

209  
16

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFIA

"ESTUDIO DE RELIEVES VOLCANICOS  
MEDIANTE EL ANALISIS DE  
PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

LICENCIADO EN GEOGRAFIA

P R E S E N T A

SEP 14 1989  
SECRETARIA DE  
ASUNTOS ESCOLARES

FERNANDO LEOBARDO CABRERA GARCIA

Y

GABRIEL LEGORRETA PAULIN



MEXICO. D. F.

1989

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFIA



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## INDICE

INTRODUCCION	P.	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	P.	3
OBJETIVOS	P.	6
ANTECEDENTES	P.	7
METODOLOGIA	P.	14

### CAPITULO I MARCO GEOGRAFICO GENERAL.

LOCALIZACION	P.	18
OROGRAFIA	P.	20
CLIMA	P.	24
HIDROGRAFIA	P.	27
SUELOS	P.	30
VEGETACION	P.	35
USO DE RECURSOS VOLCANICOS	P.	38

### CAPITULO II MARCO GEOLOGICO GENERAL.

TECTONICA GENERAL	P.	41
ESTRATIGRAFIA GENERAL	P.	53

### CAPITULO III ANALISIS MORFOMETRICO Y GEOMORFOLOGICO.

ANALISIS MORFOMETRICO Y GEOMORFOLOGICO	P.	62
ANALISIS DE ALTITUD Y ALTURA	P.	63
CURVAS DE AREA-ALTITUD	P.	67
DENSIDAD DE VOLCANES	P.	70
RELACION ENTRE ALTURA Y PENDIENTE	P.	73
PROFUNDIDAD Y DENSIDAD DE LA DIRECCION	P.	78
ANALISIS DE LAS BASES DE DATOS	P.	81
RADIO DEL CONO	P.	82
RADIO/ALTURA	P.	83
DIAMETRO DE LA BASE DEL CRATER	P.	84
DIAMETRO DE LA BASE DEL CONO	P.	85
DIAMETRO DEL CRATER/DIAMETRO DE LA BASE	P.	85
ALTURA/DIAMETRO DE LA BASE	P.	86
CONSIDERACIONES	P.	87

**CAPITULO IV TECNICAS AUTOMATIZADAS EMPLEADAS PARA EL  
ANÁLISIS Y REPRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

RESEÑA	P. 88
AUXILIARES EN COMPUTO EMPLEADOS	P. 90
DIAGRAMAS BLOQUE	P. 91
BASES DE DATOS	P. 94
DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD) PARA LA ELABORACION DE REPRESENTACIONES DEL RELIEVE.	P. 95
EXTENSION AVANZADA DEL DIBUJO	P. 96
REALIZACION DE MAPAS POR CUADRICULA	P. 97
CONSTRUCCION DE PERFILES DEL RELIEVE VOLCANICO	P. 100
DIGITALIZACION DE MAPAS POR AUTOCAD	P. 100
CONCLUSIONES	P. 103
BIBLIOGRAFIA	P. 109

**INDICE DE FIGURAS**

**FIGURAS**

1.-MAPA TOPOGRAFICO DE MILPA ALTA EN PERSPECTIVA	P. 1A
2.-DIAGRAMA BLOQUE DEL V. XITLE	P. 5A
3.-DIAGRAMA BLOQUE DEL V. TEUHTLI	P. 5B
4.-DIAGRAMA BLOQUE DEL V. YOLOLICA	P. 5C
5.-DIAGRAMA BLOQUE DEL V. YOLOLICA	P. 5D
6.-DIAGRAMA BLOQUE DEL V. OYAMEYO	P. 5E
7.-MAPA DE LOS VOLCANES DEL GRUPO CHICHINAUTZIN	P. 12A
8.-MAPA DE SUBUNIDADES ESTRATIGRAFICAS DEL GRUPO CHICHINAUTZIN	P. 13A
9.-DIAGRAMA BLOQUE DEL V. XITLE	P. 17A
10.-MAPA DE LOCALIZACION DEL GRUPO CHICHINAUTZIN	P. 19A
11.-MAPA TOPOGRAFICO DE MILPA ALTA	P. 19B
12.-DIAGRAMA BLOQUE DE MILPA ALTA	P. 20A
13.-DIAGRAMA BLOQUE DE MILPA ALTA	P. 21A
14.-PERFIL TOPOGRAFICO A-B DEL V. XITLE	P. 22A
15.-PERFIL TOPOGRAFICO C-D DEL V. XITLE	P. 22B
16.-PERFIL TOPOGRAFICO A-B DEL V. OYAMEYO	P. 23
17.-PERFIL TOPOGRAFICO C-D DEL V. OYAMEYO	P. 24
18.-DIAGRAMA BLOQUE DE LA COLADA XICOMULCO	P. 23C
19.-MAPA DE TECTONICA	P. 48A
20.-DIAGRAMA BLOQUE DEL V. PELADO	P. 64A
21.-DIAGRAMA BLOQUE DEL V. PELADO	P. 64B
22.-DIAGRAMA BLOQUE DEL V. ACOPIANCO	P. 66A

23.-DIAGRAMA BLOQUE DEL V. ACOPIANCO	P. 660
24.-CURVA DE AREA-ALTITUD DE LA SUBUNIDAD HV	P. 67A
25.-CURVA DE AREA-ALTITUD DE LA SUBUNIDAD PLV4	P. 67B
26.-CURVA DE AREA-ALTITUD DE LA SUBUNIDAD PLV3	P. 68A
27.-CURVA DE AREA-ALTITUD DE LA SUBUNIDAD PLV2	P. 68B
28.-CURVA DE AREA-ALTITUD DE LA SUBUNIDAD PLV1	P. 69A
29.-CURVA DE AREA-ALTITUD DEL TERCARIO	P. 69B
30.-MAPA ALTIMETRICO POR CUADRICULA	P. 75A
31.-MAPA DE PENDIENTES MEDIAS POR CUADRICULA	P. 76A
32.-MAPA DE DENSIDAD DE LA DISECCION POR CUADRICULA	P. 78A
33.-MAPA DE PROFUNDIDAD DE LA DISECCION POR CUADRICULA	P. 79A
34.-PARAMETROS CUANTITATIVOS DE LOS CONOS	P. 81A
35.-MAPA TOPOGRAFICO DE LOS VOLCANES YOLOLICA Y MAGDALENA	P. 82A
36.-MAPA TOPOGRAFICO DEL VOLCAN YOLOLICA EN PERSPECTIVA	P. 82B
37.-DIAGRAMA BLOQUE DEL V. NITLÉ	P. 83A
38.-DIAGRAMA BLOQUE DEL V. OYAMEYO	P. 83C
39.-DIAGRAMA BLOQUE DEL V. TEUHTLI	P. 84B
40.-DIAGRAMA BLOQUE DEL V. YOLOLICA	P. 84C
41.-PERFIL TOPOGRAFICO C-D DEL V. ACOPIANCO	P. 85A
42.-PERFIL TOPOGRAFICO A-B DEL V. MECHATEPEC	P. 86A
43.-PERFIL TOPOGRAFICO C-D DEL V. MECHATEPEC	P. 86B
44.-PERFIL TOPOGRAFICO A-B DEL V. ACOPIANCO	P. 87A
45.-DIAGRAMA BLOQUE DEL V. MECHATEPEC	P. 90A
46.-DIAGRAMA BLOQUE DEL V. PELADO	P. 92A
47.-DIAGRAMA BLOQUE DEL V. ACOPIANCO	P. 93A
48.-DIAGRAMA DE LA COLADA NICOMULCO	P. 93B
49.-MAPA DE LOCALIZACION DE CUADRANTES	P. 98A
50.-MAPA POR CUADRICULA	P. 98A
51.-PERFIL TOPOGRAFICO A-B DEL V. PELADO	P. 100A
52.-PERFIL TOPOGRAFICO C-D DEL V. PELADO	P. 100B
53.-PERFIL TOPOGRAFICO A-B DEL V. TEUHTLI	P. 100C
54.-PERFIL TOPOGRAFICO C-D DEL V. TEUHTLI	P. 100D
55.-PERFIL TOPOGRAFICO A-B DEL V. YOLOLICA	P. 100E
56.-PERFIL TOPOGRAFICO C-D DEL V. YOLOLICA	P. 100F
57.-PERFIL TOPOGRAFICO A-B DEL V. CUATZONTLE	P. 100G
58.-PERFIL TOPOGRAFICO C-D DEL V. CUATZONTLE	P. 100H
59.-PERFIL TOPOGRAFICO A-B DE LA CALDERA EL GUARDA	P. 100I
60.-PERFIL TOPOGRAFICO C-D DE LA CALDERA EL GUARDA	P. 100J
61.-MAPA TOPOGRAFICO DEL V. NITLÉ	P. 102A
62.-MAPA TOPOGRAFICO DEL V. OYAMEYO	P. 102B
63.-MAPA TOPOGRAFICO DEL V. NITLÉ EN PERSPECTIVA	P. 102C
64.-MAPA TOPOGRAFICO DEL V. OYAMEYO EN PERSPECTIVA	P. 102D

## INDICE DE TABLAS

### TABLA

1.-ALTURAS Y ALTITUDES DE LOS VOLCANES	P. 65A - 65D
2.-PORCENTAJES PARA LAS ALTURAS	P. 66B
3.-PORCENTAJES PARA LAS ALTITUDES	P. 66D
4.-AREAS DE LAS SUBUNIDADES	P. 71A
5.-DENSIDAD DE VOLCANES	P. 72A
6.-BASE DE DATOS DE LOS CONOS	P. 81B - 81D
7.-BASE DE DATOS DE LAS COLADAS	P. 81B
8.-RADIO DEL CONO	P. 82B
9.-RADIO/ALTURA	P. 83B
10.-DIAMETRO DEL BORDE DEL CRATER	P. 84A
11.-DIAMETRO DE LA BASE DEL CONO	P. 85B
12.-DIAMETRO DEL CRATER/DIAMETRO DE LA BASE DEL CONO	P. 86C
13.-ALTURA DEL CONO/DIAMETRO DE LA BASE DEL CONO	P. 87B

## INTRODUCCION.

La presente tesis tiene como proposito describir y cuantificar algunas de las características geomorfológicas como son: evolución, geometría, forma, procesos modeladores, etc. que presenta el relieve volcánico localizado en la parte sur de la Cuenca de México, en función a su edad, para lo cual se considerará posteriormente las secuencias o etapas evolutivas de este relieve dentro de la escala del tiempo geológico.

Se hizo uso de técnicas automatizadas para ordenar y manejar la información de manera rápida y confiable.

Se eligió la carta de BIENAL Milpa Alta (E14AAZ) escala 1:50 000 (ver Figura 1) que limita la zona de estudio; la cual encierra una porción de la Formación Chichinautzin, en la parte central del Eje Volcánico Transmexicano de edad Cuaternaria. Resulta de gran interés porque esta formación cuenta con subdivisiones estratigráficas, basadas en características geomorfológicas dadas por Martín del Pozzo (1969) y apoyadas en la datación de edades de carbono 14 de Bloomfield (1975).

Por lo general casi todas las investigaciones vulcanológicas se han concentrado en describir el comportamiento tectónico y



M I L P A A L T A

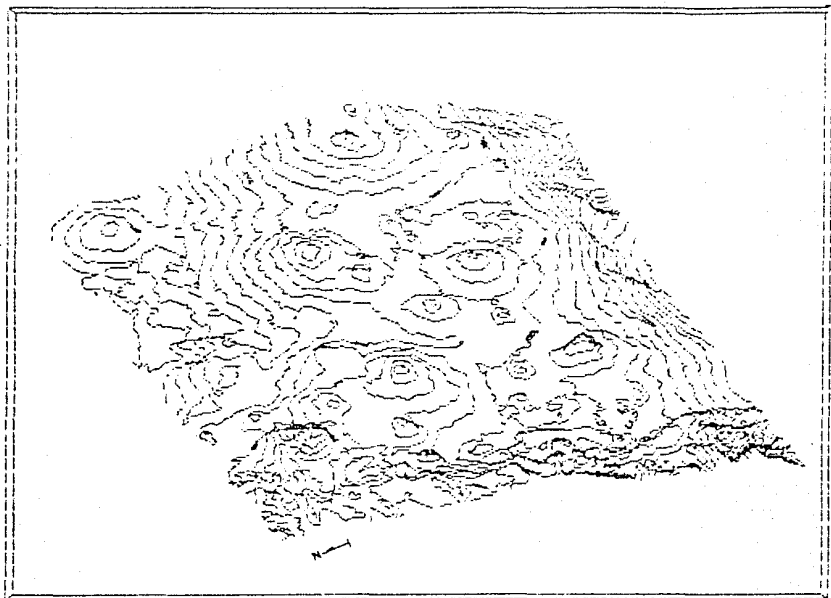


FIG. 1

eruptivo, así como el concerniente a su petrología. Esto ha originado la ampliación y complementación de la información, tanto sobre la dinámica eruptiva (deformación por crecimiento, sismicidad, constitución, etcétera), como también, sobre la cuantificación de depósitos piroclásticos y la clasificación de las formas volcánicas, basadas en los estudios de degradación, a partir de las relaciones cuantitativas de algunas de sus dimensiones: altura, diámetro de la base, diámetro del borde del cráter, longitud, espesor, etc. Tales estudios han motivado la realización del presente trabajo.

Con la integración de trabajos geológicos, geofísicos, geográficos y geomorfológicos, se plantea relacionar la información existente sobre parámetros cuantitativos y cualitativos de conos cónicos y de coladas de lava, y determinar las características que tienen sus líneas evolutivas, tomando como punto de partida las cinco subdivisiones estratigráficas ya establecidas por Bloomfield y Martín del Pozzo, para la parte sur de la Cuenca de México.

Resulta de interés la zona de estudio por encontrarse en ella unidades del relieve volcánico monogenético de cinco edades distintas, permitiendo observar en principio, que en cada subdivisión estratigráfica hay una representación geomorfológica diferente, derivada de las relaciones de los procesos endógenos y exógenos. Estos procesos se manifiestan hasta nuestros días, como lo demuestra el vulcanismo de intensidad variable reconocida en su disposición zonal, caracterizando la edad del relieve.

Por lo anterior al análisis geomorfológico, aunque complejo y laborioso, puede resolverse en ciencia mediante la aplicación de nuevas técnicas de investigación, como lo viene a constituir la automatización para el análisis y representación (mapas, diagramas bloques, cálculos de pendientes, etc.) de los elementos del relieve. Por esta razón se manejan bases de datos por computadora, así se adquiere velocidad, flexibilidad, y selectividad en el manejo de la información, reduciendo las tareas que serían costosas en tiempo. Las mismas propiedades son requeridas tanto en la elaboración de mapas, como en la obtención de modelos secuenciales y graficación de la información. Se dedica un capítulo a este respecto, donde se explican las orientaciones que abren en el desarrollo de la geografía enormes posibilidades para la investigación.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los avances tecnológicos del presente siglo, principalmente en la segunda mitad del mismo, han conducido a tal grado la proliferación de computadores, que es difícil encontrar una actividad humana donde de alguna manera no este involucrado su uso.

En geografía y geomorfología, para el uso de los modelos geométricos y la cuantificación de los elementos del relieve - longitud, superficie, pendiente, densidad de la disecación,

desnivel local, abarca, si necesitara, la obtención de una gran cantidad de datos, mismos que de manera tradicional requieren de mucho tiempo para su ordenación y manejo. Estas dificultades pueden ser superadas por dos procesos semejantes, aunque no iguales, dentro de las actividades del procesamiento y manejo de datos, que son: la automatización y la computación. La primera se encarga de realizar automáticamente tareas rutinarias mediante la utilización de dispositivos (impresoras, plotters, digitalizadores, etc.), que sustituyen o incrementan en buena medida la capacidad humana para realizar estas tareas. La segunda nos permite realizar procesos relativos al intelecto humano mediante la utilización de dispositivos electrónicos (computadoras), que se encargan de almacenar datos y procesarlos, permitiendo producir una nueva información.

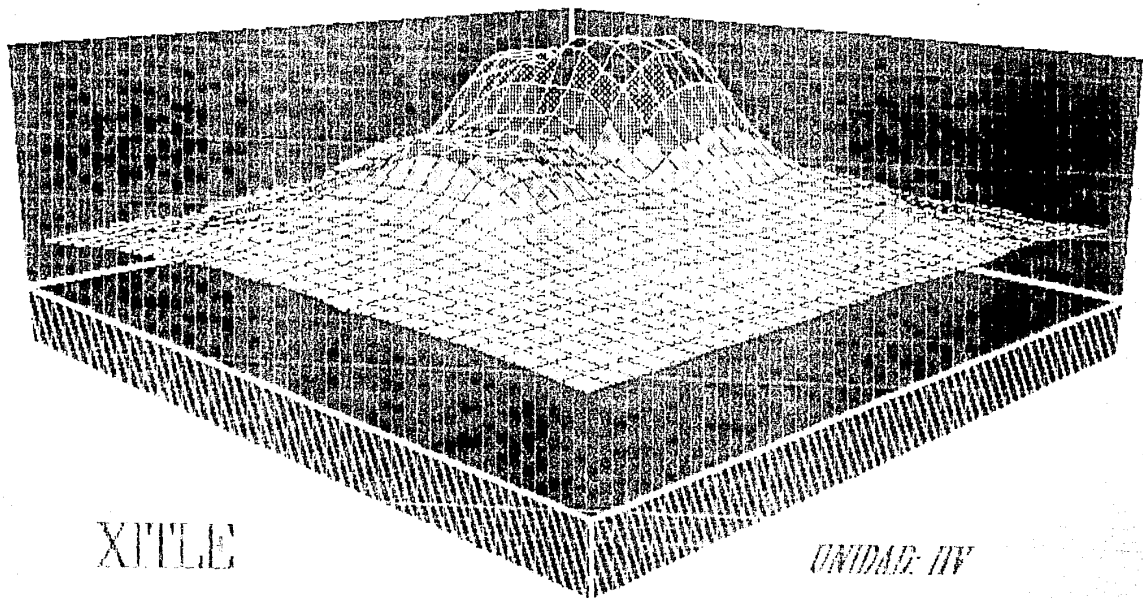
Lo anterior motiva a aplicar ambos conceptos al estudio geomorfológico de parámetros cuantitativos de los relieves volcánicos en función a su edad, dejando con ello reconocer las modificaciones que surren a partir de su aspecto original por efectos de la erosión.

En nuestro país las formas volcánicas son muy comunes, pero han sido poco estudiadas desde el punto de vista de las líneas evolutivas que las caracterizan. En las publicaciones descriptivas sobre erupciones y formas del relieve volcánico, usualmente se aporta muy poca información sobre el cambio de la morfología del relieve en el tiempo.

Los procesos formadores del relieve (para nuestro caso

generalmente volcánicos), activos en tiempos históricos, se han encargado de modificarlo en forma continua, junto con los procesos erosivos. Esto ha traído consigo que la expresión geométrica de los distintos elementos volcánicos, se presenten caracterizados regionalmente en el Eje Volcánico Transamericano, a través de las ocurrencias y morfologías de conos, de derrames de lava, y de acumulaciones de productos piroclásticos. La expresión geométrica permite apreciar el grado actual de evolución de cada una de las subunidades estratigráficas, al compararse entre sí mediante la ampliación y establecimiento de parámetros cuantitativos y cualitativos de cada una de ellas (ver figuras 2 a 6). Uno de los objetivos del estudio es llegar a ampliar y establecer patrones cuantitativos y cualitativos comunes en las distintas subunidades del lugar.

Las unidades litostratigráficas o unidades formales son difíciles de utilizar, debido a la heterogeneidad de la composición química en rocas de la misma edad, o a la homogeneidad de las rocas de diferentes secuencias. Además, la distribución de las lavas y piroclastos que se encuentran intercalados, dificulta la determinación de los límites horizontales y verticales. Se optó por utilizar unidades informales creadas por Martín del Pozzo (op. cit) quien realizó una subdivisión estratigráfica del Grupo Chichineuzin, tanto en la etapa de fotointerpretación como en la de campo. Esta clasificación se basa en características geomorfológicas, y se apoya en las edades de carbono catorce de Bloomfield (1975).



XITLE

UNIDAD: IV

FIG. 2

# VOLCAN TEUHTLI

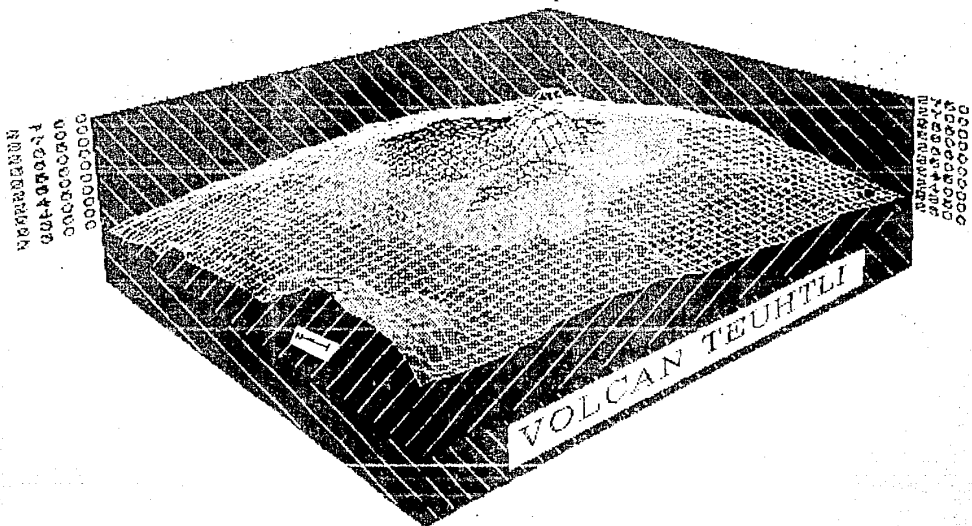


FIG. 3

UNIDAD: PLV4

YOLOLICA

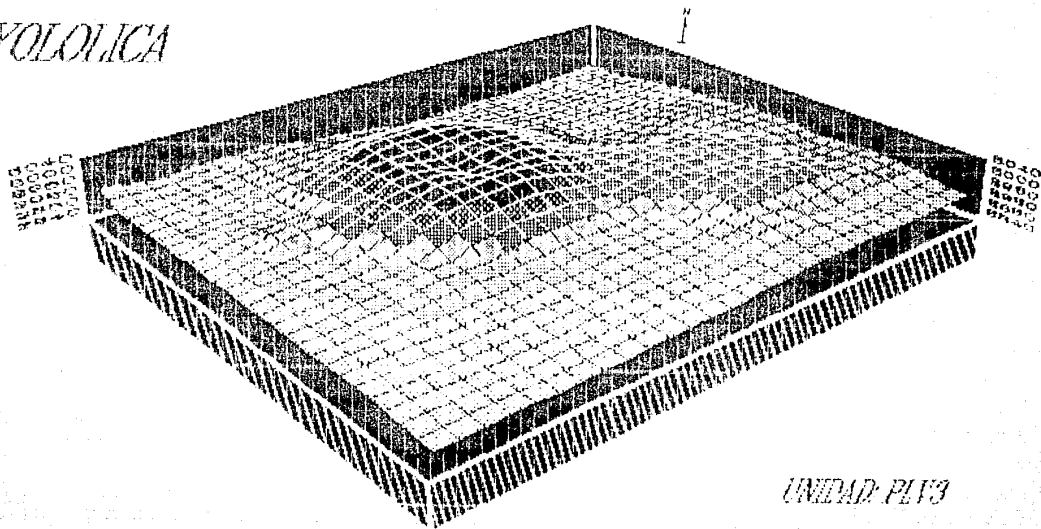


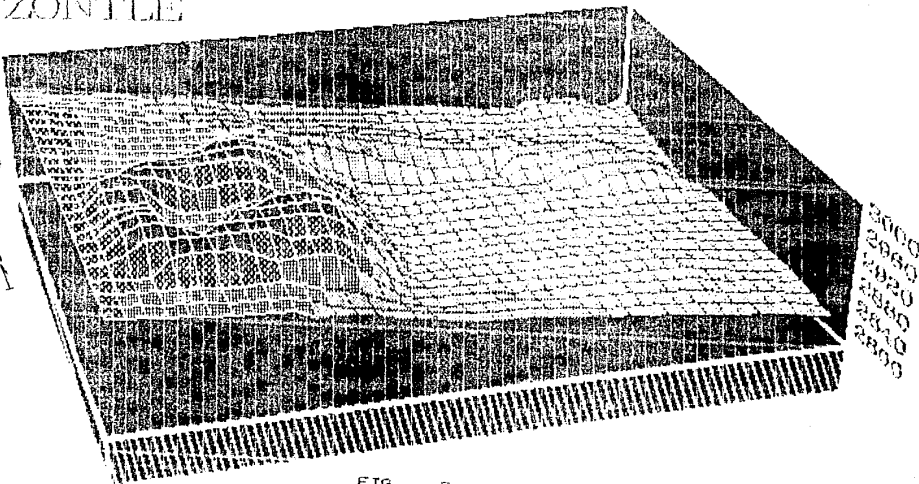
FIG. 4

UNIDAD: PLV3



# CUATZONTLE

3000  
2980  
2960  
2880  
2810  
2800



2800  
2820  
2840  
2860  
2880

FIG. 3

UNIDAD: PLY2

# VOLCAN OYAMEYO

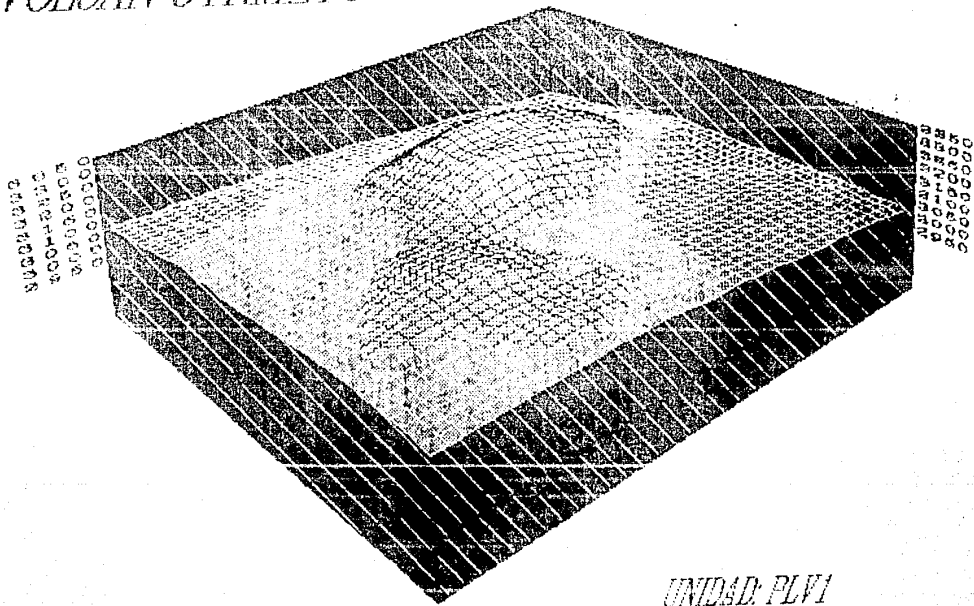


FIG. 6

## OBJETIVOS

- Describir las características de orografía, clima, hidrografía, suelo, vegetación, así como el uso de los materiales volcánicos en la región sur de la Cuenca de México, ocupada por la Formación Chichinautzin.

- Estudiar la región antes mencionada, dentro del contexto de la dinámica tectónica del Eje volcánico transmexicano.

- Conocer los rasgos geológicos constituyentes, característicos de la zona de estudio.

- Definir los esquemas de localización y de relación entre la tectónica y el vulcanismo del área de estudio.

- Caracterizar y describir las sucesiones en el tiempo de las formaciones estratigráficas.

- Obtener parámetros geomorfológicos cuantitativos de las cinco subunidades del Grupo Chichinautzin.

- Analizar los valores de la altura y altitud de los conos volcánicos, la relación entre altura y pendiente, la profundidad y densidad de la discción, así como las curvas área-altitud.

- Analizar los coeficientes de densidad de volcanes por kilómetro cuadrado, y la información del radio del cono, radio entre altura, diámetro de la base del cráter, diámetro de la base

del cono, diámetro del cráter entre diámetro de la base, y altura entre diámetro de la base.

- Manejar auxiliares de cómputo, para aplicación al estudio de relieves volcánicos.

- Manejar auxiliares de cómputo, para aplicación en la cartografía.

- Crear modelos bidimensionales y tridimensionales de las secuencias evolutivas del grupo Uchichauatzin mediante métodos automatizados.

## A N T E C E D E N T E S

Los trabajos geomorfológicos de las formas del relieve volcánico, mediante el empleo de técnicas de morfometría y de cibernación (término para referirse en conjunto a la automatización y la computación) son escasos en México. Las fuentes principales de estos estudios, se encuentran en el Instituto de Geofísica, en Ciencias de la Tierra, en la Facultad de Ingeniería y en el Instituto de Geografía de la UNAM, donde se elaboró la presente tesis, incluida en el proyecto "Simulación de la Degradación de Conos de Escoria, en Base a observaciones en el Sistema Volcánico Transamericano", bajo la dirección del Maestro Alberto López Santoyo.

No obstante, existen varios trabajos de importancia, con

diversos temas y distintos enfoques para la Cuenca de México, sobre la evolución de relieves volcánicos y las nuevas metodologías aplicadas en estudios geomorfológicos. A continuación enunciaremos los antecedentes que dan la pauta para la realización de este trabajo.

Las investigaciones regionales más antiguas que se han hecho sobre la parte sur de la Cuenca de México, atinas con la morfología del relieve volcánico, son las de Velazquez de León (1773 - 1775), quien realiza mediciones de la profundidad del cráter del volcán Nevado de Colima.

En 1822 Alejandro de Humboldt, fue el primero en estudiar la geología de México, y en señalar el alineamiento de los volcanes y su relación con las fracturas o fallas, dentro de su obra: "Ensayo Político sobre el Reino de la Nueva España".

En 1890 los alemanes Felix y Lenk realizaron los primeros estudios geoquímicos de las rocas volcánicas del área.

Desde finales del siglo pasado y hasta 1930, hay varias publicaciones, generalmente descriptivas sobre volcanes, glaciares, rocas, etc. Entre 1928 y 1895 Ezequiel Urdoñez realiza estudios sobre la Sierra de las Cruces en las cercanías del Ajusco. Hace notar la naturaleza reciente de las lavas del Xitle al medir sus dimensiones. Asimismo, clasifica la petrografía de las brechas de Tepoztlán. El establece la relación que hay entre las rocas de Moctitepec y de Sacatepec, como la de la Cuenca de México con las rocas del Tepoztlán, antes de que los geólogos

llegaran a tratar la llamada "Formación Xochitepec".

Marroquin y Sánchez (1927) y Villarejo (1911), realizaron estudios hidrologicos en el area de Las Cruces y del Ajusco, donde observaron la permeabilidad de las rocas. Villarejo distinguió las andesitas con hornblendas del Ajusco, de las andesitas con piroxenos de Las Cruces. Pedro C. Sánchez afirmó que los volcanes del sur de la Altiplano Mexicana se agrupan a lo largo de un eje y forman una cordillera que atraviesa la Republica Mexicana.

Ernesto Wittich (1917), presentó un estudio sobre los fenomenos microvolcanicos del Pedregal de San Angel. Estima una edad de 2 000 años para las rocas del area. Junto con Paul Weitz (1910), realiza un estudio de los tubos de erupcion y de las cuevas en las corrientes de lava, tambien en el Pedregal.

A partir de la primera mitad del presente siglo ocurren cambios significativos, en los estudios del relieve volcanico. Los conos cinderiticos pese a ser probablemente las formas volcanicas mas comunes, son también los menos estudiados desde el punto de vista cuantitativo. Todas las publicaciones anteriores son generalmente descriptivas, conteniendo muy poca información cuantitativa referente a los cambios en la morfología del cono y de los conos. Pero desde ese fecha, los estudios toman un caracter cuantitativo. Por ejemplo, la información de los estudios de los campos volcanicos de San Francisco y Arizona, y la determinación cuantitativa de erosión de los conos en Nuevo México, de Scott y Iask en 1971.

Por otro lado Libby W. (1951), mediante pruebas de carbono

14 calculó la edad de las rocas del Pedregal de San Angel en 2,400 años. Schmitter (1950) presenta un estudio sobre la petrografía y geoquímica de las lavas del Xitle. Mientras que Jerzy Kzedowsky (1954), las estudia desde el punto de vista botánico, además calculó la extensión de las lavas en 80 km<sup>2</sup>.

En 1955, Carl Fries Jr. organiza varias excursiones geológicas al Estado de Morelos y regiones colindantes al Distrito Federal. Dentro de estas, reconoce la importancia de las rocas volcánicas cuaternarias que forman una extensa masa basáltica, y que constituyen la elevada serranía en el extremo sur de la Llanura de México (representa a la unidad volcánica más reciente y a la cual denomina Grupo Chichinautzin). De esta formación, Carl Fries (1960: p. 40 y 41) dice: "El nombre del Grupo Chichinautzin proviene del alto cerro de ese nombre, volcán basáltico del pleistoceno tardío o del reciente, situado en el límite entre el Estado de Morelos y el Distrito Federal...". Se encuentra a 7 km al oriente del Kilómetro 35 de la carretera México-Querrnavaca. Es uno de los conos más altos (3 450 m), de la gran sierra al sur de México. Fries además comenta: "Se propone este grupo para comprender todas las corrientes lavicas, estratos de toba y brechas y materiales clásticos interestratificados depositados por agua, de composición andesítica y basáltica, que descansan encima de la Formación Querrnavaca o de unidades más antiguas".

José Lugo Huber (1970) realizó un estudio sobre los conos de la parte noroccidental de la Sierra Chichinautzin. Estudia en detalle su petrografía y geomorfología donde propone una división

estratigráfica.

A nivel mundial es hasta 1932 con Porter, que se establecen ya relaciones cuantitativas entre algunas de las dimensiones de la morfología de los conos. Aunque se pueda decir que las mediciones sistemáticas se habían hecho previamente por Isuya (1943), Nakamura (1961) y Uemura (1969). Bredt (1964), señaló que las canchales marcan una diferencia inicial en la morfología de los conos y que se puede caer en confusión al estudiar la degradación que éstos sufren. Hay un antecedente sobre la clasificación de los conos basada en las modificaciones de los mismos por efectos de erosión, realizado por Lottion en 1967, quien identificó cinco estadios que numera de más antiguo a reciente: primero, la etapa 5 se caracteriza por tener conos jóvenes y de cráter profundo. Carecen de barrancos y los fragmentos de escoria están muy poco oxidados. En la etapa 4, los conos son similares en los principales aspectos característicos de la etapa 5. Pero no hay una fuerte intensidad de erosión y la oxidación es suficiente para descomponer la canchales y convertirla en arcilla, que puede así soportar vegetación dispersa. La etapa 3 se caracteriza por la presencia de barrancos, mientras que en la etapa 2, se sufre de una erosión mucho más severa, a tal grado de descubrir diques o lomeríos internos. Los márgenes se suavizan y se cubren de suelo suficiente para sostener vegetación más densa. Por último, en la etapa 1, el cono se encuentra completamente desnudo y muestra material fragmentado. Estos estudios de degradación se asemejan a la secuencia desarrollada por Kear (1957) en base a detalles de mapas estratigráficos y estudios petrográficos para los grandes

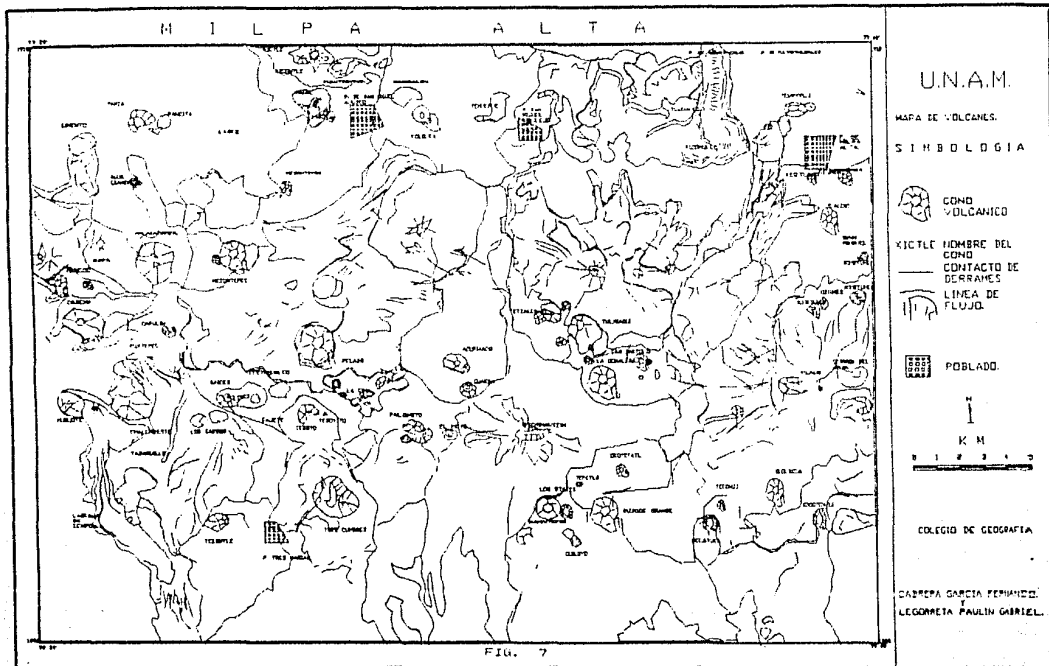


conos volcánicos en Nueva Zelanda. Moore et. al. (1976) realizaron una nueva clasificación secuencial relacionada con la secuencia de Colton y Damon et. al. (1974) apoyada con una serie de datos radiométricos asociados a las coladas de lava.

Bloomfield (1973 y 1975) ha realizando un extenso estudio sobre las coladas de lava y los campos de ceniza de los conos, de la parte Central de México. Específicamente en la región de Colima, ha estudiado el Basalto fanérgico, perteneciente a la Formación Chichinautzin. Posteriormente hizo el levantamiento y los estudios petrográficos, geoquímicos y estratigráficos, que incluyen también datos morfológicos, morfométricos y radiométricos de la misma región, que cubre un área aproximada de 700 km<sup>2</sup>, donde aflora la Formación Chichinautzin.

Gunn y Mooser (1971), Nagendank (1972) y Richter y Nagendank (1976 citados por del Pozzo 1980), han realizado estudios geoquímicos. Mooser et. al. (1974) estudios paleomagnéticos de las rocas de la Llanura de México. Adams, han hecho múltiples investigaciones del Eje Volcánico Transmexicano sobre su estructura y origen, y sitúan a la zona de estudio en un contexto regional.

Dentro de los trabajos más recientes, Ana Lillian Martín del Pozzo (1980) presenta un estudio detallado de las características de 146 volcanes monogenéticos de edad cuaternaria (ver figura 7) y realiza una subdivisión estratigráfica del grupo Chichinautzin con base en la edad del relieve (ver figura 8) que a continuación resumimos:



Subunidad PLV (Volcanitas Holocénicas): tienen suelo delgado. Los derrames están perfectamente definidos y preservados, lo cual permite su cartografía. No presenta cultivos (pedregal). La edad estimada es de  $8\ 440 \pm 70$  años.

Subunidad PLV4 (Volcanitas Pleistocénicas): los derrames individuales tienen bordes marcados "lavées" y sus centros presentan cubierta de suelo delgado. Se le estima una edad de  $19\ 530 \pm 160$  años.

