

2ej. 26



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**“ GEOMORFOLOGIA DE LA VERTIENTE ORIENTAL DE LA
SIERRA NEVADA (CUENCA PUEBLA - TLAXCALA) ”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO GEOLOGO
P R E S E N T A
BEATRIZ ORTEGA GUERRERO

NOVIEMBRE

1984



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

I N T R O D U C C I O N

I. RASGOS FISIOGRAFICOS Y GEOLOGICOS PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL EJE NEVOLCANICO TRANSMEXICANO.

- Composición
- Edad
- Origen

PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LA SIERRA NEVADA.

- Estratigrafía
- Composición
- Edad

II. GEOMORFOLOGIA MORFOMETRIA

- Profundidad de disección
- Frecuencia de corrientes de segundo orden

MORFOGENESIS

1. RELIEVE ENDOGENO
 - Relieve volcánico acumulativo
2. RELIEVE ENDOGENO MODELADO
 - Relieve volcánico denudatorio
3. RELIEVE EXOGENO
 - Relieve erosivo o denudatorio
 - Relieve acumulativo

DINAMICA ACTUAL

III. APLICACIONES ECONOMICAS Y CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXO PETROGRAFICO

INTRODUCCION

El estudio geomorfológico de la vertiente oriental de la Sierra Nevada, es el tema central de este trabajo, elaborado para ser presentado como tesis profesional para obtener el título de -- ingeniero geólogo.

La zona elegida para esta tesis queda comprendida en un mapa escala 1: 50 000 ("Huejotzingo") y es parte de un proyecto de investigación del Instituto de Geografía de la UNAM, mismo que - consiste en la elaboración de mapas geomorfológicos de las cuencas de Toluca, México, Puebla-Tlaxcala, y Oriental.

Se pretende, que aplicando varios métodos de la geomorfología - moderna, obtener una información diversa sobre el relieve de la zona elegida para estudio, con el fin principal de comprender - mejor el origen, evolución y dinámica actual de las formas de - la superficie que están presentes.

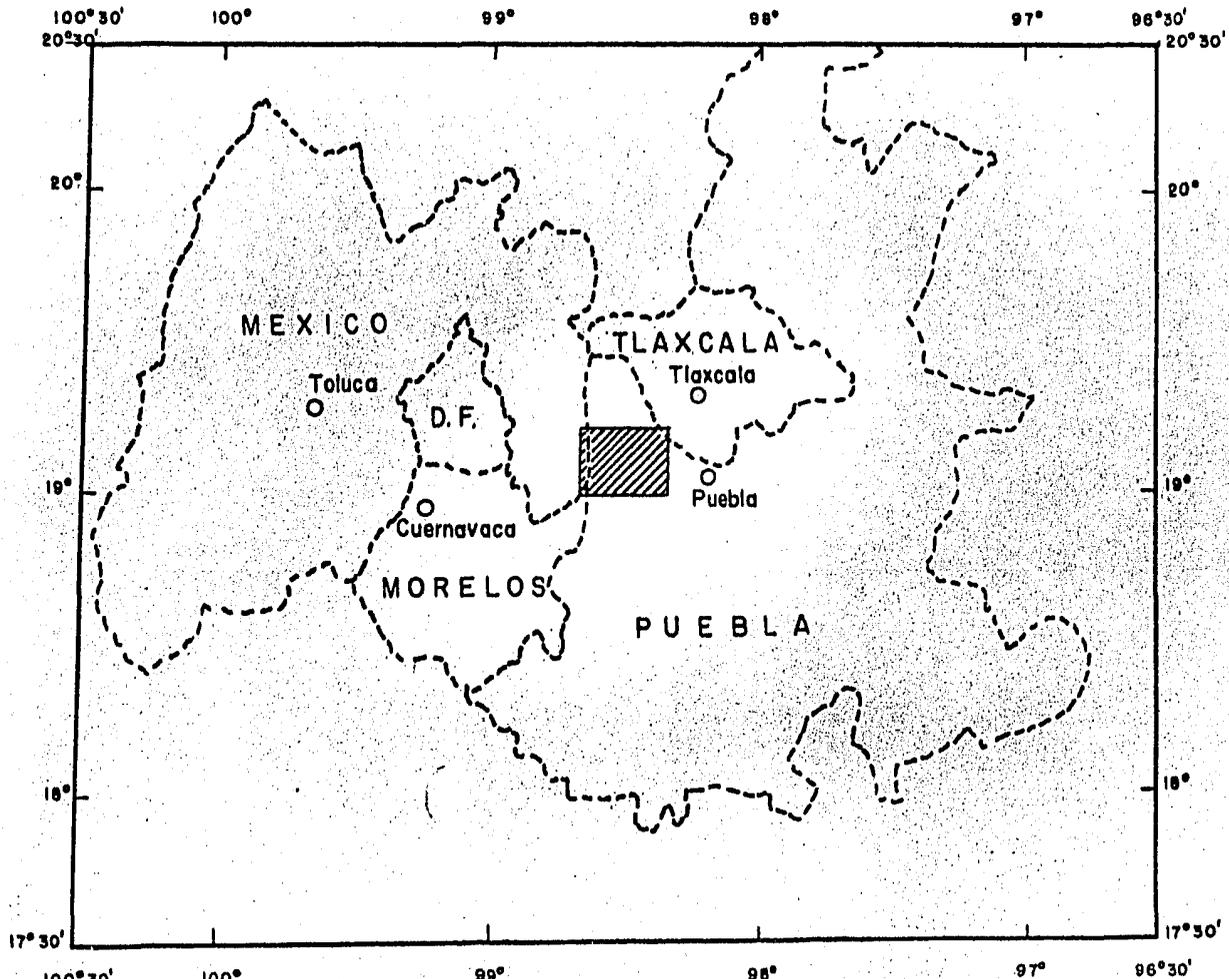
No se programó este trabajo para resolver un problema económico determinado, sino que se trata de una investigación y tenemos - la convicción de, que los resultados aquí expuestos, y las interpretaciones que hacemos son útiles para la resolución de problemas relacionados con las aguas superficiales y subterráneas, - construcción de grandes obras de ingeniería, asentamientos humanos. etc. etc.

Los mapas morfométricos y geomorfológicos que se presentan son originales, y al igual que un mapa geológico, la información que contienen no resuelven un problema por sí sólo, sino por la correcta interpretación que se haga de la misma.

La zona que abarca este estudio está comprendida entre los meridianos 90°20' y 98°40' longitud oeste, y los paralelos 19° - 00' y 19°15' latitud norte, se localizan a unos 83 km al suroeste de la Ciudad de México. Ocupa parte de los estados de Puebla, México, Morelos y Tlaxcala y cubre un área rectangular de 962.5 km² (ver plano de localización).

Las vías de acceso más utilizadas a esta región desde la Ciudad de México, son la autopista 190 y la vía libre que atraviesa el poblado de Huejotzingo. Por el camino de cuota hay que tomar la desviación a San Martín Texmelucan en el Km 76. Otra forma de llegar es por la carretera a Cuautla, tomando la salida de Amecameca, la desviación que va a Paso de Cortés, donde entronca un camino de terracería que llega a Cholula. También es posible el acceso por carretera a la parte norte del Iztaccíhuatl desde San Rafael, de donde parten varios caminos de terracería utilizados por la fábrica de papel del mismo nombre. Para llegar a San Rafael se toma una desviación hacia la izquierda sobre la carretera a Cuautla, en Tlalmanalco, aproximadamente 10 km antes de Amecameca. En la región se encuentran varios caminos de terracería que comunican a los pequeños pueblos y rancherías con Huejotzingo y San Andrés Calpan.

Para la elaboración del presente trabajo, en principio se recopiló la información publicada referente, tanto a la zona en estudio y porciones adyacentes, como a la de la provincia del Eje Neovolcánico Transmexicano. La cartografía consultada fué: Las hojas geológicas y topográficas escala 1:50 000 publicadas por la Secretaría de Programación y Presupuesto, el mapa geológico de la región Puebla-Tlaxcala, elaborado por la Fundación Alemana para la Investigación Científica esc. 1:200 000, y el mapa geológico de la Cuenca de México y zonas colindantes elaborado por F. MOOSER y publicado por la Dirección General de Obras Hidráulicas del Departamento del Distrito Federal.



ESC. 1 : 2 000 000

PLANO DE LOCALIZACION
HOJA HUEJOTZINGO E14-B42

Mediante la interpretación de las fotografías aéreas escala - 1:50 000 que cubren el área, y con el apoyo de la carta topográfica, se elaboró un mapa geomorfológico preliminar, mismo que fue completado con la observación directa en el campo de las formas del relieve. Además de la verificación geomorfológica, en el trabajo de campo se muestrearon varios depósitos volcánicos, en el noroeste y este de la región, para su análisis petrográfico.

En el trabajo de laboratorio se elaboraron, además del mapa geomorfológico definitivo, los mapas morfométricos de profundidad de la disección del relieve y de frecuencia de corrientes de segundo orden.

Por último, se elaboró el presente texto, donde se presentan los resultados obtenidos del análisis morfométrico, se describen las formas del relieve reconocidas y se explica lo referente a su génesis y dinámica de desarrollo.

La geomorfología es una ciencia de la Tierra, geológica-geográfica; geológica porque estudia el relieve en función del tiempo y geográfica porque también lo estudia en función del espacio.

Tradicionalmente la geomorfología había sido hasta hace poco tiempo una disciplina puramente descriptiva, pero a partir de la segunda mitad de este siglo ha tenido un gran desarrollo, convirtiéndose en una ciencia que no sólo describe, sino que cuantifica los procesos modeladores del relieve y postula el origen y la evolución del mismo.

La geomorfología actual se apoya en los métodos de investigación novedosos que se refieren a la determinación de parámetros del relieve como profundidad de erosión, densidad del drenaje, órdenes de corrientes, dimensiones de formas, etc. (Lugo, 1984), algunos de ellos aplicados en este trabajo.

Estos métodos se han aplicado para localizar estructuras geológicas positivas ocultas, relacionadas con yacimientos de petróleo; en la búsqueda de yacimientos minerales, principalmente - hidrotermales; en la geohidrología y principalmente en la ingeniería civil; y son de amplio uso en los países en donde más se ha desarrollado la geomorfología, como son los Estados Unidos, Francia y la Unión Soviética.

En México, estos métodos tienen una reciente aplicación y salvo en la geotecnia, su uso aún no está muy difundido.

A pesar de que varios geólogos tradicionalistas consideran a esta disciplina -la geomorfología- como únicamente geográfica, empieza a tener una aplicación mayor en cuestiones de ingeniería geológica, y a medida que se difunda su uso, el geólogo ampliará su campo de acción, no sólo en áreas de interés económico inmediato, en las que ya interviene, como la geología minera y petrolera, sino también en estudios de geología del Cuaternario, en donde estos métodos son de gran importancia como apoyo para el conocimiento del desarrollo histórico de nuestra cultura.

I. RASGOS FISIOGRAFICOS Y GEOLOGICOS

La región en estudio está ubicada dentro de la provincia fisiográfica denominada Eje Neovolcánico Transmexicano. Esta provincia está constituida por un conjunto de volcanes y sus productos. Atraviesa el país de oeste a este, a la altura del paralelo 20°, desde las costas de Nayarit y Colima hasta la zona del Pico de Orizaba, en el Estado de Veracruz, y tiene una longitud aproximada de 850 km. De acuerdo con E. Raisz (1959), esta provincia fisiográfica se encuentra limitada al norte por las provincias de Sierras Sepultadas, Sierra Madre Oriental, Mesa Central y Sierra Madre Occidental; al oriente por la vertiente del Golfo; al sur por la Sierra Madre del Sur y al occidente por el Océano Pacífico. (fig.1)

PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL EJE NEOVOLCANICO TRANSMEXICANO

Se ha formado por la acumulación de derrames lávicos y productos piroclásticos que han sido expulsados por conductos volcánicos de diversos tipos y tamaños, como son los conos cineríticos, -p.e. el Parícutín y el Xitle entre los más jóvenes; los volcanes compuestos, domos y los grandes estratovolcanes. Estos últimos son los principales edificios volcánicos y en ocasiones rebasan los 4,000 msnm; entre ellos se encuentra el Citlaltépetl o Pico de Orizaba (5,675 m), el Popocatepetl (5,428 m), el Iztaccíhuatl (5,286 m), el Xinantécatl o Nevado de Toluca (4,461 m) y el Nevado de Colima (4,180 m) como los más importantes.

Además de los aparatos volcánicos existen domos volcánicos, como los que se localizan en los Azufres, Michoacán; Calderas -p.e. - en Los Humeros, Puebla- y máres, como los que se encuentran en las cercanías del Cofre de Perote, Puebla y Veracruz; así como una gran variedad de combinaciones de estas formas.

PROVINCIAS FISIOGRAFICAS

RAISZ
(1959)



▣ AREA DE TRABAJO

Fig. 1

COMPOSICION

La composición petrográfica de las rocas a lo largo del Eje Neovolcánico es muy variada; está considerada como una provincia Calcoalcalina, por la abundancia de dacitas y andesitas, así como por la relación que guardan sus contenidos de SiO_2 y $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$. (SPP, 1982, p.57), y el elevado contenido de Al_2O_3 .

E D A D

La mayor parte de los estudios que se han realizado en el Eje Neovolcánico coinciden en que la actividad de éste comenzó en el Oligoceno y continúa hasta el Holoceno, y dividen a esta actividad en dos etapas: una del Oligomioceno y otra Pliocuaternaria, sin embargo, Demant (1978, p. 173) señala que esta actividad es únicamente Pliocuaternaria y que la mayoría de ésta se produjo durante los dos últimos millones de años, siendo las rocas oligomiocénicas la prolongación meridional del sistema volcánico de la Sierra Madre Occidental.

O R I G E N

La mayoría de los autores (Alvarez, Bloomfield, Castillo, Demant, Mooser, Negendank, Nixon, Thorpe, Urrutia, Valastro, entre otros) coinciden en señalar el origen del Eje Neovolcánico como el resultado de la subducción de la placa de Cocos debajo de la placa Norteamericana. Sin embargo, el hecho de que no sean paralelos el Eje Neovolcánico y la traza de la Trinchera de Acapulco, sino que exista una divergencia de 20° aproximadamente entre sus orientaciones, ha originado diversas teorías para explicar esta divergencia. A continuación se señalan, de manera muy general, algunas de las más importantes:

MOOSER (1968, p. 18) señala que el Eje Neovolcánico es una antigua geosutura entre dos bloques cratónicos, y la presencia de fracturas norte-sur a lo largo del Eje, representan una zona de debilidad que ha sido abierta por tensiones originadas en la cresta del Pacífico Oriental.

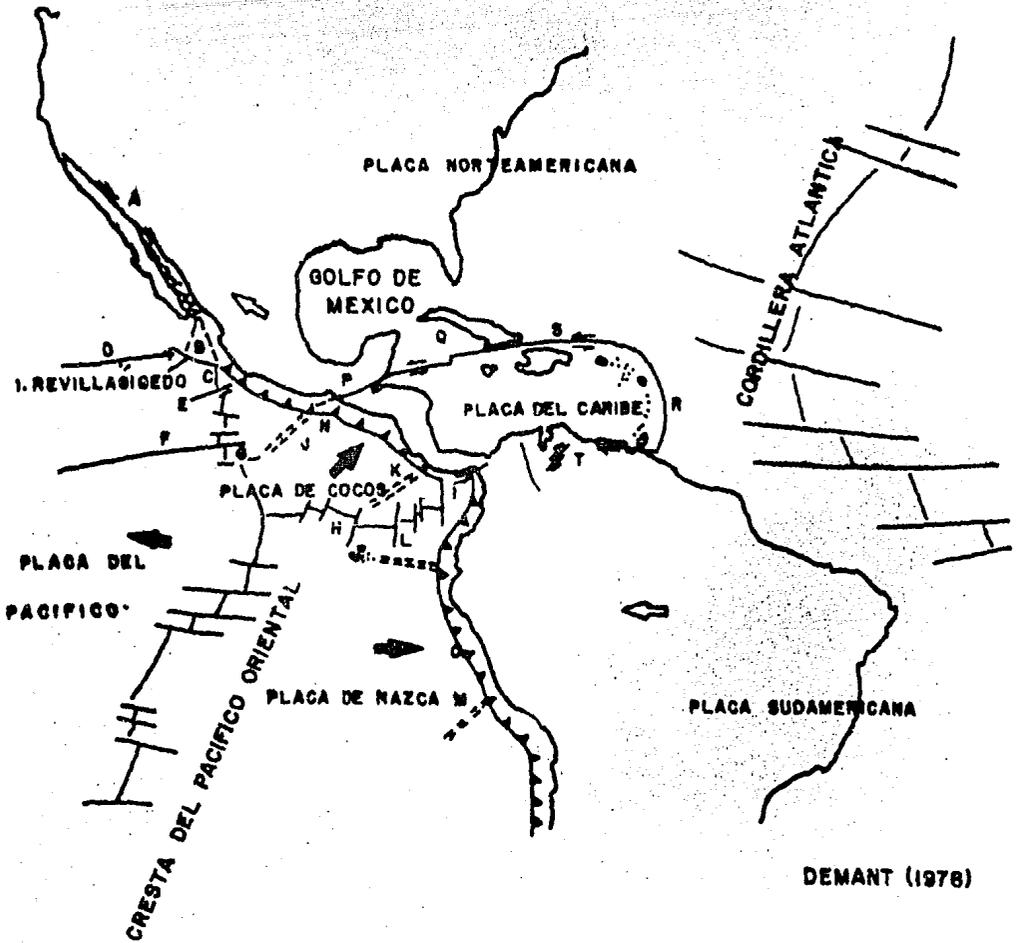
- Urrutia y del Castillo (1977, p.19 y 20) proponen una disminución del ángulo de subducción de noroeste a sureste a lo largo del Eje de la Trinchera, debido a que el material de la placa de Cocos se vuelve más denso, menos caliente y joven, la placa aumenta su espesor y rigidez, la superficie superior está a más profundidad y con una mayor cubierta de sedimentos, la velocidad de entrada crece y aumenta la capacidad de interacción con la placa Norteamericana; además de no ser perpendicular la dirección del movimiento de Cocos-Norteamérica a la trinchera.

- Demant (op.cit. p.183) establece un hundimiento oblicuo de la placa de Cocos frente a México, debido al desplazamiento lateral izquierdo entre la placa Norteamericana y la del Caribe (Fig.2.)

- Negendank (1972) realizó estudios geoquímicos en el Valle de México, en los cuales utilizó un indicador para la distinción entre material sílico y simático ($\bar{S} = \frac{Al_2O_3 - Na_2O}{TiO_2}$

expresado en % de peso; donde sima: $\bar{S} = 3$ a 8 y sial $\bar{S} > 10$) y obtuvo valores relativamente altos ($\bar{S} = 10$ a 20 y mayores de 20), por lo que sugiere un origen sílico del magma, debido a la fusión parcial de corteza inferior.

- Nixon (1982) estableció un modelo de evolución tectónica basado en la sismicidad a lo largo de la Trinchera Mesoamericana. Divide a la placa que se hunde en tres segmentos: Un segmento occidental asociado a una subducción asísmica de la placa Rivera: una parte central y oriental relacionada a un segmento de placa de Cocos, que subduce con un ángulo pequeño que se extiende desde la fractura Rivera hasta la Cresta de Tehuantepec; y una zona de transición, en el graben de Colima, en el límite de las placas Cocos y Rivera.



