

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**Facultad de Filosofía y Letras  
Colegio de Geografía**

**ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO  
DEL SUR DEL ESTADO DE  
MÉXICO Y DEL NORTE DEL  
ESTADO DE MORELOS**

**Esther Cabral Fajardo**

**Tesis Profesional  
para obtener el título de  
Licenciado en Geografía**



**México, D. F.  
Enero de 1976**

**17152**

**863**



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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

CON AGRADECIMIENTO AL DOCTOR

JORGE A. VIVO

0000421

A MIS PADRES Y HERMANOS

A JOSEFINA, LEONILA Y  
RAYMUNDO

00000421

## INDICE

### I. Región de Tepoztlán y norte del estado de Morelos.

1. Geología Histórica.
2. Petrografía.
3. Fallas y fracturas.
4. Vulcanismo.
5. Morfología.

### II. Región del Nevado de Toluca y del sur del estado de México.

1. Geología histórica.
2. Petrografía.
3. Fracturas y fallas.
4. Vulcanismo.
5. Morfología.
6. Los lagos cráter.
7. Morfología de las sierras de Tenango y Temascaltepec.
8. Suelos y vegetación del Nevado de Toluca.
9. El graben Malintzin-Iztaccihuatl y su prolongación al oeste.
10. La sierra de Chichinautzin-Tláloc.

Bibliografía.

Introducción. El presente estudio tiene como objeto dar a conocer la relación que existe entre algunas depresiones tectónicas con el vulcanismo en las regiones del sur de la Altiplanicie Mexicana.

La investigación que se ha realizado al efecto se concentra en el sur del Estado de México y del Distrito Federal así como en el norte de Morelos.

Para realizar dicha investigación se han llevado a cabo las excursiones de estudios geomorfológicos siguientes:

1) El día 6 de abril de 1974 a lo largo de las carreteras que conducen a Temascaltepec y a Sultepec, en el Nevado de Toluca y en el camino a Calimaya, Tenango, Tenancingo, Ixtapan y Cuernavaca.

2) El día 7 de abril de 1974 en el camino de México a Cuautla pasando por Ahuatepec, Tepoztlán, Yautepec, Los Olivos, Ticumán, Itzamatitlán, Oacalco y Cocoyoc; terminando este recorrido por el camino a Oaxtepec y México.

3) El día 26 de julio de 1975 en la carretera México-Tenango, pasando después por Calimaya, Tenango, Tenancingo, Ixtapan, Cuernavaca y Tepoztlán.

El trabajo en el campo consistió en la observación expedita de las rocas y, principalmente, en la obtención de datos sobre la morfología, fallas y fracturas de las zonas visitadas.

Además, como complemento de esas observaciones, se obtuvieron fotografías de algunos lugares de mayor interés desde el punto de vista geomorfológico.

También se estudiaron mosaicos aerofotográficos de CETENAL que cubren una región que se extiende desde Temascaltepec, México, hasta Tepoztlán, Morelos, incluyendo la Sierra Chichinautzin-Tláloc, a fin de interpretar los alineamientos tectónicos de la región.

Asimismo se consultó la bibliografía sobre las mencionadas regiones que, ordenada cronológicamente, es la siguiente:

1. 1822 Alejandro de Humboldt. Ensayo Político sobre el Reino de la Nueva España.
2. 1844 Alejandro de Humboldt. Cosmos.
3. 1849 Joaquín Velázquez de León. Nevado de Toluca.
4. 1860 José María Heredia. Viaje al Nevado de Toluca.
5. 1867 A. Dollfus y E. de Montserrat. Excursión al Nevado de Toluca.
6. 1890 Félix und Lenk. Die Reihen des Centralen Mexico.
7. 1891 Manuel M. Villada. El Nevado de Toluca.
8. 1897. Israel C. Russell. Xinantécatl.
9. 1902. Ezequiel Ordóñez. Le Xinantécatl ou Volcan Nevado de Toluca.
10. 1906 Teodoro Flores. Le Xinantécatl ou Volcan Nevado de Toluca.
11. 1910 Paul Waitz. Excursión Geológica al Nevado de Toluca.
12. 1930 C. Burckhardt. Etude Synthétique sur le Mésozoïque Mexicain.
13. 1935 Pedro C. Sánchez. Importancia Geográfica del Eje Volcánico.
14. 1937 Ezequiel Ordóñez. Tepoztlán, Estado de Morelos.
15. 1942 Ramiro Robles Ramos. Orogénesis de la República Mexicana en relación a su relieve actual.

16. 1944 Ralph W. Imlay. Cretaceous Formations of Central America and Mexico.
17. 1948 Kirk Bryan. Los suelos complejos y fósiles de la Altiplanicie de México en relación a los cambios climáticos.
18. 1953 Raúl Lozano García. Formas de erosión en la Región de Tepoztlán, estado de Morelos.
19. 1960 Carl Fries, Jr. Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, Región central meridional de México.
20. 1961 Federico Mooser. Informe sobre la geología de la Cuenca del Valle de México y zonas colindantes.
21. 1964 Federico Mooser. Hidrología de la Cuenca del Valle de México.
22. 1971 Esperanza Yarza. Volcanes de México.
23. 1971 Wolfgang Hilger. Observaciones sobre la tectónica de la región Puebla-Tlaxcala.
24. 1975 Rosa E. Garay. Morfología de la región volcánica Chimalhuacán-Cerro de la Estrella-Sierra de Santa Catarina.

La exposición, basada en el análisis de la investigación de campo y de los materiales recopilados, se ha dividido en dos regiones, a saber: 1) la de Tepoztlán y norte del Estado de Morelos; y 2) la del Nevado de Toluca y sur del Estado de México.

El estudio está ilustrado con tres series de cortes geomorfológicos y otras series de cortes geológicos y con una carta topográfica y tectónica a la escala 1:500 000.

## 1. Región de Tepoztlán y norte del Estado de Morelos.

1. Geología histórica. No existen datos sobre la naturaleza de las rocas cretácicas que existen debajo de las cenozoicas en la región que es objeto de estudio.

C. Burckardt menciona el lugar más cercano a dicha región, que es Cacahuamilpa, y dice que, según M. Bárcena y R. H. Palmer, el cretácico de Cacahuamilpa es turoniano (1).

Ralph W. Imlay en su esquema estratigráfico de las formaciones cretácicas de México señala también a las calizas con rudistas del turoniano como características del norte de Morelos (2).

De estos datos puede inferirse que es del turoniano, es decir, de una de las fases del cretácico superior, el material subyacente que existe al sur del Estado de México y en la zona de Cacahuamilpa, en el norte de Morelos.

Sobre las calizas del cretácico se han ido depositando materiales de origen volcánico, pero éstos corresponden a diversas etapas del vulcanismo.

1) El material más antiguo corresponde a las andesitas de la formación Xochitepec descrita por Carl Fries, quien al respecto, dice lo siguiente: "La Formación Tepoztlán representa la facie austral cuando menos de una parte de la serie volcánica Xochitepec del extremo meridional de la cuenca de México. Probablemente había centros activos durante el depósito de la formación, y la

voluminosa extravasación de productos fragmentados proporcionaba material fácilmente erosionable para las capas Tepoztlán. El amontonamiento de productos volcánicos cerca de los centros de erupción ocasionó un gradiente suficientemente elevado para el transporte del material fragmentado por aguas corrientes y en forma de "lahares". Erupciones ocasionales diseminaban cenizas más al sur y produjeron los interestratos tobáceos " (3).

"La edad de la Formación Tepoztlán no se ha comprobado por medios directos, obviamente es más joven que el Grupo Balsas. Se supone que es algo más joven que la riolita Tilzapotla, en vista de que la última unidad descansa sobre el Grupo Balsas, con poca o ninguna discordancia erosional, mientras que la primera tiene una discordancia erosional notable con el Grupo Balsas. No obstante, es una formación terciaria relativamente antigua, porque la cubren tres formaciones más jóvenes, cada una separada de la inmediata por una discordancia erosional significativa. Además, las capas Tepoztlán fueron inclinadas notablemente después de su depósito. Al concatenar esta evidencia fragmentaria el autor piensa que la base de la Formación Tepoztlán puede ser tan antigua como el final del oligoceno y que su depósito continuó durante la primera parte del mioceno".

La Formación Tepoztlán, o sea la equivalente de la Xochitepec, en el norte de Guerrero, "se desarrolló probablemente hacia el final del oligoceno y durante la mayor parte del mioceno", según el propio Carl Fries (4).

En el norte de Morelos el vulcanismo continuó con extrusiones de andesita durante el plioceno y los materiales correspondientes a esa etapa han sido clasificados como de la Formación Andesita de Zempoala por Carl Fries (5).

2. Petrografía. Ezequiel Ordóñez había caracterizado la petrografía de las brechas de Tepoztlán como fragmentos de tobas de andesitas (6).

En el trabajo de Carl Fries se estudia con más detenimiento a la formación Tepoztlán, que por ser más moderna también es más conocida.

Ese geólogo dice al respecto lo que sigue:

"La Formación Tepoztlán está compuesta predominantemente por detritos volcánicos andesíticos depositados en capas que varían en espesor quizás de 50 cm hasta más de 10 m. La estratificación buza unos cuantos grados hacia el norte en gran parte del área de afloramiento, alcanzando un máximo de unos 7° N. (7)

Contrastan con esta formación andesítica las "estructuras como los grandiosos depósitos de avalanchas ardientes que constituyen los cerros del Tepozteco" según Federico Mooser (8) que son de la formación basáltica llamada por Carl Fries de chichinautzin.

3. Fallas y fracturas. Las fallas y fracturas de la región del norte de Morelos corresponden a distintos periodos geológicos, según se deduce del análisis de Carl Fries.

1) Del terciario medio y tardío. La ligera inclinación tectónica de las unidades volcánicas terciarias expresada, por ejemplo, por la inversión del buzamiento de la Formación Tepoztlán, desde la dirección original hacia el sur hasta un buzamiento al norte, fue originada en gran parte por las fallas del terciario medio y tardío (9).

2) Del mioceno. Una pequeña falla orientada de oriente a poniente y situada al sureste de Cuautitla, también corta la riolita Tilzapotla y, por consiguiente, no es más antigua que el mioceno. Una falla con varias decenas de metros de desplazamiento corta el Grupo Balsas unos 3 km. al noreste de Ticumán y, por consiguiente, no es más antigua que el terciario medio (10).

3) Postpliocénicas. Un rasgo singular de la región es el grupo de fallas periféricas en derredor del lago Tequesquitengo. Las líneas de falla son difíciles de reconocer en la superficie, pero se destacan muy claramente en las fotografías aéreas verticales. Una vez que se notan en las fotos pueden, sin embargo, reconocerse fácilmente en el terreno. Estas fallas claramente son más recientes que la Formación Cuernavaca, que en una época formó una llanura o planicie en el sitio de la hondonada ocupada ahora por el lago. Se desarrollaron indudablemente durante la formación del polje, como resultado del hundimiento de la superficie a medida que las rocas cretácicas infrayacentes se iban disolviendo lentamente (11).

4) Del cuaternario. Se renovó el fallamiento después de la acumulación de las rocas volcánicas de composición intermedia y antes de que comenzaran a depositarse los materiales clásticos de la Formación Cuernavaca hacia el final del plioceno y el principio del pleistoceno (12).

4) Vulcanismo. Las numerosas fallas y fracturas del norte del Estado de Morelos ejercen una indiscutible influencia sobre la distribución de los volcanes de la región.

Carl Fries ha realizado un intento de alineamiento de los volcanes del norte de Morelos que corresponden a las fallas y fracturas mencionadas, como puede apreciarse de las cinco citas que siguen:

"Los rasgos más conspicuos de la región que deberían estar relacionados con factores de la corteza, son los conos cineríticos y las bocas lávicas, aunque las líneas mismas de falla relacionadas con estos rasgos están sepultadas bajo los productos ígneos extrusivos (13).

"Los conos cineríticos por sí solos, llegan a 108 en el área cubierta por la lámina 3 y otros 52 conos están situados entre el límite septentrional de la misma lámina y la latitud de la Ciudad de México, sumando una totalidad de 160. No se intentó contar las bocas de lava que no tuvieran actividad explosiva, que podrían sumar varias decenas. Pudieran dibujarse muchas líneas que conectaran dos o más conos cineríticos o bocas lávicas, pero el valor de la mayoría de ellas como indicación del rumbo de fracturas profundas de la corteza estaría sujeto a duda. En un intento de encontrar algún orden en la distribución aparentemente heterogénea de los conos cineríticos, el autor ofrece la interpretación siguiente, que, desde luego, no es la única que pudiera formularse a base de los escasos datos disponibles.

"Puede dibujarse una línea desde el cerro de Las Tetillas a través del cerro de La Corona y de allí hasta el grupo de tres conos al poniente de Xiutepec. Una decena o más de grupos de dos a cinco conos que aparecen en la parte septentrional de la lámina 3, pueden conectarse por líneas casi paralelas a la del cerro de

Las Tetillas-Xiutepec, que tiene rumbo aproximado de  $N 80^{\circ} - 85^{\circ} E$ . Este hecho sugiere que dicha dirección define fallas superficiales cortas, dispuestas en échelon, que aparecen sobre fracturas más profundas de la corteza. El mismo rumbo queda definido por la orientación de los volcanes de Malintzín y Nevado de Toluca (14).

"Otra línea bien definida de conos se extiende desde el grupo cercano al cerro de Tezontepec Grande hacia el grupo en las cercanías de Tezoyuca y desde allí hasta el grupo situado al poniente de Xiutepec, ya mencionado, continuando hasta el cono en forma de herradura situado al noreste de Cuernavaca (15).

"Unas seis o más líneas paralelas o subparalelas pueden dibujarse a través de otros grupos de conos mostrados en el mapa, más o menos en la dirección  $N 5^{\circ} - 10^{\circ} E$ . Esta dirección puede sospecharse que define otro grupo de fallas superficiales cortas dispuestas en échelon, situadas encima de fracturas profundas de la corteza. Otro grupo de conos parece alinearse en dirección general al noreste y también al noroeste (16).

"Tres de las cuatro direcciones medias mencionadas en el párrafo anterior, o sean  $N 5^{\circ} - 10^{\circ} E$ , noreste y  $N 80^{\circ} - 85^{\circ} E$ , pueden interpretarse como representativas de dos líneas de cizallamiento y una línea intermedia de tensión, resultado de un par hipotético de fuerzas cortantes en dirección oriente-poniente, o de un sistema de tensión en que la compresión principal actúa en la dirección noreste-suroeste. Si la primera de estas dos interpretaciones fuese correcta, la Zona Neovolcánica en esta región estaría relacionada con una falla transversa profunda de la corteza con rumbo casi de oriente a poniente, cuyo lado septentrional ha te-

nido desplazamiento incipiente hacia el poniente, con respecto al lado austral (17).

Ezequiel Ordóñez estableció una relación entre las rocas de Xochitepec y de Zacatepec, en el Valle de México, con las de Tepoztlán antes de que otros geólogos llegaran a tratar de la llamada formación Xochitepec.

Ordóñez dice al respecto lo siguiente: "Las andesitas blancas citadas antes, son probablemente de las mismas erupciones que dieron origen a los cerros de Xochitepec, El Mirador de Zacatepec, etc., en el flanco norte de la serranía de Ajusco, hacia el valle de México, rodeadas ahora como en Tepoztlán, por corrientes de basalto (18).

Ezequiel Ordóñez al referirse a las corrientes de lava de Tepoztlán, dice lo siguiente: "La mayor parte de las corrientes de lava que inundaron a Tepoztlán, proceden de los altos volcanes que coronan la serranía del Ajusco, tales como del Chichinautzin, del Quimixtepec, del Otlayuca, etc." (19)

En lo que respecta al valle de Tepoztlán, Ordóñez afirma que el basalto se encuentra subyacente en relación con otros materiales, según lo afirma en la cita que sigue: "El valle de Tepoztlán, en su parte central, con todo y ser tan plano, tiene bajo la tierra vegetal una más o menos gruesa cubierta de basalto, el cual no solamente procedió de las corrientes de la serranía, sino también de pequeñas bocas situadas en el mismo valle" (20).

Sobre el desarrollo de la sierra de Tepoztlán, Raúl Lozano García establece las conclusiones que siguen: "Las sierras de Tepoztlán y de Chalchi están

constituidas por una sucesión de derrames piroclásticos que se superponen unos sobre otros y que fueron emitidos en las postrimerías de las erupciones andesíticas que dieron origen a la sierra del Ajusco. En las partes bajas de los depósitos piroclásticos y apoyándose en ellos, se encuentran corrientes basálticas de color oscuro derramadas en erupciones posteriores (21).

Los conceptos expresados por Ordóñez y por Lozano sufrieron una modificación como consecuencia del estudio que hizo sobre la zona Federico Mooser.

Este geólogo estableció una distinción entre las rocas volcánicas prepleistocénicas y las que pertenecen a ese periodo y al holoceno, por lo cual establece las etapas definidas para el vulcanismo de la región del norte del Estado de Morelos, a saber:

1) La primera etapa está asociada a la formación Xochitepec, establecida como consecuencia de los estudios realizados por Fries y por el propio Mooser.

La formación Xochitepec lleva su nombre por la sierra de la misma designación y, acerca de dicha sierra, Mooser dice lo que sigue: "La sierra de Xochitepec, que se halla al W de Xochimilco y al pie del Ajusco, se compone totalmente de depósitos típicos del terciario medio. Por esta razón se le asignó a todos los depósitos similares comprendidos entre el oligoceno superior y fines del mioceno y situados en el S de la Cuenca, la denominación serie volcánica de Xochitepec (Tomx); en el resto de la Cuenca se les da el símbolo de (Tomv). En la parte inferior de las sierras que limitan la Cuenca de México al E, al W y al N, así como también en la base de las Sierras de Guadalupe (cerro del Peño)

y de Tepetzotlán, aparecen afloramientos de esta formación. La serie Xochitepec, por su avanzada edad, aparece a menudo fracturada, alterada y parcialmente caolinizada, debido a la actividad hidrotermal en las proximidades de las chimeneas volcánicas. En esta formación es en la que se encuentran los yacimientos metalíferos de Pachuca" (22).

"La Formación Tepoztlán representa la facie austral cuando menos de una parte de la serie volcánica Xochitepec del extremo meridional de la cuenca de México", según Carl Fries (23).

Fries y Mooser han establecido una relación entre la formación Xochitepec y algunos volcanes del Estado de Morelos. Mooser dice, al respecto, lo que sigue: "El espesor de la serie Xochitepec es muy variable; aunque sus bases no afloran en la cuenca de México, pues están ocultas a gran profundidad; se estima que mide localmente más de 1 500 m de espesor; a los pies del Iztaccíhuatl y en el Ajusco esta serie acusa unos 800 m de espesor visible y se considera que aún hay otros 800 m ocultos en el subsuelo, pues las formaciones del terciario inferior afloran en el N de la Cuenca del Alto Amacuzac a elevaciones de 1 500 m" (24).

Como se ha dicho antes, al considerar la geología histórica, Fries complementa la afirmación de Mooser al referirse a la presencia de la serie Xochitepec en la cuenca alta del río Amacuzac.

De una manera concreta Fries afirma que la Formación Tepoztlán es una facie en el sur de la serie volcánica Xochitepec.

2) Después de la actividad volcánica del cenozoico medio tuvo lugar en el norte de Morelos una etapa de calma .

A esto se refiere Mooser, diciendo lo que sigue: "Parece ser que la actividad volcánica se fue calmando hacia fines del mioceno y que un período de erosión peneplanizó parcialmente al paisaje; solamente así puede explicarse la presencia de una superficie estructural tan uniforme para la serie Xochitepec, sobre la cual se desarrollan los acontecimientos geológicos posteriores. Esta serie puede reconocerse en varios lugares, como en la Sierra de las Cruces y La Sierra Nevada, a una altitud de unos 3 000 m" (25).

3) Después de esta etapa de calma que abarca parte del período mioceno y el plioceno es que se desarrolla la actividad volcánica con extrusiones de basalto que da lugar a la formación Chichinautzin durante el pleistoceno.

Carl Fries dice sobre esta formación lo que sigue: "El nombre de 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 propone este grupo para comprender todas las corrientes lávicas, estratos de toba y brecha y materiales clásticos interestratificados depositados por agua, de composición andesítica y basáltica, que descansan encima de la Formación Cuernavaca o de unidades más antiguas" (26).

5. Morfología. La primera hipótesis acerca del origen de la depresión de Tepoztlán fue dada por Ezequiel Ordóñez, quien originalmente afirmó que era un graben originado por hundimiento. "El autor de esta nota en sus primeros viajes a Tepoztlán, fue de opinión que dicho valle se formó por efecto de un hundimiento

o de un graben. Estudios posteriores indican que se trata de un simple valle de erosión" (27).

Sin embargo, en 1937 Ordóñez cambió de opinión y consideró que el valle de Tepoztlán es el producto de la erosión, tal como lo establece en el párrafo que sigue: "Llama mucho la atención la dirección oriente-poniente del valle de Tepoztlán, tan distinta de la dirección transversal de algunas crestas que lo limitan. Para explicarse esa diferente orientación habría que establecer la original topografía de las masas de brechas, poniendo en la región occidental del valle de Tepoztlán y en los cerros de Tepozteco, la cúspide de una gran montaña de brechas. De aquí se originarían dos profundas incisiones o barrancas que ahondándose y ensanchándose con la erosión, acabarían por formar el valle de Tepoztlán" (28). Véanse fotografías 1, 2, 3 y 4.

La depresión de Tepoztlán se originó en brechas de andesita entre las que más tarde han surgido extrusiones de basalto.

Acerca de las brechas andesíticas de la mencionada región, Ezequiel Ordóñez dice lo siguiente: "Las brechas andesíticas de Tepoztlán forman ahora por efectos de la erosión, largas crestas subdivididas en troncones debidos a incisiones profundas, a abras y angostas quebradas, cuyas crestas por lo general se ven muy sinuosas cuando se les observa de perfil, estando erizadas de agujas o de rocas altas salientes" (29).

Sobre el mismo tema, Ordóñez continúa afirmando lo que sigue: "Lo avanzado de la erosión de la serranía andesítica antes de la aparición del basalto, ha oscurecido la explicación de varios hechos relacionados con la formación de las

brechas. Es difícil, por ejemplo, apreciar la forma original que tuvieron las montañas formadas por estas rocas, o si fue un solo gran macizo, así como encontrar la causa de haberse depositado las masas de brechas y de tobas en grandes bancos casi horizontales, como si se hubieran acumulado en algo así como en una cuenca, cuyos bordes han desaparecido totalmente por erosión (30).

Raúl Lozano, años más tarde se refiere al mismo tema e insiste en la influencia de la erosión en el desarrollo del valle de Tepoztlán y afirma que la forma en que se manifestó la erosión fue por medios mecánicos en los términos siguientes: "Se comprende por qué la erosión se ha realizado en la sierra de Tepoztlán a que se viene haciendo referencia, de modo tan intenso, y, preferentemente, por medios mecánicos" (31).

El mismo Lozano atribuye a la erosión el acarreo de materiales hacia las hondonadas que han originado los suelos de la región, en un párrafo, cuyo texto es el que sigue: "Los productos derivados de la desintegración de los materiales brechógenos que entran en la constitución geológica de la sierra a que se hace referencia, al ser acarreados por las aguas hacia las partes bajas, han rellenado las hondonadas y otras depresiones naturales, viniendo a formar los suelos del actual valle de Tepoztlán" (32).

También Carl Fries Jr. adoptó la tesis de la influencia de la erosión y considera que ésta ha desarrollado acantilados escalonados, en su trabajo referente a la región cuyo texto es el siguiente: "La topografía desarrollada en la formación difiere algo de la que caracteriza la mayoría de las demás rocas volcánicas de la región, ya que están mejor desarrollados los acantilados escalonados y la direc-

ción ha cortado más profundamente la formación. Así es que los afloramientos exhiben la topografía más accidentada y acantilada que se observa en la región (33).

El análisis de Fries es más detallado y afirma que ha desaparecido el espesor original de la formación afectada por la región, debido a la erosión posterior y que los afloramientos más altos existentes llegan hasta 1 000 m. de espesor, en otra parte del texto de su estudio, el cual es el siguiente: "El espesor original de la formación no queda en ninguna parte de la región, debido a la erosión posterior, pero posiblemente un porcentaje elevado del espesor original queda aún en extremos protegidos en el extremo septentrional del área de su afloramiento. El espesor máximo de lo que resta, medido desde la base de la unidad cerca de Oacalco, hasta el afloramiento más alto al norte de este lugar, es aproximadamente de 1 000 m. (34).

