evento eruptivo, sobrevino una quietud volcánica en el sector norte de la Sierra de Las Cruces. Este ambiente favoreció la formación de una depresión rodeada por aparatos volcánicos de gran elevación. Esta cuenca fue alimentada por afluentes provenientes de los volcanes de Las Animas, La Bufa y del CVSCN. Esta cuenca no fue receptáculo de agua permanente, sino punto de convergencia de varios afluentes que construían un cauce principal que probablemente era suministro temporal de un paleo-lago que abarcaba más allá de donde se ubica Tepeji del Río (localizado en el margen este del CVSCN). Fósiles de mamíferos (los équidos *Dinohippus mexicanus*, *Neohipparion eurystyle* y el carnívoro *Machairodus*) se han encontrado en la parte superior de los depósitos lacustres, correspondiendo a una edad de 4.7 Ma (Lindsay et al., 1984; Carranza y Espinosa, 1994). Esto indica que la secuencia fluvio-lacustre y unidades subyacentes son seguramente del Mioceno medio.



Este ambiente sedimentario fue interrumpido varias veces por erupciones plinianas y flujos piroclásticos provenientes aparentemente del volcán La Bufa. Finalmente, lahares se desplazaron desde este volcán hasta bordear el volcán Las Animas, así como los flancos sur del CVSCN y parte del paleo-lago donde ahora se ubica Tepeji del Río.

Posteriormente, la región fue sometida a esfuerzos tectónicos, los cuales produjeron fallamiento de tipo normal con varias orientaciones, de acuerdo a direcciones preferenciales de esfuerzos. Así la zona norte del sector Taxhimay presenta una serie de basculamientos y desplazamientos de secuencias volcánicas y sedimentarias por fallas normales con rumbo SW-NE, con bloques caídos hacia el NW, así como por sistemas secundarios de fallas con orientación NE-SW y E-W (tabla 2).

La sección geológica C-C' (Anexo 1) muestra el desplazamiento de bloques en la zona norte de Taxhimay, en donde dos escarpes de falla circundan al deslizamiento de un bloque con 4° a 10° de basculamiento hacia el NW (Fig. 39).

### **IV.3 Sector Poza Honda**

#### **IV.3.1 Evolución geológica**

El CVSCN actuó como barrera natural contra la cual se emplazaron ignimbritas de gran volumen, domos dacíticos y derrames basálticos (basalto Jilotepec). En los cañones Poza Honda y La Arboleda se puede observar la secuencia completa. La unidad más antigua que se emplazó contra el CVSCN es un derrame de lava (basalto Arboleda). Este derrame posiblemente fue cubierto localmente por un cono cinerítico y posteriormente por una ignimbrita de grandes proporciones, la toba Arboleda, cuya fuente no ha sido determinada (Fig.40). Después sobrevino un periodo de quietud volcánica en donde los afluentes provenientes de las regiones altas de la zona norte del CVSCN, disectaron fuertemente a una planicie de material piroclástico no consolidado. A través del tiempo, esta planicie se convirtió en una pequeña cuenca que funcionó como receptora temporal de aguas pluviales, en donde se depositaron sedimentos fluvio-lacustres y pómez retrabajada (Fig. 41). Posteriormente sobrevino una erupción explosiva representada por la secuencia ignimbrítica Poza Honda. Este depósito piroclástico cubrió la secuencia fluvio-lacustre y volvió a formar una meseta de material volcánico muy deleznable (Fig. 42). Después de un lapso breve de erosión surgió un domo andesítico (Domo La Autopista), con distribución local (Fig. 43). Más adelante a los 2.4 Ma (Suter et al, 1995), un derrame de lava basáltica, de baja viscosidad (basalto Jilotepec), cubrió la secuencia anterior, para constituir una nueva planicie basáltica (Fig. 44). Posteriormente se emplazó un domo andesítico (domo El Zapote) en el extremo norte de la zona (Fig. 45).

Un evento tectónico de carácter regional ocasionó en el área de estudio un sistema de fracturamiento con orientación NE-SW, a lo largo del cual se desarrollaron fallas normales con ese mismo rumbo (Fig. 46). Este sistema regional ha sido identificado hasta el

C'

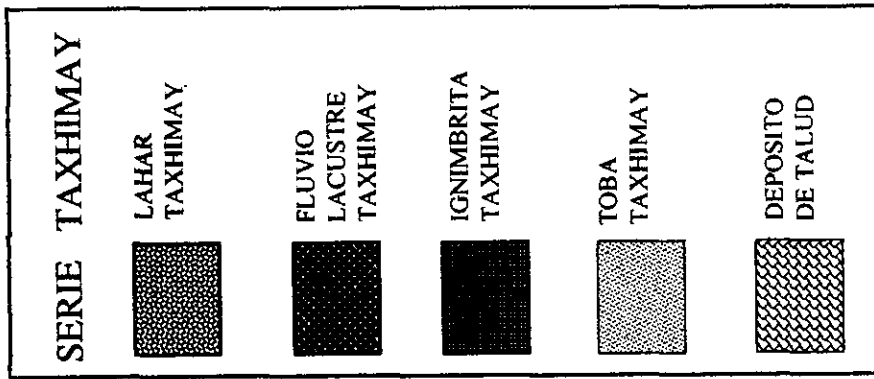
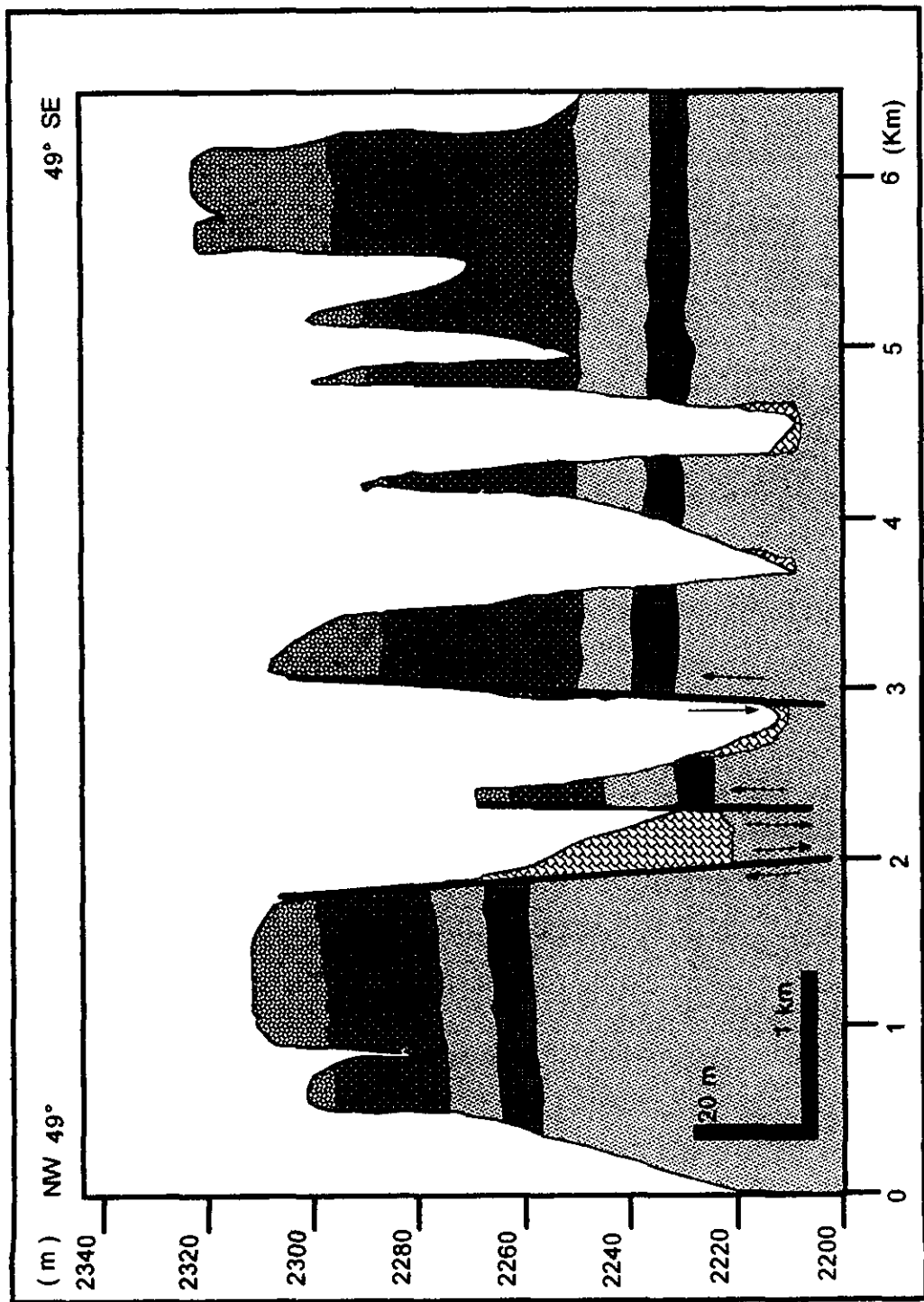