Subunidad PLV3 (Volcanitas Pleistocénicas): la cubierta de suelo es imperistente. Todas las crestas de presión son visibles. Los márgenes de los derrames son marcados y presentan poca erosión en sus crestas terminales. La edad estimada es de  $21\ 860 \pm 380$  años.

Subunidad PLV2 (Volcanitas Pleistocénicas): los derrames tienen márgenes redondeados. No presentan estructuras de flujo internas. Tienen una gruesa cubierta de suelos (de 2 a 3 m) intensamente cultivada. Su edad es de  $30\ 590 \pm 1\ 160$  años.

Subunidad PLV1 (Volcanitas Pleistocénicas): es la subunidad más antigua (edad estimada de  $38\ 590 \pm 210$  años). Presenta márgenes de derrame redondeados. No es posible observar estructuras de flujo interno. La cubierta de suelo es gruesa (4m), motivo que ha favorecido el desarrollo de vegetación.

En 1984 José Lugo Hubo realiza un estudio sobre la geomorfología del sur de la Cuenca de México.

Por último, hay que señalar que no se ha agotado la bibliografía existente, ya que se cuenta con una gran variedad de

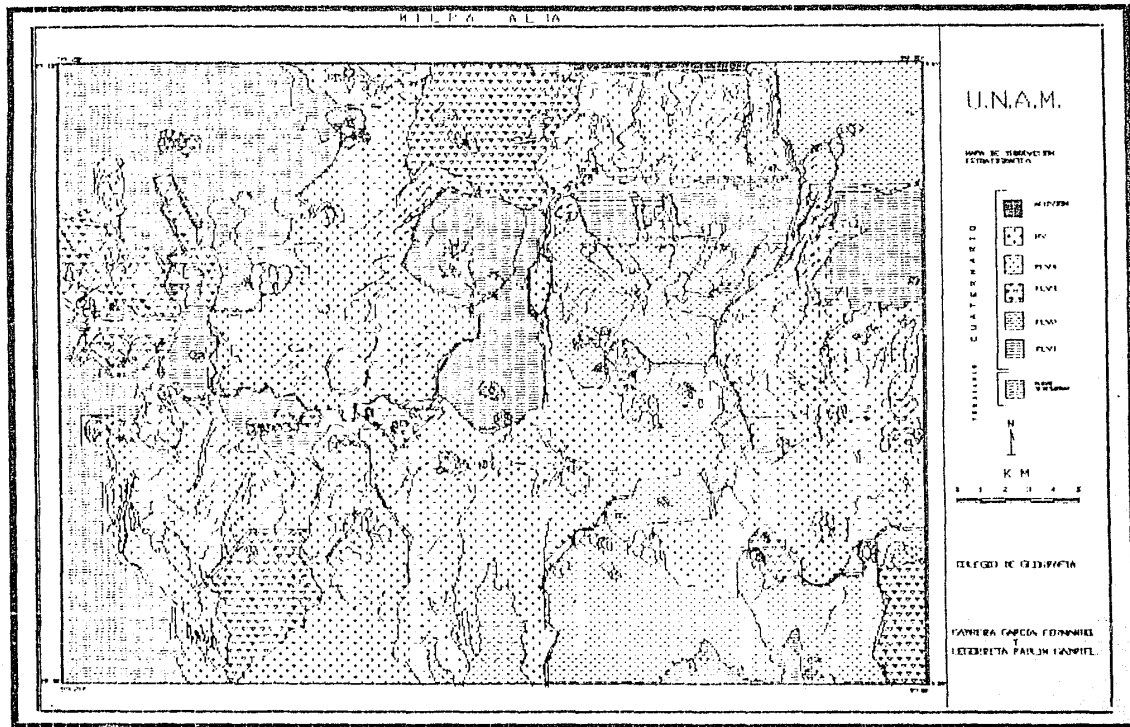


FIG. 8

trabajos antropológicos, geográficos, biológicos, hidrologicos etc. pero que algunos de ellos tratan a la Cuenca de Mexico en forma indirecta y otros se refieren a localidades excepcionalmente pequeñas.

## M E T O D O L O G I A.

Los métodos de investigación de cualquier ciencia, son el sistema de procedimientos y modos para conocer sus leyes generales. La elección correcta de ellos es muy importante para lograr la efectividad en los resultados. La capacidad para utilizar correctamente unos u otros métodos, nos permite organizar mejor la colecta, el manejo y la utilización de la información, para crear una nueva, que responda a las necesidades de la investigación.

En el arsenal de la geografía, tanto física como social, existen métodos tradicionales y métodos nuevos. Estos últimos aparecen bajo la influencia y en respuesta a las necesidades de la revolución científico-tecnológica. Entre los métodos tradicionales se encuentran los métodos históricos, los cartográficos, los comparativos, los de investigación y observación de campo, los estadísticos, los de regionalización y otros más. Dentro de los métodos nuevos tenemos los matemáticos, las técnicas de automatización, las observaciones a distancia (fotogrametría, fotointerpretación, análisis de imágenes de satélite, etc), entre

otros.

Para alcanzar los objetivos de la investigación, la primera labor que se tiene que realizar consiste en efectuar un inventario de los conocimientos ya existentes acerca del tema, de las técnicas, y del lugar a estudiar. De esta manera se evita el rehacer inutilmente un trabajo ya realizado. Este inventario debe ser lo más crítico posible, ya que se pueden encontrar obras que son insuficientes, e incluso inadaptadas al objetivo de la investigación.

Posteriormente se lleva a cabo una interpretación inicial de fotografías aéreas en las cuales se reconocen las distintas formas evolutivas, y los complejos volcánicos con sus derrames. Mas adelante, se verifica y reinterpretata con el trabajo de campo, o sea mediante observación directa de las peculiaridades de los edificios volcánicos, sus derrames, tipos de vegetación, suelo, etc.

En campo se midió: la profundidad del cráter, el diámetro del cráter, el radio del cono, la pendiente exterior e interior. Para esto se utilizaron cinta y brújula, y se obtuvieron los datos con los que posteriormente se calcularon ángulos y distancias. Toda esta información se maneja en el análisis de esquemas, gráficas, diagramas, y perfiles tanto longitudinales como transversales de las estructuras correspondientes a las subunidades.

Por otro lado, para analizar el conjunto de la información, es esencial correlacionar los elementos, tales como: la densidad y

la profundidad de la dislocación, la profundidad de los cráteres, las pendientes internas y externas de los conos, sus diámetros de base, etc. con las distintas subunidades estratigráficas. Para su consecución se empleó la carta topográfica a escala 1:50 000, Milpa Alta, de INEGI, en la que se hicieron una serie de mediciones sobre algunos de estos elementos del relieve, con lo cual se elaboraron mapas morfométricos.

Se aplican dos de los métodos cuantitativos más importantes. El primero, conseguir la densidad de la dislocación, que consiste en medir la longitud total de talvege en un mapa por áreas establecidas. El segundo que complementa al primero, es realizar el mapa de profundidad de la dislocación, que mide la profundidad vertical máxima causada por la erosión fluvial en una superficie. También se desarrollaron otras técnicas como la de curvas de área-altitud para establecer los grados de distribución y de pérdida de material en cada subunidad, con lo que se deduce la tendencia de nivelación del relieve al paso del tiempo. Paralelamente se seleccionaron volcanes y coladas pertenecientes a cada subunidad del Grupo Chichinautzin. Se utilizaron las cartas escala a 1:10 000 de la Dirección de Catastro de la Tesorería del Distrito Federal, para obtener los perfiles topográficos y los diagramas bloque, donde se describen y caracterizan las formas de la laderas, la profundidad del cono, los diámetros de bases y de los cráteres, etc. en relación a su edad, guiándonos al conocimiento de las características del relieve y a la modificación superficial que sufren debido a los procesos erosivos.

Para el dibujo e impresión de gráficos a una determinada

escala, se empleó microcomputadora, pues sustituyó a reglas, escalímetros, grafos, compases, etc., logrando mejores resultados por la capacidad de corregir errores antes de editar los dibujos.

El diseño asistido por computadores, con el paquete AUTOCAD, que se enfoca directamente al área de CAD (Computer Aided Design), es un conjunto de sistemas y técnicas, donde mediante la automatización se elaboraron los mapas, diagramas-bloque, y gráficas, llenando las exigencias de la cartografía tradicional.

Se emplea también el paquete PERSPECTIVE 3D, en la generación de gráficas en tercera dimensión similares a diagramas bloque (ver figura 9); para esto se necesitan los datos obtenidos de las cartas mencionadas. Se pueden hacer análisis y comparaciones al observar en detalle los diagramas realizados.

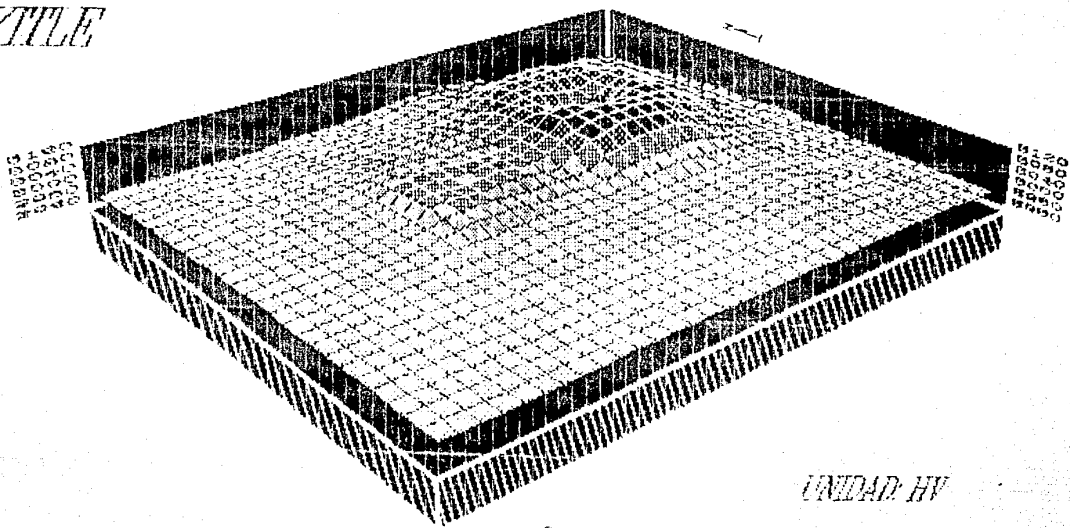
Por último, al determinar las características del relieve, se crearon bases de datos a las que se les define como una colección de información interrelacionada, que al agruparla forma un único ente, el cual es un fichero de información.

En teoría cualquier base de datos esta dispuesta de tal forma que la información sea fácil de encontrar, y en este rubro la automatización nos puede auxiliar, porque existen diversos ordenadores de bases de datos, aptos para clasificar, almacenar y ordenar información, tal como lo realiza el paquete dBASE III PLUS, el cual utilizamos para nuestro propósito.

Este manejo de información permite encontrar una relación entre las subunidades del relieve volcánico, mostrando con ello



XIV



los aspectos de semejanza y diferencia de las formas. Posteriormente se establecen correlaciones estadísticas que permiten delinear modelos de desarrollo volcánico.

La selección de los distintos métodos de investigación deben considerar tanto los métodos tradicionales, como los nuevos. Ello coadyuva a un mejor entendimiento de la evolución del relieve, constituyendo un apoyo básico para los estudios de planeación, de conservación de suelos y de aprovechamiento de los recursos naturales de la región.

## MARCO GEOGRÁFICO GENERAL.

### LOCALIZACIÓN

La Sierra Chichinautzin, está limitado por las Sierras de Las Cruces y de Compostela al occidente; al oriente la formación se extiende hasta el pie de la Sierra Nevada; al sur por el Valle de Cuernavaca y al norte por los canales de Xochimilco y la propia Ciudad de México (ver figura 10).

La zona de estudio, comprende a la carta Milpa Alta de DÉTENAL (E14449), escala 1:50 000, que cubre la parte meridional de la Cuenca de México. Corresponde en su porción occidental al Estado de México y en su parte meridional al Estado de Morelos, mientras que en su porción septentrional está en el Distrito Federal (abarca parte de las delegaciones de Milpa Alta, Tlalpan y Xochimilco). La superficie cartografiada cubre un área rectangular de aproximadamente 952 km<sup>2</sup> (27.4 km por 30 km), y tiene como coordenadas límites 19°00' y 19°15' de latitud norte y los 99°00' y 99°20' de longitud oeste (ver figura 11 y 12).

Entre las poblaciones más importantes podemos citar la del Ajusco al noroeste, la de Tulyehualco y Xochimilco al noreste, la de Topilejo al norte y la de Tres Marias en el sur-occidente de la carta.

Las dos principales vías de acceso son: la autopista México-

GRUPO CHICHINAUTZIN

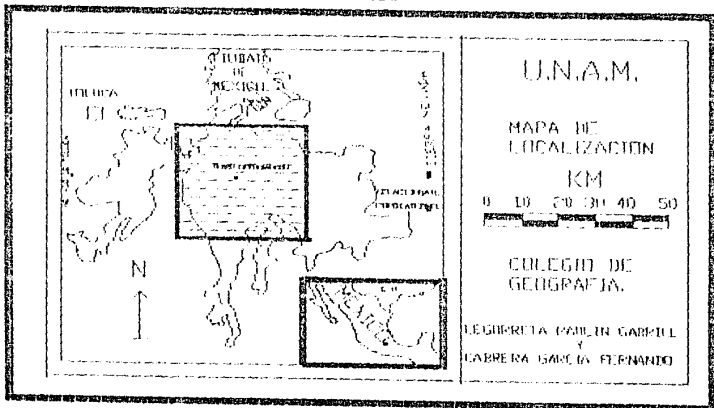
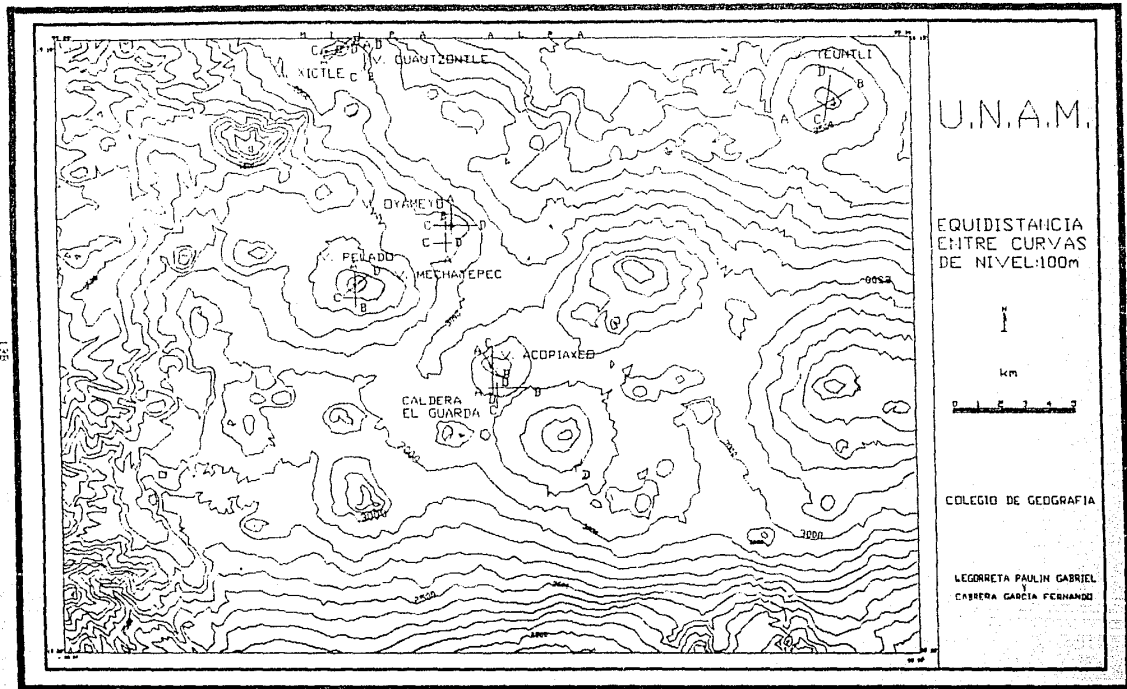
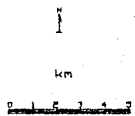


FIG. 10



U.N.A.M.

EQUIDISTANCIA  
ENTRE CURVAS  
DE NIVEL: 100m



COLEGIO DE GEOGRAFIA

LEGORRETA PAULIN GABRIEL  
CARRERA GARCIA FERNANDO

136

Cuernavaca y la carretera Federal numero 50 que es el mejor acceso. Ambos pasan por los poblados de Tonilajo y Tres Marias, donde cuentan muchos afloramientos del Grupo Chichineutzin. La carretera a Chama, que principia en Tres Marias, corta las rocas del volcan Tezontle, el derrame de la Gloria y la Formación Zempoala. La carretera Mexico-Milpa Alta atraviesa los derrames Tloda, de Cuacuilalli y Xicomulco que es el camino a Uactapac. Esta parte se encuentra fuera de la hoja. El acceso al area del Ajusco puede ser por la desviación de la Carretera Federal numero 50, o directamente desde la parte suroccidental de la Ciudad de Mexico, por la salida del Periferico Sur en el Pedregal de San Angel, para tomar la carretera que rodea al Ajusco. La línea de Ferrocarril Mexico-Balsas era otra opción pero ya no se tiene servicio para pasajeros.

## O R O G R A F I A

La orografía de la zona de trabajo consiste en una serie de accidentes geográficos relacionados entre si. Constituye tan solo un pequeño segmento de la zona de vulcanismo pleistoceno en México, que se orienta al oeste-noroeste y se extiende desde el Golfo de México, en el extremo sur del Estado de Veracruz, hasta el Océano Pacifico en los extremos norte del Estado de Jalisco y sur del Estado de Sinaloa.

En esta zona, las secuencias de lava y de piroclásticos

*MILPA ALTA*

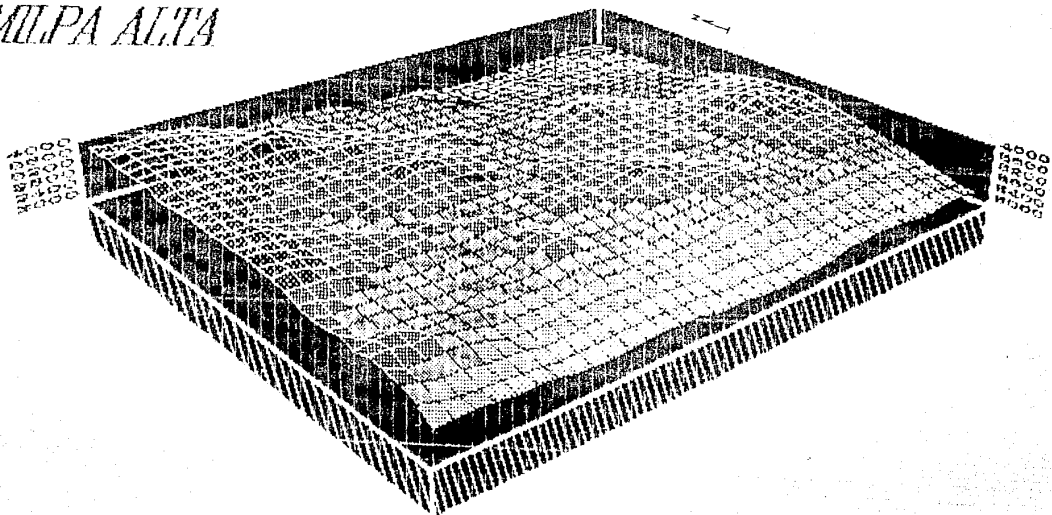


FIG. 12

producidos por volcanes monogeneticos junto con las serranias, dan un panorama de lomerios que descienden de las Sierras hacia las partes bajas, reduciendo notablemente la superficie de llanuras (ver figura 13).

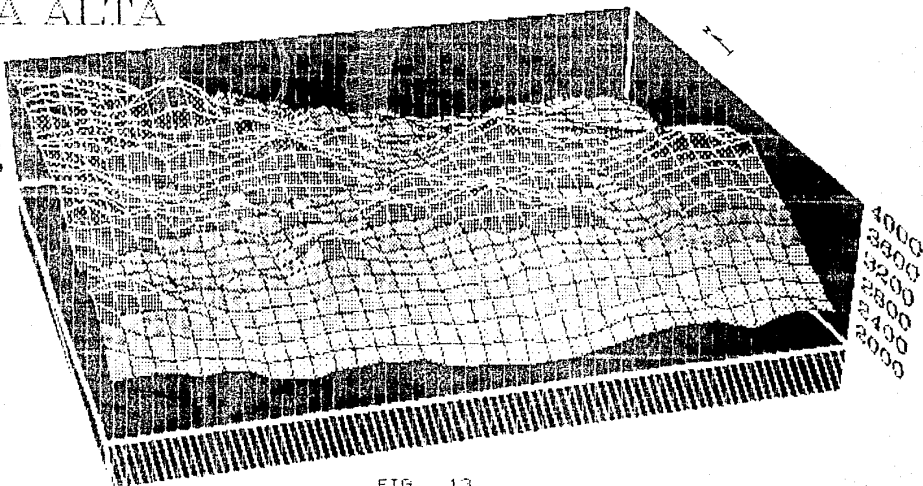
Las serranias mas antiguas estan al suroeste. La del Ajusco (perteneciente al Terciario) cuya cumbre domina a la del Xitle, Malinala, Mesonteped y Malacatepec, cuyas vertientes se hallan cubiertas en algunas cañadas, principalmente por corrientes de lava basáltica, que se acumulan en la falda septentrional. Hacia la falda meridional se presenta una gran zona cubierta de roca lisa, de color casi blanco, vulgarmente llamada "lajas". El mismo Ajusco, como cumbre principal de la cordillera, por el sur de la Cuenca de Anahuac, liga la serrania de Las Cruces con la Sierra Nevada donde se encuentra el Popocatepetl.

Dentro de la subunidad mas joven (Hy) del Grupo Chichinautzin, se encuentra un grupo de relieve importante al noroeste, en lo que hoy se conoce como "Pedregal de San Angel", contiene los crateres que fueron activos en tiempos historicos. Sobre los conos, Presko Iago (1961) nos dice: "...aunque es muy probable que su número haya sido mayor, pero ahora son unicamente tres los que pueden apreciarse con facilidad. El Xitle, que significa ombligo, alcanza la mayor altura en toda el area del Pedregal (3 100 m): es un cono piroclastico perfecto con laderas externas e internas fuertemente inclinadas. Pegado al Xitle y en direccion oeste se encuentra otro crater de paredes formadas por bloques de lava basáltica de menos elevacion y menos profundo,



# MILPA ALTA

4000  
3600  
3200  
2800  
2400  
2000

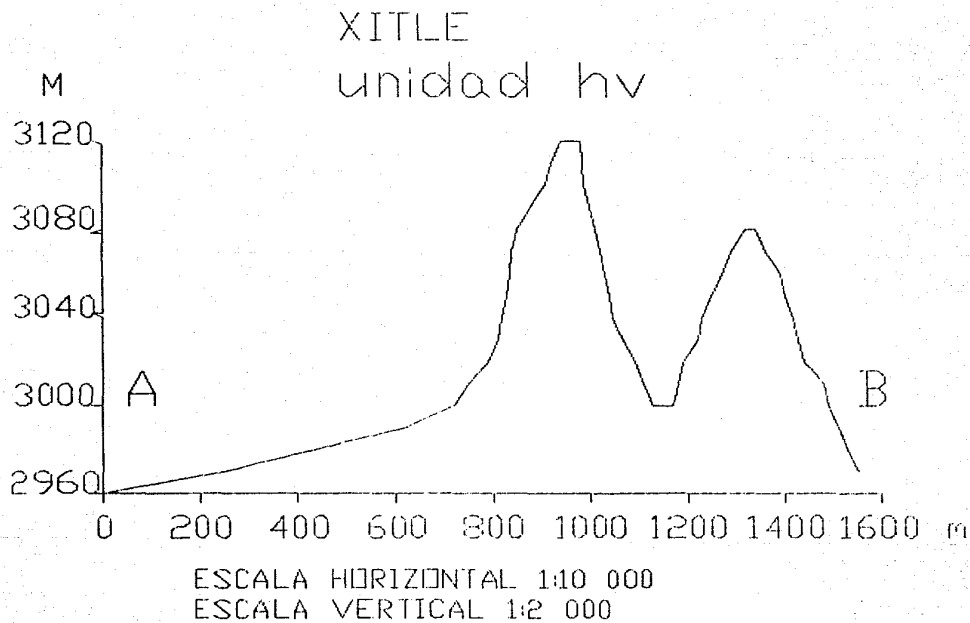


4000  
3600  
3200  
2800  
2400  
2000

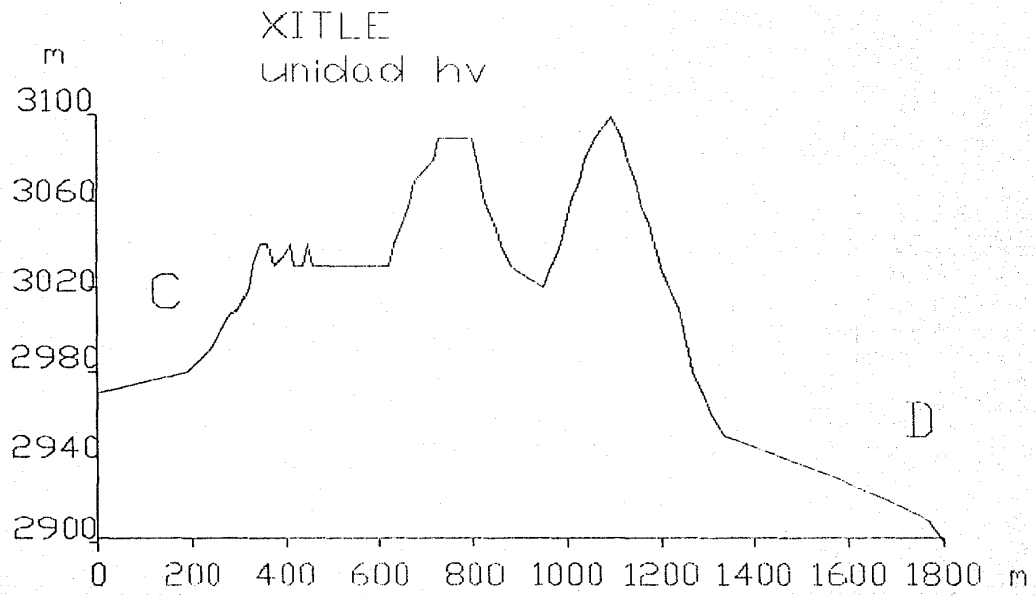
FIG. 13

denominado Xitle chico, y el último cráter situado en el lado  
oeste, es decir en el fondo oriental del Xitle. Es de escasa  
profundidad y pendiente relleno de gran cantidad de lava" (ver  
figuras 14 y 15). Los derrames del Xitle sobreyacen a la Formación  
Tarango, a la Formación Xochitepec y a los derrames del Cuatzohtle  
(subunidad PIV2), con una área calculada entre los 75 y 80 Km<sup>2</sup>.  
Sus cenizas cubren a los volcanes Cuatzohtle, Yolotlic, el  
Magdalena (al lado oriente del Ajusco) y al volcán Malinala. Las  
lavas que fluyeron por varias bocas en la base del cono  
cónico, son de tipo Aa y Pahoehoe. Están datadas por Libby  
(1953) en 2 400 años por el método de carbono 14.

También perteneciente a la subunidad H<sub>v</sub>, de edad estimada en  
8 440 ± 70 años, se encuentra el volcán Chichinautzin "Señor que  
quemó", de 3 450 m de altitud, que se levanta en la porción  
central de la zona de estudio. Las laderas del volcán y su  
piedemonte se extienden considerablemente en forma circular con  
radio de unos 5 Km aproximadamente. De esta forma el volcán,  
junto con otras elevaciones montañosas también jóvenes como el  
Pelado y el Tlaloc, definen el parteeagus de la Cuenca de México.  
Se estima que el espesor máximo de la sucesión basáltica entre las  
carreteras que conducen a Cuernavaca y a Cuautla a partir de la  
Cuenca de México, es probablemente de 1 200 a 1 300 m (Frias,  
1960), pero es considerablemente menor en otras partes. Esta  
estimación fue hecha al medir las diferencias entre las curvas de  
nivel, entre el Valle de Cuernavaca y el volcán Chichinautzin. Los  
afloramientos de la Formación Chichinautzin se distinguen por su  
juventud ya que existe poca disección fluvial.



229



ESCALA HORIZONTAL 1:10 000  
ESCALA VERTICAL 1:2 000

FIG. 15

A partir de esta subunidad aumenta la edad de los volcanes y de las coladas. Cada uno de ellos presenta tamaños, diámetros, espesores y pendientes distintas, hasta llegar a la subunidad más antigua del Grupo Ulichinautzin, la PIV1 con 38 590 ± 210 años. Estas características se utilizan más adelante en la construcción de bases de datos de las subunidades dentro del área de estudio.

Un ejemplo típico de la subunidad más antigua (PIV1), es el volcán Uyameyo (ver figura 16 y 17), localizado al suroeste de Topilejo y que posee una altitud de 3 300 m. Las características morfológicas dan muestra del deterioro que sufren los conos con la edad, pues su cráter es casi plano y su cono tiene una pendiente externa de entre 26° y 30°. El volcán Uyameyo al ser representante de la subunidad más antigua se ve parcialmente cubierto, al oeste, de lavas y cenizas de volcanes más recientes como las del Pelado (HV). Al norte por las lavas del volcán Volotica (PIV3), al este por las cenizas del volcán Acochpanco (PIV1).

Algo similar a los conos volcánicos ocurre con sus correspondientes derrames (ver figura 18), es decir, se nota también en ellos un ciclo de vida: 1) nacen de una erupción volcánica; 2) tienen su época de juventud, representada por una superficie rocosa desnuda; 3) por la acción doble del depósito y la erosión pierde el aspecto característico y se cubre de vegetación; y 4) pasa a la vejez al cubrirse de una capa de sedimento o desaparece por ablación. La duración de este ciclo depende de la naturaleza y espesor de las lavas, así como de su edad y de la intensidad de la acción de los diferentes agentes de

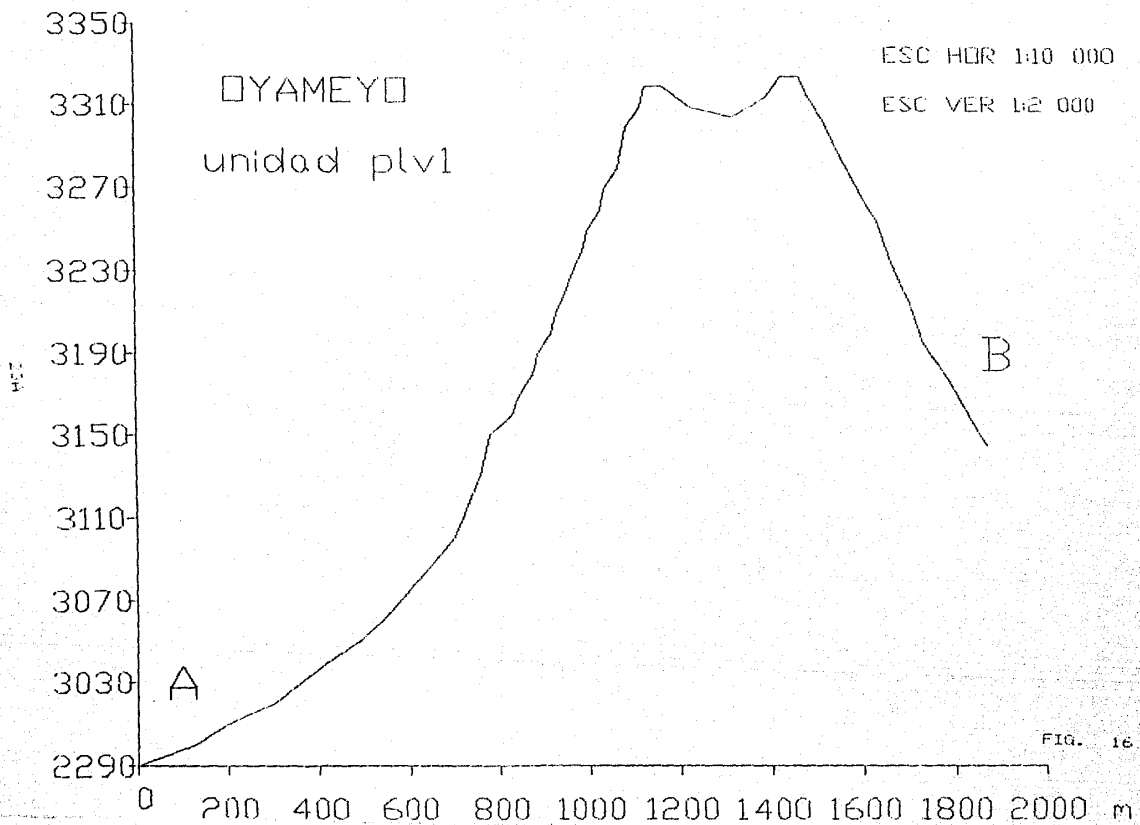


FIG. 16

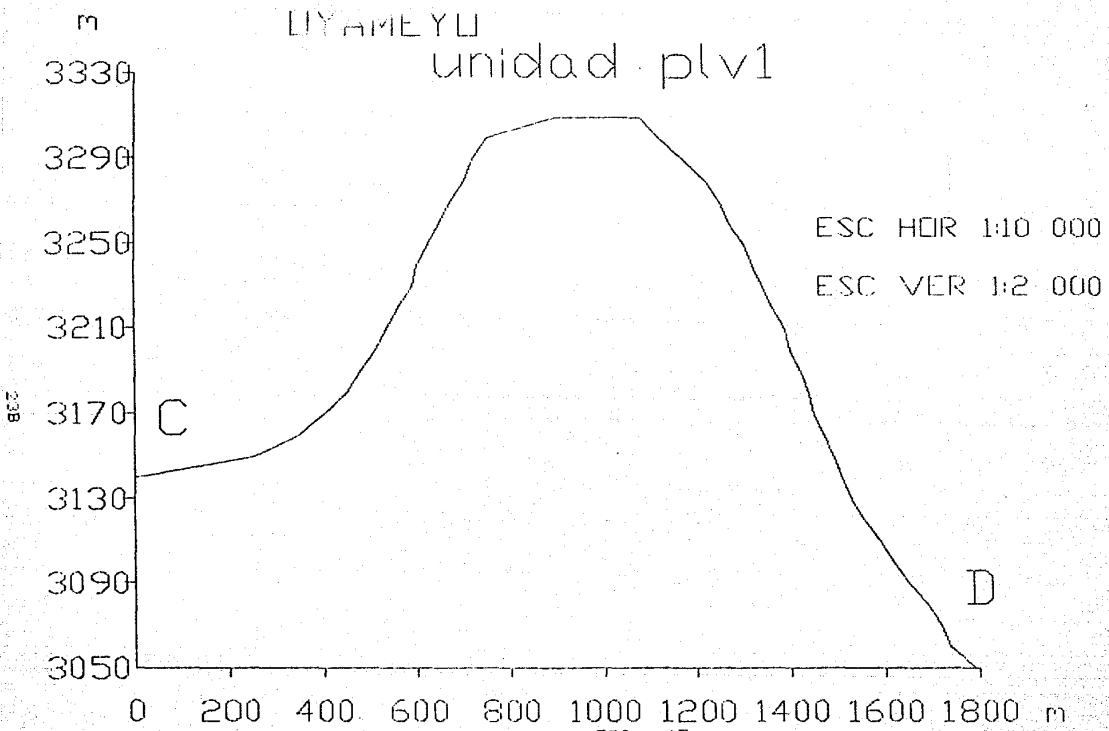


FIG. 17

# COLADA NICOMULCO

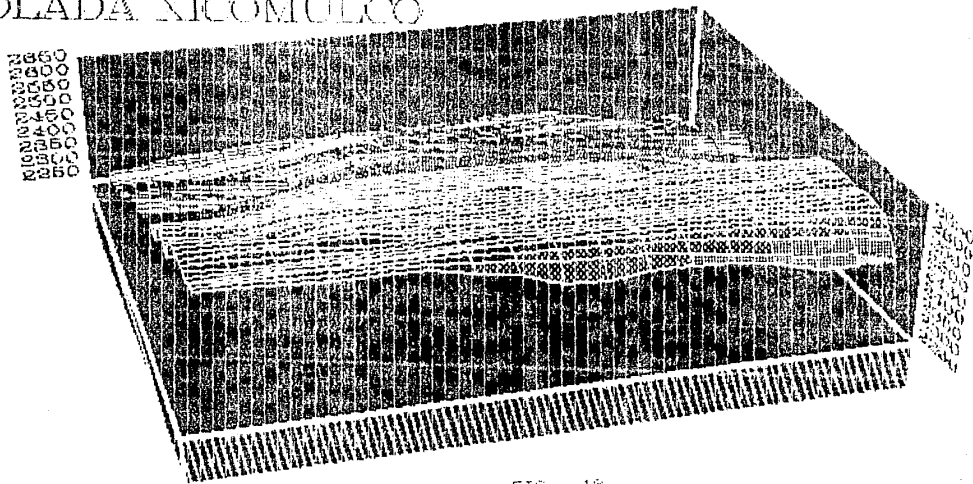


FIG. 18



intemperización, pero también es muy importante la caída de cenizas de otros volcanes.

Debido a los contrastes altitudinales y de edad, se presentan distintas condiciones de clima, suelo, vegetación, y uso del suelo.

## CLIMAS

El sur de la Cuenca de México presenta una gran variedad de tipos climáticos locales, sin embargo podemos decir que en general es templado, benigno y suave. Según García (1977) el suroeste del Distrito Federal presenta un clima C(w) templado subhúmedo con lluvias en verano y se encuentra dividido en subtipos debido a la diversidad del relieve con altitud superior a los 2 000 m. Comprende tanto zonas planas como montañosas y se divide en subtipos en distancias relativamente cortas. Estos subtipos climáticos, que se describen más adelante, se distribuyen en forma de franjas que siguen aproximadamente las curvas de nivel y que citaremos desde las más bajas con 1 800 m de altitud hasta las más altas con altitud superior a los 4 000 m.

El C(w)(wb)(1) es el más seco de los templados subhúmedos, con lluvias en verano y con un cociente P/T menor de 43.2. Posee un porcentaje de lluvia invernal menor al 5% del total anual. Es un clima templado con verano fresco. La temperatura del mes más caliente es mayor a 22°C, mientras que la temperatura media del

mas mas frio se encuentra entre 11° y 18°C y la temperatura media anual entre 12° y 18°C. Presenta ademas una isoterma con poca oscilacion anual de las temperaturas medias mensuales (entre 5° y 7°C). Este tipo de clima se localiza en el area ocupada por la llanura del antiguo lago de Xochimilco. La vegetacion primaria en la mayoria de los casos ha sido sustituida por cultivos.

El clima C(4)(w)(b)(1) subhumedo con lluvias en verano, intermedio entre el C(4w) y el C(4b) con cociente P/T entre 43.2 y 55.0 y con las mismas caracteristicas que el anterior. Se diferencia del anterior por el cociente P/T mas alto, lo que significa que tiene mayor humedad. Se localiza en las partes bajas de la sierra de Chichinsutzin, aproximadamente entre los 2 250 a 2 500 m de altitud, con isotermas de 13°C. En esta zona la vegetacion nativa ya no existe, pues como en el caso anterior ha sido sustituida por cultivos.