A pesar de que Ordóñez, Lozano García y Fries se han declarado partidarios del punto de vista de que la depresión de Tepoztlán fue originada por un proceso de erosión, existen algunos argumentos que pueden oponerse a esa teoría:

1) El alineamiento de oeste al este que se observa en el valle de Tepoztlán está relacionado con las fracturas de origen tectónico que dieron lugar a la actividad volcánica pliocénica de la formación Chichinautzin, por lo cual dicho alineamiento debe estar relacionado, desde el Popocatepetl al Zempoala, mencionadas por Federico Mooser: "Puede decirse que los alineamientos de conos volcánicos en el sur de la Cuenca del Valle de México y los rasgos morfológicos de la sierra del Chichinautzin, sugieren la existencia de numerosas fallas importantes y, por consiguiente, la presencia de bloques en grupos escalonados análogos a los que se reconocen en la línea Chapala-Acambay. Aunque las lavas recientes oculten estas estructuras entre la sierra de Zempoala y las bases del Po-

pocatépetl, podemos comprobar la existencia de tales estructuras...en el espacio ubicado al sur de la cuenca de Toluca; aquí entre Tenango y Calimaya, aparecen dos fallas extraordinarias que cortan la formación Tarango al pie suroriental del Nevado de Toluca. Ambas fallas desaparecen hacia el este debajo de lavas recientes, pero se reconoce claramente que una línea de conos cineríticos, coronando dichas lavas, marca su prolongación actualmente oculta, con fracturas que tienen la misma orientación que las de la mencionada región de Tepoztlán"(35).

2) Los procesos de erosión activa en la región del Estado de Morelos están vinculados a las cuencas de los ríos Cuernavaca y Cuautla, con una orientación general de norte a sur y no existe ninguna región en dicho Estado en la que exista una activa erosión orientada de oeste a este.

3) El espesor de 1 000 m. reconocido por Fries en las capas de brechas en el valle de Tepoztlán no pudo haber sido erosionado con posterioridad a las extrusiones relacionadas con la formación de Chichinautzín que se hallan intercaladas en dichas brechas y, en tal virtud, parece ser más correcta la opinión que sustentó originalmente Ezequiel Ordóñez en el sentido de que el valle de Tepoztlán se originó por un hundimiento tectónico, o sea, que es un graben, al que con posterioridad afectó la erosión.

## II. Región del Nevado de Toluca y del Sur del Estado de México.

En esta región se han concentrado los estudios especialmente en el Nevado de Toluca, porque este volcán es de notable altitud y uno de los que mayor atención ha recibido de parte de geólogos, vulcanólogos y naturalistas, en sus

## estudios.

Si se toma como base la información de los geólogos y paleontólogos alemanes Félix y Lenk (36), del ex director del Instituto de Geología de la UNAM, Teodoro Flores (37), y del geólogo Paul Waitz (38), puede establecerse la tabla cronológica de ascensiones al Nevado de Toluca siguiente:

29 de septiembre	1803	Alejandro de Humboldt
24 de marzo	1826	Joseph Burkart
24 de mayo	1835	Joaquín Velázquez de León
2 de octubre	1836	José María Heredia
	1852	Pieschel
	1856	Saussure y Peyrot
noviembre	1865	A. Dollfus y E. de Montserrat
noviembre	1887	Manuel M. Villada
21 de abril	1890	A. Heilprin
marzo	1902	Ezequiel Ordóñez
	1905	Teodoro Flores
	1909	Paul Waitz

El interés que los hombres de ciencia han mostrado por el Nevado de Toluca explica por qué se cuenta con una más extensa y útil bibliografía sobre este volcán, lo cual contrasta con la escasa información que existe sobre las contiguas zonas volcánicas de Tenango y Temascaltepec. En consecuencia, el análisis que se realizará a continuación, aunque se refiere a toda la región del sur del Estado de México tendrá que fundamentarse, principalmente, en la información que existe

sobre el Nevado de Toluca.

1. Geología histórica. Las investigaciones geológicas parecen indicar que las andesitas que forman parte del Nevado de Toluca reposan directamente sobre la caliza del cretácico, es decir, que en la región de ese volcán los estratos principales son, sucesivamente, las calizas del cretácico y las andesitas del terciario superior.

Sobre este particular Teodoro Flores dice lo siguiente: "El cono del Nevado de Toluca reposa directamente sobre el calcáreo cretácico que existe al Sur y Suroeste del volcán (Serranía de San Gaspar, Ixtapan de la Sal), y está constituido por la superposición de una serie de corrientes de lava; su base se encuentra recubierta después hasta cerca del cráter por una espesa capa de material detrítico que forma alrededor del cono una especie de camisa, desgajada únicamente en las partes bajas de las pendientes australes, en donde se puede ver el contacto de las andesitas con el calcáreo cretácico ya mencionado" (39).

Aunque la actividad volcánica de la región del sur del Estado de México puede haber principiado en el mioceno según la opinión de José G. Aguilera, mencionado en un trabajo de Teodoro Flores, el desarrollo del Nevado de Toluca tuvo lugar en el plioceno superior.

La explicación que se da para la correlación cronológica entre el Nevado de Toluca y otros volcanes cercanos, por Teodoro Flores, es la que sigue: "J. G. Aguilera relaciona al plioceno superior las tobas y las brechas pomíticas de las sierras de Las Cruces, Monte Alto y de la Sierra Nevada; estas brechas y tobas

volcánicas corresponden a las que se hallan alrededor del volcán. O, si uno toma como términos de comparación de un lugar, las calcáreas cretácicas sobre las cuales reposan las andesitas del volcán y por otro las tobas y brechas ya citadas, refiere en el terciario la edad del volcán. Si se intenta comparar los depósitos pleistocénicos que existen dentro del valle y que recubren las tobas y brechas pomosas del Nevado, uno puede fijar con más precisión el conocimiento de que el plioceno es la época de aparición del volcán" (40).

Como puede apreciarse por las anteriores citas, se debe al geólogo Flores el haber reconocido la sobreposición de las andesitas pliocénicas sobre las calizas cretácicas estableciendo así, la base de la interpretación geológica histórica del Nevado de Toluca.

Carl Fries reconoció la existencia de ceniza con varios metros de espesor, pleistocénica proveniente de erupciones del Nevado de Toluca cerca de la base de dicho volcán en la región de Tenango (41).

2. Petrografía. Desde los tiempos de Alejandro de Humboldt se realizó un estudio mineralógico del Nevado de Toluca, ya que el sabio alemán aprovechó su ascensión para obtener la información necesaria al respecto.

En la obra *Cosmos*, de ese autor, que data de 1844, se dice sobre el particular lo que sigue: "La roca del Pico de Orizaba, como la del gran volcán de Toluca, cuya ascensión he hecho, se compone de anfíbol, oligoclasa y algo de obsidiana, mientras que la masa del Popocatepetl, lo mismo que la del Chimborazo, está formada de cristales muy pequeños de oligoclase, y de augita" (42).

El análisis de las rocas antes mencionado, al indicar la presencia de anfibol que es un silicato magnésico cálcico con mayor o menor proporción de hierro y alúmina, y de oligoclasa, que es un silicato aluminico, estaba dando la base para que más tarde estas rocas fueran consideradas como andesíticas.

Velázquez de León y Serrano se acercaron a esa interpretación, al afirmar que las rocas del volcán eran traquitas y conglomerados traquíticos, aunque desde luego su opinión fue más tarde rechazada por los geólogos que le sucedieron.

El texto de la opinión de Velázquez de León es el que sigue: "La roca de su formación es una traquita roja: sobre ella descansan grandes masas de conglomerado traquítico y como piedras redondas, diferentes clases de pórfidos, algunos con base de piedra-pezu" (43).

Dollfus y Montserrat se acercaron en su análisis petrográfico a la opinión de Velázquez de León, como se deduce del párrafo en que dicen: "A 260 metros sobre la Hacienda (del Cano), la pendiente comienza a ser un poco más fuerte, el aglomeramiento porfídico desaparece y se encuentra reemplazado por una inmensa extensión de arena volcánica de un color gris negruzco, de aspecto cineriforme...: esta arena es sumamente fina y tenue" (44).

Félix y Lenk mencionaron en varios párrafos la naturaleza petrográfica del Nevado de Toluca, basándose en la opinión de otros autores.

A continuación se incluyen tres párrafos de la obra de dichos geólogos alemanes, sobre el particular:

"Acerca del carácter petrográfico del volcán no hay nada totalmente conocido. Humboldt dice: "el volcán de Toluca tiene una composición mineralógica distinta de la del Popocatepetl y de la del Volcán de Fuego de Colima. Está constituido al igual que el Pico de Orizaba, el Puy de Chaumont en Auvernia y el volcán Egino, de una asociación de oligoclasa y hornblenda" (45).

"Burkart hace notar que la roca traquítoporfídica es la predominante en todas las partes del Nevado de Toluca que él visitó. El material básico del mismo es un feldespató vítreo y de hornblenda propiamente dicha. Rose más tarde lo clasificó como diorita porfídica. Los investigadores franceses la clasifican como roca porfídicotraquíutica" (46).

"Quisiéramos en atención a la conocida naturaleza plagioclásica del feldespató y de la edad dada por Humboldt y Rose opinar que una hornblenda andesítica antecede formando agrupaciones rocosas que en México presentan frecuentemente un aspecto traquíutico" (47).

El trabajo de Teodoro Flores viene a resolver muchos de los problemas de la petrografía y aclara, como se observará a continuación, que el Nevado de Toluca es fundamentalmente un volcán andesítico.

Se incluyen siete párrafos sobre la naturaleza de las rocas del Xinantécatl, que siguen:

"Los declives interiores del cráter están cubiertos de residuos que constituyen una verdadera arena volcánica; esta arena, gracias a la inclinación (30° promedio) se reparte de un modo uniforme y toma diferentes colores (gris o rojo),

según el estado de alteración de la roca de que provienen" (48).

"Ordóñez realizó en otra ocasión, un estudio petrográfico de las lavas del Xinantécatl, cito este estudio por el interés que encierra el mismo y porque es uno de los más completos. El dice: "todas las lavas del volcán Nevado de Toluca tienen un aspecto francamente traquítico con tonalidades gris, gris rojizo o rojo; estos últimos colores provienen tanto de la oxidación atmosférica, como de las condiciones especiales de enfriamiento" (49).

"El magma incoloro y transparente está siempre bien devitrificado en numerosas agujas y tablillas que se reconocen en seguida por sus pequeños ángulos destruidos como corresponde a la oligoclasa. Hay también algunas agujas finas de un ligero matiz verdoso que se supuso eran de augita" (50).

"La masa vítrea de la roca está salpicada de numerosos cristales blancos de feldespato que alcanzan unos centímetros de longitud. Se ven también las agujas y las secciones alargadas de la hornblenda de un color negro y brillante a simple vista" (51).

"En la superficie un poco rugosa los cristales presentan casi constantemente grandes intrusiones de magnetita muy característica. La dicromía es muy marcada aunque muy intensa en los colores que varían de verde claro a amarillo rojizo pálido (52).

"El color rojo de las lavas proviene de la oxidación del hierro del magma con una alteración de la hornblenda de la cual los cristales, por efecto de la des-

composición, se presentan en partículas desagregadas en finas agujas rojo opaco, diseminadas en la masa de tocas. Esta semejanza en el aspecto y composición de las lavas del Nevado se manifiesta también dentro de los cristales porfídicos que tienen por tanto las mismas características, siempre de un aspecto vidrioso a simple vista" (53).

"El material detrítico aparece en capas inclinadas, conforme a la pendiente del volcán, siguiendo las mismas sinuosidades del terreno formando partículas mayores con las tobas y las brechas pomíticas de color amarillo, gris o blanco, que uno encuentra en algunos sitios, cubiertas de tobas arcillosas y en otros, alternando con las capas de piedra pomosa o con delgadas capas de ceniza volcánica; la cobertura que forman es delgada cerca del cráter, pero de espesor creciente a medida que uno desciende (54).

En consecuencia, pueden clasificarse las rocas del Nevado de Toluca como andesitas de hiperstena y de hornblenda, según Teodoro Flores.

"Para complementar el conocimiento petrográfico del volcán presento el análisis de una andesita del Nevado, hecho por el doctor A. Lagorio, y que dio los resultados siguientes:

SiO <sub>2</sub>	65.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.83
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.35
CaO	4.43

MgO	2.06
K <sub>2</sub> O	2.24
Na <sub>2</sub> O	4.38
H <sub>2</sub> O	<u>1.00</u>
	100.32 (55)

Las cenizas pleistocénicas de Tenango, según Carl Fries, son basálticas en la base del Nevado de Toluca, cerca de Tenango, constituyen un elemento petrográfico tardío de este volcán posterior a su desarrollo y formación (56).

Una vez resuelto el problema de la naturaleza petrográfica del volcán, quedaba por resolver la estratigrafía del mismo y esta tarea la resolvió Paul Waitz como resultado de la investigación que hizo al respecto.

Se incluyen de este geólogo alemán, quien definitivamente se radicó en México, seis párrafos sobre la petrografía del Nevado de Toluca:

"La corriente andesítica sobre la cual hicimos la ascensión desaparece por completo a una altura de 3 956 m. y nuestro camino sigue sobre un terreno ondulado, de poco declive, compuesto de arenas, cenizas y bombas pequeñas volcánicas de piedra pómez.

De este terreno se levanta la circunvalación más o menos destruida del antiguo cráter, con contrafuertes casi en todas partes mucho más empinados" (57).

"Tres diferentes rocas y depósitos forman esta coronación:

- 1) Diferentes capas de arenas, cenizas y bombas volcánicas (tobas volcá-

nicas de explosión), que en la parte N de la coronación llegan a tener un espesor de 150 m a 200 m y más.

2) Corrientes de lava andesítica de color claro, compacto, con grano relativamente parejo, sin embargo de que algunos cristales de feldespatos siempre sobresalen algo por ser más grandes.

Esta andesita, a causa de su alteración se desmorona muchas veces en forma de astillas, por lo cual a primera vista y de lejos puede uno creer que las pendientes formadas por esta roca en descomposición están constituidas por depósitos volcánicos de explosión (tobas volcánicas).

3) Corrientes de lavas andesíticas de un color más oscuro, por lo general rojo, menos compactas y algo porosas, con cristales grandes de plagioclasa y alargadas y brillantes varillas de anfíbola negra...

... Podemos decir como probable, que su formación siguió el orden en que las enunciarnos. Pero tenemos que añadir que 1 y 2 por lo menos en partes alternan" (58).

"Mientras que en la mayor parte de la coronación las capas de tobas, que tenemos que suponer en la parte inferior de la circunvalación, están cubiertas por los terreros, productos de la descomposición de las rocas, que forman las crestas, esto no sucede en la parte N de la circunvalación, donde las cumbres no son tan elevadas, y donde falta una cresta rocosa de gran espesor" (59).

"Siguiendo la cumbre más al poniente encontramos encima de estas tobas

a la roca andesítica de color claro que formó allá una corriente bastante grande. Llega esta corriente hasta el pie exterior de la circunvalación del cráter donde pasa nuestra vereda. Encima de esta corriente hay otra vez las tobas que forman una loma muy bien marcada por sus líneas suaves, y por el contraste que resulta entre esta cumbre de forma regular y la cresta denticulada del Pico del Aguila, el picacho más alto de la parte NO del Nevado" (60).

"Entre el Pico del Aguila y las siguientes elevaciones hay un portezuelo en el cual se encuentra otra vez la andesita de color claro desagregada en puras astillas. El Pico del Aguila está formado lo mismo que toda la coronación de la parte occidental de la circunvalación, por la roca andesítica de color rojizo, pero sin embargo de que en todos estos picos se ve su naturaleza de corrientes superpuestas, sobre todo en el Pico del Aguila es muy clara, la lava andesítica salió allá por una emisión de la circunvalación. La línea de la base de esta corriente es una línea curva desde la cumbre de las tobas hasta el portezuelo arriba mencionado" (61).

"Entre el último (más del Sur) de los picos de la parte occidental que está formado por la misma corriente de andesita de color rojizo y que la gente llama Pico Colorado, y el pico más alto o Pico del Fraile, hay otro portezuelo formado por la andesita de color claro. El Pico del Fraile también está constituido por esta roca clara".

"La andesita colorada se encuentra de nuevo en los últimos picos de la parte SE del Nevado... Réstanos mencionar las crestas restantes, que en el Norte forman la Sierra Chica, al Poniente el Cerro Prieto y en el SE otra loma" (62).

Como las citas de Paul Waitz no necesitan de posteriores comentarios, puede considerarse que las explicaciones dadas por ese autor resuelven los aspectos principales de la estratigrafía del volcán.

Los estudios sobre el vulcanismo que se han realizado en las últimas décadas permiten afirmar, que la composición petrográfica de las sierras volcánicas de la región de Tenango, al este del Nevado de Toluca y de las de la región de Temascaltepec, al oeste del mismo, también son fundamentalmente andesíticas, al igual que ocurre en la composición petrográfica del propio Nevado de Toluca.

3. Fracturas y fallas. El Nevado de Toluca se encuentra en uno de los sistemas de fallas que con una orientación más o menos de este a oeste, existen al sur de la Altiplanicie Mexicana.

Aunque originalmente se suponía que los volcanes de esa región meridional de la Altiplanicie se alineaban en una gran falla o fractura, se ha podido comprobar que las fracturas y fallas son numerosas y que el alineamiento de las mismas es mucho más complejo de lo que antes se pensaba.

El primero en señalar el alineamiento de los volcanes y la relación con fracturas o fallas fue el sabio alemán Alejandro de Humboldt, a principios del siglo pasado.

Sobre el alineamiento de los volcanes dice Humboldt, en el Ensayo Político sobre el Reino de la Nueva España, lo que sigue: "Dejamos observado antes que en la Nueva España hay un paralelo de las grandes alturas, o sea una estrecha

zona contenida entre los  $18^{\circ} 59'$  y los  $19^{\circ} 12'$  de latitud, en la cual están situadas todas las cumbres de Anáhuac, que se elevan más arriba de la región de las nieves perpetuas. Estas cumbres son o volcanes todavía ardiendo, o montañas cuya forma, así como la naturaleza de sus rocas hacen sumamente probable que en otro tiempo han ocultado en su seno fuego subterráneo ".

De lo anterior Humboldt deduce que: "Partiendo desde las costas del mar de las Antillas, encontramos de E a O el Pico de Orizaba, los dos volcanes de La Puebla, el Nevado de Toluca, el Pico de Tancítaro y el volcán de Colima. Estas grandes alturas en vez de formar la cresta de la Cordillera de Anáhuac, y de seguir su dirección que es de SE a NO, están por el contrario colocadas en una línea que es perpendicular al eje de la gran cadena de montañas" (Sierras Madre Oriental y Occidental) (63).

En otra obra del mismo autor, es decir, en Cosmos, se explica que la actividad volcánica de la antes citada región se debe a una falla transversal, según lo expuesto en el párrafo que sigue: "A lo largo de la falla transversal que une los dos mares, de Este a Oeste, y corta la cadena montañosa, o mejor dicho, el levantamiento montañoso, que sigue sin interrupción la dirección de Sureste a Noroeste, se suceden en el orden siguiente: El Colima (11 262 pies de altura), el Jorullo (4 002 pies), el Toluca (14 232 pies), el Popocatépetl (16 632 pies) y el Orizaba (16 776 pies de altura)" (64).

En una forma menos precisa se estableció por el vulcanólogo Israel C. Russell la relación entre el Nevado de Toluca y otros volcanes del centro de Méxi-

co, en los términos siguientes: "El Xinantécatl es un ejemplo de volcán extinguido o dormido y sirve para conectar inevitablemente una serie de volcanes... como el Iztaccíhuatl, el cual ha estado expuesto a las tormentas y heladas por un largo periodo que sus cráteres han desaparecido, con montañas recientes como el Popocatepetl, el cual no sólo conserva sus cráteres en la cima sino que todavía expulsa vapor y gases calientes" (65).

La existencia de una gran fractura transversal, propuesta por Humboldt fue aceptada por los geólogos y geógrafos alemanes, entre ellos por Eduardo Suess en su famosa obra titulada *La Faz de la Tierra*, según refiere Pedro C. Sánchez (66).

El mismo Pedro C. Sánchez al aceptar las ideas de Humboldt afirmó que los volcanes del sur de la Altiplanicie Mexicana se agrupan a lo largo de un eje y forman una cordillera que atraviesa la República Mexicana (67).

Otro de los geólogos mexicanos que aceptó el mismo punto de vista e incluyó todos los volcanes del sur de la Altiplanicie en una gran cordillera fue Ramiro Robles Ramos (68).

Los geólogos más recientes han rechazado la idea de que exista una sola fractura de este a oeste; y a través de diversos estudios, han ido estableciendo la importancia de diversos sistemas de fracturas y fallas que constituyen depresiones, en las cuales dichas fracturas y fallas han permitido el desarrollo del vulcanismo.

Una de esas depresiones formada por fracturas y fallas originalmente suge-

rida por varios geólogos mexicanos y alemanes se encuentra descrita con el nombre de la Depresión Chapala-Acambay-México-Oriental en el Anuario de Geografía, Tomo XII.

En lo que respecta a la región del Nevado de Toluca Federico Mooser, reconoce la existencia, al sur del valle de Toluca, entre Tenango y Calimaya, de "dos fallas extraordinarias que cortan la formación Tarango al pie suroriental del Nevado de Toluca" (69).

Estas fallas, que forman parte del sistema que dio lugar a la actividad volcánica determinante del desarrollo del Nevado de Toluca, hacia el oeste de Tenango, también se prolonga hacia el este de dicha ciudad, como afirma Mooser, pero desaparece "debajo de las rocas recientes", aunque "se reconoce claramente que una línea de conos céntricos coronando dichas lavas, marca su dirección actualmente oculta" (70). /

Las fallas que dieron lugar a la formación del Nevado de Toluca, por otra parte, se prolongan hacia el oeste en el cerro Gordo y la sierra de Temascaltepec, dejando entre ellas una depresión que se observa en la carretera a Sultepec y, especialmente en la carretera a Temascaltepec, ya que ésta en parte está construida en dicha depresión.

En resumen, puede afirmarse que existe un sistema de fallas, el cual determinó el desarrollo de un graben que puede interpretarse a los dos lados del pueblo de Tenango: al oeste, en la Sierra de Tenango hasta el Nevado de Toluca, en el propio Nevado de Toluca, debajo de dicho volcán y más al oeste en el Cerro Gordo y la sierra de Temascaltepec, y al este en el cerro Coatepec y los demás

que en serie se alinean con rumbo a Tepoztlán.

4. Vulcanismo. Sobre la naturaleza de la erupción que determinó el desarrollo del Nevado de Toluca se cuenta con la opinión de cuatro geólogos.

A. Dollfus y E. de Montserrat afirman que además del material sólido, la erupción estuvo "acompañada de un desprendimiento considerable de gas y de vapores, de los cuales no queda ahora ninguna huella" (71).

Los mismos vulcanólogos dicen que el volcán también arrojó "muchas cenizas y piedra pómez que se encuentran sobre sus flancos; pero la acción ígnea no ha sido muy violenta, porque escasean completamente las escorias, o las rocas escoriadas" (72).

Las cenizas y piedra pómez del Nevado de Toluca pueden observarse en el camino hacia Tenango y Tenancingo, según Esperanza Yarza (73).

Esas cenizas son las que Carl Fries considera como basálticas, y por tanto pleistocénicas (74).

La actividad volcánica que en el pasado tuvo lugar en el Nevado de Toluca no parece que pueda reproducirse en el futuro, según la opinión de Teodoro Flores, quien al respecto dice: "El Nevado de Toluca no ha dado signos de actividad después de un largo período; y en la literatura no se encuentra mención de alguna erupción... el aspecto de su cráter, muestra que la erosión, ayudada por los cambios bruscos de temperatura, la nieve y las tempestades, origina una destrucción incesante bastante enérgica, que disminuye más y más su altura absoluta" (75).

La opinión antes expuesta está confirmada por Paul Waitz en los términos que siguen: "La actividad volcánica del Nevado se acabó por completo. En ninguna parte hay hoy día fumarolas o exhalaciones de gases (ni aún de ácido carbónico)" (76).

Lo expuesto por Flores y Waitz sobre la extinción de la actividad volcánica en el Nevado de Toluca puede extenderse a las sierras también volcánicas de Tenango y Temascaltepec.