Fig. 39. - Sección geológica de la zona norte del sector Taxhimay que muestra el desplazamiento de las secuencias volcánicas y sedimentarias.

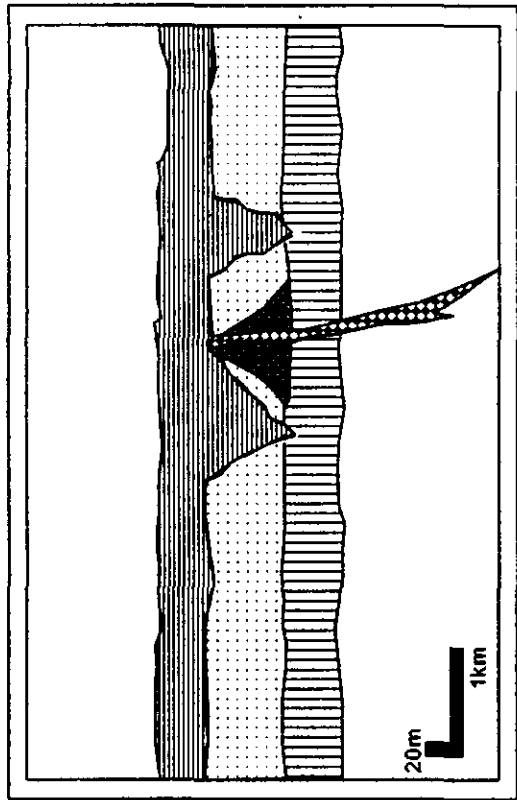


Fig. 41.- Secuencia fluvio-lacustre sobre depósitos piroclásticos.

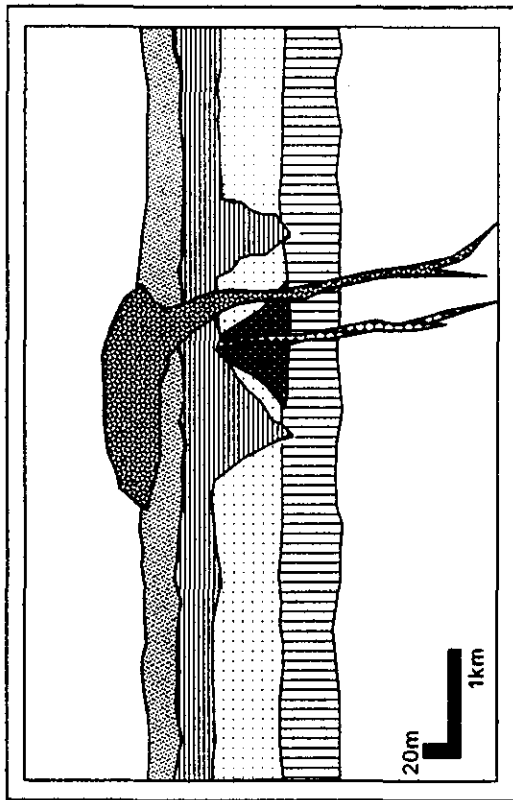


Fig. 43.- Desarrollo del domo La Autopista.

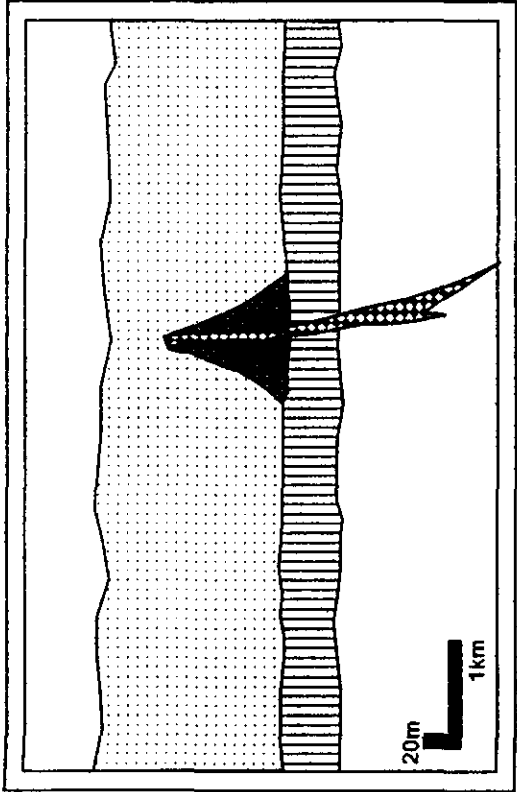


Fig. 40.- Emplazamiento de la ignimbrita Arboleda sobre el basalto Arboleda y cono de escoria.