Un tercer tipo de clima es el C(4b)(w)(b) que es el mas humedo de los subhmedos, con lluvias en verano, y con cociente P/T mayor de 55.0. El porcentaje de lluvia invernal es menor al 5% de la total anual. La oscilacion anual de las temperaturas medias mensuales (1) es menor a 5°C y tiene una isoterma de 11°. Se ubica en las laderas montañosas de altitudes comprendidas entre 2 400 y 2 800 m. La vegetacion primaria al igual que las otras regiones es sustituida por cultivos, encontrandose sólo pequeños manchones de bosque de pino y encino, y de maleza.

En alturas entre 2 800 y 4 000 m, con una isoterma de 9°C encontramos el clima C(4b)(w)(b)1, es decir, el clima más humedo de

los subhúmedos, con lluvias en verano y cociente P/T entre 40.2 y 50.0 con lluvias invernales menor de 5% de la total anual. La letra b' en combinación con la C indican un clima semitrópico con verano fresco largo, con temperatura media anual entre 5° y 12°C, temperatura media del mes más frío entre -3° C y 18°C, y temperatura media del mes más caliente entre 6.5° y 22°C. Aquí la vegetación característica es oyamel intercalado en un bosque de pinoleños.

En la región de estudio se tiene una pequeña porción de clima ET. Corresponde a la cumbre del volcán Ajusco, ya cerca de los 4 000 m de altitud. La vegetación que en este tipo de clima de tundra esta representada por musgos, líquenes y zacatonal.

Las isotermas muestran de manera clara la influencia de la altitud. La isoterma de 15°C se encuentra en la base de la Sierra del Chichinutzin y coincide con la curva de nivel de 2 250 m. A medida que se asciende por las laderas montañosas la temperatura disminuye en una proporción promedio de 0.42°C por cada 100 m. Así en las partes más elevadas de la Sierra del Chichinutzin la temperatura es de 7° u 8°C.

Estos climas son alterados por la influencia del hombre por efecto de la deforestación y el desecamiento de algunos lagos.

Por lo que respecta a las precipitaciones, se establece que la orografía tiene una marcada influencia en la distribución e intensidad de las lluvias. En esta zona casi toda la precipitación es de tipo orográfico y convectivo en la temporada lluviosa -en

verano y parte del otoño, junio, julio, agosto y septiembre-. La fuente de humedad son principalmente los vientos alisios. Estos vientos provienen del centro de alta presión Bermuda-Azores. Son vientos profundos que logran cruzar la Sierra Madre Oriental y se presentan en la Cuenca de México con una dirección que varía de noreste a suroeste. La humedad arrastrada por estos vientos se precipita debido a movimientos convectivos del aire, desde el fondo del valle hasta las vertientes de la zona montañosa. Las nubes, cuya formación se efectúa en las partes altas de la tierra, son de tipo cúmulos, que en las laderas suelen ser transportados por los vientos superiores en dirección hacia el centro de la cuenca. Las precipitaciones oscilan entre 1 000 y 1 100 mm para los volcanes Teuhtli, Popocatepec y Milpa Alta, pero llegan a 1 400 mm en las partes altas del lado occidental del área de la zona de estudio.

## H I D R O G R A F I A

En toda la extensión, la erosión fluvial sólo se presenta con carácter incipiente. Para la vertiente sur de la Sierra del Chichinautzin, las líneas del drenaje son de corta extensión, poca profundidad y en general sólo alcanzan a formar corrientes de primero y segundo orden. Estas corrientes llegan a pequeñas cuencas que gradualmente crecen pendiente abajo. Algunas se integran decenas de kilómetros más adelante, a los afluentes del Río Amacuzac -afluente del Río Balsas-. En contraste, la vertiente

septentrional de la Sierra del Chichinautzin presenta una acción de la erosión fluvial considerablemente más débil.

En los grandes edificios volcánicos, las precipitaciones forman pequeñas corrientes que desarrollan rápidamente un denso drenaje radial. Cuando los materiales que constituyen los conos son homogéneos, el drenaje forma una serie de valles que discurren directamente desde el vértice a la base del volcán, que recuerda la disposición de los rayos de un parabol. Solo en algunos lugares las corrientes se concentran, porque son favorecidas por la litología y el relieve (material volcánico no consolidado en pendientes fuertes), que marcan escurrecimientos de tercer y cuarto orden. El sistema hidrológico no ha alcanzado un desarrollo que defina cuencas fluviales amplias.

Entre los escasos ríos de la zona de estudio se encuentra por ejemplo, el Buenaventura, que es intermitente. Nace en las estribaciones del cerro del Chichinautzin (pedregal de Oyamentia y Mesa del Inigo al este del Ajusco), pasa cerca del pueblo de Pannes, y se le unen varias corrientes que bajan de los volcanes uyameyo y Machatepec en tiempo de lluvias. Se dirige al norte de San Miguel Ajusco y oeste de Magdalena Petlacalco, para después fertilizar extensas y elevadas planicies de Tlalpan, desembocando por último en la presa de San Lucas en Xochimilco.

También se da el caso, de corrientes de poca longitud, aisladas, con profundidad de hasta 5 m, comunes en las coladas de lava jóvenes (como las de los volcanes Chichinautzin y Pelado). Se deben, no tanto a un proceso de erosión fluvial, sino a corrientes

temporales controladas por grietas de las coladas de lava. La erosión fluvial es mucho más lenta en estas grietas, sin embargo, en las paredes de dichas grietas tiene lugar un proceso de intemperismo químico por la acción del agua sobre las rocas básicas, que afecta su composición y las degrada. Ejemplo de este tipo de corriente lo tenemos en el Arroyo las Regaderas, controlado por grietas de las coladas de lava, y los que se localizan en las barrancas de Chalchiquapan y Medicina al suroeste de la zona de estudio. Por otro lado, se trata de estructuras de gran permeabilidad. El agua pasa en mayor cantidad por infiltración que por escurrimiento.

La infiltración de agua se produce en la estructura geológica de la Sierra del Chichinautzin. Su gran porosidad, ha permitido constituir una importante zona de recarga para los acuíferos, los cuales son abundantes en las zona de contacto entre el material volcánico y el sedimentario, o bien entre material menos permeable. Las reidas del Ajusco, del Pelado y del Pulmitqui, se alimentan también del escurrimiento de las formaciones terciarias que las rodean y que son menos permeables.

La explotación del agua subterránea en esta región es cada vez mayor, a causa del crecimiento urbano. Por citar algo, tenemos que los manantiales más importantes que abastecen en parte a la Ciudad de México de agua potable son: San Luis Aduescomac, Santa Cruz, Nativitas y La Noria. Todos estos manantiales fueron captados por orden del gobierno del Presidente Porfirio Díaz en 1909, mediante la construcción de un acueducto para abastecer de

agua potable a la Ciudad de México. A partir de esta fecha el agua de los canales y zanjas fue bajando de nivel en Xochimilco, donde los manantiales mencionados regularizan el nivel de las aguas en tiempo de secas (Mendoza, 1961). Esta situación se ha agravado debido a la deforestación y al bombeo excesivo, que no permiten la recarga de los acuíferos.

## S U E L O S

El vulcanismo, el clima, la erosión y la depositación, y las alteraciones ocasionadas por el hombre son elementos, tanto en el espacio como en el tiempo, que se conjugan para que los suelos presenten un rango muy amplio de variabilidad.

Es admisible tratar de unificar los suelos a nivel regional en función a su origen, puesto que se ha derivado de productos volcánicos que se diferencian por su composición y las modalidades erosivas que los han afectado.

En base a los trabajos principalmente de Mondada Maya (1976), Mendoza Rosete (1961), y Asako Tago (1961), se clasifican los siguientes tipos de suelo:

El material constituyente no ha evolucionado de manera uniforme, como es el caso de los suelos residuales. Hay que considerar que en muchos casos gran parte del material volcánico es fácilmente removido por el viento y las lluvias. Estas acciones

erosivas al transportar gran cantidad de material formador del suelo, alteran los perfiles, y depositan material erosionado en zonas más bajas. Dentro de la zona de estudio en las partes planas situadas por debajo de la cota de 2 250 m., se forman suelos que tienen su origen en el material que es transportado por la fuerza de gravedad (coluvión), y por escurrimientos (aluvión), o por ambos. En las zonas de colada y en los conos, el material predominante es pétreo, por lo tanto los suelos también son residuales. Asimismo, se encuentran cantidades considerables de material piroclástico y cinerítico, que en las pendientes de los volcanes es muy susceptible de ser removido por el viento y las lluvias, y que es poco aprovechable para fines agrícolas.

Para casi todas las planicies, las partes altas en lugares con poca pendiente y también en las partes bajas de las llanuras y valles, localizadas entre Xochimilco y Ixtahuac, se encuentra el Andosol Hápico. Es un suelo formado a partir de material vítreo, es decir, que más del 60 % son cenizas volcánicas vítreas y otros materiales piroclásticos vítreos, que forman fracciones de limos, arenas y gravas. Es suelo generado por ecarreo que las aguas traen desde las partes altas; predominan los migajones, variando su textura entre arenoso-arcilloso, o franco, o limoso-arcilloso o más fino; lo que le confiere propiedades de retener una gran cantidad de humedad. En ellos se observan diferencias importantes en cuanto a su color superficial, que va desde gris-negruzco a obscuro, debido a lo poco intemperizado de la ceniza volcánica y a su alto contenido de materia orgánica. Aquí el material orgánico es importante, sobre todo en los primeros 30 cm de suelo. Todas estas



propiedades permiten que sea uno de los suelos que presenta mayores posibilidades para el cultivo. La muestra no. 4 de la tesis de Azaro lo confirma. Esta muestra fue tomada a 100 m del puente de Tepapan, cerca de los límites con Michmalico. Tiene una textura muy fina, arenosa y polvorienta de color grisáceo. En el análisis se demuestra que es un suelo de arena migajosa fina. A los alrededores se observa cultivo de alfalfa.

Otro tipo de suelo Andosol se encuentra al fondo de algunos cráteres, pero sobre todo en las subunidades volcánicas del Chichinautzin más antiguas, como el volcán Cuatitlan, Mechatapan, Tezontle, etc. donde las arcillas transportadas impermeabilizan el suelo. A este suelo se le denomina Andosol Gleyco. Se localiza también en pequeños valles con problemas de drenaje. Posee todas las características de los suelos Andos, pero se particulariza por tener saturación hídrica en cualquier periodo del año. Su textura es uniforme, la cual cambia de arenosa a limo-arenosa en la superficie, y arcillosa en la profundidad. Presenta horizontes delgados y moteados como consecuencia de las variaciones de saturación durante el año. Es suelo de gran valor económico.

En la mayor parte de los conos cónicíticos de la Sierra del Chichinautzin los suelos están débilmente desarrollados, formando el llamado Regosol Distrito. Este tipo de suelo corresponde a subunidades jóvenes (Hv), como los volcanes Hualco, Chichinautzin, Xilitla, etc. Su textura varía de limo-arenosa a arenosa. A causa de su poca consistencia, tiene poca capacidad de retención de agua. Es de alta permeabilidad, susceptible a una fuerte lixiviación y erosión. Por ejemplo, en la muestra No.7 de

Azako lago, tomada entre el Xitle y el pueblo de San Miguel Ajusco, aproximadamente a 2 km del pueblo, el suelo es de arena muy fina de color casi negro. El suelo es de baja fertilidad por lo que no es útil para la agricultura. A pesar de esto se siembra maíz.

Con características semejantes del Regosol Dútrico está el Regosol Eútrico, que se localiza en la Sierra del Uichinautzin como parte de los conos cineríticos, específicamente en aquellas zonas con pendientes mayores a los 15°, muy poco degradado. En una de las muestras de Azako lago, de la pendiente del volcán Oyamavo, distingue un suelo de color café claro de textura franca, que contiene muchas raíces de la vegetación del lugar (principalmente zacaton que crece junto a otras plantas silvestres).

Existe también suelo de clase Litosol, situado primordialmente en una faja que va de la Sierra de Xochitpec, al poblado de Santa María Nativitas. Es suelo poco desarrollado que forma a menudo una capa no mayor de 25 cm. Su origen es a partir de material pétreo. Se encuentra cubierto por material que fue transportado, y que puede mantener una vegetación rala.

Ahora bien, debido a que el material es transportado, se mezcla y se presentan combinaciones o asociaciones de suelos, dando como resultado, que existan asociaciones de litosol con Regosol Eútrico. Esta combinación se puede encontrar en la zona del volcán Ocuilcavo, localizado 6 km al sureste de Milpa Alta donde existen materiales piroclásticos, escorias y derrames de lava reciente en el lado sur del cono. Aquí se observan coladas

marginales bien marcadas y delimitadas, con predominancia de material pétreo, las cuales dan una topografía irregular al terreno. Se observen depósitos arenosos, que son la base formativa del Regosol, apto para vegetación pinácea.

En las coladas de lava reciente, poco alteradas por descomposición química, se pueden encontrar asociaciones de Litosol y de Regosol Districo. Suelos que se han formado a partir del depósito de material coluvial y diluvial. Este tipo de asociación de suelos se puede apreciar en los derrames del volcán Pelado donde la colada más larga tiene 3 m de espesor y se extiende a una distancia de 6.5 km hacia el noreste. Sus lavas son vesiculares constituidas por bloques de 30 cm de diámetro y en parte, se pueden considerar de tipo aa. Su color gris obscuro, se debe principalmente a que son basaltos de olivino y augita. En esta zona se encuentra una secuencia de cenizas grises y negras de unos 2.5 cm, bajo capas de ceniza más fina de aproximadamente 2 m de espesor. En la zona de contacto entre el derrame del volcán Pelado y las subunidades más antiguas (Oyamayo Piv1, Mezontepac Piv2, etc.) se nota un contraste de suelo claramente definido. Para aquel, con escasa cantidad de suelo, se desarrolle vegetación pobre de zacatón y algunos oyameños, y para las subunidades más antiguas, con una gruesa cubierta de suelo (de 4 m), tienen una vegetación más abundante y medrada.

Por último, otra asociación de suelos es la de Andosol Háptico con litosol. Se localiza donde los suelos son formados por materiales piroclásticos. Es suelo delgado y se presenta en

afloramientos rocosos característicos del litosol. Esta asociación se encuentra cerca del volcán Tautli (P1V2) las lavas que componen su estructura principal son andesitas basálticas de augita, y olivino, enterradas en derramas de 0.5 m a 2 m de espesor, cubiertas por una capa delgada de ceniza café. Existe una pequeña área en el extremo suroccidental del volcán, donde se observa una secuencia paroclastica con material grueso proveniente del Tautli II.

Podemos concluir este rubro diciendo que, si bien es conocida la fertilidad de los suelos volcánicos, ricos en nutrientes para el aprovechamiento agrícola, es necesario que sean sometidos a prácticas de conservación. Muy especialmente aquellos que están situados en la pendiente de los volcanes jóvenes muy vulnerables al pastoreo y deforestación.

## VEGETACION

De acuerdo con las características geográficas de la región, la vegetación esta representada por grupos arbóreos en las partes montañosas, mientras que en las zonas de derrama de lavas y partes bajas se encuentran estratos de zacate y hierba que constituyen la maleza. También dentro de este último grupo se consideran aquellos campos dedicados al cultivo, en general de temporal. El factor primordial de esta zonificación y a la vez de la gran variedad de especies vegetales, es la diversidad del habitat, dado en función

directa por el clima y la altitud. Además de las variaciones de temperatura y humedad, se tienen las variaciones de exposición a la luz solar y la influencia de los vientos dominantes.

A lo anterior hay que añadir los procesos evolutivos del suelo en función al tiempo, definido de acuerdo a la subunidad geológica a la que pertenece. La vegetación se vuelve más compleja, porque desde el momento de la erupción, las lavas incandescentes al derramarse destruyen todo organismo vivo, y al irse enfriando, la superficie se constituye en un espacio completamente estéril. A medida que transcurre el tiempo, las formas del relieve se van degradando, empieza a cubrirse de un tapiz vegetal que aumenta en grosor. Entre los diferentes tipos de vegetación de los pedregales (maizal), las comunidades vegetales se colocan dentro de la lithofitita, ya que dependen del sustrato de roca viva. Esta vegetación rudorítica se limita a los depósitos de arenas transportadas por el viento y las lluvias dentro de las oquedades, en grietas y fracturas de roca. Más adelante, se produce la edafogénesis y brotan en coladas recientes especies de xerofitias tales como la *Lithochloa aurea* (calaguana) que es un tipo de hulecho xerofito, después *Artemisa*, y más tarde el género *Palafoxia* también llamado "palo loco" que se encuentra en altitudes menores a 2 400 m. Muchas veces acompañado al palo loco se encuentra el pirul, que es una planta perennifolia normalmente de talla arbórea.

En razón de que la colada de lava desaparece por degradación la vegetación se vuelve más compleja y abundante. Aparecen especies como *Abies religiosa* (Wyamel), el *Pinus tecote* (Jalo

Cote) árbol de follaje denso y erizado, rodeado por algunas gramíneas como el zacate.

Respecto a la vegetación de la serranía, se dice que se consideran dos comunidades principales componentes de la formación arborea: la comunidad de oyamel y la comunidad de pino. Estas dos pueden considerarse puras, a pesar de que existen ciertas especies como el encino y el huejote, de tan pequeña proporción que no alteran la clasificación anterior.

El pino tiene varias especies como *Pinus moctezuma*, *Pinus hartwegii*, *Pinus teocota*, *Pinus patula*, etc. Forma una faja que varía desde los 2 500 m hasta los 3 000 m de altitud, y más o menos a esta altura aparece el oyamel. El límite entre el pino y el oyamel no está perfectamente marcado, por ejemplo, a un nivel donde la insolación es menor y por consiguiente la temperatura, la humedad es mayor y puede aparecer el oyamel a mucha menor altura que la que le corresponde en general, desplazando al pino. Por el contrario en las partes bajas y planas de las barrancas de cierta amplitud, donde el suelo es ácido el oyamel es sustituido por el pino.

La faja de oyamel llega a las altitudes de 3 500 m, ya que disminuye la humedad con el aumento de altura, por la fuerza desecadora de los vientos que determina una mayor evaporación. A mayor altura aparece nuevamente el pino, el cual se va disminuyendo el tamaño, con menos masa, hasta desaparecer casi por completo en las máximas alturas. A este nivel crecen diversas especies de helechos, como el *Chelidante speciosissima* y

diferentes especies de musgos.

En los bosques de pino existe gran cantidad de gramíneas como zacate grueso, zacaton cola de ratón, pasto de escoba, pasto amarillo, y matorrales como el zarzal, hediondilla y matorraña, que protegen al suelo de la erosión.

La estructura vegetal de Abies se constituye primero por un estrato bajo formado por musgos y líquenes con alturas no mayores a 5 cm. Sigue un estrato herbáceo cuya altura a veces alcanza el metro y medio como el *Trichopus crebaniillo*, *Acena alocta* (cardillo o pega ropa), *Festuca ampliatima* (zacate criollo), y el estrato arbustivo cuya altura no alcanza los 3 m. como *Rubus erigias* (Zarzamora), *Arctostaphylos arguta* (Pinguila o garambullo). Por último, el estrato superior de *Abies religiosa* con alturas de 35 a 40 m.

Cabe señalar que los bosques se encuentran vulnerables a la erosión por estar sometidos a una explotación sin base técnica. Esto condiciona la formación de hierbas invasoras agrupadas en maleza, que se presenta en sitios con alteraciones ecológicas, por ejemplo, en campos de cultivo abandonados o en zonas deforestadas. Entre las especies invasoras más frecuentes se encuentran gramíneas cespitosas, leguminosas, formas enanas de *Quercus*, cactáceas y agaves.

## USO DE RECURSOS VOLCANICOS.

Finalmente en este breve repaso de los recursos explotados en las zonas volcánicas, es necesario citar el aprovechamiento intensivo de dichos recursos.

Entre los productos volcánicos se tienen las rocas que se utilizan para materiales de construcción (en edificios y ornamentos). La piedra pomez, ceniza y lapilli, son la materia prima de los abrasivos. El tezontle también sirve para la construcción (de entrepisos y techos) y para hacer caminos, debido a sus propiedades de estabilidad y ligereza. Esta explotación se lleva a cabo aprovechando la naturaleza geológica de algunas formaciones de origen volcánico. En el lado occidental del volcán Teuhtli, se localizan explotaciones a cielo abierto, donde se extrae arena, grava y piedra de cantera. La mayor parte de los materiales se envía a la Ciudad de México, para la industria de la construcción.

Esta zona volcánica es de suma importancia para la Ciudad de México en diferentes ámbitos, ya que como dice Asako Tago (op. cit.): "...por un lado, es el lugar donde se capta gran cantidad de agua de las lluvias que recargan los mantos acuíferos, para que los manantiales no dejen de abastecer. Por otro lado, es la región, que gracias a sus bosques, produce una gran cantidad de oxígeno que es necesarísimo para la ya muy contaminada ciudad.



Además constituye una zona de esparcimiento para los capitalinos que van en busca de recreación con la naturaleza".

Los manantiales y bosques son esenciales, no solo por razones económicas, sino también ecológicas. Las implicaciones que representan la deforestación y la sobreutilización de los acuíferos, se traduce en la erosión de los suelos, así como en la disminución de la reserva de agua.

## MARCO GEOLOGICO GENERAL.

### TECTONICA GENERAL.

Es importante que en el estudio de las formas del relieve, la comprensión de las mismas se inicie al situar la zona de interés en un plano regional, ya que a cada estructura regional le corresponde una constitución geológica más o menos homogénea, y una historia de su desarrollo, condicionada por un régimen tectónico que determina su dinámica actual. Tales procesos geodinámicos, que caracterizan a las grandes estructuras geológicas, son en general los que definen los esquemas de localización y de relación entre la tectónica y el vulcanismo del área de estudio. Por ello es necesario conocer los rasgos constituyentes característicos de la región, los cuales enmarcan a la zona de trabajo dentro del Eje Volcánico Transamericano, el cual tiene una peculiaridad geológica en México, por su orientación con respecto a la Fosa de Acapulco, misma que marca la zona de subducción de la Placa de Cocos debajo de la Placa Norteamericana.

Por la distribución original que tiene entre todas las zonas de subducción, alrededor del Pacífico, existen gran abundancia de

hipótesis y de modelos geodinámicos propuestos para aclarar este vulcanismo transcontinental calcialcalino (\*) que ha venido actuando desde el Mioceno o antes.

Cabe señalar que existen diversas investigaciones sobre la geología y origen del Eje Volcánico. Este aspecto se ha fundamentado en el trabajo del geólogo Alain Demant (1978) "Características del Eje Neovolcánico y sus problemas de interpretación", reseña crítica de trabajos anteriores.

De los artículos publicados sobre el Eje Volcánico Transmexicano, Demant (1976: p. 40) reconoce tres ciclos volcánicos principales:

- a) una fase Cretácica temprana que aflora sobre todo en la parte occidental, y cuyos productos de tipo andesítico sufrieron una metamorfosis ligada a una fase de compresión.
- b) una secuencia Oligo-Miocénica que fue afectada por pliegues de fondo o basculamiento tectónico por fallas.
- c) una fase Plió-Cuaternaria.

---

(\*) "La serie calcialcalina está integrada por las siguientes rocas: basaltos calcialcalinos - andesitas hipersténicas - orblienditas (andesitas SB) - dacitas - riolitas. Sus equivalentes plutónicos (gabros - dioritas - granodioritas - granitos), plantean el problema de si se han originado por fraccionamiento basalto-andesítico o por el contrario son producto de la fusión de rocas corticales. Esta serie es típica de cinturones orogénicos, siendo en ella los términos intermedios (andesitas) los constituyentes mayoritarios." Araña (1974: p. 309-310).

Para este autor, los dos primeros ciclos se relacionan con la subducción del Paleopacífico. El primer ciclo (vulcanismo Mesozoico), se relaciona, a su vez, con la generación de un arco insular, mientras el segundo (vulcanismo de edad terciaria), parece haber tenido caracteres de margen continental. Por su parte el tercer ciclo (vulcanismo Plio-Cuaternario), se caracteriza por tener una disposición muy oblicua con respecto a la costa sur de México y en la generación de fosas tectónicas "graben" de Tepic, Colima y del Bajío, producto de movimientos distensivos neotectónicos.

Algunos otros autores como Mooser (1969), Gunn y Mooser (1970), Bloomfield (1975), Nagendank (1972) (citados por Demant), reconocen solo dos ciclos volcánicos: 1) Oligo-Miocénico que describe a las rocas más antiguas del ciclo como andesitas, dacitas, riolitas, e ignimbritas, y 2) Plio-Cuaternario. Demant (1978: p. 177), considera que el vulcanismo del Eje Volcánico, es únicamente Plio-Cuaternario y que la mayoría de la actividad volcánica se produjo durante los últimos dos millones de años. Añade además, que las rocas Oligo-Miocénicas representan la prolongación meridional del Sistema Volcánico de la Sierra Madre Occidental, es decir, el vulcanismo Oligo-Miocénico constituye "el basamento" de la zona volcánica central, que no pertenece a la secuencia del Eje Volcánico Transmexicano. Demant discute esto porque los autores citados demuestran que la evolución magmática de las rocas Oligo-Miocénicas no corresponden a la curva de evolución del vulcanismo Pliocuaternalio. Además, Demant, se apoya en:

a) los estratovolcanes del Eje Volcánico (Iztaccihuatl) con un millón de años. Malinche de 12 mil a 28 mil años de edad, etc.), son Pliocénicos o Plio- Cuaternarios, y deben su aspecto irregular a la erosión glacial que afectó a estos cerros de más de 4 000 m de altitud, durante el último periodo de glaciación.

b) las lavas Oligo-Miocénicas están en ocasiones plegadas, como se puede observar en Mil Lumbres en Michoacán (Hauvoire et. al. 1976), o en la región del Lago de Chapala (Diaz y Mooser 1972).

c) Las grandes fracturas, sobre las cuales se alinea el vulcanismo Plio-Cuaternario, recortan siempre las estructuras andesíticas a ignimbríticas de la Sierra Madre Occidental con rumbo noroeste-sureste.

De las primeras hipótesis sugeridas para explicar el vulcanismo del Eje Volcánico Transmexicano están las de Menard (1955), Mooser et. al. (1958), Mooser y Maldonado-Koerdell (1961) (citados por Demant) las cuales consideran al Eje como la prolongación de la Falla Clarion, falla de transformación del Pacífico Oriental, sobre la que se sitúan las islas Revillagigedo, donde la última erupción fue la del volcán Barcenas en 1952. Para Mooser y Maldonado-Koerdell (1961, citados por Demant), éstas representan las manifestaciones más occidentales del Eje Volcánico Transmexicano. Sin embargo, en contraposición, Demant propone que tales islas estén formadas por basaltos, traquitas y riolitas, es decir, una secuencia típicamente alcalina característica de un vulcanismo peculiar de islas volcánicas.

Por otro parte, relacionar la Falla Clarion con el eje Volcánico, implica la existencia de movimientos horizontales "Strike Slip" en ese lugar, idea admitida por Mooser. En base a esto, Gastil y Jersky (1977) consideran que el Eje Volcánico corresponde a una falla dextral (\*) que constituye la prolongación del Golfo de California. Ello les permitió explicar el desplazamiento de los basaltos costeros del límite entre la Sierra Madre Occidental y la zona de cuencas y sierras "Basin and Range" que bordean el Golfo de California, así como el que llaman "Linturon de cobre".

Sin embargo, la existencia de movimientos horizontales implica que el movimiento total de la falla dextral durante el Paleoceno-pleoceno fue del orden de 435 km, y hasta la fecha no existe evidencia alguna que apoye tal movimiento horizontal a lo largo del Eje Volcánico Transamericano. Además, las manifestaciones volcánicas del Golfo de California son basaltos toleíticos (Bañiza y Hawking 1974, Johnsonpear 1977, Bañiza 1978, citados por Benant) o magmas alcalinos, los cuales caracterizan una zona de rift en proceso de oceanización, mientras que el Eje Volcánico presenta una secuencia calcálica-silicálica.

En 1961 Mooser propone otro modelo, según el cual el Eje Volcánico Transamericano representa una antigua "geocutura", anterior al paleozoico entre dos bloques cratónicos. La formación de magma por debajo de esta geocutura, se debe a un calentamiento

(\*) término aplicado a las fallas de desgarre o de desplazamiento horizontal, para describir la dirección aparente del movimiento relativo a cada labio.

diferencial de la corteza. En terminos de tectónica Global, tal debilidad cortical se puede explicar como una zona de fallas de tensión continental, durante su primera fase de evolución, es decir, la ascension de la astenosfera debajo de ella. Para Demant (1978) tal calentamiento diferencial podria estar relacionado tambien con un foco caliente "Hot Spot", que pudiese existir por debajo del Eje Volcanico. Pero el mismo adiera que tal hipótesis, pese a ser atractiva, no esta apoyada en datos geológicos, ya que deberia observarse una disminucion progresiva de la edad del vulcanismo de oeste a este. El foco caliente es normalmente fijo y la Placa Norteamericana se desplaza hacia el oeste; si se toma en cuenta la velocidad de desplazamiento de esta placa, la diferencia de edad de las rocas entre ambos extremos del Eje Volcanico Transamericano, deberia ser del orden de 30 millones de años, lo cual no se ha comprobado, pues el vulcanismo del Eje Volcanico es unicamente Plio-Cuaternario.

Mooser (1972, citado por Demant) considera que la reactivacion de la geosutura mencionada, es producto de los procesos de subduccion en el Pacifico. Es aqui donde coinciden la mayoría de los autores, es decir, existe un mecanismo de subduccion a lo largo de la Fosa Mesoamericana (o Fosa de Acapulco). Para explicar la posicion oblicua del Eje Volcanico Transamericano, con respecto a la Fosa, se han planteado diferentes formas geometricas. Asi, Mooser (1975, citado por Demant) detalla lo que llama estructura zigzagueante del Eje Volcanico por la Placa de Cocos, fragmentada en distintos elementos, con diferentes pendientes de hundimiento. Con este modelo Alvarez (1975, citado

por Demant) considera solo dos segmentos, siendo sus límites los correspondientes a la Falla Pico de Orizaba-Itehuacan-Oaxaca.

Puede decirse que pese a las numerosas interpretaciones propuestas, aun no existe un modelo preciso que permita explicar las causas de la localización del vulcanismo del Eje Volcánico Transmexicano. Por falta de datos geozicos y de una buena cronología de los diferentes eventos tectónicos y vulcanológicos. Sin embargo, uno de los elementos geológicos más importantes considerado en la hipótesis propuesta por Demant (1972) que explica el origen del Eje Volcánico, es que advierte un desplazamiento sinistral de la Placa Norteamericana con respecto a la Placa Caribeña a lo largo de las fallas Polochic-Motagua (en Guatemala) y su prolongación oriental de la Falla Bartlett. Deduce que la costa sur de México no puede constituir el límite meridional de la Placa Norteamericana, sino que representa una zona truncada tectónicamente. Entonces, son dos hechos geológicos los que permiten suponer un desplazamiento importante del orden de 800 a 1 000 Km, para poder poner en comparación a los afloramientos de América Central y los de México. El primero es la desaparición del Batolito de Chiapas al sur del sistema de fallas (Darfanan, 1977, citado por Demant). El segundo es la similitud que existe entre las historias geológica Mesozoica y Terciaria de la parte meridional de México y la septentrional de América Central.

Según William (1960), McBirney y William (1965), William y McBirney (1969) (citados por Demant), se pueden distinguir en



América Central los siguientes elementos: 1) un basamento metamórfico; 2) una secuencia sedimentaria de tipo plataforma Jurásico-Cretácico; 3) una secuencia sedimentaria y volcánica metamorfoseada con ofiolitas en algunas partes, y 4) una potente secuencia de ignimbritas terciarias que descansan sobre conglomerados rojos. Así se tienen los equivalentes de basamento del sur de México, de la secuencia autóctona y aloctona, Mesozoica del Grupo Salinas y de las ignimbritas de la Sierra Madre Occidental, cuya acumulación se prolonga hasta el Plioceno. Para poner en concordancia los afloramientos de América Central con los de México, se necesita trasladar la costa Pacífica actual de Guatemala hasta El Estero-Playa Azul en México (Dumont, 1978: p. 180).

El movimiento relativo entre las dos placas se produjo a partir del Oligoceno temprano, y es responsable, en México, de la formación de pliegues de fondo, perpendiculares a la dirección de compresión, y de fallas de tensión, paralelas a la dirección de los esfuerzos principales. Este desplazamiento interviene directamente en la formación de la Fosa de Acapulco, y por lo tanto, en el génesis de las lavas del Cua volcánico Transmexicano. En la figura 19 se señala el movimiento de rotación de la Placa Norteamericana, por efecto proveniente del Atlántico por la creación de nueva corteza a lo largo de la Cordillera Mesooceánica. Mientras la Placa Caribeña marca por una parte, el movimiento de la Placa Norteamericana, con zonas de expansión de corteza oceánica en su límite norte (señalados por la Falla Bartlett y la Fosa Caimán) por otra parte, al este, los arcos

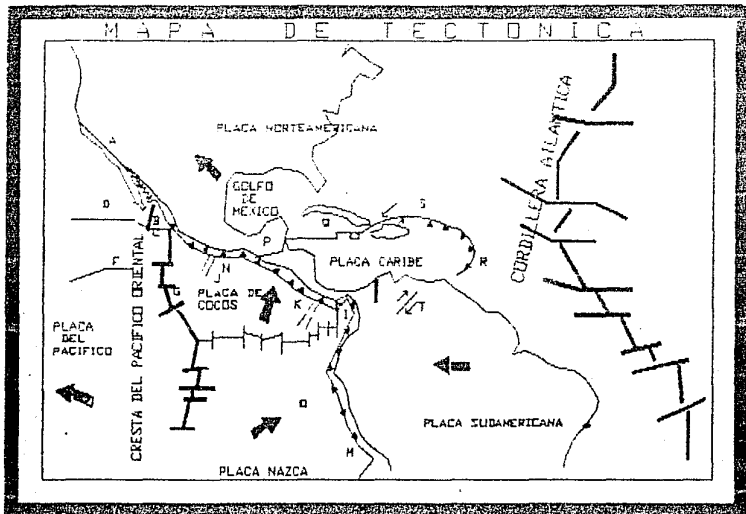


FIG. 19

Fuente: Alain Demant 1978. Características Del Eje Neovolcánico...

A) Sistema de fracturas de San Andreas-Golfo de California; B) Fractura de Rivera; C) Rivera Triple Junction; D) Fractura de Clarión; E) Fractura de Orozco; F) Fractura de Siqueiros; G) Fractura de Clipperton; H) Cresta de las Galápagos; I) Fractura de Panamá; J) Cresta de Tehuantepec; K) Cresta de Cocos; L) Cresta de Carnegie; M) Cresta de Nazca; N) Fosa Mesoamericana; O) Fosa Perú-Chile; P) Fallas Polochic-Motagua; Q) Falla Caymán o Barlett; R) Zona de subducción de las Pequeñas Antillas; S) Fosa de Puerto Rico; T) Falla Oca-El Pilar.

volcanicos que constituyen a las Pequeñas Antillas necesitan la asistencia de una subduccion hacia el oeste, donde una parte del oceano se hunde debajo de otra mas antigua del fondo Atlántico (Pitman y Talwani 1972, citados por Demant).

El mecanismo de subduccion explica que la Placa Caribeña ya no se desplaza hacia el oeste como sucede con America del Norte. De esta manera, la Fosa Caiman y las fallas Polochic-Motahua juegan el papel de fallas transformantes, entre la Placa Norteamericana que se mueve hacia el oeste y la Placa Caribeña que se puede considerar fija. El movimiento de ambas principia en el Oligoceno y por lo tanto la Fosa de Acapulco comenzó a formarse progresivamente desde esa época. Esto permite explicar la edad Pliocusterniano del vulcanismo en el Eje Volcanico, puesto que la zona de subduccion de la Fosa de Acapulco se pudo desarrollar unicamente despues del movimiento hacia el oeste de la Placa Norteamericana.

Por lo anterior se entiende la disposicion de los volcanes en México, que necesitan la influencia de los movimientos tectonicos entre las placas. Se puede distinguir que los estratovolcanes están orientados perpendicularmente a la direccion de los esfuerzos maximos, mientras que los pequeños volcanes se alinean mas bien sobre las fallas de tension. Al respecto Demant (1978: p. 181) nos dice: "Las fallas de desplazamiento lateral generan esfuerzos de naturaleza distinta cuyas direcciones se calculan utilizando el método de Wilcox y colegas (1973). Carfantan (1976), pudo determinar así que la direccion de los esfuerzos principales de la Fosa de Acapulco es N 55°E. El sistema de fracturas N 60°E -

N 70° E que se observa en la parte central y oriental del Eje Neovolcánico, y sobre las cuales se alinean los pequeños volcanes, son fallas normales y paralelas a la dirección de la compresión máxima. En cambio, el plegue terciario Izitio (N 15° W) y los estratovolcanes (Sierra Nevada N 10° W - Nevado de Colima N 10° W) siguen una dirección perpendicular al rumbo de la compresión principal".

La distinción hecha por Vament (1978) entre las rocas Oligo-Miocénicas, pertenecientes a la secuencia efusiva de la Sierra Madre Occidental y el vulcanismo reciente correspondiente al Eje Volcánico, le sirvió para determinar que la orientación este-oeste del Eje Volcánico (idea admitida desde Humboldt 1800), ya no se define como tal. Así en 1976, junto con sus colegas, divide al Eje Volcánico Transmexicano en 5 partes, definidas por sus orientaciones y características vulcanológicas peculiares, en la siguiente forma: 1) la fosa tectónica de Iepic-Chapala, con orientación noroeste-sureste con 4 volcanes principales -San Juan, Sanganguey, Osboruco y Tequila-, así como numerosos conos cónicitos asociados y alineados en el mismo rumbo. 2) La fosa tectónica de Colima con dirección norte-sur, constituida principalmente por el Volcan de Colima y el Nevado de Colima. 3) En Michoacán donde los conos cuaternarios definen líneas de fracturas noreste-sureste. Tal zona se extiende del norte hasta el Bajío, y esta limitada al este por el anticlinorio de Izitio y las fallas de San Miguel Allende. 4) Al oriente de estas fallas se ubican los valles de Toluca, México y Puebla donde se encuentran cuatro de los siete grandes estratovolcanes de México separados

por amplias zonas lacustres. Es aquí donde se encuentra la Sierra del Chichinautzin, que se extiende desde Ixtuca hasta el pie de la Sierra Nevada, y está formada por una serie de pequeños volcanes con orientación noreste-suroeste, y 5) Con orientación norte-sur termina el Eje Volcánico en el Pico de Orizaba y el Cofre de Perote. Cabe mencionar que Rooter en 1975 lo divide en dos partes: la occidental al norte de Chappala, y la otra al oriente del mismo.

Esto demuestra que el Eje Volcánico Transmexicano no se puede definir como una zona volcánica continua, sino como un conjunto de diferentes áreas volcánicas.

Una vez caracterizados y delimitados los procesos del vulcanismo, se concentra la atención en la tectónica de la porción central del Eje Volcánico (Zona 4 de Penant) donde los sistemas de fallas determinados en base a su agrupación y orientación son indispensables, porque al fallamiento, el vulcanismo y la sismicidad son fenómenos estrechamente relacionados con la actividad tectónica de la región. Sus manifestaciones geológicas actuales permiten clasificarla como una región volcánica y tectónica activa, ya que se han tenido manifestaciones repetidas en épocas históricas.