La actividad tectónica se ha mantenido cerca del cerro de morfología volcánica joven, Tepehuizco, que probablemente es pleistocénico, ya que cerca del mismo en Calimaya, municipio de Calimaya, Zaragoza y Putla, municipio de Tenango; La Huerta y La Puerta, municipio de Zinacantepec, ocurrieron temblores los días 5, 12, 16, 20, 22 y 25 de julio de 1975. (Véase fotografía No. 5)

5. Morfología. El Xinantécatl o Nevado de Toluca es uno de los conos volcánicos que limita la sección de la Altiplanicie Mexicana que es conocida con el nombre de valle de Toluca. Acerca del Valle de Toluca, Teodoro Flores da una detallada descripción, que es la siguiente: "El valle de Toluca, tiene una elevación media de 2 630 metros sobre el nivel del mar, y constituye el punto de mayor elevación de la meseta del Anáhuac o Mesa Central".

"Está limitado al N y NE por los montes de Xocotitlán, Monte Alto y Las Cruces; al E, por la cadena del Ajusco; al S por la Sierra de Tenango y al SW por el declive del Nevado de Toluca".

"Las sierras del Ajusco y de Las Cruces, con sus prolongaciones (Monte Alto y Monte Bajo), separan el valle de Toluca del de México" (77).

En el Nevado de Toluca se destaca como su cima más elevada "el Pico del Fraile o Picacho Colorado, cuya altura ha sido determinada en varias ocasiones con resultados diferentes".

Las alturas absolutas del Pico del Fraile que han sido determinadas por diversos autores, son las siguientes:

	Autor	Altura m.s.n.m.
1803	A. de Humboldt	4 622.5
1826	Joseph Burkart	4 654.0
1835	J. Velázquez de León	4 476.5
1865	Dollfus y Montserrat	4 578.5
1890	A. Heilprin	4 557.9
1905	Teodoro Flores	4 564.8
1974	Dirección de Turismo del Estado de México (71)	4 558.0

Las diferencias de altura se explican por las razones siguientes:

1) Las tres primeras: Humboldt (1803), Burkart (1826) y Velázquez de León (1835), son muy antiguas y las deficiencias de los instrumentos para medir la altitud explican las altitudes muy elevadas:

2) las cuatro últimas: Dollfus y Montserrat (1865), Heilprin (1890), Teo-

doro Flores (1905) y Dirección de Turismo del Estado de México (1974), que son más recientes tiene diferencias de unos metros (máxima de 20 metros) en la altitud, que pueden ser determinadas por deficiencias de los instrumentos o por el lugar que se escogió para determinar la altura.

De todos modos, el Nevado de Toluca ocupa el cuarto lugar por su altura, en el país. Según Teodoro Flores "las observaciones que hice simultáneamente con las del Observatorio Meteorológico Central del Estado de México, y los cálculos respectivos dan una altura absoluta de 4 564.8 m. De acuerdo a este resultado, el Nevado de Toluca ocupa el 4o. lugar, en elevación, entre los grandes volcanes mexicanos" (79), después del Citlaltépetl o Pico de Orizaba, el Popocatepetl y el Iztaccíhuatl.

La altura del Pico del Fraile parece estar asentada por una singular erosión a la que se han referido los geólogos alemanes Félix y Lenk: "En la columna rocosa del Pico del Fraile encontró Humboldt debido a las tormentas eléctricas zonas o partes pulidas. Algunas veces los rayos llegaron a formar tubos cilíndricos hasta de tres pulgadas de largo los cuales estaban pulidos en el interior como en su apertura" (80).

El "borde del cráter conocido con el nombre de El Espinazo cuyo extremo occidental forma la base del Pico del Fraile es la cresta más elevada: "la cresta más elevada del borde del cráter conocida bajo el nombre de "El Espinazo", cuyo extremo occidental forma la base de este Pico" (81).

La forma del cráter ha sido descrita y medida por Dollfus y Montserrat en los términos que siguen:

"La forma del cráter es la de una elipse muy irregular; su diámetro mayor, medido exactamente con el teodolito, es de 1 431 metros, y el menor de 595 m; su profundidad es muy variable; si se mide a partir del borde más elevado..., es de 309 metros y en ... la extremidad del diámetro mayor no es sino de 25 metros" (82).

El propio Dollfus da para el fondo del cráter una altitud de 4 269 metros y Félix y Lenk aceptan la descripción sobre la forma y medidas del cráter dadas por Dollfus y Montserrat:

"La forma del cráter es de una elipse muy irregular cuyos ejes miden 1 431 y 595 metros. Está parcialmente lleno de agua debido a las salientes rocosas que se encuentran dentro del cráter y que forman dos lagos" (83).

Esperanza Yarza, quien ha observado en diversas ocasiones el volcán, afirma que: "En los bordes del cráter se acumulan enormes piedras que forman anillos alrededor de las dos lagunas. Su material es gris, o rojo, si ha sufrido la oxidación atmosférica" (84).

Contrasta la información sobre el Pico del Aguila y, en general sobre el cráter, con la escasez de los datos que los geólogos ofrecen acerca de la morfología del resto del volcán, pero Paul Waits presenta, en síntesis, una descripción sobre las laderas y el pie de la montaña que es la siguiente:

"El material fino de las capas de cenizas y arenas volcánicas del volcán estratificado fue transportado por la erosión, única fuerza que en el volcán de Toluca obra desde hace miles de años, hacia el pie de la montaña y hacia las

llanuras que lo rodean. Por consiguiente, el Nevado de Toluca en su parte baja tiene ahora un declive muy suave que llama la atención comparándolo con otros volcanes del país" (85).

6. Los lagos cráter. El Nevado de Toluca se distingue entre las demás altas montañas del centro de México porque en su cima, ocupando parte de lo que fue su cráter, cuenta con dos lagunas del tipo que morfológicamente es denominado lago cráter.

Desde fines del siglo pasado el vulcanólogo Israel Russell decía al respecto: "En la cima del pico hay dos cráteres, los cuales actualmente están inundados y forman lagos de agua fresca, que unidos abarcan un área aproximada de 18 acres" (86).

Es más, aún antes del propio siglo XX, Velázquez de León explicaba cómo estaban separados ambos lagos: "Un médano de poca altura separa una de otra las dos lagunas en el cráter" (87).

El propio Velázquez de León procedió a medir los lagos del volcán y como resultado de su observación, expuso lo siguiente: "Medida a la orilla de la laguna una base de doscientos treinta y seis y media varas (236,5 varas) con ella determinamos como distancia inaccesible, por sus dos extremos, y haciendo uso de un teodolito de Cary de cinco pulgadas inglesas de diámetro la mayor extensión de la laguna, resultando tener 344,7 varas mexicanas en aquella dirección y 255 en una transversal (88).

Sobre la profundidad, Velázquez de León dijo lo siguiente: "... nos embarcamos en la canoa, y recorriendo la laguna con la sonda encontramos ser su mayor profundidad de doce varas, siendo el terreno de su fondo arenoso, según nos lo dio a conocer la misma sonda" (89).

José María Heredia puso en duda algunos de los datos determinados topográficamente por Velázquez de León: "... atravesamos el lago en su mayor anchura, describiendo una línea oblicua de la orilla septentrional a la oriental, donde baña la áspera base de una colina de lava, que alzada en el centro del cráter divide las dos lagunas. La que recorrimos tiene, según el Sr. Velázquez de León, 344 varas en su mayor extensión, y 255 en dirección transversal. Creo que en esto hay alguna equivocación pues su longitud parece al menos doble de su anchura. A la simple vista le daría yo 500 varas de largo. El mismo afirma que la máxima profundidad es de 12 varas; y tal resultado no me parece infalible, cuando lo poco tiempo que Velázquez permaneció allí no pudo permitirle que sondease toda la laguna, cuyo fondo es probablemente muy desigual, como formación volcánica. En la línea que recorrí juzgo que la profundidad no baja de 20 varas en el centro" (90); pero este último refutó al primero alegando que Heredia no había llevado instrumentos ni hecho medida alguna en su excursión, por lo cual a simple vista no podía desmentir su reconocimiento topográficamente por Velázquez de León: "... aprovechamos la oportunidad de rectificar un hecho, que el Sr. D. José María Heredia puso en duda al publicar la excursión que hizo al Nevado de Toluca. El Sr. Heredia dudaba de las dimensiones que se han dado a la laguna más grande de las dos que hay en el cráter, pero no habiendo llevado a su excursión instrumentos, ni hecho medida alguna, parece que a simple vista no se puede desmentir lo

que se había asentado con datos en el anterior reconocimiento" (91).

Desde la época de Velázquez de León (1835) hasta la de Dollfus y Montserrat (1865), debieron aumentar la extensión y profundidad de los lagos, porque los últimos autores dijeron que la laguna mayor en el norte del cráter tenía una longitud máxima de 400 m. y un ancho de 250 m., así como una profundidad de 10 m. (92).

Esta extensión y profundidad fueron aceptadas por Félix y Lenk: "El mayor se encuentra en la parte norte del cráter y tiene 400 m. de largo, 250 de ancho y de 10 m. de profundidad" (93).

Dollfus y Montserrat afirmaron que la temperatura de la laguna era de  $6.25^{\circ}\text{C}$  y la del aire de  $5.8^{\circ}\text{C}$ : "La cuarta parte de la depresión está ocupada casi por un lago pequeño de agua limpia y fría ( $6.25^{\circ}$ ), estando el aire a  $5.8^{\circ}$  y desprovista de todo sabor mineral" (94).

Félix y Lenk aceptaron la temperatura de la laguna como de  $6.25^{\circ}\text{C}$  pero dijeron que la de  $5.8^{\circ}\text{C}$  para el aire era discutible, porque en 1852 Pieschel encontró una temperatura para la laguna de  $6.25^{\circ}\text{C}$  y una temperatura de  $10^{\circ}\text{C}$ " (95).

Sobre la laguna más pequeña Dollfus y Montserrat afirman que se halla en la extremidad sur y sureste del lago y que el agua es igualmente fría, pero no ofrecen información alguna sobre su temperatura (96).

La altura del espejo de agua de la laguna mayor según Humboldt (1803)

era de 3 732 m., y de acuerdo con Burkart (1826) 4 230 metros (97).

Las lagunas siempre se han observado por el interés que tiene la existencia de depósitos de agua a tan elevada altura, pero no se ha prestado atención a la circunstancia de que las lagunas constituyen un sistema de dos cráteres característico de este volcán, como lo señala el vulcanólogo Israel Russell: "En la cima del pico hay dos cráteres, los cuales actualmente están inundados y forman lagunas de agua fresca, que unidas abarcan un área aproximada de 18 acres. El lago mayor se supone que tiene 13 pies de profundidad y está habitado por peces de especies singulares" (98).

Los sistemas binarios son frecuentes en el centro de México, como en los volcanes El Pino, El Tejolote, La Estrella, Chimalhuacán, Tlapacoya, Xico, Las Calderas, etc., al igual que en el Nevado de Toluca (99).

En la descripción que ofrece Teodoro Flores sobre el volcán, dice lo siguiente:

"El fondo del (Nevado de Toluca)... está ocupado por dos lagos denominados laguna grande y laguna chica sobre cuyos bordes se acumulan grandes piedras, desprendidas de la cresta y que forman eslabones alrededor de las lagunas cuyas límpidas aguas tienen un bello color verde mar, reflejando las bellas tonalidades del domo andesítico de más de 100 m. de altura que se eleva en el fondo del cráter y se ve dividido en dos partes desiguales y forma una especie de tapón en el orificio central (100).

Paul Waitz llama la atención sobre la temperatura relativamente alta del agua de las lagunas que él relaciona con temperaturas de las rocas cercanas al fondo de dichos lagos.

Sobre este interesante aspecto Waitz dice lo siguiente: "La temperatura relativamente alta del agua de las lagunas indica que todavía hay una temperatura algo elevada en el macizo del volcán pues no obstante que se encuentran estas lagunas a una altura de más de 4 100 m. sobre el nivel del mar, nunca, ni en el invierno, se cubren completamente con hielo y su temperatura parece ser siempre más alta que la del aire" (101).

En los últimos tiempos se ha estado llamando a la mayor de las lagunas, laguna del Sol, y a la menor laguna de la Luna, pero no existen antecedentes en la literatura sobre los volcanes que justifiquen este tradicional nombre.

7. Morfología de las sierras de Tenango y de Temascaltepec. Fueron las observaciones de Federico Mooser sobre las fallas de la sierra de Tenango las que han permitido determinar la naturaleza morfológica de dicha sierra: "aquí entre Tenango y Calimaya aparecen dos fallas extraordinarias que cortan la formación Tarango al pie suroriental del Nevado de Toluca. Ambas fallas desaparecen hacia el este debajo de lavas recientes, pero se reconoce claramente que una línea de conos cineríticos, coronando dichas lavas, marca su prolongación actualmente oculta" (102).

Al este del pueblo de Tenango el graben existente en el Cerro Coatepec al que se ha hecho referencia con anterioridad ha influido en el vulcanismo y en el desarrollo de dos sistemas de montañas que se observan junto con la correspondiente depresión. Véase la fotografía 6.

Las dos mencionadas fallas se prolongan hacia el este hasta la región de

Zempoala y han dado lugar a una serie de volcanes que han cubierto las fracturas por donde salió el magma, según observaciones del propio Mooser (103).

Al oeste de Tenango la sierra está constituida por un pilar que se levanta entre dos fallas, cuyo pilar está limitado por dichas fallas al pie de las cuales se extienden, tanto al norte como al sur, las planicies de Tenango. Véanse las fotografías 7 y 8.

Es notable el contraste que existe entre los dos tipos morfológicos de la sierra de Tenango, a pesar de que ambos se han originado por las mismas fallas.

Por otra parte, al oeste del Nevado de Toluca se extienden dos sistemas montañosos paralelos, separados muchas veces por una depresión, que constituyen la llamada sierra de Temascaltepec. Véanse las fotografías 9 y 10.

Como puede observarse, la morfología de las dos sierras, de Tenango y de Temascaltepec se asemeja por el hecho de que, en ambos casos está determinada por un sistema de fallas paralelas.

8. Suelos y vegetación del Nevado de Toluca. Aunque no existe ningún estudio del suelo del Nevado de Toluca, Dollfus y Montserrat prestaron atención a las capas de materiales que forman el suelo y se encuentran debajo de éste, en una altitud de 3 500 metros sobre el nivel del mar.

Las observaciones de esos dos geólogos fueron las siguientes: "A 3 500 metros próximamente sobre el nivel del mar, pudimos examinar las formaciones del suelo subyacente por medio de una profunda barranca que se presenta a la

vista. Se nota desde luego una capa de arena casi de 8 a 10 metros, después otra de piedra pómez de 0.20 m. de espesor próximamente; abajo aún otra capa de arena menos espesa que la primera y una segunda de piedra pómez de 0.40 m. de espesor; y así sucesivamente una serie de capas arenosas y de pómez hasta el torrente que ocupa el fondo de la barranca" (104).

Contrasta la poca atención que se le ha prestado al suelo con la grande que se le ha dado a la vegetación del Nevado de Toluca.

Desde los tiempos de José María Heredia, existen observaciones al respecto, como las que siguen:

"La subida es al principio suave; pero muy luego se vuelve áspera y pendiente, prolongando sus vueltas y revueltas en un bosque de pinos gigantescos, al parecer interminable" (105).

"Al fin desaparecieron (los pinos), quedando reducida la vegetación a una yerba menguada y marchita entre la cual sobresaltan con frecuencia los tallos espinosos de una especie de *Dipsacus* (vulgarmente *Cardo*) gigantesco" (106).

"... y emprendimos subir a pie hasta el pico basáltico más elevado hacia el Sur, pasando a veces sobre la nieve cristalizada" (107).

Dollfus y Montserrat legaron sus observaciones sobre la vegetación en los términos siguientes:

"... debemos hacer notar que, en algunos lugares, sólo se puede seguir el

sendero trazado por los leñadores, y que sería quizás aventurado entregarse al acaso en medio de los espesos bosques de pinos que cubren las alturas" (108).

"Hasta este punto (3 500 m. sobre el nivel del mar) la poderosa vegetación de las coníferas, pinos y abetos, se extiende por todas partes sobre los flancos de la montaña; pero paulatinamente esta vegetación comienza a disminuir... y a 600 m. más arriba se llega a la zona donde desaparece toda vegetación arborescente" (109).

Félix y Lenk sólo se refieren al límite arbóreo del Nevado de Toluca y establecen un contraste entre dicho límite y el del Popocatepetl en los términos que siguen:

"El límite arbóreo en el Nevado de Toluca se encuentra a 4 095 m. de altura, en el lado este del Popocatepetl está a 3 980 m" (110).

Como resultado de su ascensión al Nevado de Toluca, Teodoro Flores, al tratar de la vegetación dice lo siguiente:

"Los flancos del volcán están cubiertos de una espesa vegetación arborescente, compuesta en su mayoría por coníferas (ocote, oyamel y cedro) en medio de los cuales aparecen de vez en cuando un roble, un modroño; esta vegetación se va haciendo raquítica a medida que uno va alcanzando la cima y desaparece por completo a los 4 100 metros sobre el nivel del mar, precisamente al pie de las crestas agudas del cráter" (111).

"Sin embargo, la nieve no existe en gran cantidad sobre el volcán como

para que merezca la pena, como lo observó Heilprin, la denominación que se le da ordinariamente de Nevado (cubierto de Nieve), durante los meses de mayo y junio, la nieve disminuye considerablemente, y durante la estación de lluvias (julio y agosto), el cráter es asiento de fuertes tempestades" (112).

"En las partes bajas y resguardadas de los declives y en el fondo del cráter crecen algunas gramíneas de tallo pequeño (zacatón) y algunos líquenes" (113).

Esperanza Yarza, al ascender al volcán, además de referirse a la vegetación arbórea destaca la presencia de zacatón y de líquenes, en los términos que siguen:

"En el fondo crece el zacatón y algunas especies de líquenes. En los flancos el volcán tiene vegetación arborescente, principalmente de coníferas: ocote, oyamel y cedro, los cuales se van haciendo raquíticos hacia la cima y desaparecen a los 4 100 m. en la corona dentellada del cráter, cuya cima más elevada es el Pico del Fraile (4 558 m). Al oriente las cimas son muy escabrosas y desnudas" (114).

Como puede observarse, el Nevado de Toluca, al igual que el Nevado de Colima, recibió ese nombre porque se encuentra casi todos los inviernos cubierto de nieve y hielo.

El volcán forma parte del Parque Nacional Nevado de Toluca, el cual fue creado por Decreto de 15 de enero de 1936 y tiene una superficie de 51 000 ha. Es el único volcán de México al que se puede llegar por carretera y se encuentra a una distancia de 22 km. al suroeste de la ciudad de Toluca.

9. El Graben Malintzin-Iztaccíhuatl y su prolongación al Oeste. Como re-

sultado de la investigación geológica realizada de acuerdo con el Proyecto Puebla-Tlaxcala, Wolfgang Hilger estudió en el terreno y representó en un croquis el corte de un graben limitado por dos fallas que se extiende desde el volcán Malintzin hasta la región del Pecho del volcán Iztaccíhuatl (5286 m), ambos andesíticos, con un rumbo más o menos de este a oeste (115).

Este graben debió de extenderse hasta el oeste en regiones del valle de México que ahora están hundidas a una gran profundidad y cubiertas de materiales clásticos y de hecho, reaparecen en los alineamientos paralelos que van del cerro Olican (3 100 m), al cerro de Mezontepec (3 500 m) y del cerro Cuautzin (3 100m) al cerro Pelado (3 600 m), al oeste del valle de México.

Es muy interesante que Federico Mooser destaca la composición petrográfica, constituida por andesitas hornbléndicas, que es característica del cerro Pelado y en general de los demás cerros que se encuentran al sur del Ajusco, como el Cuautzin, que está alineado con el Pelado, así como el Olican y el Mezontepec, que están en el mismo alineamiento y todos, repito, al sur del Ajusco.

Federico Mooser contrasta la formación de andesitas hornbléndicas de esos cerros con la de basaltos característicos de la sierra Chichinautzin y de otras regiones (116).

Es interesante destacar el hecho de que la fractura, probablemente del mioceno, que va del Mezontepec al Olican y de este al Iztaccíhuatl, se encuentra en el volcán Teutli (2 710 m.), precisamente en la intersección con una antigua fractura probablemente oligocénica: Chapultepec-Zacatepec-Xochitepec-Tepoztlán.

En estas fracturas antiguas debió haber un nuevo proceso tectónico durante el pleistoceno que permitió la actividad del Teutli, ya que corresponde a ese periodo y es de material basáltico según Kirk Bryan (117).

10. La Sierra Chichinautzín-Tláloc. Carl Fries en su Geología del Estado de Morelos (118), llama Grupo Chichinautzín al que está constituido por rocas de basalto, correspondientes a erupciones del pleistoceno que se localizan en una depresión de este a oeste desde la región del volcán Zempoala al volcán Popocatepetl y que forman un sistema montañoso con altura promedio de más de 3 000 metros y con un ancho de 18 km.

Este punto de vista está corroborado por Federico Mooser quien ratifica que, la sierra de Chichinautzín debe considerarse como el sistema montañoso que se extiende de la sierra de Zempoala hasta las bases del Popocatepetl, cuyo sistema se ha desarrollado en una zona de estructura tectónica con fallas (119).

Carl Fries Jr. trazó varios alineamientos para representar por inducción las fracturas de la depresión que dio lugar a la sierra Chichinautzín, según la lámina 3 de la obra citada (120).

Según la carta tectónica elaborada sobre la base del Comité Coordinador del Levantamiento de la Carta de la República, puede trazarse un alineamiento de este a oeste que une los cerros Huilote (3 100), Tepeyahualco (3 200), Chichinautzín (3 490 m), Tláloc (3 710 m.), Cilcuayo (3 583 m), Sacromonte (2 600 m) y Temococo (2 700).

El otro alineamiento puede trazarse de este a oeste de modo que una los

cerros Zempoala (3 500 m), Tres Marías (3 271 m), Otlayucan (3 200) y Popocatepetl (5 452 m). La fractura correspondiente a este alineamiento debió existir antes del pleistoceno, ya que en el cerro de Zempoala la formación característica es de andesitas.

Los cerros de Tlalmanalco-Amecameca, incluyendo, por tanto, a los de Sacromonte y Temococo corresponden a la formación Chichinautzin del pleistoceno, según Kirk Bryan (121).

Los dos alineamientos citados, que corresponden a los cerros más altos y que probablemente deben ser los que están relacionados con las fracturas más importantes, es probable que sean las fallas del graben que dio lugar al desarrollo de la actividad volcánica de la sierra que conviene llamar Chichinautzin-Tláloc. El nombre Tláloc, debe agregarse al de Chichinautzin, porque es el de la montaña más alta del sistema.

### Bibliografía

- 1) C. Burckardt. Etude Synthétique sur le Mesozoïque Mexicain. Bale, 1930. p.235
- 2) Ralph W. Inlay. Cretaceous Formations of Central America and Mexico. Washington, D.C., 1944. Tabla I.
- 3) Carl Fries, Jr. Geología del estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región Central Meridional de México. Boletín No. 60 del Instituto de Geología. UNAM. México, 1960, p. 112.
- 4) Carl Fries, Jr. Ob. cit. p. 111.
- 5) Carl Fries, Jr. Ob. cit. p. 111.
- 6) Ezequiel Ordóñez. Tepoztlán, estado de Morelos. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Tomo X-3-4. México, 1937. p. 110.
- 7) Carl Fries, Jr. Ob. cit. p. 108.
- 8) Federico Mooser. Informe sobre la geología de la cuenca del valle de México y zonas colindantes. Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, Secretaría de Recursos Hidráulicos. México, 1961. p. 18.
- 9) Carl Fries, Jr. Ob. cit. p. 154.
- 10) Carl Fries, Jr. Ob. cit. p. 154.
- 11) Carl Fries, Jr. Ob. cit. p. 155.
- 12) Carl Fries, Jr. Ob. cit. p. 163.
- 13) Carl Fries, Jr. Ob. cit. p. 155.
- 14) Carl Fries, Jr. Ob. cit. pp. 155-156.
- 15) Carl Fries, Jr. Ob. cit. p. 156.
- 16) Carl Fries, Jr. Ob. cit. p. 156.
- 17) Carl Fries, Jr. Ob. cit. p. 156.
- 18) Ezequiel Ordóñez. Ob. cit. p. 111.
- 19) Ezequiel Ordóñez. Ob. cit. p. 102.
- 20) Ezequiel Ordóñez. Ob. cit. p. 102.