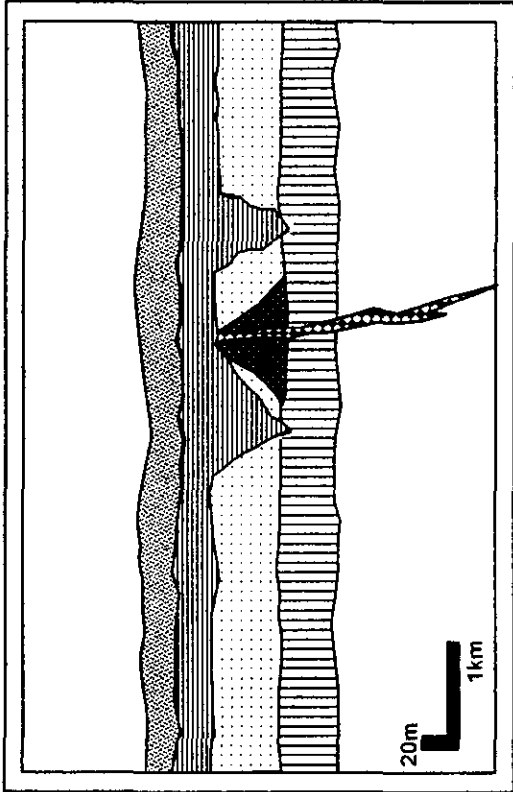
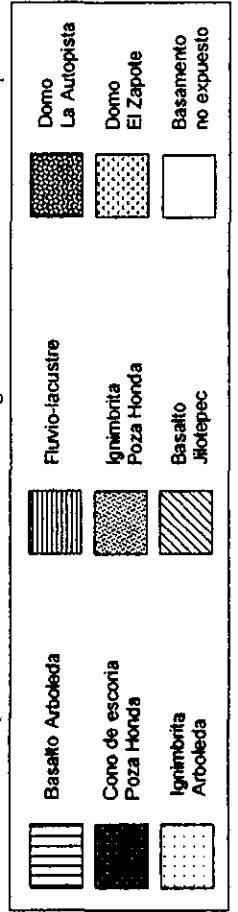


Fig. 42.- Emplazamiento de la ignimbrita Poza Honda sobre depósitos fluvio-lacustres.



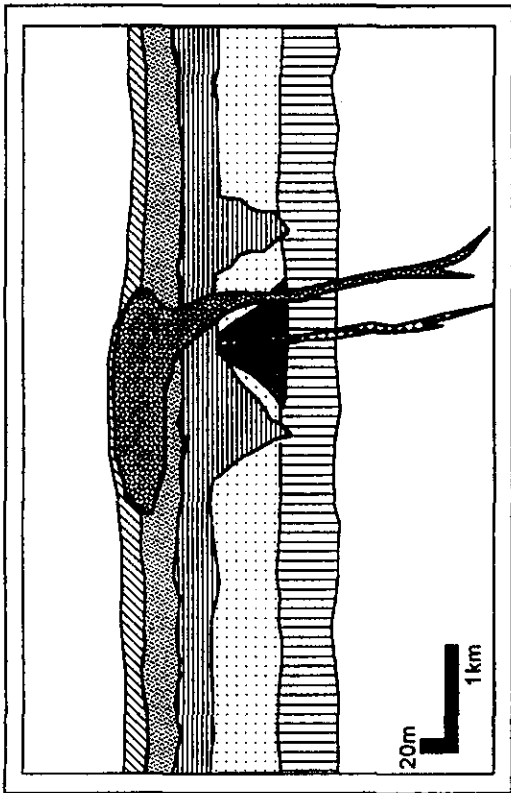


Fig. 44.- Derrame de lava sobre secuencias volcánicas.

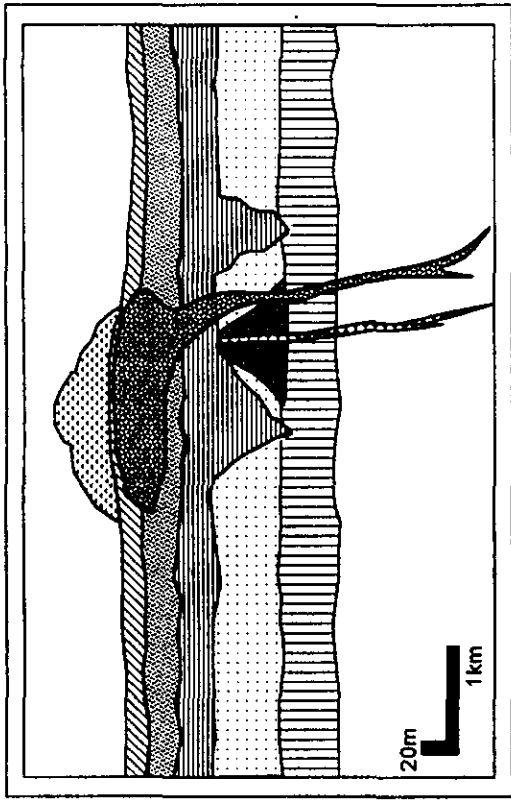


Fig. 45.- Emplazamiento del domo El Zapote.

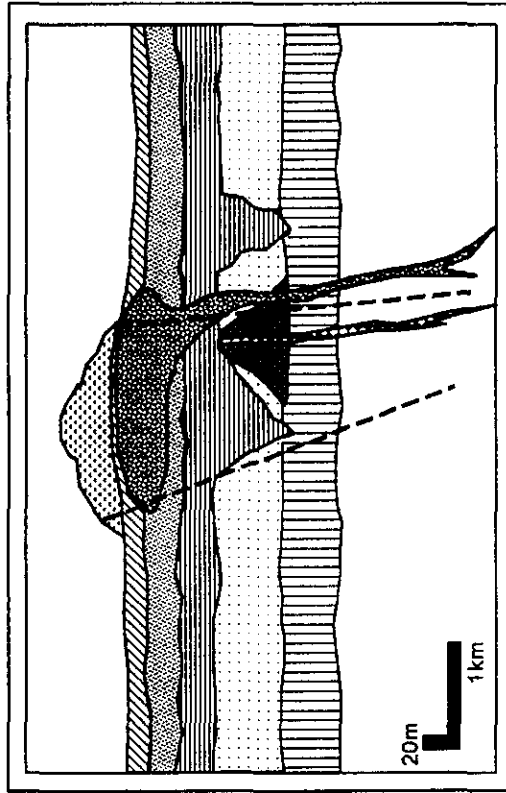


Fig. 46.- Fracturamiento de la zona.

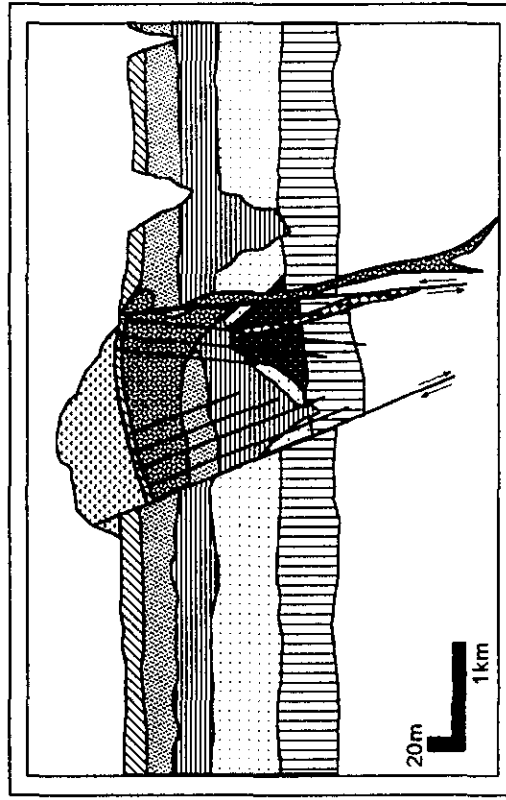
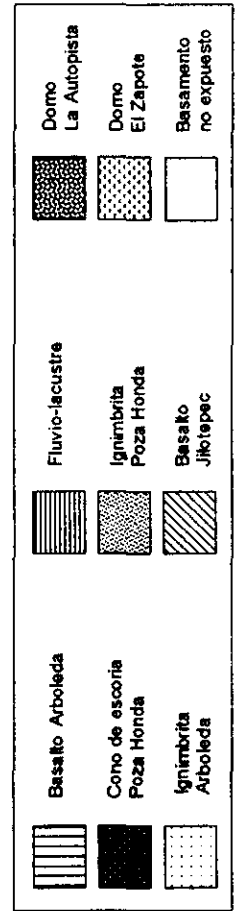