Los análisis de Carl Fries (1960: p.44 a 48) han demostrado que las fallas y fracturas de la zona, corresponden a distintos períodos geológicos: "...las ligeras inclinaciones tectónicas de las unidades volcánicas terciarias expresadas, por ejemplo, por la inversión del buzamiento de la Formación Tepoztlán, desde la dirección original hacia el sur hasta un buzamiento al norte, fue

originado en gran parte por las fallas del terciario medio y tardío".

Estos esfuerzos tectónicos del terciario originaron levantamientos acompañados por fracturas tensionales que dejaron ascender masas intrusivas. En varias partes, por fracturas chicas y grandes, emanaron lavas que formaron volcanes y domos, al derramar las corrientes y expulsar cenizas que sepultaron planicies e inundaron valles. De este modo se causó la obstrucción del antiguo drenaje al nivel del Mesozoico, apareciendo cuencas cerradas y lagos.

En el Cuaternario después de la acumulación de las rocas volcánicas de composición intermedia y antes de comenzar a depositarse los materiales diásticos de la Formación Cuernavaca, hacia el final del Plioceno y el principio del Pleistoceno, se renovó el afallamiento, lo cual indiscutiblemente influyó sobre la distribución de los volcanes de la región.

Tales estructuras volcánicas ilustradas en las cartas topográfica y tectónica, escala 1:250 000 definen las principales alineaciones.

Se pueden distinguir alineamientos desde el Cerro las Tetillas fuera de la zona de estudio (en Morelos), uno de ellos pasa por los volcanes Otolico, Cuilojo, Chalco y Teuchitl, para terminar en el Cerro del Peñon dentro de la Cuenca de México. Otro más, que va desde Nochitpec en Morelos, pasa por Tepoztlán, se dirige a los volcanes Chichinautzin, Acopaxco, Oyameyo, Yololico

y termina en el Cerro del Chapulin. Por su parte, en la orientacion de los alineamientos con sentido esteoeste y noroeste-suroeste se destacan: 1) El que pasa por el Cerro de Metzontepet, se dirige hacia el noroeste, y cruza el Ajusco cambiando a direccion esteoeste hacia el volcan Teuhtli para terminar en la Sierra Nevada. 2) El que comienza en el volcan Huilote y continua por el volcan Pelado con direccion esteoeste, hasta el pie del Iztaccihuatl. 3) El que toca los volcanes Huilote, Chichibuita, Raices, Cajete, Tepoyo, Chichinautzin y Hualco.

Carl Fries señala que se podrian dibujar muchas lineas que conectaran dos o mas conos cimeriticos o bocas lévicas, aparte de los ya señalados, pero el valor como indicador de fallas de la mayoria, estaria sujeto a duda por estar sus rasgos sepultados bajo los productos igneos. Las fallas de esta parte del pais pueden ser clasificadas como fallas activas o potencialmente activas, con manifestacion sismica importante.

#### ESTRATIGRAFIA GENERAL

En el estudio se le da énfasis a la Formacion Chichinautzin porque involucra a las subunidades del relieve volcanico tratadas. Para poder comprender la disposicion estratigrafica, es requisito indispensable enmarcarla de acuerdo a las sucesiones en el tiempo. Se dara un bosquejo de las formaciones terciarias que subyacen a la Formacion Chichinautzin, describiendo con mayor

detalla las formaciones vituadas en la hoja de estudio.

La subdivisión de gran número de volcanes y depósitos volcánicos, se debe a los levantamientos geológicos dados en los últimos años. Así, de acuerdo al orden de sucesiones estratigráficas y al grado de erosión sufrida, se adscriben según F. Mooser (1957: p. 338) al Terciario Medio, al Eioceno y al Pleistoceno, y nos dice: "La razón para colocar al grupo volcánico más antiguo en el Terciario Medio, se deriva del hecho de que sus elementos yacen en la cuenca del Rio Amacuzac, como lo demuestra Fries (1956), discordantemente sobre el grupo cretácico valles cuya edad queda indirectamente establecida como del Eoceno Superior y Oligoceno Inferior, gracias al hallazgo de vertebrados fósiles en depósitos idénticos de Quanajusto".

El grupo volcánico más antiguo se encuadra en las épocas del Mioceno Superior al Eioceno Inferior dentro del Terciario Medio, porque se encontraron plantas fósiles del Mio-Eioceno en el interior de tobas riolíticas, alrededor de Eschuda y Real del Monte. Tales tobas descansan en discordancia con depósitos superiores también del Terciario Medio.

Para Mooser el lapso entre el Oligoceno Medio y finales del Mioceno es de aproximadamente 22 millones de años. Entonces los materiales volcánicos depositados en ese tiempo son múltiples. Se reconocen en ellos restos de enormes volcanes estratificados, corrientes de lava, brechas, suelos fósiles, depósitos de lahares, y depósitos fluviales. Estudios como este se hicieron en la nombrada Serie Volcánica Xochitepec (Fries, 1956) donde se definió que se trata de una formación volcánica acumulativa en la que es



difícil establecer diferencias estratigráficas o discordancias marcadas. Su contenido petrográfico es variable, y oscila entre la andesita basáltica, la andesita franca con arribolias y mineral piroxenos, rocas decíticas y latitas. El nombre de esta serie se tomó de un grupo de cerros al norte del kilómetro 11 de la autopista México-Tlaxcala, llamada Sierra de Kochitaped (Mooser, 1957: p. 139) y que se halla al oeste de Xochimilco y al pie del Ajusco, y se compone plenamente de depósitos típicos del Terciario Medio. Afioramientos de esta serie aparecen en las partes inferiores de las sierras que limitan la Cuenca de México, están ocultos a profundidades que se estiman localmente en unos 1,000 m. A los pies del Itzacuinstiti y del Ajusco poseen unos 800 m de profundidad. También en la Serie Kochitaped a la altura del Km 10 de la Autopista México-Tlaxcala, existen dos cortes profundos que exponen traquiandesitas (Asako Iago 1961: p. 15) que también afloran en la porción norte de la hoja en cortes del ferrocarril, por los cerros Magdalena, Kochitaped y Tehuene (Martín del Pozzo, 1980: p. 13).

Muy asociada a esta serie se encuentra la Formación Tepoztlán, ya que representa la fase austral de la Formación Kochitaped (Fries, 1960: p. 236). La Formación Tepoztlán aflora en la porción sureste de la hoja de estudio. El nombre se le da por la cercanía al pueblo de Tepoztlán. El espesor que se le estima es de unos 1000 m aunque pudo haber sido mayor antes de que se erosionara. Se cree que esta formación, se acumuló a finales del Oligoceno sobre la superficie erosionada del grupo Balsas y las formaciones anteriores. Es muy probable que forme la parte

inferior de la Formación Xochitlapan (F. Mooser, 1968: p. 19). Las rocas de la Formación Tepoztlán son descritas por Urdoñez (citado por Mooser, 1968: p. 35). Dice que los componentes de las capas constan de fragmentos detriticos que varían desde la finura de la arcilla, hasta una decena de centímetros de diámetro, y su composición es casi exclusivamente andesítica. La mayor parte de la Formación presenta una sucesión de depósitos aluviales hacia el norte del área. Su origen se debe a los materiales arrojados de las erupciones andesíticas del sur de la Cuenca de México, que en esa época vertía sus aguas hacia el sur. Intercalados con las capas aluviales aparecen algunos lahares, es decir, escurrimientos muy espesos de material clástico volcánico, que se deslizaron sobre la pendiente. La explicación que se da sobre la superficie tan regular, es que al cesar la actividad volcánica fue haciéndose menor hasta fines del Mioceno y en una época de erosión se penealizó el paisaje.

Durante el Mioceno tardío es extravasado el material que da lugar a la formación llamada Andesita Tempeala. Se dice que es más reciente que la Formación Tepoztlán, aunque hacen falta estudios comparativos sobre las dos Formaciones para comprobarlo (Mooser, 1956: p. 37). También tratado por Hirtz, 1960). El área de afloramiento se limita a la parte suroccidental de la zona de estudio (10 km al oeste de Tres Lumbres y sobre el km 41 de la autopista México-Toluca). Está compuesta por una sucesión de rocas andesíticas, que aun no se han estudiado en detalle, por lo que no se sabe su extensión superficial. Mooser (1975) comenta: "...la asociación está bien expuesta en los cortes sobre la

carretera que conduce a las Lagunas de Zempoala, donde existe la interestratificación de lobos, brechas y lavas andesíticas con intercalaciones probablemente de "lahares" y también de depósitos aluviales. En otros términos es típicamente una acumulación de materiales volcánicos en una zona de vulcanismo activo, y no se conoce su espesor total que seguramente sobrepasa los 300 metros y tal vez los 400".

Durante el Plioceno se presenta un nuevo ciclo de vulcanismo que afecta a la parte norte de la Cuenca de México (Sierra de Guadalupe y Pachuca, fuera de la zona de estudio). Surgen masas lavicas andesíticas y riodíticas. A las secuencias se les denomina, en la región de Pachuca, Serie Zúmate y en la región de la Sierra de Guadalupe Serie Vacítica Chichahuite.

Posteriormente, pero también incluida en el mismo grupo Pliocénico por su posición análoga, aparece la Serie Andesítica de la Sierra Nevada y la Serie Andesítica de la Sierra de las Cruces, con grandes extensiones de lavas que cubren al este y al oeste de la Cuenca de México. Las rocas de la Formación las Cruces se localizan en la parte noroccidental de la zona y subyacen a la Andesita Ajusco y a los derrames del Jumento, Agua Grande y Zorillo, de la Formación Chichinautzin (Martín del Pozzo, 1980: p. 15 y 16).

Los volcanes por los que salieron estas lavas, son en parte aún reconocibles como conos anchos bastante erosionados. En otras partes ya desaparecieron los conos; por lo tanto, hay que suponer que las emisiones ocurrieron separadas por un largo periodo de

tiempo (Mooser, 1957: p. 337). Schiapfer (1961) citado por Martín del Pozzo (1980: p. 16) clasifica las rocas como dacíticas. Estas son porfídicas de color gris. La fisonomía de estas rocas es de forma redondeada.

Las lavas de la Serie Andesítica del Itzocchihuatl y del Ajusco cubren las partes meridionales de las sierras Nevada y de las Cruces. La Formación Ajusco se localiza al noroeste del pueblo del mismo nombre, y constituye la formidable prominencia compuesta por andesitas de anfibolito. La edad de esta formación es incierta, pero generalmente se la considera del Plioceno al Plioceno, con un espesor estimado es mayor de 300 m (Bakko Iago, 1961: p. 16).

También comprendidos dentro del grupo plioceno pero fuera del área de estudio, se encuentran los rastros de los volcanes estratificados, compuestos de andesita oscura, de piroxenos y olivinos. Se la conoce como Serie Andesítica Santa Isabel-Peñón, denominada así por constituir los elevados cerros del sureste de la Sierra de Guadalupe y el Peñón de los Baños. Con la extinción de dichos volcanes parece haberse trasladado la actividad volcánica a la mitad septentrional de la Cuenca de México, donde andesitas basálticas formaron grandes complejos en el Plioceno Superior, desvinculando a partir de ahí la conexión directa con el norte (Zimapan y Ixtar). Al mismo tiempo llega a su fin toda actividad efusiva en la parte meridional de la Cuenca, y pasa a tener importancia y dominio, un mecanismo de aflamientos de bloques que tuvo lugar a lo largo de fracturas tensionales dirigidas de noroeste a sureste. Mooser menciona que

probablemente sea consecuencia de movimientos rotacionales en sentido del reloj a lo largo de la Falla Ciarión. Pero como ya hemos visto, no existe una verdadera conexión entre la Falla Ciarión y el mecanismo de fallas continentales de la Faja Volcánica Transmexicana.

Los aflamientos de la Cuenca de México, ahora sepultados (por debajo de depósitos clásticos posteriores), son deducibles indirectamente por el hecho de que los bloques al este y al oeste de la Cuenca, terminan abruptamente (Mooser, Op. Cit. p. 341).

Por otro lado, Mooser plantea que la Formación Tarango se debió, además de ciertas condiciones climáticas semiáridas, a las lluvias torrenciales que azotaban a las sierras desprovistas con una capa vegetal densa. Comenzaron a depositarse extensos abanicos aluviales, compuestos de fragmentos de rocas volcánicas de clase intermedia en su mayor parte. Las brechas y tobas de la Serie Ajusco y Xochipitec, proporcionaron casi todo el material que compone la formación. Parece que durante su depósito hubo también erupciones volcánicas, de manera que se encuentran intercaladas algunas capas tobáceas delgadas. Por la heterogeneidad de los componentes de ciertas capas y por la falta de una clasificación, se supone que se incluyen en esta formación algunas erupciones de tipo 'lahar'. A estos materiales se les ha denominado también Formación Tarango (Bryan, 1942) (citado por Mooser, 1957; p. 341). Las características más sobresalientes de esta formación son su estado caótico, en la cual aparecen depositados las series clásticas en los abanicos aluviales. Se le considera del Plioceno Superior.

Después del proceso de depósito de la Formación Tarango y probablemente antes de que se terminara el periodo de acumulación, surgen nuevos impulsos tectónicos ocurridos probablemente en pleno Pleistoceno (hacia menos de un millón de años). Se inició entonces un último ciclo de vulcanismo cuyas manifestaciones aun persisten en nuestros días. Las fracturas por las que surgieron las lavas están dirigidas de sureste a noreste (Moozer, 1950).

Durante el Pleistoceno las condiciones climáticas fueron caracterizadas por el predominio de bajas temperaturas, un alto grado de humedad y la formación de glaciares a grandes alturas (Ixta-Popó) que ocasionan una incipiente erosión. Las precipitaciones y deshielos obraron con fuerza en los depósitos poco resistentes de la Formación Tarango. En parte los removían totalmente y en otra cavaban en ellos profundos barrancos con rapidez, de tal forma que constituyeron dos principales sistemas de valles que se extendían hacia el sur, desaguando en el Alto Amacuzac, uno sobre el costado oriental, y el otro sobre el occidental de la Sierra del Tepozteco. El mayor de estos sistemas poseía su cabecera en Zumpango y Fachuca, pasaba al pie oriental de la Sierra de Guadalupe, donde destruyó los abanicos aluviales. Continuo su curso al sur, hacia Xochimilco, para alcanzar la región de Cuernavaca por un cañon cubierto hoy en día por lavas basálticas (descrito por Fries, 1956). El otro sistema corría por abajo de Chalco y Amecameca y desembocaba en el alto Amacuzac por la región de Cuautla (Moncada, 1976). Los sistemas fluviales del Pleistoceno inferior manifestaron su gran fuerza erosiva en la

parte sur, al destruir casi toda la Formación Tertiary y cavar profundos cañones en la Sierra de Las Cruces y la Sierra Nevada.

Contemporánea al desarrollo de la red anterior, se inician las erupciones volcánicas que constituyen el último y más reciente ciclo de efusiones ígneas, que representan a la Formación Basáltica Chichinautzin. La multitud de conos escoriaados que la componen, levantan una formidable barrera que interrumpe definitivamente el drenaje al sur, entre la Sierra de Las Cruces y la Sierra Nevada, se crea así una enorme cuenca cerrada, la Cuenca de México. Esta formación cubre discordantemente a todas las formaciones Terciarias anteriormente descritas, se la estima un espesor de 2 mil metros (Mooser, 1957: p. 344), y esta constituida por basalto con cuarzo, basalto sin olivino, andesitas basálticas, andesitas de arriboles, piroclastos y piedra pómez cuarcifera y sin cuarzo. La repentina obstrucción de los salidas fluviales, causó una potente acumulación (800 m de espesor) de depósitos clásticos fluviales, en los profundos valles al pie del lado norte de la barrera. A estos depósitos se les da el nombre de Serie Clástica Fluvial y Aluvial del Cuaternario. A los depósitos fluviales Pleistocénicos se les unen las enormes cantidades de cenizas emitidas por los conos escoriaados y también las corrientes de la Formación Basáltica Chichinautzin. Dicha Formación es ampliamente descrita y subdividida en el estudio de las características de las subunidades de acuerdo a su edad.

## ANÁLISIS MORFOMÉTRICO Y GEOMORFOLÓGICO.

En las páginas precedentes se presentó el contenido general de las características de la región. Se destaca que en un mismo espacio, se muestran cambios en la geomorfología. El relieve volcánico como cualquier otro paisaje, se modifica continuamente y hereda las señales de un pasado más o menos remoto, diferencialmente borrado pero siempre presente. Por ello, ahora es necesario pasar de la fase descriptiva, en la cual se valora, clasifican, y ordenan los elementos del espacio, a una fase de análisis, en donde partimos de lo presente y de lo visible, para de esta manera equivar la importancia de las herencias y la velocidad de las evoluciones. Se trata con ello, de descifrar las relaciones entre las distintas variables que actúan sobre las estructuras.

De este modo, y para poder entender la evolución del relieve volcánico moderno dentro del grupo Chichinautzin, se interpretan cada uno de los mapas morfométricos, diagramas bloques y gráficas elaborados, y se correlaciona esta información con cinco subunidades estratigráficas propuestas por la Mtra. Martín del Pozzo (1980) (ver figura 8, p. 12a), elaboradas en base a algunas características morfológicas y radiométricas de 146 conos, lo que permite zonificar al grupo Chichinautzin en:



- 1) Hv (volcanitas holocénicas 8 440 ± 70 años)
- 2) Plv4 (volcanitas pleistocénicas 19 330 ± 130 años)
- 3) Plv3 (volcanitas pleistocénicas 21 860 ± 380 años)
- 4) Plv2 (volcanitas pleistocénicas 30 500 ± 1.160 años)
- 5) Plv1 (volcanitas pleistocénicas 38 520 ± 3.210 años).

Dentro del análisis se da un preponderante lugar a la utilización de distintas formas de manejo y representación cartográfica de la información estadística (orden de la superficie del relieve volcánico), proporcionada por los mapas topográficos.

Se puede conocer mucho del terreno mediante la interpretación de la información de un mapa. Cuando se agota la posibilidad de este método, aún queda mucho por extraer mediante análisis cuantitativo y de la reorganización y presentación de los datos. El análisis cuantitativo presente, aunque importante, es tan solo motivo de utilización para mostrar que la computación es una importante herramienta para el geógrafo en el estudio del relieve.

#### ANÁLISIS DE ALIURA Y ALITUD

De las primeras técnicas morfométricas que tratamos está el análisis de la altitud. Así, mediante los modelos de distribución (de la información específica proporcionada por el mapa topográfico sobre alturas en curvas de nivel), se realiza el análisis (ver figuras I y II p.1a y 1b-). Esta información es simplificada en mapas por cuadrícula, donde se tiene la altitud

máxima y mínima. A partir de estas cifras se calcula el mapa por cuadrícula de la altitud media. Este tipo de mapas permite clasificar e interpretar de una manera sencilla el relieve, pues mediante generalizaciones sucesivas, se definen y localizan zonas homogéneas, que constituyen la expresión espacial más tangible de la regionalización.

La primera interpretación hecha de los mapas en base a las curvas de nivel, es de gran importancia, ya que su análisis permite distinguir a primera vista, en el mapa, regiones de tipo análogo. Ello, permite relacionar y explicar las características de pendientes, densidad y profundidad de disección del terreno en base al relieve.

Es obvio que la subunidad H<sub>v</sub> del relieve volcánico, por ser la más joven del grupo Chichinautzin (de menos de 9 000 años) ocupe en general las partes más elevadas dentro la carta, con algunas excepciones, por ejemplo, al noroeste la Sierra del Ajusco, que pertenece al terciario, presenta alturas similares o incluso superan a las subunidades más recientes.

En general, la subunidad holocénica H<sub>iv</sub> se sitúa en alturas comprendidas entre los 2 900 y 3 800 m de altitud. Destacan por su amplitud y altitud en la parte central de la zona de estudio, los volcanes Pelado (ver figuras 20 y 21), Chichinautzin y Tlaloc, mismos que como se ha dicho, junto con el Ajusco conforman el parteaguas sur de la Cuenca de México.

Con la ayuda de bases de datos (manejadas en DBASE), creadas con la información de Martín del Pozzo (1980) y nuestra, se

*PELADO*

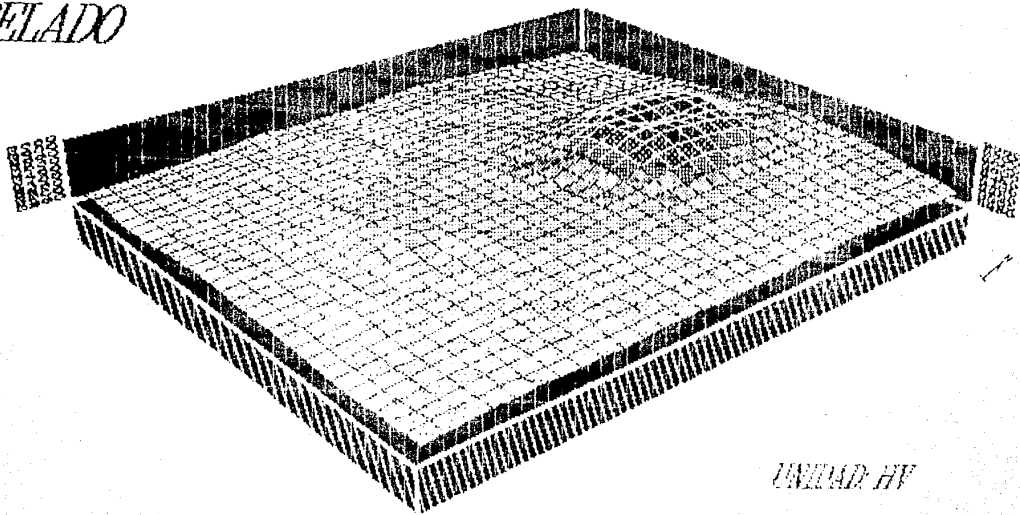
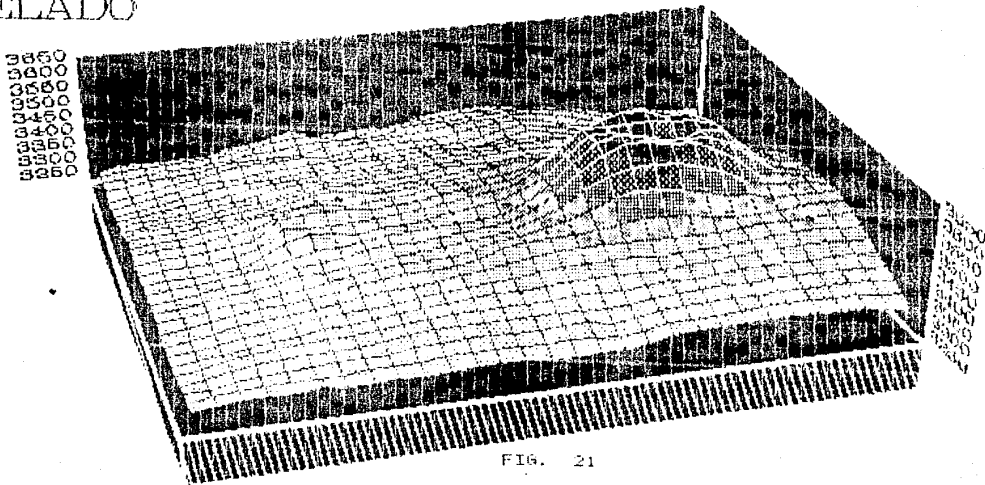


FIG. 20

*UNIDAD: HV*

PELADO



UNIDAD: HV

extraer la información relativa a la altura del cono (altura<sub>1</sub>) y la altura sobre el nivel del mar (altura<sub>2</sub>) de cada subunidad, que listamos en la tabla 7.

De esta información se obtiene: 1) el porcentaje y el número de conos volcánicos que sobrepasen la altura y altitud promedio por subunidad; y 2) el porcentaje global (al considerar todos los volcanes de las cinco subunidades). Estos parámetros sirven para relacionarlos con el área y la cantidad de volcanes por kilómetro cuadrado.

En la subunidad HV tomando los 50 conos listados, se obtienen los siguientes promedios: el promedio de altitud para los 50 elementos es de 3 234 m. de los cuales, el 48 % (24 volcanes) superan tal promedio y el resto de ellos se encuentran entre los 2 500 a los 3 700 m de altitud. En cuanto al promedio de altura del cono, sólo 48 conos de esta subunidad, contenían información correspondiente, y resulta un promedio igual a 92 m. Solo el 43.75 % (21 de ellos) supera este promedio.

Por su parte en promedios globales, resulta de 99 m para la altura, considerando a 139 conos con información, y de 3 201 m de altitud para 143 conos. Ello da por resultado que el 15.8 % y el 16.8 % respectivamente, de conos de esta subunidad superen los promedios; y aunque es un porcentaje pequeño, en comparación con el resto de las subunidades, viene a constituir la subunidad con mayor altura y mayor altitud dentro de la zona de estudio.

Lo anterior muestra, que por número de individuos o unidades,

tabla 1

1) SUBUNIDAD HV

REGISTRO	UNIDAD	NOMBRE DEL VOLCAN	ALTURA	ALTITUD
102	HV	CABALLITO	125	3200
103	HV	CABALLITO II	50	3250
142	HV	CABALLITO III	30	3340
114	HV	CAPULIN	150	3190
106	HV	CARDOS I	150	3150
107	HV	CARDOS II	60	3100
108	HV	CARDOS III	150	3131
109	HV	CARDOS IV	60	3130
110	HV	CARDOS V	100	3180
127	HV	CERRO DEL AGUA II	40	3490
134	HV	CERRO DEL AGUA I	100	3590
145	HV	CHALCHIHUITES	315	3350
98	HV	CHICHINAUTZIN	100	3470
99	HV	CHICHINAUTZIN II	15	3390
113	HV	HUILOTE	250	3620
112	HV	HUILOTITO	125	3450
105	HV	JUMENTO	150	3750
104	HV	MANTECA	80	3250
135	HV	OCUSACAYO I	50	3200
136	HV	OCUSACAYO II	50	3200
137	HV	OCUSACAYO III	50	3200
138	HV	OCUSACAYO IV	20	3140
141	HV	OLOLICA	120	3320
100	HV	PALOMITO	100	3250
101	HV	PALOMITO II	30	3150
125	HV	PELADO	150	3620
140	HV	SUCHIQC CHICO	30	3150
139	HV	SUCHIQC GRANDE	150	3400
111	HV	TABQUILLO	200	3070
143	HV	TEPETL I	30	3160
144	HV	TEPETL II	80	3160
119	HV	TEPETLAFAN	40	2640
116	HV	TETEQUILLO	200	2850
117	HV	TIOCA	90	2710
121	HV	TIOQUITAS I	50	3650
122	HV	TIOQUITAS II	50	3640
123	HV	TLACUALLCLI I	40	2630
124	HV	TLACUALLCLI II	30	2600
128	HV	TLALOC I	150	3590
129	HV	TLALOC II	80	3650
130	HV	TLALOC III	?	3650
131	HV	TLALOC IV	?	3650
132	HV	TLALOC V	15	3630
133	HV	TLALOC VI	40	3300
120	HV	TLAMACASCO	100	2590
118	HV	TZEMPOLI	65	2660
115	HV	XICOMULCO	125	2600
97	HV	XICONTLE	70	3060
96	HV	XITLE	100	3150
126	HV	XOXCOCOL	40	3400

## 2) SUBUNIDAD FLV4

REGISTRO	UNIDAD	NOMBRE DEL VOLCAN	ALTURA	ALTITUD
81	PLV4	CHINGUIRITERIA I	50	3140
82	PLV4	CHINGUIRITERIA II	80	3050
85	FLV4	COMALERA I	170	3260
86	PLV4	COMALERA II	20	3150
87	PLV4	COMALERA III	70	3130
88	PLV4	CUAUTZIN I	250	3510
89	PLV4	CUAUTZIN II	100	3450
90	PLV4	CUAUTZIN IV	70	3350
91	PLV4	CUAUTZIN V	50	3150
77	PLV4	CUILLOYITO	80	3030
76	PLV4	CUILLOYO	100	3080
68	PLV4	HOYO	50	3140
69	FLV4	OCLAYUCA	120	3140
78	PLV4	OCOTECATL I	150	3490
79	PLV4	OCOTECATL II	70	3160
72	PLV4	OTATES I	100	3240
73	PLV4	OTATES II	5	3220
74	PLV4	OTATES III	?	3110
80	PLV4	PIRIPITILLO	40	3140
71	PLV4	QUIMINTEPEC	65	3170
84	PLV4	SAN BARTOLOITO	50	3160
83	PLV4	SAN BARTOLO	20	3220
75	PLV4	TECAHUAYAC	100	3150
70	PLV4	TEPETL III	50	3140
93	PLV4	TESOYITO	20	3130
92	PLV4	TESOYO	150	3190
94	PLV4	TEUTLI I	100	2710
95	PLV4	TEUTLI II	50	2580
96	PLV4	TEUTLI III	15	2590
66	PLV4	TRES CUMBRES I	250	3280
67	PLV4	TRES CUMBRES II	250	3270

## 3) SUBUNIDAD FLV3

REGISTRO	UNIDAD	NOMBRE DEL VOLCAN	ALTURA	ALTITUD
31	PLV3	AGUA GRANDE	50	3555
47	PLV3	CADENA	200	3700
45	PLV3	CADENITA I	50	3650
46	PLV3	CADENITA II	50	3570
28	PLV3	CAJETE I	140	3150
59	PLV3	CASTILLO	80	3130
57	PLV3	CIMA I	60	3080
58	PLV3	CIMA II	30	3020
60	PLV3	CIMA III	20	3050
61	PLV3	CIMA IV	20	3050
62	PLV3	CIMA V	10	3050
63	PLV3	CIMA VI	20	3050
64	PLV3	CIMA VII	30	3020
43	PLV3	JARAS VERDES	?	3650
44	PLV3	LOBOS	30	3570
42	PLV3	PAJARITOS	100	3390

REGISTRO	UNIDAD	NOMBRE DEL VOLCAN	ALTURA	ALTITUD
41	PLV3	PAJAROS	?	3780
54	PLV3	PAJONAL	100	3230
56	PLV3	PANCITA	40	3530
55	PLV3	PANEA	100	3550
24	PLV3	RAICES I	130	3150
25	PLV3	RAICES II	100	3150
26	PLV3	RAICES III	100	3080
27	PLV3	RAICES IV	150	3130
49	PLV3	SAN MIGUEL	50	2930
39	PLV3	TECONZI	50	3160
40	PLV3	TECONZITO	50	3060
29	PLV3	TEPEYEHUALCO I	50	3030
30	PLV3	TEPEYEHUALCO II	40	3030
32	PLV3	TETZALCOATL GRANITE	100	3310
33	PLV3	TETZALCOATL I	20	3220
34	PLV3	TETZALCOATL II	20	3170
35	PLV3	TETZALCOATL III	20	3210
23	PLV3	TEZONTLE	225	3010
53	PLV3	TLALOCITO	80	3310
36	PLV3	TULMIAQUI	150	3330
37	PLV3	TULMIAQUI II	20	3080
38	PLV3	TUXTEPEC	100	3080
48	PLV3	TUXTEPEC	100	3100
50	PLV3	XISTUNE I	50	3110
51	PLV3	XISTUNE II	75	3190
52	PLV3	XISTUNE III	20	3210
53	PLV3	XISTUNE IV	10	3180
21	PLV3	YOLOLICA	150	2350
22	PLV3	YOLOLICITA	20	2970

#### 4) SUBUNIDAD PLV2

REGISTRO	UNIDAD	NOMBRE DEL VOLCAN	ALTURA	ALTITUD
20	PLV2	COCINAS	150	?
18	PLV2	CUAUTZONTLE	50	2970
11	PLV2	MALACATEPETL I	50	3410
12	PLV2	MALACATEPETL II	200	3450
15	PLV2	MALINALE	100	3080
16	PLV2	MALINALITO I	40	3170
17	PLV2	MALINALITO II	?	3040
14	PLV2	MUREQUITO	100	3720
13	PLV2	MURECO	150	3710
19	PLV2	TONTEPEC	20	2920
10	PLV2	ZORILLO	50	3400



## 5) SUBUNIDAD PLV1

REGISTRO	UNIDAD	NOMBRE DEL VOLCAN	ALTURA	ALTITUD
3	PLV1	ACOPIANCO I	100	2305
4	PLV1	ACOPIANCO II	200	2310
5	PLV1	GUARDA	100	3210
7	PLV1	MECHATEPEC	50	3220
1	PLV1	MEZONTEPEC	100	3480
2	PLV1	MEZONTEPECITO	50	3430
6	PLV1	OYAMEYO	250	3320
8	PLV1	QUEPIL I	250	3530
9	PLV1	QUEPIL II	300	3430

---

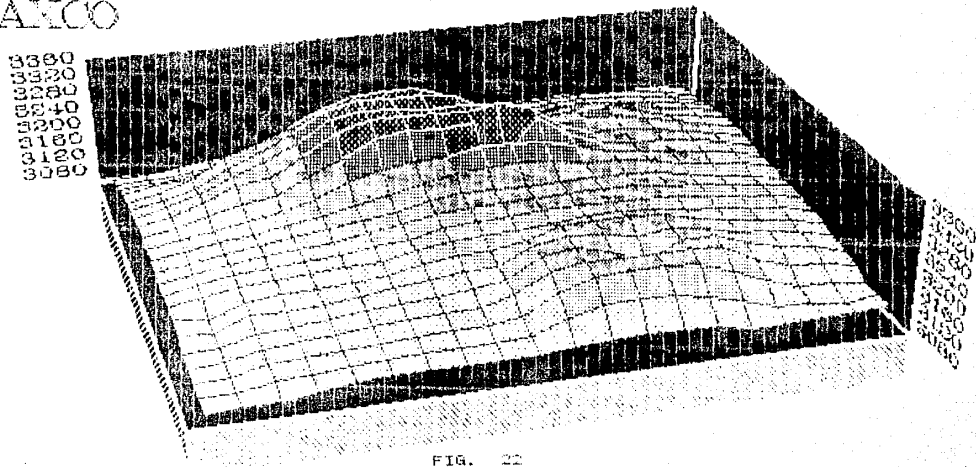
Por altitud y por altura, es una subunidad muy activa y reciente, ya que entre más actual sea el vulcanismo, su emplazamiento ocupa un lugar preponderante físicamente superior y sobrepuesto a las subunidades más antiguas. Su número muestra que la dinámica de la actividad volcánica es mayor en cantidad y extensión, en relación a las otras etapas evolutivas del Grupo Chichinautzin. De esta manera se ve que las subunidades Pleistocénicas (Piv4, Piv9, Piv2 y Piv1) salvo algunas excepciones, van decreciendo en altura (figuras 22 y 23).

siguiendo el criterio anterior, se calcula el porcentaje de volcanes que superan el promedio individual y global para todas las subunidades del Grupo Chichinautzin, cuyos resultados se muestran en las tablas 2 y 3.

En la información estudiada por subunidad, se aprecia que los volcanes Holocénicos presentan una gran cantidad de unidades que sobrepasan la altura promedio, pero al compararla con las otras subunidades vemos que es menor su cantidad porcentual. Esto se explica si se toma en cuenta que existen enormes diferencias en cuanto al número de individuos que constituyen cada subunidad.

Si consideramos a toda la población de volcanes para realizar la comparación, vemos que la relación es directa entre el número de volcanes y el porcentaje de altura en función a su edad. Resulta así, que a mayor edad, menor es el número de volcanes, de alturas superiores a la media global, y también es menor el área ocupada. Se comprobó esto mediante el uso de otra correlación de variables: la de altitud con respecto al área ocupada. Para ello

ACOPIANCO



UNIDAD: PLV 1

tabla 2

ALTURA EN METROS

UNIDAD	HV	PLV4	PLV3	PLV2	PLV1
TOTAL DE CONOS PROMEDIADOS PARA LA ALTURA	48	30	43	10	9
PROMEDIO POR UNIDAD DE LA ALTURA (a)	92	91	71	91	156
NUMERO DE VOLCANES QUE SUPERAN EL PROMEDIO DE LA ALTURA	21	12	18	5	4
PORCENTAJE DE VOLCANES QUE SUPERAN EL PROMEDIO DE LA ALTURA	43.8	40	41.9	50	44.4
PROMEDIO GLOBAL DE LA ALTURA (b)	90	90	90	90	90
TOTAL DE CONOS PROMEDIADOS	139	139	139	139	139
NUMERO DE CONOS QUE SOBREPASAN LA ALTURA GLOBAL.	22	12	15	5	7
PORCENTAJE DE CONOS QUE SOBREPASAN LA ALTURA GLOBAL.	15.8	8.6	10.8	3.5	5

tabla 3

ALTIUD EN METROS

UNIDAD	HV	PLV4	PLV3	PLV2	PLV1
TOTAL DE CONOS PROMEDIADOS PARA LA ALTIUD	50	31	45	10	9
PROMEDIO POR UNIDAD DE LA ALTIUD (m)	3234	3147	3209	3287	3137
NUMERO DE VOLCANES QUE SUPERAN EL PROMEDIO DE LA ALTIUD	24	13	17	5	7
PORCENTAJE DE VOLCANES QUE SUPERAN EL PROMEDIO DE LA ALTIUD	48	58	37.8	50	77.8
PROMEDIO GLOBAL DE LA ALTIUD (m)	3201	3201	3201	3201	3201
TOTAL DE CONOS PROMEDIADOS	143	143	143	143	143
NUMERO DE CONOS QUE SOBREPASAN LA ALTIUD GLOBAL.	24	10	17	5	7
PORCENTAJE DE CONOS QUE SOBREPASAN LA ALTIUD GLOBAL.	16.8	6.9	11.9	3.4	4.8
TOTAL DE VOLCANES PERTENECIETES A CADA SUBUNIDAD	50	31	45	11	9

*ACOPIAXCO*

*UNIDAD PLM*

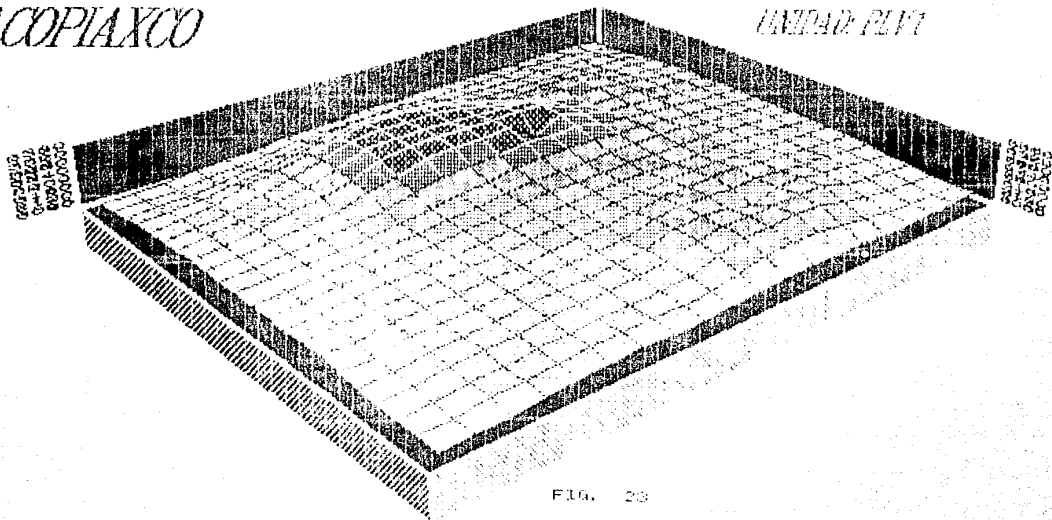


FIG. 20

se usan las llamadas CURVAS DE AREA-ALTUD, las cuales representan el área ocupada por cada subunidad.