A Sistema de fracturas San Andrés Golfo de California B Fractura Rivera C Rivera "triple junction" D Fractura Ciénega E Fractura Orozco F Fractura Siqueiros G Fractura Clipperton H Cresta Galápagos I Fractura de Panamá J Cresta de Tehuantepec K Cresta de Coses L Cresta de Carnegie M Cresta de Nazca N Fase Mesocameroana O Fase Perú Chile P Fallas Palochita Matagua Q Falsa Caimán o Bertlett R Zona de subducción de las Pequeñas Antillas S Fase Puerto Rico T Fallas Oca El Pilar

Fig. 2 Tectónica del Caribe y del Pacífico Centro-Oriental muestra el desplazamiento lateral izquierdo entre la placa del Caribe y la Norteamericana, y el hundimiento de la placa de Cocos.

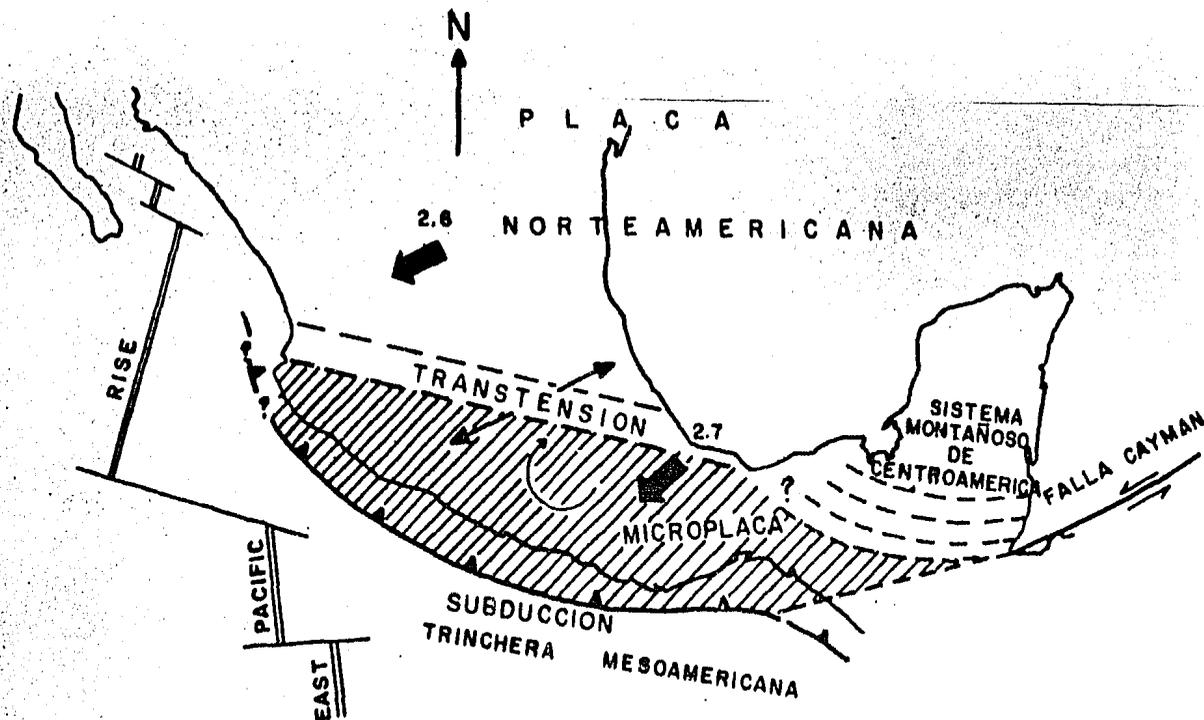
Además de estas teorías que explican la existencia del Eje - Neo volcánico Transmexicano debido a una subducción, hay otras que se refieren a un origen por movimientos divergentes, entre las que se encuentra la de Schurbet y Cebull (1984) que se sintetiza a continuación:

El Eje Neovolcánico representa el desarrollo del límite norte de una placa aún pobremente delineada; esta microplaca está limitada al oeste por la Trinchera Mexicana y al sur por el sistema de fallas Motagua, el límite oriental no está definido y posiblemente no se ha desarrollado, pero puede estar representado por una extensión del Eje a través del sureste, desde el Sistema Montañoso de América Central hasta la zona Motagua-Caymán. El desarrollo de esta micoplaca lo explican por la diferencia de las velocidades absolutas de desplazamiento de la placa Norteamericana, que en general es de 2.6 cm. al año pero hacia el sur es ligeramente mayor, de 2.7 cm. al año.

Estas diferencias de movimiento provocan una zona de transtensión a lo largo del Eje. La presencia de volcanismo calcoalcalino es justificado por el hecho de que la zona de transtensión, que se encuentra muy cerca de la zona de subducción, puede provocar la fractura de la litósfera, lo suficiente para permitir que ocurra un volcanismo semejante a los relacionados a las zonas de subducción. (Fig.3)

Estos son sólo algunos de los modelos geológicos que se han establecido para explicar el origen de esta provincia de la Sierra Nevada y por lo tanto y hasta ahora no se ha elaborado un modelo que sea plenamente aceptado.

La actividad volcánica en el Cuaternario ha provocado el cierre de cuencas antiguamente exorreicas, originando lagos; ha condicionado la presencia de glaciares e influido sustancialmente sobre los procesos erosivo-fluviales.



SHURBET Y CEBULL (1984)

Fig. 3

Interpretación del Eje Neovolcánico como una zona de transtensión que define el límite norte de una microplaca despreñida de la placa Norteamericana. La transtensión es el resultado de una posible velocidad absoluta diferencial, de 2.6 cm/año, para la placa Norteamericana en general y de 2.7 cm/año para la región sur de la zona de transtensión. La flecha circular indica el probable sentido de rotación de la microplaca.

PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LA SIERRA NEVADA

El relieve comprendido en la zona en estudio está dominado por la elevación montañosa denominada Sierra Nevada, que está ubicada en la parte centro-oriental del Eje Neovolcánico. Esta sierra tiene una orientación aproximada norte-sur y está formada principalmente por los dos grandes estravolcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl.

El parteaguas de esta sierra representa el límite oriental de la cuenca de México, y el occidental de la cuenca Puebla-Tlaxcala, perteneciente esta última a la cuenca del Balsas. La cuenca de Puebla-Tlaxcala está limitada además, al norte por la Sierra de Calpulalpan y al oriente por el volcán La Malinche.

Un gran contraste presenta el relieve debido a que existen en esta región una diferencia de alturas de aproximadamente 3 000 m en una distancia horizontal menor de 30 km. De occidente a oriente se pueden diferenciar tres porciones principales.

- El conjunto montañoso de la Sierra Nevada, comprendido por arriba de la cota 3 100 m.
- Su piedemonte, que se extiende por arriba de los 2 400 m.
- Una planicie de nivel de base.

El parteaguas de la Sierra Nevada está situado en su mayor parte arriba de los 4 000 msnm; a la parte superior de esta divisoria, en los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl, corresponden los climas EFH de la clasificación de Köppen, que teóricamente empiezan a los 5 272 m, donde la temperatura media anual es de: - 1.4° C.

Al oriente del parteaguas, la ladera montañosa se extiende hasta 3,100 msnm aproximadamente, con una amplitud en sentido horizontal media de 10 km. En la mayor parte de esta zona existen los climas ETH de Köppen, que empieza a los 3,349 m. y donde la temperatura media anual es de 8.3°C.

A partir de esta ladera se extiende una planicie inclinada, diseada por numerosos barrancos, y desde la cota 2,400 hacia el oriente disminuye la inclinación, siendo ésta menor de un grado. Esta planicie se encuentra interrumpida en algunos lugares por pequeños volcanes. En la estación climática de Huejotzingo, la temperatura media anual se ha calculado de 15.7°C, el mes más frío es enero, con una temperatura media de 12.4°C y mayo es el mes más caliente, con 18°C como temperatura media; la suma total anual de las precipitaciones mensuales es de 868.2 mm el mes más lluvioso es julio, con 195.6 mm, y el menos lluvioso es marzo, con 4.9 mm. El clima correspondiente a este poblado, según las Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen hecha por García (1964), es el C (W₂) (W) b, que se refiere a clima templado subhúmedo con lluvias en verano.

Se presenta en la región una densa red fluvial de configuración predominante paralela, con sus cabeceras localizadas a lo largo de la zona montañosa, y sus desembocaduras marcando el límite entre la planicie de nivel de base y el piedemonte.

La geología de la zona que comprende este trabajo es aparentemente simple: rocas volcánicas intermedias y básicas en la estructura montañosa, tobas en el piedemonte y depósitos lacustre-aliuviales y volcánicos en la planicie de nivel de base. Todas estas rocas son de una extrema juventud, predominando el Cuaternario y el Plioceno; las rocas del Mioceno deben ser escasas y difícilmente se encuentran del Oligoceno.

Sin embargo, es necesario considerar no sólo la columna geológica de la localidad, sino la regional, para tener una idea más clara de la estructura e historia geológica de la zona en estudio, es por ello que además de las rocas que constituyen las Sierr Nevada, se mencionan las de la cuenca de Puebla-Tlaxcala.

ESTRATIGRAFIA

La estratigrafía de la cuenca Puebla-Tlaxcala que a continuación se describe fue establecida por Erffa y Hilger (1976) y está resumida en las tablas 1 y 2 y comparada con la estratigrafía de las regiones limítrofes.

PALEOZOICO

Las rocas de mayor antigüedad son esquistos de color gris y verde, grauvacas y cuarcitas. Según Fries y Orta, pertenecen a la Formación Acatlán y su edad es incierta, pueden ser del Paleozoico, Tríasico o Jurásico. Están intensamente plegadas y cruzadas por numerosos vetas de cuarzo. Afloran en el margen sur de la Cordillera de Tentzo, a unos 47 km. al sureste de la población de Huejotzingo, fuera de la zona en estudio.

MESOZOICO

JURASICO

Grupo Tecocoyunca

Comprende una serie alternante de formaciones continentales y marinas, y fue llamada por Cortés Obregón en 1957, Formación Carbonífera Superior. Abarca todos los sedimentos depositados durante el Jurásico medio y Calloviano.

Aflora hacia el margen sur de la Cordillera de Tentzo, donde presentan en la parte superior huellas de oleaje, nódulos de caliza y argilita.

CRETACICO

Las rocas de este período son esencialmente calizas, mismas que cubren grandes superficies en la parte sur de la cuenca Puebla-Tlaxcala, y conforman la Cordillera de Tentzo, el Cerrijón de Amoxoc y los Cerros Pifón. Al igual que las rocas paleozoicas y jurásicas, no afloran en la zona cartografiada, aunque sí cerca de ésta.

FORMACION ATZOMPA

Consta de una serie de margas rojas y argilitas. En la parte inferior aparece un banco de arcilla calcárea de hasta 50 m. de espesor que contiene ostras y el foraminífero Chfatella disipiens, que marca una edad neocomiana.

FORMACION XOCHICALCO

En el norte del estado de Guerrero, en sus límites con el de Morelos, Fries designó en 1960 con este nombre a una sucesión de caliza de espesor variable.

Una característica de la formación es la abundancia de bandas de pedernal intercalado, hasta el grado de formar casi la mitad de roca en algunos lugares. Sin contar con buenos datos paleontológicos se le atribuye una edad Barremiano-Aptiano.

La base de esta formación representa facies de aguas profundas y la cima, de aguas someras.

FORMACION ORIZABA

Ha sido descrita por Ríos en 1959, como un grupo potente de calizas de estratificación delgada y gruesa, comunmente dolomitizada, se caracterizan por su riqueza en fósiles, principalmente paquiodontos y miliólidos. Se dividen en dos facies bien representadas: una arrecifal, constituida por boundstone en bancos

de 2 a 4 m, intercalados con capas gruesas de grainstone y packstone; la otra facies es de tipo post-arrecifal y consiste en mudstone y wackstone. Es de edad Albiano-Cenomaniano. Constituye la cresta principal de la Cordillera de Tentzo y los Cerros Piñón.

FORMACION MORELOS

Fries en 1960, asignó este nombre a una potente sección de calizas y dolomitas de edad Albiano-Cenomaniano. Son producto de una gran transgresión marina y se le encuentra aflorando en la mayor parte de la cuenca sedimentaria de Morelos-Guerrero. Se han reconocido dos tipos de facies: lagunares evaporíticas y de plataforma. La primera corresponde a una secuencia de dolomitas sacaroides, de una potencia máxima de 550 m, la segunda es una secuencia de rocas carbonatadas, con abundante microfauna que ha permitido establecer para esta facies una edad Albiano superior-Cenomaniano. Esta formación aflora al oeste de la línea Atlixco-Huaquechula.

FORMACION MALTRATA

Está constituida por calizas negras, cripto o microcristalinas, con abundante pedernal negro en nódulos o capas, en ocasiones intercaladas con lutitas negras, y hacia la cima aumenta el contenido arcilloso; el espesor total sobrepasa los 400 m. Su edad no es anterior al Cenomaniano tardío y termina probablemente en el Turoniano. Aflora en el Cerrijón de Amozoc, en la Sierra de Teapa y en la Sierra de Tetzoyocán.

FORMACION CUAUTLA

Fries en 1960 fue el primero en designar con este nombre a una -
secuencia de calizas de edad Turoniano localizadas en afloramien-
tos al poniente de la Ciudad de Cuautla. Consta de tres facies
principales: una sucesión gruesa de capas de caliza del tipo ban-
co calcáreo, una sucesión más delgada de caliza clástica. Aflo-
ra en la Cordillera de Tentzo y al oeste de éste.

FORMACION MEXCALA

Litológicamente es muy variable, tanto horizontal como vertical-
mente, aunque en general, la parte inferior está constituida por
calizas arcillosas de coloración oscuro, sobre estas calizas se
encuentran una sucesión de lutitas y limolitas calcáreas; hacia
la parte superior, el contenido de arenisca aumenta, encontrándo
se en ocasiones capas de conglomerado de grano fino.
Con base en el contenido de fósiles, Imlay le asignó a la base -
una edad de Coniaciano inferior.

CENOZOICO

TERCIARIO

Grupo Balsas

Está constituido por una gran variedad de rocas entre las que se
encuentran conglomerados calcáreos, conglomerados volcánicos, -
evaporitas, calizas lacustres, arenas, limos, tobas y derrames -
volcánicos interestratificados. Los conglomerados calcáreos es-
tán formados por fragmentos de calizas, pedernal, dolomita y arci-
lla, derivados de las formaciones cretácicas Morelos, Cuautla y
Mexcala, encontrándose principalmente en la parte basal. De acuer
do con De Cserna (1957), éste es el resultado de un depósito post
orogénico de tipo molassa.

Correlación estratigráfica del mesozoico en la región centro meridional de México		ERBEN (1956)	de CSERNA (1970)	FRIES, Jr. (1960)	CALDERON-GARCIA (1958)	SALAZAR M (1970)	GUTIERREZ H (1971)	v ERFFA, HILGER (1975)		
		NE de Guerrero NW de Oaxaca	SE Acapulco/Pue	Merates N de Guerrero	Tehuacán/Pue	Prospecto Puebla/Pue	Prospecto Huahuatlán/Pue	Pueblo Sur		
GENEZOICO		Formación Huajuapam	Formación Huajuapam	Grupo Baises	Formación Tehuacán	Grupo Baises	Grupo Baises	Grupo Baises		
MESOZOICO	JURASICO	Superior	Platense							
			Maastrichtiense							
			Compeñense			?			?	
			Santonense			Formación Mezcala		Formación Mezcala		Formación Mezcala
			Coniaciense							
			Turonense			Formación Cuatle		Formación Cuatle	Formación Cuatle	Formación Cuatle
	Cretacico	Inferior	Campaniense							
			Albano	Caliza Ciprepe	Formación Merates	Formación Merates	Formación Ciprepe	Orizaba	Orizaba	Formación Merates
			Aptiense							
			Barramiense							
			Hauteriviense							
			Valanginiense	Grupo Puebla						
	Jurásico	Superior	Berriasiense							
			Tithoniense							
			Portlandiense		Caliza Hopashé					
			Kimmeridgiense							
			Oxfordiense	Tepascaluita	Caliza Chimasa	Formación Acapulco				
			Colleoniense	Formación Yucuatlan						
Jurásico	Media	Baleniense								
		Dajaniense								
		Aaleniano								
		Toarciense								
		Pliensbachiense								
		Sinemuriense								
Jurásico	Inferior	Hettangiense								
		PREJURASICO	no diferenciado	Complejo Basal	Esquivo Acapulco	Recorvado	Complejo Basal	Esquivos Acapulco	Formación Acapulco	

Tabla 1 Estratigrafía del Mesozoico en México Central (von ERFFA).

Los espesores que presenta son muy variables, desde los 500 m hasta los 2,500 m. La edad de este grupo no está bien determinada, pero hay evidencias de que inició su depósito en el Eoceno y concluyó en el Oligoceno medio.

Posterior a la sedimentación del Grupo Balsas, la siguiente formación de rocas terciarias y cuaternarias se debe a una intensa actividad volcánica que continúa hasta la actualidad. Debido a que existen pocas dataciones absolutas, en especial en rocas del Cuaternario inferior, y a que las diatomeas y gasterópodos que aparecen en los sedimentos están sin especificar para una datación, habrá que considerar con reservas los datos relativos a la edad y sólo como valores aproximativos. Erffa (op. cit.) distingue los siguientes grupos:

ROCAS VOLCANICAS DE BARRANCA SECA

Forman el núcleo de la Serranía de Huamantla, compuesto de capas de lava de composición cuarzolatiandesítica; están fuertemente erosionadas al grado que ya no se pueden reconocer las formas originales y están cubiertas por los sedimentos lacustres de Tlaxcala.

Las rocas intrusivas del Cerro Coatepec, al norte de Valsequillo, son probablemente del Plioceno.

TOBA CAULAPAN

Con este nombre Erffa designa a los depósitos piroclásticos, muy extendidos, localizados al sur de la cuenca.

Sobre éstos descansa una capa de lava cuarzolatiandesítica, designada por Malde como Lava Ixcalco.

La formación de los grandes estratovolcanes de la Sierra Nevada y la Malinche se inició en el Plioceno, aunque sus actividad con-

tinúa en el Holoceno. En la base de la Malinche y en el bloque de Tlaxcala fueron halladas ignimbritas que pueden ser consideradas como parte de la "Provincia Central", y cuya edad puede inferirse como Plioceno.

SEDIMENTOS LACUSTRES DE TLAXCALA

Con este nombre son designados aquellos piroclastos granulosos que fueron depositados en lagos. Afloran principalmente en el norte de la zona del bloque de Tlaxcala y del bloque de Huamantla. Aquí se presentan en los valles de los ríos y en los escalones, bajo las tobas y capas de lava del Cuaternario. La edad inferida para estos sedimentos, según la posición estratigráfica, es Plioceno.

Las rocas que constituyen la Sierra Nevada y porciones adyacentes han sido descritas por varios autores, entre los que destacan Ordóñez, Fries y Mooser; y están resumidas por White (1962) como se describen a continuación:

SERIE VOLCANICA XOCHITEPEC

Son las rocas más antiguas de la región, expuestas por la erosión de los arroyos a lo largo de las laderas occidentales más bajas del Iztaccíhuatl.

Las rocas de esta serie son traquiandesitas de hornblenda (Mooser, 1956) probablemente del Plioceno.

CUATERNARIO

SERIE ANDESITICA IZTACCIHUATL

Esta serie fue descrita por Mooser en 1956, está constituida principalmente por andesitas porfídicas de piroxeno, a las que se les

atribuye en edad del Pleistoceno; son las que siguen en antigüedad a la serie Xochitepec.

Entreverados con las numerosas corrientes de lava, se encuentran mantos de becha intraformacional. El volcán Nexpayantla, el antecesor del Popocatepetl, compuesto de andesita porfídica, es probablemente de la misma edad del Iztaccíhuatl.