Fig. 47.- Constitución del Graben Poza Honda.



estado de Puebla, cerca de Apan (Aída López, 1998, com. personal). Es un sistema que fue llamado por De Cserna et al. (1987) como Zona de Cizallamiento Tenochtitlán. Estos autores argumentan que dicho sistema abarca desde la costa de Guerrero, a la altura de Zihuatanejo, hasta los límites de Tlaxcala-Puebla, pasando por la Sierra de Las Cruces y por la Ciudad de México. Algunas de las fallas reportadas por De Cserna et al. (1987) son lateral izquierdas, pero la mayoría son del tipo normal.

En el área de estudio dos de estas fallas, en convergencia, provocaron la caída de un bloque, formando el Graben Poza Honda, el cual tiene un ligero basculamiento hacia el NW (ver descripción más adelante, Fig. 47).

#### IV.3.2 Caracterización del graben Poza Honda

El graben Poza Honda está delimitado por escarpes de falla de orientación NE-SW y NW-SE, en donde se encuentran expuestas la toba Arboleda, toba Poza Honda, domo Autopista y domo El Zapote (Figs. 48, 49 y 50).

La depresión estructural presenta un bloque caído con basculamiento de 10° hacia el NW, con un salto de falla aproximado de 50 m (Fig. 51 y Tabla 3).

**Tabla 3.- CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL GRABEN DE POZA HONDA**

Fallas	Coordenadas	Orientación
Norte	N 19° 58' 09" W 99° 25' 50"	N E 43° S W, 60 S E
Sur	N 19° 57' 45" W 99° 25' 25"	S W 40° N E, 66° N W

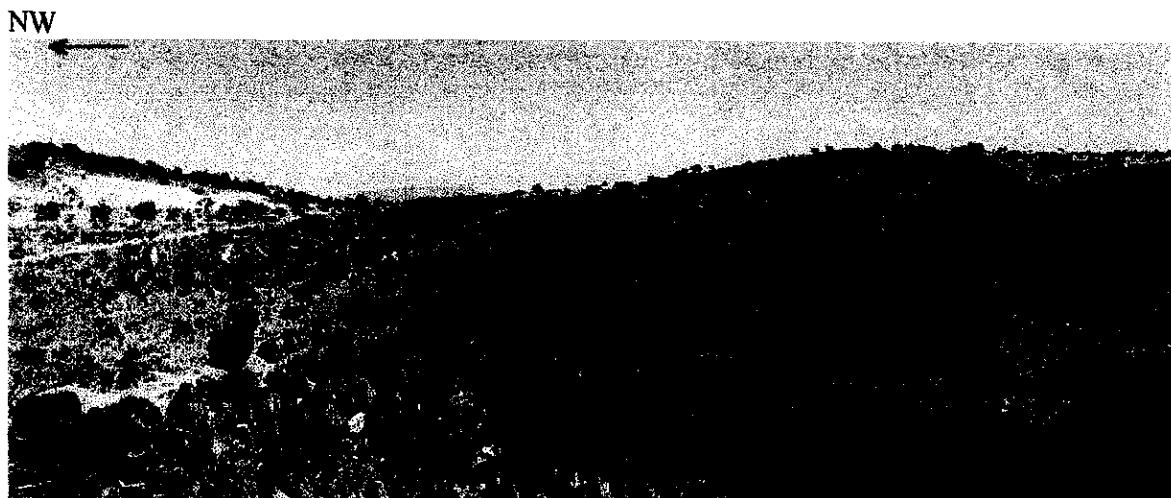


Fig.48.- Fotografía del graben de Poza Honda que muestra el basculamiento hacia el NW del bloque caído.