### CURVAS DE AREA-ALTUD

El método que se emplea para realizar la cuantificación de área fue el de diferencia de pesos, con el cual se obtienen las áreas para las zonas circundadas entre dos curvas de nivel sucesivas. Para las curvas de área-altitud se usa en su construcción, una escala vertical de alturas en metros, y una escala horizontal de áreas en kilómetros cuadrados. Uueda así expresada la escala horizontal en términos de área porcentual en lugar de términos de área absoluta.

Los puntos de intersección que representan los valores de área y de altura, se distribuyen en relación a la escala vertical frente al porcentaje de la escala horizontal. Se unen estos puntos mediante líneas rectas para formar de esta manera una curva continua. Esta curva de área-altitud sirve para indicar la proporción del área de la superficie en distintas elevaciones (ver figuras 24 a 29).

Las gráficas mencionadas nos muestran que el área es mayor para la subunidad Hv, y tiende a disminuir conforme aumenta la edad. A excepción de la curva que representa las porciones de la superficie correspondiente al Terciario. Por no contarse con una datación específica que permita subdividirla, como se ha hecho

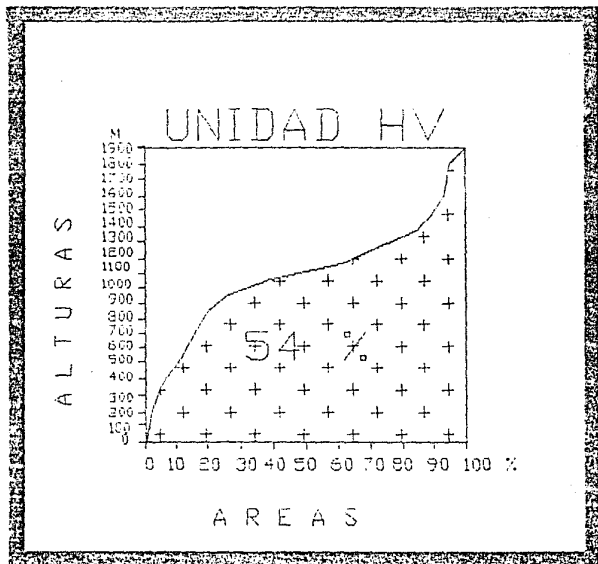


FIG. 24



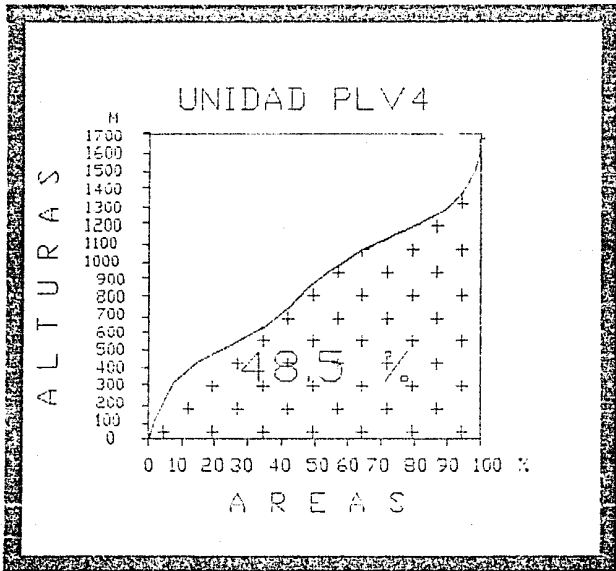


FIG. 25

para el grupo Chichimequino.

Hay que observar que el desnivel altitudinal para la subunidad más joven es de 1 900 m. de acuerdo al emplazamiento de la misma dentro de la cerra, en la que las altitudes varían de los 1 900 a los 3 800 m. Esta subunidad se concentra no solo en las partes más bajas de mayor área, sino que también posee un porcentaje de áreas importante hacia alturas mayores, debido a que en algunas partes (volcán Jumento al noroeste), las lavas extravasadas fueron fluidas, por lo que se presentan en mayor cantidad que los productos piroclásticos. Ello trae consigo que un cono aislado por sus derrames se distribuya ampliamente sobre la topografía preexistente, aumentando el área ocupada para las porciones altas de esta subunidad. La topografía determina el largo de los derrames, así por ejemplo, en la zona nororiental y suroccidental los derrames dacíticos y andesíticos salieron en forma de derrames gruesos con explosividad muy baja. Esto lo demuestra Martín del Pozzo (1980) al comprobar la existencia de pocos materiales piroclásticos asociados a los conos. En muchos casos, las lavas llegan a ocultar el conducto al salir y consolidarse (Como Xicomulco). Pero gracias a la topografía inclinada los derrames fluyeron en forma escalonada. Dependiendo de su localización, unos lo hicieron hacia la actual Cuenca de México, y otros hacia el Valle de Cuernavaca. Por su parte los derrames basálticos cubren grandes extensiones, y muestran la poca viscosidad y la gran fluidez que tenían. Así los valores porcentuales del área tienden a aumentar en las partes más bajas de toda la región de estudio.

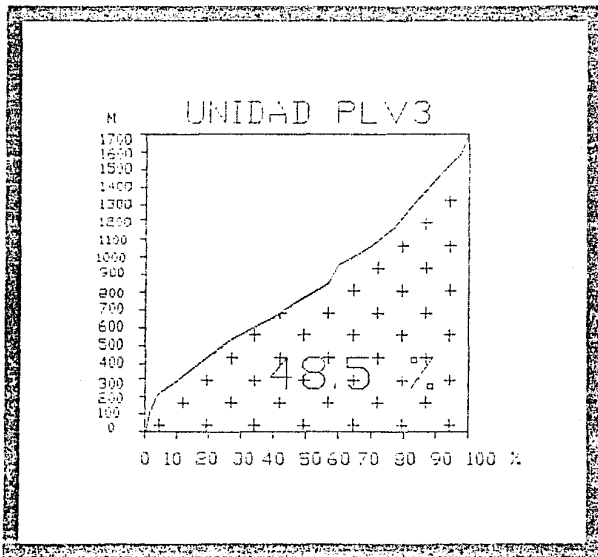


FIG. 26

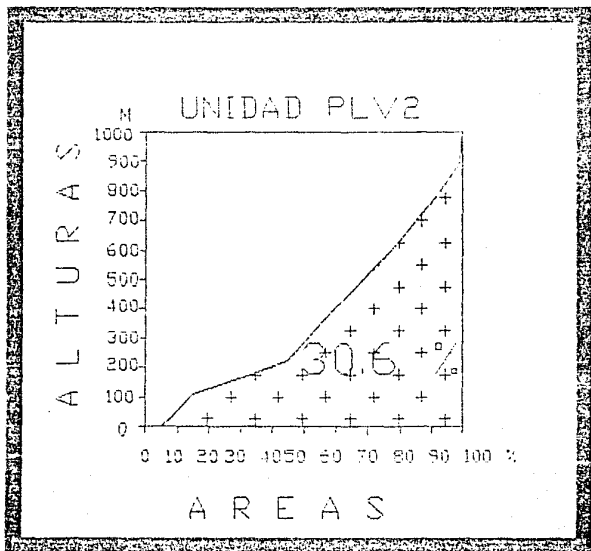


FIG. 27

Para las subunidades de mayor edad (Piv4, Piv3, Piv2 y Piv1), la disminución de área está relacionada con la erosión que sufren por el paso del tiempo, y por el ocultamiento que trae consigo la sobreposición de los derrames de los volcanes más recientes. Las condiciones climáticas no juegan un papel importante en la degradación, como es el caso de otras zonas volcánicas.

Las subunidades Piv4 y Piv3 según las curvas hipsométricas, presentan el mismo porcentaje de área bajo la curva, siendo la distribución de ésta, más o menos homogénea, es decir, con una tendencia a disminuir a mayor altura en forma paulatina. Para poder explicar esto, se considera que, la subunidad Piv3 parece a contar con 22 000 años aproximadamente, tiene una distribución mayor por poseer un mayor número de elementos volcánicos que permiten un mayor derrame.

Si consideramos ahora a la subunidad Piv2, vemos que es mayor el número de volcanes que la constituyen respecto a la Piv1. Sin embargo presenta un área menor de emplazamiento en comparación a la más antigua -Piv1-, lo que podría indicarnos la presencia de una mayor fluidez de lavas para la subunidad Piv1. Ambas subunidades tuvieron una actividad explosiva intermedia (Martin del Pozzo, 1980) pues se observan los conos cónicitos y de lava, cubiertos por sus productos piroclásticos. Parecen haber tenido una actividad muy parecida a la estromboleana. Lamentablemente es difícil saber exactamente la extensión y espesor real de éstas y de las restantes unidades Pleistocénicas, por estar sepultadas por materiales más recientes.

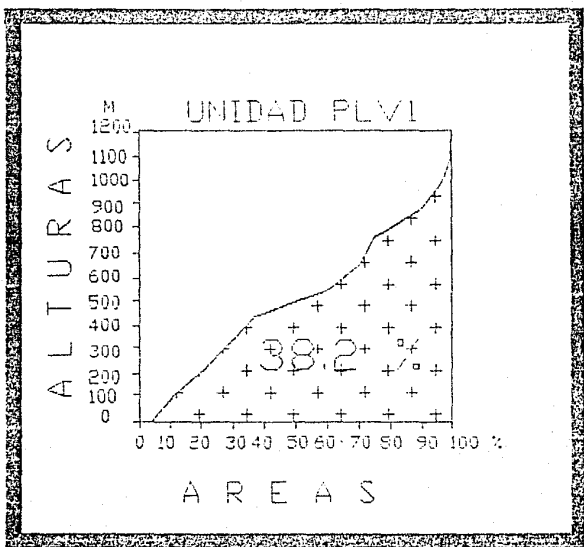


FIG. 28

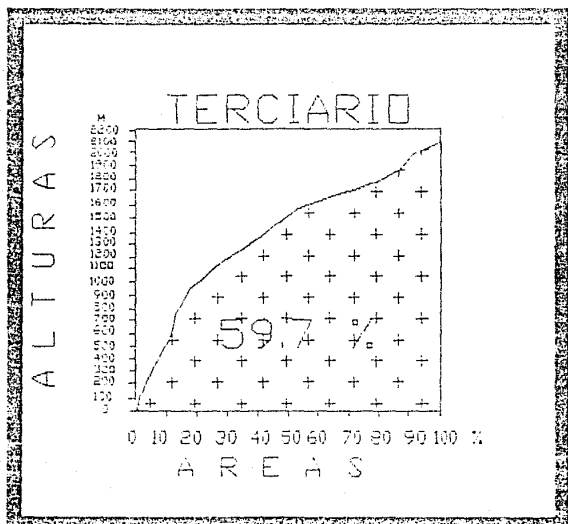


FIG. 29

Todo lo anterior nos lleva a pensar que la actividad volcánica fue mayor en el Pleistoceno, pero no en el sentido de intensidad ni de extensión, sino en la concentración, al agruparse en zonas que en ese momento representaban las más viables para liberar los esfuerzos de las placas. La intensidad de concentración varía tanto para las subunidades PIV1, PIV2 y PIV3, como para la PIV4 finales del Pleistoceno, y aun dentro del Holoceno (HV). Estas últimas se llegan a concentrar, pero presentan un mayor índice en la dinámica de distribución, y es por ello que su emplazamiento muestra rangos amplios de altitud y de superficie ocupada.

Si observamos los valores de área para cada subunidad dentro de la carta, vemos que en realidad sí existe la tendencia a una disminución de dicha área conforme aumenta la edad (ver tabla 4).

#### DENSIDAD DE VOLCANES

Los materiales extravasados por los 146 volcanes dispuestos y distribuidos en la región de estudio, permiten apreciar zonas de mayor y menor actividad volcánica durante el Cuaternario para la Formación Chichinalitzin. De tal manera, resulta que donde el vulcanismo es más intenso, se interpreta como zonas de mayor debilidad cortical. Para analizar esta idea se decidió obtener la densidad de volcanes por kilómetro cuadrado. Las 5 zonas que



representan a las subunidades estratigráficas, poseen áreas muy distintas, por lo que es necesario usar un área uniforme que elimine la desigualdad. Para ello se emplea: 1) el área global de toda la carta topográfica (962.5 km<sup>2</sup>); 2) el área global de todas las subunidades (831.65 km<sup>2</sup>), exceptuando el terciario, y 3) el área de cada subunidad, según se muestra en la tabla 4.

Se calcula la densidad de volcanes (numero de volcanes por km<sup>2</sup>), utilizando tres rangos para cada subunidad, que son: 1) dividir el numero de volcanes de cada subunidad entre el área global de la carta; 2) numero de volcanes entre el área global de todas las subunidades y 3) numero de volcanes entre el área individual de cada subunidad.

Como se aprecia, los tres coeficientes (ver tabla 5) demuestran que, dependiendo del área que se considera, se obtendrán diferentes valores e interpretaciones para cada subunidad (valores de una misma columna). De tal modo que si se considera únicamente el área individual de cada subunidad, al efectuar la operación se obtienen los cinco valores (en líneas) que muestran que la subunidad más joven, a pesar de poseer un mayor numero de volcanes (34% del total), su coeficiente de 0.12 es el menor al de todas las subunidades, cosa que no debe de resultar extraña si se considera que la mayor parte del área ocupada (44% de toda la región o el 55.6% de todas las subunidades), son derrames de lava. En teoría este coeficiente debe de ir disminuyendo conforme avanza la edad, sin embargo en la unidad Piv) su coeficiente es alto (0.12), pese a tener un porcentaje de área pequeño (7.2 % de toda la región o el 8.5 % de todas las

tabla 4

UNIDAD	HV	PLV4	PLV3	PLV2	PLV1
NUMERO DE VOLCANES	50	31	45	11	9
AREA DE CADA SUBUNIDAD (Km <sup>2</sup> )	423.84	195.93	104.40	28.09	69.60
AREA DEL TERCARIO (Km <sup>2</sup> )	136.46				
AREA DE SEDIMENTOS DEPOSITOS ALUVIALES (Km <sup>2</sup> )	4.38				
AREA TOTAL DE LA CARTA (km <sup>2</sup> )	962.5	KM2			
AREA TOTAL DE SUBUNIDADES (Km <sup>2</sup> )	821.65				

---

unidades).

En mayor medida se incrementan los coeficientes de densidad en las subunidades intermedias (Piv4, Piv3 y Piv2). Tales valores indican en forma indirecta (no los extremos, Hv y Piv1), las zonas que tienen una mayor actividad volcánica. Esto se explica, porque las subunidades intermedias pleistocénicas tienen un gran número de conos, y el área que ocupa es relativamente reducida, ya que sus derrames son cubiertos por la subunidad Holocénica. lo que determina que los conos por su altura sean los que prevalezcan, mostrando una gran cantidad de volcanes respecto a un área pequeña. Es muy probable, que si se pudiera llegar a determinar exactamente la dimensión total del área ocupada originalmente por cada subunidad, entonces, la tendencia sería a obtener coeficientes cada vez mas pequeños según las edades correspondientes. Es pertinente aclarar que las subunidades más antiguas ocuparon originalmente una área mayor que fue reducida por sobreponerse material y formas correspondientes a subunidades posteriores.

Así, la subunidad más antigua (Piv1), por el tiempo fue cubierta en gran extensión por las otras subunidades quedando ahora a la vista un reducido número de volcanes, lo que determina que al igual que la subunidad Hv, sus porcentajes de volcanes por Km<sup>2</sup> sean pequeños. Se diferencia la subunidad Piv1 de la Hv, en que esta última, tiene gran cantidad de derrames que determinan su bajo coeficiente, mientras que, para la Piv1 la baja cantidad de volcanes, es el factor que influye en que tenga un bajo

tabla 5

UNIDAD	HV	PLV4	PLV3	PLV2	PLV1
DENSIDAD DE VOLCANES POR KM <sup>2</sup> CONSIDERANDO NUMERO DE VOLCANES ENTRE AREA DE CADA SUBUNIDAD.	0.12	0.16	0.43	0.40	0.13
DENSIDAD DE VOLCANES POR KM <sup>2</sup> CONSIDERANDO NUMERO DE VOLCANES ENTRE EL AREA TOTAL DE LA CARTA (962.5KM <sup>2</sup> )	0.05	0.03	0.05	0.01	0.01
DENSIDAD DE VOLCANES POR KM <sup>2</sup> CONSIDERANDO NUMERO DE VOLCANES ENTRE EL AREA TOTAL DE LAS SUBUNIDADES (821.65303 KM <sup>2</sup> )	0.06	0.04	0.55	0.013	0.01
PORCENTAJE DE VOLCANES RESPECTO AL TOTAL DE LA CARTA (146)	34.3	21.2	30.8	7.5	6.2
PORCENTAJE DE AREA RESPECTO AL TOTAL DE LA CARTA (962.5KM <sup>2</sup> )	44	20.4	10.8	2.9	7.2
PORCENTAJE DE AREA RESPECTO AL TOTAL DE LAS SUBUNIDADES (821.65303 Km <sup>2</sup> )	51.6	23.8	12.7	3.4	8.5

coeficiente.

Los valores de los coeficientes que se obtienen, con las áreas globales (tanto para el área de toda la región, como para todas las subunidades) muestran en general una tendencia a disminuir en función de la edad. Al considerar los coeficientes correspondientes a cada una de las áreas globales se puede interpretar que al aumentar estos, corresponde con una mayor actividad volcánica en la subunidad que se considera antigua (como la Fiv) con manifestaciones de actividad volcánica muy intensa.

#### RELACION ENTRE ALTURA Y PENDIENTE

Mediante la interpretación de la carta, se menciona a que tipo de relieve corresponde para describir el área estudiada. Además se toma en cuenta la edad, que influye en la complejidad del relieve, así como los elementos asociados a éste: la pendiente, el drenaje, etc.

La cuantificación y cualificación de los rasgos espaciales requiere de la elección de los criterios más significativos para representarlos. En nuestro caso, se recurre a la utilización de mapas sinópticos por cuadrícula, como base para el cálculo de los diferentes datos por unidad de área, y se obtienen los datos de mayor importancia en forma generalizada.

El método basado en C.K. Wentworth (citado por Raisz, 1974:

p. 23) consiste en dividir al mapa topográfico en pequeños cuadrados de 1 Km<sup>2</sup>, y registrar los valores máximos y mínimos de altitud, pendiente, etc. Para obtener después el promedio. Esta generalización y simplificación de valores permite realizar la comparación en la zona de estudio. Como sabemos, en los mapas topográficos se representa el relieve por medio de isolinias, cada una de ellas presenta el lugar geométrico de los puntos que tienen una misma altitud. Es fácil observar dentro de cada cuadrante que las curvas de nivel se presentan con diferentes densidades o con diferentes separaciones, y es bien conocido que a mayor densidad corresponde una mayor inclinación del terreno o pendiente.

Al obtener de la carta la separación mínima y máxima de las curvas, se calcula la pendiente máxima y mínima, de cuyo promedio se obtiene la pendiente media. Implica, además realizar una enorme cantidad de mediciones, también una cantidad similar o mayor de cálculos trigonométricos para cada cuadrante. El problema se resuelve al vaciar toda la información, tanto de pendiente como de altitud, en programas elaborados con el lenguaje BASIC. Se obtienen de esta manera listas de valores para las variables. Este método fue expuesto por el Mtro. Roberto López Santoyo (1978: p. 7 a 24). Los datos se vacían en los mapas por cuadrícula y se achuran, con patrones predefinidos en el paquete de computación AUTOCAD. Para definir el valor de cada cuadrante y achurado, se adoptan criterios de jerarquías, con los cuales se representa a los promedios de alturas y de pendientes. Por medio de achurados, se permite hacer las relaciones con las subunidades definidas para la Formación Chichinauzin.

En la interpretación de estos mapas (ver figuras 30 y 31) vemos que los valores más grandes para altitud se concentran en tres zonas (este, centro y noroeste de la carta). En la zona noroeste, perteneciente al Terciario, donde se observan algunos barrancos y cañadas (zona del Ajusco) mientras que en las otras dos que se sitúan sobre la subunidad Hv. junto con la Fiv4, presentan los valores de pendientes más altos de 30 a 45° y alrededor, corresponden a laderas con pendientes de 15 a 30°.

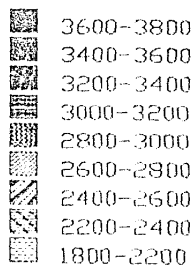
Se pueden observar en las zonas más bajas relieves más antiguos, superficies cubiertas por piroclastos. Las zonas volcánicas más jóvenes corresponden a superficies sin alteraciones o muy poco alteradas, pues los procesos exógenos de remoción y acumulación, por lo general no presentan una fuerte expresión. En superficies donde se presenta una cobertura de piroclastos, éstos no tienen grandes espesores, y son de límites imprecisos a causa de la sobreposición de materiales provenientes de la Sierra Chichinsutzin. Tienen en general pendientes comprendidas entre los 0 y 5°, por lo que entran en la categoría de suelos aptos para cultivos, y se aprovechan sobre todo en zonas de menor altitud. Estos campos presentan relieves menos irregulares que aquellos donde se encuentran conos volcánicos, y se muestran como simples salpicaduras entre los relieves más complejos. Estas zonas de relieve menos accidentado tienen una litología constituida por escorias gruesas, pero las más extensas por cenizas finas, que el viento llega a transportar fuera de la región de estudio.

Mediante observaciones detalladas por Martín del Pozzo (1980)

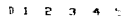
MILPA ALTA

U.N.A.M.

MAPA ALTIMETRICO

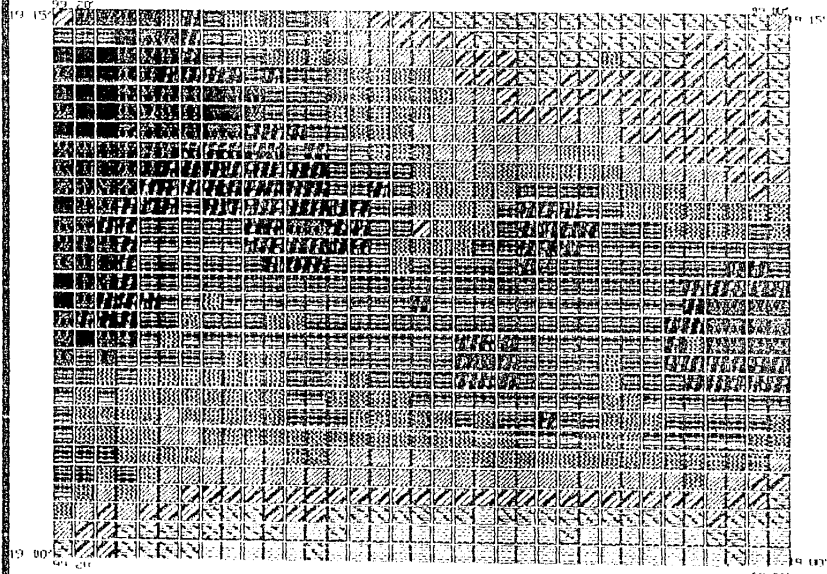


KM



COLEGIO DE GEOGRAFIA

CARRERA GARCIA FERNANDO  
Y  
LEGORRETA PAULIN GABRIEL

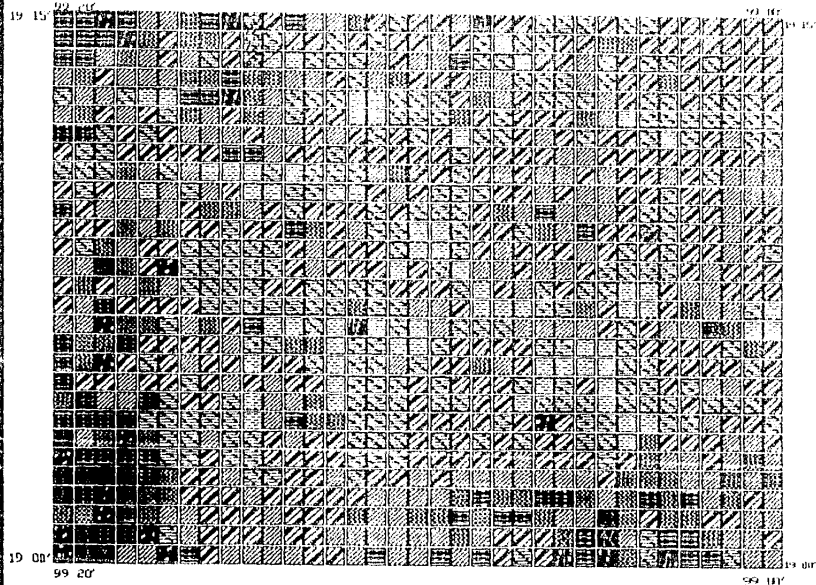




se obtienen índices de explosividad, que es el porcentaje de depósitos piroclásticos en relación a la proporción de lavas. Martín del Pozzo (1930) nos dice: "los depósitos piroclásticos muestran características intermedias entre los de tipo estrombolesno y surtseyano las cuales seguramente se deben al alto contenido de agua. El tamaño fino de las partículas, la presencia de clastos cristalinos y fragmentos con caras angulosas y de capas de menos de 1 cm de diámetro y con poca oxidación que se observan en algunos conos, son diagnósticos del tipo surtseyano (Walker, 1971). Otros depósitos piroclásticos más gruesos y oxidados son considerados de tipo estrombolesno. El diámetro medio de las partículas varía de 11  $\mu$  a 14  $\mu$  (0.3 a 0.9 mm) y para el surtseyano de 11  $\mu$  a 13  $\mu$  (2 a 4 mm) (Walker, 1971)".







Las coladas pertenecientes a la subunidad HV en general están representadas, dentro del mapa altimétrico, por el rango 3 (de 2 400 a 2 500 m de altitud) en los frentes, y se localizan hacia los extremos norte y sur en donde la altitud va disminuyendo. La zona de contacto de frentes de colada, en las otras subunidades, pasa a estar entre el rango 6 (de 3 000 a 3 200 m de altitud), y el 7 (de 3 200 a 3 400 m de altitud), variando las pendientes desde los 5° a los 15°. Aquí la mayor parte de lavas son de bloques, aunque se presentan escasos afloramientos de tipo Aa, y aún de Pahoehoe. Estas coladas, aunque jóvenes, presentan ya diferencias en erosión según la edad dentro del Grupo Chichinautzin. En la subunidad HV, los derrames están en una etapa de juventud, por lo que presentan una superficie rocosa desnuda que ha evitado el desarrollo de suelos. Son estructuras fáciles de

M I L I P A A L I A



U.N.A.M.

MAPA DE PENDIENTES  
MELIAS

-  30-45
-  15-30
-  10-15
-  5-10
-  2-5
-  0-2



COLEGIO DE GEOGRAFIA

CABRERA GARCIA FERNANDO  
Y  
LEGORRETA PAULIN GABRIEL

FIG. 31

visualizar en la carta topográfica, tanto por curvas de nivel como por la representación de la vegetación que la cubre de manera uniforme. En su evolución, las subunidades PIV4 y PIV3, han sufrido la acción doble de depósitos de las erupciones más recientes y de la erosión que las ha hecho perder el aspecto característico, cuencas de suelo y vegetación. Por último, las subunidades PIV2, PIV1 tienden a pasar a la etapa de vejez para desaparecer debajo de derrames más recientes o bien bajo una capa de sedimentos que han formado suelos muy fértiles, por lo que son cultivados intensamente.

De principal importancia están las planicies del nivel de base, que ocupan muy poca extensión al norte y al sur. Ambas se relacionan con periodos climáticos Pliocenarios, donde predominaban características de temperatura y humedad diferentes a las actuales; ya que anteriormente existía un balance hídrico positivo, a diferencia de las condiciones actuales, que son más cálidas y secas. En su evolución estas han sufrido procesos que las han modificado en su estructura original.

La zona norte del área, presenta una variación considerable en estratigrafía de una capa a otra, desde conglomerados hasta arcillas bentónicas hidratadas, entre los rangos altitudinales de 2 200 a 2 400 m. Mientras que para la zona sur, pese a la no presencia de este tipo de sedimentos, su rango de altitud es menor de 1 800 a 2 200, pudiéndose considerar como una zona volcánica de transición pues su nivel de base se encuentra emplazado a un nivel inferior y fuera de la carta.

Las pendientes para los sedimentos de la Cuenca de México son del orden de 2 a 10°, y representan la fase de transición entre la barrera montañosa sur y la Cuenca de México. Las zonas de planicie aluvial y de piedemontañas por encontrarse entre los 0° y los 10° presentan potencialidad de erosión que van desde la nula, la muy débil, hasta la moderadamente fuerte. Las zonas de laderas presentan pendientes comprendidas entre los 10° y los 45° con potencialidad de erosión que va desde la moderada hasta la intensa. Se puede apreciar que la pendiente del terreno, junto con las altitudes medias, presentan una zonificación clara, misma que caracteriza a sus principales formas y son también parámetros fundamentales que permiten establecer en forma precisa las características de las secuencias del desarrollo del relieve.

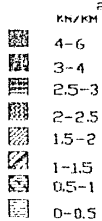
#### PROFUNDIDAD Y DENSIDAD DE DISECCION

Ayudados en trabajos realizados sobre profundidad y densidad de la disección, así como de ordenes de corrientes (Lugo y Martínez, Moya y Zamorano, Palacio, citados en el Congreso Interno del Instituto de Geografía, UNAM, 1980), se evaluaron tales características de la red fluvial, y se elaboraron mapas por cuadrícula (ver figuras 32 y 33). A partir de ello se realiza la interpretación del relieve en base a su evolución en el tiempo. El análisis de éstos mapas se relacionó con la zonificación estratigráfica. Así vemos que la Sierra del Chichinautzin,

# M I L P A A L T A

## U.N.A.M.

MAPA DE LA DENSIDAD  
DE LA DISECCION.

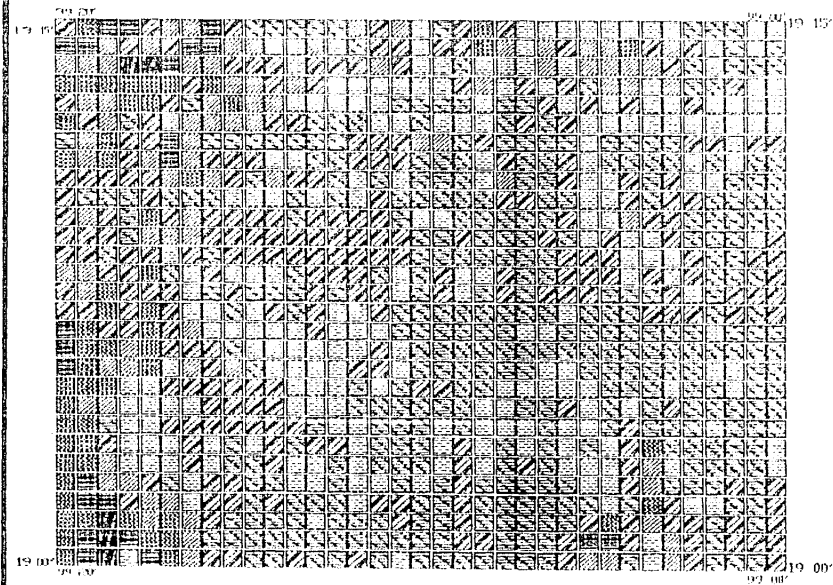


COLEGIO DE  
GEOGRAFIA.

CABREJA GARCIA FERNANDO L.  
Y  
LEGORPETA PAULIN GABRIEL.

presenta en toda su amplitud, una erosión fluvial con carácter incipiente. Se denota que es más intensa en la vertiente sur, donde las corrientes se integran a pequeñas cuencas, que lideras abajo gradualmente van creciendo, integrándose kilómetros adelante a los afluentes del río Amacuzac. En la vertiente norte la erosión fluvial es mucho más débil.

Para todo el área de estudio prácticamente no hay sistemas hidrológicos bien definidos. La mayoría son de carácter no permanente: hay predominio de infiltración por el carácter permeable de los derrames. Las corrientes temporales, para todas las subunidades, presentan un predominio de corrientes de primero y segundo orden. Se aprecian gran cantidad de redes radiales y paralelas. El análisis por subunidad comprueba que la más joven (Hv) se encuentra representada por valores de profundidad de disección débil, generalmente menor a 20 m, y por corrientes de poca extensión longitudinal (menos de 5 km). Su juventud hace que la litología no favorezca el corte vertical hecho por las corrientes fluviales. La densidad de disección correspondiente a esta zona presenta también valores bajos desde 0 hasta 1.5 km por km<sup>2</sup>, y se concentran los valores más altos ahí donde la pendiente favorece el escurrimiento. También sus valores son relativamente bajos puesto que la cobertura vegetal impide un fuerte deterioro, lo que no sucede en rocas más antiguas terciarias, donde la actividad erosiva natural y entropica es más intensa, por lo que presenta valores altos tanto en profundidad como en densidad de la disección. En la parte noroeste y en las Lagunas de Zempoala (ambas pertenecientes al Terciario), donde el relieve es elevado y



U.N.A.M.

MAPA DE PROFUNDIDAD DE LA DISECCION.

M

- > 200
- 100-200
- 50-100
- 20-50
- 10-20
- 2-10
- 0-1

KM



COLEGIO DE GEOGRAFIA  
 LEGORRETA PAULIN GABRIEL  
 Y  
 CARRERA GARCIA FERNANDO

FIG. 20

montañoso formado por rocas fracturadas e impermeables. Los procesos tanto vertical como lateral tienen un amplio desarrollo. No sólo se han cavado valles montañosos de más de 200 m de profundidad, sino que el retroceso lateral de laderas se incrementa dando lugar a formas complejas. Valores tan altos de densidad y profundidad se ven marcados a partir de fallas y fracturas que han surtido las estructuras.

La cuantificación de los caudales por unidad de superficie, permite obtener valores que expresan el grado de desarrollo de los sistemas fluviales. Aquí se presentan corrientes hasta de tercer orden (Río las Regaderas). Hacia la porción noroeste de la región junto a la localidad de Milpa Alta, la subunidad Pivi, presenta el orden de corriente más alto de toda la zona de estudio (4º orden). Se forma de los aportes de 19 y 2º orden del volcán Tlaloc, zona de mayor altura de toda la región, determinando un drenaje potente del tipo radial y paralelo. Este es característico de laderas pronunciadas donde existen controles estructurales (fallas y fracturas) que motivan el esqueamiento regular de las corrientes que descienden de los macizos montañosos. Rumbo a Topilejo, se sitúa una corriente de igual magnitud pero ésta se desplaza sobre coladas y materiales Holocénicos. A diferencia de la anterior, presenta una densidad y una profundidad menor, pero resulta de un orden de corriente alto por situarse entre la transición del nivel de base local (Cuenca de México) y las laderas de la zona montañosa adyacente. Las áreas que forman a la subunidad Pivi presentan escurrimientos de 19 y 2º orden, que a diferencia de las corrientes de unidades más jóvenes, ésta presenta valores



intermedias de profundidad comprendidas entre 2 a 50 m y densidades que van desde 1.5 a 2.5 km/lm<sup>2</sup>. Las subunidades intermedias presentan muy pocas variaciones y depende de la edad, el grado de erosión de los conos y coladas.

En resumen, los valores de densidad de disecación tienden a ser cada vez más altos para las zonas montañosas de mayor edad, las cuales presentan rocas más fracturadas. Las características contrarias a las citadas, favorecerán la obtención de valores más reducidos. Los valores máximos y mínimos para estas tres variables (densidad, profundidad y ordenes de corriente), no solo se correlacionan con las estructuras geológicas y geomorfológicas, sino también con la edad de estas, por lo que son de esta manera elementos útiles cuando se intenta establecer las etapas del desarrollo del relieve. Debido a la escala manejada no es posible destacar de manera detallada la diferencia real entre las subunidades intermedias.