- 21) Raúl Lozano García. Fenómenos de erosión en la región de Tepoztlán, estado de Morelos y en el Valle del Mezquital, estado de Hidalgo. Memoria del Congreso Científico Mexicano. Vol. 3. México, 1953. pp. 208-209.
- 22) Federico Mooser. Ob. cit. 1961. pp. 16-17.
- 23) Carl Fries, Jr. Ob. cit. p. 112.
- 24) Federico Mooser. Ob. cit. 1961. pp. 116-117.
- 25) Federico Mooser, Ob. cit. 1961. p. 17.
- 26) Carl Fries, Jr. Ob. cit. pp. 125-126.
- 27) Ezequiel Ordóñez. Ob. cit. p. 106.
- 28) Ezequiel Ordóñez. Ob. cit. p. 106.
- 29) Ezequiel Ordóñez. Ob. cit. p. 104.
- 30) Ezequiel Ordóñez. Ob. cit. p. 111.
- 31) Raúl Lozano García. Ob. cit. p. 211.
- 32) Raúl Lozano García. Ob. cit. p. 212.
- 33) Carl Fries, Jr. Ob. cit. pp. 108-109.
- 34) Carl Fries, Jr. Ob. cit. pp. 109-110.
- 35) Federico Mooser. Ob. cit. 1961. p. 34.
- 36) Félix und Lenk. Die Reihen Vulkane des Centralen Mexico. Alemania, 1890. p. 26.
- 37) Teodoro Flores. Le Xinantécatl ou volcan Nevado de Toluca. Instituto Geológico de México. (Guide des Excursions du X Congrès Géologique International). México, 1906. p. 8.
- 38) Paul Waitz. Excursión geológica al Nevado de Toluca. Tomo VI-2a. parte. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. México, 1910. p. 113.
- 39) Teodoro Flores. Ob. cit. pp. 12-13.

- 40) Teodoro Flores. Ob.cit. p. 15.
- 41) Carl Fries, Jr. Ob. cit. p. 137.
- 42) Alejandro de Humboldt. Cosmos, Ensayo de una descripción física del mundo. Editorial Glem. Buenos Aires, 1844. p. 538.
- 43) Joaquín Velázquez de León. Nevado de Toluca. Boletín I de Geografía y Estadística de la República Mexicana. México, 1849. p. 36.
- 44) A. Dollfus y E. de Montserrat. Excursión al Nevado de Toluca. París, 1867. Traducido para la Naturaleza. Tomo VI. Periódico Científico de la Sociedad Mexicana de Historia Natural. México, 1884. p. 27.
- 45) Felix und Lenk. Ob.cit. p. 26
- 46) Felix und Lenk. Ob. cit. pp. 26-27.
- 47) Felix und Lenk. Ob. cit. p. 27.
- 48) Teodoro Flores. Ob. cit. p. 7.
- 49) Teodoro Flores. Ob. cit. pp. 9-10.
- 50) Teodoro Flores. Ob. cit. p. 10.
- 51) Teodoro Flores. Ob. cit. p. 10.
- 52) Teodoro Flores. Ob. cit. pp. 10-11.
- 53) Teodoro Flores. Ob. cit. p. 11.
- 54) Teodoro Flores. Ob. cit. p. 13.
- 55) Teodoro Flores. Ob. cit. p. 12.
- 56) Carl Fries, Jr. Ob. cit. p. 137.
- 57) Paul Waitz. Ob. cit. p. 114.
- 58) Paul Waitz. Ob. cit. p. 115.
- 59) Paul Waitz. Ob. cit. p. 115.
- 60) Paul Waitz. Ob. cit. p. 115.
- 61) Paul Waitz. Ob. cit. pp. 115-116.

- 62) Paul Waitz. Ob. cit. p. 116.
- 63) Alejandro de Humboldt. Ensayo Político sobre el Reino de la Nueva España (1822). Editorial Porrúa. México, 1966. p. 166.
- 64) Alejandro de Humboldt. Ob. cit. 1844. p. 593.
- 65) Israel C. Russell. Volcanoes of North America. Xinantecatl. London, 1897. p. 184.
- 66) Pedro C. Sánchez. Importancia Geográfica del Eje Volcánico, cordillera que atraviesa la República Mexicana de este al oeste sensiblemente sobre el paralelo 19°. México, 1935. p. 4.
- 67) Pedro C. Sánchez. Ob. cit. p. 10.
- 68) Ramiro Robles Ramos. Orogénesis de la República Mexicana en relación a su relieve actual. Comisión Nacional de Irrigación. México, 1942. pp. 2-67.
- 69) Federico Mooser. Ob. cit. 1961. p. 34.
- 70) Federico Mooser. Ob. cit. 1961. p. 34.
- 71) A. Dollfus y E. de Montserrat. Ob. cit. p. 30.
- 72) A. Dollfus y E. de Montserrat. Ob. cit. p. 29.
- 73) Esperanza Yarza. Volcanes de México. Nevado de Toluca. Editorial Aguilar. México, 1971. p. 156.
- 74) Carl Fries. Ob. cit. p. 137.
- 75) Teodoro Flores. Ob. cit. p. 9.
- 76) Paul Waitz. Ob. cit. p. 113.
- 77) Teodoro Flores. Ob. cit. pp. 1-2.
- 78) Teodoro Flores. Ob. cit. pp. 8-9.
- 79) Teodoro Flores. Ob. cit. p. 9.
- 80) Félix und Lenk. Ob. cit. p. 27.
- 81) Teodoro Flores. Ob. cit. p. 6.
- 82) A. Dollfus y E. de Montserrat. Ob. cit. p. 28.

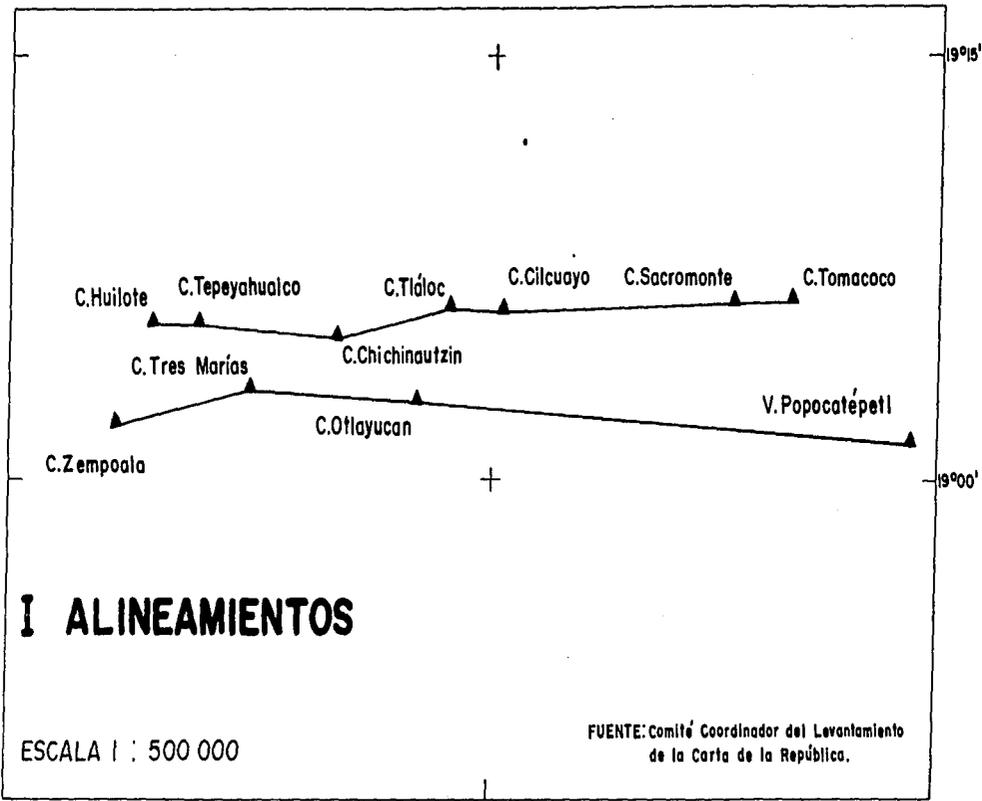
- 83) Felix und Lenk. Ob. cit. p. 26.
- 84) Esperanza Yarza. Ob. cit. p. 156.
- 85) Paul Waitz. Ob. cit. pp. 113-114.
- 86) Israel C. Russell. Ob. cit. p. 184.
- 87) Joaquín Velázquez de León. Ob. cit. p. 37.
- 88) Joaquín Velázquez de León y S. Ob. cit. p. 36.
- 89) Joaquín Velázquez de León y S. Ob. cit. pp. 36-37.
- 90) José Ma. Heredia. Viaje al Nevado de Toluca, Tomo VIII del Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. México, 1860. pp. 162-163.
- 91) Joaquín Velázquez de León y S. Ob. cit. pp. 39-40.
- 92) A. Dollfus y E. de Montserrat. Ob. cit. p. 28.
- 93) A. Dollfus y E. de Montserrat. Ob. cit. p. 26.
- 94) A. Dollfus y E. de Montserrat. Ob. cit. p. 28.
- 95) Felix und Lenk. Ob. cit. p. 26.
- 96) A. Dollfus y E. de Montserrat. Ob. cit. p. 29.
- 97) Félix und Lenk. Ob. cit. p. 26.
- 98) Israel C. Russell. Ob. cit. p. 184.
- 99) Rosa Evelia Garay. Morfología de la Región Volcánica Chimalhuacán-Cerro de la Estrella-Sierra de Santa Catarina y fracturas del fraccionamiento Los Olivos, Delegación de Tláhuac. Tesis, UNAM. México, 1975. p. 24.
- 100) Teodoro Flores. Ob. cit. pp. 6-7.
- 101) Paul Waitz. Ob. cit. p. 113.
- 102) Federico Mooser. Ob. cit. 1961. p. 34.
- 103) Federico Mooser. Ob. cit. 1961. p. 34.
- 104) A. Dollfus y E. de Montserrat. Ob. cit. pp. 27-28.

- 105) José María Heredia. Ob. cit. p. 159.
- 106) José María Heredia. Ob. cit. p. 160.
- 107) José María Heredia. Ob. cit. p. 111.
- 108) A. Dollfus y E. de Montserrat. Ob. cit. p. 27.
- 109) A. Dollfus y E. de Montserrat. Ob. cit. p. 28.
- 110) Felix und Lenk. Ob. cit. p. 27.
- 111) Teodoro Flores. Ob. cit. p. 5.
- 112) Teodoro Flores. Ob. cit. p. 6.
- 113) Teodoro Flores. Ob. cit. p. 7.
- 114) Esperanza Yarza. Ob. cit. p. 156.
- 115) Wolfgang Hilger. Observaciones sobre la tectónica de la región de Puebla-Tlaxcala. Anuario de Geografía. Año XII. México, 1972. p. 116 e ilustración 3.
- 116) Federico Mooser. Hidrología de la Cuenca del Valle de México. Capítulo 2º, Descripción física del Valle. México, 1964. pp. 2-87. Secretaría de Recursos Hidráulicos.
- 117) Kirk Bryan. Los suelos complejos y fósiles de la Altiplanicie de México en relación a los cambios climáticos. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. México, 1948. p. 17.
- 118) Carl Fries, Jr. Ob. cit. pp. 127-128.
- 119) Federico Mooser. Ob. cit. pp. 34-35.
- 120) Carl Fries, Jr. Ob. cit. p. 128 y lámina 3.
- 121) Kirk Bryan. Ob. cit. p. 17.

Depresión

Periodo geológico

- |   |                       |
|---|-----------------------|
| 1.1 Chapultepec-Zacatepec-Xochitepec-Tepoztlán                                |                       |
| 1.2 Peñón de los Baños-Amarillo-Jojutla                                       | oligoceno.            |
| 2.1 Malinche-Iztaccíhuatl-Olican Mezontepec                                   |                       |
| 2.2 Malinche-Iztaccíhuatl-Cucutzin Pelado                                     | mioceno inferior.     |
| 3.1 Ajusco-Las Cruces-Monte Alto-Monte Bajo                                   |                       |
| 3.2 Iztaccíhuatl-Papayo-Telapón-Tláloc  | mioceno superior.     |
| 4 Temascaltepec-Nevado de Toluca-Tenango-Tepoztlán                            | plioceno.             |
| 5.1 Huilote-Tepeyahualco-Chichinautzin-Tláloc<br>Cilcuayo-Sacromonte-Tomacoco | pleistoceno.          |
| 5.2 Zempoala  | plioceno.             |
| 5.2 Tres Marias-Otlayucan   | pleistoceno.          |
| 5.2 Popocatepetl  | pleistoceno-holoceno. |

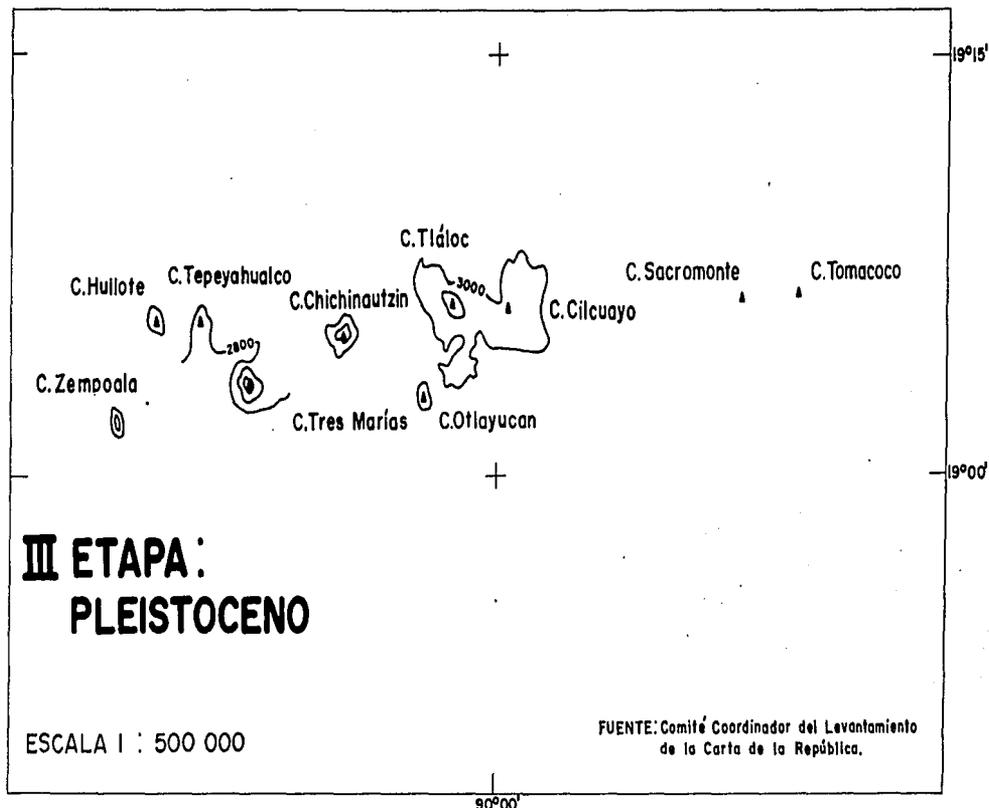


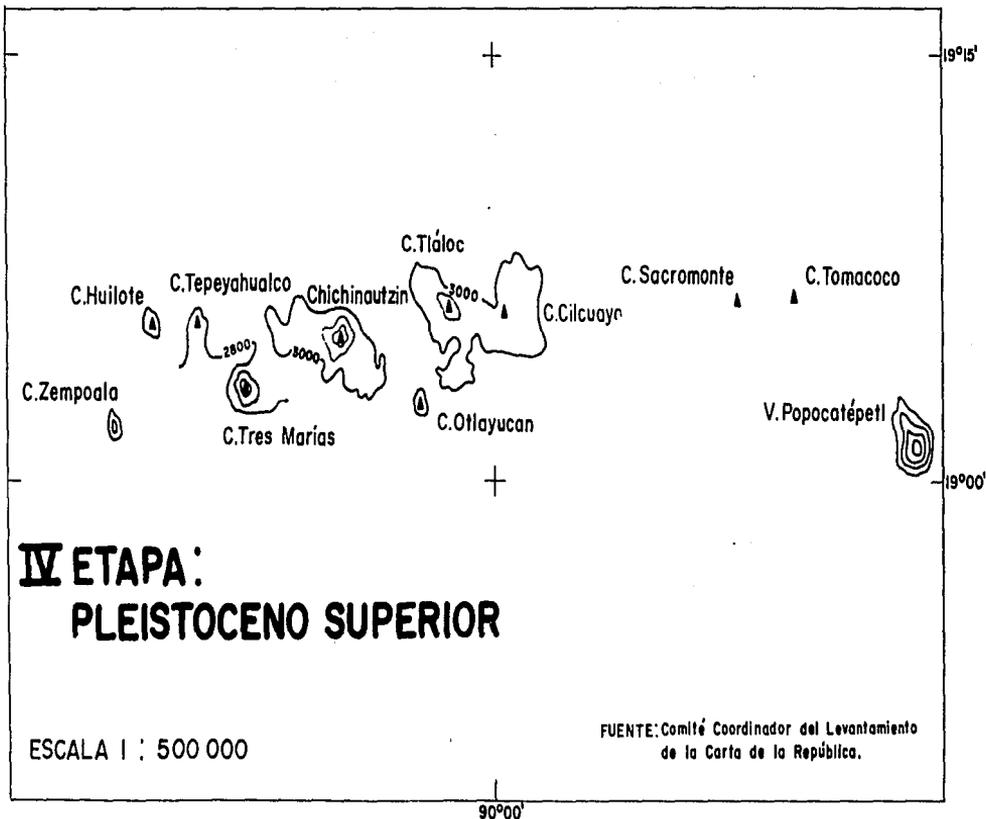
# I ALINEAMIENTOS

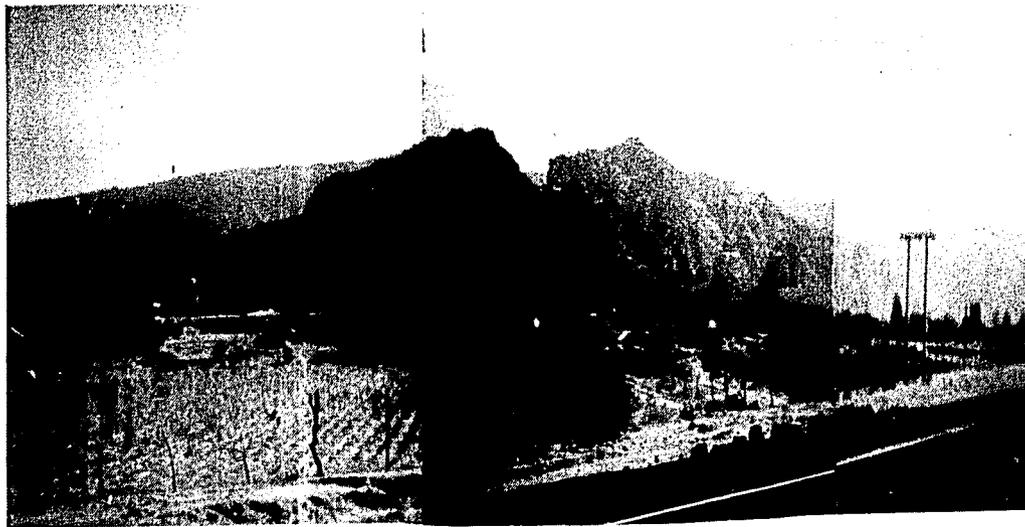
ESCALA 1 : 500 000

FUENTE: Comité Coordinador del Levantamiento de la Carta de la República.

99°00'







En la carretera de Cuernavaca a Tepoztlán, cerca de San Andrés de la Cal, se observa la sierra sur de Tepoztlán y en el centro el cerro del Hombre.



La sierra del norte del valle de Tepoztlán vista desde la villa del mismo nombre. De derecha a izquierda los cerros: Los Corredores, el más alto, el Tepoztécatl o cerro del Cobre, el Ocelotépetl o cerro del Tigre y el Tlahuítépetl o cerro de La Luz.



Desde la carretera de Tepoztlán a Cuautla la sierra sur de Tepoztlán, junto a los campos de fútbol. Al centro el cerro del Venadito, que es el de mayor altura y a la izquierda el cerro Metztila o cerro de La Luna.

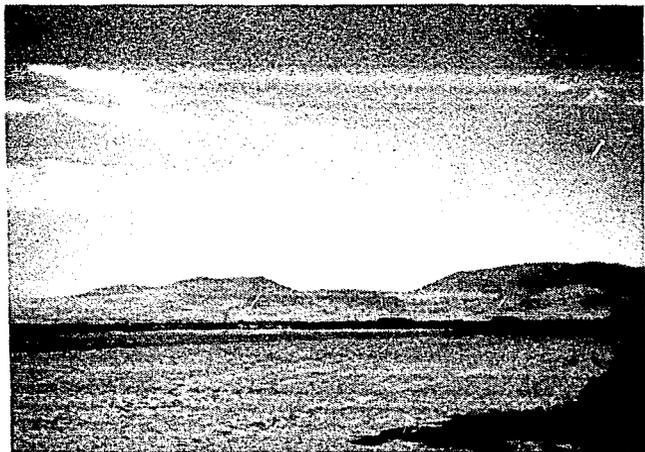


En la carretera de Tepoztlán a Cuautla se observa un aspecto de la sierra norte de Tepoztlán.



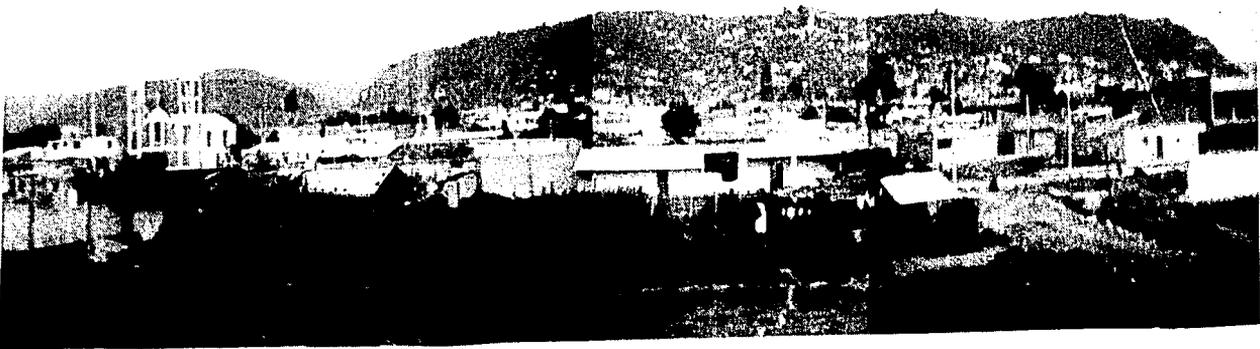
El cerro volcánico Tepehuizco situado al noroeste del cerro de Tenango, que está cercano a la zona de tobas basálticas pleistocénicas.

El cerro Coatepec, formado por extrusiones volcánicas que tuvieron lugar en fracturas a ambos lados del graben o depresión que se observa al centro del mismo. Vista desde el camino de Calimaya a Tenango.



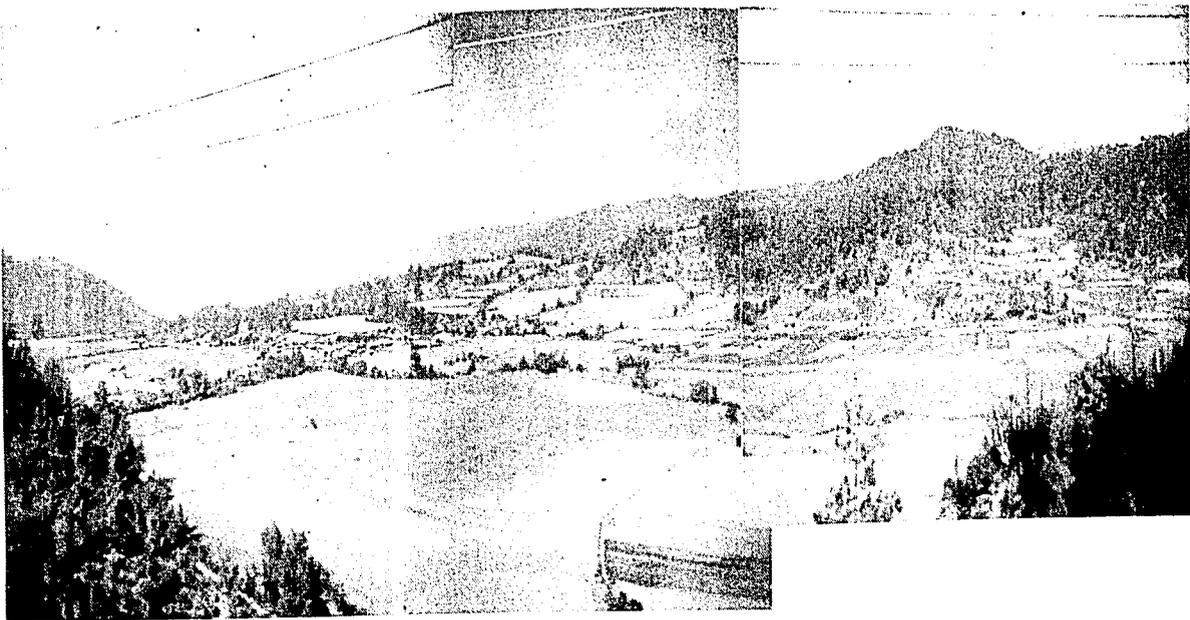


El cerro de Tenango constituido por un pilar entre dos fallas que determinaron el hundimiento de las planicies cercanas a la villa de Tenango. Vista desde el camino de Calimaya a Tenango.