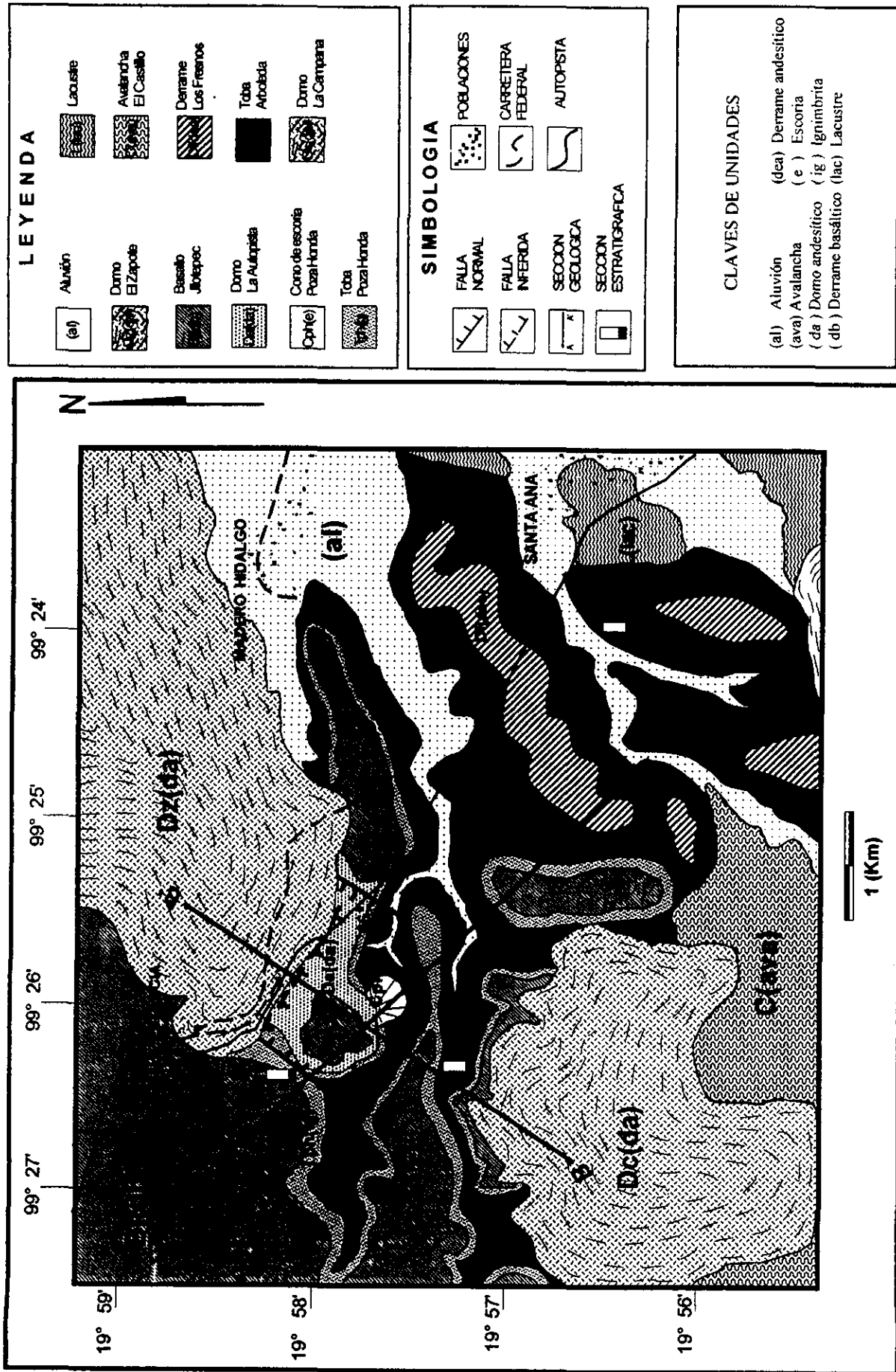


Fig. 49.- Mapa geológico del sector Poza Honda que muestra la ubicación del graben y las principales unidades litológicas.

B'

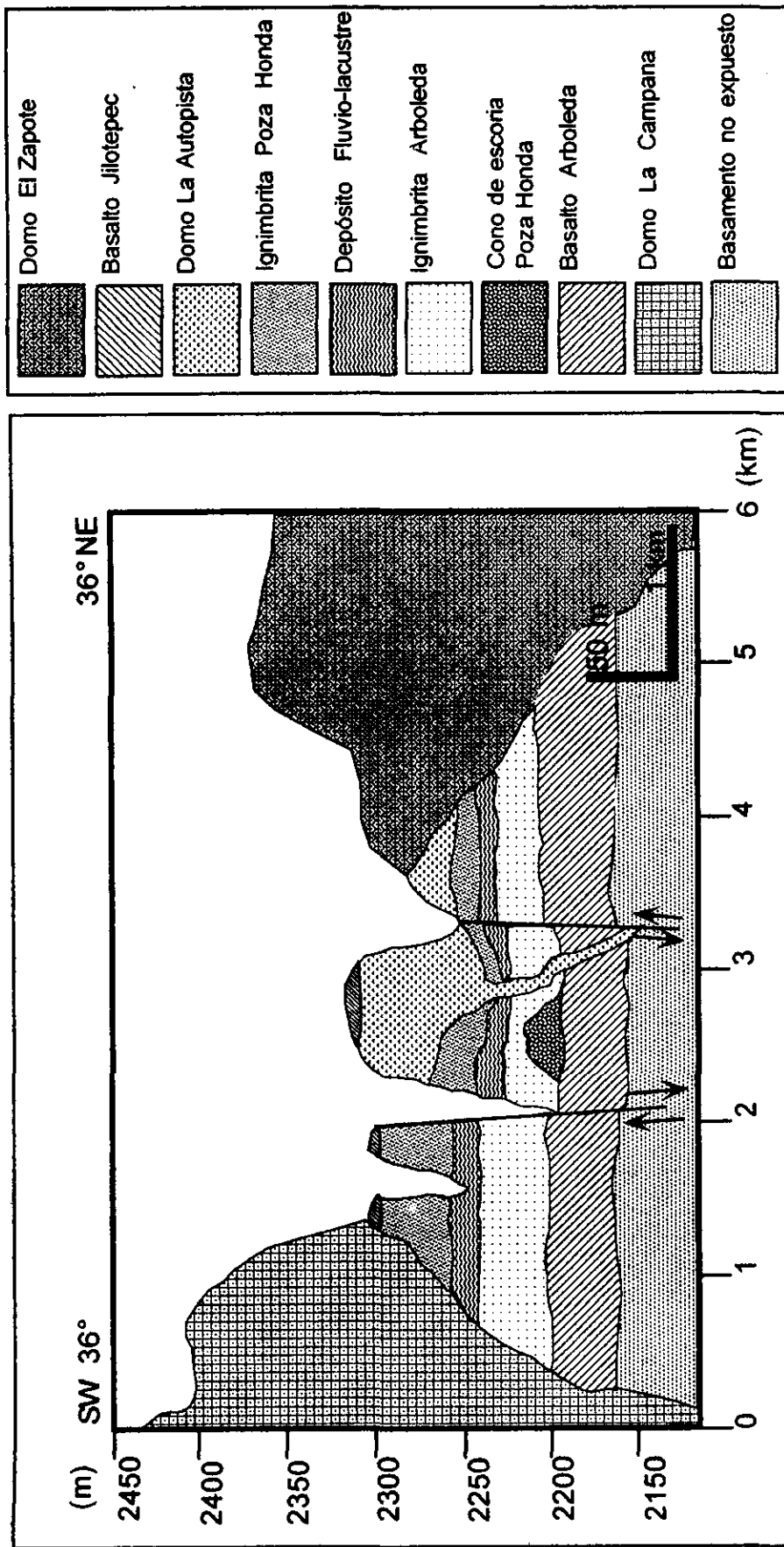


Fig. 50.- Sección geológica del emplazamiento del domo El Zapote sobre el escarpe de falla norte del graben Poza Honda.