#### ANÁLISIS DE LAS BASES DE DATOS

En base a la información proporcionada por Martín del Pozzo (op. cit.) (ver las bases de datos en las tablas 6 y 7) se obtienen los promedios y porcentajes de los parámetros geomorfológicos más comunes (ver figura 34) utilizados para caracterizar la evolución de los conos cineríticos. Partiendo de esto, se analizan las cinco subunidades, tanto en forma individual

# PARAMETROS CUANTITATIVOS DE LOS CONOS

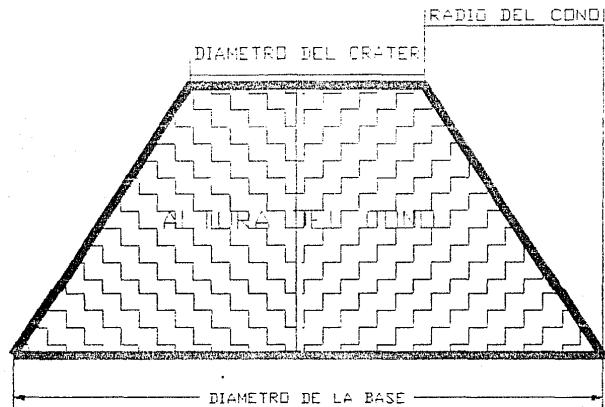


FIG. 34

LIST

Tabla 6A

Record	UNITAD	NOMBRE VOLCA	ALTURA_H	RAN-DO-R	R-ENTRE_H	DIABOPYRA	DIAGELALIAS	ALTENIDIAS	DIEN-160	ALTURA2
1	FLV1	MEDONTEPEC	100	300	2.0	100	300	0.12	6.12	2400
2	FLV1	MEDONTEPEC10	50	100	2.0	200	400	0.12	0.59	3450
3	FLV1	ACOSTACOS	100	300	5.0	250	300	0.12	0.21	2305
4	FLV1	QUARTO	200	200	1.0	150	500	0.40	0.30	2510
5	FLV1	SUREYO	250	400	2.0	350	750	0.13	0.46	3210
6	FLV1	MESATEPEC	50	150	5.0	300	1250	0.20	0.24	3320
7	FLV1	ORFELI	250	500	1.0	250	1250	0.20	0.20	3520
8	FLV1	ORFELI 2	200	500	1.0	300	1250	0.20	0.20	3520
9	FLV2	ZORILLO	50	50	0.0	0	1000	0.50	0.00	3400
10	FLV2	MALGATEPELLO	50	250	2.5	200	700	0.30	0.32	3410
11	FLV2	MALGATEPELLO	200	500	2.5	350	1200	0.10	0.25	3450
12	FLV2	MALGATEPELLO	150	500	3.0	200	1500	0.10	0.20	34710
13	FLV2	MALGATEPELLO	100	250	2.5	200	750	0.11	0.26	3720
14	FLV2	MALINALTO	400	250	2.5	275	750	0.11	0.36	3080
15	FLV2	MALINALTO2	0	75	0.0	150	300	0.30	0.40	3170
16	FLV2	MALINALTO	50	100	2.0	250	500	0.10	0.50	2040
17	FLV2	MALINALTO	150	50	2.0	200	300	0.10	0.50	2970
18	FLV2	MALINALTO	150	300	0.0	150	600	0.05	0.66	2920
19	FLV3	YOLOLITCA	150	300	2.0	275	700	0.25	0.25	0
20	FLV3	YOLOLITCA	20	50	2.0	275	600	0.20	0.36	2350
21	FLV3	TECPATE	225	300	1.0	275	1000	0.06	0.50	2970
22	FLV3	RAICES1	130	300	2.0	300	1000	0.22	0.27	3010
23	FLV3	RAICES1	100	300	2.0	150	700	0.13	0.30	3150
24	FLV3	RAICES2	100	300	2.0	200	700	0.14	0.21	3150
25	FLV3	RAICES3	100	300	2.0	200	700	0.14	0.23	3080
26	FLV3	RAICES4	150	250	1.0	250	300	0.16	0.22	3130
27	FLV3	RAICES4	150	250	1.0	250	300	0.14	0.22	3130
28	FLV3	RAICES1	140	300	2.1	250	1000	0.13	0.30	3120
29	FLV3	DEFEVERALCO1	50	0	0.0	0	0	0.08	0.00	3030
30	FLV3	DEFEVERALCO2	40	100	2.5	400	600	0.06	0.66	3030
31	FLV3	GRAN GRANDE	50	200	3.0	200	300	0.10	0.50	3550
32	FLV3	TECPATE	100	300	5.0	200	300	0.12	0.25	2910
33	FLV3	TECPATE	20	100	5.0	150	300	0.06	0.50	3220
34	FLV3	TECPATE	20	100	5.0	150	300	0.05	0.37	3170
35	FLV3	TECPATE	150	250	6.0	100	300	0.06	0.50	3210
36	FLV3	HUNTAOUI	20	100	5.0	250	500	0.14	0.32	3330
37	FLV3	HUNTAOUI	250	125	2.0	350	1100	0.04	0.70	3080
38	FLV3	TEPEPEC	100	150	1.5	200	650	0.13	0.46	3080
39	FLV3	TEPEPEC	50	200	4.0	150	300	0.80	0.25	3160
40	FLV3	TEPEPEC	50	150	3.0	100	400	0.12	0.25	3060
41	FLV3	PANDEAS	0	0	0.0	0	0	0.00	0.00	3780
42	FLV3	PANDEAS	100	0	0.0	350	0	0.00	0.00	3390
43	FLV3	PANDEAS	0	0	0.0	300	0	0.00	0.00	3450
44	FLV3	LAGUNAS	30	100	3.0	100	350	0.09	0.28	3570
45	FLV3	CADENITA1	50	100	2.0	200	450	0.11	0.66	3650
46	FLV3	CADENITA2	50	100	2.0	200	450	0.11	0.44	3570
47	FLV3	CADENA	200	800	4.0	300	1000	0.12	0.15	3700
48	FLV3	TEPEPEC	100	200	2.0	300	600	0.26	0.50	3190
49	FLV3	SAN HEBEL	50	150	3.0	150	400	0.22	0.27	2930
50	FLV3	HISTONE1	50	150	3.0	250	600	0.02	0.42	3110
51	FLV3	HISTONE2	75	250	3.0	250	600	0.25	0.29	3190
52	FLV3	HISTONE3	20	50	2.5	200	450	0.00	0.00	3210
53	FLV3	HISTONE4	10	50	5.0	150	250	0.00	0.00	3180
54	FLV3	PANORAL	80	150	1.0	275	500	0.16	0.33	3010
55	FLV3	PANORAL	100	350	3.5	350	750	0.10	0.46	3230
56	FLV3	PANCA	100	250	2.5	400	1000	0.10	0.40	3350
57	FLV3	PANCA	40	200	5.0	400	500	0.08	0.46	3530
58	FLV3	CIPIA	60	200	5.0	250	600	0.06	0.12	3050

SIE

59	PLV3	CINAC	30	100	3.5	150	400	0.07	0.28	00.0
60	PLV3	CASTILLO	30	150	1.8	600	300	0.10	0.10	01.0
61	PLV3	CINAC3	2.0	50	2.5	250	250	0.06	0.43	05.0
62	PLV3	CINAC4	2.0	50	2.5	250	400	0.04	0.27	05.0
63	PLV3	CINAC5	1.0	0	0.0	0	250	0.00	0.00	00.0
64	PLV3	CINAC6	2.0	0	0.0	0	100	0.00	0.00	00.0
65	PLV3	CINAC7	3.0	0	0.0	0	200	0.00	0.00	00.0
66	PLV4	TRES COMPRESI	250	400	1.6	175	500	0.16	0.12	02.0
67	PLV4	TRES COMPRESI	250	500	2.0	500	1250	0.20	0.41	02.0
68	PLV4	LAZARCA	12.0	350	7.0	100	500	0.10	0.00	03.0
69	PLV4	BOYO	1.00	1.00	2.0	0	400	0.07	0.00	04.0
70	PLV4	TEPELIS	5.0	300	6.0	200	500	0.10	0.00	03.0
71	PLV4	QUIMISTICO	05	300	4.6	275	600	0.11	0.00	03.0
72	PLV4	STATESI	100	250	2.5	275	600	0.16	0.00	03.0
73	PLV4	STATESI	5.0	250	5.0	250	600	0.08	0.00	02.0
74	PLV4	STATESI	100	0	0.0	100	600	0.00	0.00	01.0
75	PLV4	TECABOQUAC	100	300	3.0	375	600	0.12	0.00	03.0
76	PLV4	COILOFO	100	0	0.0	0	500	0.20	0.00	00.0
77	PLV4	COILOVITO	30	250	3.1	175	400	0.13	0.00	00.0
78	PLV4	COCTEVALI	150	300	2.0	350	1000	0.15	0.00	04.0
79	PLV4	COCTEVALI	70	200	2.8	500	800	0.09	0.00	03.0
80	PLV4	FLORITILLO	40	125	3.1	300	500	0.10	0.00	03.0
81	PLV4	CHINGUIRITERIA1	5.0	250	5.0	175	500	0.16	0.00	03.0
82	PLV4	CHINGUIRITERIA2	5.0	200	3.3	200	500	0.12	0.00	03.0
83	PLV4	SAN BARTOLO	20	200	3.8	200	750	0.09	0.00	02.0
84	PLV4	SAN BARTOLITO	5.0	250	5.0	250	1100	0.20	0.00	01.0
85	PLV4	COMALENA	2.0	175	2.2	300	1100	0.11	0.00	02.0
86	PLV4	COMALENA3	20	0	0.0	200	250	0.08	0.00	01.0
87	PLV4	COMALENA3	70	0	0.0	250	500	0.14	0.00	01.0
88	PLV4	COMALENA1	250	500	2.0	750	200	0.12	0.00	04.0
88	PLV4	COMALENA2	100	400	4.0	300	1200	0.08	0.00	04.0
89	PLV4	COMALENA3	70	150	2.1	100	450	0.17	0.00	03.0
91	PLV4	COMALENA	150	0	0.0	200	110	0.10	0.00	03.0
92	PLV4	TECABO	150	300	2.0	350	1000	0.15	0.00	03.0
93	PLV4	TECABO	20	100	2.0	200	300	0.06	0.00	03.0
94	PLV4	TECULI1	100	200	2.0	250	710	0.13	0.00	02.0
95	PLV4	TECULI2	50	100	2.0	250	250	0.20	0.00	02.0
96	PLV4	TECULI3	15	100	6.6	100	500	0.05	0.00	02.0
97	HV	TIETE	100	250	2.5	350	750	0.15	0.46	01.0
98	HV	TICONTLE	70	200	2.8	300	800	0.13	0.00	00.0
99	HV	CHICHUAUTZIN	100	225	2.2	250	750	0.13	0.15	04.0
100	HV	CHICHUAUTZIN2	15	75	5.0	250	400	0.10	0.67	03.0
101	HV	PALORITO	100	200	2.0	350	750	0.14	0.50	02.0
102	HV	PALORITOC	50	75	2.5	100	250	0.12	0.00	01.0
103	HV	CABALLITO	125	200	1.6	300	750	0.16	0.40	02.0
104	HV	CABALLITO2	50	150	3.0	125	400	0.12	0.00	02.0
105	HV	MANTECA	50	175	2.2	150	500	0.16	0.30	02.0
106	HV	JURETOS	150	250	2.0	100	750	0.20	0.40	02.0
107	HV	CANOS1	150	250	1.6	150	600	0.25	0.25	01.0
108	HV	CANOS2	70	150	2.5	150	650	0.09	0.25	01.0
109	HV	CANOS3	150	400	1.4	150	600	0.09	0.00	01.0
110	HV	CANOS4	60	150	2.5	150	500	0.12	0.00	01.0
111	HV	CANOS5	100	200	2.0	150	500	0.20	0.30	01.0
112	HV	TEBARQUILLO	200	0	0.0	0	1500	0.19	0.00	007.0
113	HV	HULOTITO	125	200	1.6	300	750	0.16	0.40	02.0
114	HV	HUILOTE	350	400	1.6	250	1000	0.25	0.25	062.0
115	HV	CAPULIN	150	200	1.3	250	650	0.23	0.38	019.0
116	HV	TICOMULCO	125	0	0.0	0	1200	0.10	0.00	20.0
117	HV	TEPECUILLO	200	0	0.0	0	1250	0.16	0.00	025.0
118	HV	TIOCA	50	100	2.0	250	750	0.17	0.33	021.0
119	HV	TIERGOLI	65	150	2.6	600	100	0.10	0.41	06.0
120	HV	TEPELAPAN	40	100	1.5	300	500	0.09	0.20	03.0
121	HV	TLANACASCO	100	0	0.0	0	1100	0.09	0.00	00.0
122	HV	TIOQUITAS1	50	100	2.0	250	400	0.12	0.62	065.0
123	HV	TIOQUITAS2	50	100	2.0	250	400	0.12	0.62	06.0
124	HV	TICUACALCITI	40	100	2.5	200	400	0.10	0.20	03.0

125	HV	EL GUADALUPE	20	100	2,7	125	750	0,12	0,50	2600
126	HV	EL LAGO	150	200	2,0	450	1100	0,14	0,52	3620
127	HV	EL ORO	40	75	1,8	250	400	0,18	0,38	2400
128	HV	CERRO DEL AGUAZ	40	0	0,0	200	1000	0,04	0,30	2450
129	HV	EL ORO 1	150	200	2,0	350	1000	0,15	0,35	2550
130	HV	EL ORO 2	50	250	1,1	250	750	0,11	0,33	2650
131	HV	EL ORO 3	0	40	0,0	250	0	0,00	0,00	2650
132	HV	EL ORO 4	0	50	0,0	250	0	0,00	0,00	2650
133	HV	EL ORO 5	15	50	0,0	250	0	0,00	0,00	2650
134	HV	EL ORO 6	40	100	2,2	130	250	0,06	0,20	2840
135	HV	CERRO DEL AGUAZ	100	150	1,8	500	750	0,08	0,20	3000
136	HV	GRUPO AGUAZ	50	100	1,0	125	500	0,10	0,40	2950
137	HV	GRUPO AGUAZ	50	150	3,0	125	400	0,15	0,35	3200
138	HV	GRUPO AGUAZ	50	100	2,0	125	500	0,10	0,25	3500
139	HV	GRUPO AGUAZ	20	100	5,0	100	400	0,05	0,25	3140
140	HV	SAN JUAN GRANDE	150	400	2,6	450	750	0,20	0,60	3400
141	HV	SAN JUAN CHICO	50	200	0,6	250	500	0,06	0,60	3150
142	HV	CAHUITA	120	250	2,9	350	1000	0,12	0,38	3320
143	HV	CAHUITA 2	50	100	5,0	200	500	0,06	0,60	3040
144	HV	TEPELIL	30	100	3,3	250	500	0,08	0,30	3160
145	HV	TEPELIL	80	150	1,9	250	550	0,12	0,30	3170
146	HV	CIMOCHERRITES	315	700	2,2	350	1500	0,21	0,25	3350

use collected  
File does not exist.

use collected

tabla 7

Rank	Record#	UNITAD	HOMBRE	MAXIMESPES	ESPESPROME	LONGITUDM	LONGENESPE	ANCHO	AREA	VOLUMEN
1	FLV4	TREJ CUMBRES	0	50	10.00	20.00	0.0 0	50.00	2.50	
2	FLV4	OCLAYUCA	0	50	35.00	2.00	0.0 0	70.00	0.25	
3	FLV4	OLATES	0	50	10.00	20.00	0.0 0	60.00	3.20	
4	FLV4	COAHUITL	0	30	5.00	625.00	0.0 0	40.00	3.20	
5	FLV4	TESORO	0	0	1.20	0.00	0.0 0	0.00	3.75	
6	FLV4	TEKUTLI	0	40	4.00	0.00	0.0 0	0.00	0.03	
7	FLV4	TEKUTLI	0	40	2.00	0.00	0.0 0	2.00	0.00	
8	FLV2	YOLULICA	50	50	10.00	200.00	0.0 0	2.50	0.00	
9	FLV4	AYSA GRANDE	50	30	6.00	200.00	1.1 5	6.24	0.20	
10	FLV4	TEZALCOATEL GRANDE	0	10	1.50	150.00	0.0 0	3.00	0.03	
11	FLV3	TECONZI	0	10	1.50	150.00	0.0 0	2.00	0.05	
12	FLV3	FARGROSO	0	0	1.00	0.00	1.5 0	0.00	0.00	
13	FLV3	TARR VERDES	0	0	3.00	0.00	0.0 0	4.25	0.00	
14	FLV3	CADERA	0	0	2.50	0.00	0.0 0	2.00	0.00	
15	FLV2	DORILLO	50	40	2.70	45.70	2.0 0	4.00	0.18	
16	FLV2	MALICATEPETL	0	0	2.00	0.00	0.0 0	5.50	0.00	
17	FLV2	MALINALE	0	0	0.00	0.00	0.0 0	0.00	1.50	
18	FLV1	MEZQUITEPEC	0	0	3.50	0.00	0.0 0	12.25	0.00	
19	FLV1	AYOTLACAO	0	0	5.00	0.00	0.0 0	21.00	0.00	
20	FLV1	OVARELLO	0	0	2.50	0.00	0.0 0	17.50	0.00	
21	HV	CHILE	80	40	13.50	37.50	0.0 13	80.00	3.26	
22	HV	CHICHINAUTZIN	100	50	0.00	200.00	0.0 0	0.00	0.00	
23	HV	FALOMITO Y CAHALITO	40	40	14.00	250.00	0.0 0	28.00	1.00	
24	HV	MANTECA	0	0	1.00	0.00	0.0 0	1.00	0.00	
25	HV	TUMENTO	50	50	2.75	55.00	0.0 0	3.00	0.15	
26	HV	TABOQUILLO	200	30	6.00	75.00	1.5 0	3.00	0.72	
27	HV	GLORIA	250	80	21.50	215.00	1.5 0	32.00	3.20	
28	HV	HOJOTITO	150	80	2.00	25.00	1.0 0	1.50	0.12	
29	HV	CARDOS	0	50	3.00	120.00	2.5 15	15.00	0.75	
30	HV	CHICOMULCO	0	75	4.50	60.00	4.5 0	6.00	0.45	
31	HV	TEPECUILLO	300	100	3.50	35.00	5.2 5	0.00	0.52	
32	HV	TLOCA	70	70	1.50	21.40	3.0 0	0.00	0.21	
33	HV	TEPEFOU	0	20	3.00	100.00	1.5 0	0.00	0.03	
34	HV	TEPETLAPAN	0	20	3.00	100.00	1.5 0	0.00	0.03	
35	HV	TLACUALLEL I	50	50	1.75	35.00	3.0 0	0.00	0.15	
36	HV	ZONA CHICOMULCO	0	70	0.00	0.00	30.0 0	0.00	2.10	
37	HV	FELADO	0	30	6.50	218.00	0.5 0	0.00	1.30	
38	HV	TLALOC	0	40	7.00	175.00	36.0 0	0.00	4.80	
39	HV	OCUNALAYO	0	35	7.00	200.00	14.0 0	0.00	0.49	
40	HV	SACAHUAC GRANDE	0	20	4.50	225.00	14.0 0	0.00	0.20	
41	HV	OLULICA	0	20	2.00	100.00	3.0 0	0.00	0.05	
42	HV	TEPETL I	0	30	3.00	100.00	3.0 0	0.00	0.09	
43	HV	TEPETL 2	0	50	1.50	30.00	3.0 0	0.00	0.07	

como también en forma global, permitiendo con ello, mostrar las principales similitudes y desigualdades que presenta el Grupo Chichinautzin, y que se muestre en las tablas 8 a 13.

#### RADIO DEL CONO

Se denota como radio del cono a la distancia horizontal entre el borde del cráter y la base del cono. Si observamos los datos por subunidad (ver tabla 8) vemos que la más joven presenta el radio más pequeño. Ello se debe a que por su juventud la base no se ha ampliado demasiado, mientras que las subunidades más antiguas presentan variaciones en su radio. A excepción de la de Piv3, todas son de un radio muy grande (ver figuras 15 y 16). Los promedios por subunidad permiten apreciar que para las dos subunidades más antiguas, más del 50% de sus elementos poseen un radio amplio, y resulta un buen indicador de la edad. También vemos que la subunidad Hv. presenta un porcentaje de 86.4 de conos con radio amplio en el promedio por subunidad, pero aquí hay que considerar que estos valores son inferiores respecto al resto de las subunidades. La amplitud de su radio se explica por la acumulación de piroclastos y la fluidez de sus coladas y no por la depositación de material erosionado, como se da en las subunidades Piv1 y Piv2. Las subunidades restantes, Piv3 y Piv4, presentan laderas muy verticales con pendientes entre los 26° y 30°. Estas subunidades son las que presentan mayor porcentaje de volcanes con amplios radios, sobrepasando en mayor medida el promedio global;

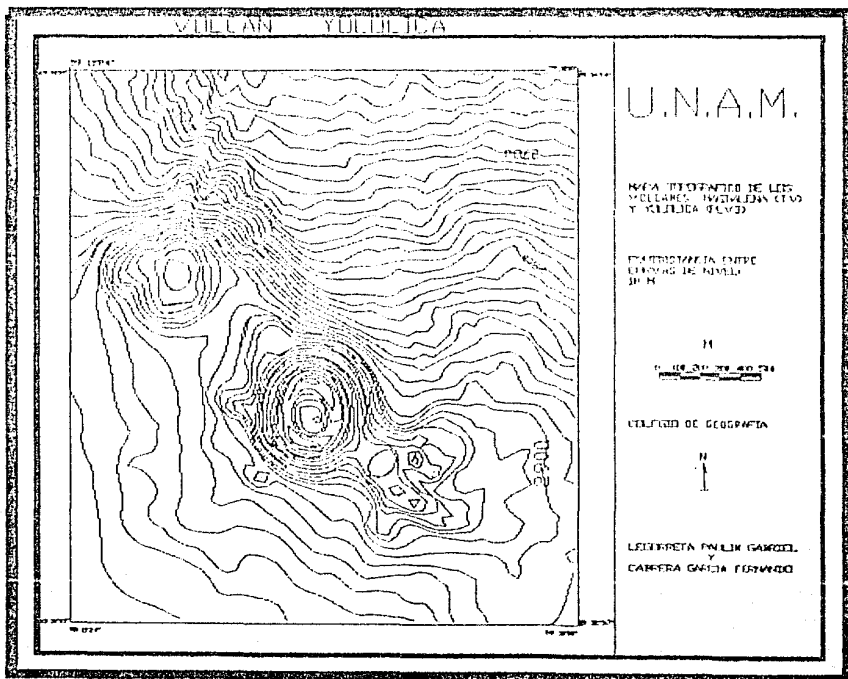


FIG. 35



tabla 8

RADIO

UNIDAD	HV	PLV4	PLV3	PLV2	PLV1
RADIO MEDIO POR SUBUNIDAD (m)	182	272	195	236	294
RADIO GLOBAL DE TODAS LAS SUBUNIDADES (m)	217	217	217	217	217
NUMERO DE VOLCANES PROME- DIADOS POR UNIDAD	44	27	38	9	9
NUMERO DE VOLCANES PROMEDIADOS GLOBAL	127	127	127	127	127
NUMERO DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO POR UNIDAD	38	11	18	5	5
NUMERO DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO GLOBAL	11	16	13	5	5
PORCENTAJE DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO POR UNIDAD	86.4	40.7	47.4	55.6	55.6
PORCENTAJE DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO GLOBAL	8.7	12.6	10.2	3.9	3.9

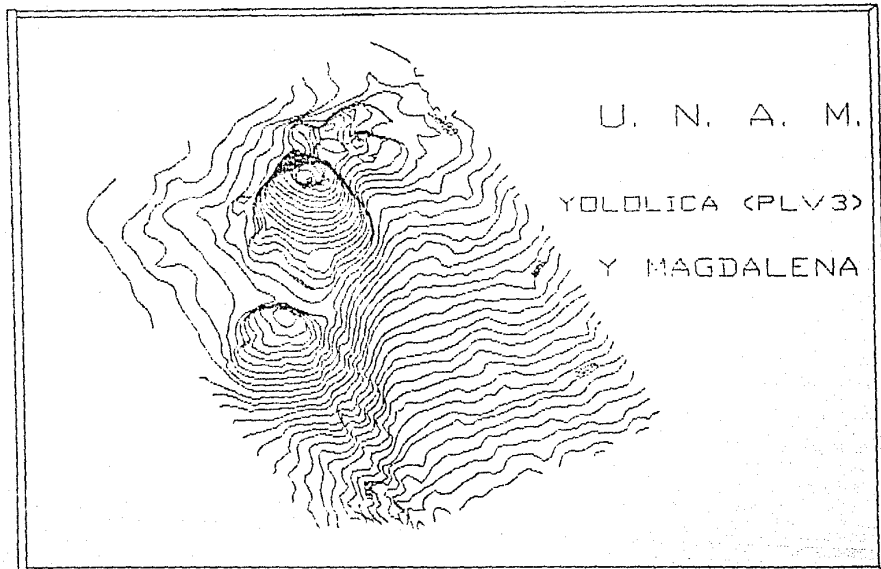


FIG. 36

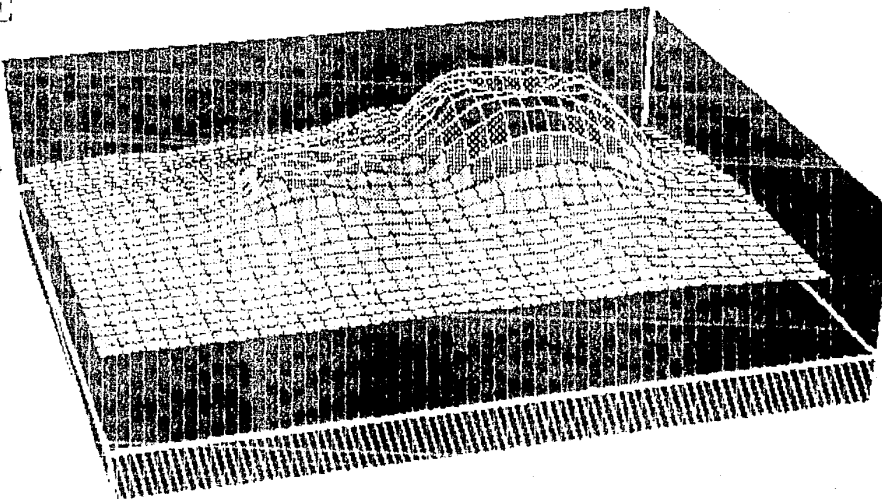
mientras que las subunidades extremas, H4 y P4V1, así como la P4V2, tienen mayor número de conos que no poseen amplios radios, motivo por el cual las relaciones radio/altura varían también a nivel global y por subunidad.

#### RELACION RADIO/ALTURA

A nivel individual, las subunidades H4 y P4V1, son las de menor índice radio/altura (ver tabla 9). Pero estos valores son producto de las diferentes características morfológicas de ambas subunidades. Así, la subunidad H4 presenta volcánicas altas con pendientes internas fuertes (de 30° a 32°), cráteres profundos y caracterizada por pequeños radios (ver figura 37). Mientras que la subunidad P4V1 presenta conos con pendientes internas más suaves, cráteres parcial o totalmente rellenos, y aunque su radio sea grande, también lo es la altura de sus conos, determinándose con ello los valores bajos (ver figura 38). A nivel global, estas subunidades junto con la P4V2 son las de menor porcentaje de conos con menor radio, cosa que no ocurre con sus alturas, por ello sus coeficientes son bajos. Las subunidad P4V4 por tener radio grande y gran cantidad de conos que no sobrepasan la altura media establecida, tanto a nivel global como individual resultan con coeficientes más altos.

NTITLE

3120  
3080  
3040  
3000  
2960  
2920



3120  
3080  
3040  
3000  
2960  
2920

FIG. 37

UNIDAD: HV

table 2

RADIO/ALTURA

UNIDAD	HV	PLV4	PLV3	PLV2	PLV1
PROMEDIO POR SUBUNIDAD	2.5	3.4	3.1	2.9	2.1
PROMEDIO GLOBAL	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
NUMERO DE VOLCANES PROME- DIADOS POR UNIDAD	43	26	38	8	9
NUMERO DE VOLCANES PROMEDIADOS GLOBAL	124	124	124	124	124
NUMERO DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO POR UNIDAD	19	10	14	2	3
NUMERO DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO GLOBAL	10	14	19	2	3
PORCENTAJE DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO POR UNIDAD	44.2	38.5	36.8	25.0	33.0
PORCENTAJE DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO GLOBAL	8.1	11.3	15.3	1.6	2.4

OYAMEYO

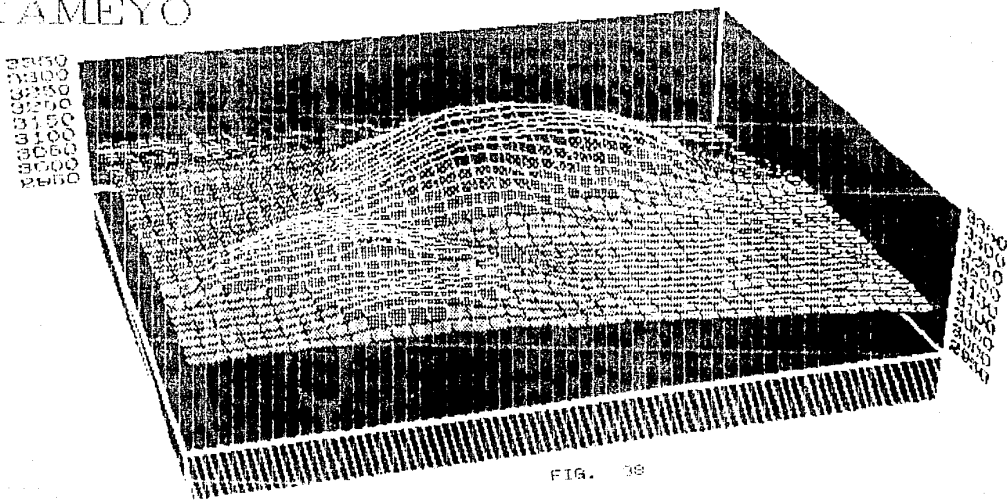


FIG. 38

UNIDAD: PLV 1

0.25

## DIAMETRO DEL BORDE DEL CRATER.

Respecto al diámetro del crater, las tres antiguas subunidades presentan los valores más altos y la más reciente, los valores más pequeños pero con una mayor profundidad (ver tabla 19). Si observamos el promedio por subunidad apreciaremos que, aparentemente son las subunidades PIV4 y PIV3 las de mayor valor, superando a la más antigua PIV1. Sin embargo debemos de considerar cuántos de sus conos son los que realmente sobrepasan el promedio por subunidad; aquí es donde podemos denotar que en realidad, es la subunidad PIV1 la que posee un mayor número de elementos (66%) que sobrepasan el promedio, mientras que la PIV4 y la PIV3 no alcanzan a sobrepasar más del 50% de sus elementos. Cualitativamente se aprecia que sus cráteres tienen crestas altas, abruptas, y de profundidades de crater que van de mediana a gran profundidad (ver figuras 39 y 40), cosa que no sucede con la PIV1 en donde los borde de los cráteres se encuentran redondeados, son amplios, de pendientes suaves, y están en su gran mayoría ya rellenos. En porcentajes tanto a nivel global como por subunidad se observa que la subunidad IV es una de la que posee la mayor cantidad de conos que superan su media, sin embargo hay que considerar que los valores de diámetro de crater son los más pequeños respecto a las otras etapas evolutivas de la Formación Chichinautzin.

tabla 10

DIAMETRO DEL BORDE DEL CRATER

UNIDAD	HV	PLV4	PLV3	PLV2	PLV1
PROMEDIO POR SUBUNIDAD (m)	229	263	248	218	244
PROMEDIO GLOBAL (m)	243	243	243	243	243
NUMERO DE VOLCANES PROME- DIADOS POR UNIDAD	46	30	41	10	9
NUMERO DE VOLCANES PROMEDIADOS GLOBAL	136	136	136	136	136
NUMERO DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO POR UNIDAD	28	12	24	3	6
NUMERO DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO GLOBAL	28	17	24	3	6
PORCENTAJE DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO POR UNIDAD	60.8	40.0	58.5	30.0	66.6
PORCENTAJE DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO GLOBAL	20.5	12.5	17.6	2.2	4.4



TEUHTLI

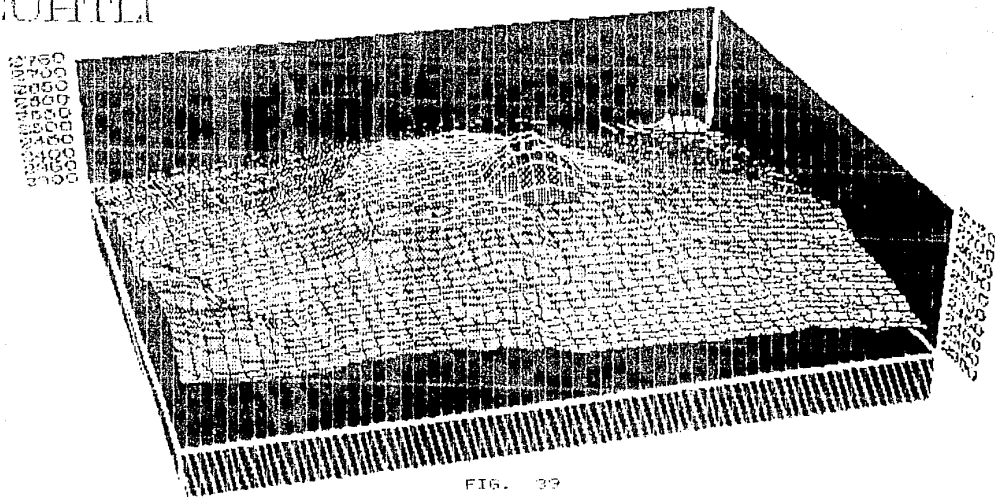
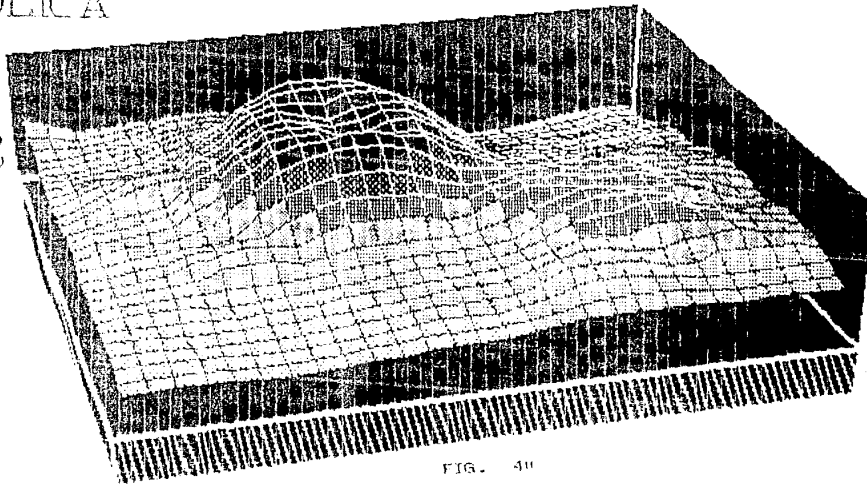


FIG. 39

UNIDAD: PLV4

YOLOLICA

3040  
3000  
2960  
2920  
2880  
2840



3040  
3000  
2960  
2920  
2880  
2840

FIG. 4"

UNIDAD: PLV3

## DIAMETRO DE LA BASE DEL CONO

En este parametro se denota un incremento del diametro de la base del cono en funcion a la edad, es decir, a mayor edad, mayor diametro de base (ver figura 41); lo cual es logico si lo consideramos por efecto de la erosion y del tiempo. Los materiales de las laderas de los conos ceniciticos se redistribuyen hacia sus flancos. En el caso de la subunidad P1v1, como se ve en la tabla 11, es la que posee los valores más grandes, y se debe posiblemente a que tambien es una de las subunidades de mayor altura de conos, por lo que su aporte de material a las laderas es también grande; en cambio la subunidad H1, por ser la más joven presenta diametros de base pequeños. Para aquellas subunidades pleistocénicas que presentan una disminucion en estos valores (P1v2) se podria considerar como consecuencia del resquebrajamiento que va sufriendo por coladas más recientes.

## DIAMETRO DEL CRATER/DIAMETRO DE LA BASE

Como se vio, el promedio de la base tiende a incrementarse con la edad, por lo que el coeficiente diámetro del crater/diámetro de la base (ver tabla 12) para las subunidades

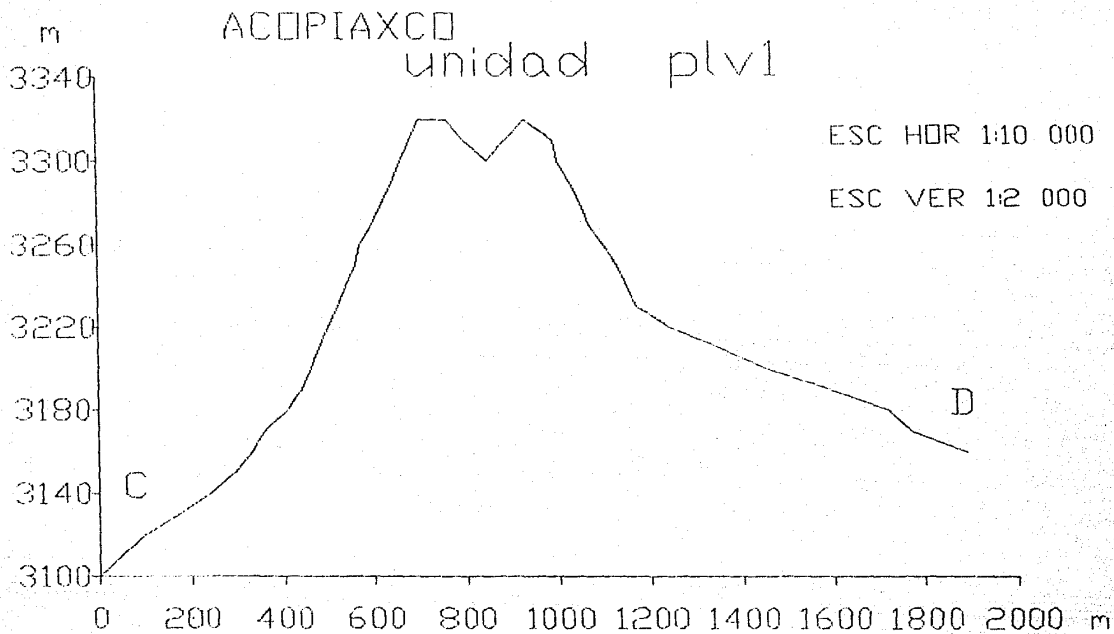


FIG. 41

tabla 11

DIAMETRO DE LA BASE DEL CONO

UNIDAD	HV	PLV4	PLV3	PLV2	PLV1
PROMEDIO POR SUBUNIDAD (m)	680	803	584	728	833
PROMEDIO GLOBAL (m)	692	692	692	692	692
NUMERO DE VOLCANES PROME- DIADOS POR UNIDAD	47	31	42	11	9
NUMERO DE VOLCANES PROMEDIADOS GLOBAL	140	140	140	140	140
NUMERO DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO POR UNIDAD	21	8	20	5	3
NUMERO DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO GLOBAL	21	12	14	5	6
PORCENTAJE DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO POR UNIDAD	44.7	25.8	47.6	45.45	33.3
PORCENTAJE DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO GLOBAL	15.0	8.57	10.0	3.57	4.3

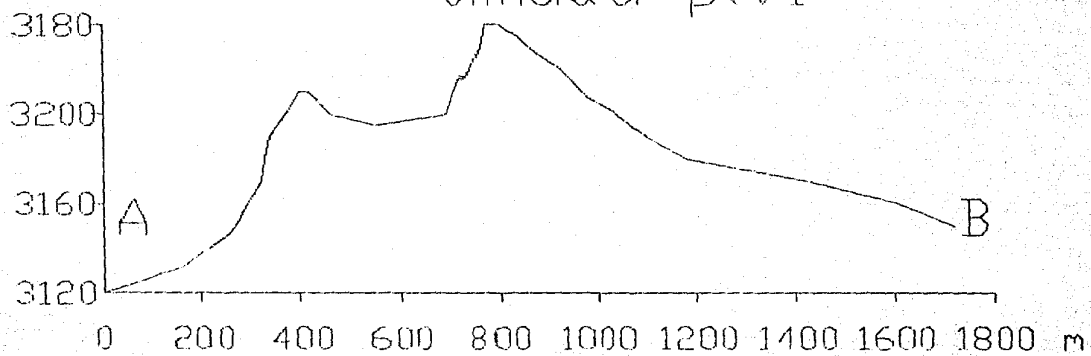
Pleistocénicas, también es proporcional a la edad, es decir, a mayor edad se presentan coeficientes bajos (a excepción de la Piv3). Los valores bajos que presentan las subunidades Piv1 y Piv2, tanto a nivel global, como individual, se debe posiblemente a que algunos de sus conos poseen un porcentaje alto de derrames, lo que incrementa el diámetro de su base (ver figura 42 y 43). Por el contrario, la subunidad Piv3 debe su aumento en este coeficiente al hecho de que algunos de sus conos son los de mayor diámetro de cráter en toda la zona de estudio, y a que como se ha dicho su diámetro de base se ve disminuido por el ocultamiento.

#### ALTURA/DIAMETRO DE LA BASE.

El incremento en el coeficiente de la relación altura/diámetro de la base para la subunidad Piv4, se debe a que un 40 % de sus conos superan la altura por unidad (91 m), mientras que en su diámetro de la base, pese a poseer uno de los coeficientes mas grandes (83 m), en porcentaje solo el 8 % de sus conos lo superan, dando por resultado que el coeficiente sea ampliado. En cambio, la subunidad mas reciente Hv presenta un coeficiente bajo ya que muchos de sus conos no alcanzan la altura promedio (mas del 60 % posee una altura inferior al promedio individual). Otras subunidades como la Piv1, aunque tiene los mas amplios diámetros de base por subunidad, el coeficiente no resulta tan bajo porque el 44.4 % supera a la altura media global (ver

MECHATEPEC  
unidad plv1

928



ESC HDR 1:10 000  
ESC VER 1:2 000

FIG. 42

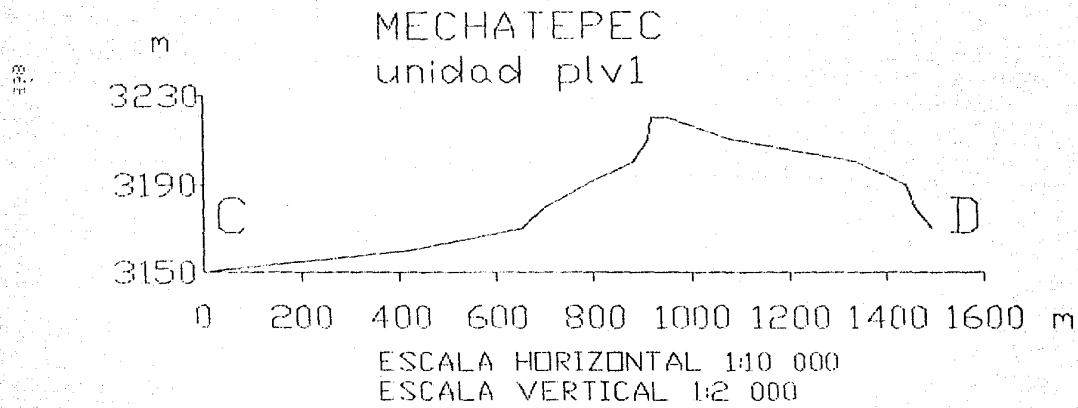


FIG. 43



table 12

DIAMETRO DEL CRATER/DIAMETRO DE LA BASE

UNIDAD	HV	PLV4	PLV3	PLV2	PLV1
PROMEDIO POR SUBUNIDAD	0.38	0.27	0.42	0.37	0.33
PROMEDIO GLOBAL	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
NUMERO DE VOLCANES PROMEDIADOS POR UNIDAD	43	2	38	10	9
NUMERO DE VOLCANES PROMEDIADOS GLOBAL	102	102	102	102	102
NUMERO DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO POR UNIDAD	20	1	18	4	3
NUMERO DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO GLOBAL	18	1	21	4	3
PORCENTAJE DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO POR UNIDAD	46.5	50.0	47.4	40.0	30.0
PORCENTAJE DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO GLOBAL	17.3	0.98	20.5	3.9	2.9

figura 44 y tabla 12).