Las series volcánicas están separadas por períodos de erosión y cada una de ellas tiene asociados sedimentos de detritos volcánicos desplazados ladera abajo por la gravedad; en discordancia estratigráfica con las series Xochitepec e Iztaccíhuatl, y entreverados con el Grupo Chichinautzin, hay potentes depósitos fluviales y piroclásticos de grava, brechas de avalanchas de lodo, brecha de deslizamiento de laderas, bechas volcánicas y conglomerados y sedimentos de tipo glacial, junto con derrubio glacial de aguas de deshielo.

Estos depósitos están cubiertos por cenizas, lapilli y por suelos compuestos.

Amplios sectores de la región de Puebla-Tlaxcala están cubiertos por sedimentos y productos volcánicos, entre los que se distinguen:

GRUPO CHICHINAUTZIN

Fries en 1962, definió con este nombre al conjunto de volcanes, lavas y productos no consolidados que dominan en las elevaciones montañosas que se extienden entre los estratovolcanes Ajusco y Popocatepetl, presentes además en las cuencas de Toluca y Puebla-Tlaxcala. Las lavas y depósitos piroclásticos están compuestos de andesitas de oxhornblenda, dacitas, andesitas de hiperstena, andesitas basálticas de olivino-augita y basaltos (Martín del Pozzo, 1982) Dominan las rocas jóvenes, de fines del Pleistoceno y del Holoceno.

Correlación estratigráfica del Cenozoico en la región centro meridional de México

Edad	Morelos (FRIES, 1960)	Becken v. Mexiko (MOOSER, 1974)	Valsequillo (MALDE, 1968)	Puebla - Tlaxcala (HILGER; v. ERFFA, 1975)
Cuaternario	Grupo Chichinautzin	Chichinautzin Group	Valsequillo Gravels	Aluvión Sed. lacustres Grupo Chichineutzin
	Formación Cuernavaca		Basin deposits and basalts	
Plioceno		Transition Group	Aguayo lahar	Sedimentos lacustres de Tlaxcala
			Ixcatec lava	
			Caulapan tuff	
Mioceno	Andesita Zempoala	Upper Sierra Group	Undifferentiated volcanic rocks	Lava Ixcatec
		Lower Sierra Group		Toba Caulapan
Oligoceno	Formación Tepoztlán	Guadalupe Group	Intrusive igneous rocks	Rocas intrusivas del cerro Coatepec
		Xochitepec Group		Rocas volcánicas de Barranca Seca
Eoceno	Riolita Tlaxapala	Tezontlalpan Group		
	Grupo Balsas	Pozo Texcoco 2 Balsas Group	Balsas Group	Grupo Balsas

Tabla 2. Estratigrafía del Cenozoico en México Central (HILGER).

Los depósitos piroclásticos han sido generalmente redepositados por el agua o el viento, y modificados por los procesos de la meteorización y formación de suelos.

Al pie de los grandes volcanes se presentan con frecuencia lavas y depósitos de nubes ardientes. En las hondonadas se encuentran sedimentos lacustres que en diversos lugares contienen restos de mamíferos.

COMPOSICION

En la Sierra Nevada, Erffa y otros investigadores (1976, p.103) verificaron la existencia de dacitas y cuarzolatiandesitas. Heine y Heide-Weise (1973, p.7) encontraron en el Popocatépetl e Iztaccíhuatl tobas andesíticas ricas en hiperstena, ortopiroxeno común en las rocas de las series calcoalcalina, y augita.

Para el presente trabajo se practicó un análisis petrográfico a varias muestras provenientes del noroeste del Iztaccíhuatl de lavas de los cerros Mesitas y Hielosochio en la parte oriental de la zona de trabajo; de los cerros San José Atoyatenco y Zapotecas y de una colada de lava situada en la parte meridional al este del Popocatépetl, de las cuales se obtuvieron resultados muy similares. En todas ellas se encontraron plagioclasas zonadas, andesina, hiperstena y apatito. Otros minerales encontrados en algunas de las rocas son labradorita, lamprobolita (oxihornblenda) augita, hornblenda y diópsido. Los microlitos que constituyen la matriz, en general varían en su composición de An_{46} a An_{56} (estos valores fueron obtenidos con el método de los microlitos) por lo que se encuentran en los límites entre andesina y labradorita. Además de éstos, se encontró vidrio ácido como constituyente de la matriz en todas las rocas, a excepción de una de ellas, que es holocristalina. En ninguna de las láminas delgadas observadas con el microscopio se encontró cuarzo, lo que dificulta obtener una clasificación precisa de las mismas por medios petrográficos,

siendo necesario recurrir a estudios normativos para determinar la composición.

En el presente trabajo se les clasifica como andesitas de hipertenas y tobas andesíticas. Esta clasificación está apoyada por los valores obtenidos de An (la mayor parte dentro del rango de la andesina), ya que de acuerdo con Hatch (1979, p.317), el valor de An₅₀ representa el límite entre andesitas y basaltos, y "... el zoneamiento podría ser originado por la variación de la presión del vapor de agua, aún a temperaturas constantes". Otro de los criterios que sustentan esta clasificación es la existencia de sílice en forma de vidrio dentro de la matriz. Según el mismo autor, las andesitas libres de cuarzo son muy raras, por lo que este constituyente debe encontrarse en forma normativa. El ortopiroxeno común para este tipo de rocas según la clasificación de él mismo, coincide con el encontrado en este estudio.

De acuerdo con la composición petrográfica, la posición estratigráfica y la casi nula disección que presentan éstos depósitos de lava muestreados, se presume que pertenecen al Grupo Chichinautzin.

E D A D

Para el Iztaccíhuatl, Nixon (citado por Demant, op.cit. p.174) determinó una edad radiométrica menor a un millón de años y Steele (citado por Demant, ibid) encontró direcciones de magnetización únicamente normales. En los estudios realizados por Heine y Heide-Weise (op. cit. p.7 y 8) en la cuenca de Puebla-Tlaxcala se determinó la edad de algunas capas de volcán Matlacuéyatl por medio del método de C¹⁴, que dieron edades de 12,000 y 39,000 años. Estas determinaciones, aunque no se realizaron específicamente en la zona en estudio, se mencionan por su proximidad con la zona a la que se refiere el presente trabajo.

White (1951), p.5) considera que el volcán Popocatépetl comenzó a formarse en el Pleistoceno. Este volcán ha tenido una actividad continua, que se ha manifestado en tiempos históricos.

Yarza (1948, p.108) cita en su obra escritos de varias épocas en los que se menciona la actividad del Popocatépetl; los más antiguos se refieren a erupciones en 1347 y 1354, otros hablan de la época de la conquista: "En 1519 hubo otra erupción, pues los españoles lo vieron arrojando humo, llamas y piedras incandescentes y su actividad duró hasta 1530. Cuando volvió a arrojar humo siguió manifestándose hasta 1539" ; menciona también testimonios de Bernal Díaz del Castillo tomadas de sus crónicas - - " . . . echó grandes llamas, piedras y cenizas, antes de esto se oyeron fuertes ruidos. Las cenizas de su erupción llegaron a Huejotzingo, Chalco, Cholula y Tlaxcala. Quemó el campo, las hortalizas y los árboles . . .".

Según White (op. cit. p.5) el antecesor del Popocatépetl es el volcán Nexpayantla, que se encontraba asentado cerca del actual cono del Popocatépetl y que debió de haber sido de la misma edad del Iztaccíhuatl. Las emanaciones del Popocatépetl a partir del Pleistoceno fueron cubriendo al Nexpayantla hasta casi extinguir su expresión en el relieve, a excepción de una parte de su borde superior, conocido ahora como Pico del Fraile o el Abanico.

Las razones en las que se base para justificar su hipótesis son:

- El diferente grado de erosión entre el Popocatépetl, que presenta una débil disección, y los restos del Nexpayantla, cuya cañada del mismo nombre tiene más de 400 m de profundidad, indican que las partes del volcán son de diferente edad.
- Las diferentes secciones estratigráficas entre los lados opuestos del Popocatépetl y el Pico del Fraile.

- Las lavas más recientes del Popocatepetl que descansan sobre las rocas del Abanico.
- La diferencia petrográfica entre las rocas del Popocatepetl, donde son "andesitas porfídicas de color negro al intemperismo" (sic), y las del Pico del Fraile, donde hay lo que él llama pórfidos andesíticos rojos.

Esta breve descripción de la estructura geológica regional y local nos permite hacer una serie de consideraciones.

Aunque la zona que comprende este estudio es totalmente volcánica, con actividad actual y en ella quedan comprendidos dos de los tres volcanes más altos del país, a excepción del Pico de Orizaba, en sus proximidades afloran rocas sedimentarias. Estas rocas antiguas constituyen la cadena montañosa conocida como Cordillera de Tentzo.

Esta asociación entre estructuras volcánicas cuaternarias y estructuras plegadas del Terciario es característica de algunos límites del Sistema Volcánico Transversal (o Eje Neovolcánico) con la Sierra Madre del Sur, misma que se aprecia en las cercanías de las ciudades de Cuautla y Cuernavaca.

La Sierra Nevada es una zona de gran actividad volcánica a lo largo de todo el Cuaternario, lo que se infiere de la presencia de los grandes estratovolcanes Tlaloc, Telapón, Iztaccíhuatl y Popocatepetl, además de volcanes muy jóvenes como el Papayo y el Tecajete. Sin embargo, al oriente de la Sierra Nevada la actividad volcánica cuaternaria ha sido de menor intensidad: se va reduciendo la cantidad de volcanes en comparación con la cuenca de México, y consecuentemente, el espesor de las rocas volcánicas, hasta permitir el afloramiento de las rocas marinas.

La geología y relieve permiten suponer que las estructuras mesozoicas se extendían en el Terciario temprano hacia la zona que actualmente ocupa la cuenca de Puebla-Tlaxcala y el volcanismo las fue cubriendo gradualmente, proceso que debe continuar en la actualidad.

Es conveniente mencionar también que las rocas volcánicas como las que se presentan en esta zona en estudio, no permiten una clasificación estratigráfica como se aplica a las rocas sedimentarias, por las siguientes razones:

1. Se han originado por diversas etapas de actividades, con distintos centros eruptivos, por lo que aún siendo de la misma composición, no son correlacionables cronológicamente.
2. No existen estudios detallados de dataciones absolutas para definir edades con precisión.
3. La disposición de las rocas de distintas erupciones es totalmente irregular en sentido horizontal y vertical. Para un estudio estratigráfico correcto sería necesario determinar la extensión y espesores de las rocas de cada etapa de actividad.
4. El proceso de desarrollo continúa hasta nuestros días con las explosiones piroclásticas del Popocatepetl de tiempos históricos.

Por todo esto, la estratigrafía reconocida actualmente hay que considerarla como muy general e imprecisa para las rocas volcánicas. Pueden ayudar mucho los métodos de análisis paleomagnéticos, radiométricos y de carbono 14. En la medida que se hagan este tipo de estudios (el principal problema es el costo de los mismos) y se den a conocer sus resultados, tendremos más

elementos para entender la historia geológica de la Sierra Nevada y sus zonas contiguas.

II. GEOMORFOLOGIA

El relieve terrestre es el resultado de la interacción de los procesos endógenos y exógenos. Los procesos endógenos son los que generan las irregularidades de la superficie de la Tierra; se deben a la actividad interna del planeta y se manifiestan a través de las dislocaciones tectónicas, los terremotos, la creación y aniquilamiento de la corteza terrestre, la actividad ígnea (tanto plutónica como volcánica), el metamorfismo, etc. Los procesos exógenos son aquellos que nivelan las irregularidades originadas por la actividad endógena, y se patentizan a través de la destrucción de las rocas in situ (intemperismo), la remoción de los materiales resultantes de esa destrucción (denudación y erosión) y por su depositación (acumulación).

En la zona de trabajo el agente endógeno dominante es el volcanismo. Los principales agentes niveladores de la superficie en esta región son la gravedad, el hielo y el agua, siendo este último el que ha actuado con mayor intensidad.

La intensidad con la que actúan estos agentes niveladores dependen de varios factores, entre los que destacan los siguientes:

- A) TOPOGRAFICOS. Están relacionados principalmente con la pendiente, puesto que cuanto mayor sea la inclinación de la superficie del terreno, mayor será la velocidad del flujo de las aguas superficiales y de los glaciares, así como de la denudación (procesos gravitacionales).
- B) LITOLÓGICOS. Incluye el tipo de roca, grado de fractura, grado de consolidación, porosidad y permeabilidad, tiempo de exposición a la intemperie, etc. El tipo de roca es un factor determinante en el desarrollo de la red fluvial, ya que éste será mayor o menor, dependiendo de la resistencia que presente la roca a la erosión fluvial.

Aunque existen rocas que son resistentes a un tipo de proceso y débiles a otro, para la disección del relieve se considera, de manera general, resistentes a los granitos y gneises, y débiles a las margas y lutitas, por ejemplo. Según Ollier (1972, p.109) los procesos normales del intemperismo afectan a las rocas volcánicas tanto como a otro tipo de rocas, pero las rocas básicas son más propensas a la alteración química que las restantes; - esto lo atribuye a que los minerales ferromagnesianos y los feldespatos, constituyentes principales de este tipo de rocas, se alteran fácilmente en minerales arcillosos y óxidos de hierro - con bases libres en solución, y el último producto del intemperismo es a menudo un suelo color café, rico en bases.

Las fracturas, diaclasas y planos de estratificación favorecen el desarrollo de la erosión al permitir una mayor penetración a las aguas superficiales.

Otro factor que controla la denudación es el grado de consolidación de la roca, ya que los materiales poco consolidados son - fácilmente removibles.

La porosidad y permeabilidad de las rocas condiciona la densidad de la disección, ya que en rocas muy permeables las aguas - de escurrimiento se infiltran, originando una débil densidad de corte, mientras que en rocas muy porosas pero poco permeables - existe una elevada densidad de la disección.

El tiempo de exposición de la roca a la intemperie se refiere a la edad del relieve. Cuanto mayor sea este tiempo, mayor será el desarrollo de los procesos exógenos.

Aunque no todos estos factores dependen de la petrología de las rocas de manera estricta, se les ha incluido en este inciso por estar íntimamente relacionados con éstas.

- C) CLIMATICOS. Están determinados por la cantidad y frecuencia de la precipitación pluvial, las variaciones de la temperatura, tanto estacionales como al día, etc.
- D) COBERTURA VEGETAL. En un terreno provisto de ésta, las aguas superficiales disipan parte de su energía al chocar contra los tallos y las hojas de las plantas, disminuyendo de esta manera su acción erosiva; mientras que en superficies carentes de esta protección, las aguas que escurren actúan directamente sobre ellas, favoreciendo de esta manera la erosión.
- E) ZONALIDAD GEOMORFOLOGICA. Distintos valores de profundidad de la disección se presentan en las laderas montañosas. Para los volcanes, Orlier (op. cit., p.112) establece un patrón de drenaje a lo alto del cono. Teóricamente, cuando se inicia, habrá una pequeña erosión en las cercanías del cráter, ya que a menudo esta parte es extremadamente porosa; en la parte media de la ladera habrá una disección máxima, y ésta decaerá en la parte inferior, debido a la disminución de la pendiente y se depositará el material transportado en la base del volcán.
- F) ACCION ANTROPICA. El hombre también interviene en la intensidad de la acción niveladora de los procesos exógenos, ya que altera la dinámica de éstos, por ejemplo: al construir bordos y cortinas para el almacenamiento de las aguas superficiales, caminos y puentes, minas a cielo abierto, al deforestar la tierra para cultivarla. etc.

Para entender el proceso de la disección del relieve es necesario tomar en cuenta todos estos factores, que no son indepen-

dientes entre sí, sino que actúan de manera conjunta, y que desempeñan en mayor o menor grado un papel importante.

MORFOMETRIA

La morfometría consiste en una serie de métodos que definen - numéricamente determinados elementos del relieve y algunos procesos niveladores.

Se han aplicado en la zona en estudio varios métodos morfométricos por medio de los cuales se han obtenido un mapa de profundidad de la disección y de órdenes de corrientes, y otro de frecuencia de corrientes de segundo orden.

Todas las mediciones se han hecho a partir de la red fluvial. En la gran mayoría de los casos las corrientes pueden observarse desde su cabecera en la parte superior de la Sierra Nevada hasta su desembocadura en la planicie de nivel de base - hacia el oriente. Por ello, a pesar de que la zona es relativamente pequeña, muchas cuencas fluviales aparecen completas, lo que permite su análisis morfométrico.

PROFUNDIDAD DE LA DISECCION

El mapa de la profundidad de la disección del relieve expresa el corte vertical en metros que han llevado a cabo las corrientes fluviales. Este corte varía de unos cuantos metros, sobre todo en la planicie de nivel de base, a 200 y 300 metros en el conjunto montañoso. Para su realización se marcaron primeramente, sobre la carta topográfica, los talwegs indicados por la simbología y aquellos inferidos según la configuración de las curvas de nivel; posteriormente se midió la distancia ver-

tical entre los talwegs y sus divisorias correspondientes y se marcaron los resultados mediante una simbología que comprende rangos de valores menores de 20 m , de 20 a 40 m, de 40 a 100m, de 100 a 200 m. y de 200 a 300 m.

La disección vertical se presenta con una clara zonalidad. En la vertiente oriental del Iztaccíhuatl predominan los valores fuertes, de más de 40 m. y localmente se presentan los máximos, de hasta 300 m. Hacia la vertiente opuesta sólo aparecen en el mapa las cabeceras de numerosas corrientes fluviales que en su mayoría han provocado cortes erosivos débiles, menores de 40 m. aunque hay cabeceras que corresponden a cañadas profundas, como la de Milpulco, de hasta 200 m ; la de Alcalica, de hasta 300 mt. y la de Amalacaxco, también de hasta 300 m.

El Popocatepetl, por ser una estructura más joven, muestra una disección distinta, consistente en una red radial de barrancos de poca profundidad, de menos de 20 m., aunque del lado sur-occidental se localiza la cañada de Nexpayantla, de más de 400 m de profundidad.

El piedemonte está cortado por una densa red de barrancos de distintas etapas de desarrollo, que van desde los de unos cuantos metros de profundidad, hasta aquellos con una etapa avanzada, como los arroyos Santa Clara, Xopanac, Apitzato y Apol, con cortes de 100 a 200 m. Los valores que denominan se encuentran en el rango de 40 a 100 m. Es en los límites del piedemonte con la planicie de nivel de base donde la mayoría de las corrientes se infiltran o se incorporan a acueductos.

Finalmente, en la planicie de nivel de base y en una colada de lava que cubre parcialmente la porción meridional del piedemonte y de esta planicie, la profundidad de erosión es muy débil y se manifiesta por cortes de unos cuantos metros de profundidad, a excepción de la barranca Nexapa, que es la de mayor profun

didad y alcanza hasta 40 m. La mayoría de las escorrentías aquí localizadas se deben a la erosión de las laderas de pequeños conos volcánicos localizados al norte y al sur de la zona en estudio.

Los resultados obtenidos en el análisis del mapa de profundidad de la disección coinciden, en términos generales, con el esquema propuesto por Ollier mencionado en párrafos anteriores. En las inmediaciones de la cima de los dos grandes estratovolcanes, las corrientes han originado barrancos de poca profundidad; en la ladera montañosa se han formado (aunque con distinta densidad para cada uno de estos estratovolcanes) los barrancos más profundos presentes en la zona en estudio, de 300 m y más; en la zona de piedemonte se encuentran barrancos menos profundos, de hasta 200 m pero los valores típicos corresponden al rango de hasta 40 m; y en la planicie de nivel de base el corte es casi nulo.

Este mapa incluye el número de orden de las corrientes. Los órdenes se han determinado de acuerdo con el sistema de Strahler que considera las corrientes carentes de afluentes como de primer orden, la corriente que resulta de la unión de dos de éstas, de segundo, y así sucesivamente.

Las cuencas más importantes que aparecen completas en el mapa son las que pertenecen a los arroyos Actiopa que es de tercer orden, Tepeyecac, Xochiac y Xopanac -todas ellas de cuarto orden- y del río Nexapa, que es la de mayor desarrollo en la zona y se extiende hacia el sur, convirtiéndose en un importante afluente del Balsas.

El orden de las cuencas en esta zona es un reflejo del grado de desarrollo que ha tenido la red fluvial. Dicho orden tiene importancia desde dos puntos de vista: la cantidad del recurso agua y la intensidad del trabajo erosivo de las corrientes. Las

corrientes de primer orden, normalmente son de carácter incipiente, de nacimiento muy reciente; se forman en cualquier sitio donde el terreno tenga la pendiente suficiente para que escurra el agua. Las de órdenes cuarto, quinto y mayores son expresión del desarrollo de una cuenca, y los valles a que pertenecen las corrientes normalmente son antiguos en comparación con los de las corrientes de primero y segundo orden.

FRECUENCIA DE CORRIENTES DE SEGUNDO ORDEN

Para interpretar mejor el grado de desarrollo de la red fluvial se elaboró un mapa de frecuencia de corrientes de segundo orden. La cuantificación de las corrientes deben hacerse tomando en cuenta las de un mismo orden. Se eligieron las corrientes de segundo orden porque son las que expresan con claridad las mayores concentraciones de drenaje, es decir, zonas con fuerte escurrimiento y erosión fluvial. Las corrientes de primer orden no proporcionarían una buena información, ya que son incipientes; las de tercer orden y mayores son escasas en el mapa, insuficientes para hacer una cuantificación.

La elaboración del mapa de frecuencia de corrientes de segundo orden se llevó a cabo subdividiendo la hoja topográfica, en la que previamente se habían marcado todos los talwegs, en cuadrantes iguales de aproximadamente 5 Km^2 , determinando para cada uno el número de corrientes de segundo orden presente, anotando el valor en el centro y posteriormente interpolando, uniendo los puntos del mismo valor. De esta manera se obtuvo el mapa definitivo con valores de cero a diez corrientes de segundo orden por áreas de 5 km^2 .

Los valores más altos, mayores de nueve, se disponen en cinco zonas, dos de ellas situadas en la vertiente superior del Iztaccíhuatl, una en la vertiente occidental del Popocatepetl, otra en la ladera meridional del Popocatepetl y la última situada -- hacia la parte inferior del piedemonte y está asociada a la cuenca del arroyo Huilapan, afluente del Nexapa.

Los valores más bajos de uno y cero se encuentran en la planicie de nivel de base y en la colada de lava reciente.

Otro de los métodos morfométricos consiste en la elaboración de un mapa de densidad de la disección del relieve, es decir de longitud total de talwegs por unidad de superficie.

El mapa correspondiente para la zona en estudio no se elaboró en el presente trabajo, ya que fue hecho con anterioridad por Lugo y Martínez (1981).

El análisis de las cartas morfométricas anteriores muestra que no hay una relación directa entre los valores de ambas cartas, los valores máximos de una corresponden a los intermedios de la otra, salvo para los valores inferiores, donde se presenta una coincidencia casi absoluta. De lo anterior se puede inferir lo siguiente:

- Existe un proceso erosivo más intenso en las vertientes del Iztaccíhuatl que en las del Popocatepetl.
- Hay un proceso de erosión remontante intenso en el piedemonte, con barrancos paralelos y una erosión en el Iztaccíhuatl con corrientes alimentadas por las aguas del deshielo.
- Se presenta una interrupción constante del proceso erosivo fluvial por acumulaciones volcánicas, de lo que resulta que en la zona de Huejotzingo la mayoría de las corrientes

desemboca en la planicie de nivel de base en forma de valles ciegos; sin embargo, el río Nexapa y sus afluentes drenan parcialmente a esta planicie.

El piedemonte es una zona con fuerte escurrimiento superficial con buena recarga de aguas subterráneas, y la planicie de nivel de base es la zona de acumulación de estos mantos freáticos.

MORFOGENESIS

El término morfogénesis se refiere a los procesos exógenos y endógenos que originan las formas del relieve terrestre. Estas se clasifican de acuerdo a los procesos que han predominado en su desarrollo, pueden ser endógenos, exógenos o combinaciones de estos dos. De esto resulta tres tipos genéticos principales del relieve: endógeno, exógeno, y endógeno modelado. Al mismo tiempo, estos se subdividen en varios más.

1. RELIEVE ENDOGENO

Los procesos endógenos se manifiestan en la zona en estudio por una intensa actividad volcánica en el Plioceno y Cuaternario, por los tres tipos característicos del volcanismo: efusivo, extrusivo y explosivo, cada uno de estos será regido por las propiedades fisicoquímicas del magma.

Los procesos explosivos se refieren a la expulsión violenta de materiales del interior de la Tierra a la superficie; se originan así los cráteres, los conos de escoria y cenizas, los maares y las superficies de piroclastos. Los procesos efusivos dan lugar a las formas originadas por la emanación escurrimiento y enfriamiento de la lava sobre la superficie del terreno, formándose mesas, laderas, coladas y volcanes de lava, como formas principales. Los procesos extrusivos dan origen a formas del relieve por el enfriamiento de las lavas inmediatamente en la superficie o a escasas profundidades; son representativas de estos procesos los domos volcánicos. Son muy comunes las formas del relieve originadas por procesos combinados explosivos y efusivos surgen así los estratovolcanes, laderas y superficies complejas de lavas y piroclastos: y otras.

Los magmas con alto contenido de sílice son más viscosos y fluyen de manera más lenta que aquellos con bajo contenido. Pero no sólo el contenido de sílice del magma condiciona los procesos y formas resultantes, sino también los gases, la temperatura, la topografía original, el volumen total de lava arrojada, la velocidad de emanación, etc. (Best, 1982, p.236).

Los gases provienen de dos fuentes: unos resultan de las reacciones químicas en el magma, y otros son vapor de agua derivado del agua contenida en las rocas que el magma atraviesa durante su ascenso. Estos son importantes por dos razones fundamentales:

- 1) Porque modifican la composición química del magma e influyen de esta manera la naturaleza de las rocas que eventualmente se formen; y
- 2) Porque tienen consecuencias mecánicas, ya que los gases concentrados en ciertas partes de un volcán y sometidos a presión pueden provocar explosiones.

Estos fenómenos explosivos, que tienen una gran importancia geomorfológica, son controlados por una parte, por la naturaleza de las reacciones químicas que se llevan a cabo en el magma durante su ascenso; por otra por la resistencia que presenta el magma al escape de los gases.

Los magmas básicos, que son más fluidos, permiten escapar más fácilmente a los gases que los magmas ácidos, por lo que la actividad explosiva es mucho mayor en éstos últimos.

La temperatura tiene también un papel importante, ya que en general, las magmas más calientes son más fluidos y permiten el escape de gases más fácilmente que los magmas viscosos, en los que el escape de los gases se dificulta dando a la erupción un carácter más explosivo.

Según Tricart (1974, p.244) "...los mecanismos que controlan la diferenciación del magma y su depositación en la superficie te-

rrestre son mucho más variados y sujetos a cambio que aquellos que operan para el caso de las plutonitas, formadas a gran profundidad ..." debido a que, en general, son producidos por emanaciones que arrojan magma desde varios kilómetros de profundidad a la superficie, y esta expulsión involucra un cambio muy brusco en las condiciones fisicoquímicas del material, en el cual se están llevando importantes transformaciones.

La topografía original, en especial la inclinación de la superficie, son factores que determinan la forma y extensión de los mantos y coladas de lava y de las superficies de piroclastos. Los productos volcánicos rellenan las depresiones del terreno, y es común que las coladas de lava fluyan sobre los valles preexistentes, provocando inversiones en el del relieve; esta inversión se produce cuando una corriente de lava ocupa el cauce de un río obligándolo a cambiar de sitio, las corrientes erosionarán entonces más fácilmente en los bordes de las coladas y donde éstas no están presentes, llegando a formar nuevos valles en los lugares en los que antiguamente se localizaban los parteaguas, quedando los valles originales ahora cubiertos de lava como partes elevadas.

Una fuerte pendiente facilita la extensión de coladas y mantos lávicos.

Aún si la pendiente del terreno fuera favorable, es posible que no se formen grandes coladas de lava debido a un bajo volumen total de lava arrojada. También serán restringidas estas formas si la velocidad de emanación es muy lenta, lo que provoca la solidificación de la lava en sitios cercanos a los centros de emisión.

El mapa geomorfológico se reconocen las siguientes formas del relieve:

RELIEVE VOLCANICO ACUMULATIVO

A) VOLCANES

Dentro de esta categoría del relieve se distinguen dos tipos principalmente: los volcánes monogenéticos y los poligenéticos. Los primeros se forman por una sola etapa de actividad, son generalmente de dimensiones reducidas; dentro de esta categoría encontramos conos cineríticos, pequeños volcanes compuestos de material piroclástico y lavas, volcanes de lava y domos. Es común encontrar estos tipos de volcanes en las laderas de un volcán poligenético mayor, lo que se explica por el hecho de que a medida que éste volcán poligenético crece en altura, el magma en su salida tiene que recorrer un trayecto cada vez mayor, por lo que busca vías para fluir más fácilmente a la superficie (Milanovsky 1979, p. 149).

La mayoría de los volcanes presentes en la zona que nos ocupa pertenecen a esta categoría.

Los volcanes poligenéticos son formados por varias etapas de actividad, a lo largo de grandes períodos de tiempo, y dentro de esta categoría encontramos a los dos grandes estratovolcanes - Popocatepetl e Iztaccíhuatl. La compleja morfología que presentan estos se deriva de dos razones: 1) la interacción entre la actividad volcánica y los procesos exógenos, ya que en los períodos de calma se incrementa la acción de la denudación y, si éstos son prolongados, el volcán puede llegar a perder por completo su expresión en relieve, y 2) la variada sucesión de erupciones de diversos tipos.

El término estratovolcán se aplica tradicionalmente a conos formados por capas alternadas de lavas y materiales piroclástico, pero en un sentido más amplio se refiere a aquellos formados por capas sobrepuestas de materiales resultantes de la actividad volcánica, cualquiera que sea su naturaleza y variedad (Tricart, op.cit., p.267)

En la zona que comprende este estudio se reconocen los siguientes volcanes:

POPOCATEPETL

Es la segunda montaña más alta de México, con 5,428 m, se reconoce en el extremo suroccidental de la zona de trabajo. Se trata de un gigantesco cono de piroclastos y lava de más de 2,400 m de altitud y una pendiente de 30° en promedio, en sus laderas superiores. Las pendientes del cono hacia el este son más uniformes que las del oeste; las primeras disminuyen suavemente hacia el valle de Puebla y las segundas son interrumpidas por el relieve de la serranía del Ajusco (Aguilera y Ordoñez, 1985, p.8) (fotos 1 y 2).

Esta estructura volcánica se extiende con una pendiente menor, de 12 a 25° hasta la cota de 3,100 m, aproximadamente, hacia el oriente; hacia el norte se extiende hasta los 3,400 a 3,500 msnm; hacia el sur hasta la cota 3,100 m. y al occidente hasta los 2,600 msnm. Es un cono casi perfecto, bien conservado, debido a su actividad reciente, que se ha manifestado incluso en tiempos históricos.

Es posible reconocer cuatro zonas principales en este volcán (Lugo, 1984):

1. CRATER

La posición del cráter es excéntrica con relación al eje de la montaña, estando desplazado hacia el sureste, quedando el borde más grueso y más elevado del mismo en la dirección opuesta, hacia el noroeste. Es de forma elíptica "... de 850 m, de eje mayor y de 750 m, de eje menor, con una profundidad de 250 a 300 m, en el fondo existen fumarolas que sirven de respiraderos al volcán, capas de rocas traquíticas muy compactas,



Foto 1. Vista aerea del Popocatéptl, en donde se puede apreciar el cráter; la parte superior cubierta de nieve; la parte inferior en color gris oscuro, debajo de la nieve; las laderas inferiores; y hacia el NW la cañada Nexpayantla.
(Fotografía de DETENAL)



Foto 2. Cara norte del Popocatépetl. Muestra la totalidad del área glaciada en 1949.
(Tomada de Lorenzo, 1964)

basaltos, escorias porosas cargadas de óxido de Fe, abundantes depósitos de azufre y de ácido sulfhídrico. En el interior del cráter, que es de paredes verticales, tienen lugar derrumbes constantes y está lleno de rampas y lomas ..." (Yarza, 1948. p.107). No está definido por una arista uniforme, sino muy irregular, y recibe diferentes denominaciones: al noroeste, la parte más elevada "Pico Mayor"; al sur y sureste, "El Portezuelo"; al este " El Espinazo del Diablo"; y en la parte más baja que comprende el norte "Labio Inferior" (Aguilera y Ordóñez, op. cit., p.19)

2. PARTE SUPERIOR

Se encuentra por arriba de los 4,900 m . y es esta zona la que generalmente está cubierta de nieve, en donde tienen desarrollo los glaciares actuales. Está formada en parte por rocas y parte por productos piroclásticos arrojados por erupciones modernas. El límite de las nieves permanentes varía durante las distintas épocas del año, y no está dispuesto de manera regular alrededor de la cima; en el lado sur tiene una fuerte variación e incluso hay ocasiones que la nieve desaparece por completo; esto se explica por recibir ese lado del volcán las corrientes de aire caliente y seco que suben de los valles de los Estados de Puebla y Morelos (Aguilera y Ordóñez, op. cit., p.11) En esta región existen tres glaciares que más adelante se describen.

3. PARTE INFERIOR

Esta tiene su límite inferior aproximadamente a los 4,400 m ; está constituida por laderas de lava y materiales piroclásticos. Fueron modeladas por procesos nivales y glaciales y actualmente están presentes los procesos gravitacionales. Presenta escasos escarpes, de pocas decenas de metros de desnivel, y es muy regular en su configuración, a excepción del lado no occidental, en la que se encuentra parte de la cabecera de la cañada Nexpayantla, que presenta una pendiente de 40 a 90° don-

de los procesos denudatorios tienen una intensa acción. Por arriba de esta cabecera se encuentra la elevación denominada Pico de Fraile, que es considerada parte del antiguo volcán Nexpayantla.

4. LADERAS INFERIORES

Están constituidas de lavas y piroclastos, se extienden hasta los 3,300 m.. Es en éstas donde tiene amplio desarrollo los procesos denudatorios y de erosión fluvial, es a partir de aquí donde se localizan las cabeceras de los barrancos. Sin duda el rasgo más característico de esta zona es la cañada Nexpayantla, y su cabecera occidental llamada Ventorrillo; alcanza más de 400 m.. de profundidad, y sus laderas tienen alrededor de 38° de pendiente, donde se producen constantes derrumbes y deslaves. Se cree que esta cañada se formó sobre los flancos del antiguo volcán Nexpayantla y conservó su profundidad debido a que no fue rellenada por los materiales provenientes de las erupciones del Popocatepetl. Esta cañada drena hacia el río Nexapa, afluente del Balsas. Se encuentran también varias barrancas de diversas profundidades, entre las que destacan las de Xalipilcayatl (de hasta 100 mt. de profundidad), y la Tlamacas (de hasta 200 m..), con rasgos de distintas etapas de erosión, todas ellas dispuestas de manera radial alrededor del cono. White (1942, p.2) encontró, en los cortes producidos por algunas de estas barrancas coladas de lava intercaladas con depósitos piroclásticos y parcialmente cubiertas de ceniza.

Este estratovolcán se ha originado por erupciones repetidas de lavas y piroclastos, de composición dacítica (Demant, 1978, p. 176) y latíandesítica (Erffa, 1976, p.103).

IZTACCIHUATE

Es una estructura de mayores dimensiones, en forma de cofre alargado; de norte a sur tiene aproximadamente 4 km. de longitud entre las cotas extremas de 4,600 m. Su amplitud tomada sobre la misma cota es de 2.4 km. Este volcán presenta las siguientes zonas, de acuerdo con Lugo (1984) (fotos 3 y 4)

1. PARTE SUPERIOR

Se localiza por arriba de los 4,700 msnm, es en esta zona donde se presentan los doce glaciares que se describen en páginas posteriores. Está formada por tres elevaciones principales que en conjunto dan la apariencia de una mujer acostada, por lo que se les denominan Pies, Pecho y Cabeza, de sur a norte.

"En 1889, Whitehouse escaló esta cima (el Pecho) y la identificó como un cráter ya que parecía como una "taza con lados en suave declive entre tres cimas de casi igual altura..." (1890); Böse y Ordóñez niegan que exista un cráter en la cumbre del Pecho, sin embargo su descripción de la cima (1901) hace énfasis en las mismas características de la explicación y del boceto de Whiterhouse que claramente indican la existencia de un cráter ahí. Un estudio de las fotos aéreas de la Compañía Mexicana de Aerofoto, de noviembre de 1945, muestra sin duda una depresión ancha en la superficie de la nieve sobre el Pecho entre las tres cimas más elevadas; esta depresión ocupa aproximadamente la misma área que el glaciar del Pecho, calculándole Lorenzo (1959) en 75,000 m². Tan tremenda depresión o cráter no podría existir si la forma de la cuspide de el Pecho se supone es debida a un proceso ordinario de erosión ascendente" (White, 1962, p.16).

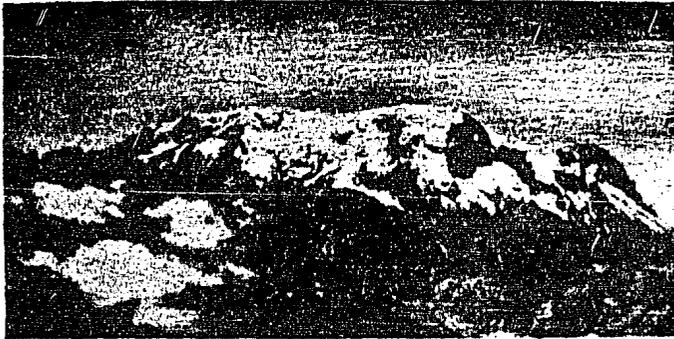


Foto 3. El Iztaccíhuatl visto desde el oriente. *
la silueta femenina se destaca claramente.

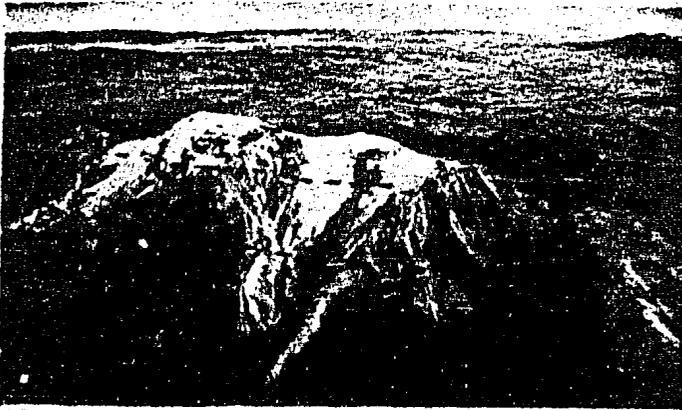


Foto 4. Vista desde el WSW donde se aprecian las tres
zonas. I. Parte superior, II Laderas superiores y
III Laderas inferiores.
Al fondo se observa parte de la cuenca Puebla-Tlaxcala

2. LADERAS SUPERIORES

Están localizadas por arriba de los 4,400 msnm, son laderas que originalmente fueron niveladas por procesos nivales y glaciales y actualmente están siendo modeladas por los procesos denudatorios. La pendiente de estas laderas es uniforme, de 18° aproximadamente. En esta zona se localizan las cabeceras de los profundos barrancos que se encuentran a lo largo de la vertiente occidental del volcán, como son las de Alcalica, Milpulco y Tepetongo, así como las cabeceras pertenecientes a los barrancos de Alseseca y San Diego, al sureste del volcán, y a las cañadas de Ocoyo y Tlatzala, al noroeste.

3. LADERAS INFERIORES

Se localizan por abajo de los 4,400 m. y hasta los 3,700, son laderas con desarrollo de procesos gravitacionales y fluviales; hacia el occidente están compuestas de lavas y hacia la vertiente opuesta predominan los materiales proclásticos, principalmente. En esta región se puede apreciar, sobre todo en la parte occidental, las huellas que dejaron los glaciares que existieron en el Pleistoceno, como son los valles, las aristas y los circos glaciales. Para el lado oeste, White (1962) ha establecido que existieron por lo menos cuatro glaciaciones durante el Pleistoceno superior y describe con detalle los depósitos de morrenas encontrados. En el flanco este del volcán solo se detectaron huellas de glaciación en la parte norte de la Cabeza y al sureste de los Pies.

Los antiguos valles glaciares encontrados en esta zona son ahora erosionados por las corrientes fluviales y por los procesos gravitacionales, estos últimos presentes sobre todo en las cabeceras que alcanzan 30° de pendiente. En la parte norte del volcán se encuentran escarpes de más de cien metros de desnivel. En general, este volcán presenta una erosión mucho mayor que el -

Popocatépetl. La composición petrográfica del mismo es de andesitas, traquitas y dacitas. (White, op. cit., p.13).

Además de estos dos estratovolcanes, que forman la estructura principal de la Sierra Nevada, se presentan en la zona que cubre este estudio algunos volcanes más, que se describen a continuación.

CERRO GORDO Y OCOTEPEC CHICO

Se localizan al oriente de Paso de Cortés. El Cerro Gordo alcanza 3,780 msnm, y tiene una altura máxima relativa de 500 m de forma cónica, con cima aguda ligeramente alargada, su base es circular, tiene aproximadamente 2 km. de diámetro, sus laderas son de pendiente fuerte, de hasta 26°. En la parte superior presenta tobas de composición andesítica, de aproximadamente 50 m. de espesor, con bordes escarpados que llegan a alcanzar una inclinación de 90°, parcialmente cubierta de prioclastos de color gris al intemperismo y rojizo al fresco.

El Cerro Ocotepec Chico alcanza una altura de 3,860 msnm y tiene una altura relativa máxima de 300 m.; su base es de forma elíptica, con su eje mayor orientado norte-sur, de 1,750 m de longitud, y su eje menor de 1,500 m. presenta en la parte inferior una pendiente fuerte de 12°, hasta la cota de 3,800 m a partir de donde cambia bruscamente, haciéndose más suave los últimos 60 m. hacia la cima, donde tiene una inclinación de 7° aproximadamente.

CERRO CHICALO, LAS MESITAS, COAXALTEPEC, HIELOSOCHIO Y TEHUIXTLE

Son más o menos homogéneos en morfología, tienen laderas de pendientes fuertes y cimas en forma de meseta, se localizan hacia el oriente de la zona objeto de estudio.

El cerro Chicalo tiene una altura absoluta de 3,620 msnm y una relativa de 220 m; sus laderas son de pendientes de hasta 28°. El cerro Las Mesitas (Foto 5) tiene una altura relativa de 340 m y una absoluta de 3,540 msnm; hasta la cota de 3,400 m tiene una pendiente fuerte, de 38° y hacia arriba esta cambia bruscamente haciéndose más suave, con 15° de inclinación. El cerro Hilosochio es el volcán más alto de esta porción del mapa, con una altura de 460 m sobre el terreno y de 3,600 msnm, sus laderas tienen una pendiente máxima de 32°. Entre los cerros Las Mesitas y Hielosochio, a un lado del camino madero utilizado por la fábrica de papel San Rafael, se encontró un depósito de lahar, (Foto 6) que de acuerdo con Araña (1974, p.70) son avalanchas de material piroclástico y fragmentos de lava removidos por las aguas provenientes del rápido deshielo. El cerro Tehuistle es un pequeño cono de 320 m de altura, con 4,020 msnm, sus laderas tienen una pendiente máxima de 30°.

Todos estos cerros están formados por acumulaciones de material piroclástico y lavas, en la base de éstos.

CERRO MALINALTEPEC

Se encuentra en la porción norte del mapa, hacia el pie de la vertiente oriental del Iztaccíhuatl, es un cono pequeño de altura relativa de 140 m, y alcanza una altura absoluta de 2,760 msnm; es de base circular, de aproximadamente 1.5 km de diámetro, con cima plana y pendiente máxima de 19°. Este volcán presenta un cráter relleno de piroclastos y ha sido poco erosionado por las corrientes fluviales.



Foto 5. Cráter del volcán Las Mesitas.
Muestra un relleno completo.



Foto 6.
Corte sobre la carretera en el volcán
Hielosochio que muestra un depósito
de material piroclástico.

CERRO TEPEYECAC Y MENDOCINAS

Se localizan en la parte centro-norte del mapa, sobre la planicie de nivel de base. El cerro Tepeyecac (Foto 7) se asienta sobre la cota 2,200 m. y alcanza una altura de 60 m. es de forma ovalada, con diámetro de 1,500 m. por 90 m. la cima es de una superficie más o menos circular con más de 15 m. de diámetro; sobre el piso de la cima sobresalen rocas resistentes con alteraciones superficiales en color café rojizo, la roca fresca de color gris. La morfología del volcán es característica de una breve edad geológica, y su altura relativa de 60 m. se explica por un relleno de su base debida a acumulaciones de otros volcanes recientes. Las lavas de este volcán se pueden observar en una cantera en su porción suroccidental, junto con una brecha volcánica. (Foto 8).

El cerro Mendocinas alcanza una altura de 2,520 msnm y se levanta aproximadamente 280 m. sobre su base, es de forma irregular, con una pendiente de 9° aproximadamente; está cortado por barrancos en forma radial, de desarrollo incipiente, a excepción de uno que alcanza 60 m. de profundidad.

CERRO SAN JOSE ATOYATENCO

Es de forma más o menos circular, con diámetro de 1,300 m. tiene una altura de 2,300 msnm; asentado sobre la planicie de nivel de base, con una altura relativa de 200 m. precisamente en el extremo nororiental del mapa; está constituido esencialmente por materiales piroclásticos, su pendiente es de unos 13° y casi nula la erosión fluvial.



Foto 7. Volcán Tepeyecac

CERROS ZAPOTECAS Y TECAJETE

Hacia el extremo suroriental del mapa se levantan estos volcanes. El Zapotecas (Foto 9) esta constituido de lavas y piroclastos,, alcanza una altura de 2,380 m, levantándose 180 m sobre la planicie de nivel de base; tiene diámetro de 1,500 m, presenta un cráter de fondo plano, (Foto 10) amplio, con un diámetro de aproximadamente 200 m. Este cráter se encuentra a 60 m de la cima, donde afloran lavas en bloque y brecha volcánica alteradas superficialmente en color gris rojizo, siendo la roca fresca de color gris oscuro, (Foto 11 y 12) de composición andesítica; la extensión de la lava del volcán se reconoce con claridad hacia el oriente, la poca altura del volcán y su cráter nivelado expresa un relleno provocado por volcanes más jóvenes, como el Tecajete, localizado 5 km. al occidente, o por el mismo Popocatepetl.

Sus rasgos de erosión son incipientes y consisten en una red de barrancos de hasta 30 m de profundidad.

El volcán Tecajete (Foto 13) es un cono de piroclastos con pendiente de 32° , es de forma cónica casi perfecta, no ha sido afectado por la erosión fluvial, y solo en su base hay un desarrollo incipiente de barrancos; en la cima se reconoce un cráter con dos desniveles máximos de 40 m, situados en puntos opuestos, el cráter es una superficie circular plana de 150 m. de diámetro aproximadamente, la altura máxima de éste sobre el nivel del mar es de 2,460 m, por lo que la relativa es de 260 m; su base mide 1,250 m de diámetro. El volcán presenta rasgos de extrema juventud, por lo que resulta notable que su cráter se encuentre relleno; está rodeado de lava, que al este se extiende 2 km. cubierta de material piroclástico. Aparentemente, las erupciones del volcán Popocatepetl han contribuido a la nivelación del relieve de esta región. Al oriente del del volcán existe una cantera donde se extrae material para construcción.

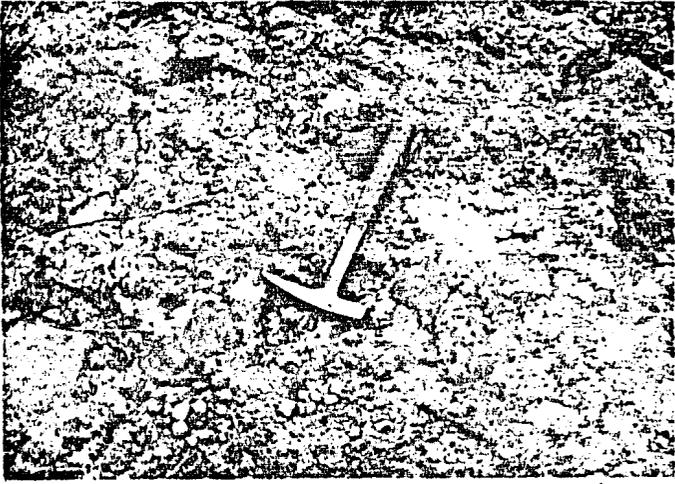


Foto 8. Brecha volcánica del volcán Tepeyecac

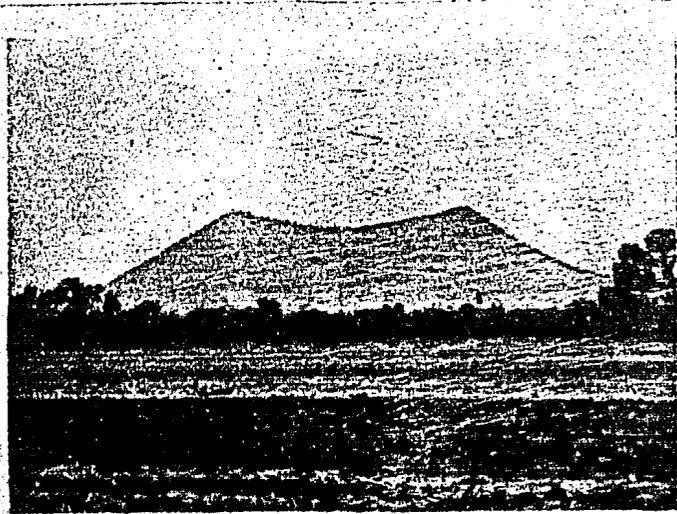


Foto 13 Volcán Tecajete

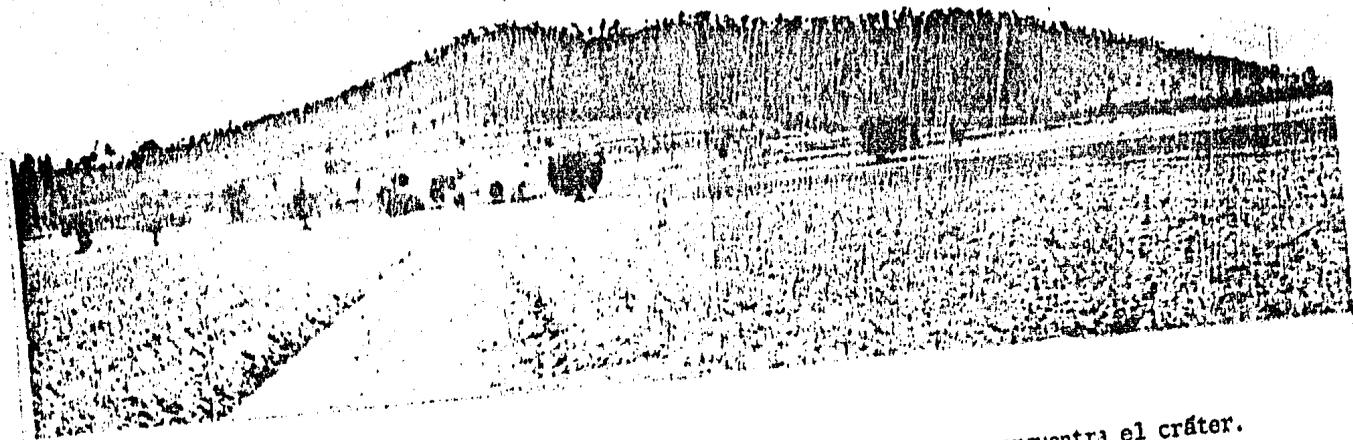


Foto 9. Volcán Zapotecas. Hacia la derecha de la fotografía se encuentra el cráter.

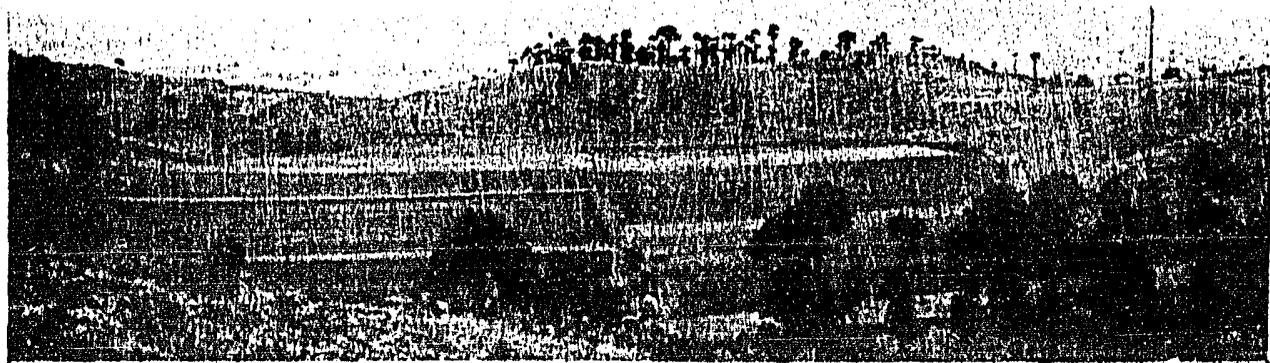


Foto 10. Cráter del volcán Zapotecas. Nótese que ha sido casi totalmente relleno.



Foto 11. Brecha volcánica en el volcán Zapotecas



Foto 12. Cima del volcán Zapotecas, constituida de lavas.

B) COLADAS DE LAVA

Se originan por un proceso volcánico efusivo. Su magnitud, estructura, forma, etc., dependen fundamentalmente de la composición química del magma. En la zona en estudio se presenta una asociación compleja de volcanes y sus productos, por lo que solo pueden ser reconocidos con claridad las formas más jóvenes que no han sido ocultadas por depósitos posteriores.

Una gran colada de lava se reconoce hacia la base oriental del Popocatepetl a partir de los 3,100 msnm y hacia el este y sureste una distancia máxima de 20 km; ocupa una superficie aproximada de 66 km² y tiene su límite oriental a los 2,200 m aproximadamente.

Su límites laterales consisten en escarpes de hasta 40 m de altura, y su relieve es del tipo de un malpais.

Su clasificación petrológica corresponde a andesita de hipertenita, la roca fresca es de color gris oscuro y gris claro al intemperismo. Por su morfología general se trata de una colada de lava muy joven, posiblemente del Holoceno. Es notable que una colada de lava tan joven no presente el volcán que le dió origen, sin embargo, ésta muestra en su porción más elevada, a 3,200 msnm, el residuo de un volcán con 40 m de altura sobre su base, rodeado hacia el occidente por materiales piroclásticos provenientes del Popocatepetl, cuyas exposiciones lo han venido cubriendo paulatinamente. (Fotos 14 y 15).

Relacionadas con estas formas se tienen coladas de lava cubiertas de materiales piroclásticos, aunque no lo suficiente para impedir su expresión en el relieve. Se trata con seguridad de más de un tipo de lava de diversas edades de formación, cubiertas por las explosiones piroclásticas del Popocatepetl. Una de ellas se localiza hacia la base suroriental del Popocatepetl, y en su porción septentrional se encuentra parcialmente cubierta por la co



Foto 14. Fotografía aérea que muestra parte de la colada de lava situada al este del Popocatéptl.

(DETENAL)

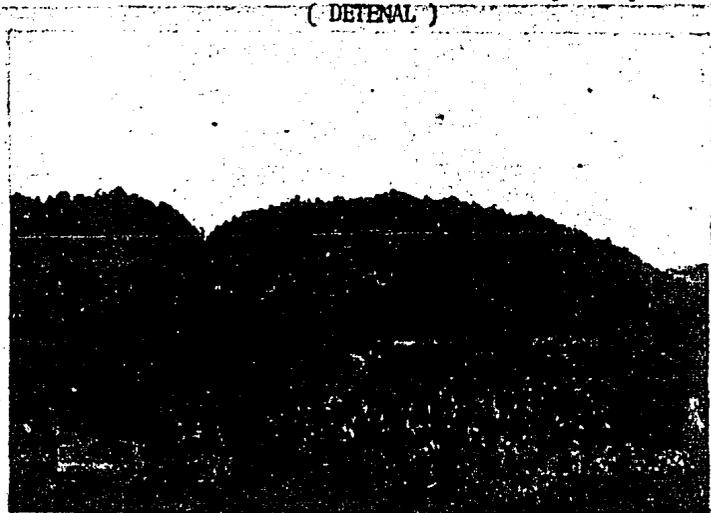


Foto 15.
Se observa en esta
fotografía el espesor
de la colada.

lada de lava anteriormente descrita; en su relieve hay desarrollo de barrancos y en algunas partes alcanzan más de cien metros de profundidad. Este tipo de formas se localizan también hacia el extremo oriental de la zona en estudio, asociadas al volcán Tecajete.

C) SUPERFICIES DE MATERIAL PIROCLASTICO

Esta es una de las formas que se originan por la actividad volcánica explosiva, la cual expulsa bombas, escoria, piedra pómez, lapilli, arena y ceniza, así como fragmentos de las rocas más antiguas que componían las paredes del tapón o del canal, por el que fueron arrojados los piroclastos, y que fueron arrancados por la violencia de la explosión. Al ser expulsados del volcán, estos materiales se elevan una altura de varios kilómetros, por lo que llegan a cubrir un área grande, sobre todo si hay corriente de aire al momento de la explosión, mismas que favorecen la distribución de los piroclastos en áreas mayores. El depósito de estos materiales está controlado por un mecanismo de diferenciación gravitacional, de lo cual resulta que en las inmediaciones del volcán se precipiten los fragmentos más pesados, como son las bombas y los bloques de las rocas más antiguas arrancadas por la explosión; más tarde se precipitan, y pueden ser llevados más lejos, los fragmentos más pequeños y más ligeros, que en ocasiones forman acumulaciones a centenares e incluso más de mil kilómetros del lugar de origen.

En muchas ocasiones las planicies de material piroclástico se desarrollan en el tiempo no por una, sino por varias etapas de actividad de uno o varios volcanes y rellenan las depresiones del relieve.

Debido a que la superficie de los fragmentos piroclásticos es de extrema irregularidad, poseen una elevada fuerza cohesiva y pueden mantenerse, sin desprenderse, incluso en laderas --

muy abruptas (Milanovsky, op. cit., p. 143)

Generalmente son formas jóvenes, puesto que los procesos exógenos actúan sobre ellas, transformándolas rápidamente por erosión fluvial, crecimiento de barrancos, por acumulaciones fluviales etc.

Cada erupción tiene una composición definida y puede ser reconocida por su contenido mineral, esto es de gran valor estratigráfico y los datos pueden ser indentificados en aluvión, coluvión, depósitos volcánicos, etc. Su uso para estos propósitos es llamado tefracronología (Tricart, op. cit., p. 257)

En la zona de trabajo estas formas del relieve están reducidas, aunque se encuentran dispuestas en todas las formas orográficas: desde el parteaguas de la Sierra Nevada -en la parte baja que se forma entre los volcanes Popocatepetl e Iztlaccíhuatl- en la vertiente de la Sierra, en el piedemonte y en las partes contiguas a algunos volcanes jóvenes que se levantan sobre la planicie de nivel de base.

2. RELIEVE ENDOGENO MODELADO

RELIEVE VOLCANICO DENUDATORIO

En esta categoría se considera a todas las formas del relieve originadas por procesos volcánicos que han sido afectadas por procesos exógenos destructivos (denudatorios) en diverso grado.

Se han diferenciado cuatro tipos de formas del relieve, en general dispuestas en determinados niveles altitudinales, y son los siguientes:

A) NIVEL SUPERIOR

Se encuentra por arriba de los 4,900 msnm con altitudes variables, según la exposición de las laderas montañosas, mismas que presentan pendientes muy fuertes, ausencia total de vegetación, constitución compleja de lavas y piroclastos, y por las condiciones climáticas, fuertes procesos exógenos niveladores que incluyen la gelifracción, nivación, erosión glaciaria y procesos gravitacionales. Esto naturalmente está limitado a los dos grandes estratovolcánes.

B) NIVEL DE PROCESOS GRAVITACIONALES

Se extiende inmediatamente por abajo del anterior, aproximadamente hasta la cota 4,400 msnm; es característica su fuerte pendiente, está constituido por una asociación compleja de lavas y piroclastos, la vegetación está ausente; a diferencia del primer nivel, no existen los procesos glaciares, aunque a fines del Pleistoceno tuvieron amplio desarrollo en toda esta zona.

En la actualidad se presentan esencialmente procesos gravitacionales, como deslaves, derrumbes, corrimientos de tierras; todos estos actúan especialmente en las cabeceiras de los barrancos, mismos que tienen un fuerte desarrollo.

C) NIVEL DE DENUDACION Y EROSION FLUVIAL

Tiene sus límites inferiores aproximadamente entre los 3,400 y 3,800 msnm y está formado de laderas montañosas en gran parte constituidas por lavas, en menor proporción por materiales piroclásticos; es la zona donde se inicia

el desarrollo de los procesos fluviales a través de corrientes que cortan las vertientes montañosas con distintas profundidades.

Los circos de erosión y los escarpes tienen también un amplio desarrollo, donde se producen fuertes procesos gravitacionales.

D) NIVEL DE EROSION FLUVIAL

Es el que ocupa una extensión mayor, prácticamente lo que es la vertiente inferior de los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl, hasta una altitud de aproximadamente 2,600 a 2,800 msnm.

En su mayoría son laderas constituidas por lavas con una cubierta variable de material piroclástico. A diferencia de las vertientes superiores, en ésta las corrientes fluviales han cavado valles profundos y amplios, con sus bordes superiores normalmente de más de 500 m, con escaso desarrollo de la erosión en las laderas de las cañadas.

En esta zona donde se producen los escurrimientos más importantes y tienen su origen las acumulaciones de nieve y hielo de las partes elevadas y en las numerosas corrientes menores que al irse fusionando dan lugar a estas cañadas profundas.

3. RELIEVE EXOGENO

En esta categoría se incluye las formas del relieve originadas por procesos destructivos (denudatorios ó erosivos) y constructivos (acumulativos). Estos se subdividen a la vez en función del agente predominante.

RELIEVE EROSIVO O DENUDATORIO

A) EROSIVO FLUVIAL

Este tipo de relieve comprende todas las formas originadas por la acción erosiva de las corrientes fluviales que son de dos tipos principalmente: los barrancos y los valles montañosos o cañadas.

Los primeros son formas de una gran dinámica de crecimiento que en su evolución pueden llegar a su extinción por el proceso erosivo lateral al llegar a alcanzar el nivel de base y pueden también convertirse en valles montañosos, al alcanzar el nivel de las aguas freáticas y adquirir una relativa estabilidad en sus laderas superiores.

En el mapa geomorfológico elaborado para la zona de Huejotzingo, se representan solamente las grandes formas erosivas de acuerdo con la escala utilizada.

En la vertiente montañosa son cañadas profundas, formadas por un escurrimiento que se inicia en las paredes elevadas y sigue las proyecciones débiles del terreno y las de mayor pendiente; actualmente tiene desarrollo la erosión vertical. La erosión lateral ha estado manifiesta ampliando los bordes de las cañadas, aunque no lo suficiente para unirlos.

La vertiente montañosa limita en su parte inferior con el piedemonte, una superficie de pendiente considerablemente menor y constituida principalmente por materiales piroclásticos. Se puede apreciar aquí que las formas erosivas se han desarrollado por una erosión remontante característica de los barrancos activos. Es por esto que numerosas cabezas se encuentran en la misma zona del piedemonte.

Los barrancos en su mayoría son de poca profundidad, menores de 20 m, aunque hay algunos que superan los 150 m. de profundidad. La mayoría de los barrancos presentan desembocaduras en el mismo piedemonte y solamente los que escurren hacia el sur, en el extremo oriental de la carta, se integran a una cuenca fluvial (río Nexapa, afluente del - Balsas).

Otras formas del relieve originadas por procesos destructivos son los escarpes, circos de erosión, antiguos circos glaciares, valles glaciares, etc., que se indican en el mapa.

B) EROSIVO GLACIAL

Los glaciares son agentes importantes presentes en la zona de estudio, cubren parte del Popocatépetl e Iztaccíhuatl, que además de los del Pico de Orizaba, son los únicos actualmente activos en México.

Estos glaciares, que se localizan en climas tropicales, se originan, debido a que al acumularse los materiales lávicos y piroclásticos aumentó la altura del volcán, alcanzando el límite de la quionósfera, lo que definió el límite de las nieves permanentes.

Para el desarrollo de glaciares, además de la presencia de nieve, es necesaria la formación de las cuencas de neviza. A partir de estas cuencas, las masas de hielo se ponen en movimiento -rasgo característico de los glaciares- y tiene lugar la exaración o erosión glacial, manifestándose en forma de valles, aristas, circos de erosión, etc. En el tipo de glaciares presentes en las montañas de México, al descender éstos a cotas inferiores y de acuerdo a los cambios climáticos, disminuye la intensidad

dad de la exaración, siendo reemplazada por procesos fluviales y gravitacionales.

En México los glaciares han sido descritos por varios autores, entre los que destacan White y Lorenzo. Este último describe para el Popocatepetl tres glaciares en la cara norte "... comparten un área de acumulación difícil de diferenciar en sus límites superiores y, después, entre las cotas de 5,300 - 5,250 cada cual adquiere una cierta independencia" (Lorenzo, 1964, p. 18). Estos se describen a continuación:

GLACIAR DEL VENTORRILLO O TEOPIXCALCC.- Se localiza en la cara norte, comenzando en la cota 5,360 y descendiendo hasta la 4,690; cubre un área aproximada de 400,000 m².

GLACIAR NORTE.- Está situado en la cara norte, comenzando en la cota 5,250, descendiendo hasta la 4,840, y cubre un área aproximada de 200,000 m².

GLACIAR NOROCCIDENTAL.- Localizado en la cara noroeste, comenzando en la cota 5,400 y llegando hasta la 5,015, cubre un área de 120,000 m².

Para el Iztaccíhuatl describe un total de doce glaciares y son los siguientes (Lorenzo, op. cit., p.31):

GLACIAR DE LA CABEZA.- Se encuentra en la parte norte de la Cabeza, comenzando en la cota 5,045, descendiendo hasta la 4,900 donde se ve interrumpido por un acantilado al que corona, su área aproximada es de 14,400 m².

GLACIAR DEL CUELLO.- Cubre un área aproximada de 50,000 m², se desprende hacia el este del collado que existe entre la cabeza y el Pecho, iniciándose en la cota 4,990 y terminando en la 4,760.

GLACIAR DE AYOLOTEPITO.- Nace de la cumbre en la cota - 5,250, con rumbo norte que luego altera hacia el oeste - para terminar en la cota 4,760; cubre un área aproximada de 212,500 m².

GLACIAR DEL CRATER.- Sale del interior del cráter que forma la montaña con cota de 5,286. Se abre en dos lenguas de la cual una toma dirección noroeste y alcanza hasta la cota de 4,890 teniendo dos masas de hielo asiladas más bajas; la otra lengua presenta un frente de seracs en la cota 4,910; tiene un área de 179,500 m².

GLACIAR ONO.- Parte del Pecho, de los 5,286 msnm con rumbo ONO y con características de glaciar de acantilado, alcanza la cota 5,050, cubre un área aproximada de 50,000 m².

GLACIAR NORORIENTAL.- Se encuentra al sureste de la cumbre, desplazándose hacia el oeste, iniciándose en la cota 5,050 y alcanzando la 4,830, ocupa 25,000 m².

GLACIAR CENTRO-ORIENTAL.- Ocupa un área de 245,000 m², está localizado en la parte central de la montaña dirigiéndose hacia el este, de la cota 5,190 a la 4,715.

GLACIAR DE AYOLOCO.- Se encuentra en la cara oeste, en la parte central de la montaña, desplazándose hacia el oeste, - de la cota 5,190 a la 4,715.

GLACIAR SURORIENTAL.- Localizado en la cara este, extendiéndose hacia el sureste; se inicia en la cota 5,130 y - llega hasta la 4,970; cubre un área de 77,500 m².

GLACIAR ATZINTLI.- Se encuentra en la cara oeste, desde - la cota 5,080 hasta la 4,855; cubre 57,500 m².

C) DENUDACION

En la zona que comprende este estudio son muy importantes los procesos gravitacionales; se presentan principalmente en las partes más elevadas donde se dan todas las condiciones necesarias para el desarrollo de derrumbes y deslaves, esto es: pendiente fuerte, alto grado de intemperismo, presencia de agua, nieve y hielo.

En la ladera montañosa y en el piedemonte los derrumbes son procesos frecuentes que contribuyen al crecimiento de los barrancos en sus cabeceras y en sus laderas. Los procesos gravitacionales están íntimamente ligados con los procesos nivales, glaciales y fluviales; y dan origen a depósitos de lahar.

RELIEVE ACUMULATIVO

Se incluye en este tipo de relieve todas las formas originadas por procesos exógenos:

A) ACUMULACION GLACIAL.

Los procesos glaciales que tuvieron un desarrollo considerablemente mayor a fines del Pleistoceno originaron grandes morrenas basales que se reconocen muy bien en la vertiente occidental del Iztaccíhuatl entre los 4,200 m y los 4,700 msnm y ha sido descritas por varios autores, principalmente por White (op. cit)

En la vertiente oriental no se han observado, posiblemente fueron cubiertas por erupciones volcánicas posteriores y en el Popocatepetl están ausentes por la continua actividad de este volcán.

- **GLACIAR DE SAN AGUSTIN.**- Está situado en la cara este, cubre una hondonada y es resto aparente de un glaciar mayor, su cota más alta es 5,030 y la más baja 4,970; ocupa 11,250 m².

Cabe señalar que las descripciones anteriormente expuestas corresponden a observaciones hechas cuando menos hace veinte años, y actualmente los límites de los glaciares no corresponden necesariamente a los señalados por Lorenzo, ya que es un hecho muy conocido de los montañistas que la línea de las nives cada vez se encuentra en cotas más altas, sobre todo en la vertiente occidental de la Sierra, esto posiblemente se deba en parte a la contaminación de la cuenca de México.

Los únicos glaciares importantes por sus dimensiones son los que escurren hacia la vertiente occidental, el de Ayoloco principalmente. Dadas las condiciones topográficas de la vertiente oriental del Iztaccíhuatl, la mayoría de los glaciares terminan en escarpes a manera de glaciares colgantes, donde el proceso glacial se convierte en coluvial y laderas abajo en fluvial.

Las formas del relieve glaciar tienen un desarrollo mucho mayor hacia la vertiente occidental del Iztaccíhuatl y son muy reducidas en la vertiente opuesta.

La presencia de hielo y nieve no es tan importante como agentes que originen formas del relieve glacial, como valles y morrenas, sino por su acción destructiva y como fuente principal de alimentación de las corrientes fluviales de la vertiente oriental de la Sierra Nevada.

Las cañadas más profundas presentes en la zona en estudio son antiguos valles glaciares actualmente erosionados por procesos fluviales, como son las cañadas de Nexpayantla, Alcalica, y Milpulco es característico de estas cañadas el gran circo de erosión, de origen glacial, presente en sus cabeceras.

B) ACUMULATIVO DE PIEDEMONTE

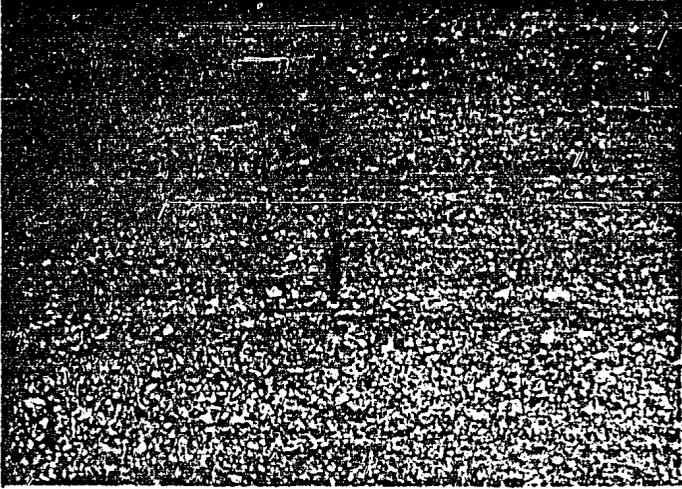
Esta es una gran estructura que se extiende aproximadamente de los 2,800 a los 2,300 msnm entre la vertiente oriental de la Sierra y la planicie del nivel de base. Se identifica por su pendiente menor de 6° en su porción superior, y de 1.5 a 2° hacia la parte inferior.

Morfológicamente es un auténtico piedemonte con límites precisos, su origen se debe esencialmente a acumulaciones volcánicas de material piroclástico, lo que se confirma no solo por la constitución superficial del terreno, sino también por los cortes verticales de los barrancos profundos que disecan este piedemonte, donde es posible distinguir varias capas de piroclastos con pseudoestratificación. (Fotos 16, 17, 18 y 19).

Es posible que esta estructura haya tenido un desarrollo exógeno interrumpido por un volcanismo muy joven de fines del Pleistoceno y del Holoceno.

En el trabajo de campo fue posible observar, en el corte de un barranco, una capa de material de tipo fanglomerado de 5 metros de espesor, constituido por fragmentos de rocas de diversos tamaños, desde bloques a arenas. Esto se observó en la parte inferior del pie de monte a unos 4 km de su límite con la planicie de nivel de base.

En apariencia se localizaba aquí una desembocadura fluvial que formaba un cono de deyección, posteriormente cubierto por cenizas del Popocatepetl y de otros volcanes jóvenes. (Foto 20).



©
Foto 16. Seudostratificación de material piroclástico en el piedemonte.

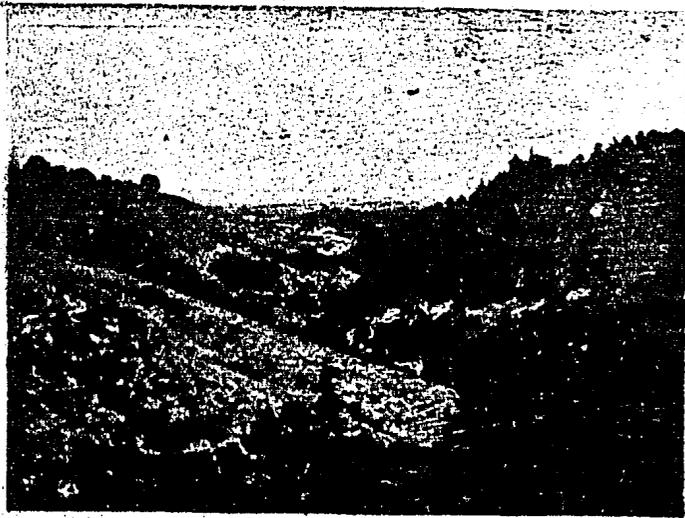


Foto 17. Barranco en el piedemonte



Foto 18. Amplio valle relleno de piroclastos en la parte inferior del piedemonte.



Foto 19.
Cabecera de un barranco secundario activo.

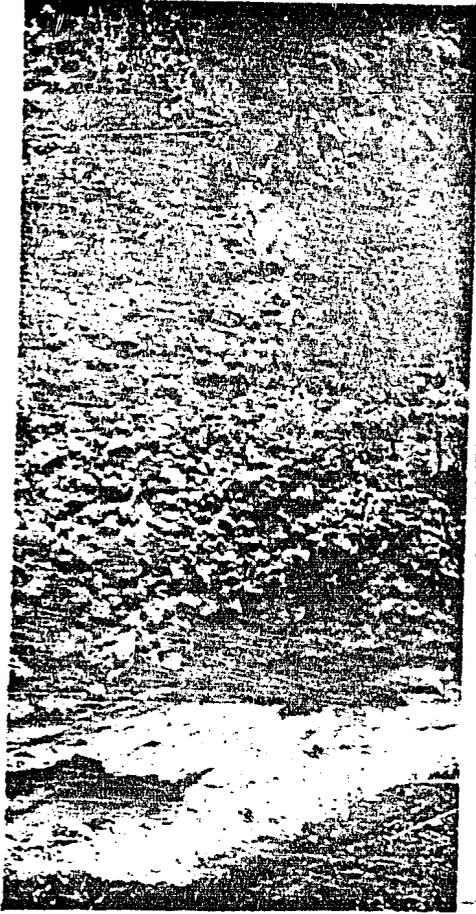


Foto 20. Depósito de fanglomerado en el piedemonte.
Corte de un barranco.

C) ACUMULATIVO DELUVIAL

Se trata en este caso de mantos pequeños de amplitud de unos cientos de metros que se forman al pie de los volcanes más antiguos, donde la erosión ha removido detritos de las laderas del volcán depositándolos al pie del mismo. Estos mantos de acumulación deluvial se reconocen en los volcanes Tepeyacac y San José Atoyatenco.

D) ACUMULATIVO DELUVIAL-VOLCANICO

El extremo oriental de la zona de trabajo está ocupada una extensa planicie con material piroclástico en su superficie. Se trata aparentemente de una antigua planicie aluvial-lacustre semejante a la que se reconoce al oriente, hacia la ciudad de Puebla, pero que ha sido ligeramente cubierta por las acumulaciones de material piroclástico de las erupciones recientes del Popocatepetl, por esto no tiene desarrollo la red fluvial.

En esta planicie se reconocen tres escalones principales, es decir, cambios de nivel, descendentes hacia el oriente, se interpretan como acumulaciones de lava cubiertas por materiales piroclásticos.

La descripción que se ha hecho de las formas del relieve de una porción de la cuenca Puebla-Tlaxcala nos permite apreciar que en una extensión reducida del terreno, menor de 1,000 km², se presenta una gran variedad de procesos geomorfológicos condicionados por un volcanismo activo en tiempos históricos, este fenómeno endógeno es el que determina fundamentalmente las condiciones climáticas actuales, la morfología general del relieve y a los procesos exógenos.

El volcanismo ha provocado el desarrollo de glaciares y -
consecuentemente de grandes escurrimientos hacia ambas ver-
tientes con la formación de cañadas y barrancos, así mismo
por ejemplo, la presencia de una gran colada de lava, posi-
blemente muy reciente (en el sur del mapa) que representa
una interrupción temporal de la erosión

Las grandes acumulaciones de material piroclástico han al-
terado también el proceso erosivo y en apariencia han re-
llenado parcial y totalmente los barrancos, que en las -
etapas breves de estabilidad se reactivan.

Otra consideración interesante sobre la geomorfología de
la zona en estudio es su extrema juventud, predominando -
las formas del relieve Cuaternario con una gran dinámica
actual de desarrollo, tanto por fenómenos endógenos como
exógenos.

DINAMICA ACTUAL

Los procesos morfogenéticos predominantes en la zona de trabajo son los endógenos, presentes por un intenso volcanismo. Los procesos exógenos tienen una fuerte actividad, principalmente a través de la erosión fluvial, pero no han logrado nivelar las irregularidades de la superficie, provocadas por la actividad interna del planeta.

El volcanismo ha estado presente aún en el Holoceno, por lo que muchas de las formas son muy jóvenes.

Los dos estratovolcanes presentes en esta zona, Popocatepetl e Iztaccíhuatl, han sido edificados por la alternancia de derrames lávicos y depósitos de materiales piroclásticos en un período relativamente amplio de actividad; a diferencia de los pequeños conos compuestos monogenéticos, que tuvieron un período corto de actividad, a los que actualmente se les considera extintos.

Cada vez que un volcán entra en actividad va cubriendo las partes que lo circundan y el ciclo erosivo se ve constantemente interrumpido, lo que provoca un rejuvenecimiento del relieve. Tenemos de este modo que incluso las formas más antiguas del relieve como el volcán Nexpayantla, han sido casi totalmente cubiertas por la constante actividad endógena, quedando tan sólo testigos de esta evolución.

Los volcanes jóvenes presentan una forma cónica, están casi completos, con surcos radiales, lavas cubiertas de piroclastos y superficies de piroclastos. En otra etapa encontramos volcanes que aún conservan su forma cónica, pero presentan un manto de acumulación deluvial y barrancos en su etapa inicial de desarrollo que avanzan laderas arriba; posteriormente pierden su forma

inicial al acelerarse el proceso de erosión, al incrementarse la disección vertical y produciéndose movimientos de tierra.

Varios volcanes tienen su cráter relleno de materiales piroclásticos, probablemente provenientes de erupciones del Popocatepetl puesto que es el volcán que aún en este siglo ha manifestado actividad, lo que muestra la extrema juventud del relieve.

En el ciclo erosivo de los barrancos existen las siguientes etapas; de acuerdo con Soloviev (Gorshkov y Yakushova, 1978):

- En la primera etapa se forman las escorrentías de poca profundidad, que crecen a medida que aumenta la erosión vertical.
- Dentro de la segunda etapa aparece la erosión remontante, que provoca el desarrollo de la cabecera del barranco mediante la acción conjunta de la erosión fluvial y la denudación; la erosión de las laderas del barranco es incipiente y continúa dominando la erosión vertical.
- En la tercer etapa se incrementa la erosión lateral, ampliando el valle; la erosión vertical cesa al alcanzar el nivel de base. A partir de esta etapa puede suceder dos cosas.
 1. Que la erosión lateral comunique a los barrancos destruyendo sus divisorias y llegue así a una etapa de extinción.
 2. Que la erosión vertical alcance el nivel de las aguas subterráneas, convirtiéndose el barranco en valle montañoso (de corriente permanente).

Dentro del área en estudio encontramos barrancos con diverso grado de evolución en toda su longitud. El desarrollo de las

cabeceras lo encontramos principalmente en los límites de la ladera montañosa con el piedemonte y en sitios próximos al parteaguas, siendo en éstos últimos donde tienen una mayor expresión.

Esto se debe a que antiguamente fueron amplios valles producidos por una fuerte exaración y actualmente son erosionados por las corrientes fluviales y por la denudación.

La erosión vertical ha alcanzado un máximo desarrollo en la ladera montañosa y en la parte superior del piedemonte, originando barrancos de hasta 400 m. de profundidad. La erosión lateral está presente principalmente en el piedemonte, donde los valles han alcanzado una amplitud máxima de 1 km. y en algunos sitios empieza a desaparecer la divisoria entre éstos, como es el caso de los arroyos Xopanac y Apitzato, al occidente de Huejotzingo.

Los barrancos se extinguen al llegar a la planicie de nivel de base, donde en su mayor parte se infiltran en el terreno, y las restantes son incorporadas a acueductos, a excepción del río - Nexapa, que continúa hacia el sur hasta incorporarse al río Balsas.

Los escurrimientos débiles, pertenecientes a la primera etapa de desarrollo, los encontramos en la colada de lava localizada en la parte meridional y en los pequeños conos asentados en la planicie de nivel de base.

En concreto, la dinámica actual de desarrollo de la vertiente oriental de la Sierra Nevada se caracteriza por un intenso volcanismo activo en tiempos históricos y como respuesta a éste, intensos procesos niveladores por la acción de la nieve y el hielo en las porciones más elevadas y por el escurrimiento superficial hacia las laderas montañosas (por abajo de la cota de 4,000 msnm) y el piedemonte.

La futura evolución del relieve de esta zona se puede entender --
como resultados de una lucha de procesos antagónicos (volcánicos)
y exógenos erosivos.

III. APLICACIONES ECONOMICAS Y CONCLUSIONES

Los resultados principales de este estudio están resumidos en los mapas morfométrico y geomorfológico. Los primeros proporcionan una información importante sobre el recurso agua y el proceso de erosión fluvial en el tiempo. La clasificación de las corrientes fluviales en órdenes numéricos y su cuantificación es uno de los numerosos elementos que pueden aplicarse en un estudio puramente hidrológico y se verían complementados con datos como el gasto (Q), la evapotranspiración, escurrimiento, infiltración y otros.

Desde el punto de vista puramente geomorfológico, interesan las formas resultado del escurrimiento del agua: barrancos y cañadas. La cuantificación de las formas elementales, los talwegs, tiene como objetivo fundamental conocer mejor el relieve terrestre, sobre todo en lo que se refiere a la intensidad de su disección y la secuencia de su evolución en el tiempo. Por esto, los mapas morfométricos complementan al geomorfológico, que proporciona una información puramente cualitativa.

Todos estos mapas, como todos los temáticos relacionados con las ciencias de la Tierra, no resuelven un problema por sí solos, si no que su aplicación está en función de la interpretación que haga el especialista de los mismos.

Es seguro que la información geomorfológica que aquí se presenta, es útil para quien en la zona estudiada trata problemas hidrológicos, geotécnicos, de asentamientos humanos, de vocación del suelo, etc.

La zona es rica en lo que se refiere a sus recursos hídricos. La zonalidad geomorfológica los favorece. Como se ha expuesto a lo largo de este trabajo, la presencia permanente de nieve y hielo

en la Sierra Nevada permiten un fuerte escurrimiento a partir de la línea de las nieves ladera abajo. A esto hay que agregar las fuertes precipitaciones que se producen en la zona montañosa y la presencia de diaclasas en las rocas, que controlan los escurrimientos, que controlan los escurrimientos y favorecen la infiltración.

La estructura montañosa de la Sierra Nevada es la zona principal de captación y de escurrimiento. En el piedemonte tiene lugar un fuerte escurrimiento superficial y subterráneo, y la planicie de nivel de base es la zona de descarga y de recarga de mantos subterráneos. Hilger (op.cit., p. 104) estimó que en la Sierra Nevada, en tiempos de sequía, se producen descargas de 6 a 8 l/seg. por km².

Por las razones anteriores, las poblaciones que se encuentran en las proximidades de la Sierra Nevada no sufren por la ausencia de agua, como Huejotzingo, la población principal en la zona en estudio; o Atlixco, hacia el sur, y Amecameca al occidente, por ejemplo.

A la presencia de agua hay que agregar que los suelos son fértiles debido a que son resultado de la transformación bioquímica de las cenizas volcánicas. En el piedemonte y en la planicie de nivel de base se presentan los suelos fértiles, favorables para la agricultura; mientras que las laderas montañosas han favorecido el desarrollo de bosques de pinos.

En esta zona no se presentan importantes núcleos de población y aparentemente no existe el problema de urbanización, sin embargo no se descarta la posibilidad de que con el tiempo creciera en esta zona una mancha urbana, ya que hay magníficas condiciones naturales climáticas y con recursos hidrológicos.

Lo ideal será que se preserve esta zona natural, que se protejan sus bosques, suelos y recursos hídricos.

Los recursos naturales no renovables están ausentes en la vertiente oriental de la Sierra Nevada, pero es rica en otros recursos - como suelos, bosques, agricultura y recursos hídricos.

Uno de los procesos geomorfológicos exógenos más interesantes - son los barrancos, tanto por el grado de desarrollo que han alcanzado (fuertes profundidades), como por su actividad actual, - (erosión remontante). Los barrancos, sobre todos los incipientes de poca profundidad, son muy activos y serían los de mayor - interés en el proceso de erosión del suelo, o en el caso de obras geotécnicas.

Sin embargo, aún cuando los barrancos alcanzan grandes profundidades, no han pasado a la etapa propiamente de destrucción, por fusión de los mismos. Aparentemente han sido interrumpidos repetidamente en su desarrollo por las acumulaciones volcánicas.

El cono de volcán Popocatepetl se vé afectado por numerosos barrancos que lo cortan radialmente, con fuerte velocidad de crecimiento. Se aprecia una erosión intensa, que de permanecer el volcán en inactividad, el cono superior quedaría parcialmente - destruido en tiempos históricos. Esto es poco probable, ya que en la parte alta del Cuaternario la actividad volcánica ha superado en intensidad a la erosión.

La zona que ha abarcado este estudio presenta características - geomorfológicas que la hacen un caso excepcional en México y podemos afirmar que en el mundo. Esto se debe a la existencia de un gran cambio de altitud en una distancia horizontal reducida (más de 3,000m de desnivel en una distancia menor de 40 km.).

originando por el volcanismo que ha estado activo desde el Pleistoceno y a lo largo del Cuaternario, lo que ha provocado dis

tintas condiciones climáticas, y la presencia o incremento de los procesos exógenos dominantes, pudiendo observarse en esta pequeña área del planeta, la acumulación de nieve y la formación de glaciares; diversos procesos gravitacionales; procesos fluviales en un ciclo completo, desde su nacimiento en la ladera montañosa, hasta su extinción en la planicie de nivel de base; así como varias formas, tanto acumulativas como erosivas, derivadas de estos procesos.

Se trata además de una de las zonas de mayor riesgo volcánico de México por las erupciones del Popocatepetl que es muy posible que continúen en el futuro, independientemente de la posibilidad del nacimiento de un nuevo volcán.

Se ha expuesto a lo largo de este trabajo, el relieve de una región determinada y debemos contemplarla como el resultado de una interacción de procesos exógenos y endógenos. La zona que nos ocupa es un ejemplo muy claro de esto, con la particularidad de que ambos procesos se presentan actualmente con gran intensidad.

A pesar de la existencia de aparentemente numerosas publicaciones que tratan sobre la Sierra Nevada, en conjunto o en partes, el grado de estudio de la misma no corresponde a su importancia por la influencia que ejerce sobre las cuencas de México y Puebla-Tlaxcala. Son muy necesarios estudios detallados sobre el régimen de los glaciares, la secuencia de las erupciones, el régimen hidrológico, el clima y sus aparentes modificaciones por influencia del hombre, la ecología, geotermia y otros. Además, hay que mencionar que por tratarse de un estratovolcán activo - deberían llevarse a cabo observaciones permanentes por métodos geofísicos, con fines científicos y para prevenir posibles desastres.

B I B L I O G R A F I A

- . AGUILERA J. - ORDONEZ E.
Expedición Científica al Popocatepetl
Comisión Geológica Mexicana. - México 1895

- . ALVAREZ R.
"Transcontinental Faulting; evidence for superimposed
subduction in México",
Trans. Amer. Geophys. Union;
v.56, p. 1066 (resumen), 1975.

- . ARAÑA S. - LOPEZ R.
Volcanismo, Ediciones Istmo, Madrid, 1974.

- . BEST G.
Igneous and Metamorphic Petrology.
W. H. Freeman and Co., San Francisco 1982.

- . BLOOMFIELD K. - VALASTRO S.
" Late Pleistocene eruptive history of Nevado de Toluca
Central México "
Geol. Soc. Am Bull.
v. 85, p. 901-906, 1974.

- . BUTZER K.
Geomorphology from the Earth. Harper and Row Pub.
New York, 1976.

- . DEMANT A.
"Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus
problemas de interpretación"
Revista del Instituto de Geología de la UNAM, vol. 2, núm. 2
P. 172-187. México, 1978.

- ERFFA A., HILGER W., KNOEVICH K Y WEYL R.
 "Geología de la cuenca alta de Puebla-Tlaxcala y sus contornos"
Comunicaciones, núm. 13. Proyecto Puebla-Tlaxcala de la Fundación Alemana para la Investigación Científica. P.99-106 México, 1976.
- ETERNOD AGUILAR A.
 "El análisis de la disección del relieve por medio de métodos morfométricos"
Memoria del VIII Congreso Nacional de Geografía. Toluca, México, 1981. P. 28-38
- FUENTES AGUILAR L.
 "El paisaje en el piedemonte poblano de los volcánes Popocateptl e Iztaccíhuatl"
Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, vol. VI. P. 97-106 México, 1975.
- GARCIA E.
Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Offset Larios, México, 1964.
- GORSHKOV G. - YAKUSHOVA A.
Physical Geology
 Ed. MIR. Moscú, 1977.
- HATCH, F.H.: WELLS, A.K. Y WELLS, M.K.
Petrology of the igneous rocks
 Thomas Murby and Co. London, 1979.
- HEINE K. - HIDE-WEISE H.
 "Secuencias de erupciones en el volcán Malinche y Sierra

Nevada durante los últimos 40,000 años."

Comunicaciones, núm. 7. Proyecto Puebla-Tlaxcala de la
Fundación Alemana para la Investigación Científica P. 7-8
México, 1973.

HEIRICH, E. W.

Identificación microscópica de los minerales

Urmo, S. A. Bilbao, 1970

HILGER W.

"Observaciones respecto a la geología de la región de
Puebla-Tlaxcala"

Comunicaciones, núm. 7.

Proyecto Puebla-Tlaxcala de la Fundación Alemana para la
Investigación Científica, P. 3-6

México, 1973.

KERR P. J.

Optical mineralogy

Mc. Graw Hill Book Co. 1959.

KNEIB W., MIEHLICH G. Y XOELTL H.

"Clasificación regional de los suelos de la Sierra Nevada
En México"

Comunicaciones, núm. 7 Proyecto Puebla-Tlaxcala de la

Fundación Alemana para la Investigación Científica. P. 11-13

México, 1973.

KNOBLICH K.

"Condiciones de las aguas subterráneas en la cuenca de
Puebla-Tlaxcala"

Comunicaciones, núm. 7

Proyecto Puebla-Tlaxcala de la Fundación Alemana para la
Investigación Científica, P. 9-10.

México, 1973.

LOPEZ RAMOS E.

Geología de México.

Tomo III, México, 1981.

LORENZO J.L.

Los Glaciares de México

Monografías del Instituto de Geofísica, UNAM.

Núm. 1. México 1964.

LUGO HUBP I.

"Sobre la geomorfología moderna y su importancia en los estudios del relieve mexicano"

Boletín del Instituto de Geografía, núm. 12 UNAM.

México, 1982.

"Zonabilidad de los procesos erosivos-fluviales en la cuenca de México y el noroeste de la de Puebla-Tlaxcala".

Memoria, IX Congreso Nacional de Geografía. Tomo I.

Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística.

Guadalajara, 1983.

"Geomorfología del sur de la cuenca de México" en prensa. Instituto de Geografía. UNAM.

LUGO HUBP I. - MARTINEZ LUNA V.

"La disección del relieve en el sur de la cuenca de México y porciones adyacentes"

Boletín. Instituto de Geografía UNAM, núm. 10, P.55-64

México 1981.

LUGO HUBP I. - ROBLES PADILLA J.

"Los procesos morfogenéticos y el relieve de la zona de Texcoco, México"

Resúmenes del VIII Congreso Nacional de Geografía; P. 70-79

Toluca, México, 1981.

- MARTIN DEL POZZO A. L.
 "Monogenetic vulcanism in Sierra Chichinautzin, México"
Bull. Volcanologique, vol. 45-1, P. 9-24
- MILANOVSKY, E.E.
 "Condiciones de yacimiento de las rocas volcánicas"
 Belousov, V. Geologia estructural. Cap. VIII - P. 128-164
 Ed. MIR. Moscú, 1979.
- MOOSER F.
 "The Mexican Volcanic Belt structure and development.
 formation of fractures by differential crust. heating"
Memoria del Simposio Panamericano del Manto Superior.
 Vol. II, grupo II. México, 1968.

"Historia geológica de la cuenca de México"
Memoria Obra del Sistema de Drenaje Profundo.
 D.F. México, 1975.
- MURRAY, J. W.
A guide to clasificacion in Geology.
 Hohn Wiley and sons. New York, 1981.
- NAGANDANK, J.F.W.
 "Volcanics of the Valley of México, Part. I. Petrography
 of the volcanics"
Neues Jahrbuch Mineralogische abhandlunge
 Vol. 116, P. 308-326. 1972.
- NIXON, G.T.
 "The relationship between Quaternary volcanism in central
 México and the seismicity and structure of subducted ocean
 litosphere"
Geological Soc. Amer. Bull
 V. 93. June. 1982.

- . OLLIER C.
Volcanoes. MIT Press.
Cambridge, Mass. 1972.

- . PAL S; LOPEZ M; PEREZ R; TERRELL D.J.
"Magma characterization of the Mexican Volcanic Belt (México)
Bull. Volcanologique. Vol. 41 - 4. P. 379-389. 1978.

- . RAISZ E.
Landforms of México. Geograph branch of the
office naval research. Cambridge, Mass. 1959.

- . SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO.
Geología de la República Mexicana.
México, 1982.

- . SHURBERT D. - CEBULL S.
"Tectonic interpretation of the Trans Mexican Belt"
Tectonophysics. Núm. 101. P. 159-165. 1984.

- . STRAHLER A. N.
Geografía Física. E.d Omega.
Barcelona, 1974.

- . TAZIEFF H.
Les volcans et la dérive des continents.
Press Universitaires de France, 1972.

- . TRICART J.
Structural Geomorphology.
Longman group Ltd.
London, England. 1974.

- TURNER F. - VERHOOGEN J.
 Petrología ínea y metamórfica.
 Ed. Omega. Barcelona, 1978,
- URRUTIA J. - DEL CASTILLO L.
 "Un modelo del Eje Neovolcánico Mexicano"
Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana.
 Tomo XXXVIII, núm. 1. P. 18-28
 México, 1977.
- WHITE S. E.
A geologic investigation of the late Pleistocene
 history of the volcano Popocatepetl.
 Resumen de tesis doctoral. Syracuse University. 1951.
- El Iztaccíhuatl.
 Instituto Nacional de Antropología e Historia.
 México, 1962.
- WILLIAMS H.; TURNER F.; GILBERT C.
Petrografía.
 Ed. Continental. México, 1980.
- WOOD C. A.
 "Morphometric evolution of cinder cones"
Journal of volcanology and geothermal research
 Vol. 7. P. 387-413. 1980.
- "Morphometric analysis of cinder cone degradation"
Journal of volcanology and geothermal research
 Vol. 8, P. 137-160, 1980.
- Wyllie P. J.,
The Dynamic Earth
 John Wiley and sons. New York, 1971.

YARZA DE LA TORRE E.

Volcanes de México

Edic. Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística.

México, 1948.

Beatriz Ortega Guerrero

Tesis Profesional UNAM

ANALISIS PETROGRAFICO

Muestra: 1 Localidad: colada de lava al este del
Popocatépetl

DESCRIPCION MEGASCOPICA

color gris claro al intemperismo y oscuro al fresco, textu-
ra afanítica, con escasas vesículas menores de 1.5 mm de \emptyset

DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: mesocristalina, textura seriada, cristales suberda-
les y euedrales, matriz vítrea parcialmente devitrificada,
microlítica

Constituyentes y porcentajes estimados:

plagioclasas zonadas	20%
andesina	25%
labradorita	15%
hiperstena	15%
apatito	1%
min. opacos	2%
vidrio ácido (en matriz)	15%

Observaciones:

CLASIFICACION

Andesita de hiperstena

Beatriz Ortega Guerrero

Tesis Profesional UNAM

ANALISIS PETROGRAFICO

Muestra: 2 Localidad: Cerro Gordo

DESCRIPCION MEGASCOPICA

color rosa al intemperismo y gris rojizo al fresco, presenta fragmentos faneríticos rodeados de textura afanítica

DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: mesocristalina, porfirítica, cristales subdrales-eudrales, matriz vítrea parcialmente devitrificada con microlitos

Constituyentes y porcentajes estimados:

plagioclasas zonadas	20%
andesina	30%
hiperstena	15%
lamprobolita	10%
hornblenda	5%
apatito	1%
min. opacos	2%
vidrio ácido (en matriz)	15%

Observaciones: se presenta como un agregado de cristales de grano grueso en matriz de grano medio

CLASIFICACION

Toba andesítica de hiperstena

Beatriz Ortega Guerrero

Tesis Profesional UNAM

ANALISIS PETROGRAFICO

Muestra: 3 Localidad: Cerro Las Mesitas

DESCRIPCION MEGASCOPIA

color rojo al intemperismo y gris oscuro al fresco, textura fanerítica

DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: mesocristalina, porfirítica, cristales subedrales, matriz vítrea con microlitos.

Constituyentes y porcentajes estimados:

plagioclasa zonada	15%
andesina-labradorita	40%
hiperstena	15%
lamprobolita	10%
apatito	1%
vidrio ácido (en matriz)	10%

Observaciones: el ángulo de extinción de los microlitos varía de 20 a 27 grados

CLASIFICACION

Andesita de hiperstena

Beatriz Ortega Guerrero

Tesis Profesional UNAM

ANALISIS PETROGRAFICO

Muestra: 4 Localidad: Cerro Hielosochio

DESCRIPCION MEGASCOPICA

color rojo y negro al intemperismo y gris oscuro al fresco, se aprecia una estructura fluidal con los cristales orientados en forma paralela, porfirítica

DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: mesocrystalina, cristales subedrales, matriz afanítica de microlitos y vidrio

Constituyentes y porcentajes estimados:

plagioclasa zonada	20%
oligoclasa	25%
hiperstena	20%
apatito	1%
lentillas de limonita	1%
min. opacos	2%
vidrio ácido (en matriz)	20%

Observaciones: el ángulo de extinción de los microlitos varía de 22 a 32 grados

CLASIFICACION Andesita de hiperstena

Beatriz Ortega Guerrero

Tesis Profesional UNAM

ANALISIS PETROGRAFICO

Muestra: 5 Localidad: Cerro Tepeyecac

DESCRIPCION MEGASCOPICA

color rojo al intemperismo y negro al fresco, textura porfirítica

DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: merocristalina, cristales subedrales, matriz afanítica vítrea con microlitos orientados subparalelos

Constituyentes y porcentajes estimados:

plagioclasa zonada	10%
andesina	60%
hiperstena	10%
augita	5%
apatito	1%
min. opacos	2%
vidrio ácido (en matriz)	7%

Observaciones: el ángulo de extinción de los microlitos varía de 20 a 28 grados; los piroxenos presentan bordes cloritizados

CLASIFICACION

Andesita de hiperstena

Beatriz Ortega Guerrero

Tesis Profesional UNAM

ANÁLISIS PETROGRÁFICO

Muestra: 6 Localidad: Cerro Tepeyacac

DESCRIPCIÓN MEGASCOPIA

color negro al intemperismo y gris oscuro al fresco, textura afanítica

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: holocristalina, cristales subedrales, estructura pilotaxítica subparalela, matriz criptocristalina sin vidrio con microlitos

Constituyentes y porcentajes estimados:

plagioclasa zonada	20%
andesina	45%
hiperstena	15%
hornblenda	10%
augita	5%
min. opacos	2%

Observaciones: el ángulo de extinción de los microlitos varía de 21 a 30 grados; los cristales más grandes aparecen rotos

CLASIFICACION

Andesita de hiperstena

Beatriz Ortega Guerrero

Tesis Profesional UNAM

ANALISIS PETROGRAFICO

Muestra: 7 Localidad: Cerro Tepeyecac (cantera sur)

DESCRIPCION MEGASCOPICA

color negro al intemperismo y al fresco, textura afanítica, con vesículas de 1 a 2 mm de ϕ

DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: mesocristalina, cristales subedrales, matriz con microlitos y vidrio

Constituyentes y porcentajes estimados:

plagioclasas zonadas	15%
andesina	35%
oligoclasa	10%
hiperstena	15%
apatito	1%
clorita	1%
min. opacos	1%
vidrio de composición intermedia (en matriz)	15%

Observaciones: el ángulo de extinción de los microlitos varía de 21 a 30 grados

CLASIFICACION

Andesita de hiperstena

Beatriz Ortega Guerrero

Tesis Profesional UNAM

ANALISIS PETROGRAFICO

Muestra: 8 Localidad: Cerro Zapotecas

DESCRIPCION MEGASCOPICA

color gris oscuro al intemperismo y negro al fresco, textura porfirítica

DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: mesocristalina, cristales subedrales, estructura pilotaxítica subparalela, los fenocristales no presentan orientación, sólo la matriz, presenta texturas mirmequíticas en piroxenos substituidos por minerales opacos, matriz con microlitos y vidrio ácido

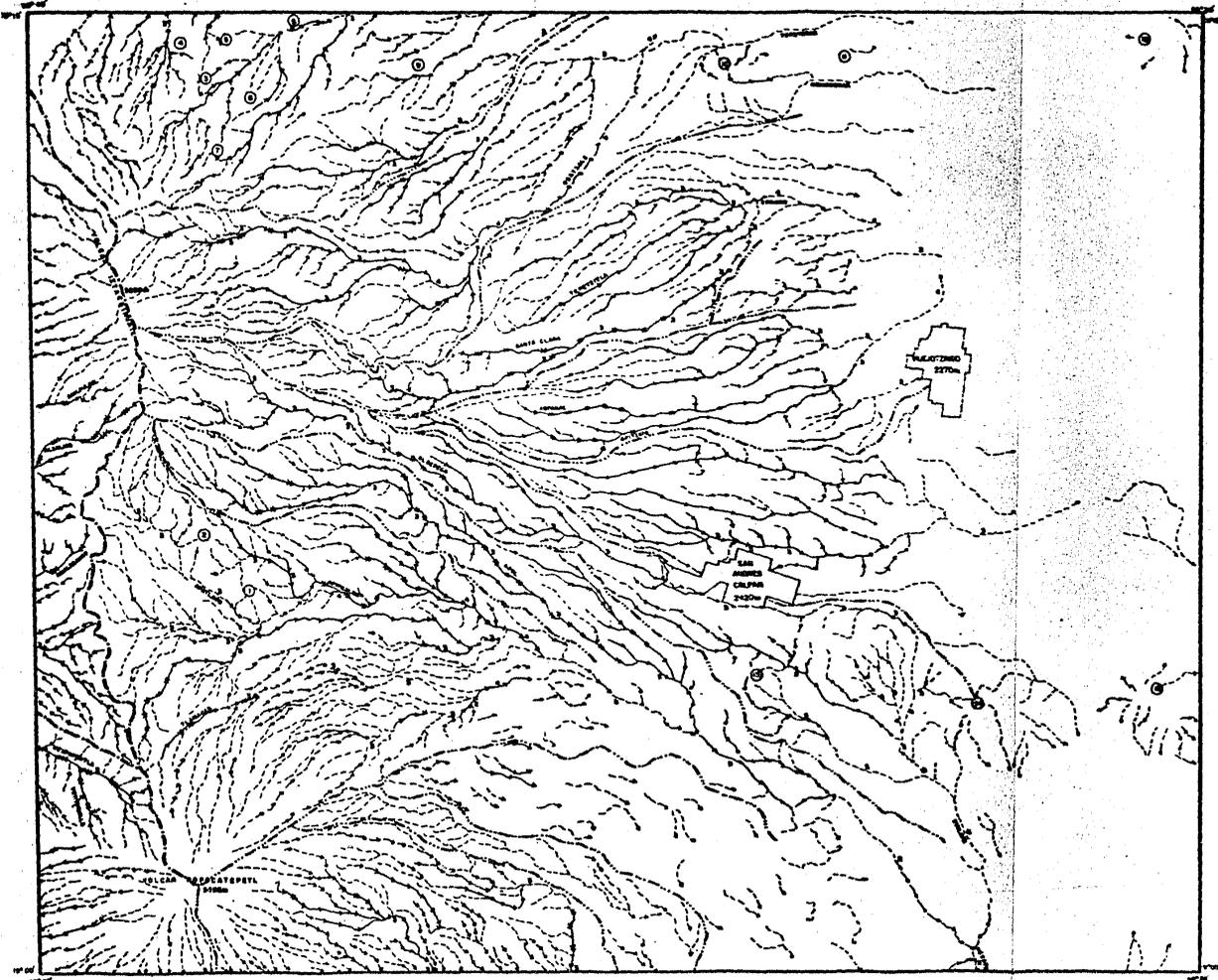
Constituyentes y porcentajes estimados:

andesina-labradorita	35%
andesina	20%
diópsido	15%
hiperstena	10%
min. opacos	1%
vidrio ácido (en matriz)	10%

Observaciones: el ángulo de extinción de los microlitos varía de 21 a 33 grados

CLASIFICACION

Andesita de hiperstena



**MAPA DE PROFUNDIDAD DE
DISECCION DEL RELIEVE**

LEYENDA

**CORRIENTES FLUVIALES Y PROFUNDIDAD DE
EROSION ACTUAL**

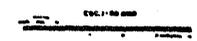
MENORES DE 20m
 DE 20 A 40m
 DE 40 A 100m
 DE 100 A 200m
 DE 200 A 300m
 m DE ORDEN DE CORRIENTE CLASICA

DIVISORIAS

PARTAGAN DE PRIMER ORDEN
 PARTAGAN MENORES

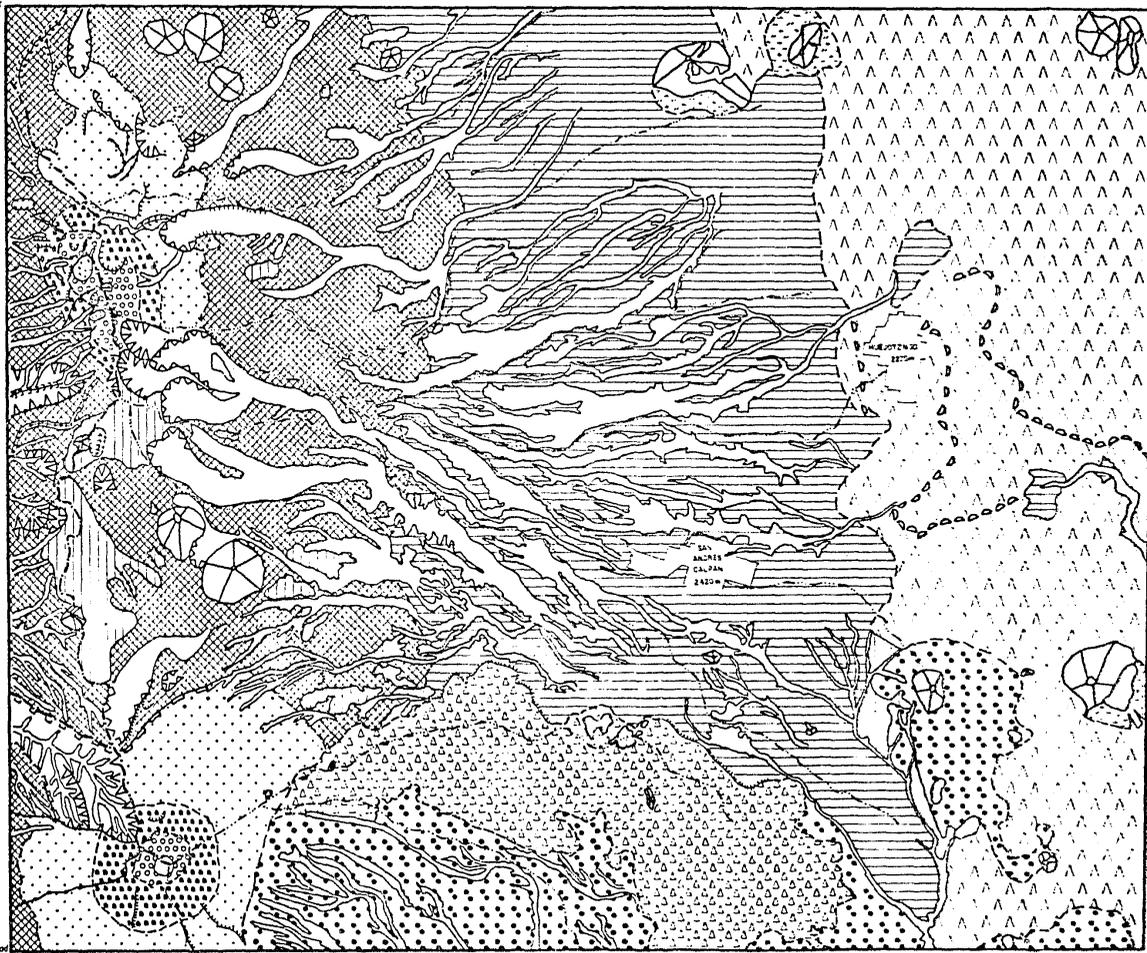
VOLCANES

OROCO
 OCOATEPEC OROCO
 OATLAPALA
 OCHICAL
 MERTAS
 MIELGROSO
 TENHITLIL
 COAHUILTEPEC
 MALINALTEPEC
 MICHOCAN
 TEPEVEZAC
 SAN JOSE TOTOTLAN
 ZAPOTECAN
 TICAHETE
 TETITLAN



U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA	
	CIENCIAS DE LA TIERRA	
	INGENIERIA GEOLOGICA	
	TESIS PROFESIONAL	DEA. TRIZ ORTEGA GUERRERO 1984

MAPA GEOMORFOLÓGICO



LEYENDA

RELIEVE ENDÓGENO

VOLCÁNICO ACUMULATIVO

- VOLCANES
- COLADAS DE LAVA
- COLADAS DE LAVA CUATERNARIAS DE MATERIAL PIROCLÁSTICO
- SUPERFICIES DE MATERIAL PIROCLÁSTICO

VOLCÁNICO DEMOLITIVO

- LADERAS SUPERIORES DE VOLCANES
- LADERAS SUP. INFERIORES POR PROCESOS GRAVITACIONALES
- LADERAS MODELADAS POR DENUDACIÓN Y EROSIÓN PLUVIAL
- LADERAS MODELADAS POR EROSIÓN PLUVIAL

RELIEVE EXÓGENO

EROSIVO

- CAÑADAS Y BARRANCOS
- VALLES GLACIALES

ACUMULATIVO

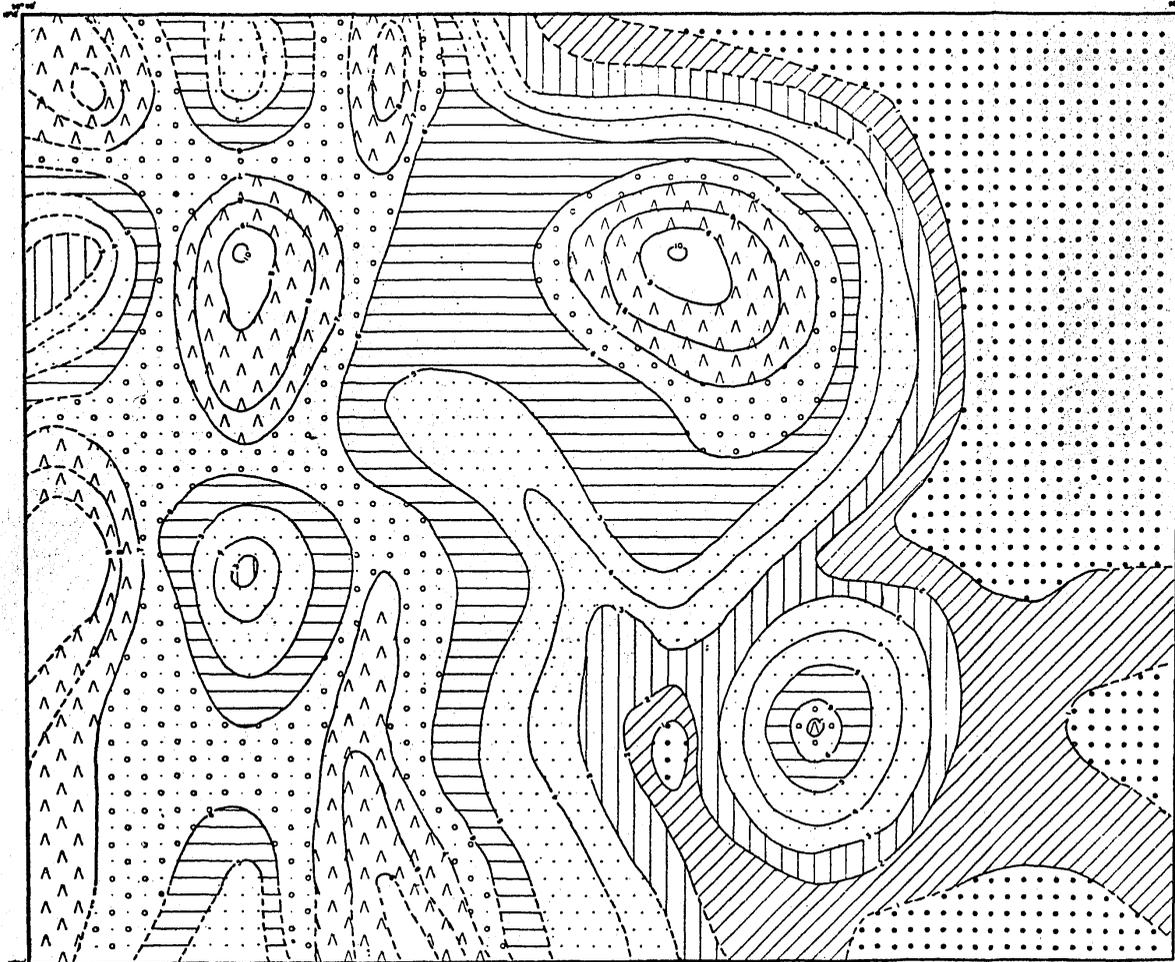
- PIEDEMONTE
- ACUMULACIÓN DE ARENA
- ACUMULACIÓN DELUVIAL
- ACUMULACIÓN ALUVIAL

SÍMBOLOS COMPLEMENTARIOS

- ALAGARES
- CIÉNEGAS GLACIALES
- CÍRCULOS DE EMISIÓN
- ARROYOS GLACIALES
- HUERTOS DE ESCALONES EN LA PLANICIE
- ESCARPES
- PATEADAS PIROCLÁSTICAS
- ESCARPES TECTÓNICOS EROSIVOS

ESCALA 1:50,000

U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA		
	CIENCIAS DE LA TIERRA		
	INGENIERIA GEOLOGICA		
	TESIS PROFESIONAL	HEATRIZ ORTEGA GUERRERO	1984



CARTA DE FRECUENCIA
DE CORRIENTES
DE SEGUNDO ORDEN

CANTIDAD DE CORRIENTES DE 2º ORDEN
EN SUPERFICIES DE 1 km^2

- 0-1
- 1-2
- 2-3
- 3-5
- 5-6
- 6-7
- 7-9
- 9-10

ESCALA: 1:50,000

U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA		
	CIENCIAS DE LA TIERRA		
	INGENIERIA GEOLOGICA		
	TESIS PROFESIONAL	BEATRIZ ORTEGA QUERREJO	1988