A

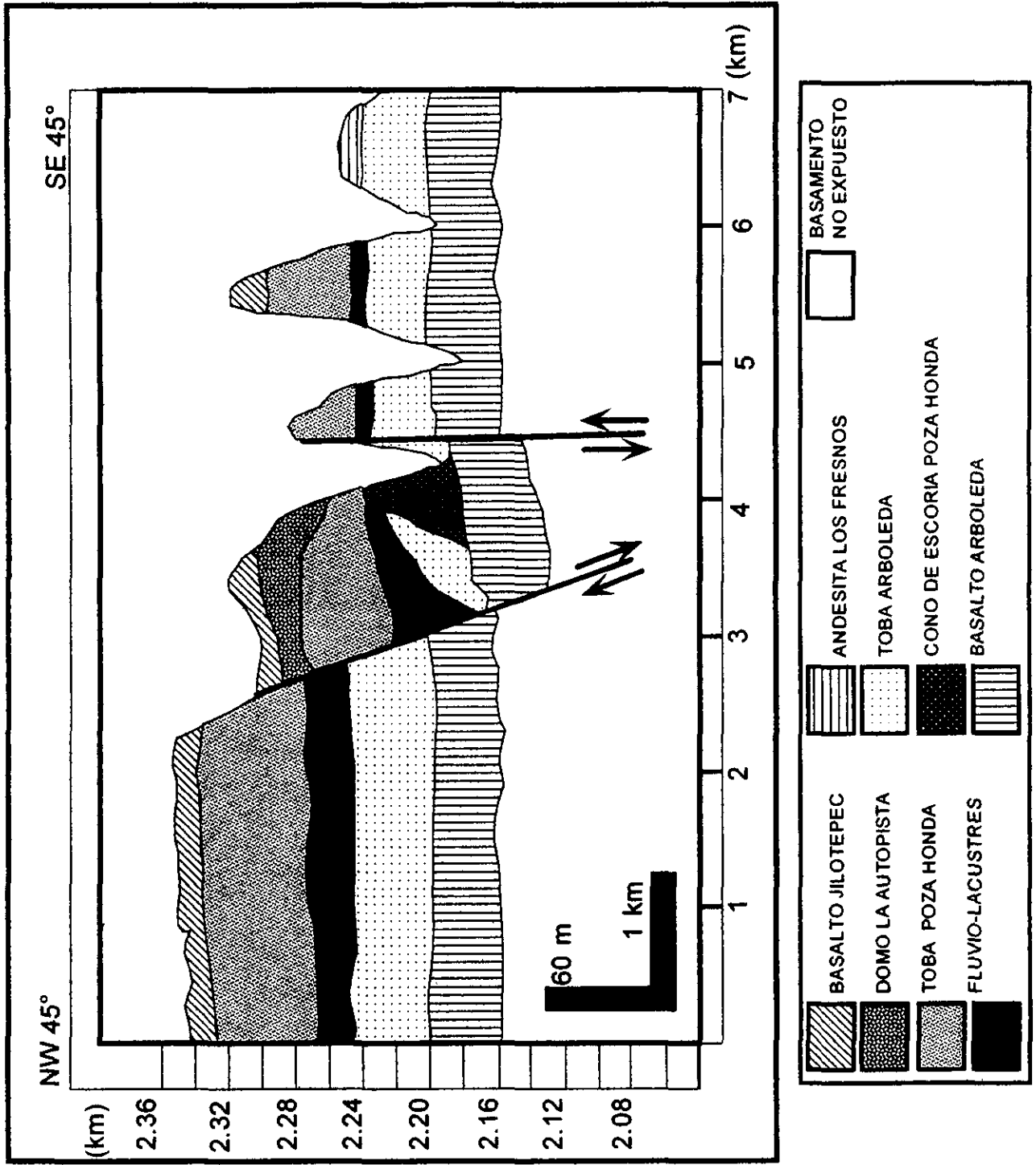


Fig. 51.- Sección geológica del graben Poza Honda que muestra el basculamiento del bloque caído.



## CONCLUSIONES

- Se realizó un mapa geológico del sector septentrional de la Sierra de Las Cruces que cubre un área de 598 km<sup>2</sup>, en la cual se definieron 41 unidades geológicas y se midieron 16 secciones estratigráficas. El mapa se divide en tres sectores con base a las características estratigráficas y estructurales de cada sector. Estos son: Campo Volcánico Sierra de las Cruces Norte (CVSCN), Sector Taxhimay y Sector Poza Honda.
- El CVSCN esta conformado por tres volcanes de grandes proporciones. Estos son del más antiguo al más joven: El Castillo, El Templo y el Chapa de Mota. Los tres muestran evidencias de haber sido parcialmente destruidos por colapsos sectoriales dirigidos, tipo erupción mayo - 1980 del volcán St. Helens (Washington, U.S.), aunque más parecidos al tipo inusual del volcán Jocotitlán (Edo. de México), con sus correspondientes avalanchas de escombros, “hummocks”, lahares y depósitos piroclásticos. Se infiere una edad del Mioceno medio para ellos.
- El sector Taxhimay esta caracterizado por secuencias piroclásticas, fluvio-lacustres y lahares que rodean al volcán de colapso Las Animas. Posteriormente, sobrevino un fenómeno tectónico regional que provocó el fallamiento de la zona y que forma parte del sistema regional denominado Zona de Cizalla Tenochtitlán. De este evento tectónico sólo se verificaron seis fallas normales con rumbo predominantes SW-NE y que se ubican en el extremo norte del sector Taxhimay.
- El sector Poza Honda incluye dos secuencias estratigráficas principales: Arboleda y Poza Honda, a su vez cubiertas por un extenso derrame de basalto de 2.4 Ma. El patrón estructural de fallamiento define un pequeño graben con rumbo SW 44° NE, cuyo bloque hundido presenta un basculamiento de 10° hacia el NW.
- Se efectuó un análisis interpretativo de alineamientos estructurales con un total de 152 de alineamientos de trazas de falla potenciales. En donde la dirección preferencial NE(48%) es el sistema más representativo del patrón de lineamientos en la Sierra de Las Cruces norte.

## RECOMENDACIONES

- Es necesario un estudio estructural detallado para verificar los alineamientos propuestos de trazas de falla y si es posible su periodo de reactivación.
- Se sugiere realizar fechamientos radiométricos para determinar las edades de las rocas del sector septentrional de la Sierra de Las Cruces.
- Se recomienda realizar estudios de susceptibilidad magnética que proporcionen la ubicación de la fuente de las ignimbritas del sector Poza Honda (Ignimbrita Arboleda y Poza Honda).
- Es importante efectuar estudios geoquímicos para caracterizar mejor a cada volcán.

## REFERENCIAS CITADAS

- Aguilar-Vargas, V.H., y Verma, S.P., 1987, Composición química (elementos mayores) de los magmas en el Cinturón Volcánico Mexicano; *Geofísica Internacional*, v. 26, p. 273-290.
- Aguirre-Díaz, G., 1988, Eocene and younger volcanism on the eastern flank of Sierra Madre Occidental, Nazas, Durango, Mexico ; Masters Thesis, University of Texas at Austin, Austin Texas, 179 pags.
- Aguirre-Díaz, G., Ferrari, L., Nelson, S., Carrasco-Núñez, G., López-Martínez, M. y Urrutia-Fucugauchi J., 1998, El Cinturón Volcánico Mexicano: Un proyecto multidisciplinario; *GEOS, Unión Geofísica Mexicana, A.C.*, p. 131-138.
- Besch, T., Negendank, J.F.K. y Emmermann, R., 1988, Geochemical constraints on the origin of calc-alkaline and alkaline magmas of the eastern Trans-Mexican Volcanic Belt ; *Geofísica Internacional*, v. 27, p. 641-663.
- Carranza-Castañeda, O. y Espinosa-Arrubarena, L., 1994, Late Tertiary Equids from the State of Hidalgo; México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, revista, vol. 11, p. 182-192.
- Carrasco-Núñez, G. y Gómez-Tuena, A., 1997, Volcanogenic sedimentation around Citlaltépec volcano (Pico de Orizaba) and surroundings, Veracruz, México. In : Aguirre-Díaz, G.J.; Aranda-Gómez, J.J.; Carrasco-Núñez, G.; and Ferrari, L., (eds.), *Magmatism and tectonics in central and northwestern Mexico - a selection of the 1997 IAVCEI General Assembly excursions*; Mexico, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Excursión 16, p. 131-151.
- De Cserna, Z., Fuente-Duch, M., Palacios-Nieto, M., Triay, L., Mitre-Salazar, L.M. y Mota-Palomino, R., 1987, Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones tectónicas regionales de la Cuenca de México, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Boletín 104, p. 24-67.
- Demant, A., 1978, Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, vol. 2, núm. 2, p. 172-187.
- Demant, A., 1982, Interpretación geodinámica del volcanismo del Eje Neovolcánico Transmexicano; México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, vol. 5 núm. 2, p. 217-222.

- Demant, A. y Robin, C., 1975, Las fases del volcanismo en México: Una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el Cretácico; Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Revista. v. I, p. 70-82.
- Ferrari, L., López-Martínez, M., Aguirre-Díaz, G.J. y Carrasco-Nuñez, G., 1999, Space-time patterns of Cenozoic arc volcanism in Central Mexico: From Sierra Madre Occidental to Mexican Volcanic Belt; *Geology*, vol. 27, p. 303-306.
- García-Estrada, G., 1997, A FORTRAN Program for the use of Digital Terrain Elevation Models of the Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática of México (INEGI); México, Comisión Federal de Electricidad, Geotermia, Revista Mexicana de Geoenergía, vol. 12, No. 3, p. 141-162.
- Gastil, G.R. y Jęnsky, W., 1973, Evidence for strikeslip displacement beneath the Trans-Mexican volcanic belt; *Stanford Univ. Publ. Geol. Sci.*, v. 13, p.171-180.
- Gunn, B.M. y Mooser, F., 1970, Geochemistry of the volcanics of central Mexico; *Bulletin Volcanologique*, v. 34, p. 577-616.
- Johnson, C.A. y Harrison, C.G.A., 1990, Neotectonics in central Mexico; *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, p. 187-210.
- Lauber, P., 1987, *Volcano: The Eruption and Healing of Mount St. Helens*; Ed. The Trumpet Club, United States of America, 60 pags.
- Lindsay, E.H., Opdyke, N.M. y Johnson, N.M., 1984, Blancan-Hemphillian land mammal ages and late Cenozoic mammal dispersal events; *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 12, p. 445-488.
- Lipman, P. y Mullineaux, D., 1982, *The 1980 Eruptions of Mount St. Helens, Washington*; Ed. United States Government Printing Office, Geological Survey Professional Paper 1250, 844 pags.
- Luhr, J.F. y Carmichael, I.S.E., 1985. Contemporaneous eruptions of calc-alkaline and alkaline magmas along the volcanic front of the Mexican Volcanic Belt; *Geofísica Internacional*, v. 24, p. 203-216.
- Macías, J.L., García, P.A., Arce, J.L., Siebe, C., Espíndola, J.M., Komorowski, J.C. y Scott, S., 1997, Late Pleistocene-Holocene Cataclysmic Eruptions at Nevado de Toluca and Jocotitlán Volcanoes, Central Mexico; *BYU, Geology studies*, vol. 42, part 1, p. 493-528.

- Mahood, G.A., 1980, Geological evolution of a Pleistocene rhyolitic center-Sierra La Primavera, Jalisco, Mexico; *Journal Volcanology Geothermal Research*, v.8, p. 199-230.
- Márquez, A., Oyarzun, R., Doblaz, M. y Verma S., 1999, Alkalic (ocean-island basalt type) and calc-alkalic volcanism in the Mexican volcanic belt: A case for plume-related magmatism and propagating rifting at an active margin?; *Geology*, vol. 27, No. 1, p. 51-54.
- Menard, H.W., 1978, Fragmentation of the Farallon plate by pivoting subduction ; *Journal of Geology*, v. 86, p. 99-110.
- Mora-Alvarez, G., Caballero-Miranda, C., Urrutia-Fucugauchi, J. y Uchiumi, Sh., 1991, Southward migration of volcanic activity in the Sierra de Las Cruces, basin of Mexico? - A preliminary K-Ar dating and palaeomagnetic study; *Geofisica Internacional*, vol. 30, Num.2, p. 61-70.
- Mooser, F., 1972, The Mexican Volcanic Belt : Structure and tectonics; *Geofisica Internacional*, v. 12, p. 55-70.
- Mooser, F. y Maldonado-Koerdell, M., 1961, Tectónica penecontemporánea a lo largo de la costa mexicana del Océano Pacífico; *Geofisica Internacional*, v.1, p. 3-20.
- Mooser, F., Montiel, A. y Zuñiga, A., 1996, Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla: Estratigrafía, tectónica regional y aspectos geotérmicos; México, Comisión Federal de Electricidad, primera impresión, Atlas, 27 pags.
- Negendank, J.F.W., Emmermann, R., Krawczyk, Mooser, F., Tobschall, H. y Werle, D., 1985, Geological and geochemical investigations on the eastern Trans-Mexican Volcanic Belt; *Geofisica Internacional*, v. 24, p. 477-575.
- Nelson, S.A. y Carmichael, I.S.E., 1984, Pleistocene to recent alkalic volcanism in the region of Sangangüey volcano, Nayarit, Mexico; *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 85, p. 321-335.
- Nelson, S.A., Gonzalez-Cáver, E. y Kyser, T.K., 1995, Constraints on the origin of alkaline and calc-alkaline magmas from the Tuxtla volcanic field, Veracruz, Mexico; *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 122, p. 191-211.
- Nelson, S.A. y Livieres, R.A., 1986, Contemporaneous calc-alkaline and alkaline volcanism at Sangangüey volcano, Nayarit, Mexico; *Geological Society America Bulletin*, v. 97, p. 798-808.

- Nixon, G., 1982, The relationship between Quaternary volcanism in central Mexico and the seismicity and structure of subducted ocean lithosphere; *Geological Society of America Bulletin*, vol. 93, p. 514-523.
- Nixon, G.T., Demant A., Armstrong, R.L. y Harakal, J.E., 1987, K-Ar and Geological data bearing on the age and evolution of the Trans-Mexican Volcanic Belt; *Geofísica Internacional*, Special volume on the Mexican Volcanic Belt, part 3, p. 109-158.
- Pardo, M. y Suárez, G., 1995, Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in southern Mexico: Seismic and tectonic implications; *Journal of Geophysical Research*, vol. 100, No. B7, p. 12,357-12,373.
- Robin, C., 1982b, Relations volcanologie-magmatologie-geodynamique : application au passage entre volcanismes alcalin et andesitique dans le sud Mexicain (Axe Transmexicain et Province Alcaline Orientale) ; *Annal. Sci. l' Univ. Clermont-Ferrand II*, p. 30,503.
- Robin, C. y Nicolas, E., 1978, Particularites geoquimiques des suites andesitiques de la zone orientale de l'axe transmexicain, dans leur contexte tectonique: *Bull. Soc. Geol. France*, v. 20, p. 193-202.
- Siebe, C., Komorowski, J. y Sheridan, M., 1992, Morphology and emplacement of an unusual debris-avalanche deposit at Jocotitlán volcano, Central Mexico; *Bulletin of Volcanology*, Springer-Verlag, p. 573-589.
- Siebe, C., Macías J.L., Abrams, M., Elizarraras, R.S. y Delgado, H., 1995, Quaternary Explosive Volcanism and Pyroclastic Deposits in East Central Mexico : Implications for Future Hazards ; *Geological Society of Annual Meeting 1995*, New Orleans, Louisiana Field Trip Guide Book 1,47 pags.
- Singh, S.K. y Pardo, M., 1993, Geometry of the Benioff zone and state of stress in the overriding plate in central Mexico; *Geophys. Res. Lett.*, 20, p. 1483-1486.
- Suárez, G., Monfret, T., Wittlinge, G. y David, C., 1990, Geometry of subduction and depth of the seismogenic zone in the Guerrero gap, Mexico; *Nature*, p.345,336-338.
- Suter, M., Quintero-Legorreta, O., López-Martínez, M., Aguirre-Díaz, G. y Farrar, E., 1995, The Acambay graben: Active intraarc extension in the trans-Mexican volcanic belt, Mexico; *Tectonics*, vol. 14, No. 5, p. 1245-1262.
- Urrutia-Fucugauchi, J. y Del Castillo, L., 1977, Un modelo del Eje Volcánico Mexicano; *Boletín Sociedad Geológica, México*, v. 38, p. 18-28.
- Verma, S.P., 1987, Mexican Volcanic Belt: Present stage of knowledge and unsolved problems; *Geofísica Internacional*, v. 26, p. 309-340.