#### CONSIDERACIONES

Sobre la información tratada demos algunas consideraciones referentes a los parámetros morfológicos. Pese a dar un buen indicio para diferenciar las subunidades en base a su edad, nos encontramos con casos que no respondían las hipótesis, porque para algunos de ellos sus coeficientes no denotan cambios morfométricos. Por ejemplo, algunos de los conos más antiguos tienen un coeficiente altura/diámetro del cráter bajo, similar a los conos más jóvenes. La posible explicación es que la degradación por agentes exógenos de los materiales de la cima, distribuyen material desgastado sobre los flancos. Así, la evolución geométrica del cono sigue diferentes patrones, es decir, el desgaste masivo de las cimas para las subunidades más antiguas, trae la modificación del cono con diámetros de base tan amplio, como los valores iniciales que presentan los conos más recientes. Además para algunos de los conos de lava más recientes, los derrames alrededor de la base del cono son los que causan los cambios en la geometría y en los coeficientes que amplían los diámetros de la base.

ACOPIAXCO  
unidad plv1

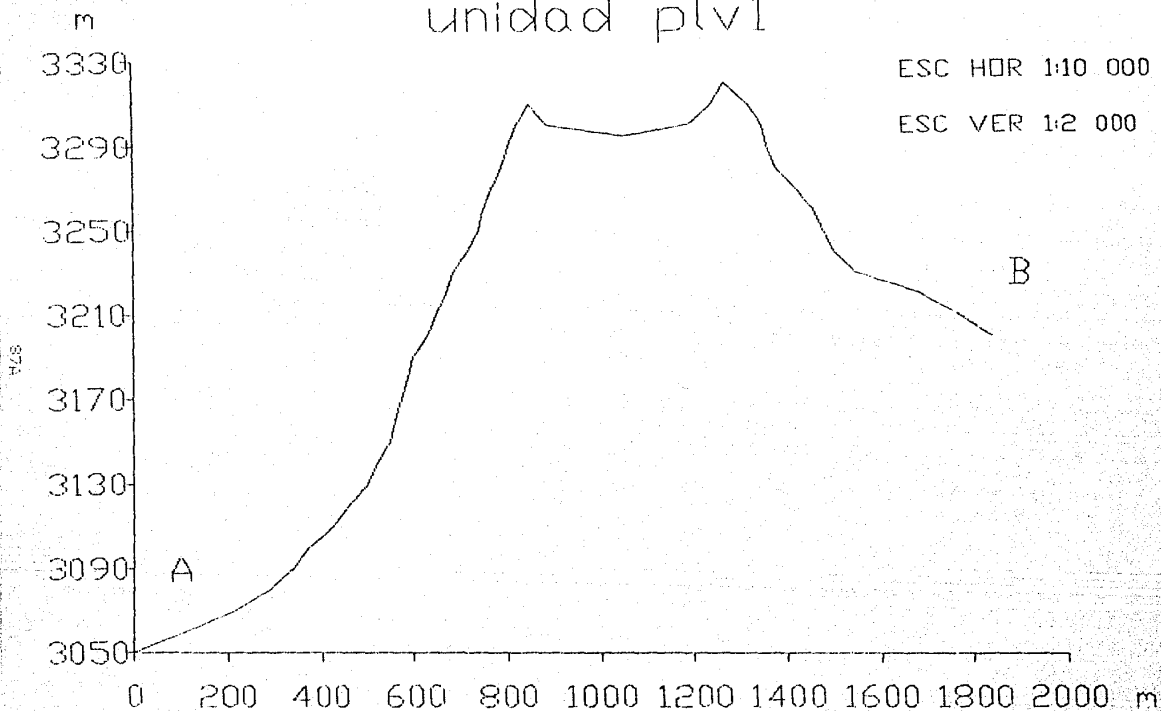


FIG. 44

tabla 13

ALIURA/DIAMETRO DE LA BASE

UNIDAD	HV	PLV4	PLV3	PLV2	PLV1
PROMEDIO POR SUBUNIDAD	0.13	0.15	0.13	0.11	0.18
PROMEDIO GLOBAL	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
NUMERO DE VOLCANES PROMEDIADOS POR UNIDAD	47	30	39	10	9
NUMERO DE VOLCANES PROMEDIADOS GLOBAL	135	135	135	135	135
NUMERO DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO POR UNIDAD	19	11	16	8	4
NUMERO DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO GLOBAL	12	11	10	4	4
PORCENTAJE DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO POR UNIDAD	40.4	36.7	41.0	30.0	44.5
PORCENTAJE DE VOLCANES QUE PASAN EL PROMEDIO GLOBAL	8.8	8.1	7.4	2.9	2.9

---

## TECNICAS AUTOMATIZADAS EMPLEADAS PARA EL ANALISIS Y REPRESENTACION DE LA INFORMACION

### RESUMEN

No hace mucho tiempo la informática era una ciencia solo para especialistas, y los computadores eran máquinas que servían para realizar cálculos a gran velocidad y que, con su aspecto imponente, rodeadas de técnicos, estaban reservadas solamente a importantes centros industriales y de investigación. Hoy día las computadoras forman parte de nuestra vida y nuestra cultura: están en las universidades, en las fábricas y oficinas, desempeñan un importantísimo papel en las telecomunicaciones, realizan funciones de bibliotecarios, archivadores, traductores, etc. Se les encuentra en quiniotas, prevén el tiempo, incluso sirven para entretenimiento. Nos hallamos, pues, en el umbral de una nueva era en la cual los computadores están cada vez más a disposición de un mayor número de personas. Mediante una microcomputadora, podemos trabajar, estudiar, consultar datos y programar, etc. El sistema mismo experimenta una auténtica revolución debido a su gran difusión. Usar una computadora significa, sin embargo, hablar su lenguaje, estar en condiciones de hacerle preguntas, y entender su lógica para plantear cuestiones de la manera más correcta.

En el presente trabajo se aplican las ventajas de los

paquetes para computación. Cada uno de ellos se adecua para la resolución de cuestiones de índole geográfico.

Para nuestra especialidad es importante estar al tanto de las nuevas técnicas que puedan auxiliarnos. Para la creación de modelos que resuelven problemas geográficos, la computación ofrece la posibilidad de realizar automáticamente operaciones gráficas que solo necesitan ser definidas una vez, tales como la reproducción de imágenes, la construcción de redes o de curvas, el trazado de contornos, los cambios de proyección, los cambios de escala, la localización de datos cualitativos o cuantitativos, etc. Se ahí el interés que presenta la utilización de técnicas de la informática para la expresión gráfica y, en particular, la aplicación en la cartografía. En nuestro caso, se utilizó para representar y analizar la zona de estudio.

En la práctica al utilizar estos auxiliares, vemos que las imágenes, además de cumplir con las características esenciales, se realizan con mejor calidad. Porque existe la capacidad de corrección de errores en la elaboración de las mismas.

Deliberadamente en este capítulo se aplica de la manera más sencilla, como se elaboran los mapas, gráficas, diagramas, figuras, simbología, rotulado, etc., por métodos automatizados. No se profundiza en los aspectos técnicos en aras de una mayor claridad en la explicación. Con ello se espera señalar mejores caminos en la resolución de proyectos y estudios de diferente índole.

## AUXILIARES EN COMPUTO UTILIZADOS

La elaboración de diagramas-bloque se realizó utilizando el paquete para computación 3D PERSPECTIVE, que convierte la información dada por valores numéricos en una imagen de tercera dimensión. Los datos de entrada son altitudes de cada subunidad del Grupo Chichinautzin. Esta información la procesa y la convierte en una gráfica en perspectiva (figura 45). Existen diversas opciones para la presentación del diagrama-bloque, con el fin de obtener la perspectiva más adecuada de la superficie a representar.

Para hacer los cálculos correspondientes para conseguir los promedios, los valores máximos y mínimos de las altitudes y las pendientes, y dividir la información en rangos que se presentan en otros mapas, se utilizó programación en lenguaje BASIC. Los resultados son confiables 100 % una vez que se verificó la eficiencia del programa.

Para elaborar los diferentes gráficos se utilizó un digitalizador y el paquete AUTOCAD. Este paquete es uno de los mejores y más poderosos en el diseño asistido por computadora (CAD/CAM). La aplicación de este sistema resulta de gran utilidad para muchos trabajos y estudios en geografía, y particularmente en

*CUATZONTLE*

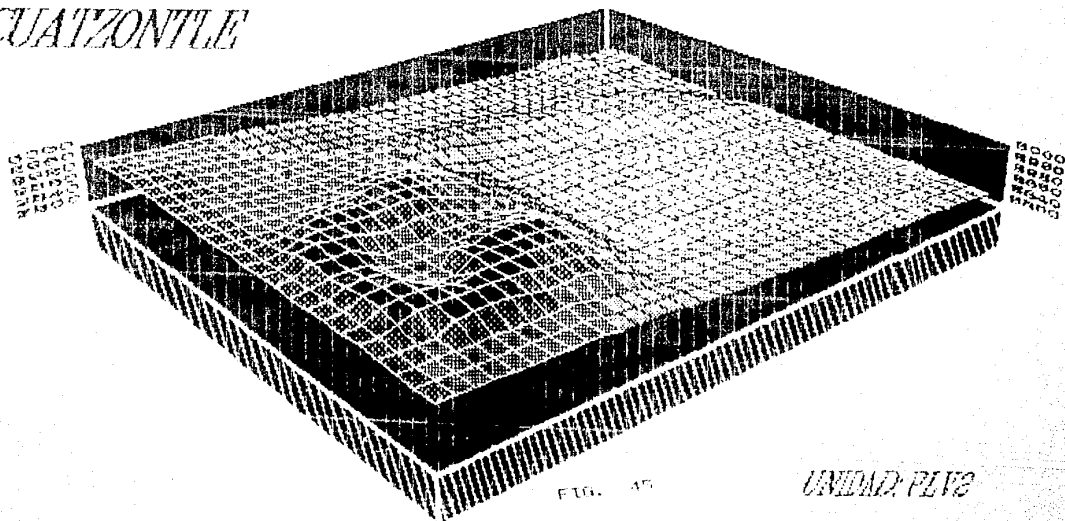


FIG. 15

*UNIDAD: PLV2*



cartografía.

Existen ordenadores de datos mediante computadora como el dBASE III PLUS, que maneja, ordena, y hace reportes de un fichero de información. Por ejemplo, de todo el conjunto de datos de las subunidades del relieve volcánico, si se desea obtener una lista de conos volcánicos para saber cuáles tienen el diámetro del cráter más grande que el promedio general, pero que tenga una altura que caiga en un rango determinado, o cumplir con cualquier otra característica (como diámetro o radios de los volcanes, etc), dBASE despliega un reporte de los resultados solicitados, con la capacidad de cambiar opciones dependiendo de las necesidades. Las listas de datos del capítulo Análisis Morfométrico y Geomorfológico fueron elaborados con el paquete dBASE III PLUS.

#### ELABORACION DE LOS DIAGRAMAS-BLOQUE

Los diagramas bloque ofrecen la posibilidad de observar una porción del terreno en perspectiva, es decir, dan la impresión de ver una cierta región en tercera dimensión. Fueron utilizados inicialmente en la geomorfología por Grove Karl Gilbert y perfeccionados por William Morris Davis a fines del siglo XIX.

La geografía y sus diferentes ramas siempre se han auxiliado de las gráficas para presentar características del terreno. Un

nuevo tipo de diagrama bloque, posterior a los citados, es el realizado por métodos automatizados. Brinda ventajas en la exactitud del dibujo, ya que emplea los datos de altitud originales de los mapas. Estos se obtienen de las curvas de nivel y no subjetivamente al ser hechos por el dibujante. Entonces se producen un gráfico de mayor exactitud.

Al tener en conjunto las gráficas se pueden hacer análisis comparativos, y de relación (ver figura 46 a 48). En el trabajo se hace un diagrama-bloque de cada subunidad del relieve volcánico en base a su edad.

En la elaboración de los diagramas bloque, nos auxiliamos del paquete para computación 3D PERSPECTIVE, que sirve para crear gráficas en perspectiva. El máximo de datos que se le pueden dar es de 4,096 en forma matricial. En nuestro caso se utilizaron los datos de las altitudes máximas de cada uno de los elementos de la cuadrícula que se superpuso en la carta.

3D PERSPECTIVE tiene la capacidad de imprimir los resultados en diferentes tamaños, con una variedad de tipos de gráficas, en el ángulo deseado. Presenta diferentes achurados y maneja títulos y subtítulos.

Las gráficas que hace 3D PERSPECTIVE son de varios tipos, tanto en perspectiva, como vistas en un sólo plano (segunda dimensión). Las que están en perspectiva son gráficas cúbicas, cilíndricas y piramidales. Se les pueden dar distintos achurados. Se seleccionaron para el trabajo los que más permiten distinguir

# VOLCAN PELADO

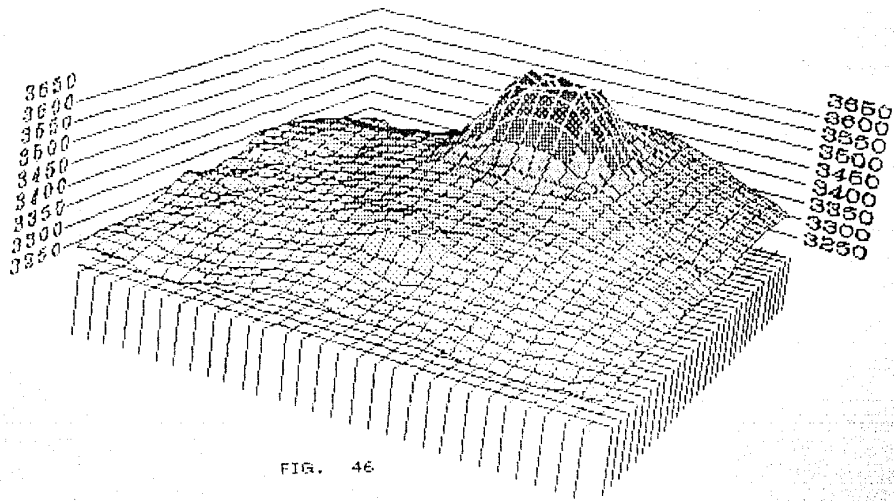


FIG. 46

UNIDAD FV

los diferentes niveles altitudinales.

El paquete de un mosaico muy amplio de tipos de achurados, cuenta con el blanco y el oscuro, y pasa por diferentes tonos y texturas, desde achurados de puntos, líneas, círculos, hasta los achurados de imitaciones de roca, y agua, entre otros.

Las paredes o planos de las gráficas también pueden ser modificados, se les puede dar un presentacion, o no aparecer.

Para los títulos o encabezados existe la posibilidad de mover los textos, inclinar, y darle el tamaño que convenga.

Los datos para el paquete 3D PERSPECTIVE se obtuvieron de la carta topográfica escala 1:50 000, Mapa Alta de NEENAL y de algunas cartas topográficas de la Ciudad de México escala 1:10 000 de la Tesorería del Distrito Federal.

La cuadrícula que se utilizó tiene una separación de 0.5 cm, para los diagramas más detallados, y de 1.0 cm para diagramas de subunidades que abarcan mayor extensión. Estos tamaños de la cuadrícula dependen de la complejidad del elemento del relieve que se trate.

Los datos fueron vaciados en una tabla que despliega el paquete 3D PERSPECTIVE. Es una tabla que tiene celdas divididas en columnas y renglones para colocar los datos.

Todo el conjunto de datos forma un rectángulo. Son representados en una gráfica que muestra la imagen del elemento del relieve en perspectiva.

# ACOPIANCO

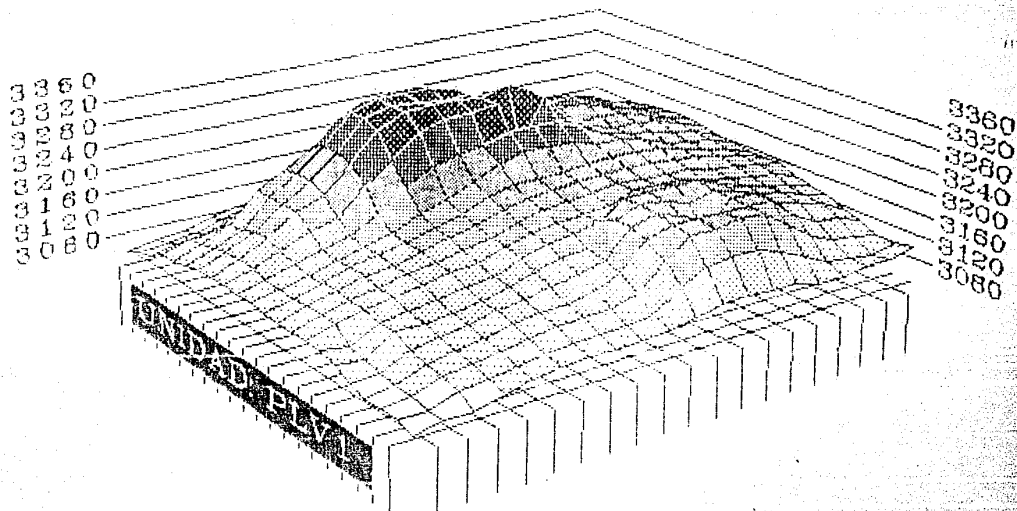


FIG. 47

# COLADA XICOMULCO

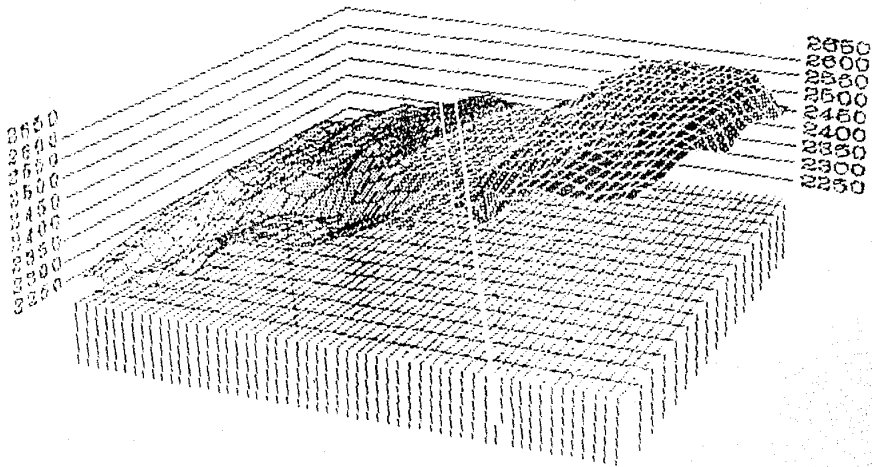


FIG. 48

También en la tabla tachamos los títulos y subtítulos que queremos que aparezcan en los diagramas, en este caso damos el nombre del volcán y como subtítulo la subunidad a que pertenecen. Como se dijo antes, hay facilidad para mover y manejar tamaños de letras.

Los datos y las gráficas pueden guardarse en memoria. Para después mandarlos a impresión.

## BASES DE DATOS

Los datos correspondientes a los parámetros morfológicos de los 146 conos analizados, se manejaron por medio de bases de datos, la cual es capaz de ordenar y clasificarlos, y se crea un reporte que despliega los resultados para su análisis.

El sistema dBASE III PLUS da la posibilidad de cumplir con estos cometidos, porque es apto para manejar una gran colección de datos.

Con dBASE, se crearon dos bases de datos, una referente a los conos volcánicos y la otra a las coladas de lava (ver tabla 6 y 7). Para elaborarla primero se tiene que hacer la estructura de base de datos. Los parámetros que se manejaron son el nombre de la unidad, el del volcán, la altura y altitud, etc.

Para generar reportes, se diseñan programas que cumplen con

las especificaciones encomendadas. Tienen presentación porque en pantalla aparecen menús de referencia. Para entrar a diferentes opciones y resolver lo que se plantea.

En el reporte de la lista de parámetros de las subunidades del relieve volcánico, se pide entre otras cosas, por ejemplo, el número total de volcanes o el área que ocupa una colada. También se puede pedir información más específica, por ejemplo, aquellos volcanes de una determinada subunidad del grupo Ulichinautzin, cuya altitud sobrepase los 3 500 m y cuyo diámetro de base sea igual a 100 m es donde se pueda hacer análisis de toda la información.

#### DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD) PARA LA ELABORACION DE REPRESENTACIONES DEL RELIEVE.

Para realizar las imágenes, gráficas, mapas digitalizados, cálculos de áreas, perfiles, etc. se empleo el paquete de diseño asistido por computadora AUTOCAD.

AUTOCAD es un poderoso auxiliar para dibujo dentro del diseño asistido por computadora. Es una valiosa herramienta que da velocidad y facilidad, con la cual un dibujo puede ser preparado y modificado. Esta sofisticada tecnología puede tener numerosas aplicaciones.

Como característica AUTOCAD tiene la capacidad de guardar en memoria las localizaciones, áreas, lados y colores de los objetos.



como entidades separadas como líneas, círculos, o cadenas de textos.

AUTOCAD cuenta con las siguientes propiedades:

#### EXTENSIONES AVANZADAS DE DIBUJO.

- En el dimensionado puede manejar longitudes de objetos (círculos, líneas, polígonos y ángulos). Por ejemplo en un círculo maneja la distancia del radio y el diámetro. con el cursor se posicionan los extremos de las líneas que se quieren dimensionar. Al dibujar una línea puede ser cortada en partes. Como cada punto ocupa un lugar en el mapa de la memoria, puede especificar coordenadas, distancias y ángulos en los siguientes términos: decimal, por grados (grados, minutos y segundos) y en radianes, entre otros. Al realizar cualquier línea, texto, figura geométrica, marca puntos de referencia llamados "endpoints, midpoints", etc.

- Una cualidad muy importante es que los elementos del dibujo, se les puede poner textos y encabezados.

- Se pueden realizar dibujos en tercera dimensión de secciones planas de objetos geométricos. Se logra darles movimiento "filmroll".

- Elipses, polígonos regulares, arcos de línea son creados

por simples comandos, y de estos puede crear líneas paralelas a los mismos dibujos. Los dibujos pueden ser rotados, alargados y extendidos o cortados cerca de otros objetos, así como el manejo de escalas.

- Maneja comandos externos (MS-DOS) para no entrar y salir de AUTOCAD.

- Cuenta con la posibilidad de dibujar figuras no geométricas con la extensión avanzada del "dibujo a mano alzada" o comando "SKETCH" auxiliándose de un digitalizador. Al cual se le da gran aplicación dentro de la cartografía en el trazado de regiones, curvas de nivel, información marginal, sin perderse la exactitud del mapa que sirvió de base, donde se localizan con certeza las latitudes y longitudes.

#### REALIZACIÓN DE MAPAS POR CUADRICULA

Los mapas como el de profundidad y densidad de la disección son realizados en base a una cuadrícula. Para esto, nos apoyamos en la cuadrícula UTM de la carta topográfica de INEGI escala 1:50 000 Milpa Alta. De los cuadrantes se obtienen los datos requeridos para la elaboración de los mapas.

Estos datos se clasifican en rangos predefinidos, y cuyo cálculo se lleve a cabo mediante programas en lenguaje BASIC.

Para elaborar la cuadrícula en AUTOCAD, se realiza el primer

cuadro, con el cual el paquete hace la repetición instantánea del mismo las veces que se le indique. En nuestro caso fueron un total de 1015 cuadros, divididos en 29 renglones y 35 columnas (ver figura 49). La razón por la cual se tuvo que hacer así, es que AUTOCAD solo achura entidades cerradas, como círculos y polígonos. Si se hace cruzando líneas para formar un polígono cuadrado puede correr el riesgo de que no lo asigne correctamente a la entidad, y se salga el achurado de los límites.

Para dibujar un cuadrado utilizamos la instrucción "POLYBUN", que traza polígonos con el número de lados que se soliciten, formando entes cerrados. Pide el radio y el número de lados. Se dieron los valores de 0.5 y 4 respectivamente (en unidades de AUTOCAD). Cuando ya se tiene en pantalla desplegado el primer cuadro, se hacen reproducciones del mismo. Para esto necesitamos un total de 29 cuadros en forma horizontal por 35 en forma vertical (número de cuadros en la cuadrícula U.T.M. de la carta) utilizando la instrucción de autocad "REPEAT".

A todos los cuadros se les asigna un achurado diferente que muestra una característica del tema, y denota la jerarquía establecida (ver figura 50).

Para saber qué tipo de achurado le corresponde a cada cuadro, escribimos el número de rango correspondiente a cada uno. Con la ayuda de la instrucción "TEXT", posicionamos el cursor en el cuadro donde se escribe el valor.

Al tener en pantalla la cuadrícula con la numeración

MAPA DE LOCALIZACION DE CUADRANTES

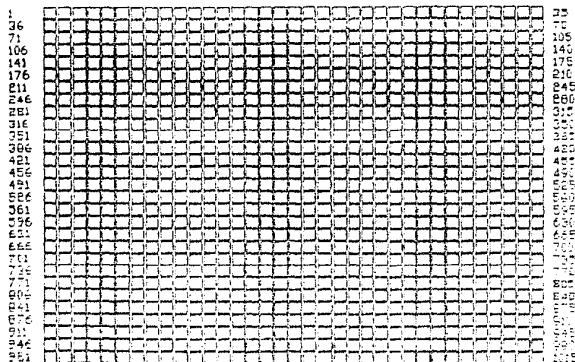


FIG. 49

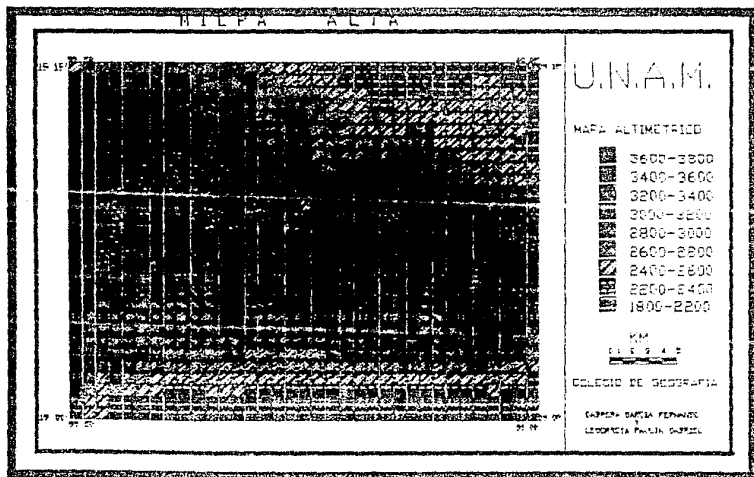


FIG. 50

correspondiente procedemos a entrar en varias ampliaciones de los dibujos en partes). Porque los cuadros son tan pequeños, que en toda la extensión de la pantalla no alcanzan a distinguirse. Así se trabaja en una parte ampliada de la cuadrícula, para poder asignar el achurado.

Existen 30 tipos de achurados diferentes (se pueden combinar entre ellos, como también modificarlos), de ahí se seleccionan para cada rango, tratando de dar tonalidades que representen el incremento del valor.

Las numeraciones tecleadas antes en la cuadrícula, permiten depositar rápidamente el achurado. Se asigna el patrón correspondiente achurando todos los cuadros que tienen el mismo valor.

Al tener completamente achurada la cuadrícula, se la despliega en toda su extensión para poder colocar la información marginal. Primero trazamos los márgenes externos e internos con líneas que constan de propiedades de punto en su grosor (comando "TRACE"), mismos que nos dan la pauta para distribuir la información marginal puesta con comandos de texto. Sin olvidar escribir la simbología y la escala gráfica.

Una vez terminado el mapa sin errores, se procede a la impresión del mismo. Se le designa el tamaño, la posición o ángulo, la escala dada en el sistema métrico decimal, para editarlo en impresora o por graficador "PLOTTER".

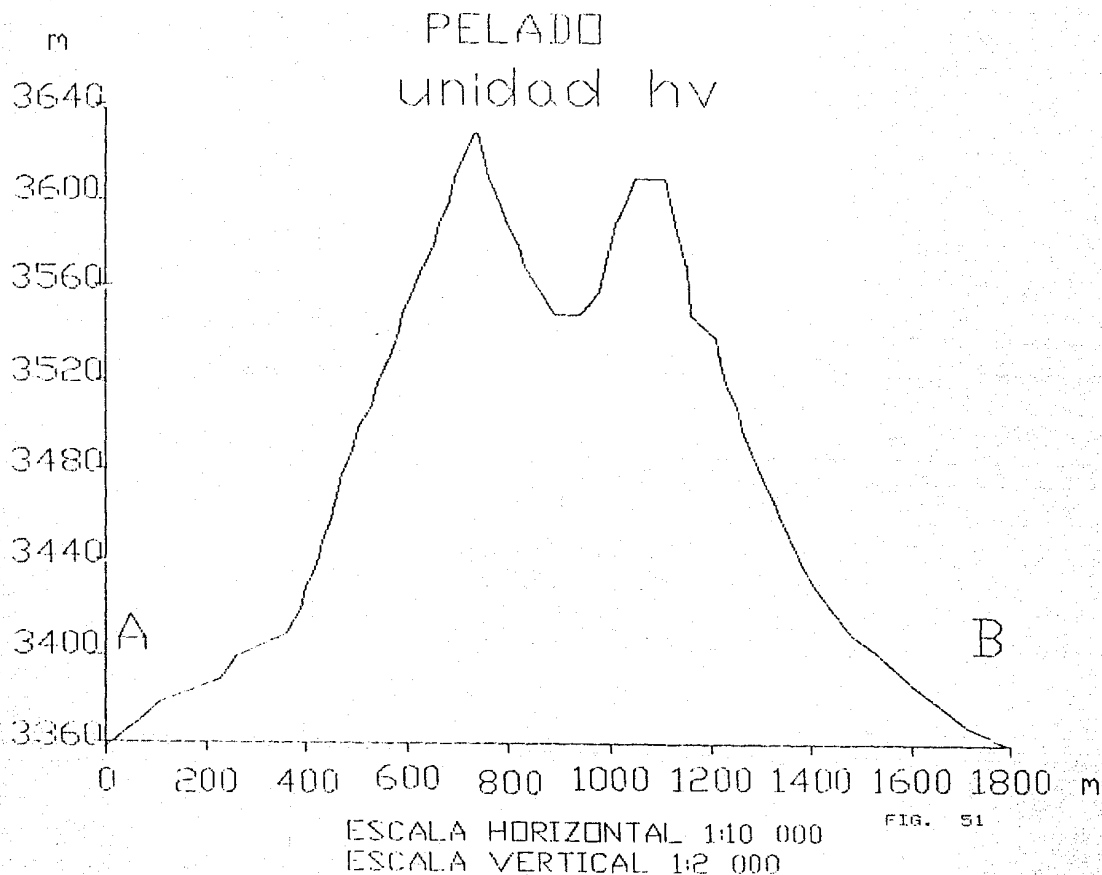
## CONSTRUCCION DE PERFILES DEL RELIEVE VOLCANICO

El dibujo de los perfiles topográficos se realizó con AUTOCAD. Estos se elaboraron de algunos de los conos más representativos de las etapas evolutivas del relieve volcánico, en el área de estudio. Como AUTOCAD tiene la capacidad de manejar distancias en forma decimal con mucha exactitud, no hubo errores en la escala de los perfiles. La escala más conveniente fue en horizontal 1:10 000, y vertical 1:2 000 para todos los perfiles. Las escalas quedan anotadas, lo mismo que la longitud del perfil y los desniveles altitudinales, sin olvidar por supuesto, el nombre del volcán representado y la subunidad a que pertenece.

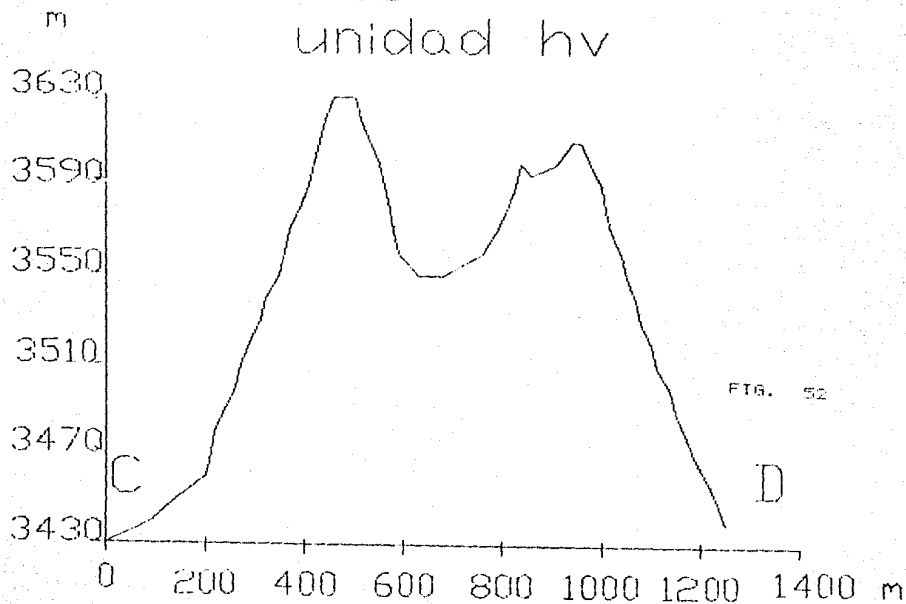
Se pueden hacer comparaciones al sobreponer los perfiles que representan las diferentes subunidades del relieve volcánico, para determinar cual fue la naturaleza del relieve, la erosión que ha sufrido por efecto de la meteorización y los arrastres fluviales en las vertientes (ver figura 51 a 60).