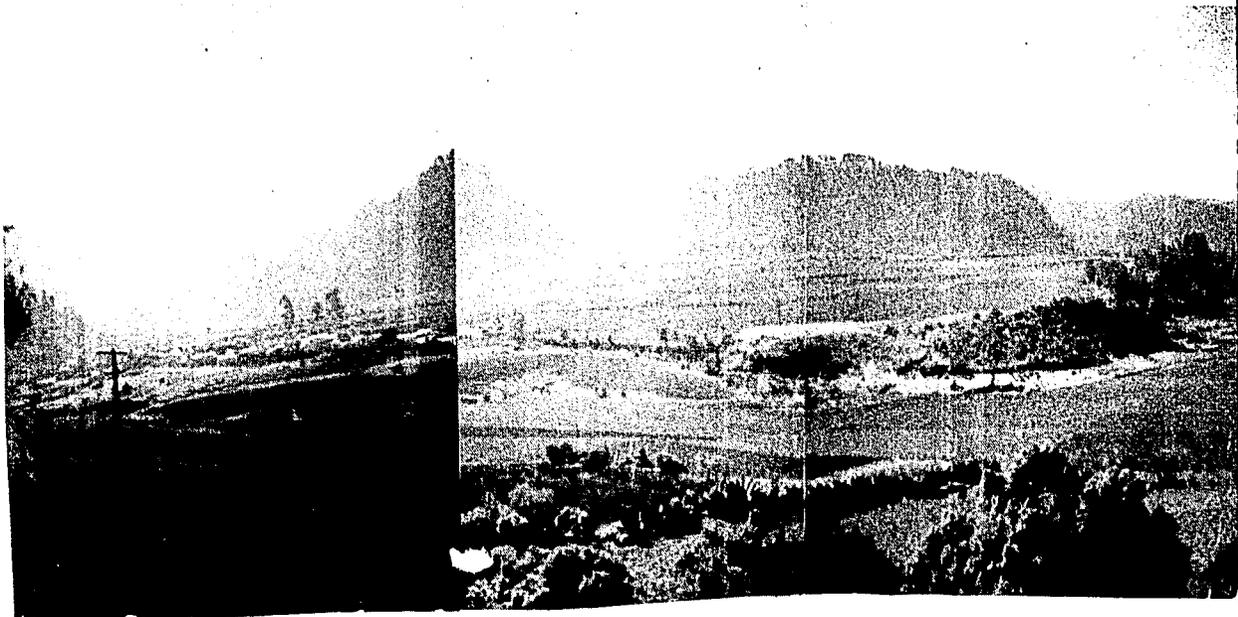


El cerro de Tenango o pilar originado por las planicies cercanas a la villa del mismo nombre. Vista desde la carretera de Tenango a Tenancingo.

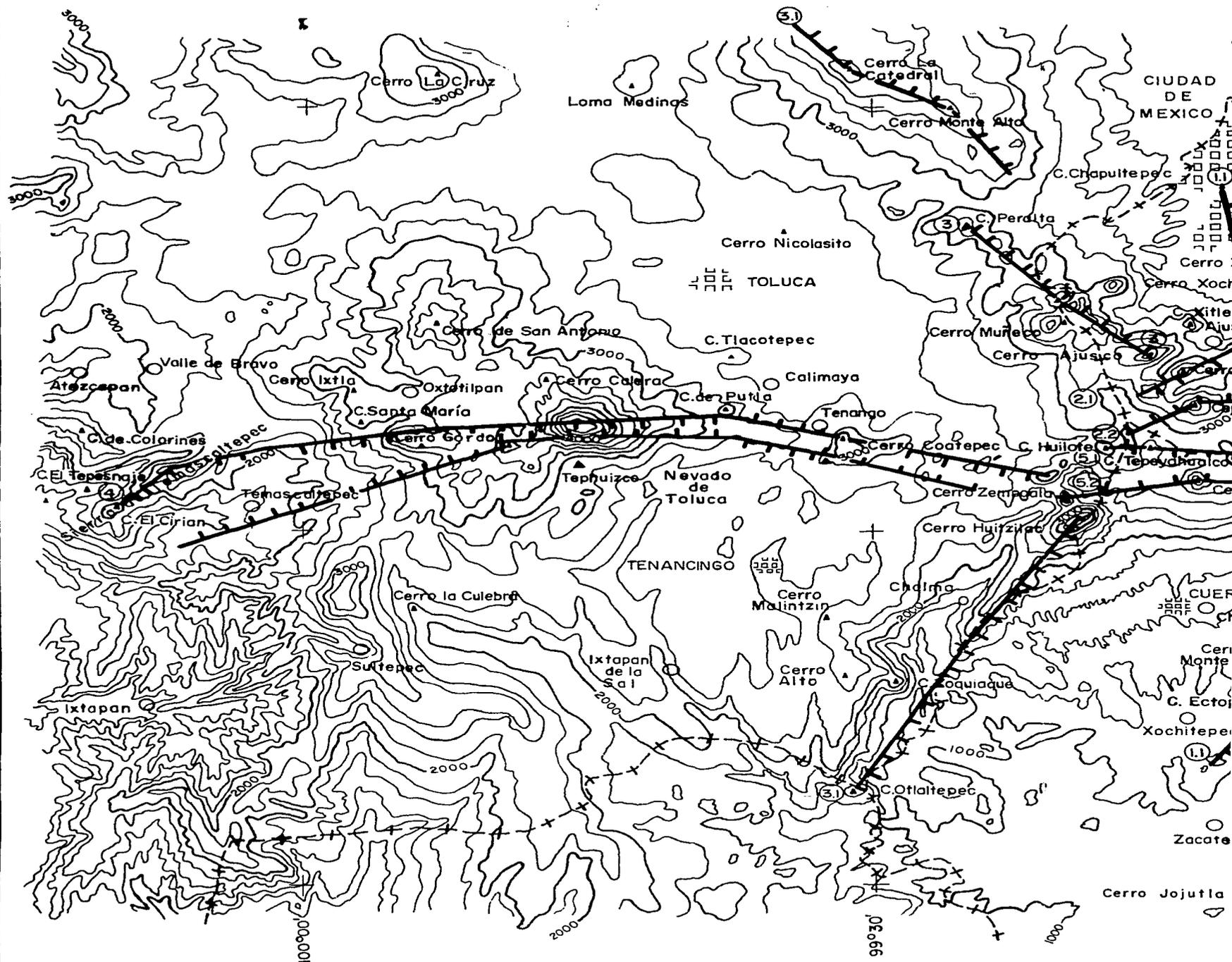
00000000



La depresión de Temascaltepec, en la que se observan terrenos de cultivo que corresponden al municipio del mismo nombre.

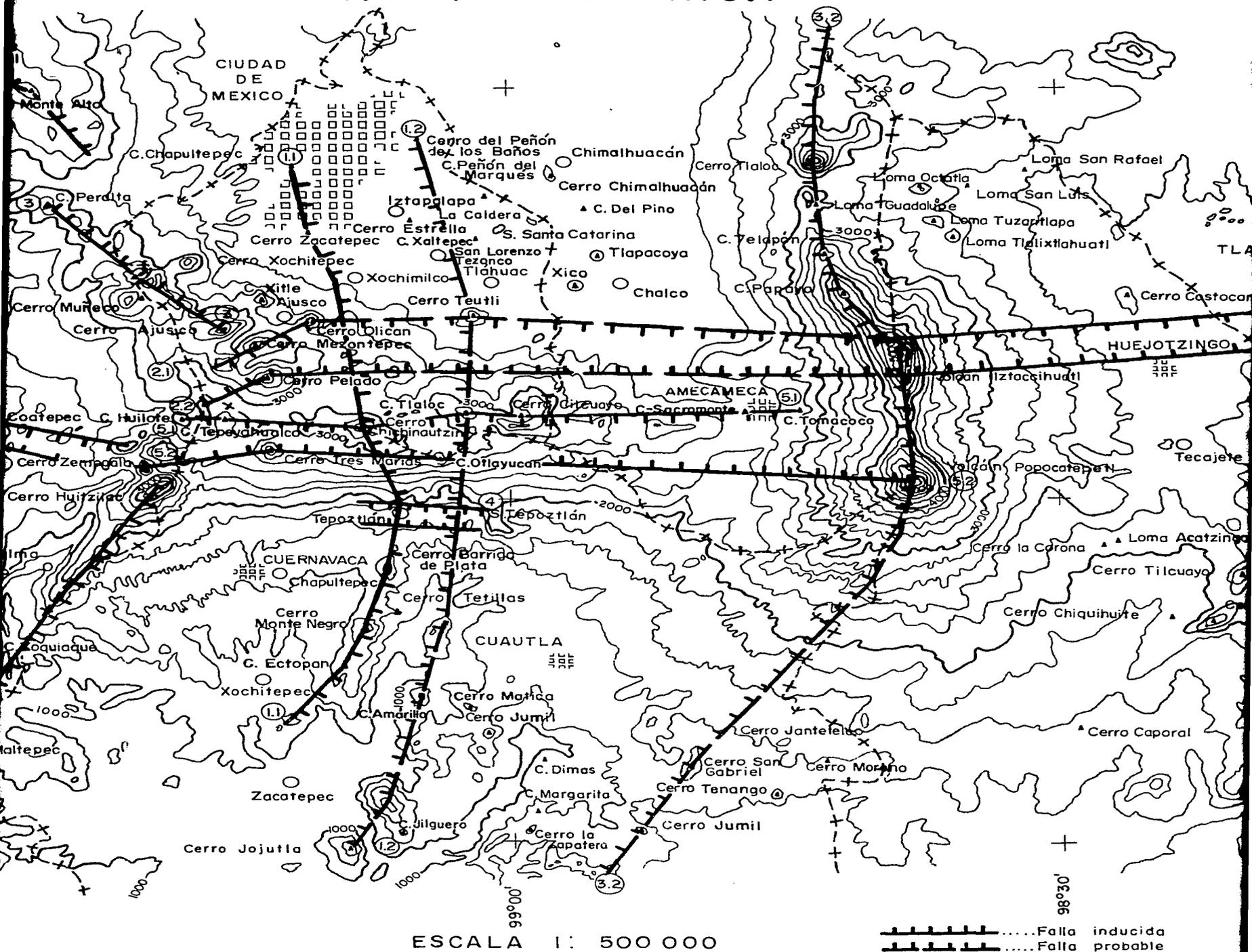


Otro aspecto de la depresión de Temascaltepec que también corresponde a campos de cultivo del mismo municipio.



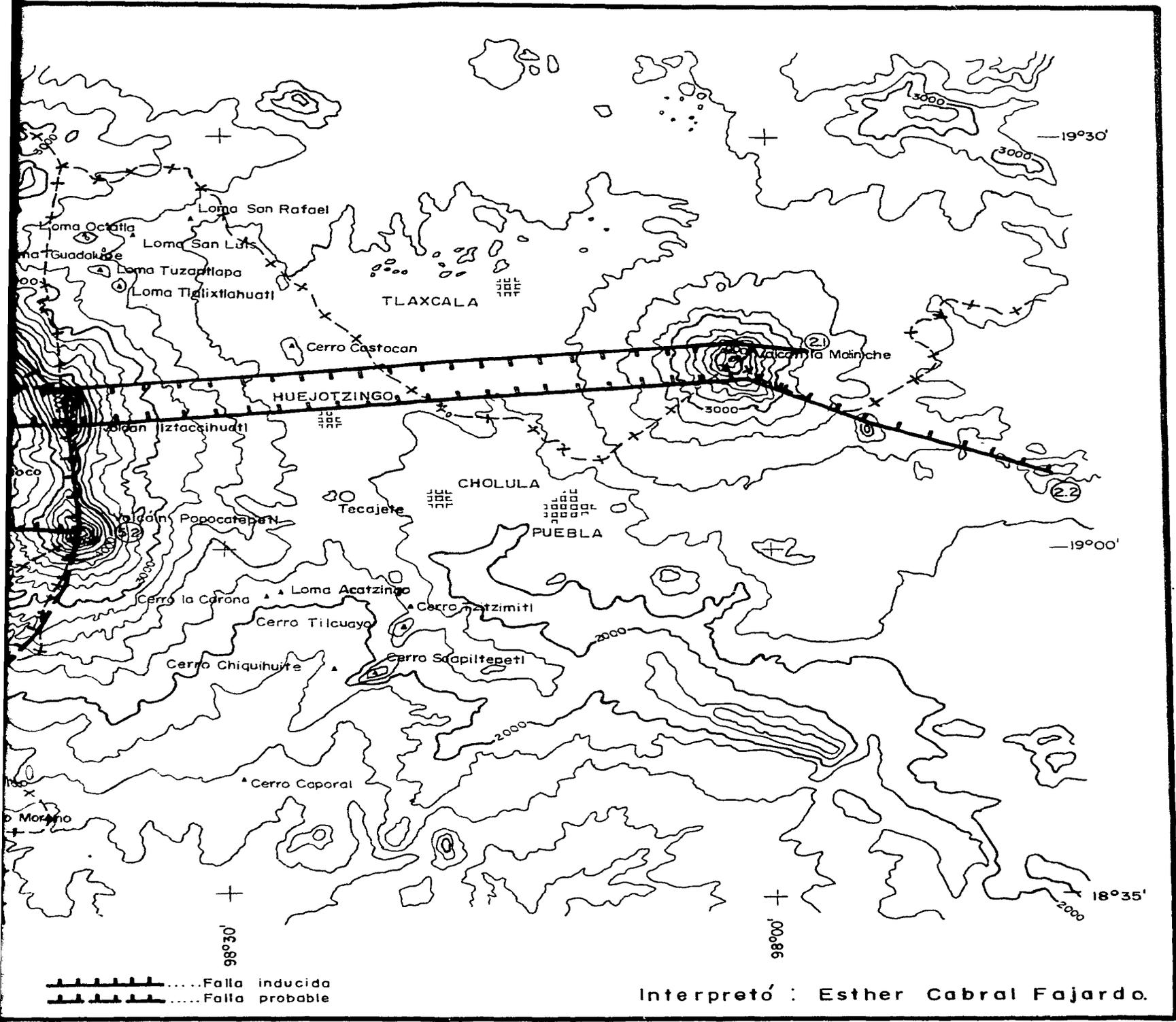
FUENTE: Comité Coordinador del Levantamiento de la Carta de la República.

# CARTA TECTONICA



ESCALA 1: 500 000

----- Falla inducida  
 - - - - - Falla probable

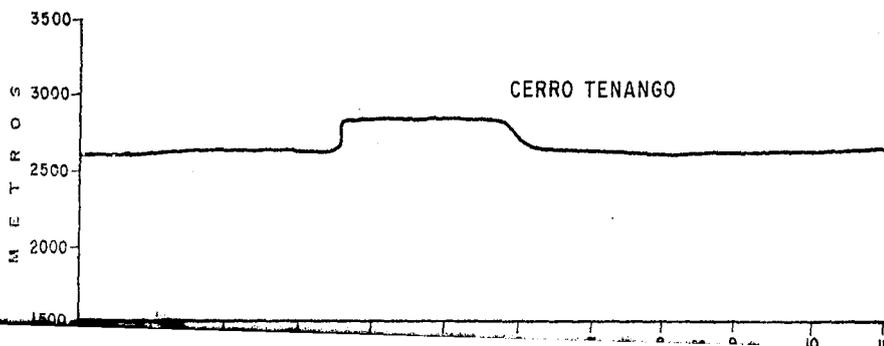
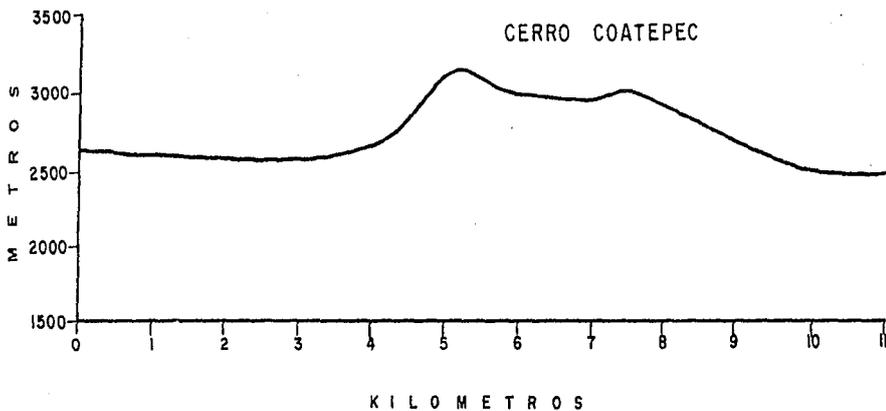
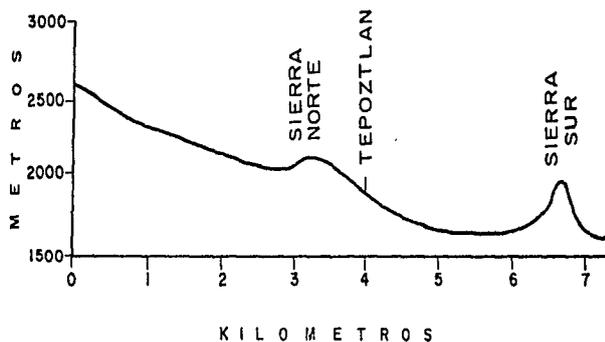


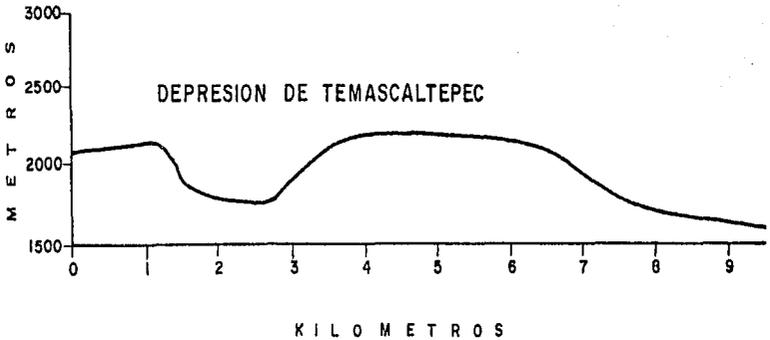
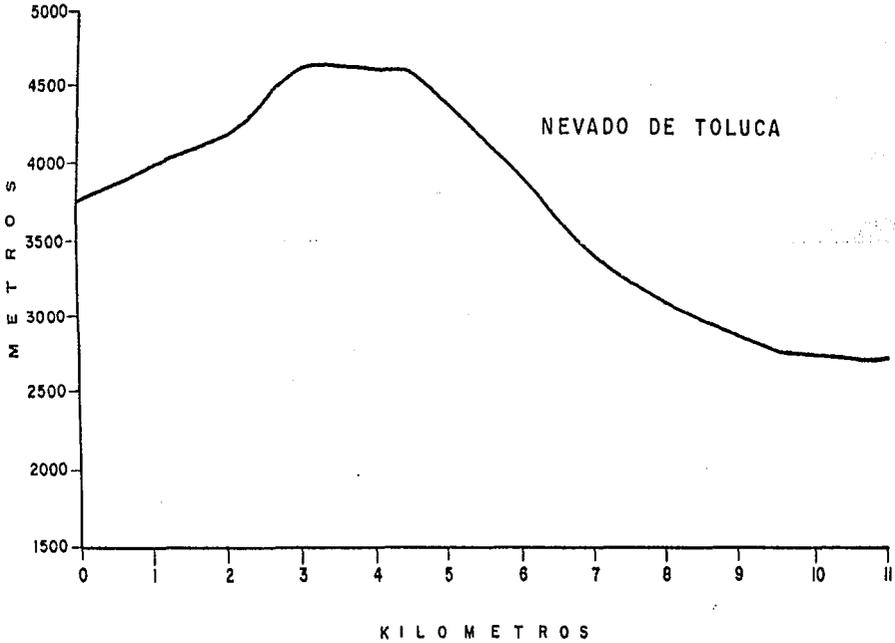
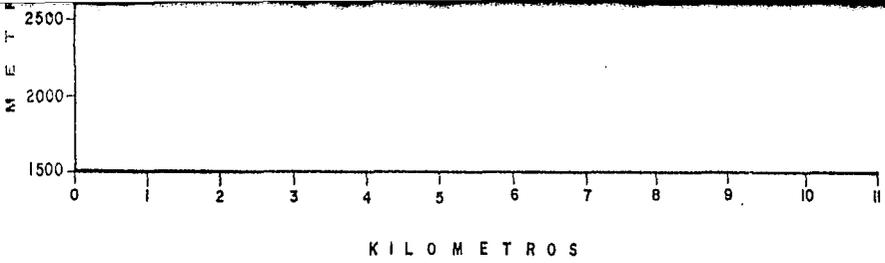
 ..... Falla inducida  
 ..... Falla probable

Interpretó : Esther Cabral Fajardo.

# DEPRESION DEL NEVADO DE TOLUCA Y SUS PROLONGACIONES AL ESTE Y OESTE

## DEPRESION DE TEPOZTLAN



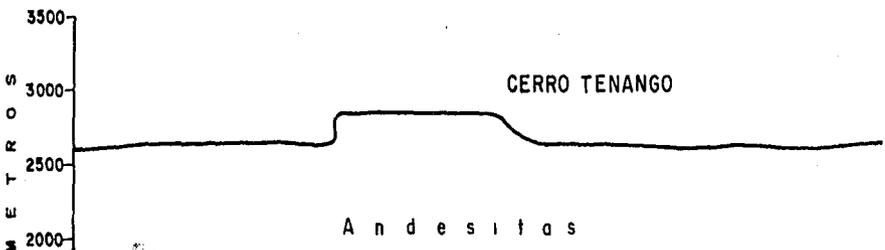
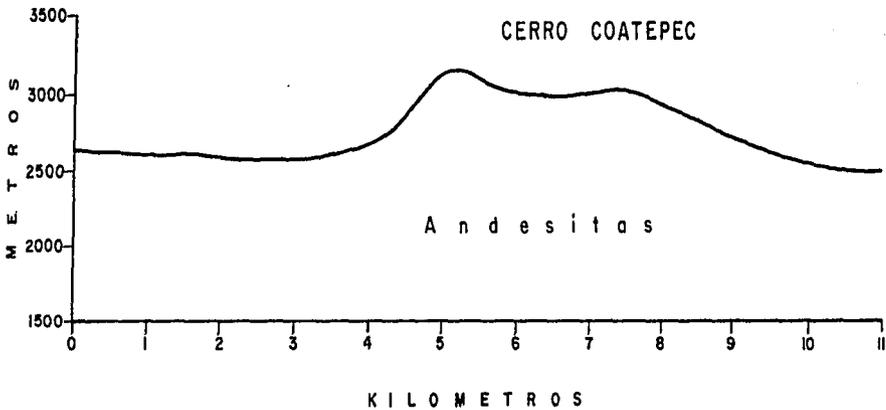
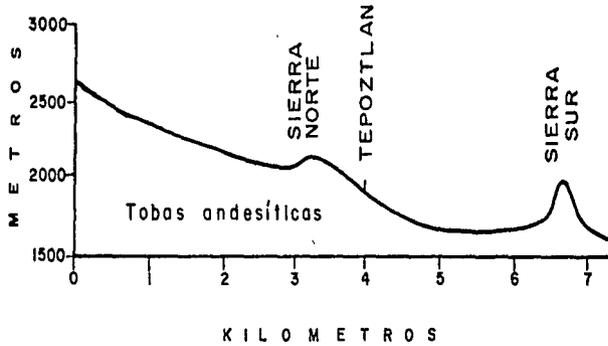


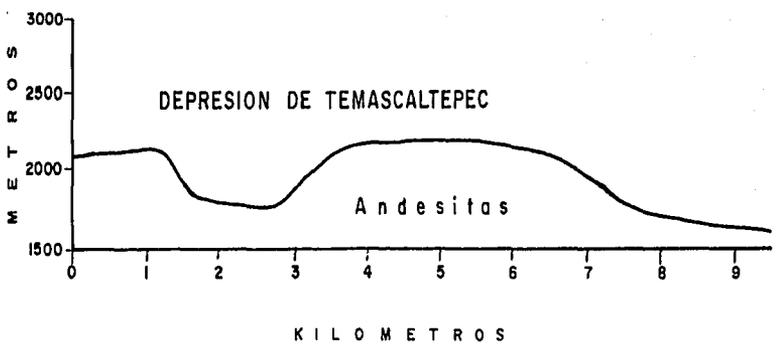
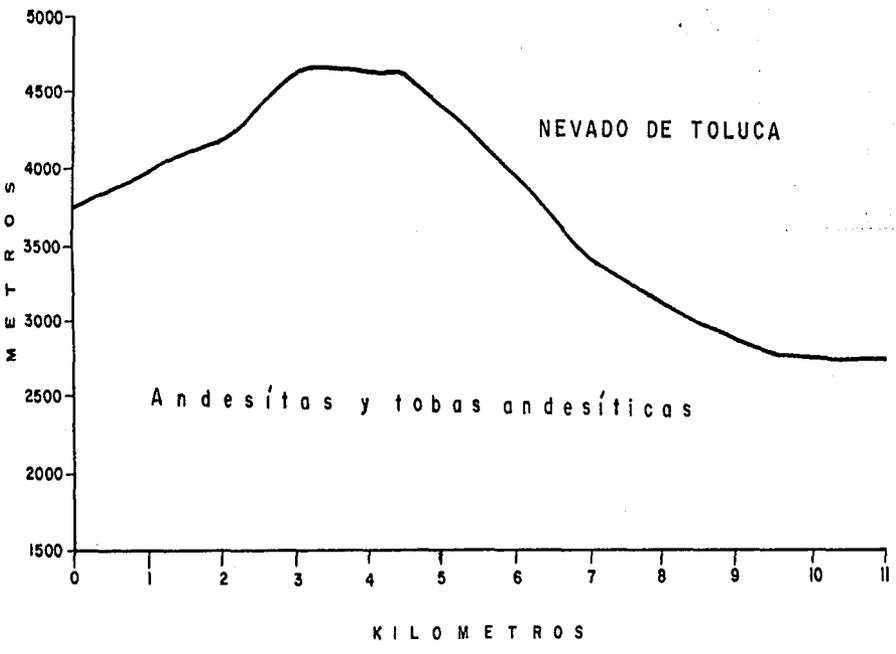
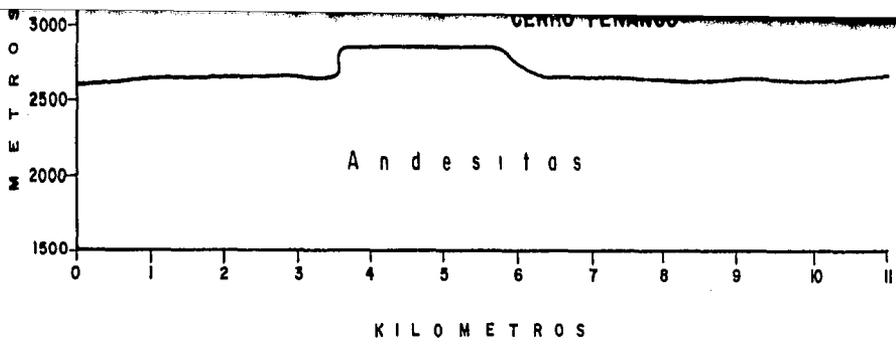
ESCALA VERTICAL 1 : 50 000  
ESCALA HORIZONTAL 1 : 75 000

Formó: Esther Cabral Fajardo  
Dibujó: Raymundo Gutiérrez Téllez

# DEPRESION DEL NEVADO DE TOLUCA Y SUS PROLONGACIONES AL ESTE Y OESTE

DEPRESION DE TEPOZTLAN

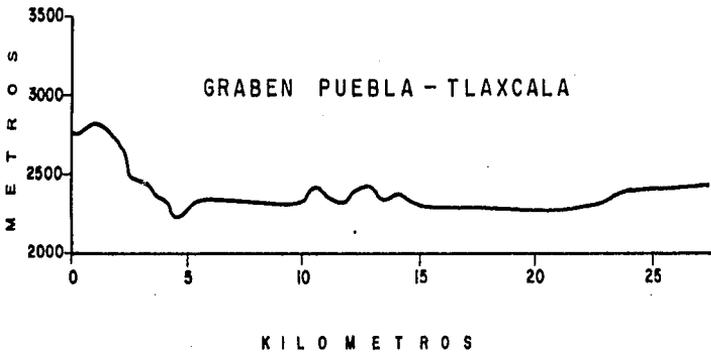
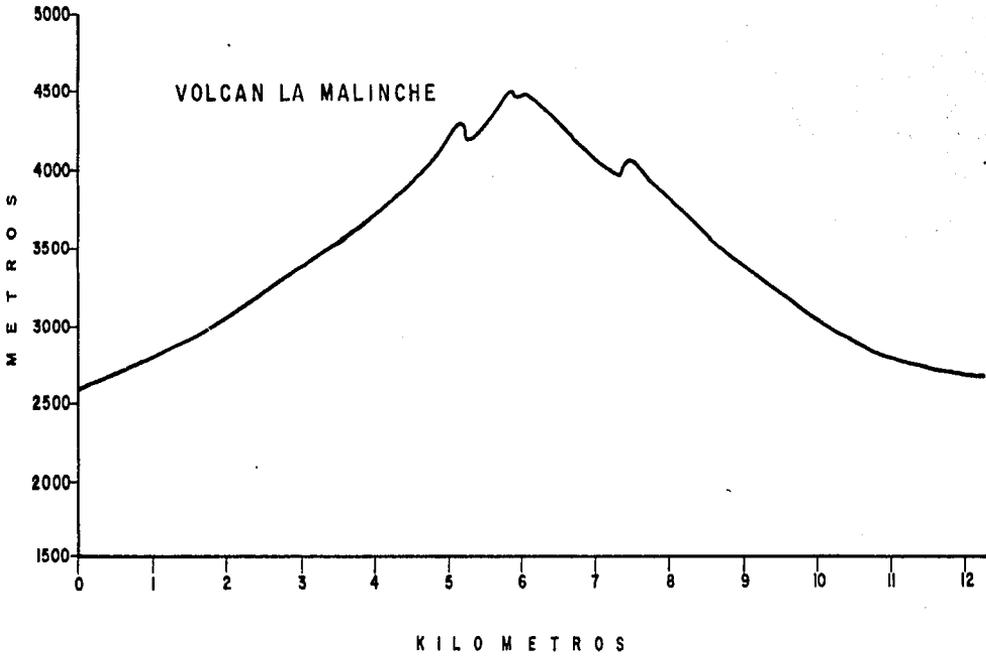


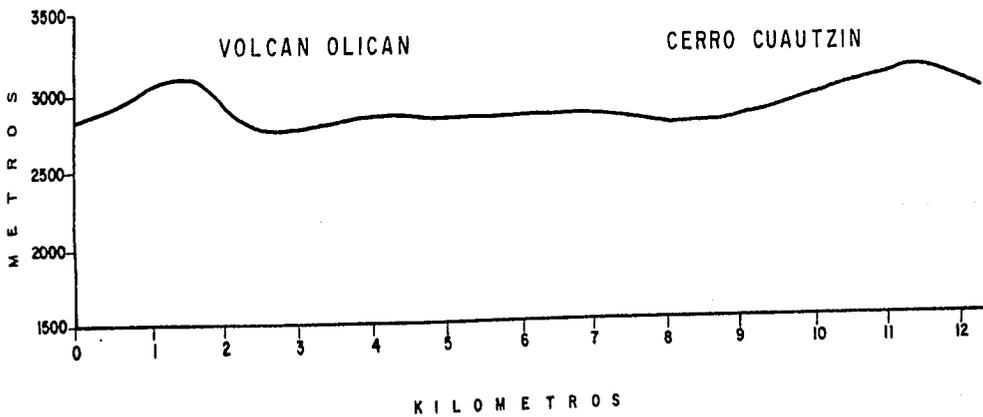
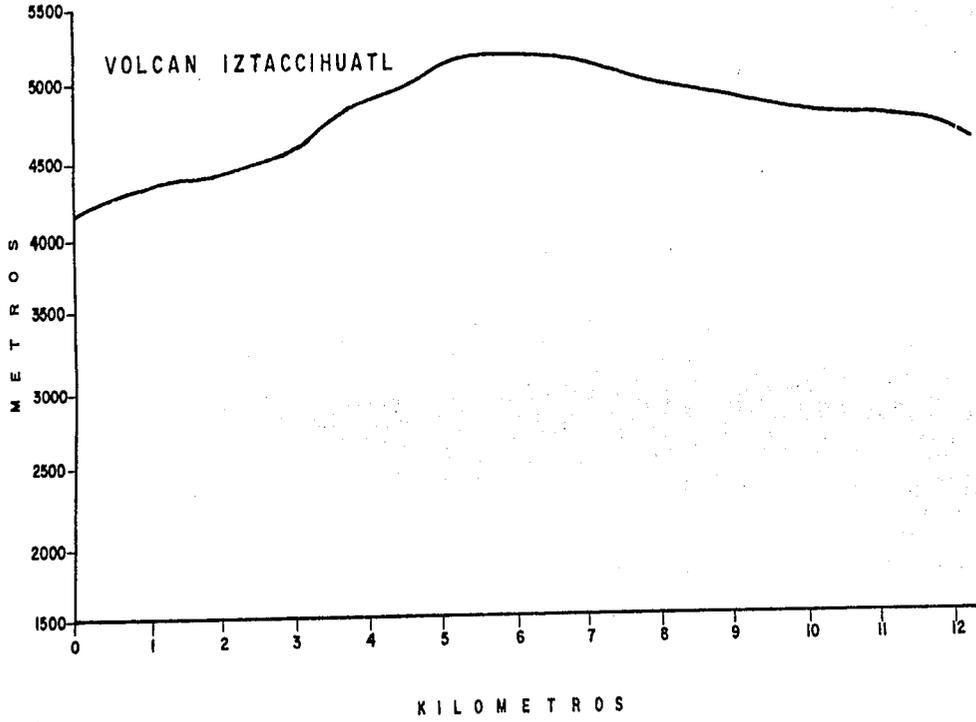
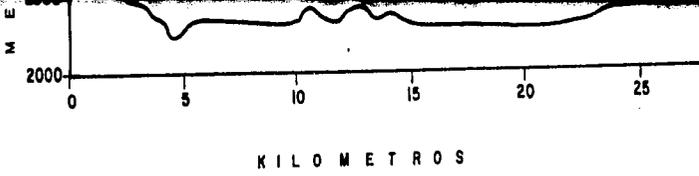


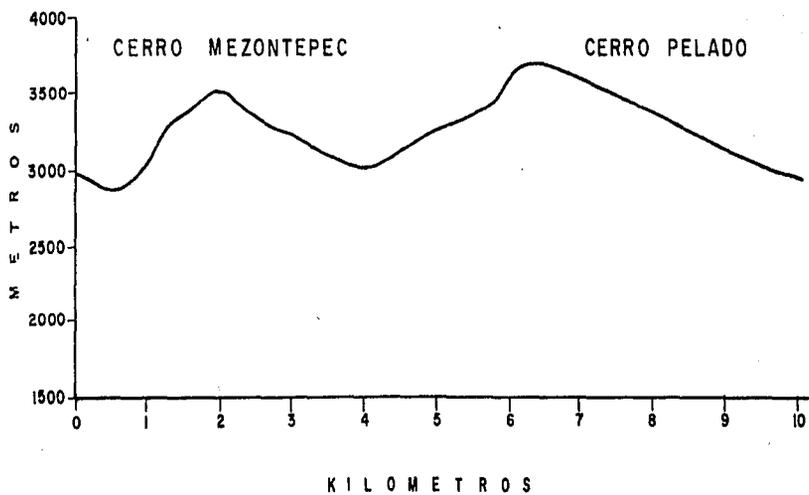
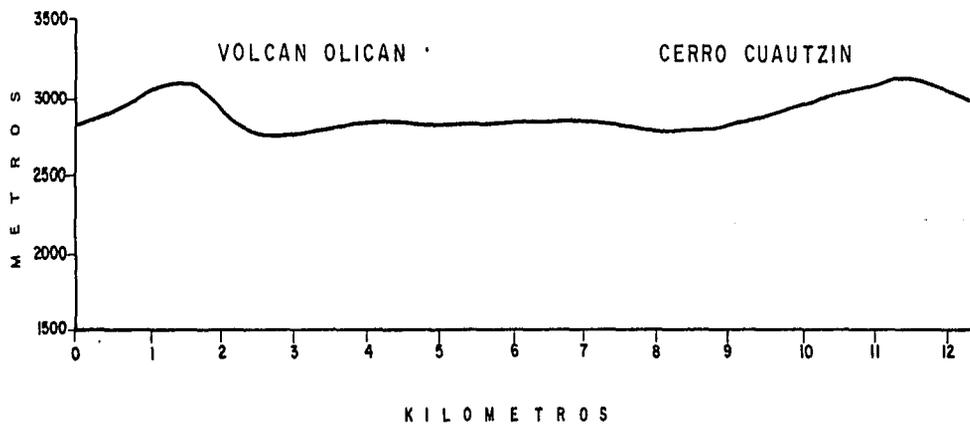
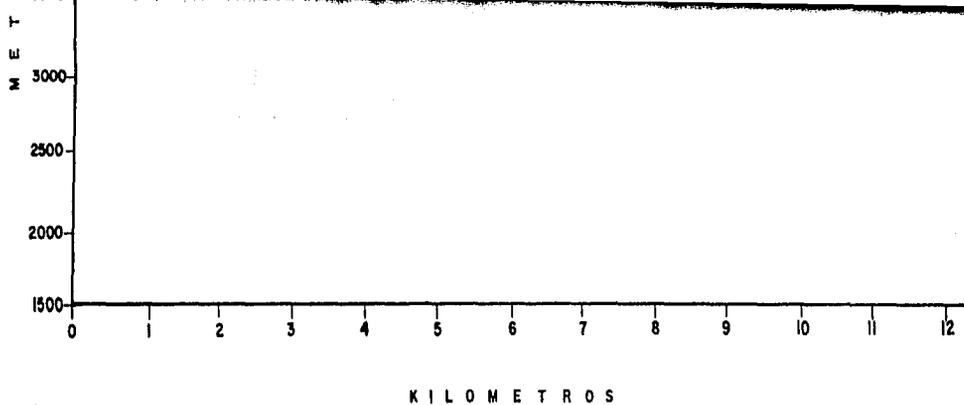
ESCALA VERTICAL 1 : 50 000  
 ESCALA HORIZONTAL 1 : 75 000

Formó : Esther Cabral Fajardo  
 Dibujó : Raymundo Gutiérrez Téllez

# DEPRESION MALINCHE - IZTACCIHUATL Y SU PROLONGACION AL OESTE



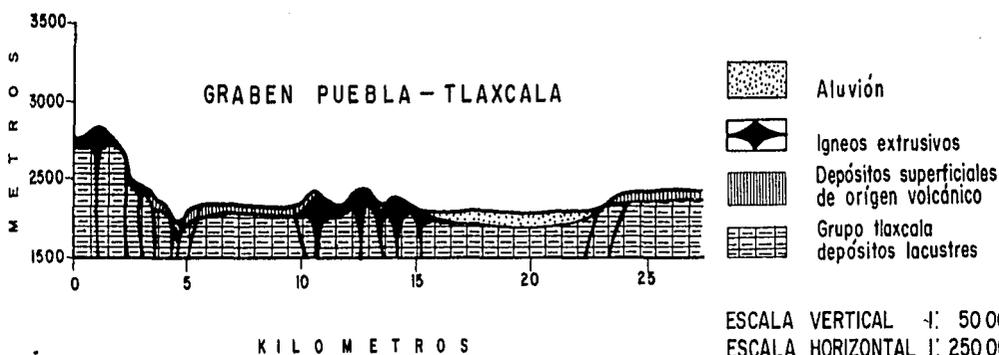
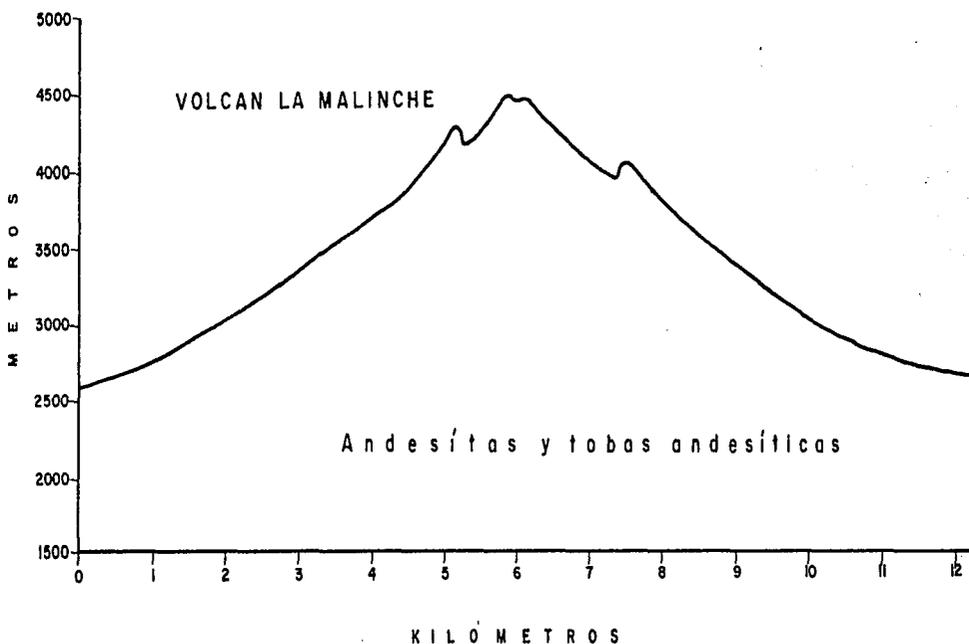




ESCALA VERTICAL 1 : 50 000  
ESCALA HORIZONTAL 1 : 75 000

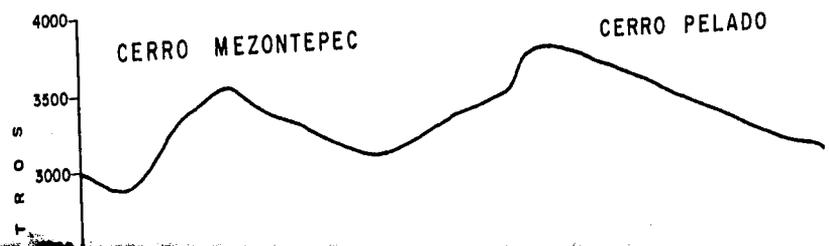
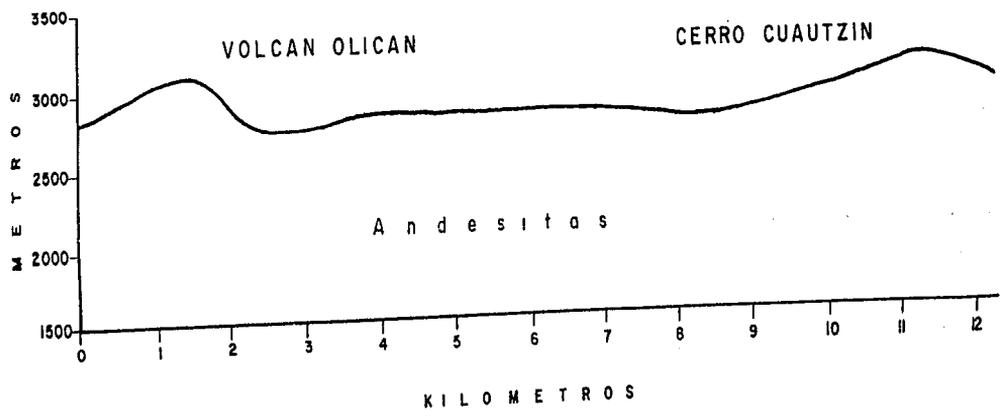
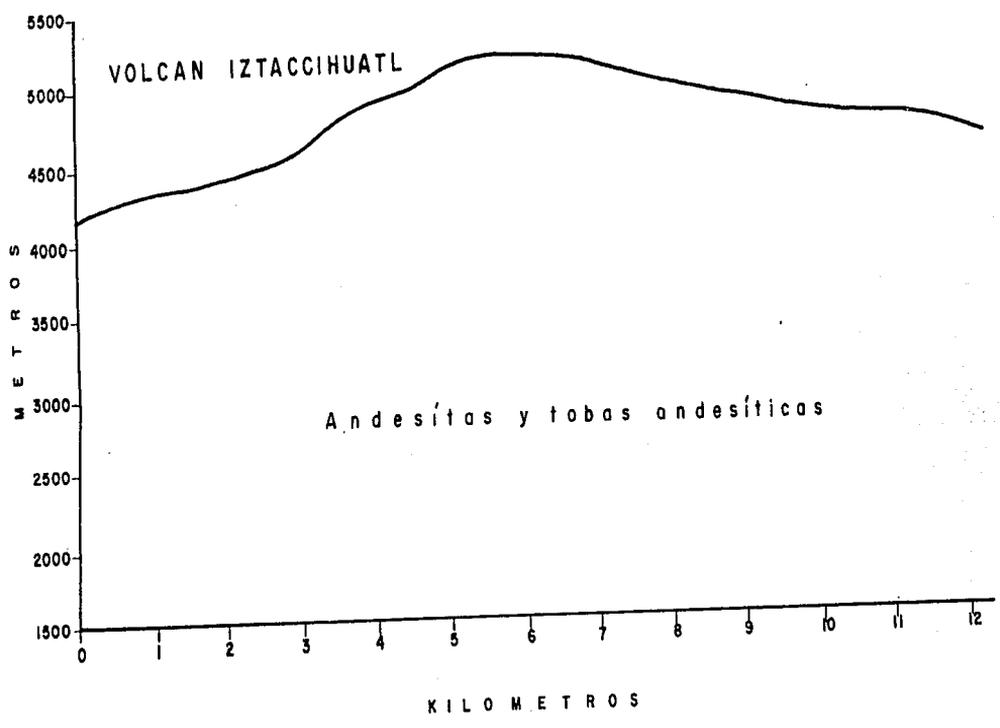
Formó: Esther Cabral Fajardo  
Dibujó: Raymundo Gutiérrez Téllez

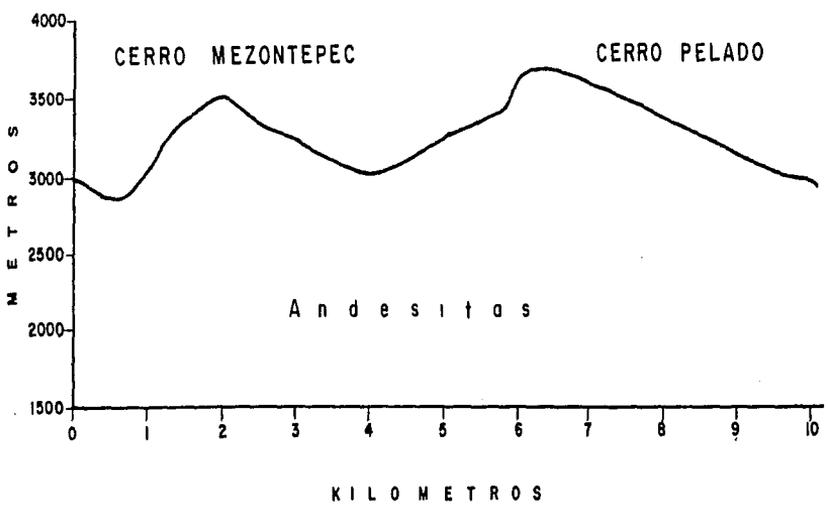
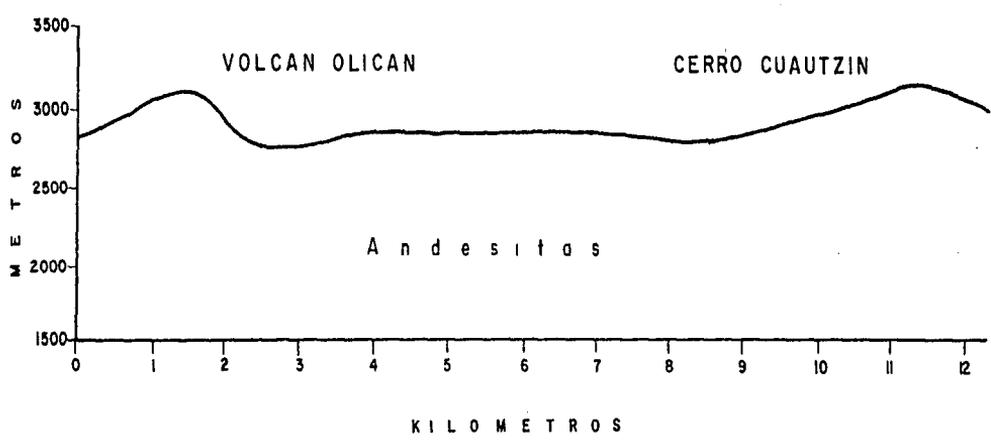
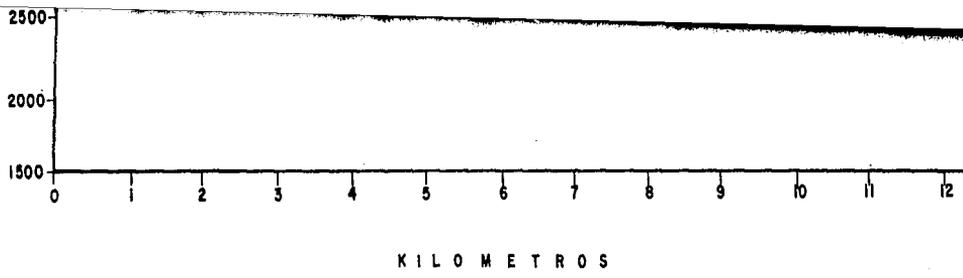
# DEPRESION MALINCHE - IZTACCIHUATL Y SU PROLONGACION AL OESTE



K I L O M E T R O S

ESCALA VERTICAL 1: 50 000  
ESCALA HORIZONTAL 1: 250 000

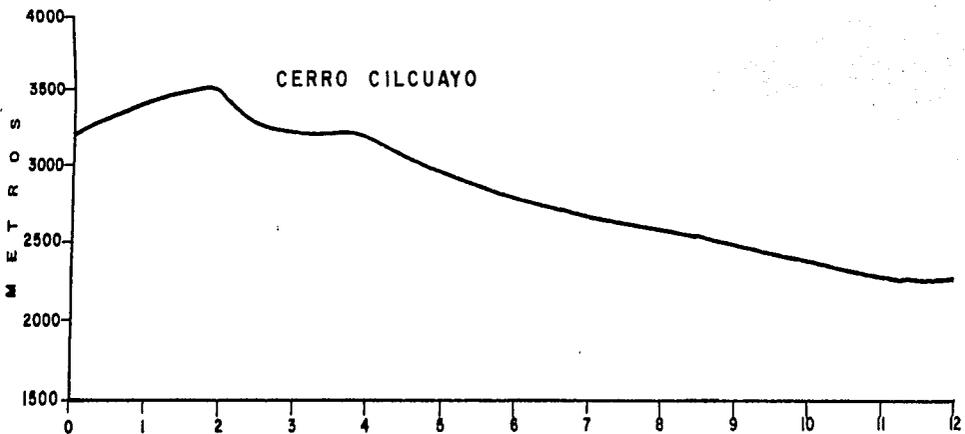
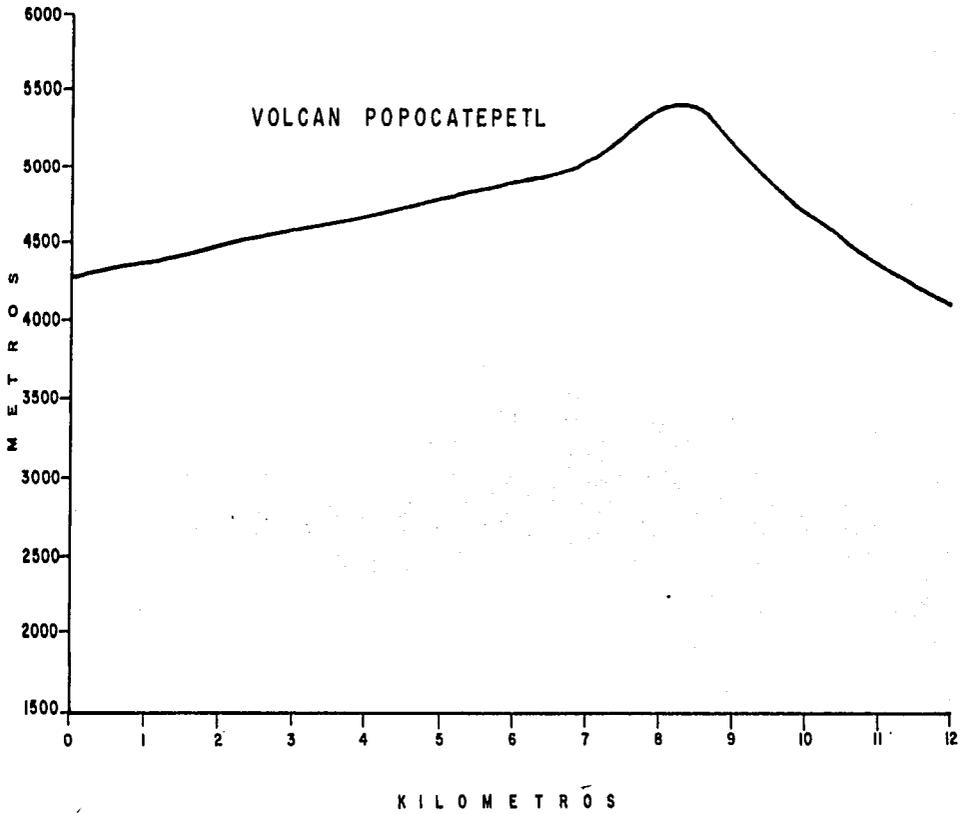


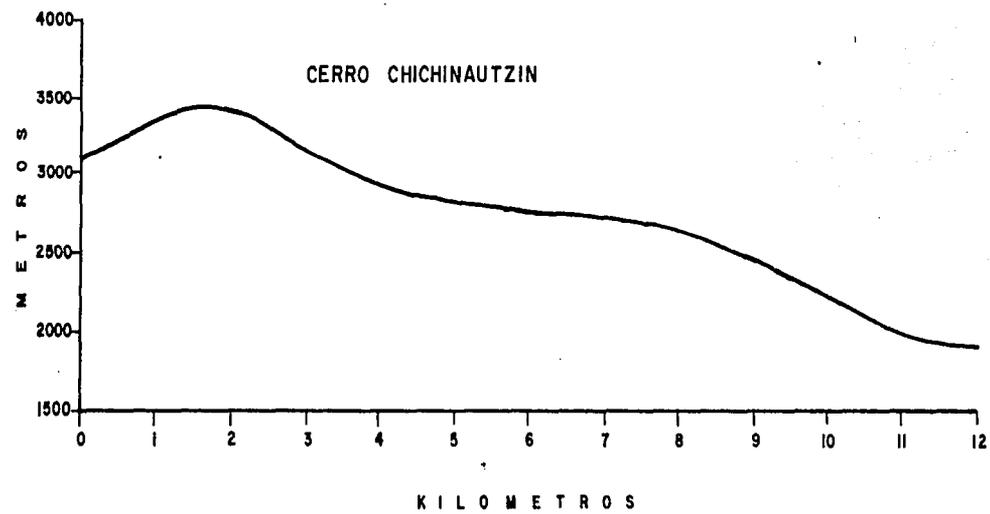
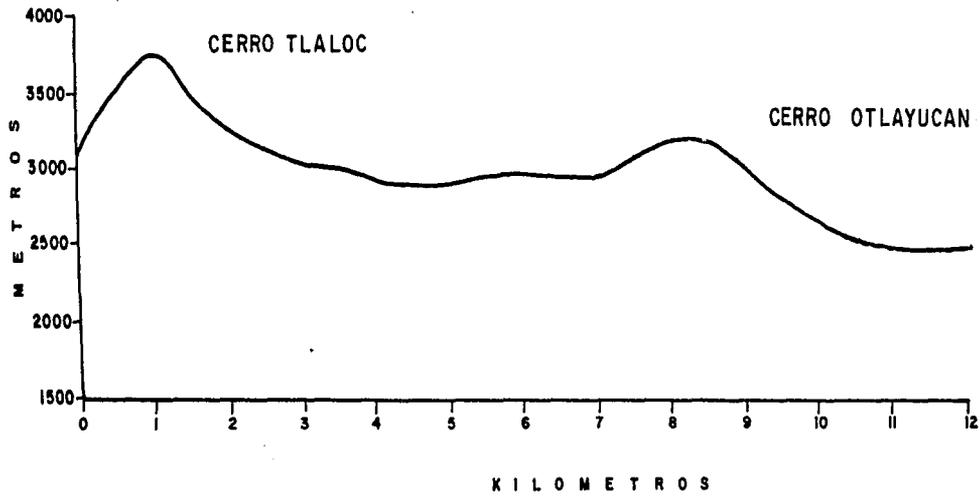
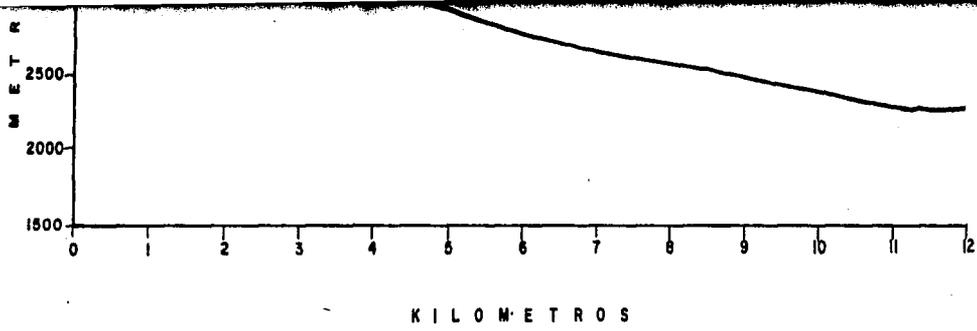


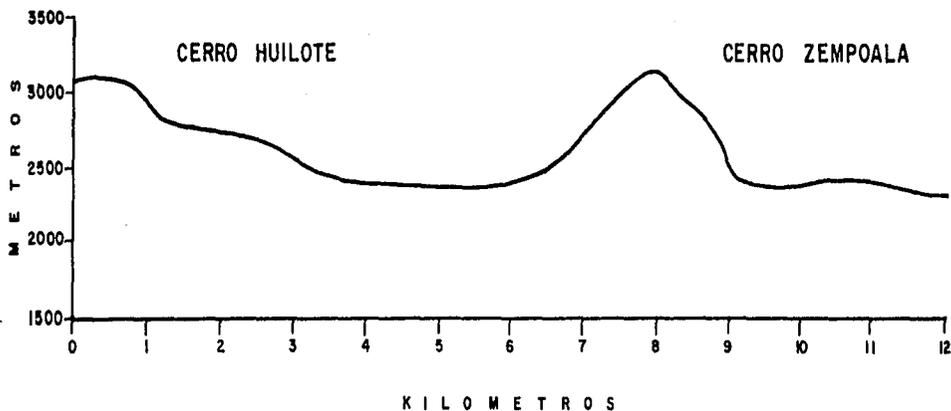
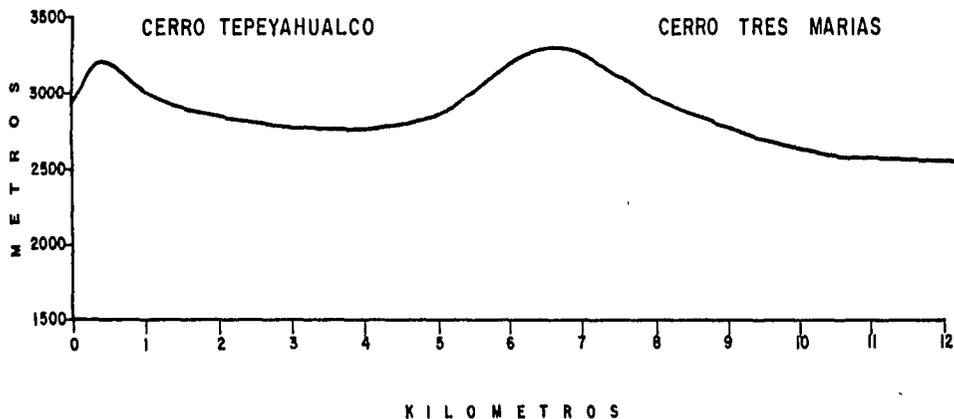
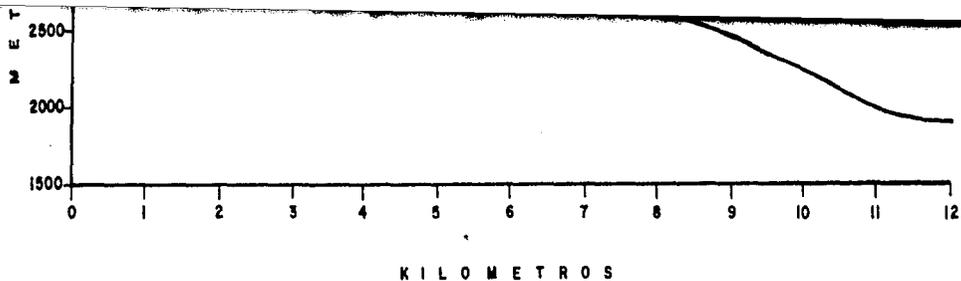
ESCALA VERTICAL 1 : 50 000  
 ESCALA HORIZONTAL 1 : 75 000

Formó : Esther Cabral Fajardo  
 Dibujó : Raymundo Gutiérrez Téllez

# DEPRESION CHICHINAUTZIN - TLALOC



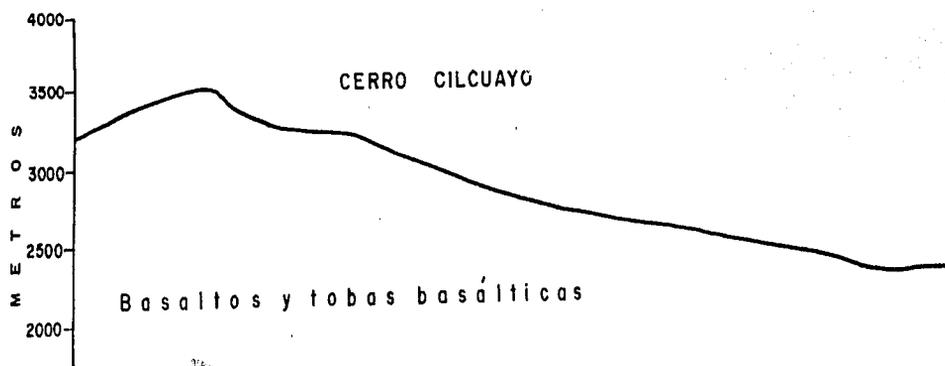
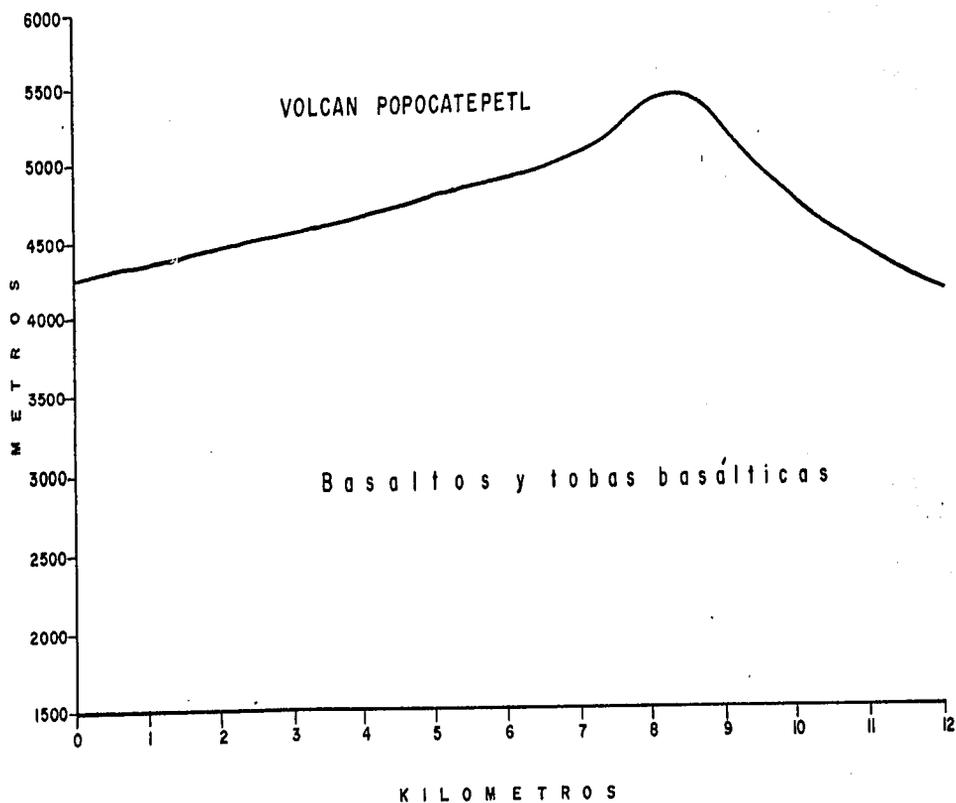


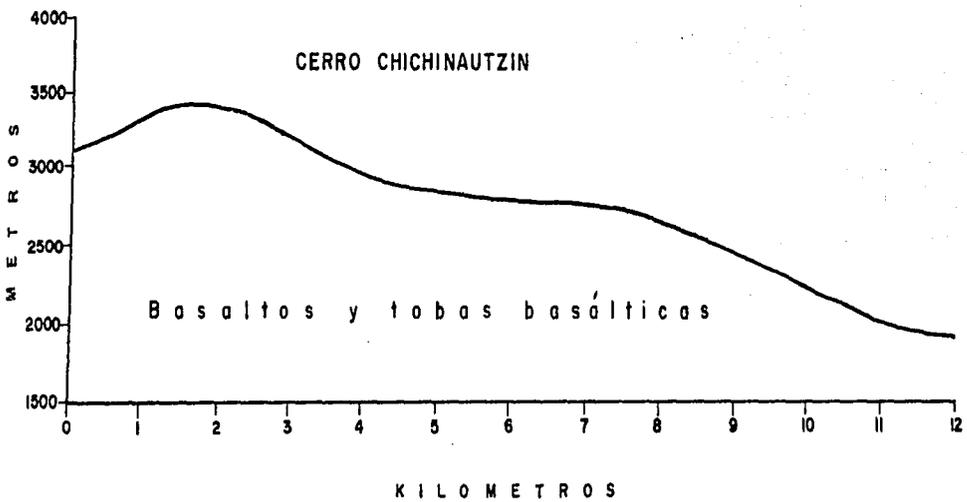
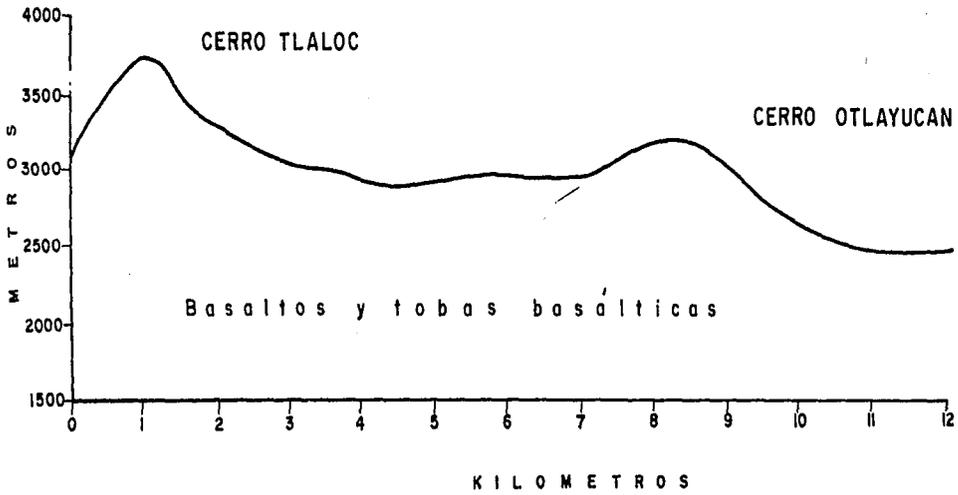
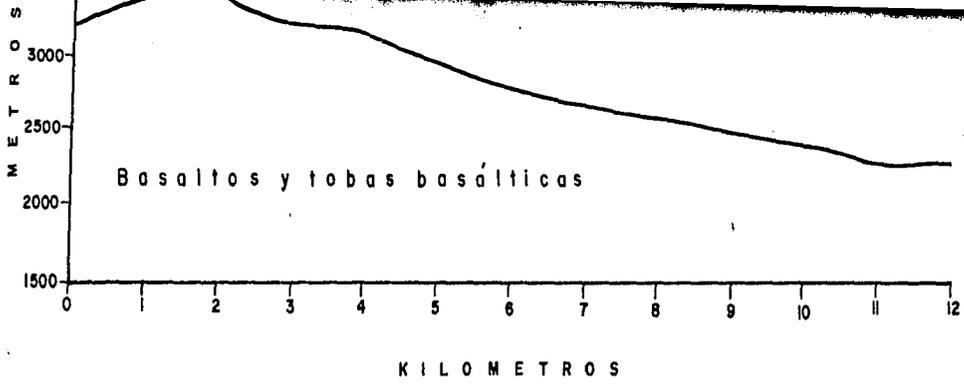


ESCALA VERTICAL 1 : 50 000  
 ESCALA HORIZONTAL 1 : 75 000

Formó : Esther Cabral Fajardo  
 Dibujo : Raymundo Gutiérrez Téllez

# DEPRESION CHICHINAUTZIN - TLALOC

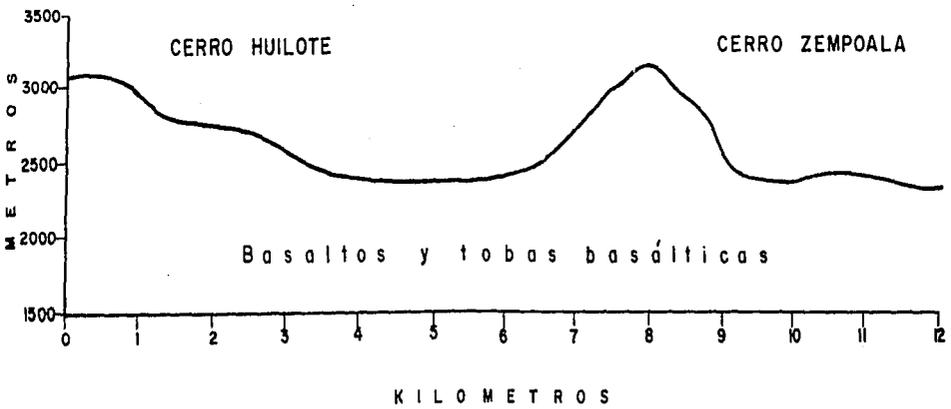
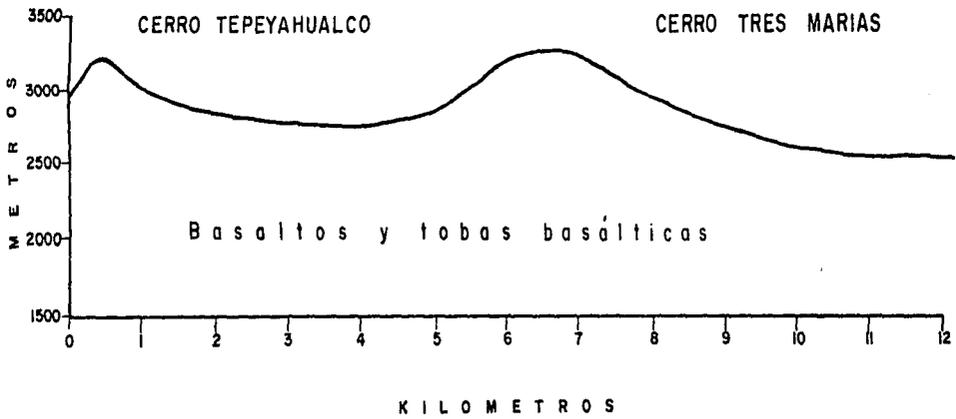
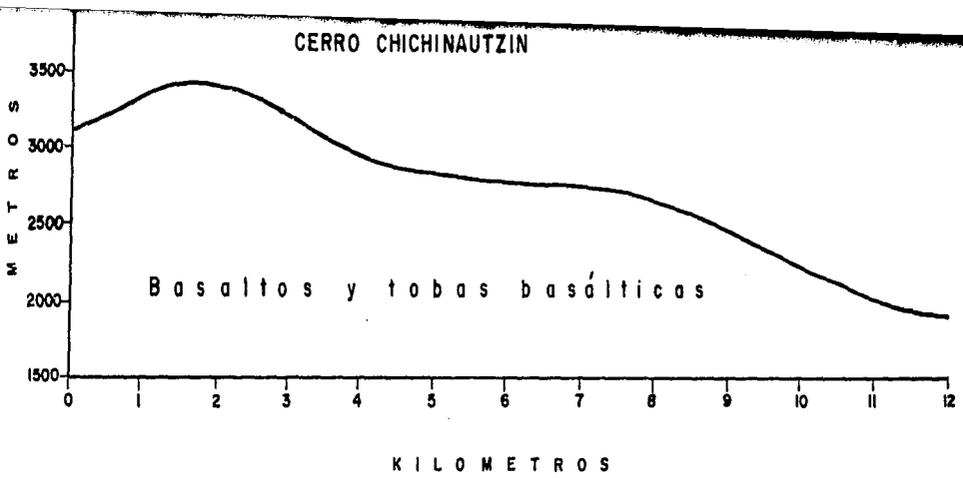




3500

CERRO TEPEYAHUALCO

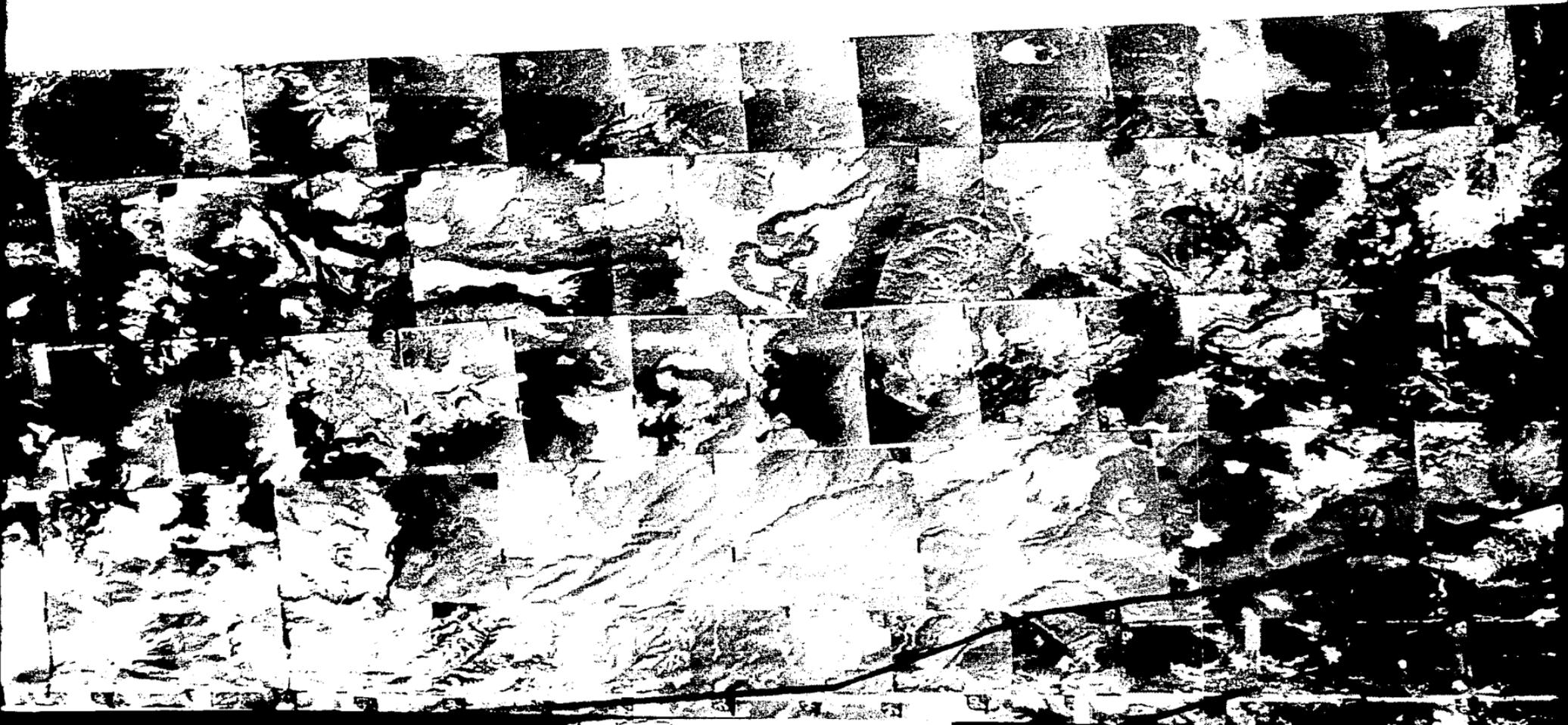
CERRO TRES MARIAS



ESCALA VERTICAL 1 : 50 000  
 ESCALA HORIZONTAL 1 : 75 000

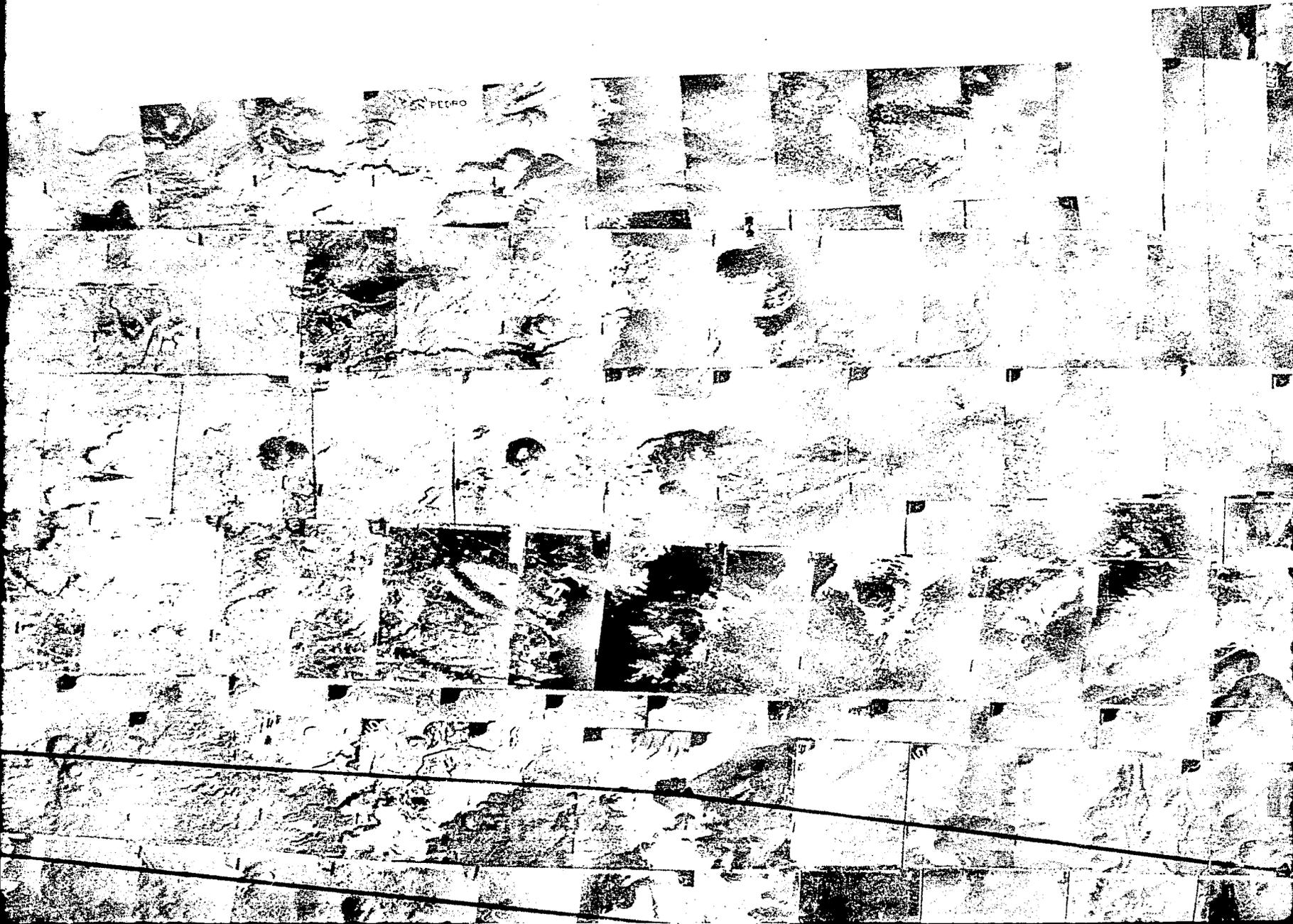
Formó : Esther Cabral Fajardo  
 Dibujó : Raymundo Gutiérrez Téllez



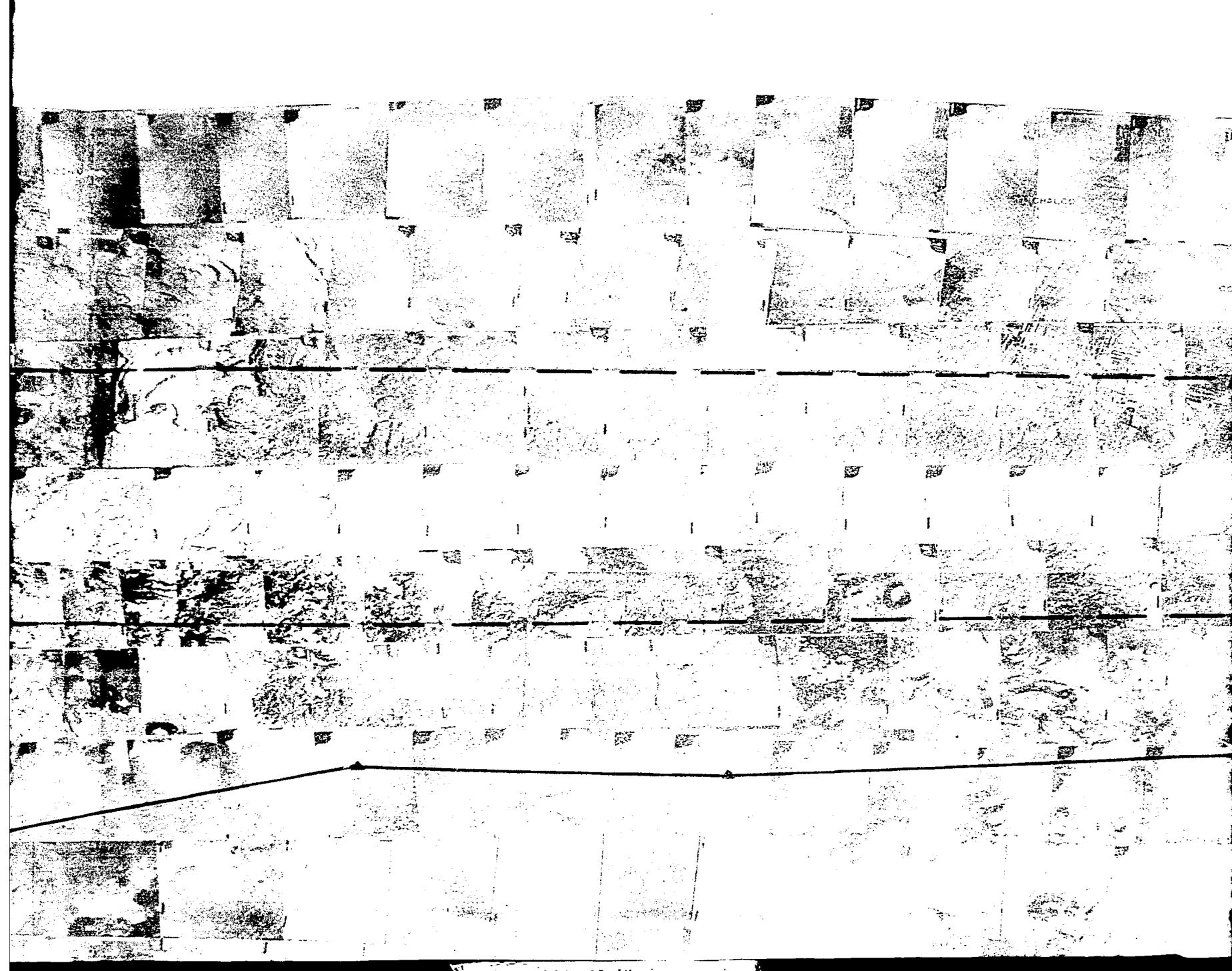












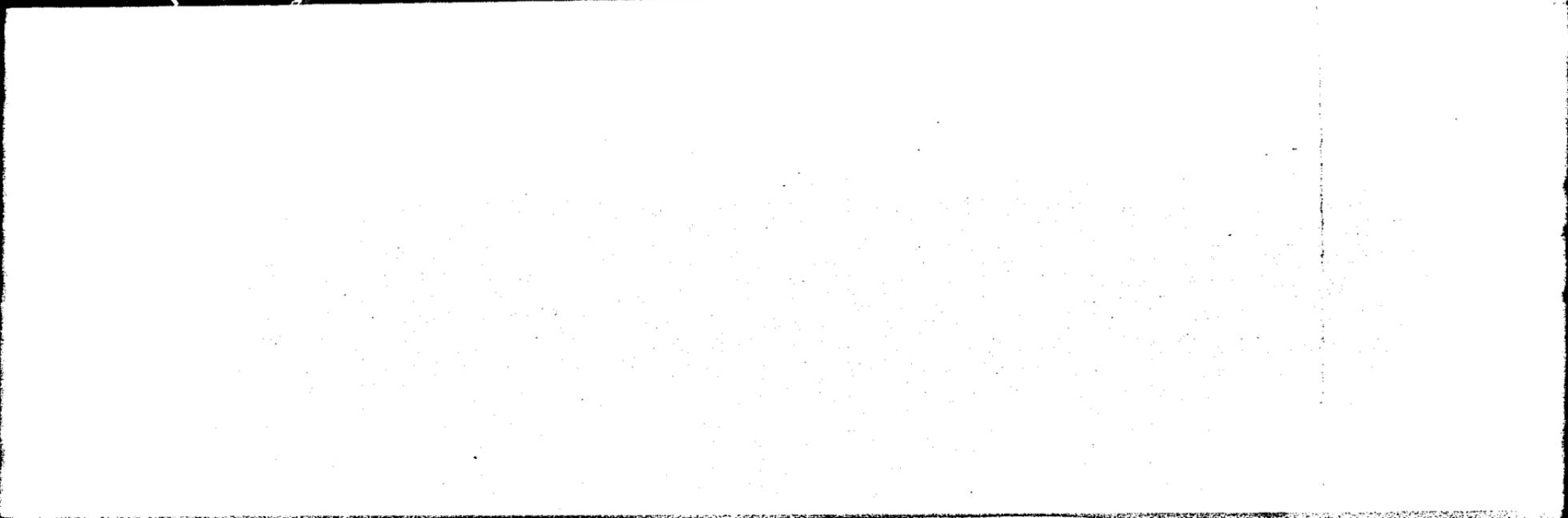


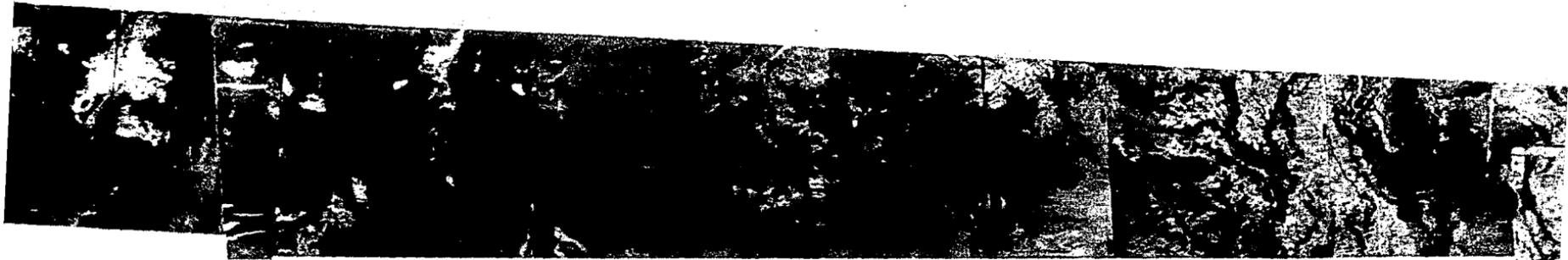
CHALCO

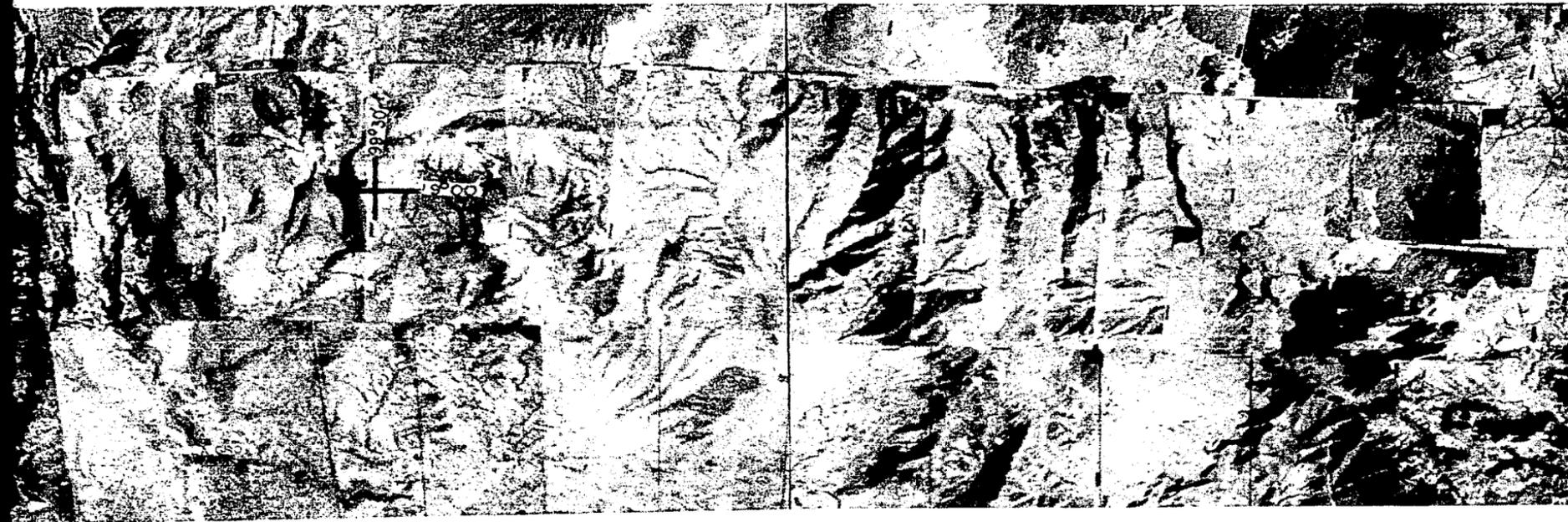
COOT PLAN

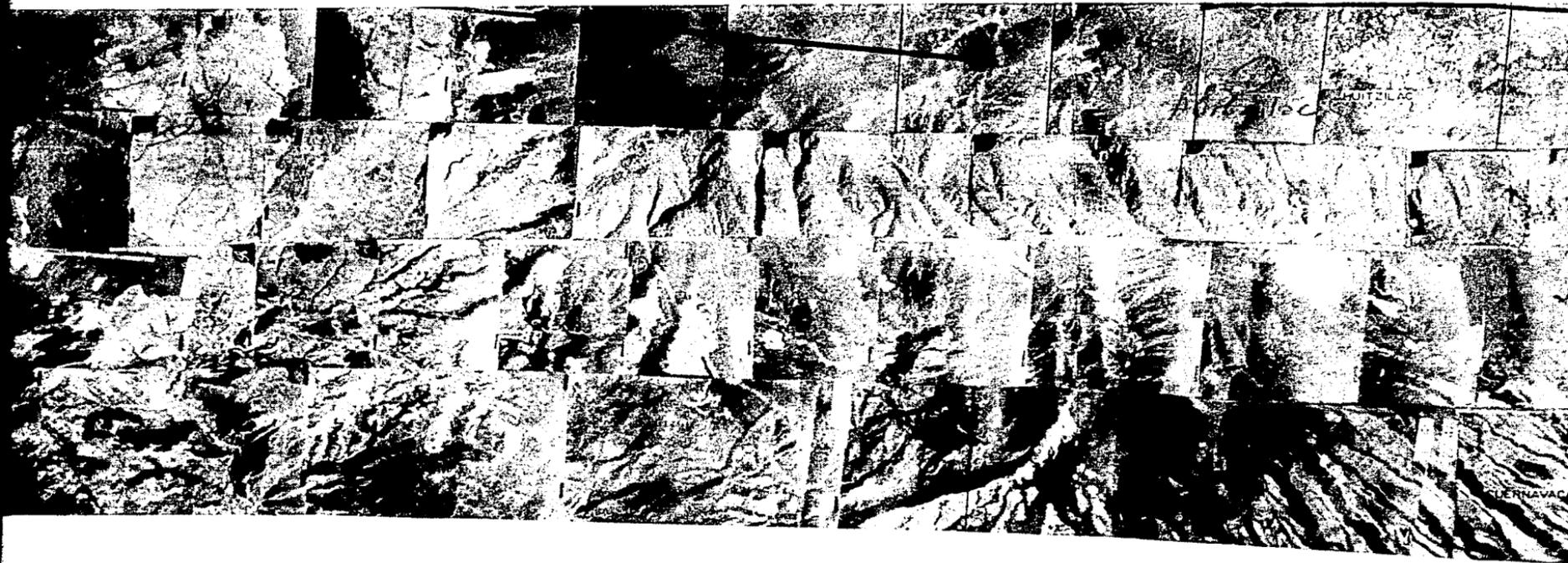
AMECAMECA

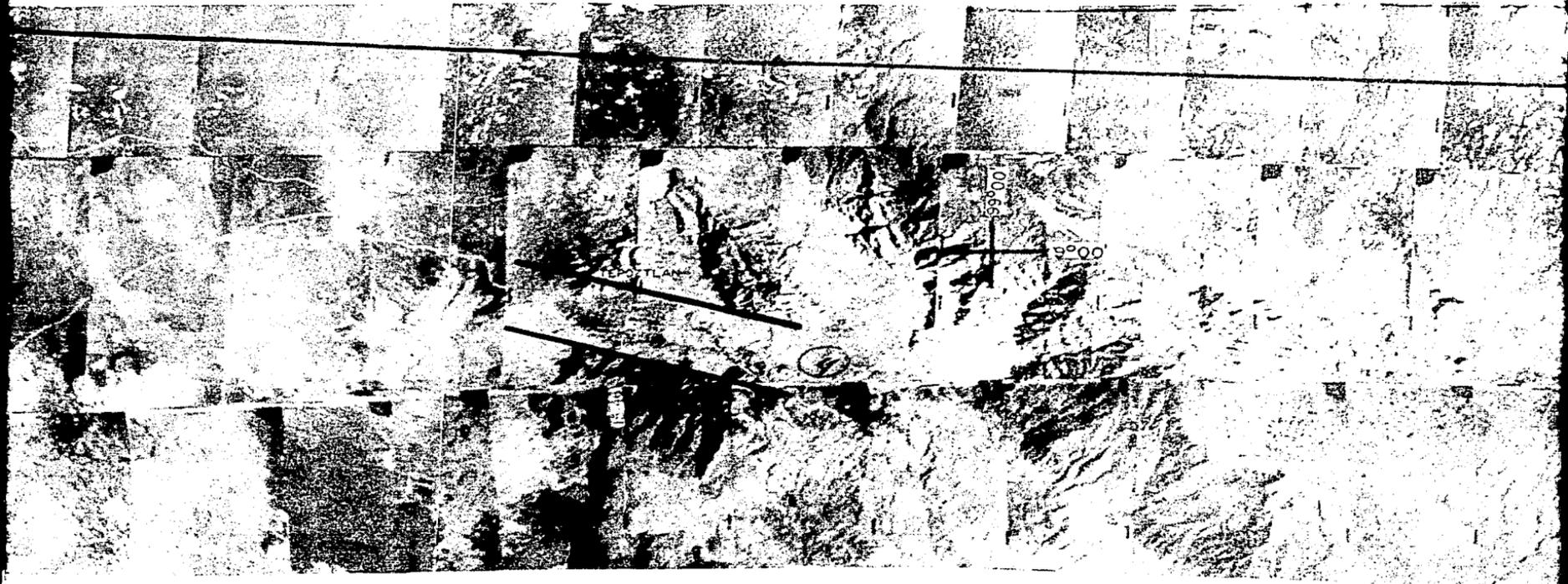












100

00