## Anexo 2-1

### LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LAS SECCIONES ESTRATIGRAFICAS LEVANTADAS EN CAMPO

Secciones Estratigraficas	Coordenadas Geográficas		Coordenadas de Mercator		Espesor Total (m)	Localidad
	Longitud	Latitud	Este	Norte		
S1	-99d23m10s	19d50m16s	459569	2193445	10.65	La Presa
S2	-99d27m00s	19d49m59s	452877	2192939	4.83	El Arenal II
S3	-99d30m15s	19d45m29s	447180	2184656	42	Las Animas
S4	-99d25m02s	19d49m26s	456307	2191916	75.58	Sección Tipo Taxhimay
S5	-99d23m45s	19d49m19s	458547	2191696	14.47	La Presa Taxhimay
S6	-99d24m04s	19d49m08s	457993	2191359	19.13	Xolle
S7	-99d24m36s	19d46m08s	457024	2185855	25.32	Anahuac
S8	-99d25m02s	19d49m02s	456288	2191191	21.31	La Escalera II
S9	-99d25m25s	19d49m13s	455637	2191526	5.68	La Escalera
S10	-99d25m21s	19d49m35s	455755	2192194	46.46	El Peñon Blanco
S11	-99d25m18s	19d49m37s	455842	2192255	13.21	La Cañada del Carrizal
S12	-99d25m42s	19d50m06s	455147	2193149	31.38	San Luis
S13	-99d26m07s	19d50m26s	454421	2193765	44.56	El Arenal
S14	-99d26m46s	19d57m24s	453610	2210642	5	La Arboleda
S15	-99d23m50s	19d56m40s	458433	2205251	93.7	Los Fresnos
S16	-99d26m29s	19d58m05s	453818	2207875	55.57	Poza Honda
Total =					546.85 (m)	

## Anexo 2-2

### UBICACION GEOGRAFICA DE LAS MUESTRAS DE ROCA RECOLECTADAS EN CAMPO

CLAVES	Coordenadas Geográficas		Coordenadas de Mercator		Litología
	Longitud	Latitud	Este	Norte	
SC1	-99d29m57s	19d47m12s	447713	2187821	Tobas retrabajadas
SC5	-99d25m22s	19d49m59s	455699	2192963	Depósito epiclastico
SC6	-99d24m20s	19d50m29s	457507	2193852	Toba con esquirlas de vidrio
SC7	-99d32m0s	19d49m55s	444150	2192872	Depósito epiclastico
SC8	-99d22m54s	19d50m35s	460035	2194059	Domo La Presa
SC9A12	-99d25m37s	19d50m3s	455283	2193061	Ceniza de caída Taxhimay
SC13B1	-99d25m25s	19d49m36s	455617	2192251	Ceniza de caída Taxhimay
SC15A	-99d23m14s	19d49m16s	459448	2191601	Líticos ígneos de el lahar Taxhimay
SC29	-99d23m39s	19d52m16s	458705	2197166	Domo El Idolo
SC30	-99d23m40s	19d52m39s	458706	2197873	Domo El Idolo
SC37	-99d25m27s	19d50m21s	455555	2193609	Ignimbrita Taxhimay
SC45	-99d26m41s	19d51m31s	453437	2195766	Hummock El Templo
SC48	-99d26m28s	19d51m42s	453815	2196131	Lahar y lodos
SC56	-99d24m56s	19d49m1s	456451	2191178	Ignimbrita Taxhimay
SC58	-99d29m37s	19d48m33s	448289	2190314	Tobas y lodos
SC59	-99d30m37s	19d49m2s	446531	2191236	Flanco del volcán Chapa de Mota
SC60	-99d5m29s	19d50m52s	490429	2194514	Hummock del Chapa de Mota
SC61	-99d28m43s	19d50m9s	449653	2193286	Tobas y lodos
SC62	-99d29m29s	19d50m52s	448519	2194581	Hummock del Chapa de Mota
SC63	-99d21m20s	19d48m56s	462763	2191010	Ignimbrita
SC65	-99d25m51s	19d50m7s	454881	2193191	Tobas y lodos retrabajados
SC73	-99d31m23s	19d47m25s	445212	2188258	Volcán Las Animas
SC76	-99d32m59s	19d52m24s	442420	2197458	Flanco del volcán El Castillo
SC77	-99d34m19s	19d54m55s	440121	2202091	Cono de escoria Danxho
SC79	-99d31m13s	19d55m28s	445520	2203104	Flanco del domo El Nopal
SC80	-99d29m56s	19d56m27s	447764	2204911	Flanco del domo El Nopal
SC81	-99d29m41s	19d55m31s	448214	2203158	Domo El Nopal
SC82	-99d29m34s	19d55m11s	448397	2202573	Avalancha-Lahar El Castillo
SC83	-99d30m20s	19d56m44s	447087	2205417	Basalto
SC84	-99d29m27s	19d56m22s	448632	2204741	Avalancha-Lahar El Castillo
SC85	-99d27m19s	19d57m30s	452333	2206834	Basalto Jilotepec
SC86	-99d26m29s	19d58m4s	453818	2207875	Ignimbrita Poza Honda
SC87	-99d25m1s	19d57m51s	456346	2207469	Domo El Zapote
SC89	-99d23m1s	19d56m31s	459628	2205002	Domo Sta. Ana
SC90	-99d22m42s	19d55m4s	460391	2202298	Domo El Podrido
SC92	-99d23m18s	19d55m12s	459328	2202575	Avalancha-Lahar El Castillo
SC93	-99d26m23s	19d58m49s	453996	2209258	Basalto Jilotepec
SC94	-99d23m58s	19d56m33s	458183	2205052	Ignimbrita Arboleda
SC98	-99d24m42s	19d55m53s	456904	2203833	Andesita Los Fresnos
SC99	-99d22m57s	19d53m57s	459962	2200268	Domo El Idolo
SC100	-99d26m18s	19d52m34s	454111	2197731	Hummock del Templo
SC102	-99d32m49s	19d52m39s	442712	2197887	Flanco del volcán El Castillo
SC104	-99d25m30s	19d52m54s	455480	2198342	Hummock del Templo
SC105	-99d25m9s	19d53m55s	456124	2200216	Domos El Chino
SC106	-99d25m24s	19d53m29s	455657	2199418	Flanco del Volcán El Templo
SC107	-99d29m48s	19d46m14s	447970	2186068	Domo Iglesias Viejas
SC108	-99d25m50s	19d57m34s	454949	2206950	Domo La Autopista
SC109	-99d26m29s	19d57m54s	453817	2207568	Ignimbrita Arboleda
SC110	-99d26m44s	19d57m15s	453363	2206367	Basalto Arboleda
SC111	-99d25m11s	19d57m29s	456082	2206794	Ignimbrita Arboleda