## DIGITALIZACION DE MAPAS POR AUTOCAD

La elaboración de los mapas temáticos y topográficos se realizó también con AUTOCAD. Al hacer un mapa no queda como un



PELADO  
unidad hv



ESCALA HORIZONTAL 1:10 000  
ESCALA VERTICAL 1:2 000



# TEUHTLI

unidad plv4

ESC HOR 1:10 000

ESC VER 1:2 000

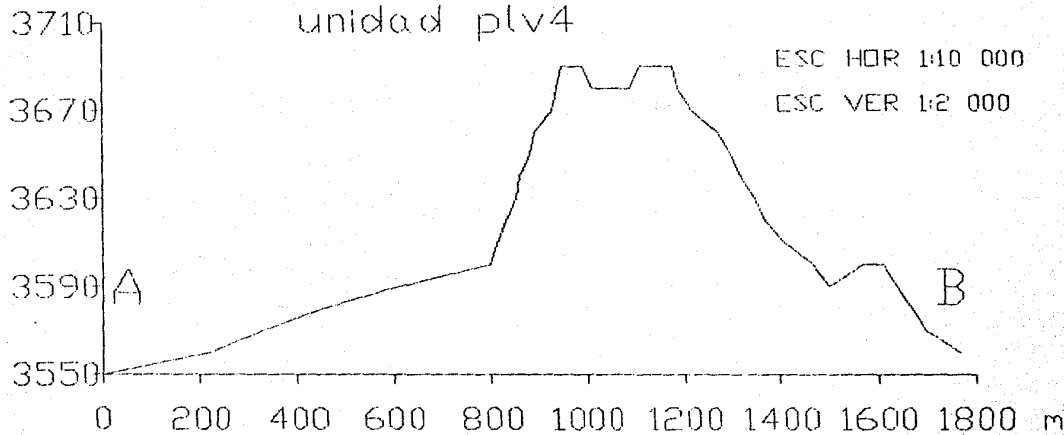


FIG. 53

TEUHTLI  
unidad plv4

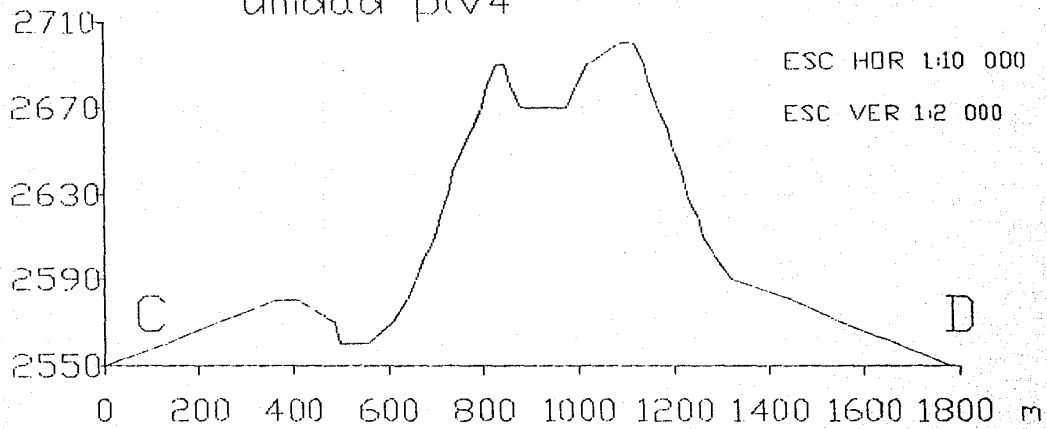
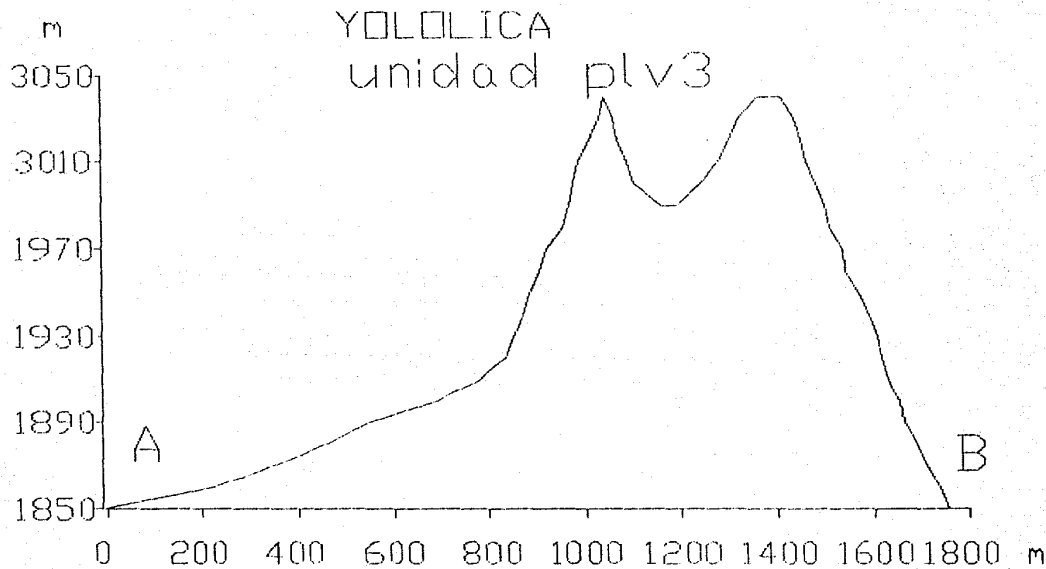


FIG. 54

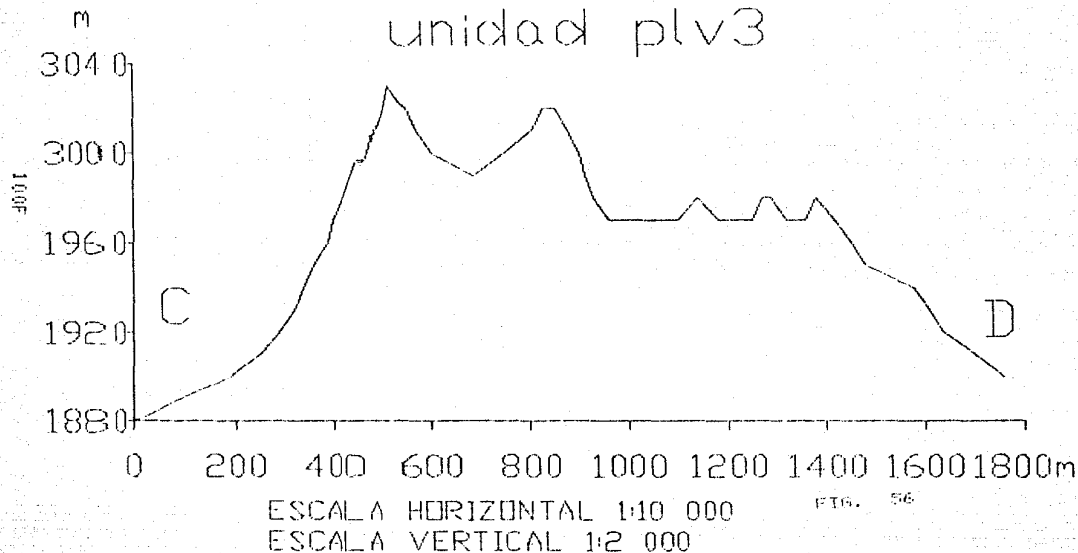


ESCALA HORIZONTAL 1:10 000

ESCALA VERTICAL 1:2 000

FIG. 55

YOLOLICA  
unidad plv3



5000

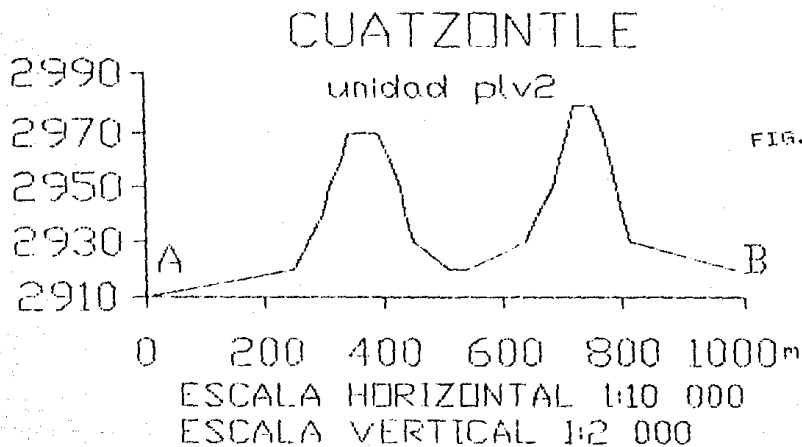
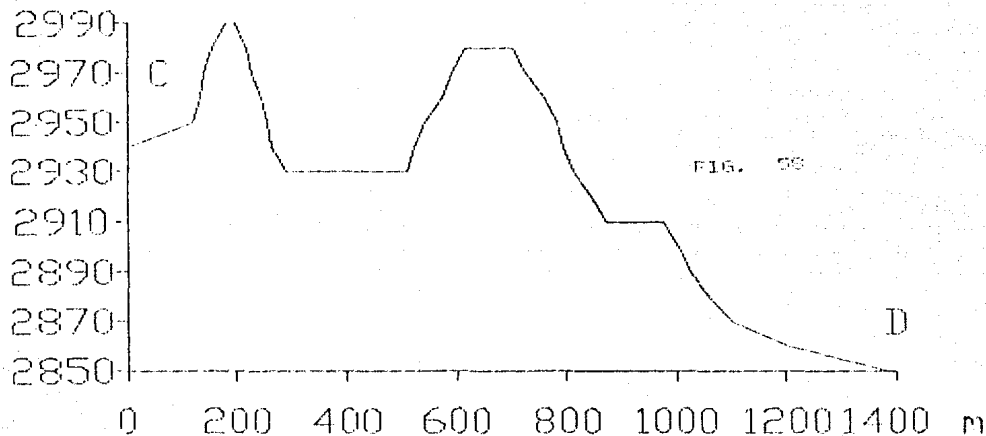


FIG. 57

# CUAUTZONTLE

m

1000



ESCALA HORIZONTAL 1:10 000  
ESCALA VERTICAL 1:2 000

# CALDERA EL GUARDA

unidad p1v1

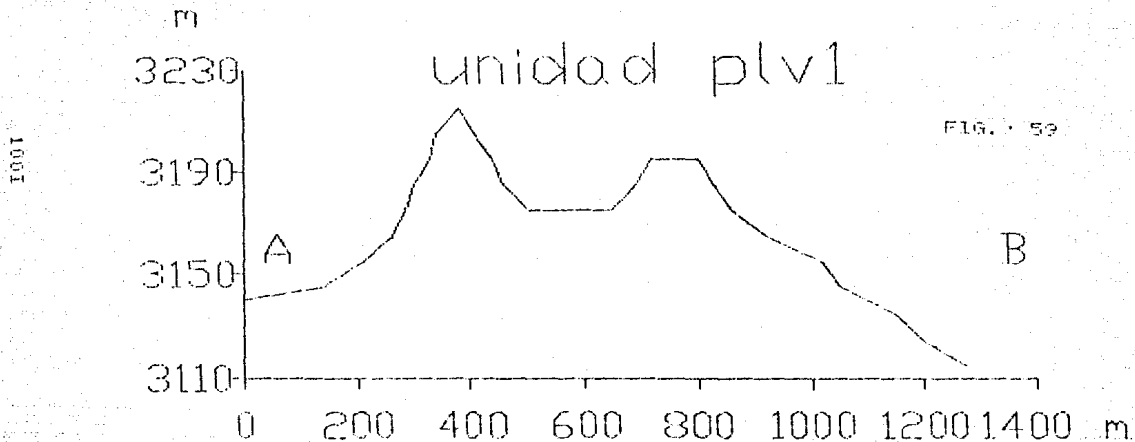
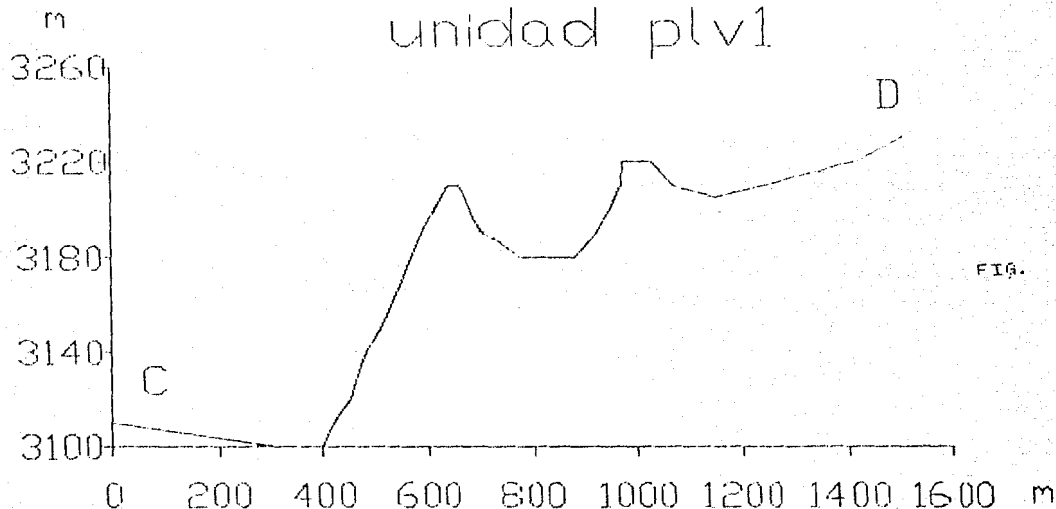


FIG. 59

ESCALA HORIZONTAL 1:10 000

ESCALA VERTICAL 1:2 000

CALDERA EL GUARDA  
unidad plv1



ESCALA HORIZONTAL 1:10 000  
ESCALA VERTICAL 1:2 000



simple dibujo, los curvcs pueden tener un manejo dinámico. Después de la digitalización de curvas de nivel es posible controlarlas en tres planos definidos por los ejes de coordenadas (X, Y, y Z), y configurar con ellas modelos similares a los diagramas-bloque.

Para el dibujo es necesario contar con una tableta digitalizadora, con la cual se pueden alinear las coordenadas de los mapas topográficos en las coordenadas que maneja AUTOCAD. Para ello se emplea el comando "TABLET" con su instrucción "CAL" (calibrar). También se tienen que definir los límites de trabajo con el comando "LIMITS" en unidades del sistema. Una vez hecho esto se procede a visualizar toda el área de trabajo en pantalla, mediante ventanas "ZOOM", que son ampliificaciones de porciones del dibujo y la salida de la ventana para regresar al tamaño original. Al tener ya definidos límites y alineaciones del dibujo en el sistema, se invoca el comando "PLOT" que permite realizar el trazado de líneas continuas (el proceso se asemeja al dibujo a mano). La separación entre las líneas continuas la podemos definir, siendo para nuestro caso de 0.5 unidades de AUTOCAD. Esta cantidad no es de mucha exactitud, porque se recomienda que para dibujos detallados se le dé un espaciamiento de 0.2 unidades del sistema; sin embargo, ha de señalarse que mientras más precisa sea la línea que se digitaliza, mayor será el gasto de memoria disponible. De esta manera se procede a trazar las curvas desde las de menor altitud, considerando estas como los planos de más baja altura en toda la carta. Al trazar todas las curvas en orden ascendente se procede a dar la altura en un plano vertical (Z), porque sin elevación el plano tiene el valor de cero unidades. Se

de previamente la escala vertical que se va a utilizar, tambien en unidades de AUTOCAD mediante el comando "BLBY". Se define aqui, tanto la nueva altura del eje Z, como el espesor de cada isolinia, tambien con un valor de cero, es decir sin espesor, pero es visible pues las lineas que representan a las curvas de nivel no deberían tener espesores que deformaran a la imagen.

Es recomendable dar diferentes colores a las curvas de nivel en intervalos de altitud, pues se facilita el dibujo. El comando "LAYERS" define el color de la linea (punteada, continua, etc). Una vez trazadas todas las curvas con sus respectivas elevaciones y colores, se procede a presentarlas en perspectiva, pues de momento la curvas aparecen tal y como las vemos en un mapa, en forma plana (ver figura 61 y 62).

Por ultimo el comando "VPPOINT" permite cambiar el punto de observacion, es aqui donde se eligen las coordenadas X, Y, y Z del punto de vista. Una vez invocado el comando, se regeneran (recomponen) todas la lineas trazadas de tal modo que al terminar el dibujo, queda como una imagen en perspectiva similar a un diagrama-bloque (ver figura 63 y 64).

1970

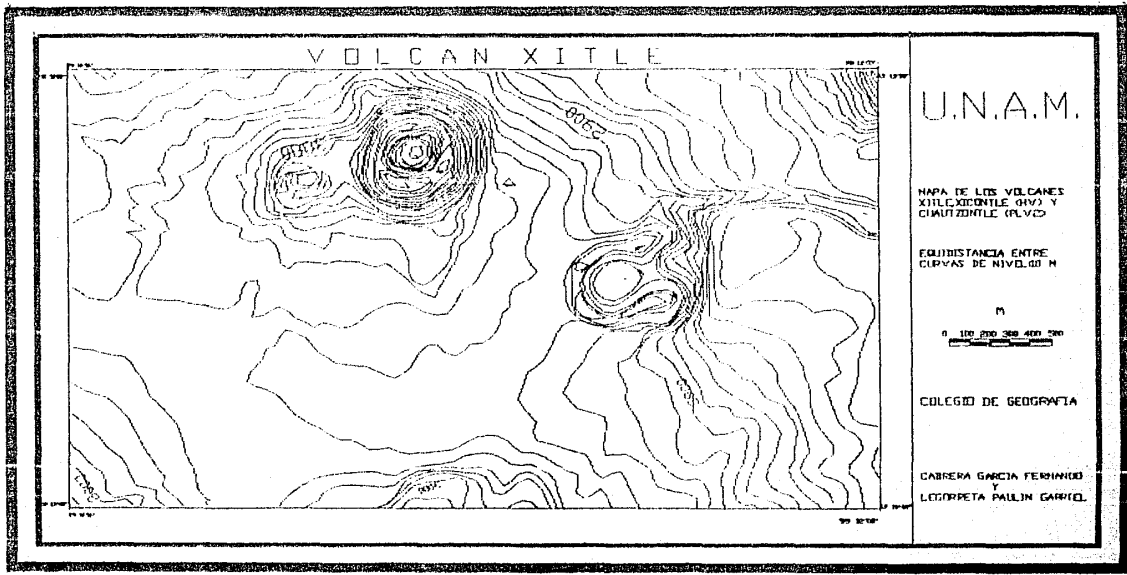
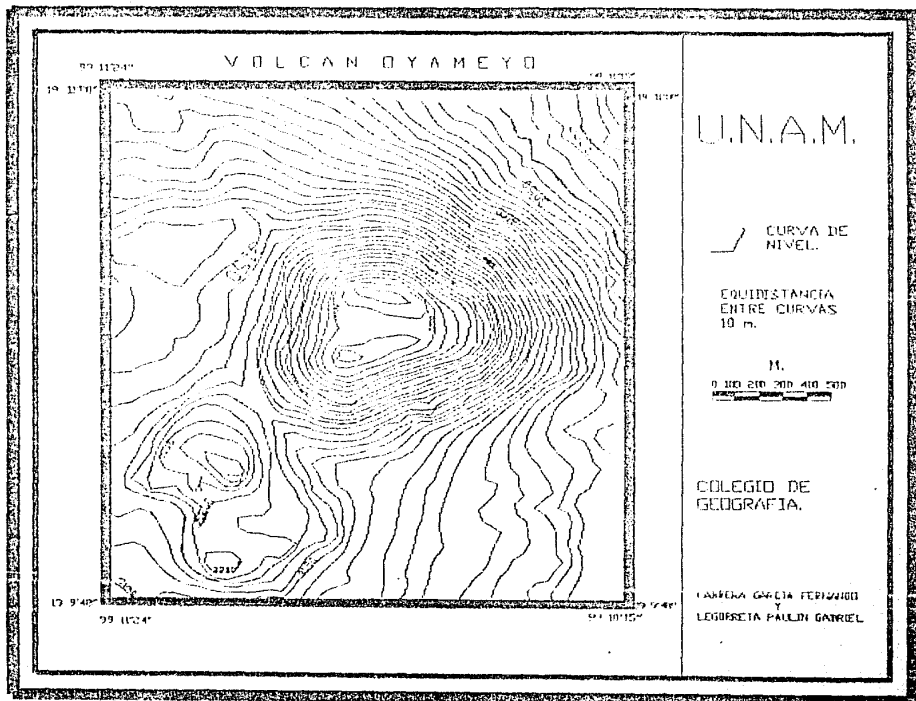
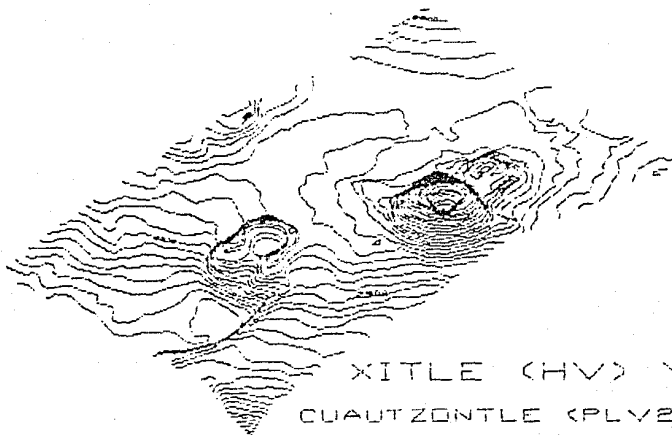


FIG. 41



U.N.A.M.



XITLE (HV) Y  
CUAUTZONTLE (PLV2)

FIG. 63

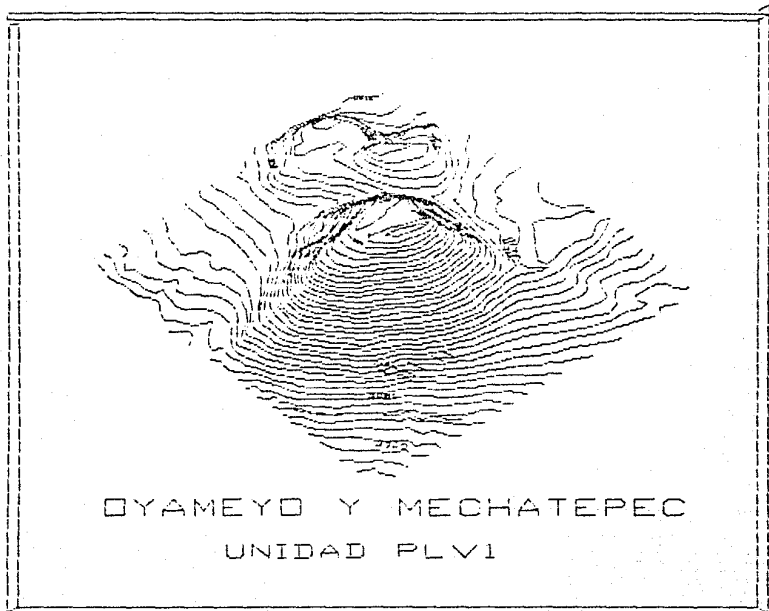


FIG. 64

## CONCLUSIONES

A lo largo de la presente tesis, se han establecido las características, similitudes y diferencias que presentan las cinco subunidades del relieve volcánico del grupo Chichinautzin, dentro del área de estudio, y se aplicó en forma automatizada el método, el análisis y la representación cartográfica de la información.

Con objeto de dar claridad a los aportes brindados por ésta tesis, se enfocan dos aspectos principales:

El primero sobre los aportes técnicos de la evolución del relieve volcánico, que enriquecen y contribuyen a la ampliación de los conocimientos científicos cualitativos y cuantitativos de la parte sur de la Cuenca de México. El segundo, aquellos conocimientos técnicos que se utilizan y que contribuyen al mejor y más rápido manejo de la información.

Los aportes técnicos sobre el estudio del relieve volcánico de la región elegida se pueden resumir, señalando lo siguiente:

- En los estudios cuantitativos de las características geométricas de los conos, siempre se asume que los conos más antiguos, tuvieron inicialmente formas geométricas idénticas a los conos más recientes. La morfología de los conos, pueda ser usada para

distinguir las etapas de degradación a través de análisis cuantitativos. Por esta razón se manejan tanto a nivel individual (por subunidad), como a nivel global (considerando a todo el Grupo Chichinautzin); algunos de los parámetros geométricos más comunes. Con ello se muestran las correlaciones existentes entre la edad del cono y su forma geométrica.

- Se determina que, por número de elementos, por altura, altitud y área, la subunidad Holocénica (Hv) fue muy activa. Entre más dinámica sea la actividad volcánica, su emplazamiento ocupará un lugar preponderante típicamente superior, sobrepuesto y de mayor cantidad, en extensión y relación a las otras subunidades más antiguas.

- El análisis de las curvas de área-altitud permite apreciar que el área es mayor para la subunidad Holocénica (Hv) y tiende a disminuir conforme aumenta la edad. Pero en general todas presentan un aumento porcentual de área ocupada hacia las partes más bajas de la región de estudio, siendo dos de los factores que determinan esto: la intensidad del vulcanismo y la topografía preexistente.

- En teoría el coeficiente de densidad de volcanes por kilómetro cuadrado, debe disminuir conforme avanza la edad; sin embargo esto no sucede a nivel individual (por subunidad) porque las subunidades pleistocénicas, tienen una gran cantidad de conos respecto a un área que se ha reducido por el sepultamiento y ocultamiento de materiales más recientes, pero es muy probable que si se pudiera llegar a determinar exactamente la dimensión total



del área ocupada originalmente por cada subunidad, entonces la tendencia sería a obtener coeficientes cada vez más pequeños, según las edades respectivas. Por su parte los coeficientes de densidad, correspondientes a cada una de las áreas globales, permiten interpretar que al aumentar estas, se tiene una mayor actividad volcánica.

- Los valores encontrados para la densidad y la profundidad de la disección tienden a ser cada vez más altos para las zonas montañosas de mayor edad, las cuales presentan rocas más fracturadas. Por el contrario, para la subunidad más joven, que, aunque presenta en general corrientes consecuentes de 1<sup>o</sup> y 2<sup>o</sup> orden, muestra valores más bajos de profundidad (menores a 20 metros) y densidad de disección (de 0 a 1.5 Km/Km<sup>2</sup>), mientras que la más antigua (P.VI), posee valores de 2 a 50 metros para profundidad, y de 1.5 a 2.5 Km/Km<sup>2</sup> para la densidad. Estos elementos son útiles para establecer diferencias entre las distintas etapas del desarrollo del relieve.

- En el decrecimiento de los valores obtenidos para la altura del cono por efecto de la degradación, los valores para la relación diámetro del cráter entre el diámetro de la base, no presentan cambios muy apreciables, pero en general también son proporcionales a la edad, es decir, a mayor edad se presentan coeficientes más bajos.

- La relación radio entre la altura del cono, en general tiende a aumentar de valor con la edad del cono, y por consiguiente el promedio de la pendiente de las laderas decrece. Así, la subunidad

más joven posee valores comprendidos entre los 30° a 45° de pendiente, y de 15' a 30' para los conos más viejos.

- Se debe notar que la evolución geométrica de los conos sigue diferentes patrones en su evolución, y por consiguiente también los valores de sus parámetros. Posiblemente estas variaciones son ocasionadas por la diferente redistribución de los materiales que aporta la cima del cono hacia sus laderas, así como también al sepultamiento y ocultamiento que sufren por coladas más recientes.

- El promedio de los indicadores morfométricos obtenidos por T. Hasenaka y I.S.B. Carrizosa (1995), para 78 volcanes clasificados como morfométricamente jóvenes, de edades de 40 000 años o menos, dentro del campo volcánico Michoacán-Toluca, resulta de 100 m para la altura, valor que es muy similar al nuestro, dentro del promedio global de altura, pero al compararse con los promedios por unidad, se muestra una mayor similitud con la subunidad Pivi. En cuanto al promedio del diámetro del cráter, a ellos les resulta de 830 m, y para nosotros el promedio global es de 692, lo que nos podría indicar que sus volcanes poseen una mayor distribución de materiales hacia los flancos por efecto de eroción, mostrando la etapa de evolución de los mismos. Esto se pueda comprobar al comparar los promedios, pero ahora a nivel subunidad, mostrándose similitud con la más antigua (PLV1), cuyo promedio resulta de 833 m. Lo mismo ocurre para el valor del diámetro del cráter, muy similar al promedio global e individual de la Pivi que se obtuvo en la tesis.

- Los estudios del campo volcánico de San Francisco, en Arizona

realizados en 1979 por Charles A. Wood, les permitió separar los volcanes en grupos de edades, basados en la relación altura del cono/diámetro de la base entre otros parámetros, demostrando que los conos más antiguos poseen un bajo coeficiente en comparación con los más jóvenes. Sin embargo para nuestro caso, las diferencias de los coeficientes no son muy marcadas, porque la escala de tiempo de degradación morfológica es muy corta (de 8,450  $\pm$  70 años a 38,590  $\pm$  3,210 años) en comparación con los volcanes de San Francisco (de 1000 a 5 millones de años).

Por su parte, los aportes técnicos que contribuyen al manejo, al análisis, y representación de la información pueden resumirse en lo siguiente:

- La búsqueda de aplicaciones de la automatización en la presente tesis, para el estudio del relieve, que sustituyen técnicas anteriores, y dieron como resultado mayores opciones en el manejo de la información.
- La creación de modelos del relieve volcánico, mediante técnicas automatizadas, permite una agilización de los estudios comparativos de la información.
- La ventaja del manejo de la información cartográfica en forma automatizada, al compararse con otros medios, se reflejan en un tratamiento acelerado de la información. Por su capacidad para integrar en la memoria de la microcomputadora, los datos que definen los atributos del espacio a representar (localización, altitud, pendiente, etc).

- Las investigaciones en la geografía física, implican el manejo y análisis de una gran cantidad de información. Al aplicar ordenadores de bases de datos, que entre otras funciones almacenan, ordenan, clasifican y generan reportes de la información, se logran resultados más confiables y oportunos.

BIBLIOGRAFIA CITADA Y CONSULTADA

- ARAGA Seavedra, Vicente. 1974. Volcanismo, Dinamica y petrologia de sus Erupciones. Madrid: Ediciones Istmo. Coleccion Universitario. 4a Ed. pp. 473
- ARELLANO, A.R.V., 1948. La composicion de las rocas volcánicas en la parte sur de la Cuenca de México. Soc. Geol. Mex. v. 13, p. 81-82.
- ASAKO Tago, Susa. 1961. Estudio geografico de la Delegación de Iztapalapa Distrito Federal. IESIS. UNAM. Col. de Geografía. pp.129
- AUTODESK, INC. 1988. AUTOCAD RELEASE 9. Reference Manual. Oakland, USA. pp. 427.
- BREED, W. J. 1964. Morphology and tephra of cinder in the San Francisco Volcanic Field. Mus. North Arizona. Bull., 40.
- BODOO V. Gerardo. 1981. " La cartografía Geomorfológica a escala 1:250.000: la hoja suarectaro." en Primer Congreso Interno del Instituto de Geografía, México. UNAM. p 187-202
- BLOOMFIELD, K. 1973. The age and significance of the Tenango basalt, central Mexico. Bull. Volcanol. 37, p. 586 - 593.
- BLOOMFIELD, K. 1975. A late Pleistocene rhyolite volcanic field in central Mexico. Geol. Rundschau. 64. p. 476 - 497.
- CHARRAL Fajardo, Esther. 1976. Estudio geomorfologico del sur del Estado de México y del norte del Estado de Morelos. IESIS. UNAM. Colegio de Geografía. p 73.
- COLTON, H.S., 1967. Cinder Cones and Lava Flows. Museum Northern Arizona. Flagstaff, Ariz.
- DAMON, P.E., Sharquillah, M. and Leventhal, J.S. 1974. K. Ar. chronology for the San Francisco volcanic field and rate of erosion of the Little Colorado River. T.N.V. Karistrom, G. A. Swann and K.I. Eastman (Editors), Geology of Northern Arizona.
- DEMANT, A. 1976. Contribucion a la definicion de las diferentes fases volcánicas y tectónicas del Eje Neovolcánico mexicano. Abst. III. Cong. Latinoameri. Geol. México. pp. 41.

- DIAZ, E.C. y Mooser, Federico. 1972. Formación del Graben de Chapala; Mazatlán, Sociedad Geológica Mexicana, Convención Nacional, 2., p. 144-145.
- DEMANT, A. 1978. Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación. Rev. Inst. Geol. UNAM, 2, México, p. 170 - 188.
- DERRAU, M. 1968. geomorfología. Editorial Ariel, Barcelona, España.
- DOLLFUS, Olivier. 1982. El espacio geográfico., tr. Demis de Sas. Barcelona:Uikos-Pau, S.A. Colección 200e ser Núm. 111. 124 pp.
- FRIES, C. 1952. U.S. Geological Survey, Volumes and Heights of Volcanic Material, lava, and water ejected by Parícutin Volcano, Michoacan, Mexico, p. 504-516.
- FRIES, C. 1956. Bosquejo geológico de las partes central y occidental del Estado de Morelos y áreas contiguas de los Estados de Guerrero y México; México D.F., Long. Geol. Internal., 20. Librería de las Ciencias.
- FRIES, C. 1960. Geología del Estado de Morelos y partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México, Bol. Inst. Geol. UNAM, 60, México, 236 pp.
- GARCIA, E. 1970. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, UNAM, Instituto de Geografía, 296 pp.
- GASTIL, G.R. y Jansky, Wallace. 1973. Evidence for strike-slip displacement beneath the Intra-Mexican Volcanic Belt, Stanford Univ. Publ. Geol. Sci., 13, p. 171-180.
- GUNN, B.M. y Mooser, 1971. Geochemistry of the volcanics of central Mexico, Bull. Volcanol. No. 34
- HASENARA, F. y I.S.E. Carmichael. 1980. "A compilation of location, size, and geomorphological parameters of volcanoes of the Michoacan-Guanajuato volcanic field, central Mexico." en Geologica Internacional Vol. 24-4 pp. 557-607
- JONES, Edward. 1967. Aplique el PRASE III PLUS, 1 ed. Mexico, McGraw-Hill, 489 pp.
- KEAR, D. 1957. Episoidal Stages of volcanic cones as indicators of age. N.2. J. Ser. Tech.
- LIBBY, W.F. 1951. Radiocarbon dating, Chicago, p. 124.
- LONGWELL y Richard F. Flint. 1965. Geología Física, 1 ed. Mexico Limusa 543 pp.

- LOPEZ Santoyo, Alberto. 1978. "Structural relief interpretation through profile analysis." en *Computer package for Resource Analysis*. Instituto de Geografía. UNAM-Panaz. Geological Survey, University of Kansas, Mexico. pp. 168-182.
- LOPEZ Santoyo, Alberto. 1978 "Programa para obtener tablas de valores de pendientes del terreno, usando mapas topográficos". Boletín del Instituto de Geografía, Mexico. UNAM, vol. 31, p. 7-29.
- LUGO Hupp, Jose. 1979. Introducción al estudio de los conos volcánicos en la parte noreoccidental de la Sierra de Chichinautzin. D.F., Instituto Politécnico Nacional. ESIS. tesis profesional.
- LUGO Hupp, Jose. 1983. "Avances y resultados de los estudios geomorfológicos en la porción central del Sistema Volcánico Transversal." en *Primer Congreso Iberoamericano del Instituto de Geografía*. Mexico. UNAM. pp. 217-243
- LUGO Hupp, Jose et. al. 1983. "Los conos más activos en el Cinturón volcánico mexicano (entre Michoacán y Hidalgo)." en *Geofísica Internacional*, Vol 24-3 pp. 63-76.
- LUGO Hupp, Jose. 1986. Los métodos geomorfológicos. En *Revista de Geografía*. INEGI, Nov de 1986. # 1 1986 1. p. 13 - 26.
- LUGO Hupp, Jose. 1984. Geomorfología del sur de la cuenca de México. 1 ed. Mexico. Instituto de Geografía. UNAM. # 8 (Revista Serie Varial) pp. 95.
- LUGO Hupp, Jose. 1988. Elementos de geomorfología aplicada (métodos cartográficos). 1a Ed. Mexico. Instituto de Geografía. UNAM. 128 pp.
- LUGO Hupp, Jose. 1989. Geomorfología en México. vol. XV. num. 87. Ciencia y Desarrollo. CONACYT. P. 69-79.
- MARTINEZ Luna, Victor Manuel. 1983. "Aspectos de la morfometría fluvial." en *Primer Congreso Interno del Instituto de Geografía*. Mexico. UNAM. pp. 37-42
- MARTINEZ Reyes, Juvantino y Angel Rob. Nieto Samaniego. 1987. "Efectos geológicos de la tectónica reciente en la parte central de México." en *Segundo Simposio Geológico Regional de México*. Instituto de Geología. p 34-36
- MARTIN DEL PUZZO, A.L. 1980. Vulcanología de la Sierra del Chichinautzin. Paris. UNAM. Facultad de Ciencias. 131 pp.
- MARTIN DEL PUZZO, A. L. 1982. Mongogenetic vulcanism in the Sierra Chichinautzin. Mexico. Instituto de Geografía. UNAM.
- MENDOZA Rosete, Margarita. 1961. Estudio Geográfico de la Delegación Xochimilco. RESIS. UNAM. Vol. de Geografía. pp.112

- MONCADA Maya, José Omar. 1976. El uso del suelo en el suleste del Distrito Federal. TESIS. UNAM, pp. 106.
- MONKHOUSE, Francis John y Wilkinson. 1966. Mapas y diagramas. Técnicas de elaboración y trazado. tr. 1. Canals y Maris de Kenau. Barcelona: Oikos-tau, S.A. Colección ciencias geográficas. Num. 1. 533 pp.
- MOORE, R.S. and Neife, E.W. 1976. Geologic map of the eastern San Francisco Volcanic field. Arizona Geological Survey Misc. Invest. Map.
- MOUSER, F. (1956) 1962. Borrador geológico del extremo de la Cuenca de México, México D.F. 30 Internal. Geol. Cong. p. 9 - 38.
- MOUSER, F. 1957. Los ciclos del vulcanismo que formaron la cuenca de México, México D.F. 30 Internal. Geol. Cong. 2. p. 317 - 348.
- MOUSER, F. 1962. Historia tectónica de la Cuenca de México. Bol. Assoc. Mex. Geol. Petro. 15. p. 207 - 246.
- MOUSER, et al. 1974. Paleogeographic investigations of the tertiary and Quaternary igneous rocks, Geological Bondichou, p. 431-482.
- MUÑA S. Juan Carlos y José Juan Zamorano. 1983. "Análisis geomorfológico preliminar de la cuenca Puebla-Tlaxcala." en Primer Congreso Interno del Instituto de Geografía, México. UNAM, p 202-216
- NAKAMURA, K. 1961. Stratigraphic studies of the stratified of Ushima volcano. 1st. deposited during the last 19 centuries. Activity of parasitic volcanoes. Sci. Papers Coll. Univ. Tokyo.
- NEGENDANK, J.F. 1972. Volcanism of the Valle of Mexico Part I. Petrography of the volcanics. M. B. Miner. Abh., v. 116.
- PALACIO Prieto, José Luis. 1982. "Metodología para el desarrollo de trabajos geomorfológicos a escala 1:50,000". en Primer Congreso Interno del Instituto de Geografía, México. UNAM, pp. 52-72
- OSURA, T. 1969. Volcanoes in Manchuria. I. Osura (editors). Geologic and mineralogic of the fan East. University of Tokyo.
- QUERO García, Yolanda. 1983. "Algunas consideraciones sobre la morfometría isocinial." en Primer Congreso Interno de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México. México. p 43-50
- QUINTERO Legorreta. Odranciel. 1987. "Distribución de los sistemas de fallas en porción central de la Faja Volcánica Transmexicana." en Segundo Simposio de Geología Regional de México. Instituto de Geología, p. 36-38
- RAISE, Erdwin. 1974. "Cartografía General." tr. José María Mantero. Barcelona: Ediciones Omega. S.A. 54 Ed. 436 pp.



- RARER, Genet and Herbert Price. 1966. *Atlas AutoCAD*. 2 ed. S.U.A. New Riders Publishing, 260 p.
- RAMIREZ Velazquez, Blanca Fabada. 1976. Estudio geomorfológico estructural del Estado de Morelos y Norte de Guerrero, IESIS, UNAM. Col. de Geografía, pp. 56.
- ROBLES Ubaldo, Humberto, Iuventino. 1981. Contribución al conocimiento geográfico del Edo. de Morelos, México, IESIS, UNAM. Col. de Geografía, pp. 45.
- RZEDEWSKI, Jereev. 1983. *Vegetation de Mexico*, 2da reimpresión. Mexico, Limusa, 402 pp.
- SANCHEZ Rubio, Gerardo. 1987. "Papel de la corteza en el origen de los magmas del Eje Neovolcánico," en Segundo Simposio de Geología Regional de México, Instituto de Geología, p. 25-26.
- SCHMITTER, Eduardo. 1973. Investigación petrográfica en las lavas del Pedregal de San Ángel México. *Cong. Cient. Mex. Mem.* v.3, p. 218-227.
- STRAHLER, Arthur. 1979. *Geografía física*, sr. Ana M. Guillio y Jose F. Albert. Barcelona: Ediciones Omega, S.A. 4a Ed. p. 654-663.
- TSUYA, H. 1943. Geological and Petrological of volcano Uzi (Fuji). Structure and distribution of the pacific volcanoes. Tokyo Univ. Earth. Res. Inst. Bull.
- WAITE, F. and Wittich, W. 1910. Lugos de erupción en el Pedregal de San Ángel. *Bot. Soc. Geol. Mexicana*, 7, p. 169 - 186.
- WITTICH, E. 1917. Los fenómenos microvolcánicos en el Pedregal de San Ángel. *Mem. Soc. Cient. Antonio Alzate (México)* 28, p. 387 - 413.
- WOOD, C. A. 1980. Morphometric Evolution of Cinder Cones. *J. Volcan. Geoth. Res.* 7, p. 387 - 413.
- WOOD, C. A. 1980. Morphometric Analysis of cinder cone degradation. *J. Volcan. Geoth. Res.* 8, p. 137 - 160.

MATERIAL CARTOGRAFICO

- Carta Topografica. Milpa Alta E14449. Mexico. Escala 1:50 000. INEGI, 2a edicion, 1985
- Carta Geologica. Milpa Alta E14449. Mexico. Escala 1:50 000. INEGI, 2a impresion, 1984
- Carta Geologica. Cd. de Mexico. E14+2. Mexico. Escala 1:250 000. INEGI, 1a edicion, 1983
- Carta Urbana. Volcan Ajusco. E14449-12. Mexico. Escala 1:10 000. Tesoreria del Distrito Federal, 1a edicion, 1985
- Carta Urbana. San Miguel Ajusco. E14449-13. Mexico. Escala 1:10 000. Tesoreria del Distrito Federal, 1a edicion, 1985
- Carta Urbana. Rancho Tejomilco. E14449-15. Mexico. Escala 1:10 000. Tesoreria del Distrito Federal, 1a edicion, 1985
- Carta Urbana. Volcan Teuhtitlan. E14449-16. Mexico. Escala 1:10 000. Tesoreria del Distrito Federal, 1a edicion, 1985
- Carta Urbana. Volcan Guadalupe. E14449-23. Mexico. Escala 1:10 000. Tesoreria del Distrito Federal, 1a edicion, 1985
- Carta Urbana. El Frasco. E14449-32. Mexico. Escala 1:10 000. Tesoreria del Distrito Federal, 1a edicion, 1985
- Carta Urbana. Parres. E14449-33. Mexico. Escala 1:10 000. Tesoreria del Distrito Federal, 1a edicion, 1985
- Carta Urbana. Pulmic E14449-34. Mexico. Escala 1:10 000. Tesoreria del Distrito Federal, 1a edicion, 1985



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFIA