

37
2ET



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

"ESTUDIO DE RIESGOS NATURALES EN LA
CIUDAD DE PACHUCA DE SOTO, HGO. :
UN ENFOQUE GEOMORFOLÓGICO"



T E S I S

PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

OSCAR SALAS GARCÍA

México D.F. julio de 1995.

COLEGIO DE GEOGRAFÍA
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS



FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

A mis padres **Roberto Salas y Ma. del Consuelo Garcia**
a mis hermanas **Monica y Beatriz**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a las siguientes personas e instituciones la ayuda otorgada para la realización de este trabajo.

Al Dr. José Juan Zamorano Orozco por la dirección y apoyo brindado en la realización de esta tesis.

Al Dr. José I. Lugo Hubp por el apoyo y asesoría en el trabajo de campo y de gabinete, que fueron de gran valor para el desarrollo del presente estudio.

A los miembros del sínodo, Dr. José Luis Palacio Prieto, Dr. Jorge López Blanco y Lic. Jorge González Sánchez por los comentarios y valiosas sugerencias hechas al escrito, que mejoraron considerablemente su contenido.

Al Instituto de Geografía de la U. N. A. M.

Al gobierno del Estado de Hidalgo, a la Presidencia Municipal de Pachuca de Soto, así como a Protección Civil del Estado, en especial al Ing. Leonardo Genzález Neri, por el apoyo e información proporcionada.

A la Mtra. María Teresa García Arizaga, Al Lic. Oscar Frausto Martínez y Alberto Gómez Arizmendi por su valiosa ayuda en el trabajo de campo.

Finalmente, agradezco al Programa General de Asuntos del Personal Académico de la U.N.A.M., por apoyar este trabajo dentro del proyecto: "Impacto del vulcanismo en la evolución de la Cuenca de México" (IN103891 D.G.A.P.A.).

CONTENIDO

Capítulo.	Pag.
INTRODUCCION	
Planteamiento del problema.....	1
Objetivo.....	3
Metodología.....	3
I. INTRODUCCION AL ESTUDIO DE LOS RIESGOS NATURALES.	
1.1 Importancia del relieve en los estudios sobre riesgos naturales.....	5
1.2 Conceptos teóricos y papel de la geomorfología en el estudio de los riesgos naturales.....	7
1.3 Los riesgos naturales y su clasificación.....	10
1.4 Clasificación de riesgos geomorfológicos en la ciudad de Pachuca de Soto. Hgo.....	14
II. ASPECTOS FISICO-GEOGRAFICOS DE LA CIUDAD DE PACHUCA DE SOTO. HGO.	
2.1 Localización.....	21
2.2 Aspectos fisiográficos.....	22
2.3 Clima.....	22
2.4 Hidrografía.....	26
2.5 Vegetación.....	28
2.6 Suelos.....	29
III. GEOLOGIA.	
3.1 Aspectos generales.....	34
3.2 Estratigrafía.....	35
3.3 Características estructurales.....	42

IV. GEOMORFOLOGIA.	
4.1 Morfometria.	
Altimetría.....	50
Pendientes.....	54
Densidad de la disección.....	56
4.2 Zonificación geomorfológica.....	59
4.3 Morfogénesis.....	61
4.4 Mapa geomorfológico.....	62
V. MORFODINÁMICA Y MAPA DE AMENAZA POR PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS PARA LA CIUDAD DE PACHUCA DE SOTO.	
5.1 Morfodinámica (concepto).....	77
5.2 Carta morfodinámica de la Ciudad de Pachuca de Soto, Hgo.....	78
5.3 Mapa de Amenaza por procesos geomorfológicos en la ciudad de Pachuca de Soto, Hgo. y zonas adyacentes.....	84
CONCLUSIONES.....	98
BIBLIOGRAFIA.....	100

INTRODUCCION

A partir del siglo XVIII comenzaron a darse una serie de cambios sobre la concepción del relieve terrestre, los cuales han permitido dejar de pensar en él como un ente estático, cuya dinámica puede concebirse sólo en largos periodos. Estas ideas permitieron la aparición de la geomorfología del riesgo natural a mediados del presente siglo, conceptualizando al relieve como el producto de la acción conjunta de los procesos endógenos y exógenos y cuya dinámica puede ser percibida incluso en lapsos cortos (Veistappen, 1983).

Esto es importante, ya que es en tierra firme donde el hombre desarrolla sus actividades, construyendo viviendas, creando obras de infraestructura y explotando los recursos naturales con el fin de satisfacer sus necesidades; de esta manera transforma el medio y altera el desarrollo natural del planeta.

En este sentido, se ha observado que durante los últimos años es cada vez más frecuente que las obras construidas por el hombre se vean amenazadas por fenómenos naturales. Tal es el caso de los estragos provocados por el huracán Gilberto en la Península de Yucatán y la ciudad de Monterrey en el año de 1988, y del huracán Gert en 1993, que provocó daños sin precedentes en los estados de Veracruz, Tamaulipas, Hidalgo y San Luis Potosí, afectando a la población e infraestructura de estas regiones. En el occidente de la ciudad de México (delegaciones Alvaro Obregón y Cuajimalpa), los derrumbes y colapsos de casas se presentan de manera frecuente, principalmente durante la temporada de lluvias. Cabe mencionar, que no fueron tanto en sí los eventos naturales los causantes del desastre, sino el reto de construir en lugares donde existe una amenaza latente.

Al paso del tiempo, los riesgos se incrementan por las modificaciones que el hombre hace a la naturaleza y por los asentamientos imprudentes en los lechos de los ríos, laderas inestables, cabeceras de barrancos activos, etc.

Pachuca no es la excepción y aunque es una ciudad minera, con un subsuelo atravesado en todas direcciones por túneles y socavones, y pudiera esperarse que fuera afectada por fenómenos relacionados con estas condiciones (hundimientos y desplomes), los fenómenos naturales que la han afectado y amenazan, son especialmente las inundaciones y los procesos de ladera.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La cuenca de México se encuentra rodeada en su totalidad por elevaciones volcánicas. El límite septentrional de ésta, es la Sierra de Pachuca y al pie meridional de la misma, se asienta la ciudad de Pachuca de Soto, capital del Estado de Hidalgo.

La Sierra de Pachuca presenta características que la distinguen de las otras que forman a la cuenca de México, ya que es la más antigua y la única en donde se han encontrado y explotado ricos yacimientos minerales.

El carácter minero de la zona da como resultado un subsuelo atravesado en todas direcciones por túneles y socavones; contrario a lo que pudiera pensarse, no son los colapsos de estas construcciones los riesgos más importantes en la zona, sino los que se generan por la exogénesis, destacando la caída de rocas en escarpes pronunciados; la erosión provocada por la escorrentía difusa, la cual remueve el material suelto de las

laderas y lo transporta a las partes bajas de la ciudad, provocando el azolve de alcantarillas.

Por otra parte, la ciudad de Pachuca de Soto representa un caso particular, ya que está construida en la desembocadura del Río de las Avenidas, donde se producen crecidas extraordinarias que provocan grandes inundaciones, esporádicas y en función de intensas lluvias y de la presencia de ciclones, por lo que el riesgo de inundación se encuentra latente. Además, el crecimiento urbano hacia la planicie, así como a las laderas de la sierra y los cerros vecinos (principalmente en los últimos 15 años), ha traído consigo una serie de alteraciones del medio natural, destacando:

1. Eliminación de la carpeta edáfica y vegetal, mediante prácticas de deforestación desde la época colonial.
2. Modificación del relieve por obras mineras y emplazamientos urbanos. Un claro ejemplo de lo anterior son los "jales", depósitos de material residual producto de la actividad minera, por cuyas dimensiones (sobre todo los que se localizan al sur de la ciudad), llegan a confundirse con formas naturales del relieve. Es importante señalar que en la mayoría de los casos, estos depósitos de desecho (aunque no con las mismas dimensiones) se localizan en las zonas menos indicadas para su emplazamiento, como laderas con fuerte pendiente. Estas acciones, en conjunto aumentan la susceptibilidad del terreno, principalmente durante la época de lluvias, a los procesos erosivos y gravitacionales.

De acuerdo con la problemática que se plantea, en el presente trabajo se propone una zonificación de procesos geomorfológicos en la ciudad de Pachuca de Soto, con el fin de detectar y localizar a aquellos que representan un peligro latente (amenaza) para la sociedad y sus intereses. Se toma como punto de partida la propuesta de la Asociación de Geocientíficos para el Desarrollo Internacional para el análisis de los riesgos naturales (1988, citado en García Romero, 1993). Esta alternativa se compone de tres pasos:

- El primero consiste en determinar los tipos, características, ubicación y distribución de los procesos naturales (que para este trabajo serán considerados como "amenaza") que se presentan en el territorio (Hazards assesment), para lo cual, la descripción de las formas del relieve es de gran importancia. Con la elaboración del mapa geomorfológico se hace posible la evaluación del territorio en zonas amenazadas por diversos procesos naturales.
- El segundo paso es el análisis de la vulnerabilidad (vulnerability analysis), en el que se evalúa el desarrollo socioeconómico por medio de algunas de sus características básicas, por ejemplo: las condiciones en que se encuentran las construcciones.
- El último punto de análisis se refiere a la evaluación de riesgos naturales (risk assesment), requiere de la información obtenida en los puntos anteriores, la zonificación de las áreas que presentan procesos geomorfológicos que ponen en peligro los intereses de la sociedad.

El presente trabajo desarrolla el primer punto de esta propuesta, es decir, se estudian sólo los aspectos relacionados con las amenazas, en este caso, de origen geomorfológico. En esta base teórica, se fundamenta la cartografía de formas y procesos modeladores del relieve, mismos que pueden representar una amenaza para la ciudad de Pachuca y sus zonas adyacentes..

OBJETIVO

El objetivo general se centra en el análisis fisiográfico (localización, geología, clima, suelos) y geomorfológico, con el fin de mostrar los principales procesos del relieve y el impacto que estos tienen sobre la ciudad.

De esa manera, el presente trabajo se fundamenta en la realización de una cartografía en la que se representan los aspectos físicos del relieve y sus procesos modeladores. De acuerdo con Cardona (1993), el resultado es un mapa de amenaza por eventos geomorfológicos a escala detallada (1:10,000) para la ciudad de Pachuca de Soto, Hgo. y áreas adyacentes, partiendo de una serie de mapas morfométricos y geomorfológicos, que muestran las características y dinámica del relieve.

METODOLOGÍA

Para el cumplimiento del objetivo planteado se utilizaron los métodos tradicionales de interpretación de fotografías aéreas, mapas topográficos y verificaciones en el campo. Los materiales utilizados fueron los siguientes: un juego de 450 fotografías aéreas (1990 en escala 1:4 500); un par de fotomapas (1982 en escala 1:10 000); un juego de 12 fotografías aéreas (1980 en escala 1:50 000); Mapas topográficos y geológicos escala 1:50 000 "Pachuca" (SPP, 1980).

De la misma manera se realizó un análisis morfométrico encaminado a la caracterización del relieve, que dio como resultado tres mapas temáticos (altimétrico, pendientes y densidad de la disección), los pasos detallados de esta metodología se desarrollan en el capítulo IV.

La tesis se estructura en cinco capítulos, en el primero se describen aspectos teóricos relacionados con el estudio de los riesgos naturales, así como los criterios que se han usado para la elaboración de distintas clasificaciones. Además, se propone una clasificación de riesgos elaborada para la zona de estudio, así como la descripción de las características y mecanismos de los elementos que la integran.

El segundo capítulo presenta una descripción fisiográfica de la zona en estudio. Se describen de manera general el relieve, el clima, la hidrología, la vegetación y el suelo. Todos ellos constituyen elementos de apoyo en el análisis geomorfológico en los siguientes capítulos.

El tercer capítulo incluye el análisis de la geología, donde se parte de la explicación de la estratigrafía y de las principales características estructurales de la Sierra de Pachuca, considerando que éstas, en gran forma, determinan la morfología actual de la región.

En el cuarto capítulo se realiza el análisis de los mapas morfométricos: altimétrico, densidad de la disección y pendientes. Junto con la interpretación de fotografías aéreas y el trabajo de campo, sirvieron de base para el análisis geomorfológico final. Como parte inicial de este análisis, se presenta la zonificación geomorfológica y el mapa geomorfológico general para el área de estudio.

I. EL ESTUDIO DE LOS RIESGOS NATURALES

1.1 Importancia del relieve en los estudios sobre riesgos naturales.

La pobreza generalizada a nivel mundial que se presentó durante las décadas de los años 50 y 60, ocasionó movilizaciones de la población rural, hacia las grandes metrópolis, con el fin de mejorar su nivel de vida. Este fenómeno fue general en varios países del planeta, fomentando un crecimiento sin control a la periferia de las ciudades (Calvo, 1984). Así aparecen los asentamientos irregulares, que en la mayoría de los casos se localizan en zonas que no son propias para el uso habitacional, como serían los fondos de valles (llanuras de inundación), laderas con fuerte inclinación, zonas susceptibles a colapsos y hundimientos, áreas mineras (túneles y socavones), entre otras.

La situación anterior atrajo la atención de especialistas de distintas áreas y la geomorfología no fue la excepción. El enfoque se centra en la relación entre la distribución de los asentamientos humanos y el relieve. De manera más específica, con aquellas zonas que por sus características, climáticas, hidrológicas, litológicas, estructurales, morfológicas y de dinámica exógena, representan un posible riesgo para la población.

Los primeros estudios sobre riesgos naturales fueron encabezados por White (Gares *et al.*, 1994); dirigidos al problema de las inundaciones. Las aportaciones realizadas al respecto fueron muy importantes, pero se reconoce como lo más relevante, su método de investigación destinado al análisis de los riesgos naturales, el cual involucra cinco tareas principales:

- 1) Estimar la extensión de las ocupaciones humanas en áreas sujetas a riesgos naturales.
- 2) Determinar el rango de ajuste posible por parte de los grupos sociales a fenómenos naturales extraordinarios.
- 3) Examinar como la población percibe los eventos extremos y los riesgos resultantes.
- 4) Considerar el proceso de elección de medidas para la reducción de daños.
- 5) Analizar los efectos de las diversas políticas públicas elegidas.

La aparición del método de White, motivó que surgieran nuevos modelos para el estudio de los riesgos naturales, llegando algunos de estos a enriquecer la idea original, como fue el caso de Hewitt (citado por Gares *et al.*, op.cit.), quien en la década de los años 80, propone que los estudios sobre riesgos, amplíen su análisis con el fin de comprender en qué forma los aspectos humanos, socio-económicos y políticos, llegan a crear o contribuir en la aparición de desastres naturales.

Teóricos marxistas como Wadell y Watts (Gares *et al.*, op.cit.) ampliaron la visión de Hewitt, señalando que los riesgos naturales son provocados por el sistema económico-político, que es quien obliga a la gente a ocupar lugares riesgosos.

A finales de los 80, Mitchell (Gares *et al.*, op.cit.) propone un nuevo modelo para el estudio de los riesgos naturales, con cuatro componentes básicos de análisis:

- 1) **Procesos físicos.** Se refiere a los eventos naturales que representan peligro para la sociedad; se analizan sus características principales, como magnitud, extensión, localización.
- 2) **Poblaciones humanas.** Se refiere al hombre y todos los elementos relacionados con éste, tomando en cuenta las características socioeconómicas de la población

En el quinto capítulo se presenta el mapa morfodinámico con una explicación. Finalmente, se presenta el mapa de amenaza por eventos geomorfológicos para la ciudad de Pachuca y zonas adyacentes, como resultado del análisis geomorfológico realizado en esta zona.

Por último hay que mencionar que el presente estudio se enmarca dentro del trabajo "Estudio geomorfológico de la ciudad de Pachuca de Soto, Hgo. orientado a determinar los riesgos naturales", realizado por el Instituto de Geografía de la UNAM a petición de la Presidencia Municipal de Pachuca de Soto, Hgo. en 1992.

FALTA PAGINA

No. 5 a la.....

- 3) Ajustes.** Se hace referencia a las acciones y programas de carácter político-social, encaminados a hacer frente a un desastre.
- 4) Pérdidas netas.** Se refiere a las pérdidas económicas provocadas por el desastre, tanto en bienes, como lo relacionado con efectos directos en la integridad física de la población (muertos y heridos).

Cada componente en este modelo interactúa con los otros en una relación causa-efecto, ya que si bien, los procesos físicos afectan a las poblaciones, también la población puede afectar los procesos. Además, los componentes del modelo son modificados por la temporalidad (ocurrencia) de los eventos y por el contexto social, económico, político espacial y físico del riesgo.

En México, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), sigue esta dirección, es decir, analiza los desastres como el resultado de la interacción de sistemas complejos que se relacionan entre sí, y resalta tres elementos principales: los subsistemas perturbadores, los subsistemas afectables y los subsistemas reguladores.

Los agentes o subsistemas perturbadores son aquellos fenómenos que pueden alterar el funcionamiento normal de los subsistemas afectables. Pueden ser de origen natural o humano. Los subsistemas afectables se constituyen por el hombre y su entorno físico, es decir, son aquellos en donde pueden presentarse los desastres al aparecer un agente perturbador. Y por último, los agentes o subsistemas reguladores, constituidos por todas las acciones, programas y obras encaminadas a proteger a los subsistemas afectables.

Con esto se entiende que "un desastre es un evento concentrado en el tiempo y en el espacio, resultado de un agente perturbador en un agente o sistema afectable, y cuyos efectos pueden ser mitigados o evitados por un agente regulador" (CENAPRED, 1990).

Al inicio de los 90 Burton, Kates, White y Palm (citados por Gares et al., 1994), hacen una revisión crítica a la teoría de los riesgos naturales y proponen dos conceptos: disminución y catástrofe (*lessing and catastrophe*). El primero, señala que la sociedad es capaz de enfrentarse con éxito a riesgos recurrentes debido al desarrollo tecnológico, así el mismo evento a lo largo del tiempo producirá menos pérdidas y daños. Sin embargo, esta situación crea el potencial para catástrofes mayores, en caso de que se presente un evento extraordinario. La protección que proporciona el uso de nuevas técnicas y medidas de seguridad, atrae más habitantes a las zonas de riesgo, sin embargo, cuando un evento extraordinario se presenta, bajo las condiciones mencionadas, existe la posibilidad de que un mayor número de personas, así como de obras de infraestructura, queden afectadas creándose así una catástrofe.

Esta breve revisión al esquema general del estudio de los riesgos naturales, muestra el desarrollo teórico de un método básico a otro más complejo. Por otro lado, los ecologistas urbanos hacen planteamientos críticos importantes. Inicialmente pensaban que el estudio de los riesgos naturales se enfocaba principalmente en los eventos físicos a expensas de los factores socioeconómicos. Como consecuencia, durante los últimos años se le ha dado mayor importancia a los aspectos humanos y en la actualidad sucede que el papel de los investigadores de las áreas físicas, en este tipo de estudios, se está reduciendo.

Con respecto a esto último y retomando la idea original de White, dicha discrepancia no debe existir ya que "los sistemas sociales, usualmente no pueden operar

de manera independiente de los sistemas: atmosférico, hidrológico, geomorfológico y biótico" (Gares *et al.*, op.cit. p.5). No obstante la importancia de los aspectos naturales en la génesis de los riesgos, sólo en dos de los cinco puntos metodológicos de White, se hace referencia de manera indirecta al sistema físico.

Sin embargo, el objetivo de este estudio no es entrar en un debate sobre qué parte metodológica tiene más valor en el estudio de los riesgos, si la social o la física, lo que es una verdad, es que ignorar o dar menor importancia a una de ellas, es tener una apreciación poco objetiva de la realidad.

Por tal motivo y debido a la complejidad que el estudio de los riesgos naturales representa, es necesario abordar el tema desde un punto de vista multidisciplinario. En este sentido, Verstappen (1983, p.351) señala que "una de las situaciones que conciernen a la geomorfología es aquella donde los eventos geomorfológicos tienen un impacto directo en el hombre. Sin embargo, aspectos tales como los socioeconómicos, técnicos y de políticas administrativas, son cuestiones en las que el geomorfólogo no puede contribuir completamente. Su tarea se relaciona principalmente con el monitoreo, inspección y estudio de los riesgos, así como la zonificación de áreas potencialmente afectables".

De las ideas expuestas hasta este momento, se puede decir que el sistema físico es una constante, y su entendimiento es crucial para el estudio de los riesgos naturales. De tal forma, cabe mencionar que el relieve y su dinámica juegan un papel importante y el estudio de éste es de gran valor para trabajos de este tipo.

Dentro de esta temática y volviendo al método original de White en sus primeros dos puntos, se puede decir que es imposible estimar la extensión de la ocupaciones humanas en áreas sujetas a riesgo, si los atributos espaciales y temporales del fenómeno son desconocidos. De igual forma, para determinar el rango de ajuste posible por parte de los grupos sociales a fenómenos naturales extraordinarios, es necesario entender las características dinámicas del evento, este factor es determinado en la mayoría de los casos por el relieve

Aunque las particularidades físicas del riesgo juegan un papel menor en los tres objetivos restantes, éstas son utilizadas para establecer criterios en el diseño ingenieril para ajustes específicos; para explicar la percepción del riesgo por parte de la población y para establecer políticas públicas para contrarrestar los efectos de dichos fenómenos.

Por último, puede concluirse este primer inciso con una cita del sociólogo Gilberto Romero y el urbanista Andrew Maskrey (1993, p.5) , "Los fenómenos naturales ningún daño causarían si hubiéramos sido capaces de entender como funciona la naturaleza y de crear nuestro habitat acorde con este conocimiento".

1.2 Conceptos teóricos y papel de la geomorfología en el estudio de los riesgos naturales.

Los fenómenos naturales se definen como toda manifestación de la naturaleza, se presentan con cierta regularidad o aparecen de manera extraordinaria. La ocurrencia de dichos fenómenos no necesariamente provoca un desastre.

Un fenómeno natural sólo es considerado como desastre cuando los cambios producidos por éste, afectan algún elemento de interés humano, como serían la población, el medio ambiente y la estructura física representada por la vivienda, la industria, el comercio y los servicios públicos (Cardona, 1993). De esta forma, el

entendimiento de la naturaleza y el conocimiento que se tenga de ella, pueden ayudar a la prevención de desastres de origen natural.

En este sentido y de acuerdo con Romero y Maskrey (1993), es posible decir que "un desastre es la correlación entre fenómenos naturales peligrosos (como un terremoto, un huracán, un maremoto, etc.) y determinadas condiciones socioeconómicas y físicas vulnerables (como una situación económica precaria, viviendas mal construidas, tipo de suelo inestable, mala ubicación de la vivienda, etc.)". En otras palabras puede decirse que existe un alto riesgo de desastre si uno o más fenómenos naturales peligrosos (amenazas) se presentarán en situaciones vulnerables.

De esta definición, aunque bastante clara, se desprenden algunos conceptos que para entender la dinámica de los desastres, es necesario definir.

Amenaza (Cardona, 1993). Peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural o tecnológico que puede presentarse en un sitio específico y en un tiempo determinado, produciendo efectos adversos en las personas, los bienes y el medio ambiente.

Vulnerabilidad (Wilches-Chaux, 1993). La incapacidad de una comunidad para "absorber", mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente, o sea su "inflexibilidad" o incapacidad para adaptarse a ese cambio, que para la comunidad constituye un riesgo. En otras palabras, la vulnerabilidad puede entenderse, como la predisposición de un sujeto o elemento social a sufrir daños debido a posibles acciones externas.

Riesgo (Cardona, 1993). Número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un evento desastroso, resultado de la convolución de la amenaza y la vulnerabilidad..

De esta forma Wilches-Chaux (1993) explica que un desastre es "... el producto de la convergencia en un momento y lugar determinado de dos factores: riesgo y vulnerabilidad". De la misma manera, el razonamiento anterior puede expresarse de la siguiente forma:

$$\text{RIESGO} \times \text{VULNERABILIDAD} = \text{DESASTRE}$$

Así, si existen condiciones de riesgo, pero la vulnerabilidad es igual a cero, simplemente no habrá desastre

$$\text{Riesgo} \times 0 = 0$$

Al no existir vulnerabilidad, el riesgo pierde tal carácter. De la misma forma, aunque exista vulnerabilidad por parte de la población, pero si el fenómeno no se presenta (riesgo = 0), tampoco existirá desastre.

$$\text{Vulnerabilidad} \times 0 = 0$$

De esta forma, que un evento se considere o no riesgo, dependerá de que el lugar donde se manifieste esté ocupado o no por una comunidad vulnerable al mismo. El que

sea considerado o no como amenaza, dependerá de la posibilidad de que se presente en esa comunidad. El que se convierta o no en desastre, dependerá de la magnitud real con que se manifieste el fenómeno, y del nivel de vulnerabilidad de la comunidad (Romero y Maskrey, op.cit.).

Además de la comprensión de los conceptos anteriores, es importante considerar el papel que desempeña el hombre en la dinámica de los riesgos y desastres de origen natural, el cual puede considerarse desde tres puntos de vista:

1. La sociedad como elemento perturbado por la ocurrencia de procesos naturales. Como se ha señalado, la afectación puede presentarse en cualquier área productiva o ambiente humano. El impacto es cualquier incidencia de un agente, elemento o suceso natural sobre la sociedad, lo que produce trastornos -o daños- de diversos tipos: humanos, materiales, productivos, ecológicos o sociales (García, 1993).
2. La sociedad como elemento generador de riesgos naturales. Dentro del grupo de factores modeladores del relieve, mismos que se reconocen como factores exógenos, las actividades humanas toman cada vez mayor importancia. Actualmente los riesgos naturales no pueden ser evaluados sin considerar el papel de la sociedad. Por ejemplo, existen casos en que la erosión del suelo sobreviene cuando el hombre altera el sistema natural mediante distintas prácticas en el uso de la tierra, ya que, salvo en ciertas ocasiones, el hombre no remueve físicamente el material, pero el mal manejo de la tierra favorece que el proceso natural actúe con mayor intensidad (Hart, 1986).
3. La sociedad como elemento regulador. Mediante la organización de acciones, programas y obras destinadas a proteger a los distintos elementos de la sociedad, existe la posibilidad de que el hombre prevenga y controle los efectos destructivos de los fenómenos naturales (CENAPRED, 1990). Sin embargo, no es posible llegar a este punto si antes no han sido analizadas las causas que originan los desastres, así como las características y posible localización de éstos. Para alcanzar este fin, distintas disciplinas se interrelacionan y dentro de éstas la Geomorfología desempeña un papel muy importante; ya que como señala Hart (1986), "el hombre debe entender como funcionan los sistemas geomorfológicos, de otra forma, no manejará al ambiente, sino que sólo intentará jugar con él".

De esta forma, con el estudio de los riesgos naturales se persigue dar respuestas y soluciones al problema. De acuerdo con Gelman y Macías (1983, citado por García Romero, 1993), existen cuatro acciones a ser tomadas, dependiendo del grado de evolución en que se encuentre el desastre: prevención, mitigación, rescate y reconstrucción.

Las dos primeras acciones requieren de un amplio análisis geomorfológico, mismo que permitirá entender la dinámica del relieve y de este modo se facilitará la zonificación del territorio en áreas con distinta estabilidad. Bajo este punto de vista García Romero (1993), menciona la posibilidad de establecer pronósticos de ocurrencia que pueden ser:

- a) Pronósticos de tipos, intensidades y posibles daños provocados por riesgos naturales.
- b) Pronósticos en zonas que por sus condiciones físicas son potenciales para desarrollar riesgos naturales.

Por otra parte, el rescate y la reconstrucción son acciones posteriores al riesgo, es decir, se llevan a cabo cuando el riesgo se ha traducido a su vez en desastre natural y por lo tanto, la solución directa al problema depende de esfuerzos no geomorfológicos.

Retomando las ideas de Romero y Maskrey (op.cit.), se concluye que una de las formas de poder reducir las posibilidades de ocurrencia de desastres es actuar sobre la amenaza y la vulnerabilidad, esta última es condicionada por:

- 1.- Ubicación inconveniente
- 2.- Construcción de casas muy precarias sin buenos cimientos.
- 3.- Condiciones económicas que no permiten satisfacer las necesidades humanas.

Desde la perspectiva geomorfológica, hay dos aspectos que son de interés, el primero, relacionado con la amenaza y el segundo, con la "ubicación inconveniente", que es la primera variante que condiciona la vulnerabilidad.

Si se considera la amenaza como un peligro latente, algunos procesos geomórficos entran en esta categoría. Bajo este enfoque, el análisis geomorfológico es de gran valor en la evaluación, localización y caracterización de la amenaza.

De este modo, la geomorfología puede plasmar en un mapa las condiciones naturales, los mecanismos generadores, la dinámica, magnitud y extensión de los procesos modeladores del relieve que en algún momento pueden representar una amenaza.

El presente estudio desarrolla un tipo de cartografía, a la que Cardona (1993), denomina como "mapas de amenaza", éstos pueden variar desde estimaciones generales hasta análisis muy detallados, mismos que son un insumo de fundamental importancia para la planificación del territorio. Con la información que proporciona este tipo de cartografía, la "ubicación inconveniente" a la que se hace referencia, puede ser considerada.

1.3 Los riesgos naturales y su clasificación.

La variedad y complejidad de los procesos que implican riesgo natural ha llevado a su ordenamiento y clasificación, mediante diversos enfoques que tienden a destacar ciertas particularidades en los procesos. García Romero (1993), agrupa los distintos tipos de clasificaciones en tres categorías principales:

- A) Clasificaciones generales
- B) Clasificaciones específicas
- D) Clasificaciones adaptadas

A) Clasificaciones generales.

Se considera las clasificaciones que abarcan el total de riesgos que afectan a la sociedad. De la clasificaciones consultadas, la de CENAPRED (1990), destaca por la particularidad de agrupar la totalidad de los fenómenos que provocan desastres (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de fenómenos que provocan desastres, CENAPRED (1990).

Origen	Tipo de Riesgo
N A T U R A L E S 1. Geológicos	Sismos, vulcanismo, deslizamientos y colapsos de suelo, hundimiento regional y agrietamiento, maremotos y flujos de lodo
R A L E S 2. Hidrometeorológicos	Huracanes, inundaciones fluviales y pluviales; tormentas de nieve, granizo, polvo y electricidad y temperaturas extremas
3. Químicos	Explosiones derivadas del transporte y comercialización de productos combustibles; radiaciones, fugas tóxicas, envenenamientos masivos y otros.
H U M A N O S 4. Sanitarios	Contaminación de aire, suelo y alimentos; la desertificación, epidemias y plagas y la lluvia ácida.
5. Socio-organizativos	Desplazamientos tumultuarios y concentraciones de personas en áreas poco idóneas; accidentes terrestres, aéreos, fluviales y marítimos que se producen por fallas técnicas humanas.

Como se observa en la tabla 1, los fenómenos que provocan desastres se agrupan en dos componentes principales, humanos y naturales. Estos grupos son muy amplios y pueden llegar a ser clasificados de forma independiente, debido a que cada uno puede ser estudiado de manera particular por especialistas de las áreas sociales o físicas de la ciencia. Este aspecto muestra la diversidad de especialistas involucrados en el estudio de los riesgos naturales.

La clasificación de Verstappen (1983), ejemplifica lo antes dicho. Este autor clasifica los riesgos, desde el punto de vista físico, es decir, tomando en cuenta sólo los riesgos de origen natural, agrupándolos en tres categorías principales:

Tabla 2. Clasificación de riesgos naturales, Verstappen (1983)

1. Riesgos naturales de origen exógeno	Inundaciones, sequías, deslizamientos, etc.
2. Riesgos naturales de origen endógeno	Sismos y vulcanismo
3. Riesgos naturales de origen humano o antropogénicos.	Subsidiencias (provocadas por extracción de fluidos del subsuelo, actividad minera), sismos debidos a la actividad humana, etc.

Verstappen apunta que los riesgos naturales de origen humano en muchos casos no pueden ser separados de los de origen exógeno o endógeno, ya que éstos pueden ser provocados o agravados por la acción del hombre. Sin embargo, en algunos casos la influencia del hombre es tan evidente, que se justifica mencionarlos en un grupo aparte.

Es importante resaltar que este estudio se limita a analizar los riesgos geomorfológicos, ya que por supuesto, no todos los riesgos naturales son de este tipo. Muchos otros como los huracanes y las tormentas, son meteorológicos y eventualmente pueden causar directamente un evento geomorfológico, como inundaciones, o avalanchas. De esta forma, los riesgos geomorfológicos pueden clasificarse de manera general. La clasificación de Hart (1986) es un ejemplo de esto (Tabla 3).

El análisis de las clasificaciones generales permite tomar de éstas los aspectos más importantes, según sean los intereses de la investigación que se desee realizar, de este modo surgen clasificaciones sobre temas específicos.

Tabla 3. Los riesgos geomorfológicos (Hart, 1986)

Estructurales principales	Dstrucción de los materiales naturales por intemperismo	Fluviales	Inestabilidad de laderas
a) Volcanes Gases Lavas Tefras (sólidos) Cenizas Lapillis Bloques volcánicos Bombas volcánicas Nubes ardientes Flujos de lodo y lahares Inundaciones b) Terremotos Sacudidas de tierra Fisuras y fallas Laderas inestables Circulación de las aguas subterráneas afectada Subsidiencias Avalanchas Tsunamis Incendios	Intemperismo salino Crioclastia Hidroclastia Acción mecánica de raíces (efecto de cuña) Pérdida coloidal Hidratación Hidrólisis Oxidación Reducción Solución Carbonatación Quelación Cambios químicos y biológicos incluyendo intemperismo acentuado por la contaminación	Inundaciones Erosión de suelo por agua Escorrentía difusa erosión laminar Escorrentía concentrada formación de surcos, barrancos y valles Erosión de lechos y bancos fluviales. Cambios de posición de los cursos de los ríos Sedimentación en canales y reservas pueden provocar inundaciones	Movimientos en masa Reptación de suelos Deslizamientos Flujos de lodo Flujos de detritos Flujos de tierra Deslizamiento de tierras Deslizamiento de detritos Deslizamientos rocosos Deslizamientos rotacionales Avalanchas de detritos Derrumbes Caída de rocas Movimientos de talud "Bog burst" Subsidiencias Reactivación de inestabilidades antiguas Efectos secundarios de un deslizamiento ej. inundaciones
Costeros	De regiones áridas y semiáridas	Periglaciares	Glaciares
Inundaciones costeras Tsunamis Erosión de cantiles Laderas inestables Destrucción de playas Depositionación Azolve de puertos Desarrollo de flechas	Deflación Erosión eólica Dunas Reactivación de dunas fósiles Avance de dunas Desertificación Aumento de la salinidad (salinización) - afectando suelos agrícolas - afectando las estructuras de las construcciones Torrentes Aluvios detríticos Flujos lodosos	"Ground ice" (formación de lentes u otros cuerpos de hielo en suelos permanentemente congelados) Permafrost Formación de hidrolacólitos Gelifracción Solifluxión Deshielo Subsidiencias por fusión de cuerpos de hielo en el subsuelo Agrietamiento de terrenos congelados Inundaciones por deshielo	Grietas glaciáricas (Crevasses) Formación de cavernas subglaciares y englaciares (dentro del glaciar), posibles colapsos Oleadas (Glacier surges) Avance de glaciares y deshielos. Acumulación de detritos por agua de deshielo Inundaciones provocadas por grandes descargas de agua de deshielo Avalanchas y vientos de avalancha (avalanches winds)

B) Clasificaciones específicas.

Estas se enfocan a conjuntos de riesgos que son afines a ciertos aspectos. Un ejemplo es la clasificación de movimientos en masa de Bolt y Macdonald (1977) (tabla 4). En ésta se observa un sistema simple de clasificación, generalmente utilizado para identificar las causas de un deslizamiento en particular o para valorar el potencial de alguna vertiente o ladera rocosa para deslizarse.

Este tipo de clasificaciones es de gran utilidad para el estudio de fenómenos particulares. La revisión y análisis de estas, en estrecha relación con las clasificaciones generales, facilita la elaboración de otras nuevas para estudios de caso.

Tabla 4. Clasificación de deslizamientos, de acuerdo con el tipo de material y velocidad del transporte. Bolt y Macdonald (1977).

MOVIMIENTO	COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL	TIPO DE MATERIAL	VELOCIDAD	NOMBRE
Caída	Quebradizo	Roca, hielo y suelos cementados	rápido	Caída de rocas, Caída de hielo y subsidencia del terreno
Deslizamiento	Inestable	Roca, suelo y nieve	rápido a lento	Deslizamiento rotacional, deslizamiento planar y avalancha de dispersión lateral
Flujo	Estable	Fragmentos de roca, arena, limo, arcilla y nieve	rápido a lento	Flujo rocoso, sand run, flujo de tierra, flujo lodoso y avalancha

C) Clasificaciones adaptadas.

Las clasificaciones de riesgos tienen su máxima utilidad en estudios de caso, en los cuales sirven de base para la elaboración de clasificaciones de zonas específicas, haciendo referencia y de acuerdo con Lugo (1988), una clasificación "... es más que nada una guía que puede ser modificada o completada para adaptarla al área en que se va a aplicar".

Ejemplos de este tipo de clasificaciones existen para la Cuenca de México, una de ellas es la de Ortiz et al. (1990), que aparece en el Atlas Nacional de México (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación de corrimiento de tierras para la Cuenca de México. Ortiz et al. (1990).

TIPO DE RIESGO	MORFOLOGÍA	FACTORES CONDICIONANTES Y MECANISMOS	CARACTERIZACIÓN GENERAL MAGNITUD ESPACIAL Y TEMPORAL	RIESGOS POTENCIALES Y ASOCIADOS
Activos potenciales	Desfiladeros y desfiladeros morales de rocas (caídas laterales)	Cañones, gargantas, lederos de valles, lederos de montañas, Escarpes y Peñas	Mov. rápido, se incrementa al momento durante la época de lluvias cuando se lubrican las planas presentantes de tallo. Perceptible. Carácter local a puntual. Carácter continuo en el tiempo.	Riesgo potencial. En taludes de caídas y en vertientes, presencia de pendientes superiores a 50°, con poca protección horizontal y verticalizada, con gran susceptibilidad a la erosión. Riesgos asociados: Fijación y obstrucción al drenaje derivado a estancamientos con rompimiento de flujos de escombros violentos.
Desplazamientos de tierra	Rebaje de laderas, Escarpes, Elevaciones de fuerte pendiente, Sacavación de riberas	Influencia climática, sobre-saturación por exceso de humedad en suelos y rocas susceptibles a una deformación plástica (arcillas, arenas, sedimentos lacustres, lutitas, margas y albitos). Sacavación en las márgenes de estaqueo erosiva en barrancos y valles.	Movimiento rápido. Desplazamientos que se incrementan cuando en el relieve existe una estratificación de rocas permeables e impermeables. De carácter local, pero de amplia distribución de carácter continuo en el tiempo. El fenómeno es más frecuente durante la época de lluvias y de carácter torrencial.	Riesgo potencial. Por alteración de debilidad formadas por el resquebrajamiento lateral y frontal o nuevos desplazamientos provocados por grietas de tensión. Riesgos asociados: Turbamiento y estancamientos en los depósitos del desplazamiento.
Flujos de escombros	Abarcos aluviales, Canchales de dirección	Influencia de un fenómeno helocentrado (ciclón), de acumulación torrencial sobre el pedregalito.	Desplazamiento de escombros rápido, por crecidas súbitas. Perceptible. De carácter local. Discontinuo en el tiempo.	Riesgo potencial. Ligado a períodos de estiaje muy largos de tormentas ocasionadas una cada 100 años. Aunque los conchales geomorfológicos en zonas afectadas. Riesgos asociados: Problemas de sedimentación (barridos, renovación de escombros, migración lateral y frontal de los depósitos aluviales).
Corrimientos y deslizamientos que por la actividad antisísmica (truenos a cielo abierto y sismos)	Laderas de cárcavas, formetas, perfiles irregulares y escarpes tallados en rocas	(debilitamiento de la estructura por extracción de material (humidificación), concomitante con la influencia gravitacional y la influencia de pliegues de debilidad (estratificación, diaclasas, fallas y fracturas).	Mov. rápido se incrementa al momento durante la época de lluvias cuando se lubrican las planas presentantes de tallo. Perceptible. Carácter local a puntual. Carácter continuo en el tiempo.	Riesgo actual y potencial. Inundaciones frecuentes. Mal drenaje. Agravamiento del terreno.
Leuación, asentamientos y hundimientos superficiales del terreno	Llanuras lacustres	Contracción y asentamiento de arcillas por cambios de humedad a nivel de suelos (compactación de sedimentos y asentamientos de suelos finos). Pérdida de la estructura del suelo (fluencia) por saturación de agua y movimientos sísmicos.	Asentamiento de suelos, con compresión elemental a nivel de su estructura. Asentamiento, lentamente glacial. Poca perceptible. Carácter local. Asentamiento continuo en el tiempo.	Riesgo actual y potencial. Inundaciones frecuentes. Mal drenaje. Agravamiento de terreno.

Dicha clasificación es de las más completas, ya que explica el origen y comportamiento del riesgo de acuerdo con características morfológicas, así como por sus mecanismos generadores. Sánchez M. (1992), realiza una clasificación para la delegación Alvaro

Obregón, en gran parte se basa en las ideas de Ortiz *et al.* (1990), dando más peso a los aspectos sociales. Cordero M. (1992), también en Alvaro Obregón, elabora una clasificación que junto con la cartografía presentada posee un gran valor geólogo-geomorfológico. García (1993), a partir de un extenso análisis, denominado evaluación del territorio, elabora una sencilla pero útil clasificación para la Delegación Cuajimalpa.

1.4 Clasificación de riesgos geomorfológicos en la ciudad de Pachuca de Soto, Hgo.

La revisión y análisis de las distintas clasificaciones sobre riesgos naturales, junto con la interpretación de fotografías aéreas y trabajo de campo, fue el punto de partida para la elaboración de una clasificación para la ciudad de Pachuca y zonas adyacentes. Se basa principalmente en Ortiz *et al.* (1990), se agrupan los riesgos en 3 tipos principales, dependiendo de su origen (Tabla 6).

Hay que mencionar que la clasificación que se propone es uno de los resultados del presente trabajo, el hecho de presentarla en este capítulo (teórico), es con el fin de presentar sólo los aspectos de la teoría general de los elementos que la componen (procesos).

Tabla 6. Clasificación de riesgos geomorfológicos en Pachuca de Soto, Hgo.

ORIGEN	TIPO DE RIESGO	MORFOLOGÍA	FACTORES CONDICIONANTES Y MECANISMOS	CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO
1) Fluviales	Inundaciones	Llanuras de inundación de valles fluviales; planicies de nivel de base; antiguas redes de drenaje (abanicos aluviales)	Influencia de un fenómeno hidrometeorológico (trombas, granizadas) de tipo torrencial. Topografía: Relieve negativo con drenaje deficiente.	Desbordes de ríos por crecidas en valles amplios y en la desembocadura. Deficiencia de la infraestructura en la capacidad de desagüe.
	Erosión de suelo por agua	Laderas de geometría convexa y de fuerte inclinación.	Influencia climática (lluvias torrenciales); ausencia de cobertura vegetal. Creación de veredas y caminos.	Degradación y pérdida de suelos; formación de surcos y regueros; remoción de material a las zonas deprimidas (azolve de alcantarillado); deterioro de la calidad del agua al azolver tanques de suministro y almacenamiento
	Retroceso de circos erosivos	Cabeceras de barrancos, circos de erosión.	Laderas con fuerte pendiente, influencia gravitacional y socavación de la margen inferior del valle.	Caída de rocas e integración de nuevas áreas a la cuenca de captación (circo de erosión) por erosión remontante
	Remoción de materiales poco consolidados (flujos de lodo)	Abanicos aluviales, conos detriticos, Jales y terreros.	Influencia de un fenómeno hidrometeorológico, de tipo torrencial sobre el piedemonte	Deslizamiento de escombros, por crecidas súbitas; problemas de sedimentación con migración lateral y frontal del depósito
2) Inestabilidad de laderas	Derrumbes y desprendimientos de rocas	Barranque, laderas de valles, escarpes, afloramientos rocosos inestables.	Influencia gravitacional en laderas de fuerte inclinación y en planos de deslizamiento (fallas, fracturas, diaclasas)	Caída de volúmenes considerables de roca en pocos segundos. Relleno y obstrucción de valles con régimen fluvial estacional
	Reptación de los materiales superficiales (creep)	Rampas acumulativas (piedemonte) constituidas por materiales poco consolidados. Zona de contacto entre el piedemonte y las laderas rocosas	Altemancia de contracción y expansión de arcillas, por cambios de humedad a nivel superficial. Pérdida de la estructura superficial provocada por aumento de masa (construcciones)	Asentamientos de suelo, formación de grietas, deformaciones a casas habitación y vías de comunicación. Posible evolución a un deslizamiento rápido y de mayor magnitud.
3) Antropicos	Colapsos	Áreas donde el subsuelo está explotado por la minería	Debilitamiento de la estructura por extracción de material (túneles y socavones), relacionada con la influencia de la gravedad y sobrepeso en estas zonas	Desplome de galerías y socavones, por debilitamiento de la estructura, con graves daños en superficie

La zona en que se encuentra asentada la Ciudad de Pachuca, se ve afectada por distintos procesos geomorfológicos, destacándose los de origen fluvial y los provocados por la inestabilidad de las laderas. Estos fenómenos que en un principio tienen un carácter natural, en muchas ocasiones son acelerados por la influencia del hombre. De

sus características principales y mecanismos, hablaremos a continuación, guardando el orden establecido en la tabla 6.

RIESGOS DE ORIGEN EROSIVO-FLUVIAL.

a) Inundaciones.

En el contexto de los riesgos naturales, una inundación se define como la elevación o aumento en el nivel de los ríos o del océano, que provoca daños a intereses humanos (Bolt y Macdonald, 1977). Agregan que las inundaciones se producen de distintas formas; la más común se relaciona con el aumento en el nivel de los ríos provocado por tormentas (rainstorm-river flood). Un segundo tipo son las inundaciones costeras (coastal flood), relacionadas con un inesperado aumento relativo en el nivel del mar, que puede deberse a una tormenta, un tsunami o por asentamientos del terreno.

Otros tipos menos comunes son: inundaciones por fusión de nieve (snowmelt floods); deshielo (ice thaws); inundaciones por mal funcionamiento o ruptura de presas y bordos de retención. Por último, inundaciones que resultan de la ruptura de glaciares, deslizamientos o relacionadas con lagos volcánicos.

Nuestro país se ve afectado por lluvias derivadas de diversos agentes meteorológicos. En verano, el territorio nacional está sujeto a la acción de ciclones o tormentas tropicales. Por otra parte, durante el invierno, es afectado por tormentas de origen extratropical, frentes polares originados en altas latitudes. A estos fenómenos se suman los efectos orográficos y las precipitaciones originadas por fenómenos convectivos, con estas últimas se relacionan las inundaciones en las zonas urbanas situadas en la altiplanicie de la República, este es el caso de la ciudad de Pachuca (Dominguez y Sanchez, 1990).

Puede decirse que una inundación se produce cuando el gasto de las avenidas generadas en una cuenca supera la capacidad del cauce. Cuando ésto sucede, el exceso de agua escurre fuera de su cauce sin control hacia las partes bajas (Dominguez y Sanchez, op.cit.).

De acuerdo con CENAPRED (1992), este proceso puede ser resumido de la siguiente manera: al iniciarse la lluvia, una parte de ella moja la vegetación, otra se infiltra dejando un escurrimiento prácticamente nulo, y el resto llena las depresiones del terreno. Una vez que la cantidad de agua supera las posibilidades de contención y absorción del terreno, se inicia el escurrimiento.

La lluvia que escurre superficialmente, pasa por un proceso de regulación a través del almacenamiento temporal en arroyos y ríos y de retraso en el tiempo de salida del agua de la cuenca, donde escurre por el lecho del río, sufriendo nuevamente un proceso de regulación y retraso que depende de las características de cada lecho o cauce.

Por otra parte, las condiciones de la cuenca cambian de una época del año a otra. Sin embargo, los cambios más importantes, son los derivados de la actividad humana; la disminución de la permeabilidad debida a la urbanización, deforestación y modificaciones del uso del suelo, traen generalmente un aumento considerable en el volumen del escurrimiento y la velocidad con que se presenta su valor máximo (Fig.1)

Las inundaciones en las cuencas que han sido urbanizadas son cada vez más considerables debido a que, por un lado, las modificaciones del terreno producen crecientes, varias veces mayores que las de la cuenca natural y, por otro, afectan bienes de alto valor económico (CENAPRED, 1992).

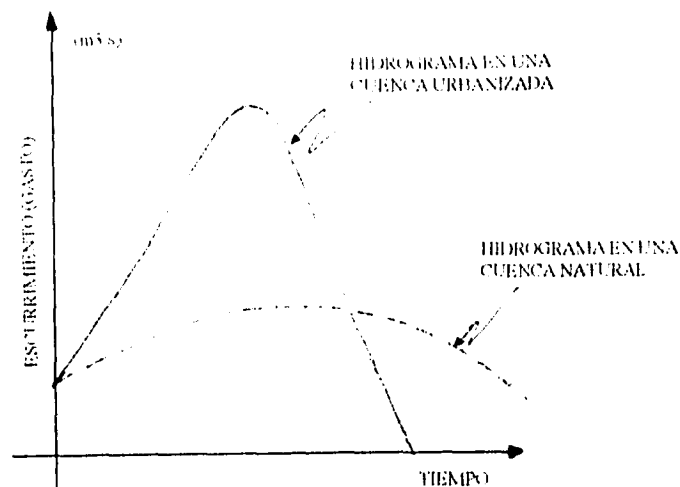


Fig. 1. Hidrograma que muestra el distinto comportamiento entre una cuenca natural y una urbanizada (CENAPRED, 1992)

b) Erosión de suelo por agua.

La erosión es un proceso natural que tiene lugar en todo el mundo, pero también presenta una significativa alteración por la actividad humana, particularmente durante los últimos cien años.

Conforme crece la población y se vuelve más urbana, las tierras se ven sacrificadas para soportar a esta población. La alteración consiste en la remoción parcial o total de la cubierta vegetal (Griggs y Gilchrist, 1983).

Verstappen (1983) señala que uno de los factores principales en la erosión de los suelos es el relacionado con la morfología de las laderas, teniendo mayor importancia el gradiente (inclinación o pendiente), la longitud y la forma (cóncava o convexa). En laderas escarpadas, la velocidad del flujo superficial tiende a ser relativamente mayor que la infiltración, con esto se presenta un incremento en la erodabilidad. Laderas largas tienden a aumentar la cantidad del flujo superficial y consecuentemente la erosión.

Las características del perfil de una ladera (forma) también tienen que ser consideradas. En laderas convexas, la erosión generalmente se incrementa ladera abajo; por otro lado, en las laderas cóncavas, las partes superiores son usualmente las más susceptibles a la erosión. En el caso de laderas rectas, la distribución de la erosión es más compleja; puede presentarse en las partes altas levemente convexas, o en las partes bajas, donde el crecimiento de flujo es más franco.

Cuando una ladera tiene contornos cóncavos, se puede presentar una concentración de flujo la cual puede provocar la formación de cárcavas o barrancos en la porción central deprimida. Cuando existe una configuración convexa, se da una tendencia a la difusión del agua (escorrentía difusa), teniendo una susceptibilidad a la erosión menor. En laderas con contornos rectos, se da una situación intermedia.

La pendiente, la forma y la longitud de las laderas, así como la intensidad de las precipitaciones, la eliminación de la cubierta vegetal y los métodos de construcción, afectan la intensidad de la erosión y con esto la producción o aporte de sedimentos hacia los sistemas de drenaje. Todo el suelo o material superficial erosionado, eventualmente

se dirigirá a una corriente de canal (canal de desfogue), lo cual resulta dañino en diversas formas. La depositación de sedimentos gruesos puede reducir la capacidad del flujo o taponar u obstruir completamente los canales naturales o artificiales (Griggs y Gilchrist, *op.cit.*)

Es importante recordar que el hombre en muchos casos, provoca que el proceso natural se vea acrecentado. Hart (1986) menciona algunas de las prácticas que aceleran el proceso erosivo:

- a) Mal manejo de tierras de cultivo y pastoreo.
- b) Sobreexplotación forestal (tala) y caminos de acceso a estas zonas.
- c) Prácticas como la roza, tumba y quema.
- d) Preparación de sitios para emplazamientos urbanos.
- e) Minería
- f) Construcción de caminos y carreteras
- g) Areas sobre-utilizadas para la recreación.

Por último, debemos recordar que los efectos de la erosión no se confinan solamente a las áreas donde se pierde el suelo; por ejemplo, los cauces de los ríos son azolvados y la susceptibilidad a inundaciones aumenta, las reservas son contaminadas por los sedimentos y la calidad del agua se deteriora (Hart, 1986).

c) Retroceso de circos erosivos.

Este proceso se encuentra estrechamente relacionado con el anterior. El retroceso de circos erosivos o erosión remontante consiste en el crecimiento gradual de los cauces fluviales, ladera arriba, a partir del nivel de base local. Desde el punto de vista de los riesgos naturales, la erosión remontante reviste mayor importancia, ya que algunas ocasiones, las cabeceras activas presentan una fuerte dinámica erosiva, la cual conjunta fenómenos de fluviales y gravitacionales (principalmente por caída de rocas y al acarreo y depositación de grandes cantidades de material), debido a la socavación y a la pérdida de cohesión del material en la cabecera activa.

INESTABILIDAD DE LADERAS.

Para hablar de laderas inestables, es necesario comprender la naturaleza de los procesos gravitacionales. Dentro de estos se clasifican los procesos en los que se involucra el movimiento, ladera abajo, de tierra o materiales superficiales debidos primordialmente a la fuerza de gravedad (Griggs y Gilchrist, 1983). Lugo (1989), apunta que son desplazamientos de materiales, ladera abajo, que generalmente se inician con pequeños avances que tienden a aumentar, a veces vertiginosamente, hasta desencadenar una caída precipitada sobre laderas abruptas.

Estos procesos son generalmente conocidos como movimientos de remoción en masa, los cuales pueden ser de una amplia variedad, dependiendo de diversos aspectos, como la velocidad en que suceden, la forma misma del desplazamiento, la textura de los materiales transportados o el grado de influencia de diversos elementos físicos en la ocurrencia del proceso. El estado y tipo de materiales que los componen puede ser otro criterio de clasificación, según se trate de roca, suelo o de ambos, mezclados con algún fluido.

Aunque muchos movimientos en masa pueden diferenciarse en desplomes o deslizamientos, también es muy común que más de un tipo de material este involucrado y que más de un tipo de movimiento se presente; por ejemplo, un gran desplome puede tener en su parte superior caída de rocas, y un flujo de tierra en su base (Griggs y Gilchrist, 1983).

Para comprender cómo se presentan los movimientos de masa, es necesario tener un claro entendimiento de los factores tanto naturales como artificiales que afectan la estabilidad de las laderas. El impacto de la actividad humana es de principal importancia en estos casos.

Los procesos de ladera se presentan al darse cambios de estabilidad, cuando las fuerzas conductoras aumentan o la resistencia del material disminuye.

Griggs y Gilchrist (op.cit.), destacan dos grupos de factores que activan o provocan los movimientos en masa:

Factores externos.

- **Cambio en el gradiente (pendiente).** Si el ángulo de inclinación de la ladera aumenta, en consecuencia se producen cambios en la cohesión o estructura de la roca o masa de suelo (la influencia de la gravedad se incrementa). Los cambios pueden ser ocasionados por procesos naturales o actividad humana.
- **Exceso de carga.** La carga generalmente puede ser considerada como un factor artificial o antrópicamente inducido. Se provoca por relleno o vaciado de material, o como resultado de una construcción. La sobrecarga de una ladera puede aumentar la tensión entre los materiales, o de otra forma dicho, decrece la cohesión entre las partículas.
- **Cambio de la cobertura vegetal.** La pérdida de la cubierta vegetal trae consigo una desestabilización gradual de las laderas, debido a que el sustento que proporcionan las raíces de árboles, arbustos y pastos, a los suelos y unidades litológicas superficiales, es eliminado.
- **Choques y vibraciones.** Los sismos, explosiones y el peso de grandes máquinas, pueden producir vibraciones o disturbios en los materiales superficiales y subsuperficiales. Estos pueden producir cambios temporales en la resistencia del material y desequilibrar la ladera.

Factores internos.

- **Cambio en el contenido de agua.** En primera instancia, el agua puede penetrar en las fallas y fracturas de las rocas y los suelos. El sobrepeso que el agua aporta a los depósitos superficiales o a la roca en una ladera, puede ser suficiente para iniciar un movimiento ladera abajo a partir de un aumento de peso o carga. La saturación del suelo o material superficial también contribuye a una pérdida de cohesión. La estabilidad de la ladera decrece por ambos procesos
- **Efectos del agua subsuperficial (Groundwater).** Los flujos de agua subsuperficial pueden aumentar la presión en las partículas de suelo, las cuales pueden alterar la estabilidad de la ladera. En adición esta puede lavar o disolver los cementantes solubles como los carbonatos de calcio.

En la ciudad de Pachuca, el aumento en la intensidad del uso del suelo no forestal, ha acrecentado la magnitud de los daños causados por los procesos gravitacionales. Generalmente, el proceso incluye la construcción de pesadas obras de ingeniería (puentes, carreteras, etc.) así como la apertura de zonas de explotación y de

uso habitacional, las cuales involucran cambios en la capa vegetal y edáfica, cortes al terreno y la alteración de los patrones de distribución del agua; todos estos cambios desestabilizan las vertientes. El material debilitado queda dispuesto a desprendimientos (fenómenos de remoción en masa).

a) Caída de rocas.

Es el desplazamiento de masas de roca que caen libremente, además se caracteriza por no tener una superficie de deslizamiento. Es más bien, un movimiento traslacional. El desprendimiento se forma por los pedazos de rocas que ruedan cuesta abajo y pueden formar o no depósitos de talud (Paz, 1984).

Los derrumbes o caída de rocas se presentan de manera frecuente sobre laderas de más de 30° a lo largo de planos de deslizamiento y por la pérdida de cohesión y fricción entre los materiales aflorantes en escarpes (Lugo, 1989). En laderas inclinadas, el sobrepeso provocado por el emplazamiento de obras de infraestructura sobre la ladera, provoca presión en la parte superficial de la pared, la cual tiende a liberarse con expansiones de material y la formación de grietas de tensión. Esta situación se manifiesta con un mayor diaclasamiento de la pared, cuyo material componente se hace más deleznable (Griggs y Gilchrist, 1983).

Comúnmente, los primeros desplazamientos de material hacia la parte inferior de la ladera son semideslizamientos, ya que dicho material verdaderamente resbala sobre los planos de diaclasamiento, los cuales son rasgados, de tal manera que cuando el proceso culmina, estos planos se aprecian con cicatrices paralelas que siguen la dirección vertical del movimiento. La magnitud de dichas cicatrices de deslizamiento depende de la inclinación y la rugosidad del terreno.

Luego de esta primera etapa, el material cae y se acumula, originando un depósito de talud, donde el material presenta un arreglo caótico. El tamaño y grado de retrabajamiento varía según sean las características del material afectado y de la distancia recorrida. Los depósitos originados por este proceso se denominan coluviones.

La peligrosidad de este fenómeno radica en que es un proceso rápido, que transcurre en segundos, así como por las dimensiones de la masa derrumbada que puede alcanzar los miles de metros cúbicos. Al respecto, las características de magnitud que presentan los derrumbes son distintas y ello implica también distinto grado de riesgo.

b) Reptación.

De acuerdo con R. Coque (1984, p.118), "la reptación o creep consiste en un desplazamiento y redistribución de las partículas, en el seno de una formación deleznable, por la acción de la gravedad". La reptación se caracteriza por movimientos casi imperceptibles, que provocan un lento deslizamiento de la parte superior de los afloramientos de rocas deleznales o de los mantos de derrubios.

La reptación puede tener un origen térmico, hídrico o biológico. Al parecer, uno de los más importantes es el relacionado con la alteración, por influencia del agua, de las rocas arcillosas de una ladera. Al quedar desnuda la arcilla en una ladera marginal, resulta sometida a la influencia de diversos factores externos y es meteorizada, desecándose y agrietándose gradualmente. Este proceso es favorecido particularmente por la acción periódica del agua, debido al humedecimiento y la desecación sucesivas que pueden alterar totalmente la cohesión de las arcillas. Al ser saturada de agua, la arcilla

adquiere un estado de plasticidad o fluidez y comienza a deslizarse ladera abajo, arrastrando consigo otras rocas (Gorshkov y Yakushova, 1970).

Debido a la diversidad de agentes que la provocan, la reptación es un proceso muy extendido. Pero su comportamiento varía según los medios donde se presente, al parecer los más propicios son en los que la meteorización produce mantos de derrubios de pequeños calibres.

Riesgos de origen humano o antropogénicos.

En muchos casos los riesgos que entran en esta categoría, no pueden ser separados de aquellos que se deben a causas naturales, mismos que son agravados por la acción humana. Sin embargo, en algunas situaciones, el origen antropogénico del riesgo es tan evidente, que se justifica su clasificación en un apartado distinto (Verstappen, 1983).

La minería, principal actividad económica en Pachuca, está estrechamente relacionada con uno de los principales riesgos de carácter antropogénico, la subsidencia o hundimiento de tierras, que en este caso puede presentarse por el colapso de minas. Sin embargo, es importante resaltar que, no obstante la magnitud y antigüedad de las obras mineras, los daños en superficie están prácticamente ausentes.

Aunque existen distintas causas naturales de subsidencia, las más importantes son las que se relacionan con la actividad del hombre.

De acuerdo con Hart (1986), hay tres causas principales de subsidencia inducida por el hombre. La primera y la más importante, es la extracción de fluidos, principalmente agua y petróleo, lo cual comúnmente provoca, hundimientos poco profundos pero extensos. La segunda resulta de la compactación de sedimentos, después de la irrigación o drenado de tierras, se presenta en forma rápida y en áreas detectables. La tercera, resulta de la extracción de sólidos del subsuelo, es decir, la minería.

De forma indirecta la subsidencia es una de las principales causas en el incremento de la susceptibilidad a inundación en áreas que previamente no se veían afectadas por este fenómeno (Verstappen, 1983).

II. ASPECTOS FISICO-GEOGRAFICOS DE LA CIUDAD DE PACHUCA DE SOTO, HGO.

2.1 Localización.

La ciudad de Pachuca de Soto, capital del Estado de Hidalgo, se localiza 93 Km al noreste de la Ciudad de México a 20°07'30" de latitud norte y a 98°44'00" de longitud oeste (Fig. 2).

La ciudad forma parte del municipio del mismo nombre, el cual se localiza en la parte centro-sur del estado y colinda al norte y noroeste con el municipio de Mineral del Chico, al este con los municipios de Mineral del Monte y Mineral de la Reforma, al sureste con los municipios de Epazoyucan y Zempoala, al sur con el municipio de Zapotlán de Juárez y al oeste y suroeste con el municipio de San Agustín Tlaxiaca (INEGI, censo 1990).

La ciudad fue fundada en la base meridional de la Sierra de Pachuca; dicho conjunto montañoso representa la frontera entre las provincias fisiográficas del Eje Neovolcánico al sur, y de la Sierra Madre Oriental al noreste.

Por otra parte, la Sierra de Pachuca forma el límite noreste de la Cuenca de México, un área relativamente plana con drenaje interior, que se extiende en dirección al sur por casi 100 Km hasta su límite meridional, la Sierra de Chichinautzín.

Pachuca se encuentra a una altura de 2425 msnm, sobre una ladera ligeramente inclinada en un valle que se adentra en el límite noreste de la Cuenca de México, o dicho de otra forma, en la base suroeste de la Sierra de Pachuca.

Junto con el poblado de Real del Monte (6 Km al noreste de Pachuca), forma parte de uno de los distritos mineros más importantes del país. El distrito, junto con otros, se localiza en un cinturón de aproximadamente 340 Km de longitud, que se extiende desde la parte oriental de Guanajuato con una dirección SE 45, atravesando los estados de Querétaro e Hidalgo, llegando a su límite oriental en Teziutlan, Puebla (Geyne et al., 1963).

El distrito minero de Pachuca ha sido, mundialmente, uno de los principales productores de plata. Fue descubierto en 1522, poco después de la Conquista, y desde entonces ha estado en producción (Fries, C., 1962).

En 1992, su producción de plata (85 243 Kg) representaba el 69.1% de la producción del estado (123 332 Kg). A nivel nacional ocupa el sexto lugar de la producción con el 6% del total. En el mismo año, la producción de oro (364.7 Kg) representaba el 97.3% de la producción estatal (374.5 Kg), y ocupa el séptimo lugar nacional produciendo el 4% del total (INEGI, 1993).

Esta característica es la que distingue a la Sierra de Pachuca de los otros conjuntos montañosos que forman a la Cuenca de México, ya que es en la única donde se han encontrado y explotado yacimientos minerales.

1.2 Aspectos fisiográficos.

La Sierra de Pachuca se extiende por cerca de 20 Km hacia el sureste, desde el poblado de Real del Monte hasta Cuyamaloya, en la carretera entre Pachuca y Tuxpan.

Desde este punto continúa en la misma dirección por una distancia de aproximadamente 25 Km, desapareciendo en forma gradual en las planicies de Apan donde es conocida con el nombre local de Sierra de Singuilucan (Geyne et al., 1963).

Hacia el noroeste de Real del Monte la sierra continúa por una distancia de casi 20 Km hasta el cañon del río de Los Griegos. Desde este punto toma el nombre local de Sierra de Actopan y sigue por una distancia de 45 Km, desapareciendo cerca del poblado El Cardonal, Hidalgo (op.cit.).

En forma general, la Sierra de Pachuca presenta dos vertientes principales, la suroccidental y la nororiental, cada una con características morfológicas particulares. La vertiente suroccidental es escarpada y con una pendiente general más fuerte. Las laderas montañosas desaparecen bruscamente en las planicies contiguas; en algunos casos se encuentran pequeños valles en herradura que se adentran en las laderas de la sierra, en uno de éstos se localiza la ciudad de Pachuca. Por otro lado, la vertiente nororiental es de una morfología más compleja, las laderas presentan una pendiente general menor y están disecadas por valles y barrancos profundos de curso irregular (Ortiz y Ramos, 1984).

La capital del Estado de Hidalgo fue fundada en la zona de unión entre la Sierra de Pachuca con la planicie acumulativa de la Cuenca endorreica de México, sobre una rampa acumulativa formada por la cohesión de abanicos aluviales, de los cuales el más importante es el formado por el Río de las Avenidas.

2.3 Clima.

El clima en Pachuca, así como a lo largo de la ladera suroeste de la sierra del mismo nombre, es semiárido. García Amaro (1981) lo clasifica como BS1k'w"ig, es decir, es el menos seco de los secos esteparios (semiáridos), templado con verano fresco y temperatura media anual entre los 12°C y 18°C, la del mes más frío entre los -3°C y 18°C y la del más caliente menor de 18°C. Presenta una temporada lluviosa verano-otoño, misma que es seguida por una temporada seca invierno-primavera con un

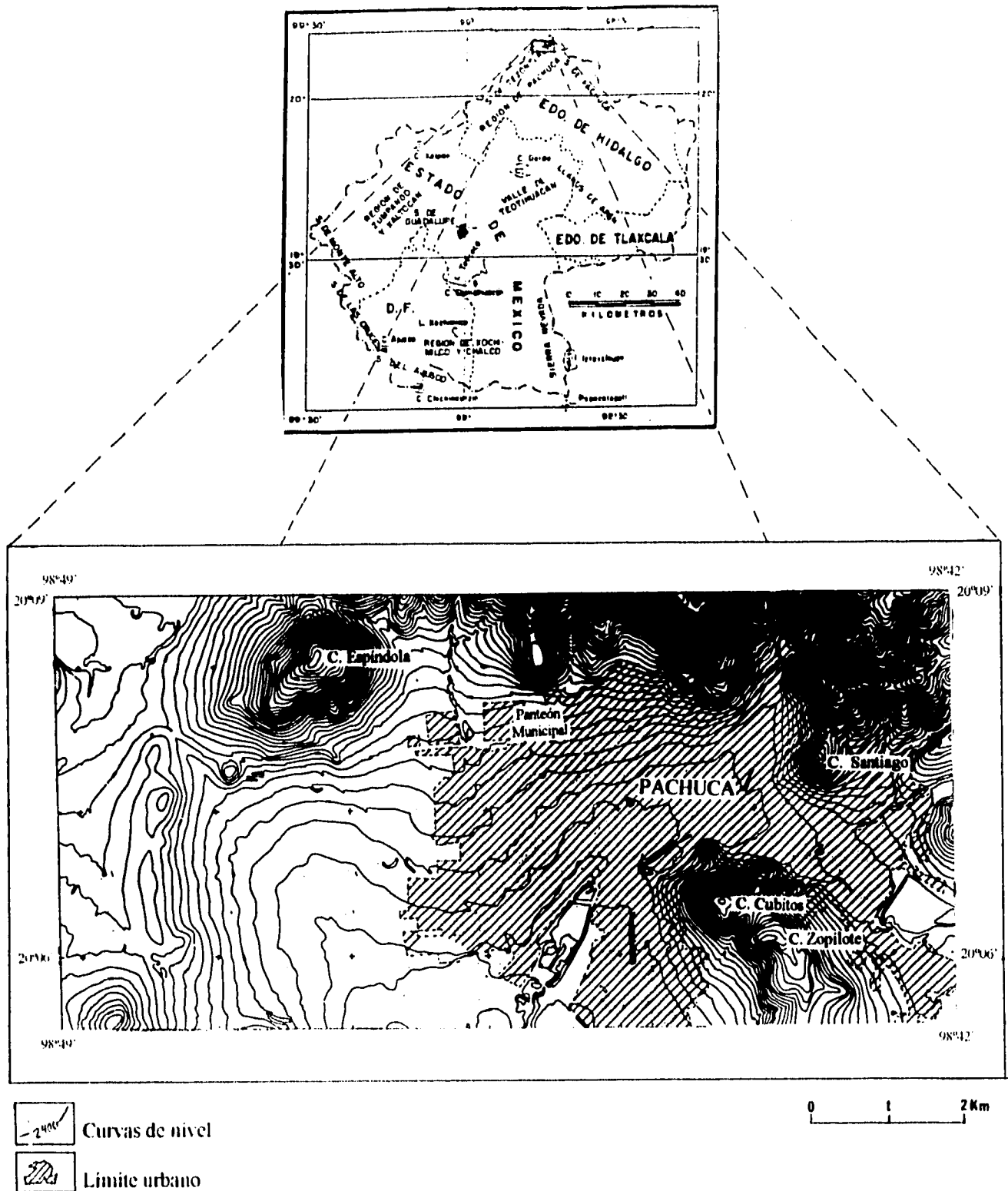


Fig. 2. Localización de la ciudad de Pachuca en el extremo norte de la cuenca de México (Ortiz y Ramos 1984).

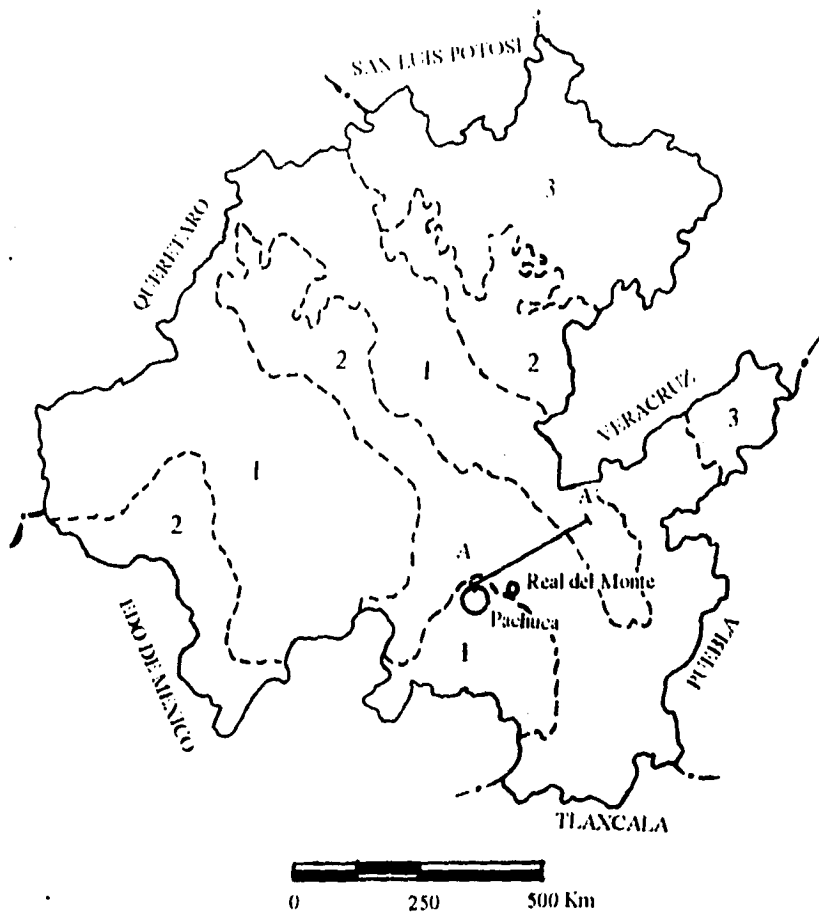
porcentaje de lluvia invernal que equivale a menos del 5 % del total anual; es isotermal y presenta una marcha de la temperatura tipo ganges.

Muy distinta a la vertiente suroccidental, la vertiente noreste de la Sierra de Pachuca, presenta un clima relativamente húmedo. Como se señaló, la temperatura media anual en Pachuca es de 14.5°C, mientras que en Real del Monte es de 12.5°C (Geyne et al., 1963). Aunque la diferencia de temperaturas no es muy grande, en la precipitación es notable y se debe al efecto de la topografía (Fig.5).

Las masas de aire húmedo provenientes del Golfo de México en dirección al oeste, al encontrarse con la Sierra Madre Oriental, son forzadas a ascender, provocando que el aire se enfríe, condense y precipite en la ladera oriental de la sierra (Fig. 4). Uno de los primeros sitios donde se presenta este fenómeno es en las cercanías de Villa Juárez, Puebla, a 82 Km al noroeste de Pachuca, donde la precipitación anual es de cerca 2000 mm. Posteriormente, los vientos cruzan esta alta barrera montañosa atravesando la relativamente árida planicie de Atotonilco el Grande y nuevamente son forzados a ascender debido a la presencia de la Sierra de Pachuca, donde la precipitación anual es de cerca de los 1500 mm en El Chico, en la ladera noreste y de 800 mm en Real del Monte, cerca de la cresta o parteaguas de la sierra. Al llegar a Pachuca, en la base de la ladera suroeste de la sierra, la precipitación es de 400 mm, debido a que las masas de aire han perdido gran parte de la humedad que contenían (Geyne et.al., 1963). Estas características climatológicas se reflejan en la vegetación a uno y otro lado de la Sierra de Pachuca (Fig. 3).

La mayor parte de la precipitación en la ciudad de Pachuca es de tipo torrencial y se presenta durante los meses de junio a octubre. Lloviznas de intensidad relativamente baja, provocadas por nubes altas que cubren extensas áreas (relacionadas con frentes fríos), se presentan por periodos de 2 a 8 días (op.cit.). Las granizadas son frecuentes en Pachuca y su ocurrencia es generalmente durante el mes de mayo, por lo que se asocian con las primeras precipitaciones (INEGI, 1992). Aunque las nevadas son raras en la ciudad, Geyne et.al. (op.cit.) reportan algunas que se presentaron en marzo de 1940 y en enero de 1958.

Una característica climática distintiva de Pachuca "La bella airosa", son los fuertes vientos del noreste, que soplan desde la sierra en dirección a la ciudad. Esto es debido al calentamiento del aire en el límite norte de la Cuenca de México, generándose una zona de baja presión, lo que provoca que los vientos fríos que descienden de la Sierra de Pachuca soplen en esta dirección. El mes en que se presentan con mayor intensidad es febrero, con velocidades de más de 60 Km/h, principalmente entre las 14:00 y 16:00 hrs (INEGI, 1992).



- 1 Climas secos de la Sierra Madre y Eje Neovolcánico
- 2 Climas templados de la Sierra Madre y Eje Neovolcánico
- 3 Climas cálidos y semicálidos de la Huasteca
- A - A' Perfil

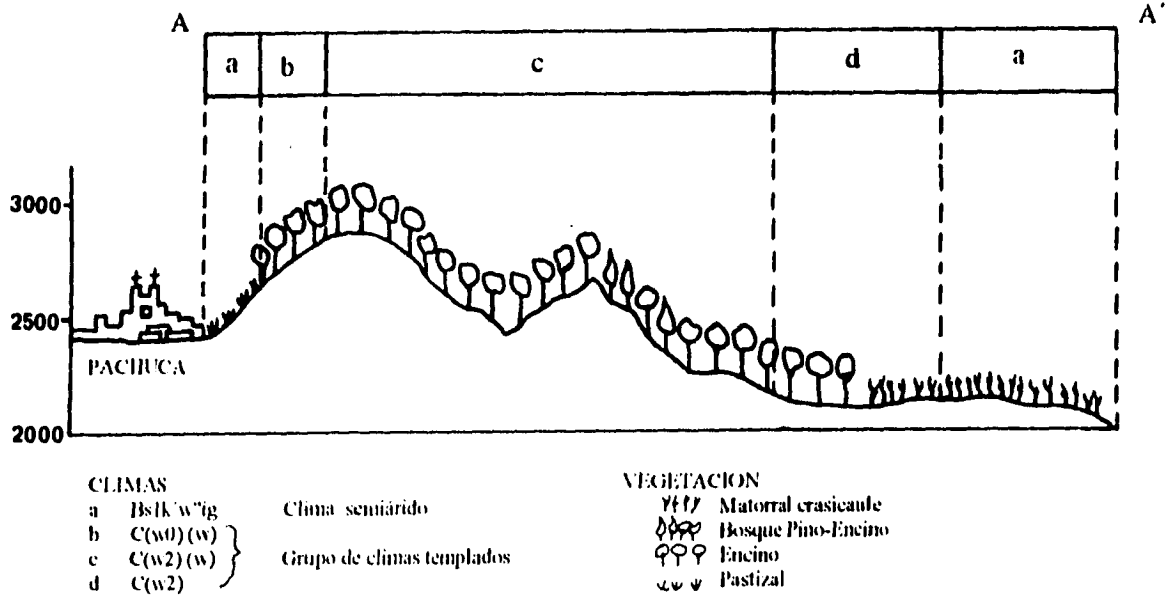


Fig. 3. Mapa de climas del Estado de Hidalgo y perfil que muestra la influencia de la topografía en el clima y vegetación de Pachuca (INEGI, 1992)

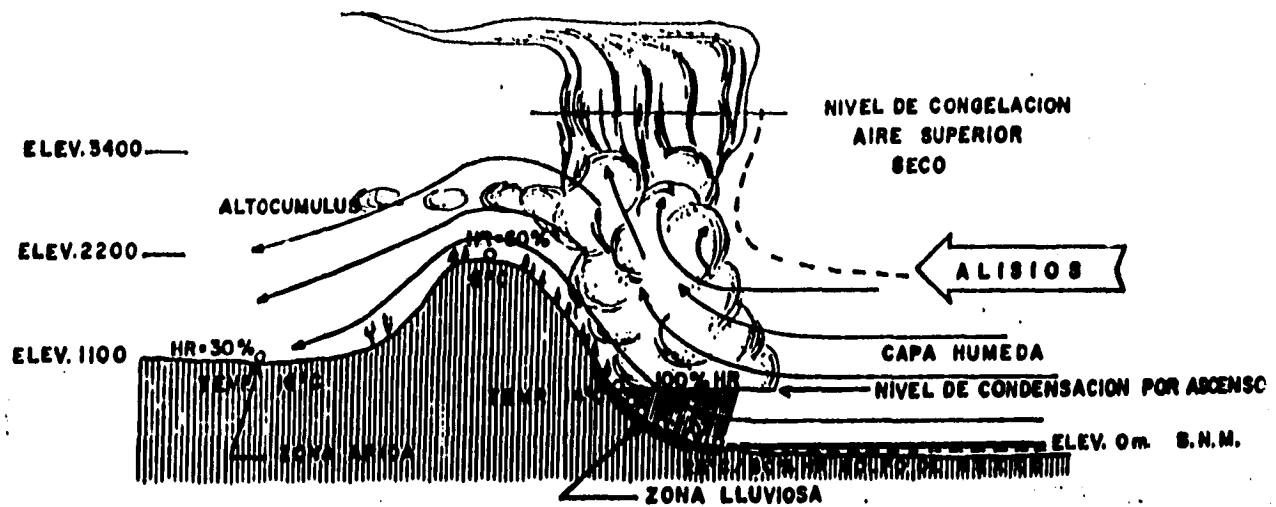


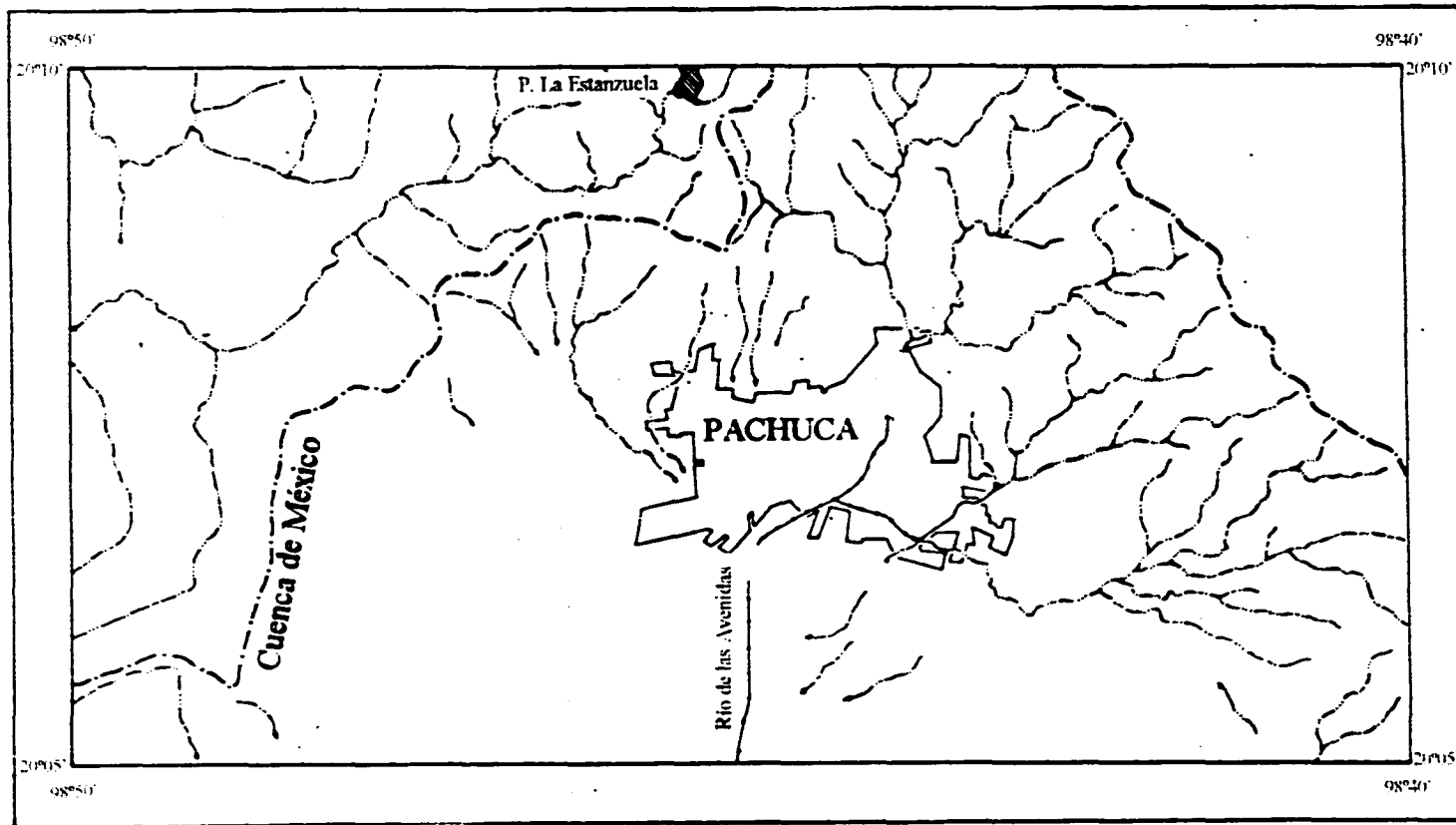
Fig. 4. Efecto de la topografía en la precipitación (De Cserna et al., 1974).

2.4 Hidrografía.

La ciudad de Pachuca se ubica dentro de la cuenca endorreica de México y más específicamente en la sub-cuenca del Río de las Avenidas de Pachuca. La red hidrológica está integrada por arroyos de longitud variable, y su configuración manifiesta claramente las condiciones litológicas y estructurales del relieve (Fig. 5). Así, se observa que existe drenaje de tipo dendrítico, rectangular y paralelo; el primero diseña el relieve más joven y los dos restantes al relieve más antiguo (Huizar, 1993).

La corriente más importante -el Río de las Avenidas-, se origina en las partes altas de la Sierra de Pachuca, en las cercanías de El Chico, entre Las Ventanas y Los Laureles, donde es alimentado por varias corrientes menores y manantiales como los de Agua Salada, Media Naranja y San Vicente (Perez, 1971). El Río de las Avenidas continúa su recorrido hacia el oeste, pasando por la ciudad de Pachuca, donde el problema de las inundaciones hizo necesaria su canalización; siguiendo su recorrido se desvía hacia el suroeste donde recibe varios tributarios como el Arroyo La Palma y el Río Azoyotla; en esta misma dirección recibe su principal afluente, el Río Papalote, para llegar al Gran Canal del desagüe de la Cuenca de México que desagua hacia el Río Moctezuma.

De acuerdo con Huizar (op.cit.), el aporte medio del Río de las Avenidas, a la salida de la cuenca, es de cinco millones de metros cúbicos anuales (en un periodo considerado entre 1971-1979), del cual se registra el 80% del total en la época húmeda y el resto corresponde a flujo de agua residual.



PACHUCA DE SOTO, HGO.
Fig. 5. Mapa hidrográfico

El autor citado señala que el agua residual de Pachuca, más el agua excedente de las minas de esta misma ciudad, forman un volumen aproximado de 0.700 m³/s. Por otra parte, la cuenca de Pachuca recibe escurrimiento superficial a través de canales artificiales construidos para drenar hacia ésta las cuencas de Apan y Tecocomulco.

Como toda ciudad importante, Pachuca necesita de un adecuado abastecimiento de agua, tanto para consumo doméstico, como para uso industrial (minería principalmente). Aparte del Río de las Avenidas, la reserva o presa de La Estanzuela, localizada 5 Km al noroeste de la ciudad, es una de sus principales fuentes de agua superficial y del distrito minero en general. Sin embargo, debido a que el agua superficial no es suficiente para satisfacer las necesidades locales, se explotan algunos pozos que se destinan al abastecimiento de agua para uso doméstico, algunos se encuentran aproximadamente a 5 Km al sur de la ciudad (carretera México-Pachuca). Algunas plantas industriales, dentro y cerca de la ciudad, cuentan con pozos propios.

Por otro lado, las obras mineras de la zona, siempre han tenido la necesidad de mantener las aguas subterráneas en niveles bajos, esta tarea se realiza por medio de bombeo. En algunos casos al agua es bombeada a niveles más bajos dentro de las mismas obras hasta llegar a sitios donde posteriormente es enviada a la ciudad; en otros, es enviada a plantas de tratamiento, como la de Santa Julia que se localiza a 4 Km al suroeste de Pachuca (Geyne et al., op.cit.). Pero en la mayoría de los casos, el agua de las minas es llevada a superficie para posteriormente integrarse a las corrientes fluviales.

2.5 Vegetación.

La vegetación natural en la ladera suroeste de la Sierra de Pachuca, está constituida principalmente por pastos y arbustos típicos de regiones áridas, cactáceas, agaves y grandes yucas (tabla 7).

Conforme se asciende a la sierra en dirección a Mineral del Monte, la temperatura descende y la humedad aumenta, y se tiene un cambio notorio en la flora, encontrando especies tales como, cedros (*Juniperus sp.*), pinos (*Pinus monophylla*), roble enano (*Quercus gambelii*) y otros árboles pequeños que se extienden paralelos al eje de la sierra, a poca distancia del parteaguas. En la cima y en las laderas noreste de la sierra, predominan los bosques más densos de clima templado. Las especies principales son: Abeto (*Abies religiosa*), pino (*Pinus leiophylla*), roble (*Quercus barbinervis*) y madroño (*Arbustos xalapensis*). Especies inducidas como el pirul (*Schinus molle*) y el eucalipto (*Eucaliptus sp.*) han sido plantadas en las laderas de la sierra al norte de la ciudad (op.cit.). Las características vegetales que se presentan tanto en las partes altas de la sierra como en su ladera noroeste, evitan en gran forma el desarrollo de procesos

erosivos de consideración, debido a la protección que proporciona la densa cobertura vegetal.

Tabla 7. Principales especies vegetales en la ladera (árida) suroeste de la Sierra de Pachuca (Perez, 1971).

<u>Cactáceas</u>	
Nopal	<i>Opuntia tuna</i>
Tasajillo	<i>Opuntia kleinae</i>
Cuija	<i>Opuntia cuija</i>
Organo	<i>Cereus Marginatus</i>
Cabeza de Viejo	<i>Cephalocereus cactus semilis</i>
Pitahaya	<i>Lemaireocereus cereus dumortier</i>
Garambullo	<i>Cereus geometrizarans</i>
Bisnaga	<i>Echinocactus tetraxiphus</i>
Peyote	<i>Lephora williamsii</i>
<u>Agaves</u>	
Magüey corriente	<i>Agave lehmanii</i>
Magüey de pulque	<i>Agave colleria</i>
Magüeyito	<i>Agave filifera</i>

En contraposición, la ladera suroeste presenta el factor desfavorable de la ausencia de vegetación superior, teniendo por consecuencia, superficies más susceptibles a ser erosionadas. A este factor se une el hecho de que por más de tres siglos los bosques de la Sierra de Pachuca han abastecido la ciudad y al distrito minero con madera para la construcción y las obras mineras, así como con carbón vegetal para el tratamiento de los minerales y el uso doméstico. Esta situación disminuyó con el uso de nuevos materiales y combustibles, sin embargo, la deforestación fue considerable, lo cual trajo consigo un importante problema de erosión de suelos y aunado a esto, una baja considerable en la realimentación de los mantos acuíferos.

2.6 Suelos.

Como ya se ha señalado, la Cuenca de México es una zona eminentemente volcánica, de tal modo que la composición y edad de los materiales eruptivos junto con el clima y la geomorfología, son determinantes en la génesis y características de los suelos. Otros factores, como la pendiente y el drenaje, imprimen también características importantes en el proceso edáfico, y son ellos los que determinan en buena parte, cambios taxonómicos locales para los grupos de suelos (Cervantes, 1983).

Debido a su edad, la Sierra de Pachuca (la más antigua de la cuenca) debería presentar suelos bastante evolucionados, sin embargo, aquí se encuentran suelos a los que morfológicamente se les sitúa en los órdenes de inceptisoles (suelos incipientes) y

entisoles (suelos recientes). Esto se debe a que su pedogénesis ha sido varias veces cortada o impedida.

Esto obedece a que en esta sierra el equilibrio ambiental ha sido alterado en muchas ocasiones, como resultado del predominio de procesos endógenos volcánico-acumulativos, principalmente, que sepultaron y fosilizaron los suelos, interrumpiendo periódicamente la pedogénesis. Por otra parte, los procesos erosivo-acumulativos, removieron y transportaron los materiales edáficos de las cimas y taludes a las planicies bajas, dejando en ocasiones totalmente desnudas las laderas, en un proceso que hoy se muestra claramente en la ladera sur de la Sierra de Pachuca (Cervantes, op.cit.).

En la zona de estudio se reconocen distintos tipos de suelos con las características antes mencionadas, es decir, poco desarrollados (Fig. 6). Los litosoles predominan en la parte alta de la sierra así como en la ladera oriental y suroriental del cerro Santiago, siendo suelos de menos de 10 cm de espesor sobre la roca (Ramos y Ortíz, 1984). Se les encuentra combinados, pero en una menor proporción, con suelos feozem háplico y cambisol cálcico. Los suelos muestran una clase textural media, lo cual los hace en cierta forma estables o resistentes a la erosión siempre y cuando mantengan una buena cobertura vegetal. Debido a que no son suelos aptos para el cultivo, sólo pueden ser destinados al pastoreo, aunque se recomienda que en estas zonas se deje el desarrollo natural de la vegetación nativa, con fin de evitar la erosión.

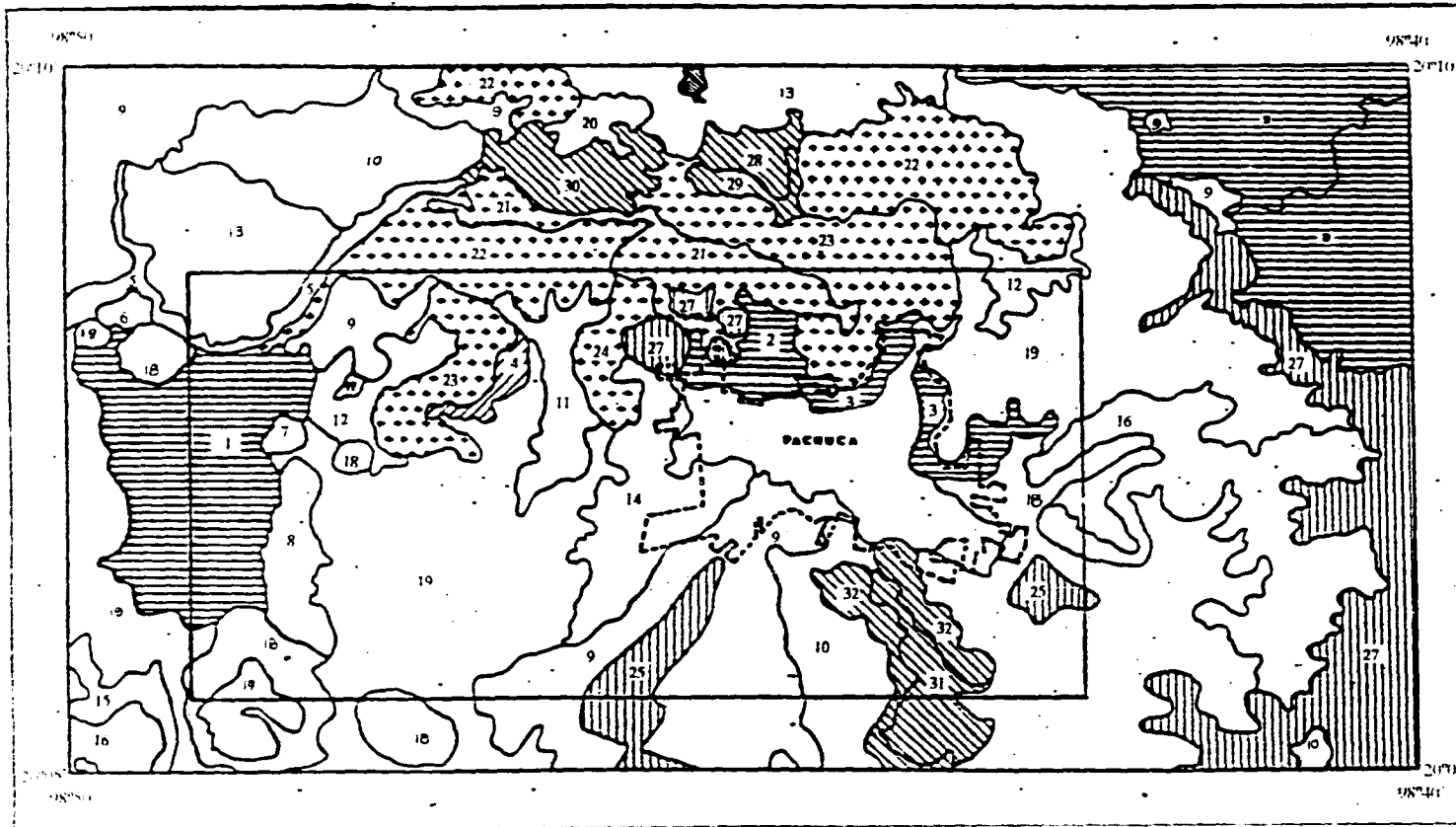
En la parte occidental de la zona de estudio, fuera de la Cuenca de México, se reconoce un área de Cambisol eútrico. De acuerdo con INEGI (1990), estos suelos son jóvenes y poco desarrollados; presentan una clase textural media (suelos francos) y una fase dúrica, esta última se refiere a una capa de tepetate cementado lo que impide o limita el uso agrícola. Sin embargo, tomando en cuenta que se localizan sobre una superficie levemente inclinada, y que son suelos relativamente fértiles, pueden ser aprovechados tomando algunas medidas para su protección y conservación.

Cambisoles pero del tipo cálcico asociados con suelos feozem, se localizan en la base de la sierra (lo que representa una rampa acumulativa) al este, noroeste y oeste de la ciudad, tienen una clase textural media y fase dúrica. Se caracterizan por ser calcáreos en todas sus capas, o por tener acumulación de caliche suelto en alguna profundidad (INEGI, op.cit.), lo cual debe tener gran relación con el clima semiárido de la zona. Es importante señalar que el área que ocupan estos suelos, en la actualidad está casi totalmente urbanizada.

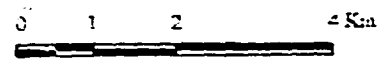
Los suelos más extendidos en la zona en estudio son los Feozem, que de acuerdo con INEGI (op.cit.) pueden encontrarse en distintas condiciones climáticas, así como en diversos tipos de terreno:

Al oeste de la ciudad, en las elevaciones que representan el límite de la Cuenca de México, se reconoce suelo feozem calcárico asociado con litosoles, presenta una clase

PACHUCA DE SOTO, HGO
Fig. 6 . Mapa de suelos (INEGI, 1984)



- | | | |
|----------------|---|--|
| | CAMBISOLS | |
| 1. Hc2 d. | Entico de textura media fase dura | |
| 2. Re21. | Entico de textura media fase dura | |
| 3. RA+Hc2 d. | Calcárico de textura media fase dura, con inclusiones de fosfatos calcáricos | |
| | RENZINAS | |
| 4. R21 | Renzina de textura fina fase pedregosa | |
| | FEOLFMS | |
| 5. Hc2 | Calcárico de textura media fase pedregosa | |
| 6. Hc2 dp. | Calcárico de textura media fase dura profunda | |
| 7. Hc3 d. | Calcárico de textura fina fase dura | |
| 8. Hc3 d. | Calcárico de textura fina fase dura, con inclusiones de fosfatos | |
| 9. Hc2 L. | Haplón de textura media fase pedregosa | |
| 10. Hc2 d. | Haplón de textura media fase dura | |
| 11. Hc2 dp. | Haplón de textura media fase dura profunda | |
| 12. Hc3 L. | Haplón de textura media fase dura | |
| 13. RA+Hc2 d. | Haplón de textura media fase dura con inclusiones de fosfatos calcáricos | |
| 14. Hc3 dp. | Haplón de textura media fase dura profunda con inclusiones de fosfatos | |
| 15. Hc3 d. | Haplón de textura media fase dura con inclusiones de fosfatos | |
| 16. Hc2 L. | Haplón de textura media fase dura con inclusiones de fosfatos | |
| 17. Hc3 L. | Haplón de textura fina fase dura con inclusiones de fosfatos | |
| 18. Hc3 d. | Haplón de textura fina fase dura con inclusiones de fosfatos | |
| 19. Hc3 dp. | Haplón de textura fina fase dura profunda con inclusiones de fosfatos | |
| 20. Hc3 L. | Haplón de textura media fase dura con inclusiones de fosfatos | |
| | LITOSOLES | |
| 21. Hc3 Hc2 d. | De textura media fase dura con inclusiones de carbón y fosfatos | |
| 22. Hc3 d. | De textura media fase pedregosa con inclusiones de fosfatos calcáricos | |
| 23. Hc2 L. | De textura media fase dura con inclusiones de fosfatos calcáricos | |
| 24. Hc2 L. | De textura media fase dura con inclusiones de fosfatos calcáricos | |
| | REGOSOLS | |
| 25. Rv3 L. | Entico de textura fina fase dura | |
| 26. Rv1. | Calcárico de textura gruesa fase pedregosa | |
| 27. Rv2 L. | Calcárico de textura media fase dura con inclusiones de fosfatos | |
| | VERTISOLS | |
| 28. Vv3. | Calcárico de textura fina fase pedregosa | |
| 29. Vv3 d. | Calcárico de textura fina fase dura | |
| 30. Vv3 Hc2 d. | Calcárico de textura fina fase pedregosa con inclusiones de fosfatos calcáricos | |
| 31. Vv3 L. | Haplón de textura fina fase dura | |
| 32. Vv3 L. | Haplón de textura fina fase dura con inclusiones de fosfatos | |
| | Limite del área de estudio | |
| | Limite urbano | |



textural fina y fase dúrica. Estos feozem son los más productivos en la agricultura debido a su contenido de cal, sin embargo en este caso su clase textural (arcillosa) ocasiona problemas en el drenaje debido a su poca porosidad y por otra parte cuando se secan son muy duros.

Feozem háplico de clase textural media y fase lítica asociado a litosoles (lo que indica el poco desarrollo del suelo), se localiza en un área extensa en la Sierra de Pachuca al noreste de la ciudad (El cerro de Santiago se ubica en esta zona), así como en los cerros (volcanes cuaternarios) que se encuentran al suroeste en el límite de la zona en estudio.

En la base de la Sierra de Pachuca así como en la planicie acumulativa de la Cuenca de México, continúa el predominio de los feozem háplicos, en un manchón ubicado al oeste de la ciudad (panteón municipal) se encuentran asociados con feozem calcáricos. Todos se caracterizan por una clase textural media y sus fases físicas varían de dúrica a dúrica profunda, esto junto con su localización permite en cierta forma que sean aprovechados en la agricultura (las principales tierras de cultivo se localizan en esta zona al sur y suroeste de Pachuca), sin embargo llegan a presentar problemas de drenaje principalmente durante la época de lluvias.

Cervantes (1983) describe un perfil localizado cerca de la base del cerro Espindola ($20^{\circ}07' N$ y $98^{\circ}48' W$), en donde puede distinguirse el poco desarrollo de los suelos en esta zona. El perfil describe un Feozem háplico de textura media con fase dúrica, el espesor que alcanza es de solo 73 cm y presenta los horizontes A, C y una etapa de transición AC, el horizonte B está ausente, lo que indica que en el perfil aún no se ha presentado en forma importante una alteración química del material parental o roca madre. En la cima del cerro Cubitos se presenta un vertisol pélico de textura fina y fase dúrica, en algunas partes está asociado con litosol. De acuerdo con Duchaufour (1984), aunque estos suelos tienen una alta fertilidad química, frecuentemente presentan problemas por sus características físicas, ya que poseen una cantidad excesiva de arcillas expansibles. Esto provoca que al contraerse las arcillas en la época de sequía, los suelos se endurezcan y agrieten; y cuando están húmedos sean pegajosos.

Desde el punto de vista de los riesgos, esta zona puede presentar problemas, debido a que no se encuentran sobre una superficie plana y a que presentan una fase dúrica, lo que significa que a poca profundidad aparece una capa de tepetate duro cementado, lo que puede provocar pequeños deslizamientos de tierra durante la época húmeda, es decir, que una superficie de suelo plástica (arcillas) resbala sobre una capa relativamente dura e impermeable (tepetate) (Driessen y Dudal, 1989). El riesgo se ha incrementado debido a que la mancha urbana ha avanzado a esta zona durante los últimos años.

textural fina y fase dúrica. Estos feozem son los más productivos en la agricultura debido a su contenido de cal, sin embargo en este caso su clase textural (arcillosa) ocasiona problemas en el drenaje debido a su poca porosidad y por otra parte cuando se secan son muy duros.

Feozem háplico de clase textural media y fase lítica asociado a litosoles (lo que indica el poco desarrollo del suelo), se localiza en un área extensa en la Sierra de Pachuca al noreste de la ciudad (El cerro de Santiago se ubica en esta zona), así como en los cerros (volcanes cuaternarios) que se encuentran al suroeste en el límite de la zona en estudio.

En la base de la Sierra de Pachuca así como en la planicie acumulativa de la Cuenca de México, continúa el predominio de los feozem háplicos, en un manchón ubicado al oeste de la ciudad (panteón municipal) se encuentran asociados con feozem calcáricos. Todos se caracterizan por una clase textural media y sus fases físicas varían de dúrica a dúrica profunda, esto junto con su localización permite en cierta forma que sean aprovechados en la agricultura (las principales tierras de cultivo se localizan en esta zona al sur y suroeste de Pachuca), sin embargo llegan a presentar problemas de drenaje principalmente durante la época de lluvias.

Cervantes (1983) describe un perfil localizado cerca de la base del cerro Espíndola (20°07' N y 98°48' W), en donde puede distinguirse el poco desarrollo de los suelos en esta zona. El perfil describe un Feozem háplico de textura media con fase dúrica, el espesor que alcanza es de solo 73 cm y presenta los horizontes A, C y una etapa de transición AC, el horizonte B está ausente, lo que indica que en el perfil aún no se ha presentado en forma importante una alteración química del material parental o roca madre. En la cima del cerro Cubitos se presenta un vertisol pélico de textura fina y fase dúrica, en algunas partes está asociado con litosol. De acuerdo con Duchaufour (1984), aunque estos suelos tienen una alta fertilidad química, frecuentemente presentan problemas por sus características físicas, ya que poseen una cantidad excesiva de arcillas expansibles. Esto provoca que al contraerse las arcillas en la época de sequía, los suelos se endurezcan y agrieten; y cuando están húmedos sean pegajosos.

Desde el punto de vista de los riesgos, esta zona puede presentar problemas, debido a que no se encuentran sobre una superficie plana y a que presentan una fase dúrica, lo que significa que a poca profundidad aparece una capa de tepetate duro cementado, lo que puede provocar pequeños deslizamientos de tierra durante la época húmeda, es decir, que una superficie de suelo plástica (arcillas) resbala sobre una capa relativamente dura e impermeable (tepetate) (Driessen y Dudal, 1989). El riesgo se ha incrementado debido a que la mancha urbana ha avanzado a esta zona durante los últimos años.

En resumen, es importante destacar que la relación existente entre los distintos elementos del entorno natural, como serían el clima, la hidrología, los suelos y la vegetación, con las formas del relieve, originan paisajes bien definidos, en el cual cada uno de los componentes mencionados determina el equilibrio y la dinámica de la superficie terrestre. El mal uso y manejo de los elementos naturales, por parte del hombre, llega a hacer del proceso natural, un fenómeno nocivo para los asentamientos humanos. De ahí la importancia de considerar a los distintos elementos del entorno natural como componentes de un sistema complejo de relaciones que suceden en la superficie terrestre, en forma más concreta, con los mecanismos que generan los riesgos naturales.

III. GEOLOGIA

Antecedentes.

En el área de la ciudad de Pachuca se localiza uno de los distritos mineros más importantes del país (Pachuca-Real del Monte). Debido a la importancia económica que representa, esta zona ha sido objeto de numerosos estudios geológicos. Sin embargo, es muy poco lo que se ha publicado y en esa información se apoya la síntesis geológica que se presenta. Los trabajos más importantes pertenecen a: Geyne (1956), quien presenta un resumen de la geología del distrito minero de Pachuca-Real del Monte, mismo que aparece en el libretto-guía de la excursión realizada a lo largo de la carretera entre México, D.F., Pachuca y Zimapán, Hgo., mostrando en forma breve las características geológicas, estructurales y minero-económicas de la zona; Segerstrom (1961, 1962), presenta un estudio regional de la estratigrafía y estructura geológica del suroeste de Hidalgo y noreste del Estado de México sin incluir los aspectos geólogo-económicos de la región; Fries (1962), en su trabajo muestra la geología de la Hoja Pachuca con algunos datos extraídos de la publicación de Segerstrom (1961), así como información sobre aspectos económicos de los yacimientos minerales del distrito de Pachuca-Real del Monte. Geyne et al. (1963), realizan un extenso estudio sobre el distrito de Pachuca-Real del Monte, siendo el trabajo más completo de los consultados, ya que en cierta forma se conjuntan y enriquecen todos los anteriores.

3.1 Aspectos generales

La Sierra de Pachuca se extiende en una dirección NW-SE, a lo largo del borde noreste de la Cuenca de México por una distancia de 40 kilómetros. Está constituida por una serie de rocas volcánicas del Terciario que descansan sobre sedimentos del Cretácico (Geyne, 1956).

En el Cretácico, esta región, como la mayor parte del territorio mexicano, se encontraba cubierta por el mar; bajo estas condiciones se acumularon grandes cantidades de sedimentos. Este proceso continuó hasta el Cenomaniano Temprano (100 millones de años) cuando, al parecer, se presentó una emersión general, acompañada de un ligero plegamiento de las capas (Fries, 1962).

El levantamiento que parece haber comenzado antes del final del Cretácico se intensificó en el Paleoceno y culminó en el Eoceno Temprano con la Orogenia Laramide o Hidalguense (De Cserna 1960, citado por Fries 1962). Al parecer la orogenia llega a su

fin en el Oligoceno Tardío, época que coincide con el inicio, en esta región, de un largo periodo de actividad volcánica que finaliza en el Plioceno Temprano.

La mayoría de las rocas volcánicas conocidas es de composición andesítica, en forma de coladas, brechas y tobas. Otros depósitos volcánicos menos potentes tienen una composición riolítica y dacítica y se sobreponen a las andesitas (Geyne, 1956). Esta zona fue afectada por una etapa de intenso fallamiento que fue acompañada o seguida por la mineralización metálica que caracteriza a la zona de Pachuca (Fries, 1962).

Finalmente se encuentran corrientes de basalto post-minerales de poco espesor, las cuales están distribuidas irregularmente en los flancos de la Sierra de Pachuca (Geyne, 1956).

Los estudios geológicos realizados en el Distrito Minero de Pachuca y zonas contiguas, han permitido reconocer ocho unidades volcánicas (formaciones), que corresponden a un igual número de etapas de actividad. El conjunto de rocas volcánicas formadas en el periodo Terciario es conocido como Grupo Pachuca. Frecuentemente se encuentran dos formaciones muy similares, las cuales pueden diferenciarse debido a que entre ambas aparece un delgado depósito aluvial. Esto indica que después de una etapa de acumulación volcánica hubo otra de estabilidad.

3.2 Estratigrafía

Las formaciones que constituyen el Grupo Pachuca (Fries, 1962., Geyne, 1956 y Geyne et al., 1963) se describen brevemente de la más antigua a la más joven. (Tabla 8)

- **FORMACION SANTIAGO.** Es la más antigua que se conoce en el Distrito Minero. Su localidad tipo se encuentra al oriente de la ciudad de Pachuca en el cerro de Santiago; Esta formación aflora al norte de Pachuca en el cañon del río Amajac, donde sobreyace a las rocas cretácicas sedimentarias. Consiste en varias corrientes interestratificadas con tobas y aglomerados, de composición riolítica con intercalaciones de andesitas y dacitas. La textura típica de la roca es porfídica con matriz afanítica. El espesor máximo de la formación es de 480 m y sus características principales son el color rojizo morado y estructura foliada.
- **FORMACION CORTEZA.** Descansa en aparente concordancia sobre la formación Santiago y aflora alrededor de la ciudad de Pachuca. Un afloramiento importante se encuentra a medio kilómetro al noroeste de la mina de San Juan Pachuca. Está constituida por varias corrientes de lava cuya textura y composición son uniformes; Se trata basaltos y andesitas masivas de color gris oscuro, "andesita negra". Se desconoce el punto emisor de la formación Corteza, aunque se considera

que no fué uno solo, sino varios, debido a la gran extensión que ésta ocupa. Al parecer, una de las ventanas extrusivas se encuentra a unos cuantos km al NW de Pachuca, ya que el espesor de la formación aumenta en esta dirección, siendo el máximo de 300 m.

Tabla 8. Columna estratigráfica en la zona de Pachuca, Hgo., de acuerdo con Geyne y colaboradores (1963).

ERA	PERIODO	EPOCA	EDAD *	FORMACION	
C E N O Z O I C O	CUATERNARIO (Pleistoceno y Holoceno)		2	Aluvión y material clástico Derrames de lava y conos cineríticos	
	T e r c i a r i o	Plioceno	13	Formación Tarango Riolita Navajas Formación San Cristobal Formación Zumate Formación Tezuantla Formación Cerezo	
		Mioceno	25	Formación Vizcaina Formación Santa Gertrudis Formación Real del Monte Formación Pachuca	
		Oligoceno	36	Formación Corteza Formación Santiago Grupo el Morro	
			Eoceno	58	
			Paleoceno	63	
		M E S O Z O I C O	C	Superior	
	re t á c i c o		Inferior		Formación el Doctor
				135	

*En millones de años.

- **FORMACION PACHUCA.** Descansa sobre la formación Corteza con aparente concordancia y aflora en un área considerable al oriente, norte y noroccidente de la Ciudad de Pachuca. Se trata de corrientes lávicas intercaladas con tobas y brechas, de composición andesítica. Estas corrientes son de color gris con coloraciones moradas o rojo oscuro, su espesor máximo alcanza 620 m. Por las dimensiones que alcanza el depósito, se piensa en la existencia de varios conductos. Aproximadamente a

kilometro y medio al norte del cerro Espíndola, los trabajos mineros han descubierto grandes cantidades de brecha intercalada con flujos lávicos, lo que permite suponer que uno de los puntos de emisión se localiza en esta zona.

- **FORMACION REAL DEL MONTE.** Yace en aparente concordancia sobre la formación Pachuca y aflora entre Pachuca y Real del Monte; es similar a la anterior, pero mientras que en la primera predominan los derrames lávicos, ésta se caracteriza por una estructura "brechoide" de color morado-grisáceo en la matriz y pardo-rojizo en las intrusiones. El espesor máximo es de 350 m y se encuentra en las cercanías del centro minero La Reforma, a poco más de dos km al oriente de Pachuca, lo que sugiere que uno de los centros eruptivos de esta formación se encuentra en esta área.
- **FORMACION SANTA GERTRUDIS.** Descansa en concordancia sobre la formación Real del Monte. Es de composición andesítica con intercalaciones de dacita, se caracteriza por su estructura en derrames de lava porfídica de grano grueso de color gris oscuro con tintes rojizos. Su espesor mayor es de 320 m, localizado cerca del tiro del Sagrado Corazón al NE de Pachuca.
Aunque su fuente emisora se desconoce, los trabajos mineros han descubierto que desde Real del Monte se extiende hacia el sur, este y suroeste, por lo que se piensa que uno de los puntos de emisión se encuentre cerca de esta población.
- **FORMACION VIZCAINA.** Descansa discordantemente sobre la formación Santa Gertrudis y formaciones anteriores. Sus afloramientos son los más extensos en el Distrito Minero de Pachuca-Real del Monte, presentándose principalmente en la región noreste de dicho distrito; al suroeste la formación se encuentra ausente debido a la erosión, sólo se encuentra en áreas pequeñas como en el cerro de Cubitos. Esta formación esta constituida por lavas andesíticas con algunas intercalaciones de tobas y brechas, y en la base se presenta un conglomerado o arenisca tobácea. El color de las corrientes es verde grisáceo, con una textura porfídica, siendo su característica principal la estructura foliada. Su espesor máximo es de 600 m.
Al igual que las formaciones anteriores su punto de emisión es desconocido, sin embargo, se ha considerado la existencia de múltiples puntos debido a su gran extensión.
- **FORMACION CEREZO.** Descansa en discordancia angular sobre la formación Vizcaína, así como en algunas de las formaciones anteriores. Los afloramientos se encuentran distribuidos irregularmente por toda la zona. Su nombre se debe a que aflora cerca del poblado El Cerezo, sin embargo los afloramientos más importantes se

localizan al norte de la ciudad de Pachuca, donde alcanza un espesor máximo de 220 m. Está constituida por riolitas y riolacitas, como también por areniscas y limolitas tobáceas, de color casi blanco con variaciones a rosado. Una de sus principales características es su estructura foliada.

- **FORMACION TEZUANTLA.** Consiste en lavas riolíticas y riolacitas, con un espesor máximo de 140 m. Sus afloramientos se limitan a la cuenca de México, encontrándose principalmente al sureste del distrito minero, en las elevaciones localizadas al suroeste de la población del mismo nombre (Tezuantla). Esta formación representa la cima del Grupo Pachuca, originada en el Plioceno Temprano antes de la mineralización.

La edad del Grupo Pachuca queda limitada por la del Grupo El Morro, infrayacente y la de la formación Zumate, suprayacente. Es decir la base del grupo es del Oligoceno Medio y la cima es del Plioceno Temprano, siendo la mayor parte del grupo de edad miocénica (Fries, 1962).

A continuación se mencionan otras unidades litológicas, que se presentan en la zona, posteriores al grupo Pachuca (Plioceno-Cuatemario).

- **FORMACION ZUMATE.** Descansa con ligera discordancia sobre las formaciones anteriores. Los afloramientos se encuentran a lo largo de la cima de la Sierra de Pachuca; encontrándose la localidad tipo en la "Peña del Zumate", aproximadamente a 3 km al norte de Real del Monte. Afloramientos aislados se encuentran separados de la masa principal por erosión, es el caso del cerro de Cubitos. La formación está compuesta por andesitas y riolitas, que en parte representan coladas de lava y en otras brechas. Son de colores gris claro con tinte morado claro y textura porfídica de grano grueso. Su espesor mayor se calcula en unos 360 m.

La fuente de la formación se encuentra aparentemente en una zona de aglomerados gruesos y estratos lahàricos en las cercanías del cerro de "Las Ventanas" (Limite norte de la Cuenca de México). Esta zona de aglomerados y lahares, forma un cinturón que se extiende hacia el este y oeste por varios km, lo que sugiere que la emisión se desarrolló en una serie de puntos alineados en la misma dirección.

- **FORMACION SAN CRISTOBAL.** Aflora en el cerro del mismo nombre al norte de Pachuca y en el cerro de Cubitos, en cuya cima aparecen basaltos y andesitas que presentan un espesor aproximado de 10 m. Los puntos de emisión probablemente se localizan bajo las zonas de afloramiento, es decir, en el cerro San Cristobal y en los cerros de Cubitos y el Zopilote. Es una de las formaciones mejor expuestas en toda la

zona de Pachuca. En cuanto a su edad se le considera del Plioceno Tardío y presenta un espesor máximo de 250 m.

- **RIOLITA NAVAJAS.** Está constituida por brecha, toba, derrames piroclásticos y lavas de composición riolítica. Descansa sobre formaciones antiguas anteriores a la Zumate, incluso cubriendo a las rocas sedimentarias cretácicas. Se le reconoce en la porción oriental de la Sierra de Pachuca en el cerro de Las Navajas (aproximadamente a 10 km al este de Pachuca), donde presenta su espesor máximo de unos 500 m. La Riolita Navajas aparentemente fue expulsada cerca del área de afloramiento y en cuanto a su edad, se le considera Plioceno-Cuaternario.
- **FORMACION TARANGO.** Depósitos de material clástico derivados principalmente de las rocas volcánicas del Terciario y en pequeñas proporciones por rocas sedimentarias cretácicas (Pre-Terciario). Gran parte de la formación fue depositada por corrientes de agua superficial que transportaron gravas, arenas, limos y arcillas producto del intemperismo en las partes altas, para posteriormente depositarlos en forma de abanicos aluviales y de capas casi horizontales en las llanuras de inundación. También se presentan capas locales de turba, así como tobas de grano fino, producto de la erosión de tobas preexistentes o de erupciones volcánicas contemporáneas (Fries, 1962). A los depósitos de este tipo que se encuentran al norte de Pachuca en las cuencas de los ríos Metztitlán y Amajac se les conoce como "Formación Atotonilco el Grande". Aquellos que se encuentran en la Cuenca del Río Tula, así como a lo largo del lado oeste de la Cuenca de México, al oeste y suroeste de la ciudad de Pachuca, se les denomina "Formación Tarango". Segerstrom (1961) extendió esta formación a esta zona a partir de su localidad tipo en la Barranca de Tarango en la colonia Mixcoac de la Ciudad de México.
- **DERRAMES DE LAVA Y CONOS CINERITICOS CUATERNARIOS.** Fries (1962), clasificó dentro de esta unidad a todos los volcanes y sus productos que poseen un grado débil de erosión. Casi todas las rocas de esta unidad son basaltos de olivino, siendo su volumen total muy bajo en comparación con el de las etapas anteriores. Se reconocen dos conos cineríticos con derrames de lava asociados ubicados a 13 y 16 km hacia el oeste-noroeste de Pachuca. Otro se ubica a 5 km al suroeste de la ciudad.
- **ALUVION Y MATERIAL CLASTICO.** Estos depósitos deben su origen a las corrientes fluviales que los producen, tanto en el cauce, a los lados y en la desembocadura de éstas (conos de eyección o abanicos aluviales). Los ejemplos más

representativos se reconocen hacia la Cuenca de México. Por debajo de la ciudad de Pachuca y en la porción meridional (Geyne et al., 1963) las exploraciones mineras muestran un espesor de 210 m de aluvi6n. El relleno est1 constituido por gravas, arenas y limos, con mezclas locales de cenizas bas1lticas y andesiticas (Fries, 1962). Lo anterior sugiere que antiguamente existi6 un valle profundo que drenaba hacia el sur antes de que 6ste se rellenara.

La repetida extrusi6n de lavas en distintos lugares de la Cuenca de M6xico, provoc6 interrupciones en el desag6e, lo que ocasion6 estancamientos de agua de corta duraci6n en los que se depositaron arcillas y limos lacustres.

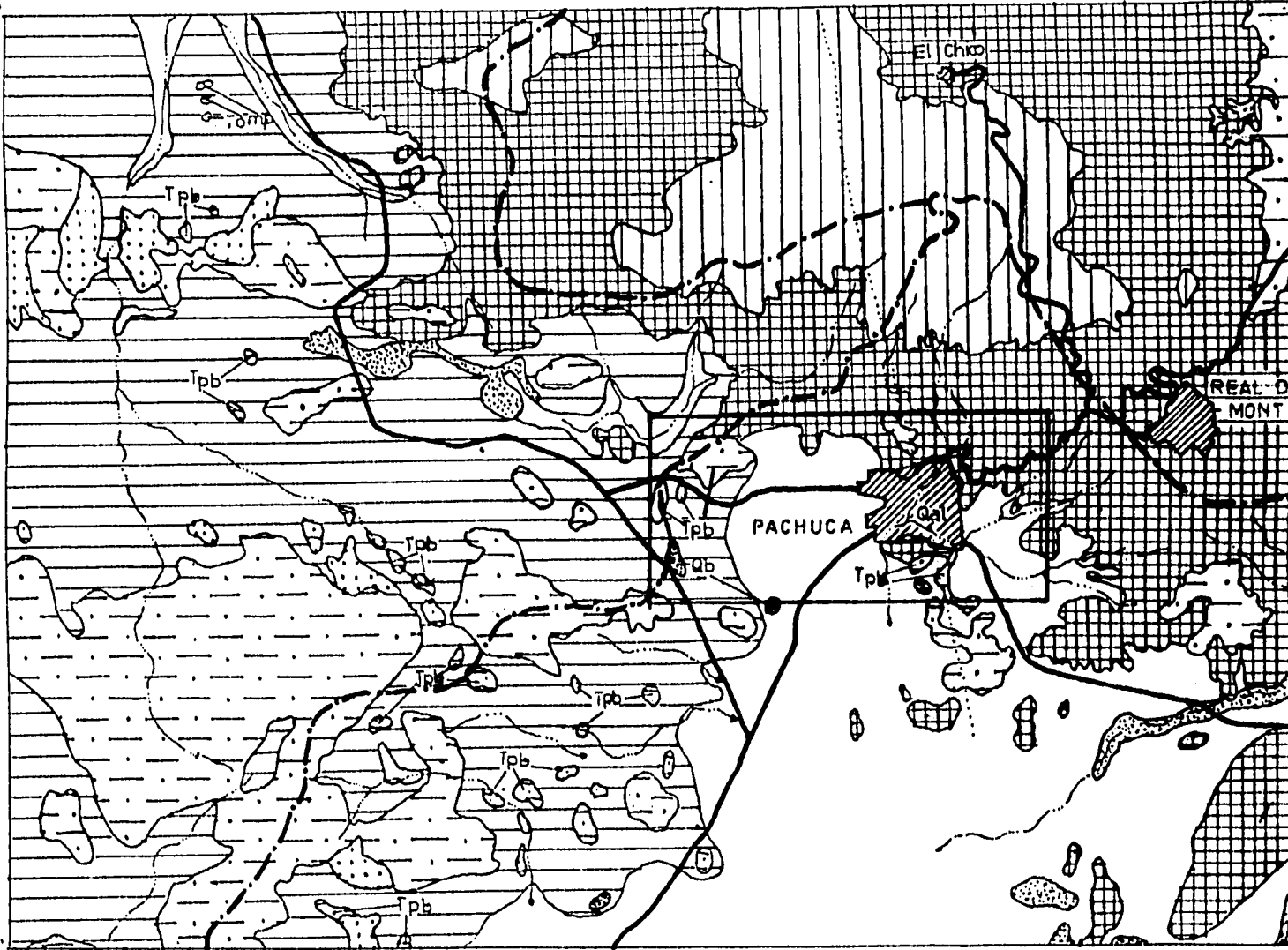
El evento m1s importante, de este tipo, fue provocado en los 6ltimos 700 000 a6os, con la acumulaci6n de m1s de 1000 km c6bicos de rocas volc1nicas que constituyen a la Sierra de Chichinautzin al sur de la cuenca (De Cserna, citado en Aguayo et al., 1989). Lo anterior provoc6 que el antiguo desag6e hacia el sur fuera interrumpido, cre1ndose la cuenca endorr6ica de M6xico. Esta fue azolv1ndose r1pidamente, gracias a los materiales aportados por los r1os, que fueron depositados en forma de abanicos aluviales, en sus desembocaduras. Ejemplos de lo anterior son los r1os Hondo, Mixcoac, Contreras, entre otros (Aguayo et al., 1989). Por otro lado, al norte de la Cuenca de M6xico, el r1o de las Avenidas de Pachuca forma un gran cono de eyecciones y es ex1ctamente sobre esta estructura donde se asienta la ciudad de Pachuca. Otros conos de menor tama6o se encuentran al occidente de la misma.

En la zona que comprende este estudio, la Formaci6n Pachuca se reconoce en la mayor parte de la superficie de la sierra. Existen afloramientos locales de la Formaci6n San Crist6bal en el cerro del mismo nombre, en el Cubitos y en el Zopilote. En las afueras de la ciudad se presentan afloramientos de las formaciones Santiago y Corteza (Fig. 7).

La actual Sierra de Pachuca es el resultado de una fuerte actividad volc1nica, que se present6 principalmente durante el Plioceno. Simult1neamente con los procesos volc1nicos que produjo la mineralizaci6n que le da el car1cter particular a esta regi6n de la Cuenca de M6xico. En el Cuaternario, en los dos 6ltimos millones de a6os, la actividad volc1nica se reduj6 considerablemente, dando lugar a una etapa de erosi6n de las partes altas de la sierra, teniendo por consecuencia una gran acumulaci6n al pie de la misma, as1 como en las partes bajas.

En forma general, la Sierra de Pachuca esta formada por rocas volc1nicas de gran resistencia. Sin embargo, en muchos sitios la dureza de 6stas, se encuentra afectada por la presencia de fallas, fracturas y diaclasas. En estas mismas zonas a su vez, se present6 una gran alteraci6n de la roca debido al hidrotermalismo que caracteriza a la

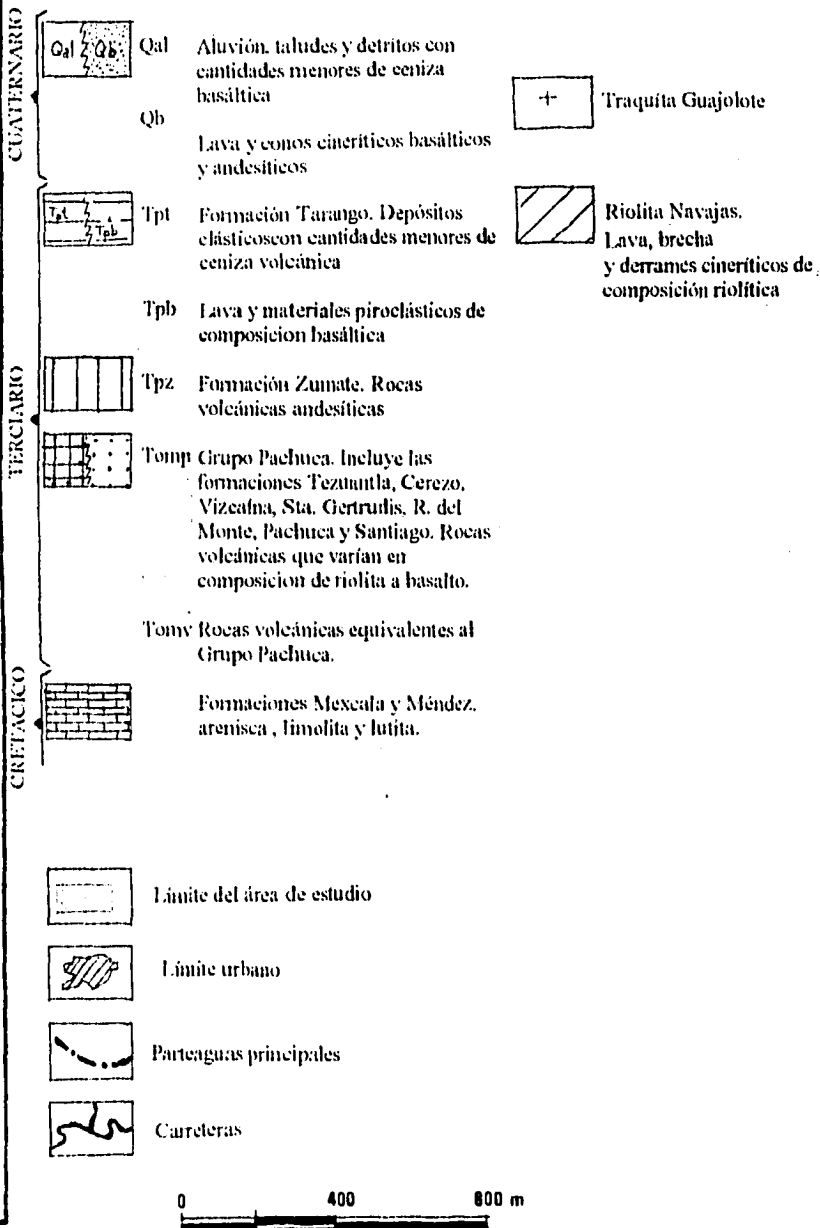
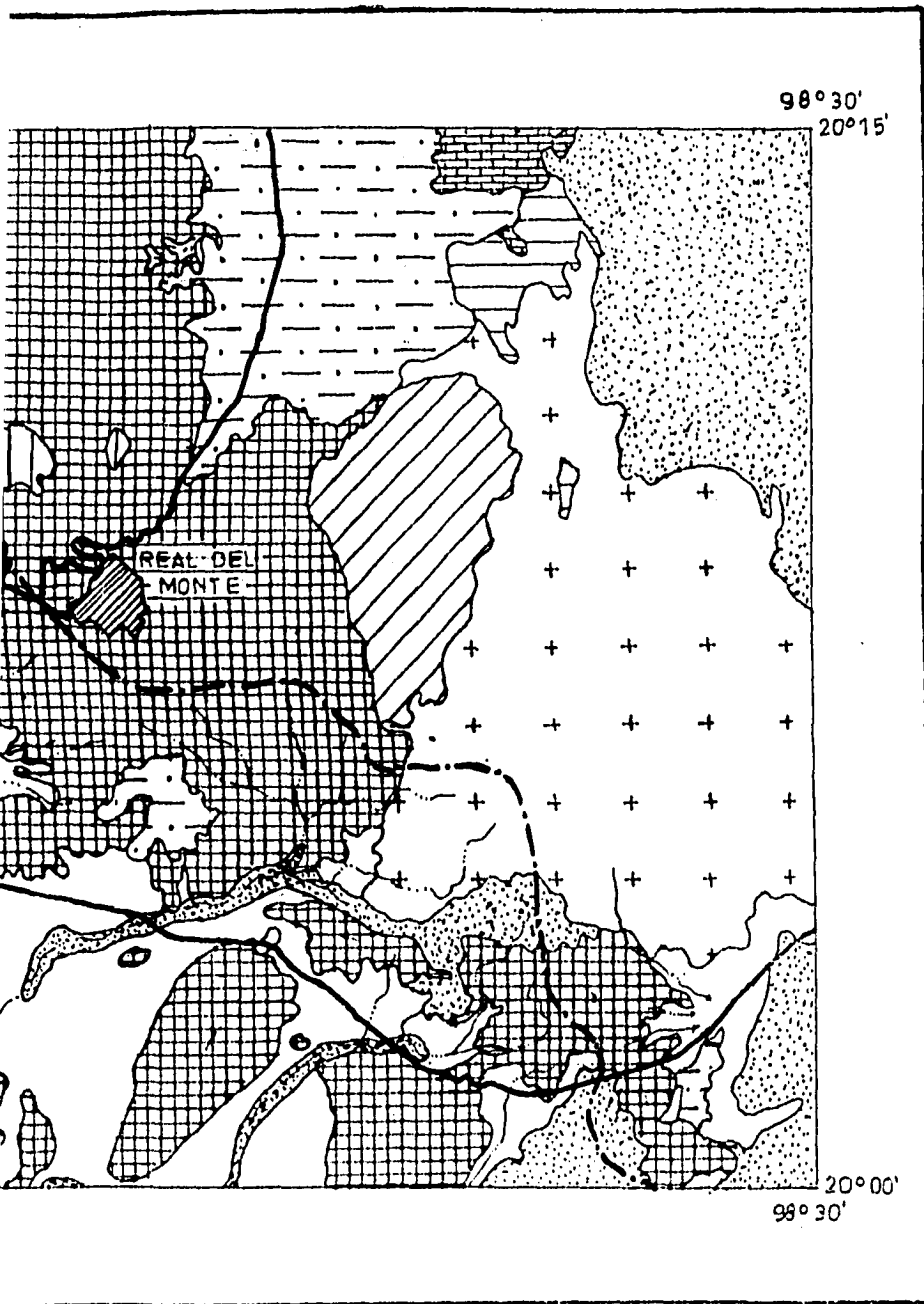
99° 00'
20° 15'



20° 00'
99° 00'

PACHUCA DE SOTO, HGO.

Fig. 7. Mapa Geológico (Geyne et al., 1963)



mineralización de esta región (fotografía 1). Estas características dan como resultado, en algunos casos, laderas inestables que pueden ser afectadas por la caída de rocas.



Fotografía 1. Afloramientos rocosos intensamente alterados por la presencia de fallas, fracturas y diaclasas localizados al norte de la ciudad (carretera al Chico). Este fenómeno está ampliamente difundido por toda la Sierra de Pachuca.

3.3 Características estructurales

La Sierra de Pachuca está cortada por numerosas fallas con orientación dominante NW60 y otras casi E-W. Geyne, et al. (1963) reconocen dos etapas principales de deformación tectónica que afectaron a la región, éstas se presentaron de manera específica, después de que las rocas sedimentarias del Cretácico fueran depositadas y posteriormente levantadas por la Orogenia Laramide. Con base en estos autores se hace la siguiente revisión.

La **primera etapa** comenzó en el Mioceno, con un periodo de deformación producido por un gran esfuerzo compresivo NE-SW. Esta se caracterizó inicialmente por la formación de la falla Vizcaína-Rosario Viejo y el hundimiento general de la región denominada como "Depresión Central" (Geyne et al., op.cit.) que se extiende a lo largo del lado sur de la falla mencionada.

Un segundo periodo de deformación siguió a la extrusión de la formación Vizcaína. Al parecer presenta las mismas características que el anterior, pero se distingue por una mayor intensidad. En éste, otras fallas importantes comenzaron a formarse, particularmente la Santa Gertrudis-Pinta-Regla.

Durante el Plioceno, estas mismas características se mantuvieron, sin embargo después de que la formación Tezuantla se depositara, el fallamiento en la región aumentó, formando un gran número de bloques limitados principalmente por fallas normales y un menor número de fallas inversas. Este período de muy activa deformación produjo la mayoría de las características estructurales que se presentan hoy día en el distrito minero de Pachuca-Real del Monte.

Durante este periodo, de manera local, en la zona de Real del Monte se formó una franja de fracturas con una extensión de aproximadamente 3 km y una orientación N-S. Esta franja se presenta al norte de la falla Santa Gertrudis-Pinta-Regla, al sur de ésta desaparece. Dicha falla exhibe una vertiente convexa hacia el norte, lo cual sugiere que un esfuerzo compresivo originado en el norte dirigido hacia esta falla, produjo un ligero movimiento lateral izquierdo hacia la curva en donde los segmentos Santa Gertrudis-Pinta se presentan, y un suave movimiento lateral derecho hacia la curva donde los segmentos Pinta-Regla aparecen. De este modo, las rocas que constituyen esta región, fueron rotas o desmembradas por fracturas de tensión N-S como resultado de una extensión de dirección E-W (Fig. 8). El esfuerzo compresional puede estar relacionado con dos grandes cuerpos intrusivos que yacen de 1 a 2 km al N del distrito minero de Pachuca-Real del Monte.

La **segunda etapa** de deformación se presentó después de que la Formación Zumate fue depositada, con la reactivación de algunas fallas antiguas y formación de nuevas fallas laterales, esto, como resultado de un sistema de esfuerzos distinto al que se había presentado hasta este tiempo.

Geyne et al. (op.cit.), señalan que las fallas laterales o de torsión (wrench faults), aparecen en dos grupos principales y con direcciones preferenciales distintas. En la parte NE del distrito, las fallas muestran evidencias de un movimiento siniestro o de izquierda y una orientación W-NW. En la región SW del distrito, se presentan fallas con movimiento diestro y orientación dominante W-SW.

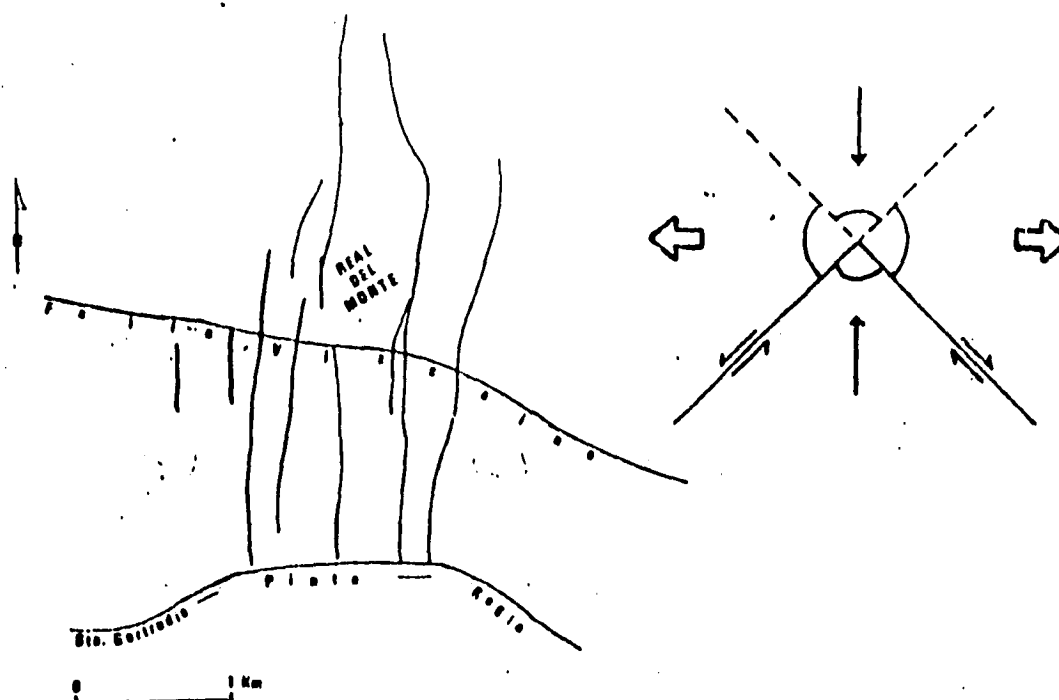


Fig. 8. Localización de las fallas N-S en la zona de Real del Monte y sistema de esfuerzos que las produjo, de acuerdo con Geyne et al. (1963).

Los dos grupos de fallas de torsión (diestras y siniestras), forman entre ellas un ángulo de 45 a 50 grados aproximadamente, cuya bisectriz se encuentra en una dirección cercana al W. Esto indica que el patrón de esfuerzos de la región estuvo bajo una compresión de dirección E-W (Fig. 9). De este modo, el sistema de esfuerzos se define como un gran esfuerzo principal con una dirección horizontal E-W, un esfuerzo intermedio con una dirección horizontal N-S, y un esfuerzo menor en una dirección vertical.

Geyne et al. (op.cit) resumen el desarrollo estructural de esta zona de la siguiente forma: durante el Mioceno y antes del emplazamiento de las últimas formaciones volcánicas, tuvo lugar un intenso período de deformación provocado por un gran esfuerzo compresivo en dirección NE-SW. Al parecer, dicha deformación está relacionada con los procesos que produjeron la deformación de las rocas pre-terciarias. Los planos de debilidad creados por dicho esfuerzo facilitaron el emplazamiento de diques, tras la intrusión de éstos, siguió el ascenso de soluciones hidrotermales que iniciaron la mineralización que caracteriza al distrito de Pachuca-Real del Monte.

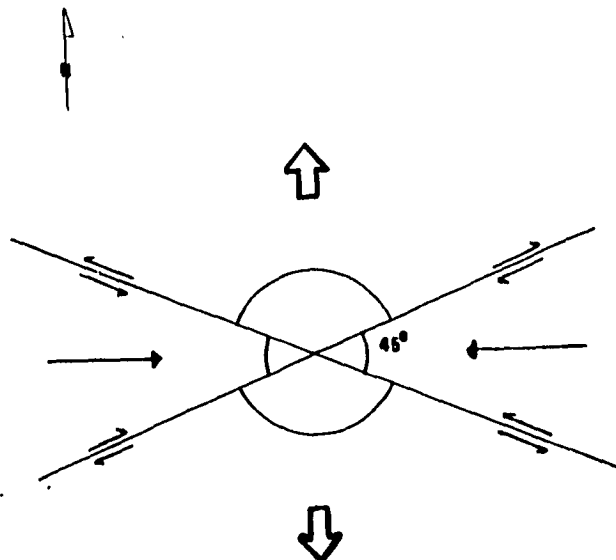
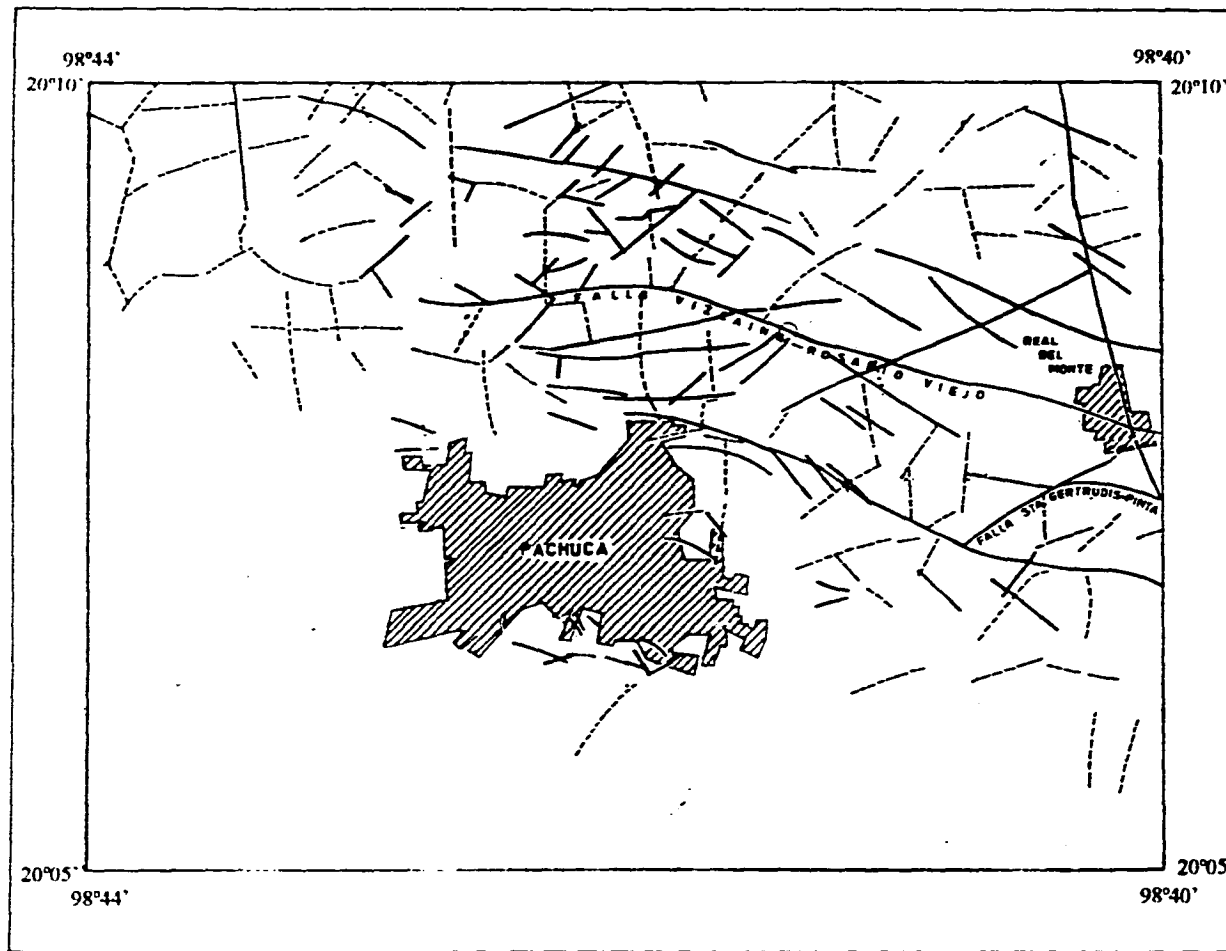


Fig. 9. Sistema de esfuerzos de la segunda gran etapa de deformación, que Geyne et al. (1963) describen en la zona del distrito minero Pachuca-Real del Monte.



En el Plioceno se presenta un cambio en el sistema regional de esfuerzos, al presentarse un periodo de deformación provocado por un esfuerzo de compresión de dirección E-W. Este es el primer gran cambio reconocido después del relajamiento de la compresión horizontal al final del periodo de plegamiento Laramide en los inicios del Terciario. Las causas de este cambio son desconocidas, sin embargo, éste parece coincidir con el inicio del volcanismo máfico que se presentó en el Eje Neovolcánico durante el Pleistoceno Tardío.

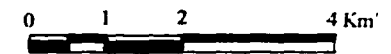
Con el objetivo de comprender mejor las características estructurales de esta región, se realizó el mapa de estructuras disyuntivas, en el que se muestran dos tipos de morfoalineamientos: los geológicos, marcados en los mapas y literatura consultada y los geomorfológicos que se caracterizan por su expresión directa en el relieve. Estos últimos fueron interpretados de acuerdo con los criterios de Orlova (1981) (Fig. 10)

Posteriormente, midiendo la longitud y orientación de los lineamientos, se realizaron tres rosas de fractura para la región: A) Por datos geológicos; B) Por evidencias geomorfológicas y C) General, tanto geológicas como geomorfológicas (Fig. 11)



PACHUCA DE SOTO, HGO.
Fig. 9. Mapa de estructuras disyuntivas

-  Por datos geológicos: Sin expresión directa en el relieve
-  Por evidencias geomorfológicas: Con expresión en el relieve, sectores lineales (valles en V), cambios de dirección valles fluviales, escarpes, pendientes denudatorias.



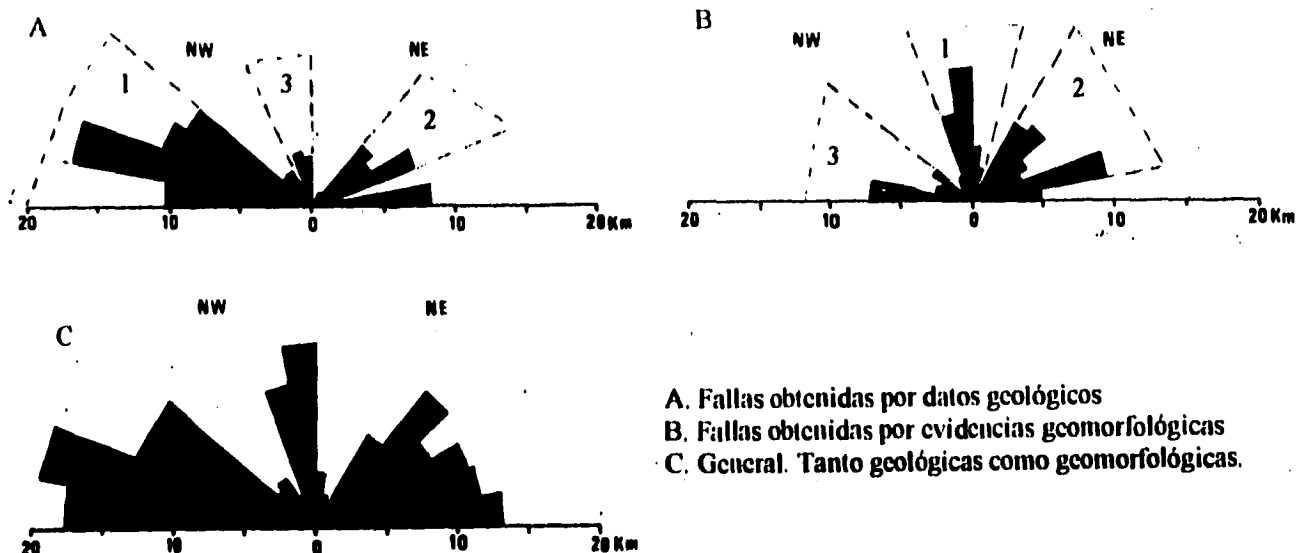


Fig. 11. Rosas de fractura que muestran las orientaciones principales de los morfoalineamientos de la región de Pachuca.

A) Por datos geológicos. En esta se aprecian dos grandes grupos de fallas, que para mayor comprensión se encuentran señaladas con números. El grupo 1 presenta orientaciones preferenciales NW, este grupo al parecer corresponde a la primera etapa propuesta por Geyne et al. (op.cit.). Dichas fallas son las de mayor antigüedad, mayor longitud y presentan una mejor expresión en el relieve actual. El grupo 2, con orientaciones preferenciales NE, aparentemente refleja la actividad de la segunda etapa. Un grupo menor, marcado con el número 3, con orientaciones N-S; corresponde a fallas localizadas en el área de Real del Monte, las cuales reflejan la actividad local de la que hacen referencia Geyne et al.(op.cit.)

B) Por evidencias geomorfológicas. A diferencia de la anterior, no presenta un grupo de orientaciones que predomine. Sin embargo, en forma general puede decirse que existen dos familias principales de morfoalineamientos. La familia marcada con el número uno, corresponde a numerosos alineamientos de poca longitud que limitan bloques, su génesis se expresa como resultado de grandes esfuerzos regionales. El segundo grupo, marcado con el dos, presenta una orientación NE-SW y responde a la formación de fallas durante la segunda etapa de deformación. Un tercer grupo (3), mantiene las orientaciones de los morfoalineamientos principales, es decir, NW e incluso E-W.

C) General. En ésta, las orientaciones principales se encuentran repartidas en tres grupos, sin embargo, las dominantes NW y E-W continúan siendo claras, lo cual se ve reflejado en el relieve.

La Sierra de Pachuca refleja en su morfología la gran actividad tectónica a la que se vió sujeta. En forma general, el relieve presenta un escalonamiento hacia la planicie, que parece corresponder con fallas normales cuya orientación dominante es NW-SE, mismas que son afectadas por fracturas y fallas con orientaciones N-S y NE-SW. Otro de los rasgos que muestran el control estructural en esta zona, es el arreglo rectangular de la red hidrográfica de esta región (Huizar, 1993).

El objetivo principal de llegar a conocer el arreglo estructural en esta zona, es el de encontrar los vínculos con los procesos erosivos, y tener un entendimiento de la distribución espacial de laderas inestables y su relación con los riesgos.

Si bien es importante señalar que esta es una zona que en la actualidad no se encuentra tectónicamente activa, la herencia de su actividad pasada se ve reflejada en algunas zonas, donde debido a la presencia de fallas, la roca muestra una gran alteración, siendo por consecuencia, áreas más susceptibles al desarrollo de procesos de ladera.

IV. GEOMORFOLOGIA

La geomorfología es una ciencia natural que tiene por objeto de estudio las formas de la Tierra. Es una disciplina que tiene que dar cuenta de la génesis del relieve, tipificar sus formas, explicar fuerzas y procesos. Como ciencia del espacio terrestre, representa sus resultados en mapas temáticos con un lenguaje gráfico y propio (Martínez de Pisón, 1982).

De acuerdo con Scholz (1978), los mapas geomorfológicos son modelos gráficos a escala de la superficie de la Tierra, los cuales contienen información concerniente a la génesis, morfología y edad del relieve. El mismo autor señala que la información proporcionada por los mapas geomorfológicos se condensa en:

- a) **Morfología.** Incluye tanto la simple descripción del relieve (morfografía), así como la más precisa información morfométrica.
- b) **Genesis y procesos modeladores del relieve.** Que incluye:
Los efectos de las morfoestructuras pasivas (donde la litología es dominante) y las morfoestructuras activas (donde la tectónica es lo más importante)
- c) **Edad del relieve.** Desde el punto de vista morfocronológico.
- d) **Arreglo espacial.** De los distintos elementos del relieve y sus interrelaciones (morfoasociaciones y morforegiones) con respecto a la regionalización geomorfológica.

En forma resumida, podemos decir que el mapa geomorfológico es un material de análisis que nos permite evaluar aspectos importantes de las principales características del relieve, tales como su origen, edad, morfología y dinámica. De esta forma, los estudios enfocados a los riesgos de origen natural, pueden encontrar en éste tipo de cartografía información muy valiosa sobre las formas del relieve, resaltándose sus características morfológicas, así como los procesos que en ellas actuán, mismos que bajo ciertas condiciones pueden representar peligro para la población.

El análisis geomorfológico de Pachuca se realizó con los métodos tradicionales de esta disciplina: interpretación de fotografías aéreas, análisis de mapas topográficos (escalas 1:50,000 y 1:10,000), elaboración y análisis de cartografía morfométrica y verificaciones en el campo, de la cartografía geomorfológica y morfodinámica preliminar.

4.1 Morfometría.

La morfometría es el estudio de las formas del relieve a partir de la cuantificación de determinados elementos lineales, puntuales y aereales del relieve, como son la longitud, superficie, volumen, altura absoluta y relativa, pendiente, orientación, densidad,

frecuencia, etc. (Lugo, 1988). Con la elaboración y análisis de este tipo de cartografía es posible crear mapas específicos, mismos que permiten conocer de mejor manera las características geométricas del relieve, que en la mayoría de los casos influyen en los procesos modeladores de la superficie terrestre.

Los métodos cuantitativos o morfométricos que pueden utilizarse en el estudio del relieve terrestre son numerosos, aquí solamente se han aplicado 3 (altimetría, pendientes y densidad de la disección), elegidos como los que proporcionan la información más útil para el estudio que comprende este trabajo.

ALTIMETRÍA.

El mapa altimétrico tiene la virtud de expresar en forma clara y sencilla al relieve, de este modo es posible identificar de manera general las principales unidades morfológicas (planicies, montañas, valles, etc.), con las altitudes absolutas correspondientes, así como su arreglo espacial. En otras palabras, un mapa altimétrico muestra, de manera simplificada, una secuencia altitudinal del relieve.

Para la elaboración de este mapa se tomaron en cuenta los criterios de Lugo (1988), aplicando la metodología utilizada por Simonov (en Zamorano, 1990), la cual consiste en los siguientes pasos:

1. Se realizó un muestreo sistemático de alturas absolutas (alturas en msnm) tomadas de los puntos de intersección de una retícula trazada sobre las base topográfica 1:10,000 de la Comisión de Conurbación del Centro del País (Fotomapas Pachuca, Hojas 1/3 y 2/3, 1982). De ésta malla se obtuvieron las altitudes absolutas de 324 puntos, teniendo una distancia de 465 m. entre cada punto muestreado.
2. Con los valores obtenidos se elaboraron cinco histogramas de frecuencia con intervalos variables (seleccionados al azar) a: 5, 7, 10, 15 y 18 rangos, con el fin de analizar los datos (Fig. 12).
3. Se seleccionó el histograma que mejor caracteriza las distintas unidades del relieve; éste fue el de 7 rangos con intervalos de 80 m (Fig. 13). A pesar de que el histograma de 5 rangos presenta la distribución más normal (campana de Gauss), éste no fue utilizado ya que da como resultado un mapa demasiado simplificado. Por otra parte, los histogramas de 10, 15 y 18 muestran información excesiva.
4. En el histograma de siete rangos, los valores extremos fueron de 2350 msnm para la altura mínima y de 2910 msnm para la máxima, resultando intervalos de 80 m.

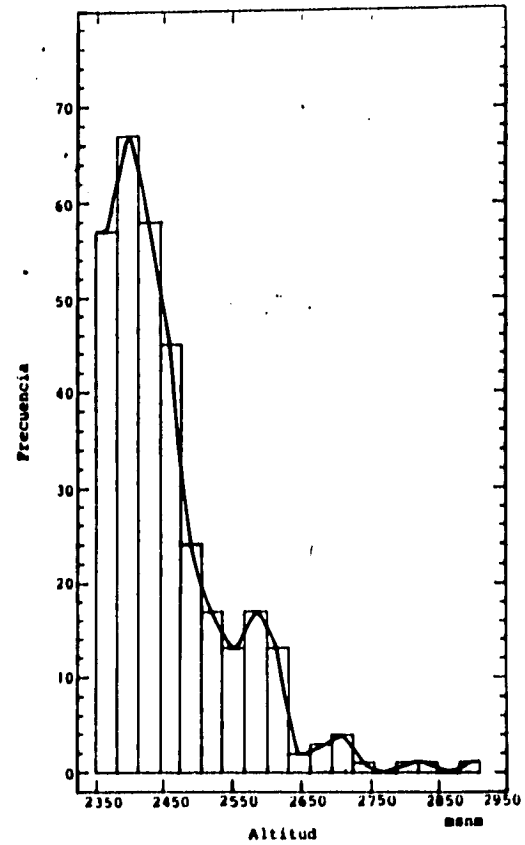
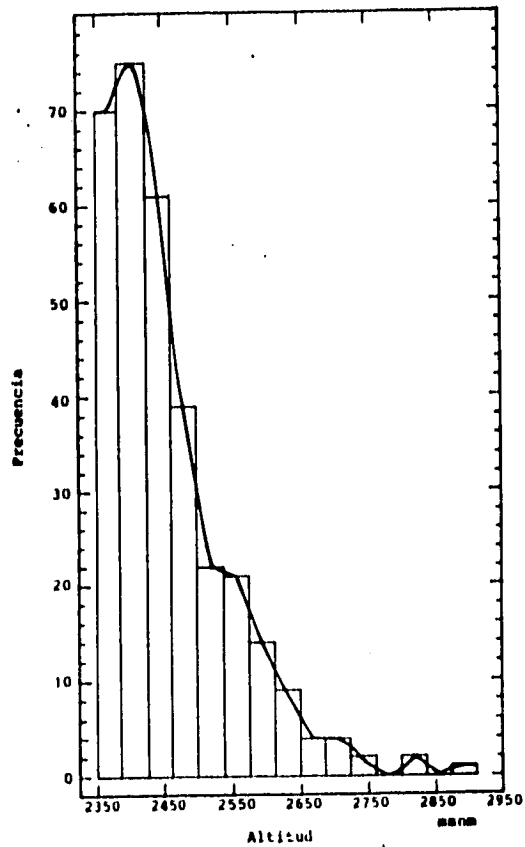
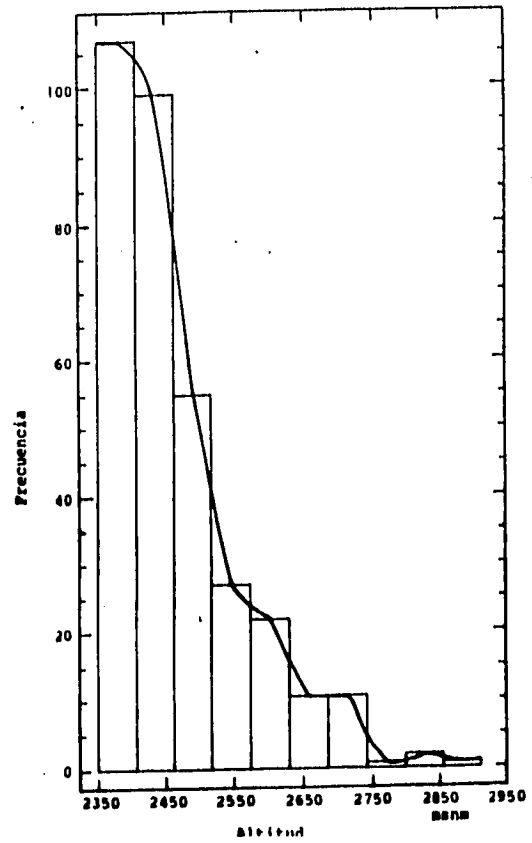
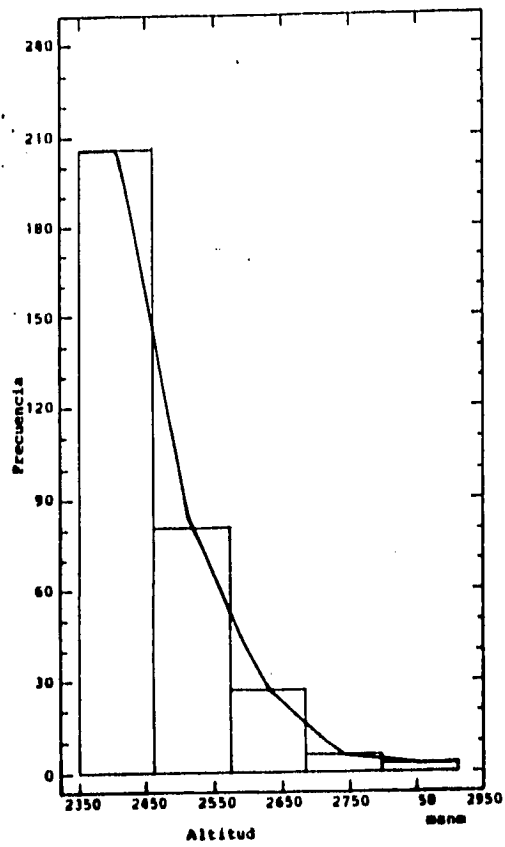


Fig. 12 Histogramas de frecuencia con 5, 10, 15 y 18 rangos de altitud.

De acuerdo con ésto, los valores altitudinales para cada rango quedaron de la siguiente manera:

1. 2350 a 2430 msnm
2. 2430 a 2510 "
3. 2510 a 2590 "
4. 2590 a 2670 "
5. 2670 a 2750 "
6. 2750 a 2830 "
7. 2830 a 2910 "

4. Tomando en cuenta los valores anteriores se elaboró el mapa altimétrico, utilizando hachures que permitieron resaltar las características principales de cada unidad del relieve (Fig. 14).

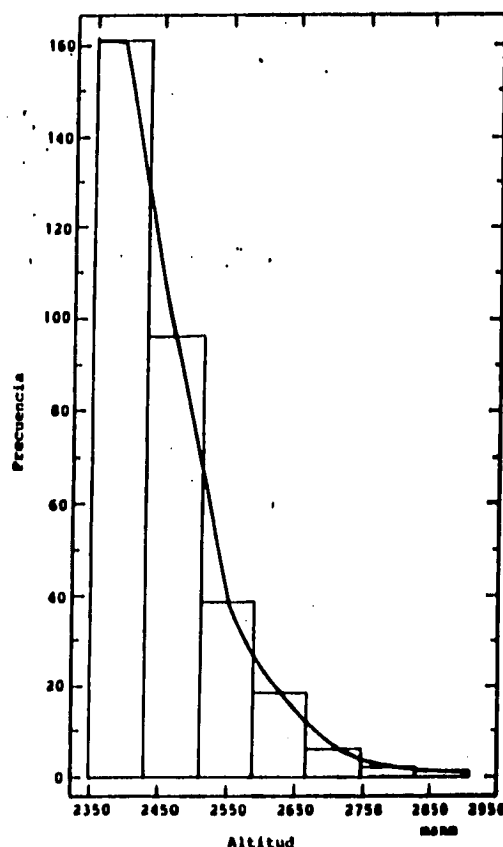
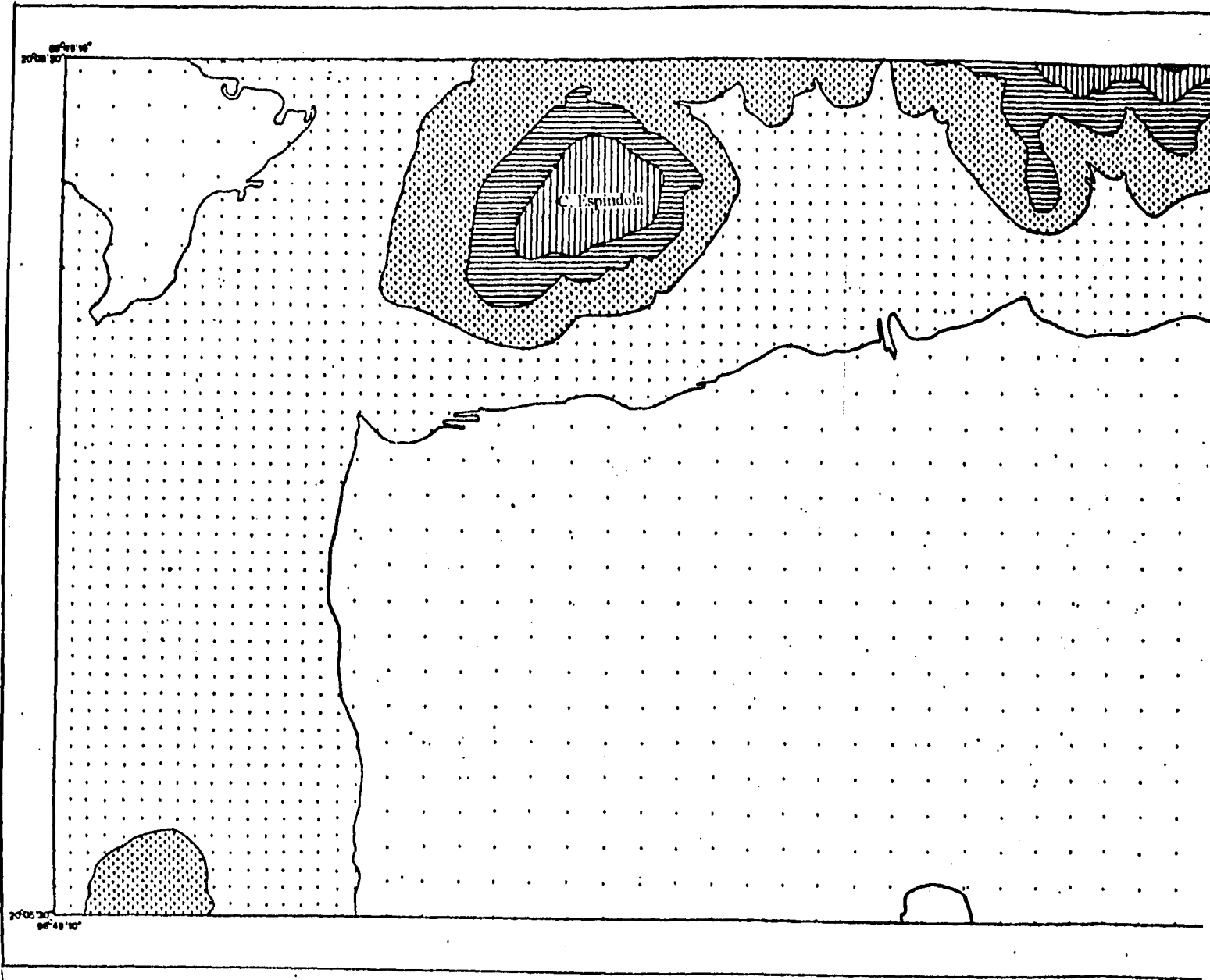
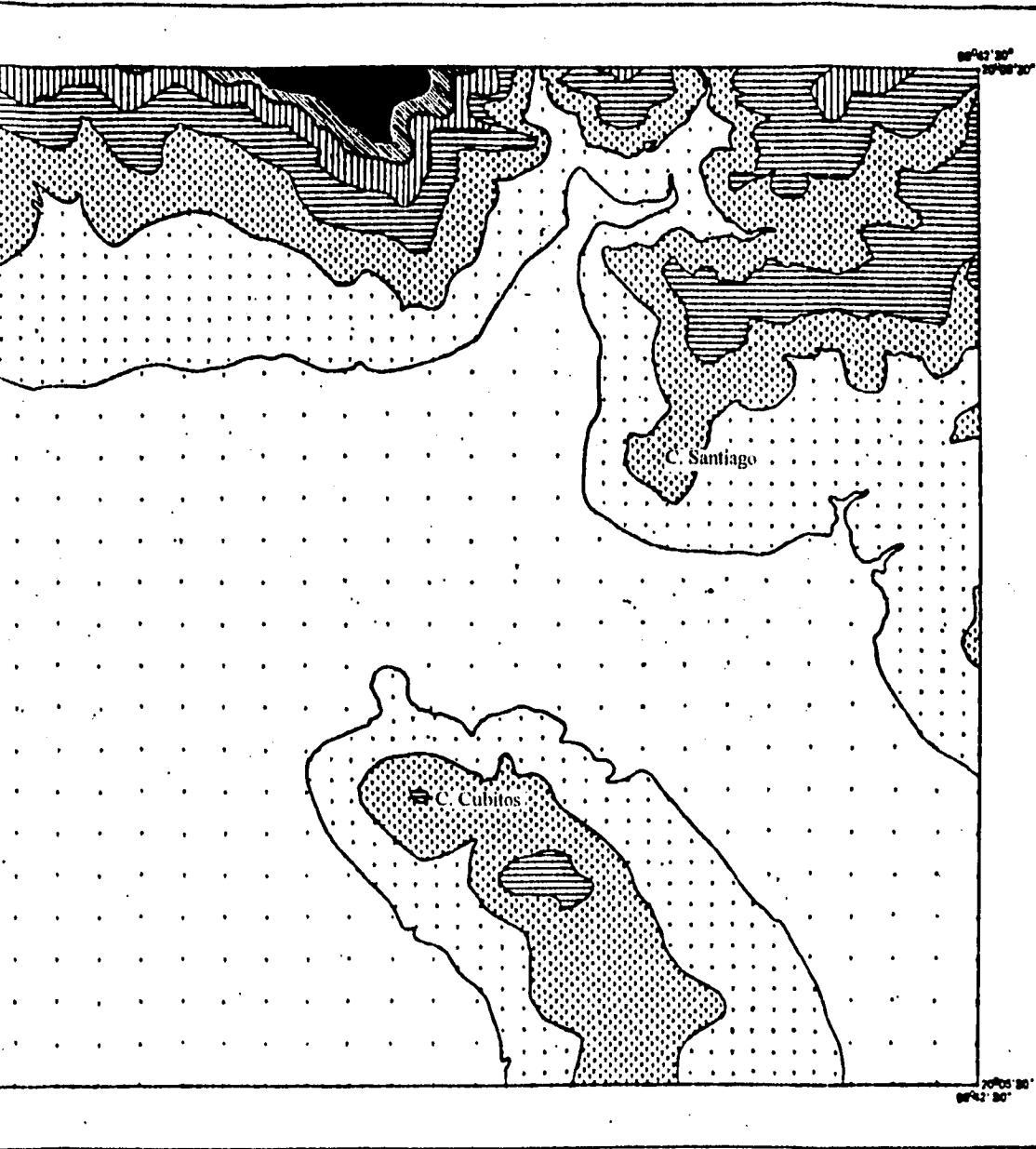


Fig. 13. Histograma de frecuencia con 7 rangos de altitud

Como se mencionó anteriormente, con el mapa altimétrico se obtiene una imagen simplificada del relieve. Este, junto con el mapa de pendientes nos permite distinguir las unidades principales que constituyen el relieve de la región de Pachuca.

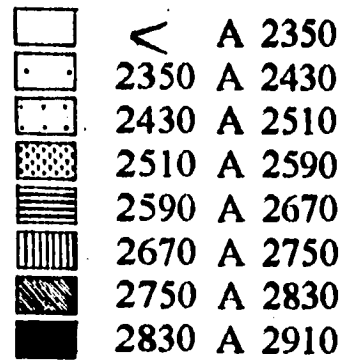
A grandes rasgos, puede distinguirse una zona de montaña (2510 m - 2910 m) que corresponde a las cimas y laderas de la Sierra de Pachuca, así como a otras





PACHUCA DE SOTO, HGO.

Fig. 14. Mapa altimétrico.



(los valores aparecen en msnm).



TESIS UNAM	Elaboró Oscar Salas García	FIG 14
FFYL COL GEOGRAFIA		

elevaciones menores (cerros Cubitos y Zopilote) al sur. Esta se fusiona con la planicie acumulativa de la Cuenca de México, la cual puede dividirse a su vez en dos regiones, piedemonte y planicie. Una explicación más amplia se presenta en el apartado sobre regionalización geomorfológica.

PENDIENTES.

Dentro del análisis morfométrico uno de los puntos más importantes, es el que trata las pendientes o inclinaciones del terreno, ya que de ésta dependen en gran medida, la magnitud y características de los procesos geomorfológicos, en forma más específica, los procesos de ladera.

La carta de pendientes se elabora por una equivalencia de la distancia entre curvas de nivel con valores de pendiente (Lugo, 1988). Los valores de pendiente se obtienen aplicando la siguiente fórmula.

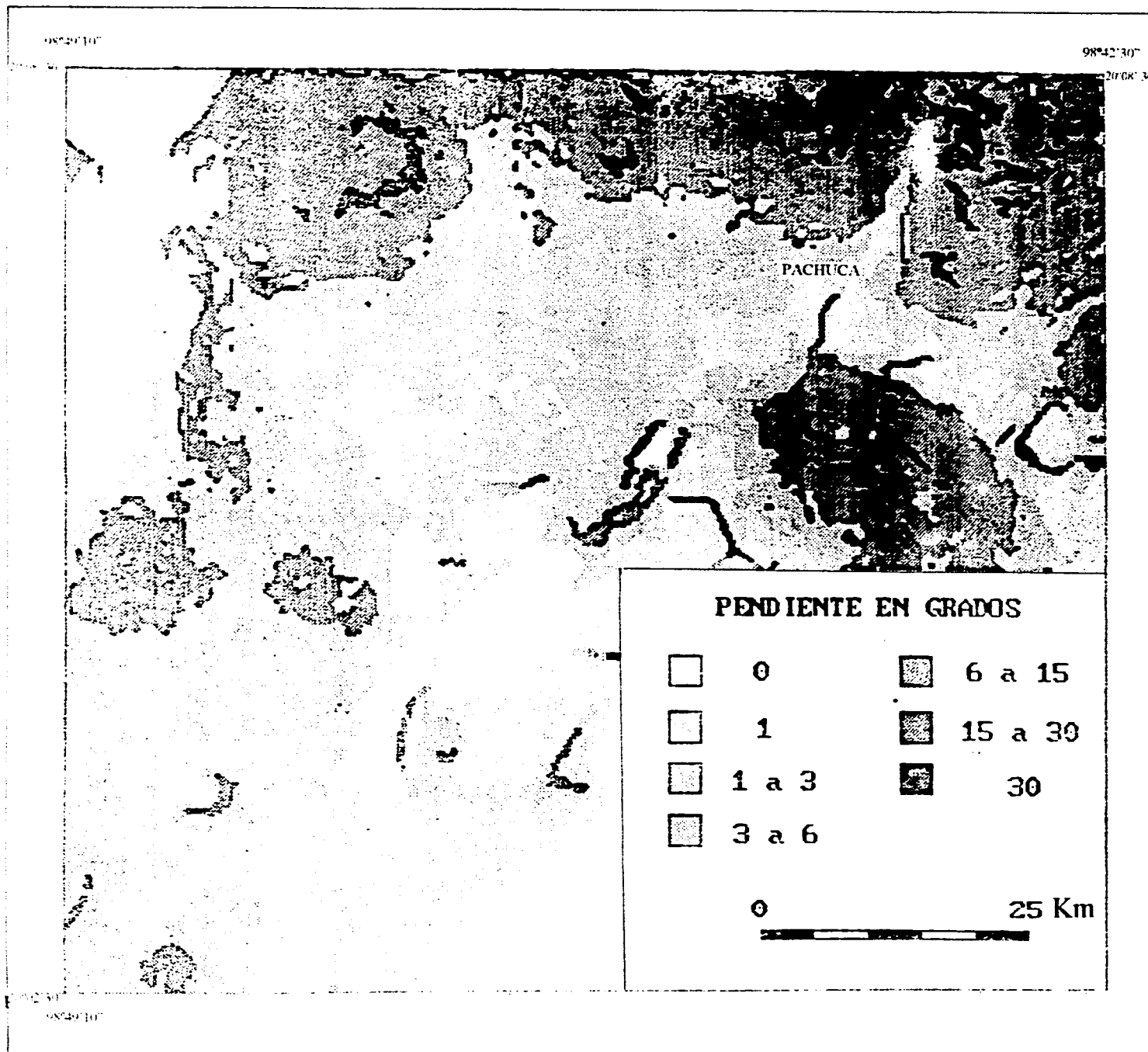
$$\text{Tan } \alpha = \frac{\text{distancia vertical}}{\text{distancia Horizontal}}$$

El objetivo principal de este mapa, es mostrar la distribución de los distintos valores de pendientes en el territorio, permitiendo reconocer los rangos críticos y su relación con las áreas más inestables. De este modo se pretende detectar la influencia de la pendiente en la predisposición del terreno a desarrollar procesos erosivos. Se elaborará un mapa de pendientes en grados, utilizando un sistema de información geográfica, digitalizando tres mapas topográficos escala 1:10,000 (Fotomapas Pachuca, hojas 1/3, 2/3 y 3/3, 1980) que cubren la ciudad de Pachuca y su entorno. El mapa resultante fue impreso en una escala 1:60,000 (Fig. 15). Este resulta un complemento al mapa altimétrico y es una base para el posterior análisis geomorfológico de la zona.

La selección de los rangos de pendiente, está de acuerdo con las características de la zona, ya que en ésta se alternan superficies niveladas y elevaciones montañosas, para lo cual fue necesario diferenciar intervalos para uno y otro tipo de formas, resultando:

Pendiente en grados

- 0 a 1
- 1 a 3
- 3 a 6
- 6 a 15
- 15 a 30
- > a 30



PACHUCA DE SOTO, HGO.

Fig. 15. Mapa de pendientes

Las pendientes mayores (> 30) se reconocen en la Sierra de Pachuca y los Cerros de Cubitos y El Zopilote. Por lo general se relacionan con afloramientos rocosos que en muchos de los casos han sido expuestos en las laderas debido a la erosión.

Las inclinaciones de 15-30 grados, se presentan contiguas a las zonas más escarpadas, principalmente en la Sierra de Pachuca, al norte de la ciudad, y en los cerros vecinos. Junto con el intervalo anterior, conforma las áreas de mayor inclinación, siendo estas zonas donde se produce el mayor escurrimiento superficial durante la época de lluvias, el cual tiene estrecha relación con el desarrollo de procesos geomórficos y se ve favorecido por la poca permeabilidad de la roca. Es necesario considerar que en zonas de fuertes inclinación, cualquier obra de infraestructura, como vías de comunicación, asentamientos humanos. etc., desestabilizan de una u otra forma el relieve original, dando como resultado, en muchas ocasiones, superficies riesgosas.

Las pendientes de 6 a 15 grados delimitan las laderas de las elevaciones principales de la zona y ocupan la mayor superficie cartografiada.

Las superficies niveladas están comprendidas dentro de los rangos de 0 a 6 grados. Las pendientes de 1 a 6 grados son características del piedemonte. Este puede subdividirse en dos porciones: inferior (1-3 grados) y superior (3-6 grados). Debido a sus características, estas áreas favorecen la infiltración, siendo por naturaleza zonas de recarga de los mantos freáticos.

Las inclinaciones cercanas a la horizontal se reconocen principalmente al sur de la ciudad de Pachuca, donde la urbanización se ha incrementado en los últimos 10 años. Las pendientes de 0.5 a 1 grado representan las márgenes de antiguas planicies de acumulación fluvial y lacustre, así como la base del piedemonte.

DENSIDAD DE LA DISECCION.

Este parámetro morfométrico tiene como objetivo mostrar las zonas con mayor desarrollo erosivo, tomando como principio que la erosión, encargada de disecar las laderas, es posterior a la formación de éstas. Es decir, después de la actividad volcánica se formaron los valles fluviales y barrancos. El grado de disección dependerá de la edad del relieve, el clima, la topografía, las características litológicas y grado de fracturamiento de la roca, entre otras.

El método consiste en cuantificar los cauces fluviales (longitud en km) por unidad de superficie (área en km²). El análisis se aplicó solamente a la porción oriental de la zona estudiada, donde se localiza la ciudad de Pachuca y la porción montañosa que limita al norte, todo sobre la base topográfica escala 1:10,000 (Fotomapa Pachuca. Hoja 2/3, 1982).

El mapa se elaboró trazando todos los talwegs, tanto los que aparecen con corrientes fluviales, como los que no, que se infieren por la configuración de las curvas de nivel (Lugo, 1988). Posteriormente el mapa se dividió en rectángulos de diversos tamaños (García Romero, 1993), procurando delimitar conjuntos homogéneos de la red fluvial; para cada uno se obtuvo la superficie en kilómetros cuadrados y con un curvímetero se midió la longitud total de los cauces; dividiendo ésta entre la superficie, dio como resultado la densidad (en km/km^2). Por medio de la interpolación de valores se obtuvieron números complementarios, con esto se trazaron isolíneas de densidad de disección, quedando configurado el mapa (Fig 16).

En términos generales, se observa lo siguiente:

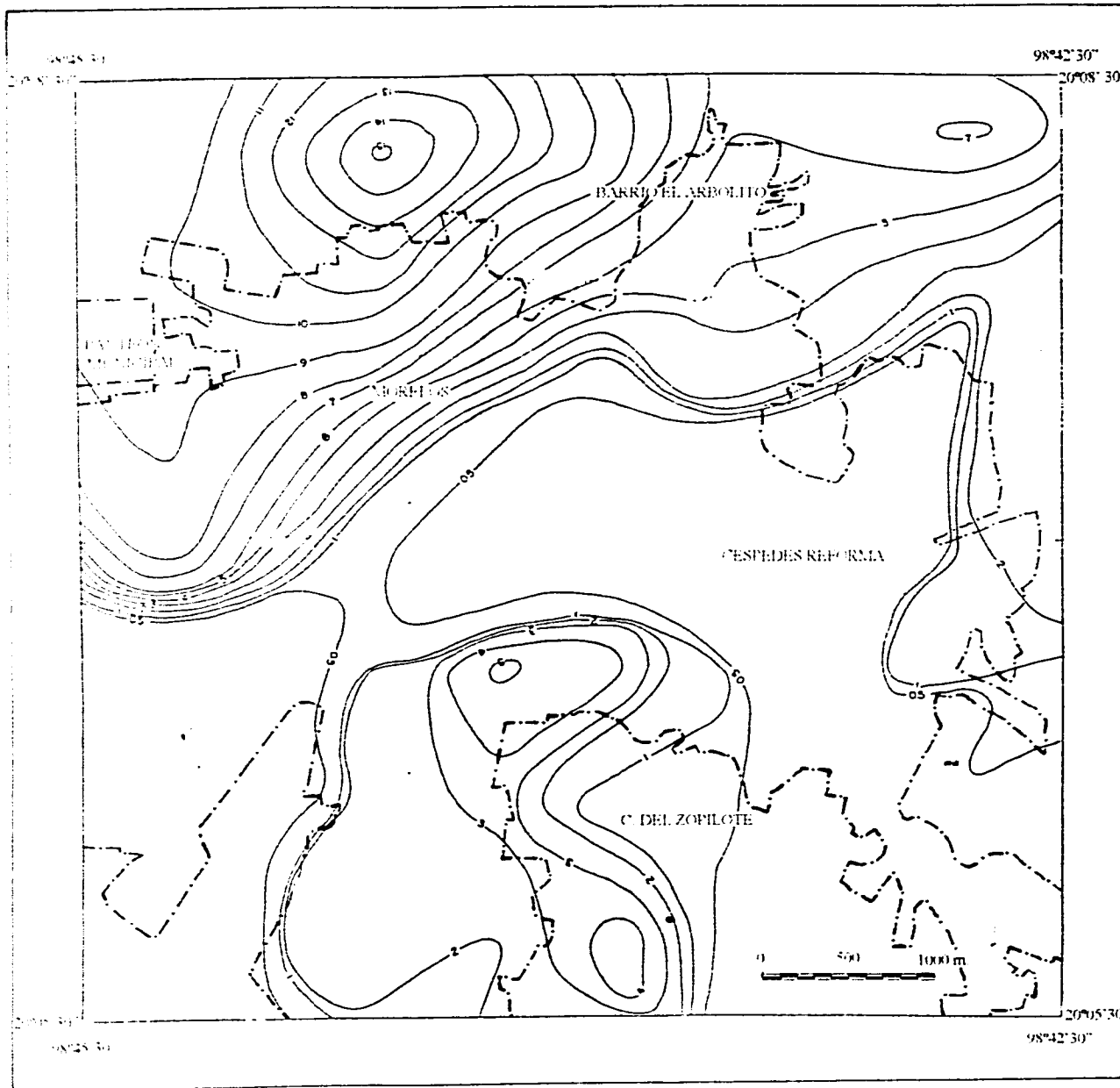
Al norte de la ciudad, en la Sierra de Pachuca, se reconocen los valores más altos, de hasta $15 \text{ km}/\text{km}^2$, lo que corresponde a las laderas superiores, disecadas por barrancos profundos de 50-100 m, de cabeceras anchas, con un canal principal y varios afluentes menores. La alta concentración de cauces indica también que se trata de la superficie donde se produce el mayor escurrimiento durante las lluvias, siendo la zona de concentración del agua superficial. Otra explicación puede ser que se trata de las laderas rocosas más fracturadas (el agua aprovecha las zonas de debilidad -fracturas y fallas- para cavar los valles fluviales) y en buena parte la configuración del drenaje, rectangular, apoya esta interpretación.

La base de la Sierra de Pachuca y el piedemonte son homogéneos en cuanto a la disección, presentan valores inferiores, menores de 0.5 a $6-8 \text{ km}/\text{km}^2$. Los valores más bajos, menores de $0.5 \text{ km}/\text{km}^2$, corresponden a la planicie de nivel de base, donde la disección está prácticamente ausente.

En el extremo sur se presenta una zona con valores que alcanzan hasta $5 \text{ km}/\text{km}^2$. Se trata de los cerros Cubitos y Zopilote, que en comparación con la Sierra de Pachuca, presentan una disección relativamente baja, lo que obedece a una menor altitud, precipitaciones pluviales también menores y un relieve más joven.




El análisis morfométrico complementó un extenso trabajo de interpretación de fotografías aéreas. Sin embargo, este último, presenta algunas limitaciones y cuando el fin es mostrar datos exactos de áreas particulares, el trabajo de campo es esencial. En este sentido, para el desarrollo del presente trabajo fueron utilizados:

1. Un juego de 450 fotografías aéreas (1990) en escala 1:4,500, divididas en 12 líneas.
2. Un juego de 12 fotografías aéreas (1980) en escala 1:50,000 en dos líneas.



PACHUCA DE SOTO, HGO.

Fig. 16. Mapa de densidad de la disección

-  Isolinicas
-  Valor promedio de longitud de cauces (en Km) por kilómetro cuadrado
-  Mancha urbana

La información fue transferida a un par de fotomapas en escala 1:10.000 (1982), con curvas de nivel sucesivas a 10 m. El detalle y precisión del material utilizado, permitió hacer de manera manual el paso de la información de fotografías aéreas a la base topográfica, no obstante fue utilizado el "Zoom Transfer Scope" como medida de control cartográfico.

4.2 Zonificación geomorfológica.

Partiendo del análisis morfométrico, interpretación de las fotografías aéreas, mapas topográficos y visitas a campo, se realizó el análisis geomorfológico para la zona de Pachuca.

Uno de los primeros pasos fue la clasificación general del relieve, tomando en cuenta las unidades mayores: elevaciones, piedemonte y planicie de nivel de base. De esta misma forma, se hizo una subdivisión de las dos primeras de acuerdo con sus dimensiones. A continuación se explica cada una de ellas, la numeración corresponde con la que aparece en el mapa (Fig. 17).

1. Elevaciones montañosas mayores. Refiriéndose a la Sierra de Pachuca, la cual muestra laderas de fuerte pendiente y modeladas por la acción fluvial principalmente. Se trata de un bloque, formado por una intensa actividad volcánica, misma que se manifestó en distintas etapas, que van desde el Oligoceno hasta el Cuaternario.
2. Elevaciones secundarias. Estas se distinguen de las anteriores, por tener una menor altura y encontrarse separadas del cuerpo principal de la Sierra de Pachuca. En general, están constituidas por rocas volcánicas más jóvenes, como los cerros Cubitos, Zopilote y Espíndola (Plioceno-Cuaternario).
3. Elevaciones pequeñas y lomas. Dentro de este grupo se clasifican las elevaciones menores que se encuentran aisladas en la zona cartografiada. Se trata de conos volcánicos jóvenes (Cuaternario) con sus derrames asociados, éstos se localizan al suroeste de la ciudad de Pachuca. Por otra parte, se encuentran algunas lomas que deben su formación al sepultamiento parcial de elevaciones mayores y a la erosión.
4. Piedemonte superior. Se trata de la porción inferior de las laderas, tanto de la Sierra de Pachuca, donde tiene un desarrollo más amplio, como de las elevaciones secundarias. Dicha unidad está constituida por los materiales que se depositan en la zona de contacto entre las elevaciones y la planicie de nivel de base, a esto contribuyen la erosión y transporte de materiales de las zonas altas; aunque también existen depósitos volcánicos originales, de caída (cenizas) y de rodamiento. De esta manera se forma una superficie inclinada con una pendiente de tres grados y más.

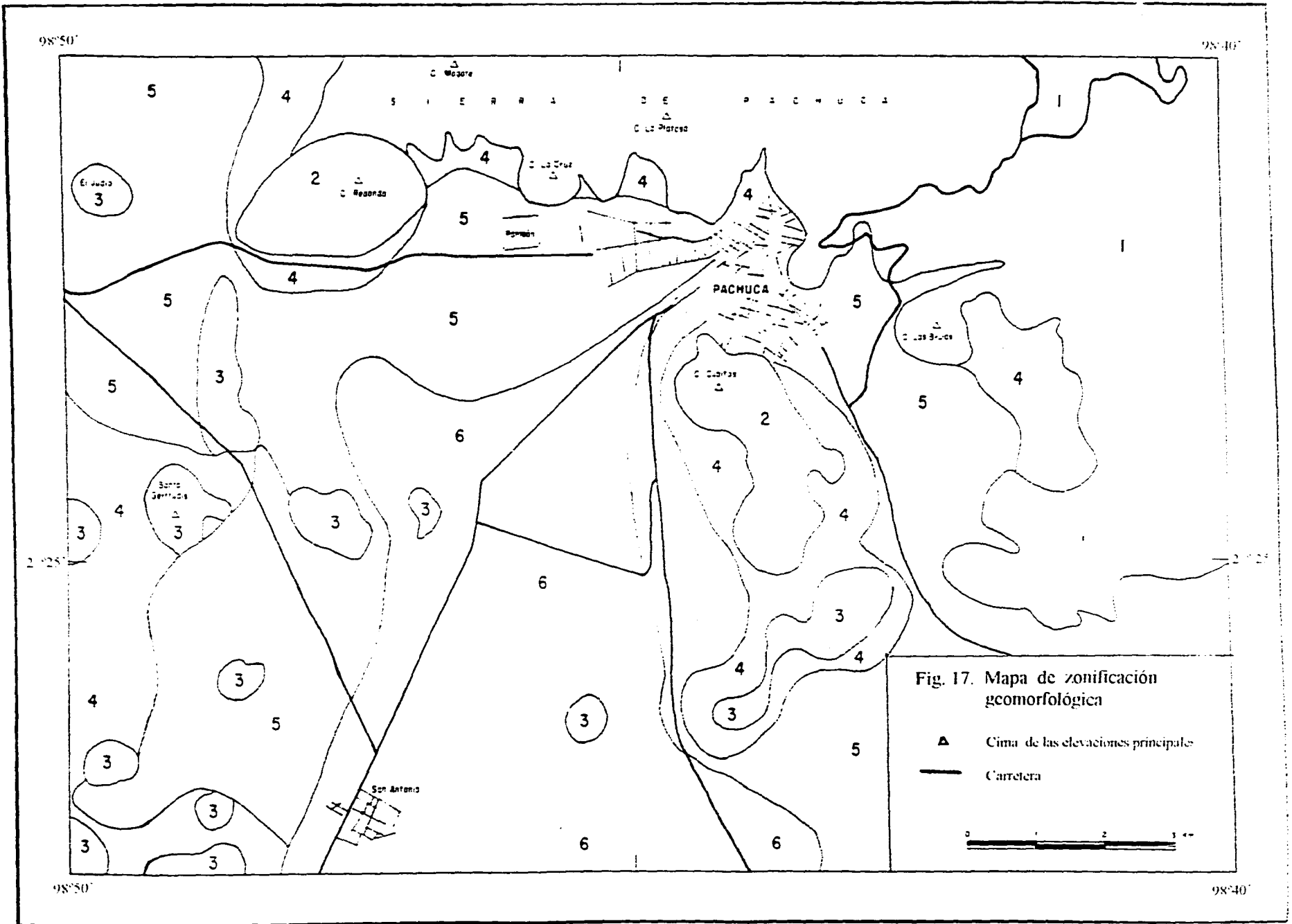


Fig. 17. Mapa de zonificación geomorfológica

- ▲ Cima de las elevaciones principales
- Carretera



5. Piedemonte inferior. A diferencia de la unidad anterior, en ésta las acumulaciones son de menor magnitud y se producen en forma más esporádica, resultando una planicie inclinada con pendientes de menos de tres grados las cuales disminuyen gradualmente hasta fundirse con la planicie de nivel de base. Está constituida por productos volcánicos de caída, así como por los materiales acarreados por las corrientes torrenciales provenientes de las elevaciones mayores.
6. Planicie de nivel de base. Ocupa la porción meridional de la zona estudiada y es también la de menor pendiente (menos de un grado). Está constituida por material depositado por corrientes fluviales, de desembocadura y de desborde del cauce. Posiblemente durante el proceso de formación de la Sierra de Pachuca, los valles que la cortan hacia el sur, se extendían por la planicie actual en forma de barrancos extensos. La actividad volcánica en la cuenca fue obstruyendo gradualmente el desagüe, de manera que la red fluvial original quedó sepultada. Una de las corrientes que permaneció hasta tiempos actuales, escurriendo por la planicie, fue el Río de las Avenidas, pero ya con su régimen alterado por obras de ingeniería.

4.3 Morfogénesis.

Uno de los objetivos principales de la geomorfología, es el de conocer el origen de las formas del relieve. En forma general es posible decir que, toda forma del relieve se debe a los procesos internos o endógenos (actividad tectónica y volcánica) y a los externos o exógenos (erosión y acumulación). Es muy común que el relieve quede clasificado en una categoría mixta debido a la influencia que han tenido ambos procesos. Por otro lado, la actividad humana puede ser catalogada como un proceso exógeno también de erosión y acumulación, pero debido a la influencia que ha tenido en los últimos años en la modificación del relieve terrestre, algunos autores la tratan por separado (Coque, 1984).

La Sierra de Pachuca y las elevaciones menores vecinas deben su origen a una intensa actividad volcánica, la cual se manifestó en distintas etapas y por distintos eventos como, derrames de lava, emanaciones de material piroclástico, ascensos del terreno por la formación de domos. Por otra parte, las fallas produjeron movimientos de bloques, dando como resultado levantamientos y hundimientos de algunas porciones de la superficie.

Al mismo tiempo, se presentó una intensa erosión por influencia de la gravedad y las corrientes superficiales, así como una gran acumulación en la base de las laderas. Este proceso erosivo-fluvial no ha sido irreversible, ya que en cada etapa eruptiva los valles son rellenados en forma parcial o total y la erosión se reinicia.

En la zona de estudio los procesos exógenos modeladores del relieve que tienen mayor influencia son, el intemperismo, los fluviales (agua superficial) y los gravitacionales o de ladera.

Las características físico-geográficas de la Sierra de Pachuca; altura, localización y orientación - con una vertiente que pertenece a la cuenca del Golfo de México y otra a la cuenca endorreica de México-, favorecieron las altas precipitaciones en la sierra y un mayor escurrimiento hacia el norte. Al sur, una corriente fluvial importante atravesó las montañas, el Río de las Avenidas, y en la base de las laderas, al disminuir la pendiente del terreno, depositó los sedimentos que transportaba, mismos que alcanzan un grosor de más de 200 m (Geyne et al., 1963), dispuestos en planta en forma de abanico, con el ápice hacia la parte alta

Otras corrientes de menor longitud, limitadas a la vertiente meridional, produjeron el mismo efecto, sólo que formando abanicos más pequeños.

La actividad humana realiza también procesos destructivos del relieve (erosión) y constructivos (acumulación). En el primero se pueden considerar las minas a cielo abierto (e incluso las subterráneas), así como las canteras, depresiones artificiales y otras; entre las segundas las más representativas son los jales, mismos que representan una modificación sustancial del relieve.

4.4 Mapa Geomorfológico.

A continuación se explica el mapa geomorfológico. De acuerdo con Lugo (1984) se ha clasificado al relieve en cuatro categorías principales: endógeno, endógeno modelado, exógeno y antrópico (Fig. 18).

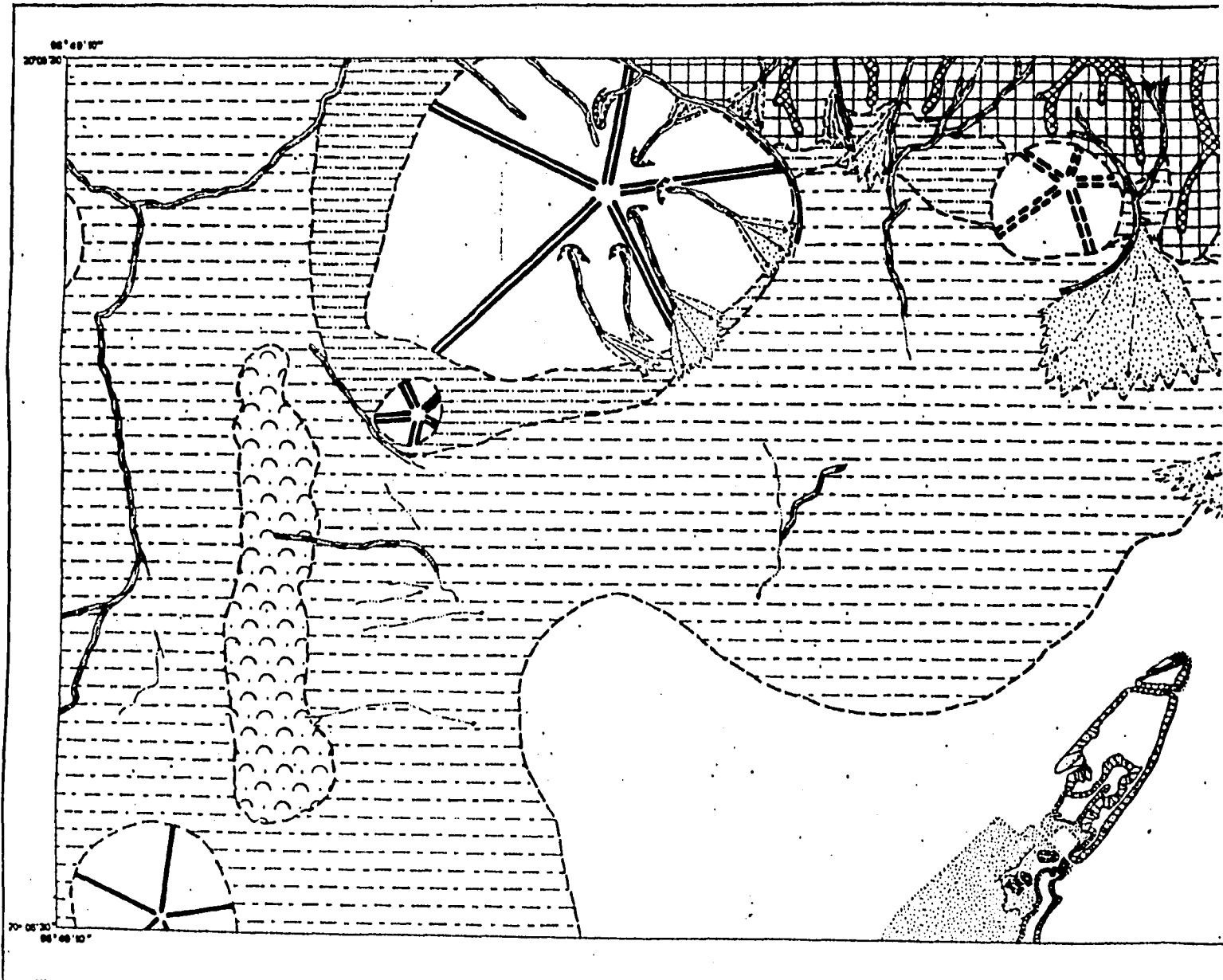
I. Relieve endógeno. Se trata de aquellas formas del relieve producidas por las fuerzas internas de la tierra (movimientos tectónicos y volcanismo). Dentro de éste se encuentra el "volcánico acumulativo", que se relaciona con la depositación en superficie de los materiales producidos por la actividad volcánica. En la zona de estudio está caracterizado por las siguientes formas.

A. Volcánico acumulativo.



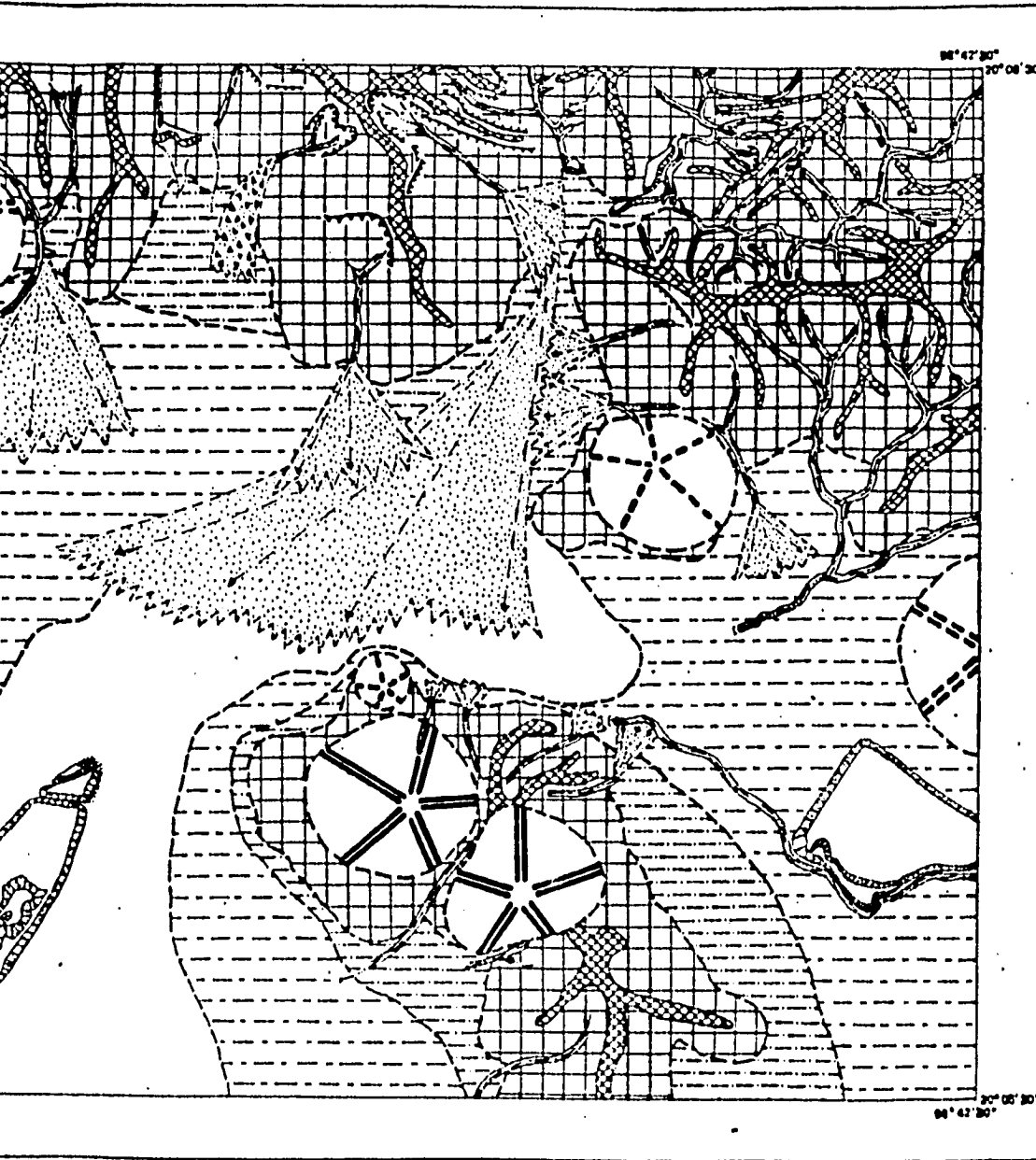
1. Volcanes cineríticos cuaternarios.

Se localizan al sur de la Sierra de Pachuca, dentro y fuera de la Cuenca de México. En el mapa están representados por un cono cinerítico localizado al suroeste de la ciudad de Pachuca (columna 1), tiene un diámetro de aprox. 1 km y una altura relativa de 60








PACHUCA DE SOTO, HGO.

Fig. 18. Mapa Geomorfológico





I. RELIEVE ENDOGENO

A. Volcánico acumulativo




-  1. Volcanes cineríticos cuaternarios
-  2. Coladas de lava cuaternarias
- 3. Volcanes compuestos
 - a) Pliocénicos 
 - b) Plio-cuaternarios 
- 4. Volcanes de lava oligocénicos 

II. RELIEVE ENDOGENO MODELADO







-  5. Laderas volcánicas modeladas
-  6. Superficies de divisorias

III. RELIEVE EXOGENO


A. Erosivo.

-  7. Barrancos y Valles
- 8. Circos de erosión
 - a) activos 
 - b) inactivos 




B. Acumulativo

-  9. Planicie de nivel de base
- 10. Mantos de acumulación
 - a) Piedemonte superior 
 - b) Piedemonte inferior 
- 11. Flujo de lodo 
- 12. Conos de eyección
 - a) Activos 
 - b) Inactivos 

IV. RELIEVE ANTROPICO

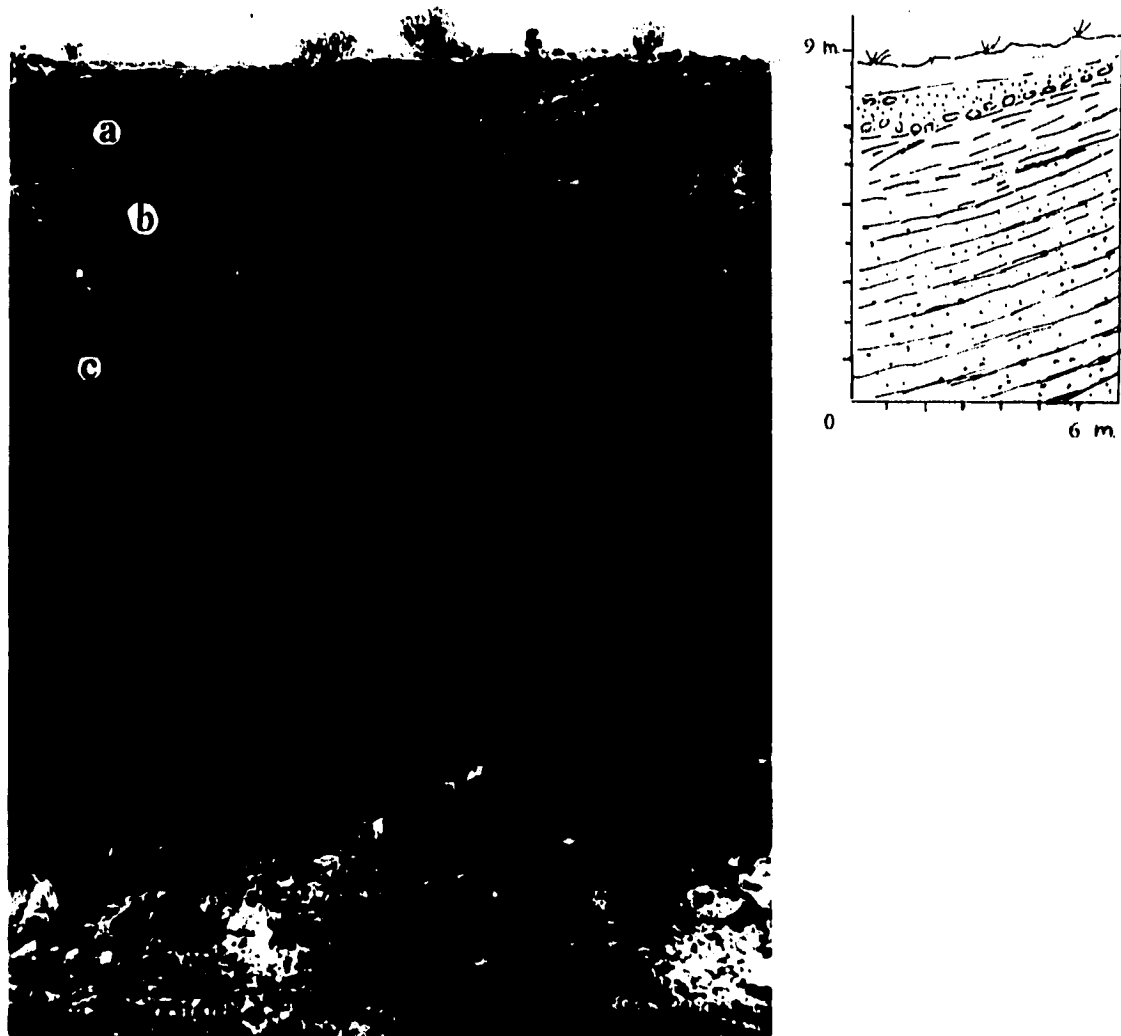
-  13. Acumulaciones de material residual (gales y terreros)

V. SIMBOLOS COMPLEMENTARIOS

-  14. Escarpes
-  15. Contacto
-  16. Contacto inferido

TESIS UNAM	Elabora Oscar Salas García	FIG 18
FESL. COE GEOGRAFIA		

a 70 m. Este junto con otros conos pequeños son explotados para obtener material para la construcción.



Columna 1. Paquete piroclástico (cenizas) pseudoestratificado, en el flanco NE de el volcán (cinerítico) Sta. Gertrudis localizado al SW de la ciudad. Sus depósitos son explotados para material de construcción. a) Toba de acarreo fluvial. b) Depósito piroclástico masivo. c) Pseudoestratos piroclásticos con inclinación de 25° . presenta bandas alternadas de materiales gruesos, hasta 3 cm., y materiales más finos.

De acuerdo con Ramos y Ortiz (1984), estas formas se encuentran generalmente próximas a la línea de parteaguas que separa a la Cuenca de México de la cuenca del Río Moctezuma.

2.2.2. Cerros de lava de edad cuaternaria

Están relacionadas a los anteriores, es decir, fueron producto de su actividad. Son de edad cuaternaria, de composición andesito-basáltica y su expresión morfológica no es clara debido a que se encuentran cubiertas por material piroclástico. Un ejemplo de este tipo aparece en la porción occidental del mapa con una extensión de aproximadamente 2.5 km, representando el límite de la Cuenca de México (fotografía 2). El hecho de estar cubiertas por materiales piroclásticos ha suavizado su forma, apareciendo en el paisaje como una pequeña loma de poca inclinación.



Fotografía 2. Derrame de lava de composición andesito-basáltica al occidente de la ciudad de Pachuca. En la parte superior se distingue el paquete de material piroclástico que cubre la estructura.

3. Volcanes de lava.

Estructuras formadas por rocas que varían de andesitas a riolitas, representadas por los cerros Cubitos, Zopilote y Espindola. Estos mismos se diferencian por su edad en: a) Pliocénicos y b) Plio-cuaternarios (Geyne, 1963). La juventud de estos aparatos es evidenciada por su morfología, siendo el Espindola (Fotografía 3), el que presenta los procesos erosivos más marcados, con el desarrollo de barrancos, así como conos de eyección en su base.

3.2. Volcanes de lava andesíticos

Están relacionados a los anteriores, es decir, fueron producto de su actividad. Son de edad cuaternaria, de composición andesito-basáltica y su expresión morfológica no es clara debido a que se encuentran cubiertas por material piroclástico. Un ejemplo de este tipo aparece en la porción occidental del mapa con una extensión de aproximadamente 2.5 km, representando el límite de la Cuenca de México (fotografía 2). El hecho de estar cubiertas por materiales piroclásticos ha suavizado su forma, apareciendo en el paisaje como una pequeña loma de poca inclinación.



Fotografía 2. Derrame de lava de composición andesito-basáltica al occidente de la ciudad de Pachuca. En la parte superior se distingue el paquete de material piroclástico que cubre la estructura.

3.3. Volcanes de lava

Estructuras formadas por rocas que varían de andesitas a riolitas, representadas por los cerros Cubitos, Zopilote y Espindola. Estos mismos se diferencian por su edad en: a) Pliocénicos y b) Plio-cuaternarios (Geyne, 1963). La juventud de estos aparatos es evidenciada por su morfología, siendo el Espindola (Fotografía 3), el que presenta los procesos erosivos más marcados, con el desarrollo de barrancos, así como conos de eyección en su base.



Fotografía 3. Volcán joven (Espíndola o Redondo) con poca disección.



4. Volcanes oligocénicos.

Representados por el cerro Santiago, volcán de lava de composición riolito-andesítica. Aunque éste se encuentra dentro del conjunto de la Sierra de Pachuca, sus características morfológicas permiten clasificarlo aparte. Por otro lado, aquí se encuentran los afloramientos de roca volcánica más antiguos de la Sierra de Pachuca, su presencia en la superficie al parecer responde a que la erosión lo separó parcialmente del cuerpo principal de la Sierra de Pachuca y a que no hubo cerca una actividad volcánica poderosa que lo sepultara.

II. Relieve endógeno modelado. Se trata de una transición entre el relieve endógeno y el exógeno. Una variedad de éste es el conocido como "volcánico denudatorio o volcánico erosivo". Siendo las formas volcánicas originales que han sido transformadas sustancialmente por los procesos erosivos, entre estas formas aparecen las siguientes.



5. Laderas volcánicas modeladas por la erosión.

Se trata de las laderas de la Sierra de Pachuca, con fuerte pendiente, modeladas por la acción fluvial, con circos y escarpes erosivos y un amplio desarrollo de barrancos. La sierra está constituida por rocas volcánicas de composición riolito-andesítica, principalmente, con edades que varían del Oligoceno al Cuaternario. Por

tratarse de rocas compactas, en el relieve se refleja un control estructural representado por escarpes y por desviaciones de cursos fluviales en ángulos rectos. Las fracturas y fallas han sido atacadas por la erosión lineal y en ellas se localizan los barrancos y los valles, mientras que las concavidades pronunciadas coinciden con los cruces de fracturas.



6. Superficies de divisorias.

Todo este sistema de barrancos y valles erosivos que cortan la Sierra de Pachuca está delimitado por una serie de parteaguas o superficies divisorias que se señalan también en el mapa. Al norte de la ciudad, en la sierra, son angostas y en su mayoría están delimitadas por escarpes de fuerte pendiente, lo que indica una intensa actividad erosiva que se vió favorecida por la presencia de numerosas fallas. Entre los parteaguas y las porciones inferiores de los valles erosivos, se presentan las laderas montañosas, sustancialmente transformadas por la acción del agua, pero todo unido en un gran sistema.

III. Relieve exógeno. Se trata de las formas que resultan de los procesos encargados de modelar a la corteza terrestre.

A. Erosivo



7. Relieve erosivo fluvial (barrancos y valles).

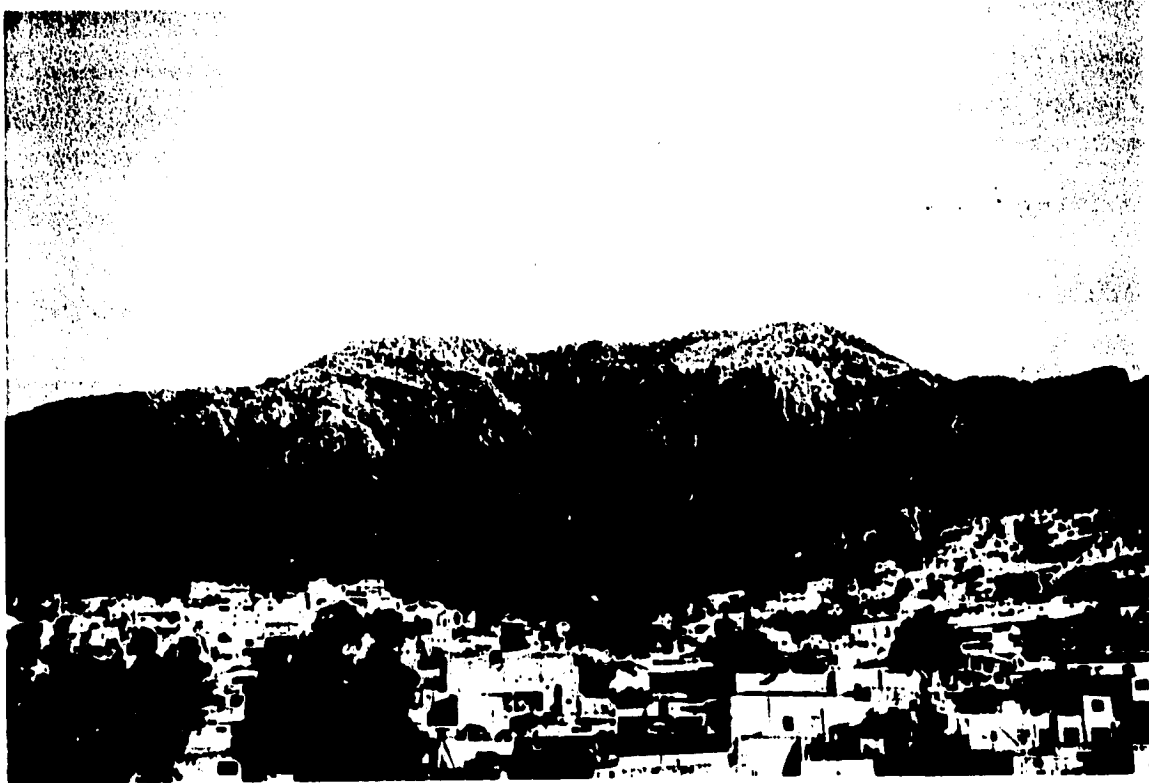
Es aquel que se origina por la acción del escurrimiento de las aguas superficiales, que han modelado las porciones inferiores de los valles montañosos y los barrancos. Tienen una amplia representación en la Sierra de Pachuca. En el mapa se señalan únicamente sus partes más profundas (cauce fluvial y línea de mayor profundidad o talweg), representando con gran claridad la red fluvial, por lo que se puede interpretar el proceso erosivo fluvial y la intensidad con que éste ha actuado. El grado de disección se encuentra en estrecha relación con la edad de la estructura montañosa, así como con el grado de fracturamiento de ésta, ya que como es bien conocido, las corrientes fluviales por lo general se encajan en las zonas de mayor debilidad, en este caso, fallas y fracturas.



8. Circos de erosión.

Son las cabeceras de los barrancos y de los valles erosivos que representan el límite de avance de la erosión remontante. Son formas con aspectos de circo o anfiteatro (fotografía 4), donde se desarrollan varias escorrentías, a veces dos, tres o más, de poca extensión, que inciden en un canal principal (las cabeceras o circos de los

valles principales, como el del Río de las Avenidas; no aparecen en el mapa ya que tienen su nacimiento en las partes altas de la Sierra de Pachuca). Dentro de estas formas se presentan escurrimientos que no son muy significativos, pero en cambio, hay también un intemperismo muy fuerte y procesos gravitacionales que contribuyen al crecimiento del circo de erosión (erosión remontante).



Fotografía 4. Circo erosivo al norte de la ciudad

Otra categoría del relieve exógeno, es la de las formas originadas por procesos constructivos o acumulativos, mismas que se mencionan a continuación.

B. Acumulativo

9. Planicie de nivel de base o aluvial.

Este tipo de formas se originan por las acumulaciones de las corrientes fluviales, se caracterizan por su geometría destacablemente plana, sólo alterada por terraplenes naturales que indican el levantamiento de los cursos debido al relleno (Coque, 1977). En el área de estudio presenta un amplio desarrollo, principalmente hacia el

sur. Esta planicie fue formada por los ríos que descienden de la Sierra de Pachuca, los cuales al ver interrumpidos sus cursos por la intensa actividad volcánica que se presentó en la Cuenca de México, comenzaron a formar lagos y lagunas someras depositando sus materiales al llegar a estas, formando así la actual planicie inclinada hacia el sur (en el caso de Pachuca). Aunque las corrientes fluviales tienen todavía oportunidad de continuar acumulando sedimentos, este proceso ha ido en descenso. Tuvo un desarrollo mayor en tiempos pasados, fines del Pleistoceno, cuando las condiciones climáticas eran distintas (Segerstrom, 1962). Por otro lado, el hombre ha alterado completamente este proceso, al captar el agua de los ríos por medio de canales, presas, desviaciones, etc.



10. Mantos de acumulación de piedemonte.



Son depósitos deluviales originados por corrientes montañosas. El material deluvial es aquel que está siendo removido de las laderas de las montañas, en la superficie de las mismas o provenientes de los fondos de los valles. Este material, posteriormente es depositado al pie de las montañas, donde forma un manto de acumulación que crece ladera abajo. Esta rampa está formada por sedimentos mal o pobremente clasificados y angulosos, es decir que se encuentran poco trabajados o de otra forma dicho, no han sufrido mucho transporte. Conforme los depósitos se encuentren más alejados de la zona de aporte, el tamaño de los materiales disminuye (Columna 2).

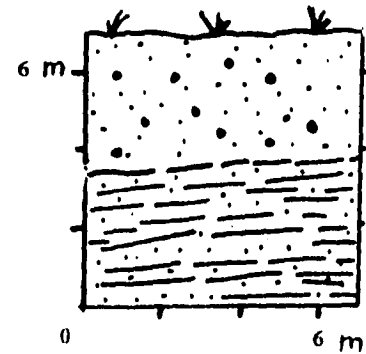
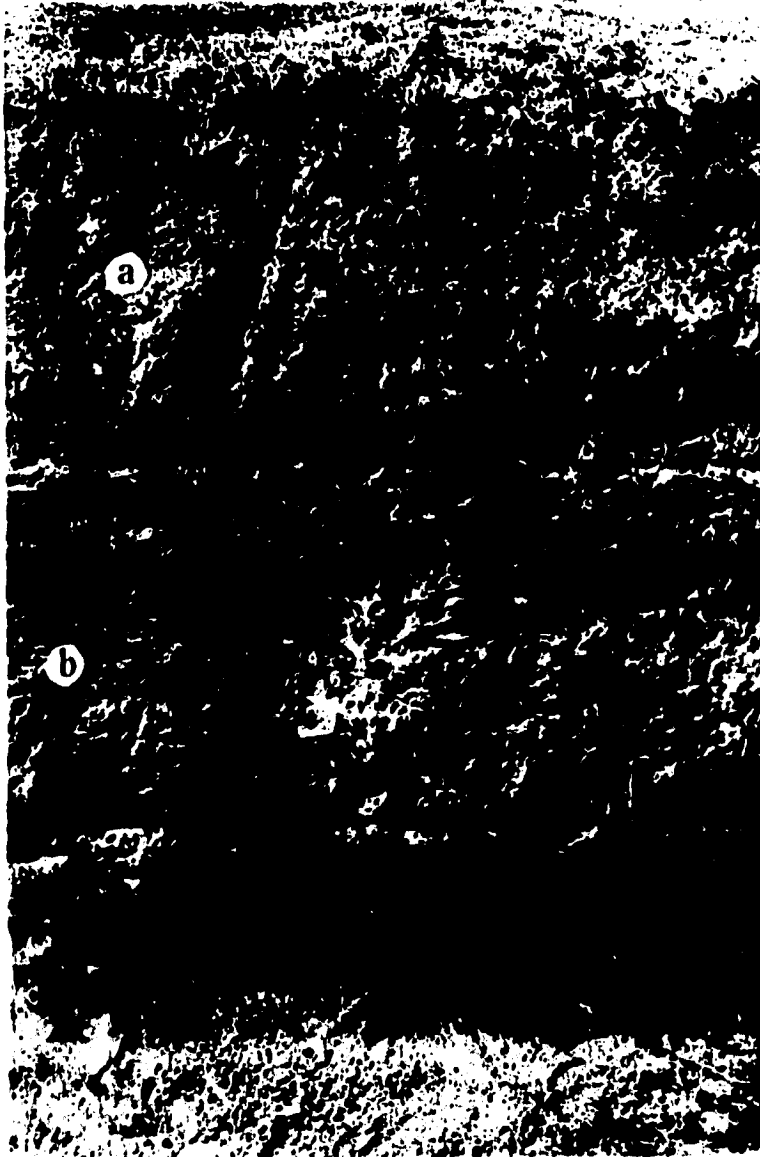
Son formas estrechas, que limitan el pie de las montañas (Columna 3). Se reconocen hacia la parte central del mapa (tienen un amplio desarrollo en la zona y como ya se ha señalado fue dividido en: a) superior y b) inferior), de la ciudad de Pachuca, tanto al occidente como al oriente, a manera de una gran franja que atraviesa el mapa con amplitudes irregulares. Estos mantos de acumulación han sido alterados por otros procesos, sobre todo volcánicos, y una menor influencia de la erosión fluvial.



11. Conos detriticos (flujo lodoso).

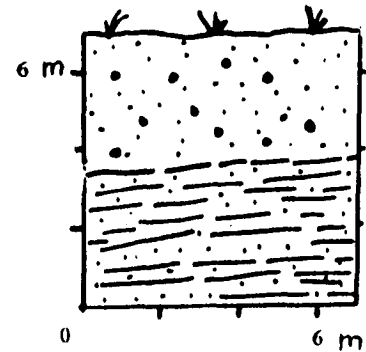
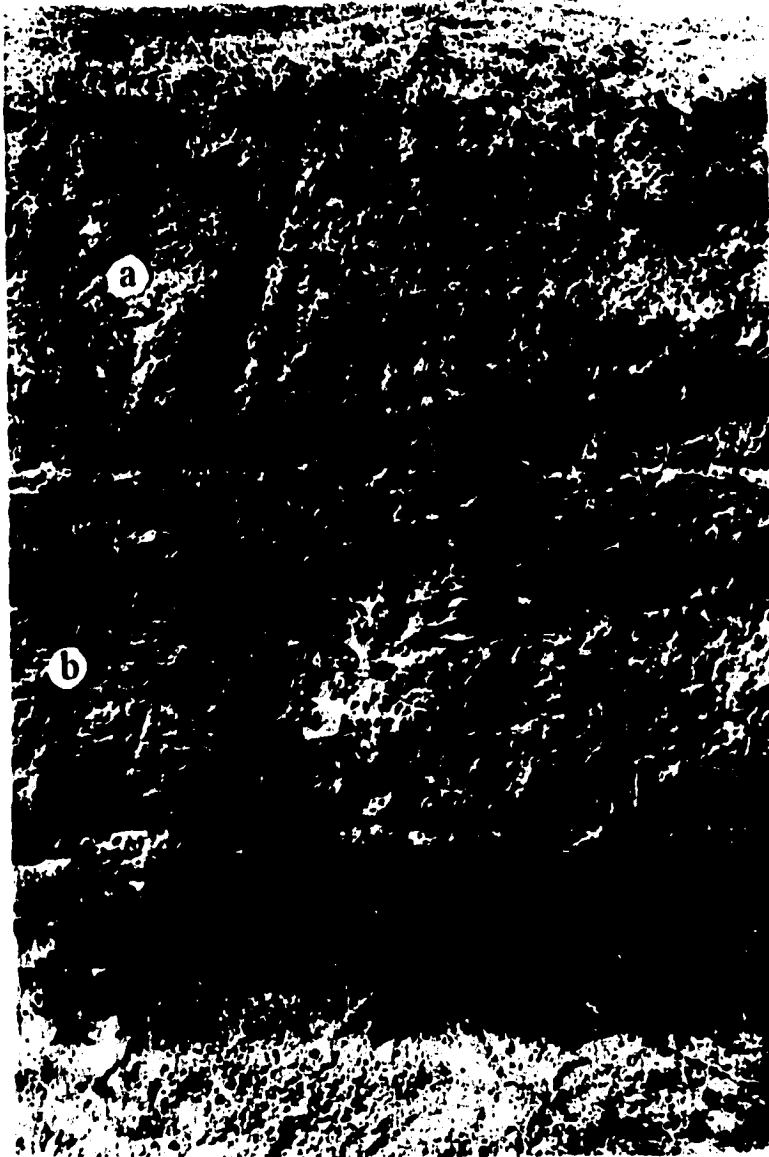
Estas formas deben su origen a procesos exógenos, y de manera más específica a los de ladera, o sea, aquellos que se originan por la caída de materiales en las laderas montañosas, por derrumbe, deslave, deslizamiento, o también por corrientes de lodo. Al pie de éstas laderas en proceso de destrucción se van formando acumulaciones a manera de conos o abanicos. Hay un caso muy importante de estas acumulaciones en donde han tenido presencia las corrientes de lodo. Se presenta al occidente de la ciudad de Pachuca, exactamente en la base de la sierra, en dirección hacia donde crece la mancha urbana. Se trata de una forma

aproximadamente triangular de 1 o 2 Km de amplitud, que está siendo alimentada por las corrientes montañosas, esto es, precisamente su desembocadura.

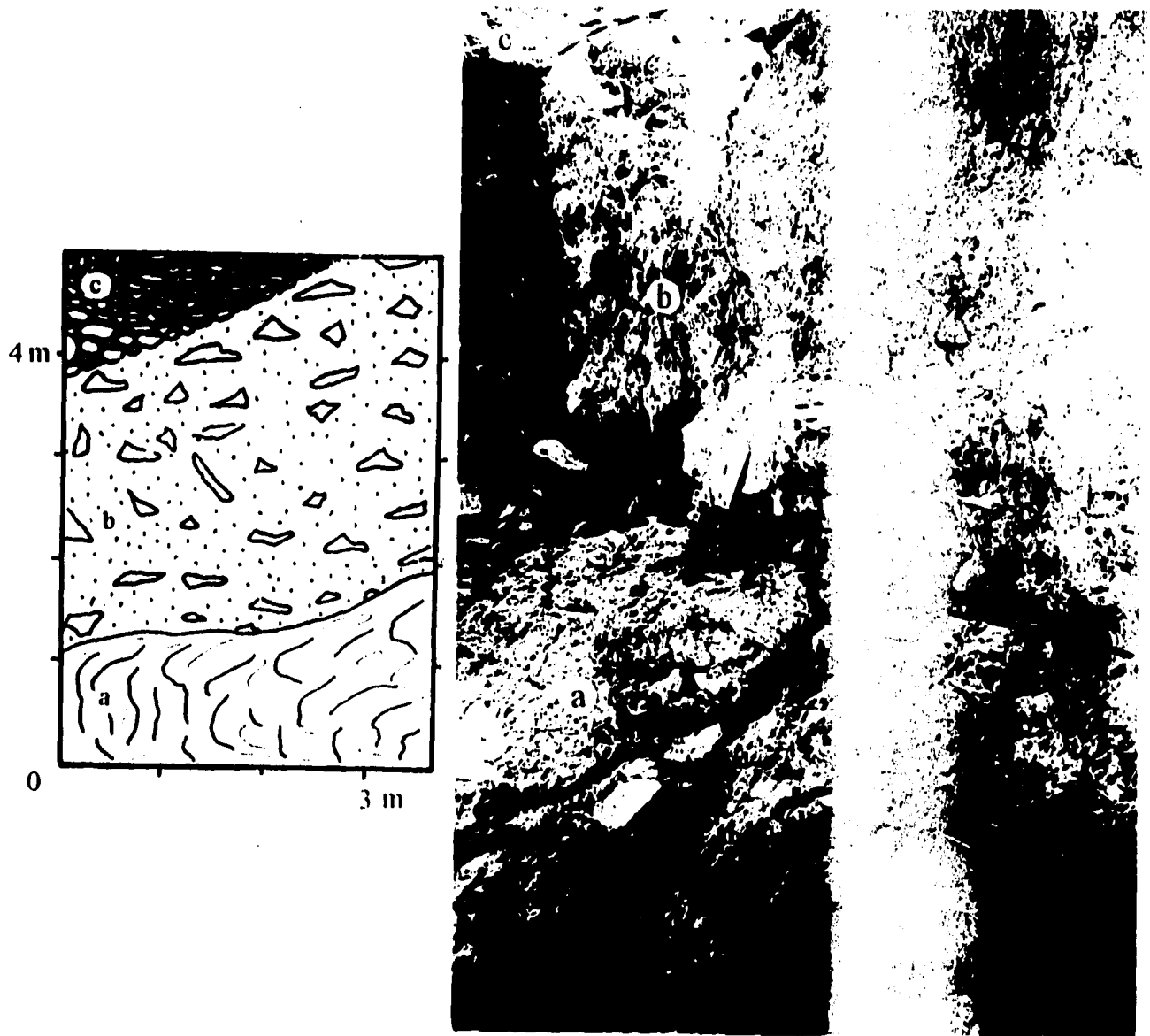


Columna 2. Depósito de piedemonte: afloramiento localizado cerca del contacto con la zona de planicie al SW del cerro Espindola. a) Toba de acarreo, areno-limosa, de color gris-parduzco poco cementada. Presenta litos con ejes mayores de 1 cm. en promedio y una madurez textural de 0.5. b) Toba volcánica de grano fino de color pardo amarillento, fuertemente compactada con escaso contenido de materiales líticos (10% en todo el depósito), dichos materiales tienen una madurez textural de 0.3, lo que indica que son de caída.

aproximadamente triangular de 1 o 2 Km de amplitud, que está siendo alimentada por las corrientes montañosas, esto es, precisamente su desembocadura.



Columna 2. Depósito de piedemonte: afloramiento localizado cerca del contacto con la zona de planicie al SW del cerro Espindola. a) Toba de acarreo, areno-limosa, de color gris-parduzco poco cementada. Presenta litos con ejes mayores de 1 cm. en promedio y una madurez textural de 0.5. b) Toba volcánica de grano fino de color pardo amarillento, fuertemente compactada con escaso contenido de materiales líticos (10% en todo el depósito), dichos materiales tienen una madurez textural de 0.3, lo que indica que son de caída.



Columna 3. Contacto entre el basamento rocoso con el material de acarreo o de piedra que aflora en el Barrio La Españita en punto donde el Río de las Avenidas abandona la Sierra de Pachucos. a) Basamento rocoso masivo (dacito-andesita) de coloración rosada, espesor del afloramiento de 1.5 m. b) Material de acarreo con presencia de bloques subangulares a angulares con tamaños que varían desde 1 cm hasta 10 cm, mal clasificados: envueltos en una matriz arenosa color pardo (café) anaranjado, predominando los bloques en un 60 % aproximadamente. c) Conglomerado de cauce (Río de las Avenidas) con bloques subredondeados a subredondeados con tamaños que llegan hasta los 20 cm., envueltos en una matriz arenosa de color pardo oscuro. Presenta una estratificación gradada normal, es decir, los bloques más grandes se encuentran en la base.

FALLA DE ORIENTE



12. Conos de eyección o abanicos aluviales.

Se trata de formas que crecen y se desarrollan por la desembocadura de las corrientes montañosas de temporada que generalmente tienen fuertes recargas, y sus depósitos son violentos. De tal manera que al llegar a la planicie de nivel de base, depositan sus materiales expandiéndose a los lados, formando abanicos. En planta, los abanicos aluviales exhiben una forma semicircular muy característica, esta forma responde a los cambios de dirección de la corriente principal (migración). Su pendiente o inclinación, depende del largo del radio, en general podemos hablar de una relación inversa, abanicos con radios largos tienden a presentar pendientes suaves (Rachocki, 1981).

Los depósitos de este tipo de formas son conocidos, después de la litificación, como "fanglomerados" (Rachocki, op.cit.). En general los depósitos de abanico se encuentran pobremente clasificados, aunque separados por capas que pueden ser bien identificadas. La redondez de las partículas es generalmente baja, aunque se ha observado que ésta aumenta hacia la base del abanico (Fotografía 5).

La ciudad de Pachuca fue fundada sobre un gran abanico de este tipo. Este se formó por las crecidas del Río de las Avenidas. Su parte más alta (ápice) se encuentra al norte, exactamente donde el río abandona La Sierra de Pachuca, expandiéndose hacia el sur dentro de la Cuenca de México (Fotografía 6). La presencia de la ciudad (casas, pavimento, etc.) ha impedido determinar las dimensiones y límites exactos de este abanico, por esto mismo, sus límites (inferidos) fueron trazados en línea punteada.

Al occidente de la ciudad, otras corrientes de menor longitud formaron también abanicos más pequeños (Fotografía 7).



Fotografía 5. Depósito de abanico al norte de la carretera a Actopan.



Fotografía 6. Gran abanico formado por el Río de las Avenidas. Sobre este se asienta la parte más antigua de la ciudad y es la más afectada por las inundaciones.



Fotografía 7. Abanico al noroccidente de la ciudad, de menores dimensiones que el del Río de las Avenidas.

IV. Relieve antrópico. Hoy en día, uno de los principales agentes modificadores del relieve es el hombre, lo que se refleja en los rasgos (taludes depresiones, elevaciones, etcétera) y en los procesos. Las obras hidráulicas son las principales que alteran los procesos naturales. Los efectos son muy variables y hay que entenderlos en una relación beneficio-daño.

En la zona de Pachuca la alteración por la actividad humana es considerable. La más importante es sin duda derivada de la minería,



13. Jales y terreros.

Se trata de acumulaciones de material procesado de las minas, los cuales constituyen una modificación sustancial al relieve original. Los de mayores dimensiones se aprecian al sur de la ciudad de Pachuca (Fotografía 8). Consisten en partículas del tamaño de las arenas y limos.

Las formas antrópicas contrarias serían las formas negativas, resultado de las excavaciones, que si bien representan extensiones y volúmenes extraordinarios, son subterráneas en su mayoría.



Fotografía 8. Depósito de "jales" al sur de la ciudad de Pachuca

V. Símbolos complementarios. El mapa geomorfológico se complementa con los siguientes elementos



14. Escarpes.

Lugo (1989) define, "un escarpe es una ladera abrupta a desplome, de altura variable, que puede formarse por distintas causas". Los escarpes de lava se originan simultáneamente con el enfriamiento. Un caso frecuente es cuando se forma una colada de lava con una superficie suave, inclinada o plana formando mesas, y hacia las margenes paredes verticales (estas últimas representan el escarpe). Los escarpes erosivos son otro tipo muy común. Se originan por la acción de la erosión fluvial o los procesos gravitacionales. Aunque muy frecuentemente se desarrollan a lo largo de contactos litológicos, fracturas y fallas. Un escarpe de falla comienza por fallamiento y en su posición original, tiene en o cerca de su base; pero hay escarpes maduros y seniles, como también los hay jóvenes, y a medida que la meteorización, la remoción en masa y la erosión atacan a un escarpe de falla, sufre modificaciones tanto en aspecto como en posición topográfica (Thornbury, 1980). Un escarpe joven es probable que esté situado cerca de la falla que lo produjo, pero un escarpe de falla maduro o senil puede haber

retrocedido con respecto a su falla original (en este caso estaríamos hablando de un escarpe erosivo).

Por otra parte, la literatura geológica junto con el trabajo de fotointerpretación, muestran una gran cantidad de morfoalineamientos (fracturas y fallas) y son notables los sistemas de orientación hacia el noroeste y su correspondiente hacia el noreste. No se señalan en el mapa por las dificultades para su representación, y para darle prioridad a las formas del relieve. Su expresión es muy clara en la sierra, no así en el resto de la zona (hacia el sur), donde aparentemente en su mayor parte quedan ocultas por las acumulaciones volcánicas y las de tipo exógeno.

En el mapa no se diferencian uno u otro tipo de escarpe (de lava, erosivo o de falla) y se señalan únicamente los más importantes por su susceptibilidad a presentar riesgos

Con los números 14 y 16 se presentan líneas que muestran la zona de unión entre las distintas unidades y elementos del relieve (contacto). En algunos casos fueron transferidas directamente de las fotografías aéreas. En otros, la información proporcionada por los mapas morfométricos (altimétrico y pendientes), permitió determinar algunas de las fronteras (tal es el caso de la división entre piedemonte superior e inferior). Se utiliza el término de contacto inferido, cuando éste no ha podido ser localizado con la máxima precisión, principalmente por la falta de información (afloramientos, cortes, etc.). El ejemplo más claro lo representa el gran abanico del Río de las Avenidas, el cual se encuentra totalmente cubierto por la mancha urbana.

El mapa geomorfológico sólo muestra una relación de formas definidas por su génesis y su geometría. Los procesos que modelan al relieve y que pueden representar peligro para la población, son presentados y analizados en el mapa morfodinámico del siguiente capítulo.

V. MORFODINAMICA Y MAPA DE AMENAZA POR PROCESOS GEOMORFOLOGICOS PARA LA CIUDAD DE PACHUCA DE SOTO.

En este capítulo se evalúa la dinámica del relieve, en relación con los daños que ésta puede provocar a la población. Es por esto que el conocimiento de las formas y la dinámica del relieve es de gran importancia para un mejor aprovechamiento del territorio. Asimismo, para evitar la utilización de espacios que favorecen procesos naturales que ponen en peligro los intereses y la seguridad de la población.

5.1 Morfodinámica (concepto)

Durante la década de los años 80, la geomorfología tuvo desarrollo especialmente en la aplicación práctica. Conseguir este objetivo (dar una explicación correcta del relieve), puede darse sólo si se han entendido la naturaleza y mecánica de los procesos que originan y modelan al relieve (Hart, 1986).

El estudio de los procesos actuales es en cierta forma uno de los temas más importantes de la geomorfología moderna y de este aspecto se encarga la geomorfología dinámica.

El termino morfodinámica o geomorfología dinámica es utilizado principalmente por las escuelas francesa y soviética; R. Coque (1977) lo describe de la siguiente forma: "La geomorfología dinámica tiene como objeto estudiar y analizar los fenómenos exteriores a la corteza terrestre (geodinámica externa o procesos exógenos), los cuales se encargan de modelar al relieve. Su acción está estrechamente relacionada con la de la geodinámica interna (procesos endógenos)".

Para la escuela anglosajona el termino refiere a los procesos y agentes exógenos. Para Thornbury (1960), un proceso o acción geomórfica es cualquier medio capaz de obtener y transportar material de la Tierra, la mayoría de estos procesos se originan dentro de la atmósfera terrestre y están regidos por la fuerza de gravedad.

En general, los procesos tectónicos no se cuentan normalmente dentro de los estudios morfodinámicos. El estudio de los procesos se ha concentrado principalmente en el análisis de los procesos subaéreos, lo cual no indica que los procesos tectónicos carezcan de importancia.

Esto responde al gran interés que en la actualidad existe por el papel que desempeñan los procesos tectónicos en el desarrollo de las formas del relieve, lo cual ha traído consigo el desarrollo de otra de las grandes ramas de la geomorfología, la "geomorfología estructural", misma que se encarga de estudiar en forma más específica dichos aspectos (Hart, 1986).

De acuerdo con lo antes mencionado, el análisis morfodinámico para la ciudad de Pacluca se centra en los aspectos exógenos principalmente.

De acuerdo con D. y V. Weyman (1981) los procesos exógenos o denudativos son:

- Intemperismo: Es el rompimiento o fragmentación de la roca sólida en partículas que pueden ser más pequeños o solubles (I. físico, químico y biológico).
- Transporte: Es la remoción, por influencia de la gravedad, de los materiales intemperizados lejos de su posición o sitio original. Este puede ser realizado por agua, hielo o viento.

- Erosión: Es el conjunto de procesos por medio de los cuales se produce separación de los productos del intemperismo del sustrato original. El termino erosión también es usado para hablar de transporte en general.
- Depositación: Es el proceso de acumulación de los materiales transportados (productos de la erosión y el intemperismo), en el fondo del mar, en un lago o en un valle, dando como resultado en muchas ocasiones formas acumulativas (deltas, abanicos aluviales, dunas, etc.)

Tomando en cuenta que el relieve terrestre no es estático, por el contrario se encuentra sujeto a constantes cambios, es importante comprender la naturaleza de los procesos, ya que como señala Derrau (1983), "el conocimiento de los procesos modeladores del relieve permite, además de entender sus características principales, prever la evolución de éstos. Por esto mismo la geomorfología dinámica se transforma fácilmente en una geomorfología aplicada, de tal manera que el hombre puede influir en modificaciones al paisaje en su beneficio".

Con este enfoque, se realizó el mapa morfodinámico de la ciudad de Pachuca, en el que se localizan los distintos procesos y formas resultantes con el fin de detectar áreas en las que estos procesos son o pudieran representar una amenaza para la población.

5.2 Carta morfodinámica de la Ciudad de Pachuca de Soto, Hgo.

El mapa que se presenta muestra una estrecha relación entre la forma y el proceso que le dio origen, -que incluso en algunos casos sigue modificándola-. Es decir, en el mapa se han delimitado las formas principales del relieve de acuerdo con los procesos que las originaron.

La leyenda está organizada de acuerdo con el origen de la actividad o dinámica geomorfológica, es decir, se muestran los procesos y las formas del relieve asociadas: I. Fluviales, los cuales se subdividen en erosivos y acumulativos; II. Gravitacionales o procesos de ladera, también subdivididos en erosivos y acumulativos, y III. Antrópicos. Por último se presentan símbolos complementarios y convencionales de la cartografía general. A continuación se explica cada uno de los elementos que conforman la leyenda, la numeración corresponde a la que aparece en el mapa morfodinámico (Fig. 19)

PROCESOS Y FORMAS DEL RELIEVE ASOCIADAS, EN LA CIUDAD DE PACHUCA Y ZONAS ADYACENTES.

I. FLUVIALES.

A. Erosivos.

Los valles fluviales (1) representan las formas más avanzadas de la erosión fluvial. Estos se originan por una corriente principal, que diseca lentamente la superficie por largos periodos. Es común que las laderas de los valles se estabilicen por el desarrollo de vegetación, en contraparte, la pérdida de la cobertura vegetal provoca la ruptura del equilibrio, lo cual conduce a una erosión acelerada, que ha llegado a manifestarse en algunos casos (2), donde se han producido derrumbes.

El cauce (3) es la porción del valle ocupada por agua en forma temporal o permanente. Presenta dos niveles altitudinales, el inferior que corresponde al caudal de

estiaje y el superior, de la temporada de lluvias y de crecidas extraordinarias, este nivel más elevado es el lecho mayor (4). Una etapa más avanzada de la erosión fluvial se manifiesta en la formación de terrazas, que son en sí, antiguos lechos fluviales que debido a la erosión vertical han quedado aislados en una porción más elevada, donde las aguas de crecida no alcanzan a inundar, al mismo tiempo el cauce construye un nuevo lecho en un nivel inferior (5).

Otras formas elementales de la erosión hídrica son los alveólos (8), pequeñas cavidades que llegan a tener superficies de algunos metros pero con pocos centímetros de profundidad, éstas se forman durante las lluvias fuertes, en amplias superficies, debido al escurrimiento en manto (escorrentía difusa). Formas más avanzadas son los surcos de erosión (7), canales naturales de poca longitud (unos cuantos metros), angostos (centímetros) y someros (centímetros), pero que a diferencia de los procesos y formas mencionados anteriormente, son de mayor actividad. El arreglo de los surcos, permite observar en algunos casos, la transición del escurrimiento libre (escorrentía difusa) al encauzado (escorrentía concentrada). Los alveólos y los surcos, una vez formados tienen un crecimiento muy rápido durante la temporada de lluvias, incluso algunos metros en un año.

Los barrancos (6) representan una etapa de desarrollo posterior a los surcos (Gorshkov, G. y Yakushova, A., 1970), con la particularidad que en su porción superior se forma una cabecera (9); depresión semejante a un anfiteatro, con laderas abruptas y algunos surcos que desembocan en el canal principal. Cuando las condiciones litológicas son de un material poco consolidado o deleznable, la cabecera del barranco tiene un avance muy rápido ladera arriba, este proceso se denomina erosión remontante, el cual se produce por derrumbes, que se ven favorecidos por los cambios de humedad de las temporadas de secas a las de lluvias torrenciales.

Los circos de erosión (10,11), a diferencia de las cabeceras, son de dimensiones considerablemente mayores y reflejan un proceso erosivo más prolongado. Generalmente se forman cuando cesa la velocidad de avance de la cabecera (erosión remontante) y se incrementa el crecimiento lateral de la misma. En este caso es posible que se presente la unión de dos o más cabeceras, resultando en la formación de un gran anfiteatro (fotografía 4).

La mayoría de los valles fluviales han evolucionado a una etapa de formación de grandes circos de erosión. La constitución litológica superficial es en general homogénea, de rocas resistentes que no han favorecido la destrucción de la Sierra de Pachuca, a lo que han contribuido también algunas erupciones volcánicas cuaternarias que cubrieron amplias superficies con lavas y materiales piroclásticos.

B. Acumulativos

Los procesos de acumulación en la zona estudiada están relacionados con las laderas montañosas en su contacto con la planicie de nivel de base. Entre las formas de acumulación fluvial se tienen los valles que fueron colmatados por sedimentos debido a una obstrucción (12).

Los abanicos o conos de eyecciones se forman en las desembocaduras de los arroyos. Algunos abanicos son activos (13), esto es, se encuentran en crecimiento por la desembocadura de corrientes fluviales. Son por lo tanto, zonas de amenaza latente, porque las corrientes de lodo que las forman se producen en forma rápida y catastrófica. Otros abanicos son inactivos (14), debido a que la corriente que los alimentaba ha disminuido en su potencia o porque se desvió lateralmente.

II. GRAVITACIONALES O DE LADERA.

A. Erosivos.

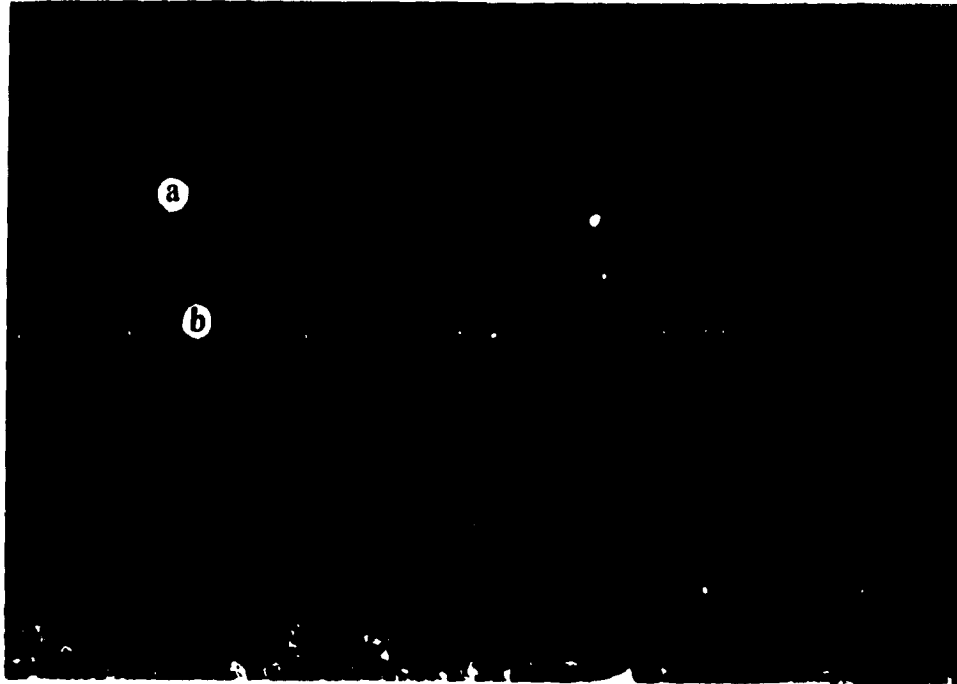
La caída por gravedad de material rocoso es característica de las zonas montañosas, donde el intemperismo debilita gradualmente el material superficial a lo largo de las grietas. Posteriormente, por efecto de la gravedad y el agua, así como otros factores, pequeños bloques de roca se desprenden constantemente.

En las laderas montañosas más erosionadas, aflora el sustrato rocoso y debido al proceso de erosión diferencial, éste aparece en la superficie a manera de bloques aislados, escarpes, etc., En la zona estudiada se han reconocido estos afloramientos de poca estabilidad, (16) donde potencialmente se puede producir la caída de rocas (Fotografía 9).



Fotografía 9. Afloramientos rocosos al noroccidente de la ciudad donde se produce caída de rocas

Otro caso semejante se presenta una vez que la erosión ha formado un circo. Cuando aflora un sustrato rocoso resistente, el proceso fluvial cesa en intensidad e incluso se llega a una relativa estabilidad, o con procesos de caída de rocas. En este caso la caída de material por efecto de la gravedad, se concentra en un lugar específico (17) (Fotografía 10).



Fotografía 10. Cuenca de captación de conos coluviales al occidente de la ciudad. a) circo, b) mantos detriticos.

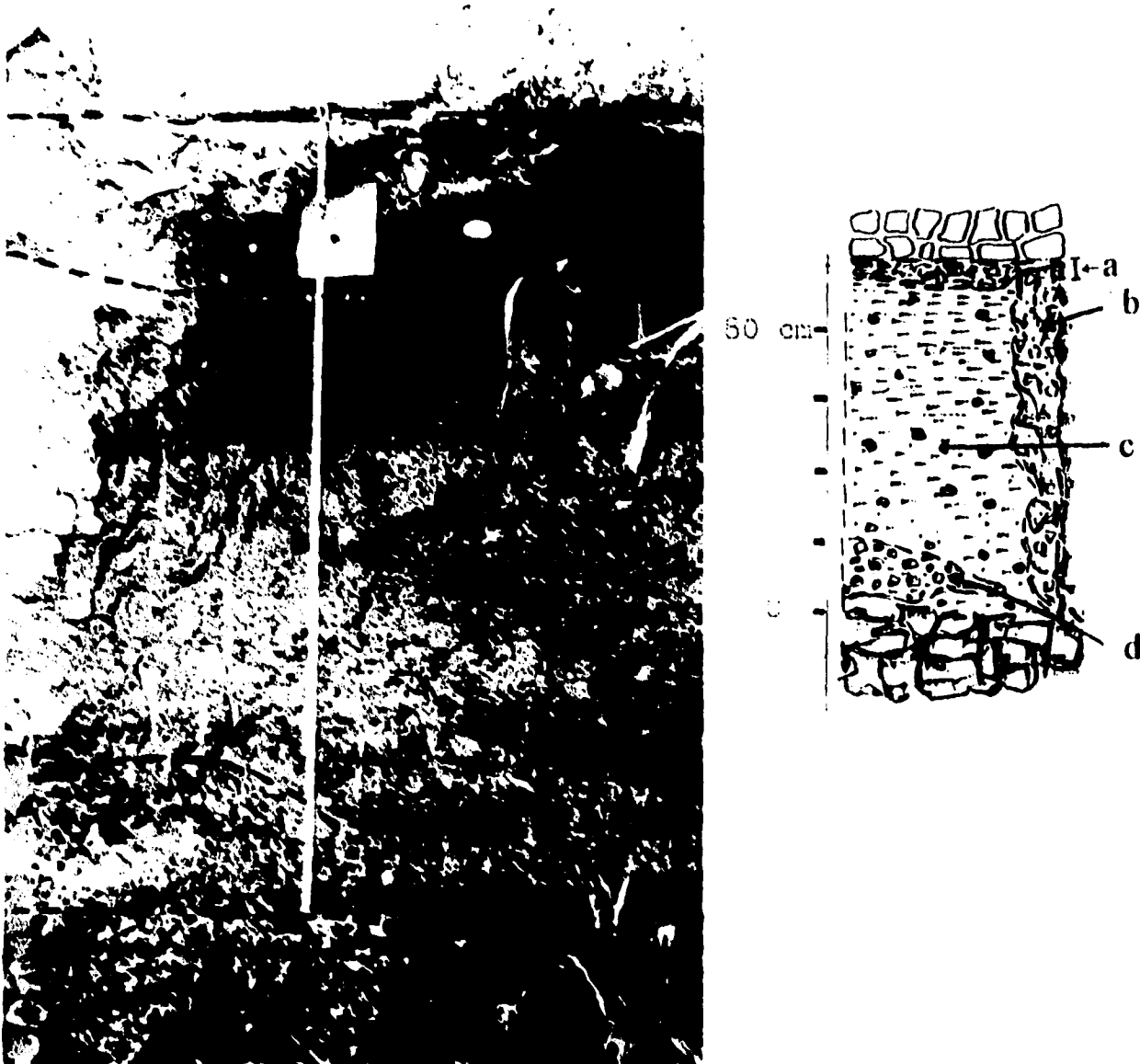
Los corredores de escombros son franjas longitudinales en una ladera montañosa que siguen la dirección de la pendiente y en las cuales se produce una fuerte erosión, a diferencia de las porciones contiguas. Su formación, en la mayoría de los casos, obedece a causas naturales, pero en otros se ve favorecido o incrementado por la actividad del hombre, debido a la tala, a la creación de una vereda o camino. Los corredores normalmente son activos (18) y pueden convertirse con el tiempo en barrancos. Otros se estabilizan (19), aunque es menos común.

La reptación o "creep" consiste en un desplazamiento de los materiales superficiales de una ladera, por efecto de la gravedad (Coque, 1984). En la ciudad de Pachuca, específicamente en la ladera norte y noroeste del Cerro de Cubitos, se ha detectado este proceso (20 y 21).

Este fenómeno se presenta sobre una rampa de material detrítico no consolidado (arcillas y limos). Dicha rampa es la zona de transición (piedemonte) entre las laderas rocosas del Cerro Cubitos y la zona de planicie. Esta área, aunque bordea todo el cerro, no es uniforme en longitud ni en espesor. Las características que presenta dicho material, se resumen en la columna 4.

En esta zona se conjugan distintos factores que favorecen el arrastre o reptación del material superficial:

- a) Naturales. Pendiente pronunciada; material poco consolidado y humedad del sustrato (incrementada en la temporada de lluvias).
- b) Antrópicos. Desestabilización de la ladera por la creación de terrazas artificiales; deficiencia en el diseño de las cimentaciones (no alcanzan el sustrato rocoso); sobrepeso de las construcciones sobre el talud; y posibles fugas en el sistema de drenaje que incrementan la cantidad del subsuelo.



Columna 4. Material de piedemonte en la ladera norte del Cerro de Cubitos, en la colonia del mismo nombre. a) Relleno de construcción "emparejado". b) Relleno antrópico (mezcla de tierra, plásticos, vidrios, etc.). c) Depósito de material arcillo-limoso, con cambios de coloración, de verde oscuro a pardo (café) por diferencia en el contenido de agua. Son frecuentes pequeñas rocas con eje mayor de 4 cm en promedio. Su madurez textural refleja que todo el depósito es de acarreo (proluviación-diluvión). d) Lente de material petreo, cementado (matriz) por arcillas y limos. Los litos presentan una madurez textural de 0.3-0.4 (Kumbrain, 1941 en Dakombe y Gardiner, 1987), lo que indica un transporte, probablemente un paleocauce.

Este proceso es potencial en aquellas áreas que presentan las mismas características antes señaladas, tanto naturales como antrópicas, pero que aún no presentan síntomas de su desarrollo.

B. Acumulativos

Los conos detriticos (coluviales), se forman en la base de laderas donde el desprendimiento de rocas es intenso. Se trata de una acumulaci3n de rocas por gravedad, con poca influencia del agua, en una franja considerablemente m1s larga que ancha. Cuando el dep3sito de detritos se produce en la desembocadura de un canal, principalmente por rodamiento, se forma un cono detritico, en su formaci3n, a diferencia del abanico, no interviene el agua. Debido a 3sto, resulta una forma de mayor pendiente. Estos conos generalmente son activos (23), pero en caso de que cese la erosi3n en intensidad por haber alcanzado un equilibrio relativo, el cono deja de crecer se vuelve inactivo (24).

III. ANTROPICOS.

En el mapa se representan aquellas formas del relieve debidas a la actividad humana, que adem1s de ser cartografiables, ejercen una influencia sobre los procesos geomorfol3gicos.

Existen calles y avenidas que han sido construidas sobre antiguas zonas de desembocadura fluvial (25). Estas durante las temporadas lluviosas, funcionan como verdaderos cauces, presentando graves problemas por inundaci3n (Fig. 20).

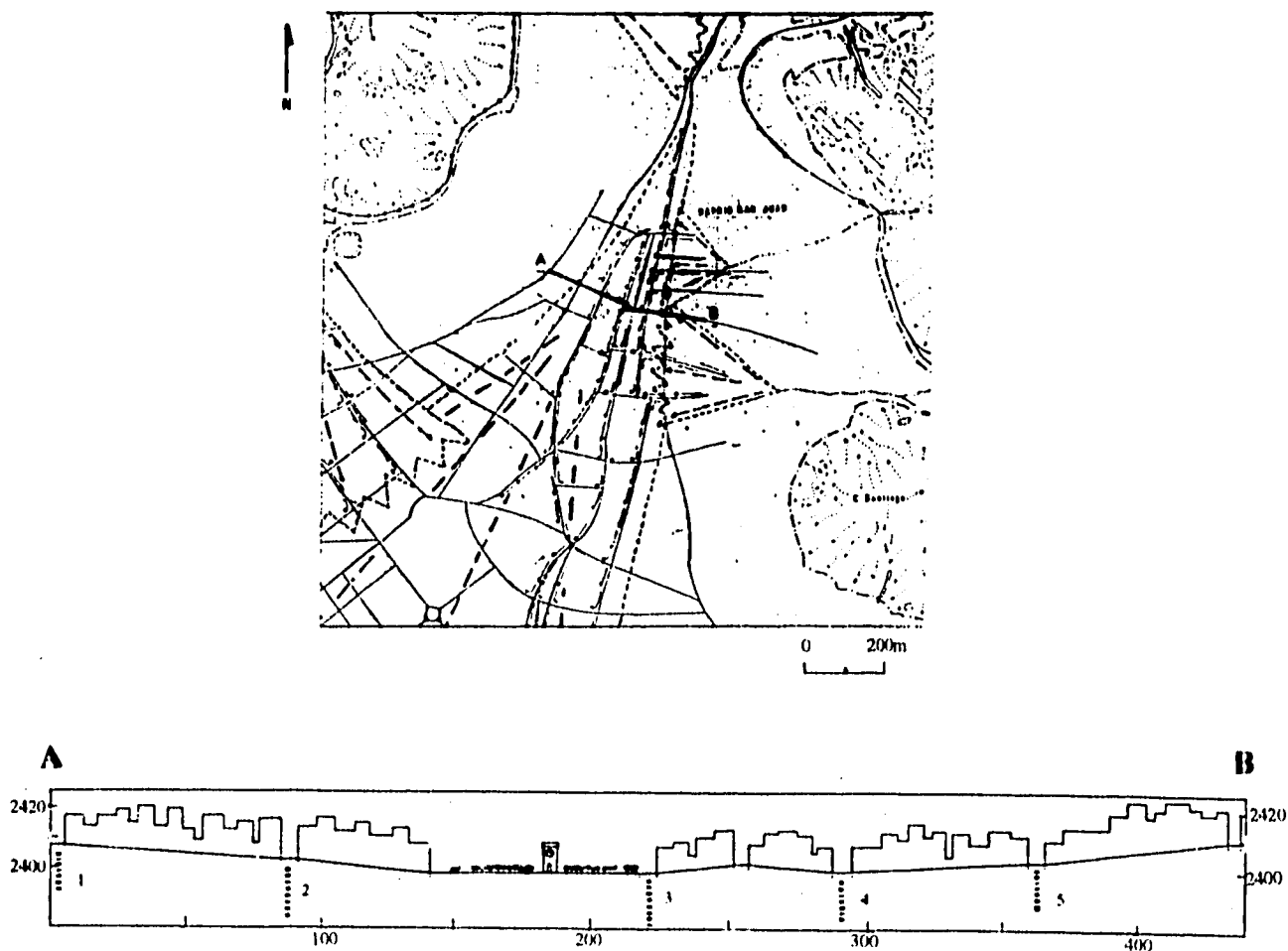


Fig. 20. Perfil realizado por la calle M. Ocampo, en el que se observa c3mo las calles funcionan como canales durante una inundaci3n. Calles: 1. Abasolo, 2. Guerrero, 3. Zaragoza, 4. Hidalgo, 5. Morelos.

Otro caso es el de los escarpes artificiales (26), mismos que una vez construidos se convierten con frecuencia en formas activas, en retroceso, con una velocidad que depende del tipo de material, del intemperismo y otros factores. Este mismo proceso puede presentarse en depresiones artificiales (27,28,29).

Menor influencia ejercen otras obras antrópicas, pero dignas de tomarse en cuenta: los socavones o tiros de mina (30), las terrazas de labor (31), los jagüeyes (33), los bordos de material (34), los rellenos sanitarios (35) y bancos de material (36). Estos últimos y las acumulaciones de material procesado de las minas o jales (37), constituyen una verdadera alteración al relieve original de esta zona.

En la zona de Pachuca la alteración por la actividad humana es considerable. Lo más importante es sin duda la minería, aunque las modificaciones producidas en el subsuelo por los túneles, que alcanzan varios kilómetros, no han tenido una expresión notable en la superficie, a no ser por algunos colapsos aislados.

IV. SIMBOLOS COMPLEMENTARIOS.

Los símbolos complementarios (38-44) son algunas líneas que se usaron en el mapa. En el caso de las presas (42), independientemente de los beneficios que representan, además es necesario considerar otros aspectos, como el azolve, la alteración del régimen hidrológico al disminuir el escurrimiento aguas abajo, etc, ya que en algunos casos pueden ser factores de riesgo.

5.3 Mapa de amenaza por procesos geomorfológicos en la ciudad de Pachuca de Soto, Hgo. y zonas adyacentes.

Una de las situaciones que concierne a la geomorfología actual (aplicada) es aquella donde los eventos geomorfológicos tienen un impacto directo en la sociedad. El análisis geomorfológico que se ha expuesto en este estudio, permite la evaluación final sobre los eventos geomorfológicos que representan riesgo para la ciudad de Pachuca.

En sentido estricto, el documento que se presenta no es un mapa de riesgos como tal, ya que no se consideran parámetros socioeconómicos, como el uso del suelo y la calidad de la vivienda.

En este mapa se tratan principalmente los aspectos físicos del riesgo, de acuerdo con Cardona (1993), el resultado es un mapa de amenaza por procesos geomorfológicos. Se entiende como amenaza, "todo peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural (el proceso geomorfológico) o tecnológico que puede presentarse en un sitio específico y en un tiempo determinado" (ibid p 56)..

De esta forma los principales procesos geomorfológicos que representan amenaza para la ciudad de Pachuca, son clasificados de acuerdo con su origen (fig. 21).

I. FLUVIALES.

a) Zonas susceptibles a inundación.

Las condiciones topográficas y climáticas favorecen en gran forma las inundaciones. Sin embargo, el segundo factor mencionado, determina que las de mayor magnitud se produzcan en forma esporádica.

Se definen tres tipos de zonas con mayor posibilidad de ser afectadas por inundación y se jerarquizan en tres categorías (Fig. 21). Estas zonas fueron detectadas principalmente por sus características morfológicas, es decir, son áreas más deprimidas en relación con las contiguas y por otro lado corresponden a antiguas redes de drenaje.

Las zonas más susceptibles a ser inundadas se reconocen precisamente en la ciudad de Pachuca, en una franja alargada hacia el sur y con una desviación al oriente, exactamente sobre lo que es el gran abanico del Río de las Avenidas, una zona en la que por naturaleza desembocan grandes cantidades de agua acompañada de materiales sólidos provenientes de las partes altas de la Sierra de Pachuca.

El problema de las grandes crecidas provocadas por el Río de las Avenidas, ya representaba gran interés para la ciudad desde fines del siglo pasado (incluso antes). Haro, J. (1902), presenta una propuesta para el desazolve del entonces llamado Río de Pachuca, en ésta destaca, que a diferencia de lo que se pensaba, no eran los materiales de desecho de las minas los que provocaban el azolve del río, sino la gran cantidad de material transportado por esta corriente durante las lluvias torrenciales. Haro apuntaba, "Si se hace una nivelación esmerada, tomando de trecho en trecho perfiles transversales del río, se comprobará que mientras no baje una avenida los perfiles no varían, a pesar de todos los jalzontles que continuamente desechan las haciendas. Si la avenida es producida por un fuerte y prolongado aguacero al norte de la población, el cambio en los perfiles es aún más notable, y si ésta es muy impetuosa como las que han producido las dos inundaciones recientes de Pachuca, el trastorno en el lecho es completo".

Aunque se han realizado obras, que en gran forma han disminuido el impacto que las inundaciones provocaban en la ciudad (Fotografía 11), éstas siguen siendo un importante factor de amenaza.



Fotografía 11 Entrada, en el Barrio La Españita, del canal subterráneo del Río de las Avenidas que atraviesa la ciudad

Se tiene información histórica de grandes inundaciones en la ciudad de Pachuca (Datos proporcionados por el Gobierno del Estado de Hidalgo, Dirección General de Gobernación, 1995), entre las más dañinas en la época moderna se recuerdan:

La del 24 de junio de 1949, registrándose una severa inundación provocada por el la insuficiencia del cauce del Río de las Avenidas, para evacuar el excedente de agua de lluvia, obstruyéndose el claro de los puentes existentes en las cercanías del Mercado Benito Juárez y dando como resultado la muerte de 58 personas y pérdidas materiales de consideración.

El 12 de octubre de 1971 en el municipio de Pachuca (no se especifica exactamente si es en la ciudad) se registran inundaciones en 25 manzanas, afectando 342 casas-habitación, resultando damnificadas 900 personas, desalojándose 186 ante la inminencia del peligro. 2 días después se inunda la colonia Real de Minas alcanzando el nivel del agua 1.50 metros.

Durante el año de 1987 en el municipio de Pachuca se registran 17 inundaciones ocasionando pérdidas por \$55,000,000.00 de pesos. Asimismo, en el mismo municipio durante el año de 1988 se registraron 27 inundaciones arrojando pérdidas por el orden de los \$267,650,000.00 de pesos.

Durante 1989 en el municipio de Pachuca se registran 19 inundaciones ocasionando pérdidas materiales por el orden de los \$322,000,000.00 de pesos.

En el año de 1990 se registran 42 inundaciones en distintos municipios del estado de Hidalgo entre los que se cuenta Pachuca. Durante el año de 1991 en la ciudad de Pachuca se registran 30 inundaciones ocasionando pérdidas materiales por \$68,000,000.00 de pesos.

En el año de 1992 en el municipio de Pachuca se registran 42 inundaciones ocasionando pérdidas materiales por el orden de \$37,000,000.00 de pesos.

El 23 de Junio de 1993, se registró en la ciudad una inundación que afectó 13 colonias comprendidas en diversos sectores.

Como puede observarse, el factor principal de amenaza a que está sujeta la ciudad de Pachuca, es sin duda el de las inundaciones. Este mismo se vuelve gradualmente más peligroso por causa de los asentamientos humanos que avanzan hacia las laderas montañosas. Esto provoca una menor retención del agua, debido a que la vegetación es eliminada; por otra parte, las construcciones se convierten en obstáculos al escurrimiento, de manera que éste se canaliza por las calles y andadores (fotografía 12) convirtiéndose en cauces. De esta forma la infiltración se reduce notablemente por las construcciones y por el endurecimiento de los suelos desprovistos de vegetación.

Las inundaciones en Pachuca se producen en condiciones de lluvias excepcionalmente fuertes -trombas-, en la parte alta de la ciudad o en las laderas de la sierra, en la cuenca del Río de las avenidas, de manera que en forma repentina escurre el agua con un gasto excesivo.

Otro caso que en momento determinado puede representar una amenaza, son las granizadas de fuerte intensidad. Cuando éstas se producen en una cuenca fluvial que alimenta una población, se convierte en un peligro potencial al acumularse el granizo. Posteriormente, la masa se precipita en forma violenta, con un derretimiento inmediato, formando una corriente de agua y lodo. Esto ha ocurrido en Pachuca y en otras partes de la Cuenca de México, causando daños considerables.



Fotografía 12. Los andadores en laderas se convierten en arroyos durante los aguaceros.

Por otra parte, si a las condiciones físicas se une el hecho de que la población, en muchas ocasiones, se asienta en los lugares menos adecuados, en este caso el fondo de los valles (fotografía, 13), la amenaza es mayor.

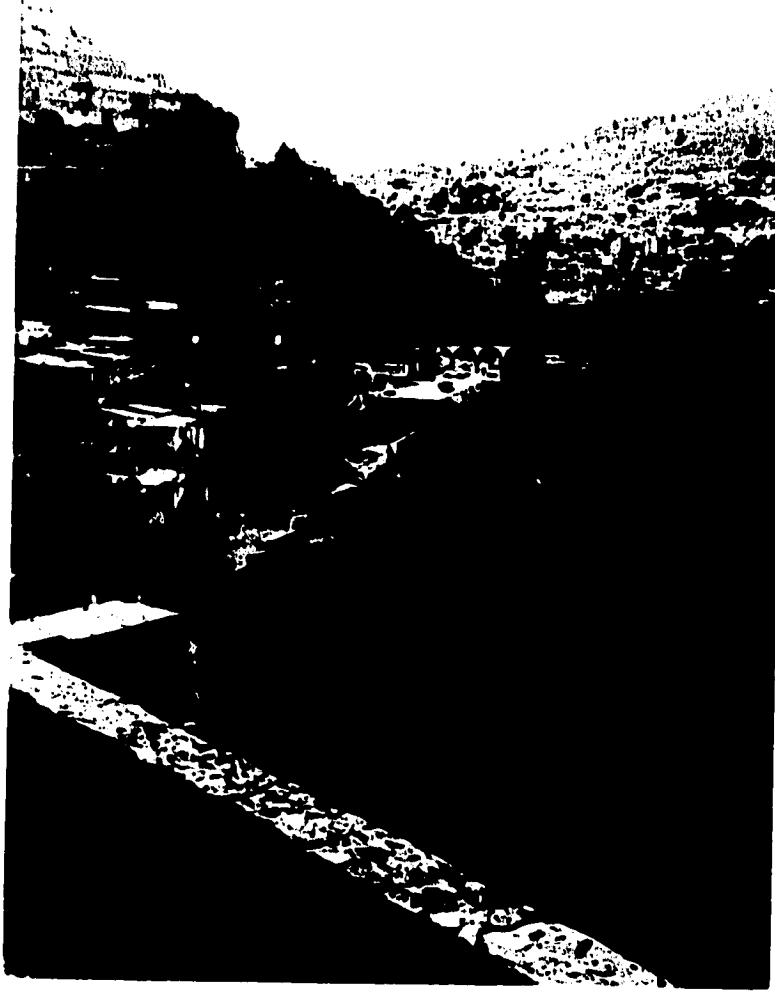
El caso de la ciudad de Pachuca es singular, porque además de estar construida sobre una antigua superficie natural de escurrimiento y desembocadura fluvial (fotografía 14), los factores anteriores aumentan la amenaza. Las precipitaciones pluviales son escasas en el año en la ciudad, aunque con un valor alto a pocos kilómetros de distancia en las laderas montañosas. Se necesita así, un fenómeno meteorológico fortuito para que se produzca una inundación poderosa: una tromba, granizada excepcional en una localidad determinada o lluvias durante más de dos días como las que produjo el huracán Gert en 1993.

b) Erosión superficial en manto.

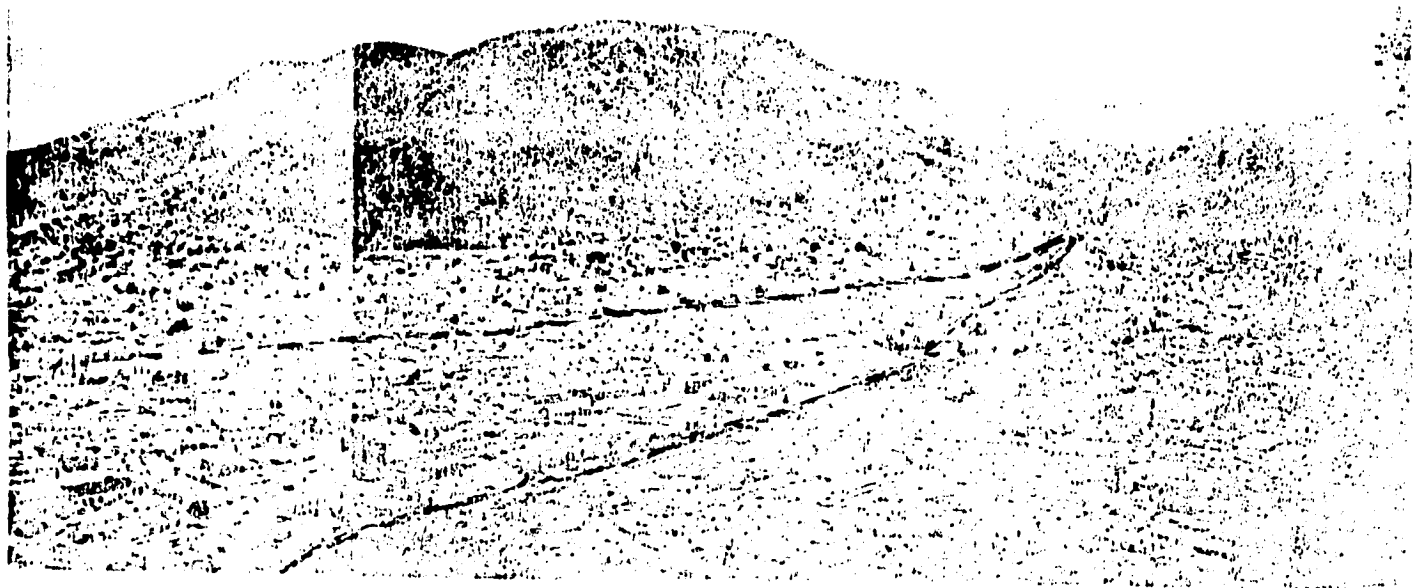
Es otro tipo de fenómeno relacionado con el escurrimiento fluvial, pero en este caso no en forma lineal a través de surcos y cauces, sino en forma planar, a manera de un manto de agua que escurre cubriendo una superficie amplia.

Estos mantos se ven favorecidos además de la pendiente del terreno, por la falta de vegetación y suelos poco permeables. En general no alcanzan un nivel alto sobre el piso, de algunos centímetros y provocan dos tipos de daños: inundaciones, cuya duración depende fundamentalmente del escurrimiento, erosión del suelo, y en época de sequía, son áreas de aporte de material para las tolvaneras.

Las superficies donde se produce este fenómeno, se presentan ampliamente en la zona estudiada, como se puede apreciar en el mapa.



Fotografía 13. Asentamientos en el fondo del valle del Río de las Avenidas (Barrio La Española).



Fotografía 14. Se aprecia el abanico sobre el que se construyó la ciudad. El apice corresponde a la desembocadura del Río de las Avenidas.

c) Flujos de escombros.

1. Arrastre de material detrítico por agua (posibles flujos de lodo).

Se trata de corrientes torrenciales, esporádicas con un alto contenido de materia sólida, flujos de lodo que representan un serio peligro. Se han identificado por dos medios: La topografía y depósitos de material (fotografía 15) que tuvieron su origen en un proceso de este tipo. Se señalan como zonas de amenaza las porciones contiguas al Cerro Espíndola. Este tipo de fenómenos se asocia a eventos meteorológicos extraordinarios y su periodicidad debe ser menor, debido a que son alimentados por cauces de muy corta extensión, lo que reduce la posibilidad de una repentina acumulación de agua en grandes cantidades. Lo contrario ocurre en valles fluviales como el de las Avenidas.



Fotografía 15. Se aprecia al fondo, un circo de erosión con un abanico (cono de eyecciones) contiguo. Un corte artificial expone el material depositado por corrientes de lodo. La localidad es un campo de tiro al occidente de la ciudad.

Los valles colmatados, representados también en el mapa, son masas de sedimentos en condiciones inestables, de manera que la ruptura de su equilibrio por una corriente poderosa, los transformaría en un flujo lodoso (fig. 22).



Fig. 22. Valle colmatado por la presencia de depósitos residuales "jales", a manera de un pequeño embalse, en su desembocadura. La situación de amenaza está representada por la falta de capacidad de los "jales" (materiales no consolidados) para contener volúmenes extraordinarios de agua suministrados por lluvias torrenciales en época de ciclones y nortes. Esta situación mantiene el peligro latente de un flujo lodoso que afectaría en forma directa al "Barrio La Española".

2. Depósitos susceptibles a ser transportados por agua.

En este caso es mucho más notoria la influencia humana en la modificación del relieve y la creación de amenazas. Los depósitos artificiales de material (jales y terreros) en laderas de fuerte pendiente y cercanas a cauces fluviales (fotografía 16), pueden combinarse con agua en el caso de una lluvia torrencial, formando un flujo de lodo. Esto se ha observado principalmente en la porción occidental: La formación de estos depósitos de material, originalmente no representaba peligro, porque los asentamientos humanos se encontraban fuera de su alcance, pero en los últimos años, las construcciones han avanzado laderas arriba, situándose incluso en una zona de amenaza (fig. 23).



Fotografía 16. Depósitos artificiales de material bordeados por dos corrientes fluviales. En caso de una lluvia extraordinaria, es posible que se forme una corriente de lodo

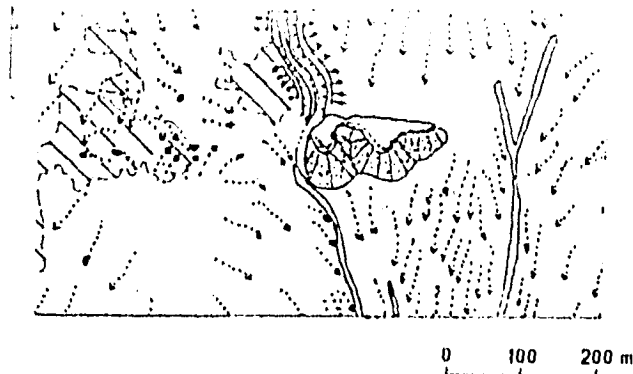


Fig. 23. Depósito de "jales" que se encuentran en la porción media de un valle fluvial, localizado al noroeste del fraccionamiento "Lomas de Villa Hermosa". El desarrollo urbano de la ciudad de Pachuca, para este sector, ocupa terrenos que potencialmente pueden ser afectados por el desarrollo de flujos lodosos, provocados por la pérdida de cohesión y fricción por saturación de agua fluvial de los materiales residuales "jales".

3. Remoción en antiguos depósitos de flujo de lodo.

La remoción del material poco consolidado que ha sido acumulado por las corrientes de lodo se aprecia que puede ser transportado en un volumen considerable, es decir, la regeneración de un flujo de lodo (Fotografía, 17).



Fotografía 17. Esta escuela al occidente de la ciudad, se encuentra asentada sobre un antiguo depósito de corriente de lodo.

d) Circos de erosión activos.

Son las cabeceras de cuencas fluviales. En el caso de la zona de Pachuca se trata de anfiteatros anchos, en comparación con el cauce que nace en los circos y termina a poca distancia. Son en principio, formas activas por la caída de rocas que se produce con frecuencia en las laderas de fuerte pendiente, incluso vertical.

En la superficie donde nacen los arroyos, se acumula una cantidad considerable de material detrítico grueso, mismo que gradualmente es transportado por las corrientes torrenciales.

Los circos de erosión representan así áreas que se ven amenazadas en dos formas distintas. La primera por las construcciones que se hagan en sus bordes exteriores o en su interior. La segunda, porque son zonas donde se inician corrientes poderosas de agua y lodo, aunque esto ocurre en casos excepcionales. Se requiere de la presencia de material suelto, roca muy alterada de las laderas y sobre todo, que se produzca una lluvia o granizada extraordinarias, precisamente en el circo, sea una tromba o un ciclón, como los recientes Gilberto (1988), Diana (1990) y Gert (1993).

Semejante al proceso de desprendimiento de rocas en las paredes de los circos de erosión, es el de los escarpes (fotografía 18), comunes en la zona de estudio. La amenaza es más evidente, cuando los asentamientos humanos se asientan a corta distancia bajo las paredes rocosas.



Fotografía 18. Casas construidas en la base de un escarpe rocoso, donde es posible que se presente la caída de rocas. Al fondo se aprecia un circo erosivo con grandes bloques en su base.

e) Laderas en retroceso de valles fluviales.

Este fenómeno común en la evolución de valles fluviales por la socavación de la base que hacen las aguas de escurrimiento y la posterior caída de rocas, no debe representar un riesgo para el hombre. Generalmente son fenómenos de poca magnitud, de derrumbes de hasta algunas decenas de toneladas, que se producen durante las lluvias torrenciales: Los problemas resultan por las construcciones imprudentes, generalmente casas improvisadas, en los bordes de los valles o en las laderas inferiores (Fotografía 19) con procesos de erosión activos. O en otros casos, al habitar las porciones inferiores que pueden ser dañadas por el derrumbe.

Casos como los anteriores se produjeron en el verano de 1992 en la ciudad de México en las delegaciones Cuajimalpa y Alvaro Obregón.



Fotografía 19. Construcciones en la ladera inferior del Río de las Avenidas.

II. INESTABILIDAD DE LADERAS.

a) Cimas aisladas donde se produce la caída de rocas.

Un fenómeno típico de la erosión que pone al descubierto las rocas en las partes altas de las elevaciones, afectadas por el intemperismo, junto con la influencia de la gravedad y el agua de lluvia, provocan la caída de rocas (Fotografía 18), proceso distinto a los derrumbes por la pequeña magnitud del mismo y más frecuente. Las rocas desprendidas se depositan a corta distancia, al pie de un escarpe, y solamente en condiciones de fuerte pendiente y escasa vegetación, pueden alcanzar distancias de varios cientos de metros.

En algunos casos, el hombre mediante la creación de obras de infraestructura, desestabiliza las laderas provocando que el fenómeno se presente. El caso más común es el que se presenta en los cortes de carretera (Fotografía 20).

Este fenómeno visto como una amenaza es semejante a otros mencionados, donde la construcción imprudente de casas en la zona afectada por la caída de rocas las pone en peligro: Esto se reconoció en las laderas montañosas al norte de la zona estudiada.

En el caso de una amenaza de este tipo, lo recomendable es delimitar la zona en que no debe permitirse ningún tipo de construcción.



Fotografía 20. La caída de rocas es frecuente en los afloramientos rocosos creados por los cortes de carretera.

b) Reptación del manto superficial o "creep".

Este fenómeno fue detectado en las laderas del cerro Cubitos. En un principio fue catalogado como potencial ya que las características del material superficial eran susceptibles para su desarrollo. En septiembre de 1994, el proceso se hizo presente en la ladera noroccidental del cerro Cubitos, en la colonia del mismo nombre, con el agrietamiento de un grupo de 7 casas. En el anexo periodístico se muestra la problemática de este fenómeno. El trabajo de campo realizado, mostró que las casas afectadas, con grietas, se localizaban en la zona de contacto entre la ladera rocosa y el piedemonte, este hecho es importante, ya que las construcciones que se encuentran sobre el sustrato rocoso no fueron afectadas (fotografía 21).

Hay que mencionar que durante la visita realizada a la zona en cuestión (7 de septiembre de 1994), se contó con información proporcionada por la Compañía Real del Monte para el sector de la mina "El Alamo", la cartografía mostrada no reportaba la existencia de tiros o galerías. Sin embargo, el 26 de marzo de 1995 se da a conocer el derrumbe de casas por "hundimientos" de supuestas galerías hechas por gambusinos, por lo tanto "no reportadas" en los bancos de información de la compañía minera (ver anexo periodístico).

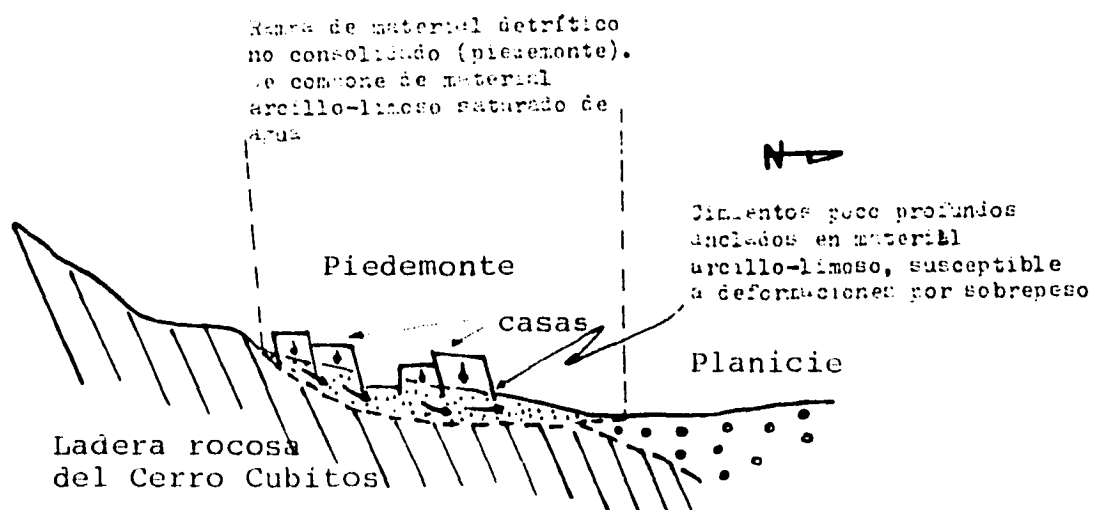
La zona afectada presenta las siguientes características, relacionadas con el fenómeno de reptación del manto superficial o "creep":

1. Paredes agrietadas y despegadas de su posición original, puertas descuadradas y pisos "botados hacia arriba".
2. Humedad en las paredes y grietas longitudinales a lo largo de los muros que guardan la misma dirección de la pendiente.
3. Las construcciones se localizan sobre una rampa de material detrítico no consolidado (arcillas y limos). Dicha rampa es una zona de transición entre la ladera rocosa del Cerro Cubitos y la zona de planicie. Las características que presenta dicho material, se muestran en la columna 4.

En base a las observaciones realizadas se deduce que el arrastre o reptación del talud, es activado por la presencia de agua en el subsuelo, junto con los factores condicionantes del proceso, descritos anteriormente (inciso 5.2.). Las lluvias, aunque escasas, provocan la reactivación del movimiento, que se traduce en daños a las viviendas.

Las ideas que se exponen no contradicen el dictamen de "hundimiento de galerías", ya que este fenómeno bien pudo dar inicio a la reptación o "creep". La presencia de agua en las obras subterráneas (inundadas), pudo provocar la saturación del material (sustrato rocoso y rampa acumulativa), activando el proceso de la reptación. El debilitamiento de la roca (por la obra misma, el grado de fractura y el intemperismo) pudo favorecer el colapso de galerías.

Existe la posibilidad de que este proceso se extienda a los sitios que presentan las mismas condiciones (fig. 21), así como la posibilidad que aumente en velocidad y magnitud evolucionando a un deslizamiento de tierras.



Fotografía 21. Las casas se encuentran en la zona de contacto entre las laderas rocosas del cerro de Cubitos y el piedemonte. Este es el límite del área donde se presenta el fenómeno de reptación, las construcciones asentadas sobre el material deleznable son las que han sido afectadas por el proceso.

Por último, es importante mencionar que los colapsos ocasionados por la presencia de obras mineras no son imposibles. Al norte de la ciudad se ha observado uno de

grandes proporciones (Fotografía 22) y otro menor en las proximidades del poblado El Cerezo. Sin embargo, dada la magnitud de las obras mineras y su antigüedad, es de hacer notar la ausencia de daños en la superficie, a diferencia de lo que ha ocurrido con las inundaciones.



Fotografía 22. A poco más de un Km al norte de la ciudad se produjo un colapso por debilitamiento del subsuelo, causado por las obras mineras.

CONCLUSIONES.

1. La ciudad de Pachuca de Soto, Hgo., fue construida en una zona cuyas características físicas (clima, topografía, litología, etc.), la mantienen amenazada por distintos riesgos de origen natural. Para este trabajo nos abocamos específicamente a los de tipo geomorfológico, siendo los principales los de origen exógeno.
2. La amenaza más importante que existe en la ciudad, es la de las inundaciones, ya que ésta fue fundada exactamente en la zona donde el Río de las Avenidas abandona las laderas montañosas para escurrir por una planicie inclinada, depositando gran parte de su carga y expandiéndose a los lados para formar un gran abanico o cono de eyecciones. Las crecidas extraordinarias que producen grandes inundaciones son esporádicas, por lo mismo, la amenaza siempre está presente.
3. Otras corrientes de menor longitud, escurren por las laderas meridionales de la sierra. Estas son formadas por una cabecera en forma de circo, con un canal natural que desemboca a poca distancia para formar un abanico o cono de eyecciones: En éstos también existe la posibilidad de inundación con flujo de lodo, aunque por las dimensiones, la posibilidad es más remota.
4. Al occidente de la ciudad la mancha urbana está avanzando hacia el norte, sobre los abanicos. Además de que existe la amenaza por inundación y de la creación de posibles flujos lodosos, es recomendable evitar el crecimiento hacia estas zonas, ya que son por naturaleza áreas ideales para la recarga de los mantos freáticos.
5. Si bien en un principio, la riqueza geológica de la Sierra de Pachuca fue la que atrajo a la población a estas regiones; ahora estas mismas características (presencia de vetas y fallas y por consecuencia lugares en los que la roca se encuentra totalmente alterada), así como el crecimiento de la ciudad, tienen como consecuencia que la población se ubique en lugares donde existe una amenaza constante por la caída de rocas. Esto se observa principalmente al norte de la ciudad donde existen construcciones en la base de grandes escarpes rocosos y circos erosivos con pendientes abruptas.
6. El crecimiento que tiene la ciudad hacia las laderas montañosas, puede tener graves consecuencias. En algunos casos, como en el Cerro de Cubitos, el terreno es firme por abajo de una capa delgada de material no consolidado. Sin embargo, predominan las construcciones improvisadas, esto provocó que en septiembre de 1994 un grupo de casas en la colonia Cubitos, fuera afectada por un fenómeno de reptación o creep, agrietando muros, levantando pisos y alarmando a la población. En marzo de 1995, el fenómeno aumentó en magnitud y velocidad convirtiéndose en un gran deslizamiento de tierras, destruyendo y afectando algunas casas. Las laderas de la Sierra de Pachuca muestran zonas de roca dura y resistente, así como también, otras deleznales inconvenientes para la construcción, en estas últimas hay numerosas casas improvisadas.
7. Los estudios sobre riesgos naturales pueden encontrar en la geomorfología una de las herramientas más útiles para la detección y localización de áreas que por sus características físicas, principalmente, representan una amenaza. Estudios de este tipo

pueden servir como punto de partida, para la realización de trabajos más complejos, en los que sean consideradas todas las variables posibles, tanto físicas como socio-económicas

8. Para el caso particular de Pachuca, es recomendable un seguimiento anual de los cambios de la mancha urbana y de los daños que se producen por fenómenos naturales. Esto con el fin de comprender mejor este problema y tomar las medidas más adecuadas..

BIBLIOGRAFIA.

- BATES, R.L. and JACKSON, J.A. 1984. Dictionary of geological terms. Third edition. Anchor books, New York.
- BELOUSOV, V.V. 1979. Geología estructural. Ed. Mir. Moscú.
- BOLT, B.A., HORN, G.A et al. 1977. Geological Hazards. 2nd Edition. Springer-Verlag. New York.
- CALVO, F. La Geografía de los riesgos. *Geocritica Internacional*, No. 54. Facultad de Geografía e Historia. Universidad de Barcelona. Barcelona, España, noviembre 1984
- CARDONA, O. 1993. Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. pp. 51-74. en: Los desastres no son naturales. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en America Latina. Colombia.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. La prevención de los desastres en México. Fascículo 1. Secretaria de Gobernación, México, enero 1990.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. Inundaciones. Fascículo 3. Secretaria de Gobernación, México, febrero 1992.
- CERVANTES, J. 1983. Genesis, morfología y clasificación de los suelos de la Cuenca de México. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias, UNAM.
- CLAGUE, J. 1982. The role of Geomorphology in the identification and evaluation of natural hazards. pp 17-43. en *Applied Geomorphology*. Edited by Richard G. Craig. Allen & Unwin, London.
- COQUE, R. 1984. Geomorfología. Alianza. Madrid, España.
- CORDERO, M. 1992. El origen y evolución del relieve en la Delegación Alvaro Obregón. Tesis Profesional, Lic. en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.
- DAKOMBE, R.V. and GARDINER, V. 1987. Geomorphological field manual. G. Allen and Unwin, Londres.
- DE CSERNA, Z., DE LA FUENTE, M., PALACIOS, M., TRIAY, L., MITRE, L.M. Y MOTA, R. 1988. Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca de México./ Boletín 104 del Instituto de Geología. UNAM, México.
- DE CSERNA, Z., MOSIÑO, P.A. y BENASSINI, O. 1974. El escenario geográfico (primera parte). SEP-INAH, México, D.F.

- DOMINGUEZ, R. y SANCHEZ, J.L. Las inundaciones en México. Proceso de formación y formas de mitigación. CENAPRED, Coordinación de Investigación Riesgos Hidrometeorológicos. México. Septiembre 1990.
- DRIESSEN, P.M. and DUDAL, R. 1989. Lecture notes on the Geography, formation, properties and use of the major soils of the world. Agricultural University Wageningen, The Netherlands. Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.
- DUCHAFOUR, P. 1984. Edafología. Masson. Barcelona, España.
- FRIES, C. 1962. Resumen de la Geología de la hoja Pachuca, Estados de Hidalgo y México (mapa escala 1:1000,000 y texto). Instituto de Geología, UNAM.
- GARCIA AMARO, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México.
- GARCIA ARIZAGA, M. 1992. Mapas topográficos representativos de la geomorfología de México. Tesis profesional, Lic. en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México .
- GARCIA ROMERO, A. 1993. Análisis geomorfológico de la distribución de riesgos naturales en la Delegación de Cuajimalpa de Morelos, Distrito Federal. Tesis profesional, Lic. en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.
- GARES, P.A., SHERMAN, D.J. and NORDSTROM, K.F. Geomorphology and natural hazards. pp. 1-19. *Geomorphology*. Vol. 10 - Nos.1-4. August 1994.
- GELMAN, O. y MACIAS, S. Aplicación del enfoque sistémico para el estudio interdisciplinario de desastres. Conferencia Mundial de Sistemas. Resúmenes extendidos. Caracas. Venezuela. Julio, 1983.
- GEYNE, A.R. 1956. Las rocas volcánicas y los yacimientos argentíferos del distrito minero de Pachuca-Real del Monte, Estado de Hidalgo. XX Congreso Geológico Internacional, libreta guía A3 y C1, México.
- GEYNE, A.R., FRIES, C., SEGERSTROM, K., BLACK, R.F., y WILSO, I.F. 1963. Geología y yacimientos minerales del Distrito de Pachuca-Real del Monte, Estado de Hidalgo, México. Consejo de Recursos Naturales no Renovables, México.
- GORSHKOV, G. y YAKUSHOVA, A. 1970. Geología General. Mir, Moscú, URSS.
- GRIGGS, G. & GILCHRIST, J. 1977 83. Geologic hazards, resources and environmental planning. Wadsworth, Belmont, Ca., USA.
- HARO, J.C. 1902, Consideraciones generales sobre el desasolve del Río de Pachuca.
- HART, M. G. 1986. Geomorphology, pure and applied. Allen & Unwin, London.

- HUIZAR, R. 1993. Carta Hidrogeológica de la Cuenca del Río de las Avenidas, de Pachuca, Hgo., México. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, No. 27. México.
- INEGI. 1990. Guías para la interpretación de cartografía edafológica. INEGI, México.
- INEGI. 1990. Hidalgo. Resultados definitivos, datos por localidad (integración territorial). XI Censo General de Población y Vivienda. INEGI, México.
- INEGI. 1992. Síntesis Geográfica del Estado de Hidalgo. INEGI, México.
- INEGI. 1993. La Minería en México. Edición 1993. INEGI, México.
- KOSTENKO, N. 1975. Geomorfología Estructural. Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F.
- LUGO, J. 1988. Elementos de Geomorfología Aplicada (Métodos cartográficos). Instituto de Geografía, UNAM. Mexico, D.F.
- LUGO, J. 1989. Diccionario Geomorfológico. UNAM, México, D.F.
- MOOSER, F. 1981. Geología de la Cuenca de México. Atlas de la Ciudad de México. DDF. México, D.F.
- MOOSER, F., TAMEZ, E., et al. 1992. Características Geológicas y Geotectónicas del Valle de México. Comisión de Vialidad y Transporte Urbano. México, D.F.
- ORTIZ, M.A. y OROPEZA, O. 1992. Consideraciones Críticas sobre la Investigación Geográfica de los Desastres de Origen Natural. *Geografía y Desarrollo*, revista del Colegio Mexicano de Geógrafos Postgraduados A.C., Año 4, Vol. 3, No.7, Ciudad Universitaria, México, D.F.
- ORTIZ, M. y RAMOS, L. 1984. Geomorfología del Extremo Norte de la Cuenca de México y Zonas Adyacentes. Tesis profesional, Lic. en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM,
- PAZ, S. 1987. Geología para ingenieros. Ed. Pueblo y educación. La Habana, Cuba.
- PEREZ, M.L. 1971. Estudio geográfico del Estado de Hidalgo. Tesis profesional, Lic. en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México.
- RACHOCKI, A. 1981. Alluvial fans. An attempt at an empirical approach. J. Willey and Sons. N.Y., USA.
- ROMERO, G. Y MASKREY, A. 1993. Como entender los desastres naturales. pp. 1-7 en: Los desastres no son naturales. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en America Latina. Colombia.

- SALAS, M.A. y DOMINGUEZ, R. Desarrollo de un modelo para predicción de avenidas a partir de datos de lluvia (primer informe parcial). Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED. Enero 1992.
- SANCHEZ, G. M. 1992. Deterioro ambiental y regeneración urbana en la ciudad de México. El caso de las barrancas en la Delegación Alvaro Obregón. Tesis profesional, Lic. en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- SCHOLZ, E. 1978. Definition of geomorphological maps. p.36. en: Guide to medium-scale geomorphological mapping. Editors: Jaromir Demek and Clifford Embleton. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung-Stuttgart
- **Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1986. Evaluación de daños causados por inundaciones y perturbaciones atmosféricas en la República Mexicana. SARH, Dirección General de Control de Ríos e Ingeniería de Seguridad Hidráulica. México.**
- **Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. 1979. Sistema de información para el diagnóstico continuo del desarrollo urbano del Estado de Hidalgo. SAHOP. México.**
- **Secretaría de la Economía Nacional. 1943. VI Censo de Población 1940, Hidalgo. Secretaría de la Economía Nacional, Dirección General de Estadística. México.**
- **Secretaría de Economía. 1950. VII Censo General de Población, 1950, Estado de Hidalgo. Secretaría de Economía, Dirección General de Estadística. México.**
- **Secretaría de Industria y Comercio. VIII Censo General de Población, 1960, Estado de Hidalgo. Secretaría de Industria y Comercio, Dirección General de Estadística. México, 1964.**
- **Secretaría de Industria y Comercio. 1970. IX Censo General de Población, 1970, Estado de Hidalgo. Secretaría de Industria y Comercio, Dirección General De Estadística. México.**
- **Secretaría de Programación y Presupuesto. 1980. X Censo General de Población y Vivienda, 1980, Estado de Hidalgo, Vol. I, Tomo 13.SPP, INEGI. México.**
- **SEGERSTROM, K. 1961. Geología del Suroeste del Estado de Hidalgo y del Noreste del Estado de México. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 13 (3-4), México, D.F.**
- **SEGERSTROM, K. Geology of south-central Hidalgo and northeastern México, México. U.S. Geological Bulletin, 1104-C. 1962.**
- **SIMONOV, Y. G. 1972. Análisis geomorfológico regional. Universidad Estatal de Moscú, Lomonosov. Moscú, URSS.**

- SIMONOV, Y. G. 1985. Análisis morfométrico. Universidad Estatal de Moscú, Lomonosov. Moscú, URSS.
- SMITH, K. 1992. Environmental Hazards, Assessing Risk and Reducing disaster. Roughtledge, London.
- STRAHLER, A. 1981. Geografía física. Omega. Barcelona, España.
- THORNBURY, W. 1960. Principios de Geomorfología. Ed. Kapelusz. Buenos Aires.
- VAZQUEZ, E. y JAIMES, R. 1988. Geología de la Cuenca de México. *Geofísica Internacional*. Vol. 28-1, No. 2. Instituto de Geofísica, UNAM. México.
- VERSTAPPEN, H. TH. 1983. Applied Geomorphology. International institute for aerial survey and earth science (ITC). Enshede, The Netherlands.
- WEYMAN, D. and WEYMAN, V. 1981. Landscape processes, an introduction to geomorphology. Allen and Unwin, London, U.K.
- WILCHES-CHAUX, G. 1993. La Vulnerabilidad Global. pp. 9-50 en: Los desastres no son naturales. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en America Latina. Colombia.
- ZAMORANO, J.J. 1990. Análisis ingeniero-geomorfológico de la Cuenca de México. Tesis doctoral. Universidad Estatal de Moscú, Lomonosov. Moscú, URSS. (en ruso).

ANEXO PERIODISTICO

LA PRENSA.
Septiembre 6, 1994

Hidalgo

Temor Entre Seis Familias por Grietas en sus Casas

PACHUCA, Hgo., - Paredes agrietadas, pisos con todo y sus muros botados hacia arriba, bardas despegadas de su posición original y puertas descuadradas, mantienen a la expectativa y preocupación a cerca de cuarenta personas, entre niños y adultos, de seis familias que han ido observando desde hace tres semanas aproximadamente cómo sus casas cada día son más inseguras.

"Me levanté un día en la madrugada y escuché cómo crujía una pared del baño, y a la mañana siguiente, el aplanado ya se había caído por una grieta que apareció en su lugar". Así lo señaló una de las personas afectadas que viven en la calle Monterrey de la Colonia Cubitos de esta ciudad, lugar en donde, al parecer y según sus sospechas, este problema es debido a que anteriormente, a escasos cien metros de sus hogares, realizaba sus trabajos subterráneos la Mina del Alamo, de la Compañía Real del Monte, la cual dejó de operar hace apenas un año, por lo que existe el temor de que esto sea debido a que se hayan excavado túneles debajo de sus hogares.

Con esta preocupación los habitantes de este lugar se presentaron hace días ante las autoridades municipales con un escrito donde le exponían su problemática y solicitaban ayuda para arreglar su situación, pues ya se dio el caso de que una de las personas afectadas abandonó su hogar debido al temor de que

pueda venirse abajo, pues cada vez son más constantes los ruidos extraños y crujidos que provienen de la tierra.

Sin embargo, pasaron varios días antes de que se presentaran en este lugar Juan José Castillo del Rosal, arquitecto de Obras Públicas de la presidencia municipal, Leonardo González Neri, funcionario de Protección Civil y geólogos de la Compañía Real del Monte para investigar los hechos y verificar lo señalado por los vecinos de la colonia.

Estas personas, después de hacer un recorrido por las casas dañadas, indicaron a los afectados que lo que tenían que hacer era colocar unas señales "testigo" en las grietas existentes, y en caso de que notaran que éstas se continuaran extendiendo, se les notificara para ir a hacer los estudios necesarios, por lo pronto, en unos días se les comunicaría a estos habitantes si es que existe algún riesgo o no para que sigan habitando sus hogares.

De la misma forma se les indicó que no tenían por qué temer, ya que probablemente esto era debido a que pudiera existir algún movimiento de la tierra causado por un asentamiento de los terrenos del Alamo, por lo que en caso de que sus hogares estuviesen dentro de los linderos de propiedad de la mina, ya las autoridades no podrían hacerse responsables de los daños que pudieran surgir pues pertenecen a la compañía Real del Monte.

EL SOL DE HIDALGO
Agosto 31, 1994

EL SOL DE HIDALGO
 ORGANIZACIÓN EDITORIAL MEXICANA
VENTA DE:
 • CASAS • CONDOMINIOS
 • LOCALES COMERCIALES
 EN
 PACHUCA, TLANCINGO,
 ACTOPAN Y TIZAYUCA
 TEL 2-10-70, 2-48-77, 2-66-82

El Sol de Hidalgo

Información en la parte central

Coca-Cola
 REFRIGERAR AL MÁXIMO
 PARA QUE SU SABOR
 SEA EL MEJOR
 INSTALANDO LA BOMBA
 PARA LAS GASEOSAS



Organización
Editorial Mexicana

Mario Vázquez Raña
Presidente y Director General

Guillermo Chao E.
Vicedirector de Información

Pachuca, Hgo., Miércoles 31 de Agosto de 1994

Fausto Marín Tamayo
Director General

AÑO
Nº 1

HUNDIMIENTOS EN CUBITOS



Piden los auxilio Protección Civil

Por NORBERTO LOAIZA

Vecinos de la colonia Cubitos lanzaron una llamada de auxilio a la Comisión de Protección Civil, para que verifique los daños que sufren sus viviendas a consecuencia de los hundimientos de tierra que se registran, lo que les causa temor a morir sepultados. Piden que se hagan estudios geológicos y determinen si hay peligro.

Humberto Baños Trejo fue quien pidió la presencia de los reporteros, para mostrarles las fracturas que han registrado los inmuebles, además de separación de banquetas.

El señor Adolfo Arroyo Navarro, quien tiene su domicilio en la calle Monterrey número 100, incluso, abandonó su casa porque después de un trueno en el subsuelo, vio cómo los mosaicos del patio de su casa saltaban.

La calle Monterrey es la que conduce al acceso de la mina El Alamo, lo que hace sospechar a los habitantes de la colonia Cubitos, que se registran hundimientos de túneles que se reflejan en la superficie donde están asentadas sus viviendas.

Humberto Baños Trejo, Manuel Trejo Chávez, Josefina Baños Trejo, Yolandá Chávez Campero, Constantino Baños Trejo y Adolfo Arroyo Navarro, son los jefes de familia que mostraron las cuarteaduras de muros, pisos, traves de sus casas, cómo se arquean los marcos de las puertas.

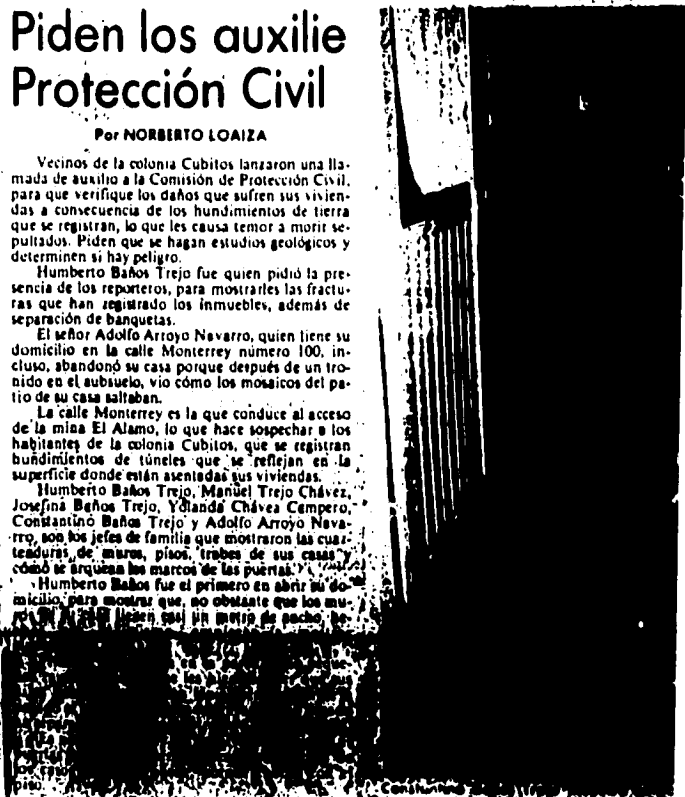
Humberto Baños fue el primero en abrir su domicilio, para mostrar que, no obstante que los muros de la casa tienen un metro de ancho, se

La madre muere, con el índice, la grieta que cruza de lado a lado el muro, en el cuarto donde duerme junto con sus hermanos. Sus padres toman por su vida y, por ello, solicitaron la intervención de la Comisión de Protección Civil. (Fotos: José Luis Madrid)

Consternación general por la tragedia

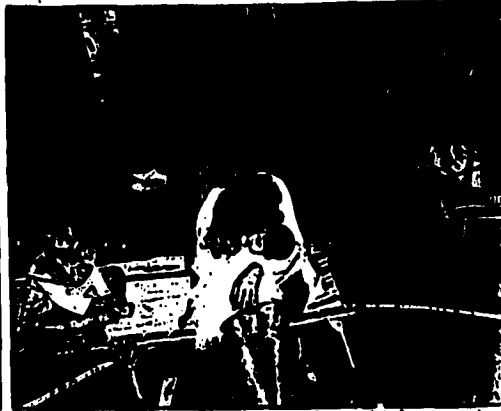
Curso legal en la P.I.E.

El curso legal en la P.I.E. (Procedimiento de Investigación y Ejecución) es un tema de gran importancia para los estudiantes de la carrera de Derecho. Este curso se centra en el estudio de los procedimientos legales que se aplican en materia de ejecución de sentencias y procedimientos de investigación de delitos. El curso es impartido por el profesor [Nombre], quien es un experto en esta materia. El curso se divide en varias unidades, donde se abordan temas como: el procedimiento de ejecución de sentencias, el procedimiento de investigación de delitos, y el procedimiento de ejecución de penas. El curso es muy práctico, ya que se analizan casos reales y se aplican los principios legales a situaciones concretas. El curso es muy interesante y útil para los estudiantes de la carrera de Derecho.



Como se informó oportunamente, a través de la Comisión de Protección Civil, se solicitó la intervención de la Comisión de Protección Civil, para que verifique los daños que sufren sus viviendas a consecuencia de los hundimientos de tierra que se registran, lo que les causa temor a morir sepultados. Piden que se hagan estudios geológicos y determinen si hay peligro.

Lunes 27 de Marzo de 1995 • LA PRENSA • 22



Un deslizamiento de tierra en el Cerro de Las Animas, en Pachuca, Hgo., dejó sin hogar a ciento cincuenta personas que fueron alojadas en un gimnasio. Esperan en estos momentos más deslizamientos de tierra.

Deslizamiento de Tierra Sepultó 4 Casas en Hidalgo

PACHUCA, Hgo., 26 de marzo.— Alrededor de centenar y medio de personas quedaron sin hogar luego que cuatro casas se derrumbaron y

hundieron, en tanto otras 18 más resultaron gravemente dañadas con cuarteles, al

Por EMILIO LOPEZ PEÑA, Corresponsal

registrarse esta madrugada deslizamientos y acomodamientos en el cerro de Las Animas, donde se asienta la Colonia Cubitas.

La alarma cundió al registrarse fuertes crujidos en el suelo, aproximadamente al filo de la medianoche. Personal del Servicio de Protección

Civil y del Ejército pusieron a marcha el Plan III en su etapa preventiva, informó el comandante de la XVIII Zona Militar Juan Manuel Aguilar Ortiz, mismo que ordenó la evacuación.

Por su parte, el gobernador del Estado, Jesús Murillo Karam, luego de realizar varios recorridos por la zona que se extiende en un perímetro de por lo menos dos kilómetros, ordenó la ampliación del acordonamiento realizado por elementos de seguridad pública.

En tanto, elementos del Ejército, así como personal de Protección Civil Estatal, allanaron y dan asistencia a las personas en el gimnasio Miguel Alemán, donde fueron alojadas en forma improvisada.

Aunque el gobierno del Estado ordenó la demolición de seis de las 22 casas afectadas, no fue necesaria la medida, pues cuatro de ellas desaparecieron poco después de ser tragadas por el suelo, en un espectacular movimiento de tierra que fue presenciado por aterrados vecinos de Cubitas.

EXCELSIOR.
Noviembre 6, 1994

Habitantes Piden ser Reubicados, Señala A Punto de Caer un Peñasco Sobre 24 Casas en Pachuca: López Casiano

RAFAEL MEDINA GONZALEZ, co-responsal

PACHUCA, Hgo., 5 de noviembre.— Por lo menos 24 familias que tienen asentadas sus viviendas en la falda del cerro de San Cristóbal, en el barrio Nueva Estrella, primera sección, deben ser reubicadas porque un peñasco amenaza con caer, advirtió hoy el juez de barrio de ese lugar, Benigno López Casiano.

La reubicación quedó suspendida luego de que el ex director de Desarrollo Urbano de la presidencia municipal, Juan José Castillo del Rosal, renunciara a su cargo, pues era él a quien se le había encomendado la solución de este problema, luego de estudios hechos por el sistema estatal de Protección Civil (PC) y el propio ayuntamiento, el cual declaró "zona de alto

riesgo" este lugar, mencionó.

Las 24 familias se asentaron en un lugar "ciento por ciento riesgoso", pues se trata de una zona minada, dado que existen tiros de las minas del Alamo y otras de la Compañía Real del Monte.

El juez de barrio manifestó que las familias de este lugar están dispuestas a reubicarse al lugar que les sea asignado, empero los trámites se han detenido.

Sin embargo, dijo finalmente, hay preocupación entre los habitantes por reubicarse, porque la zona en donde se asientan es insegura en su totalidad, por lo cual se pedirá a la presidencia municipal agilizar los trámites a fin de enviar a las familias al parque de poblamiento.

LA JORNADA.
Marzo 27, 1995

EL PAÍS  La Jornada

LUNES 27 DE MARZO DE 1995

■ Hay 148 personas damnificadas

Daña viviendas un deslizamiento de tierras en un cerro de Pachuca

Carlos Camacho, corresponsal, Pachuca, Hgo., 26 de marzo □ Un deslizamiento de tierras en el cerro de las Animas, de la colonia Cubitos, provocó esta madrugada el derrumbe de tres viviendas, dañó otras 19 y dejó a 148 damnificados. El Ejército Mexicano aplicó el Plan DN-III para "prevenir un desastre", explicó Juan Manuel Aguilar Ortiz, comandante de la décima octava zona militar.

El gobernador Jesús Murillo Karam, presente en el lugar desde la media noche hasta esta mañana, determinó instalar a los damnificados en un albergue improvisado en el gimnasio Miguel Alemán, a una cuadra del palacio de gobierno.

El deslizamiento de tierras en el cerro de las Animas, donde se ubica la mina El Alamo, comenzó a sentirse desde anoche, según versiones de algunos de los afectados, quienes abandonaron sus casas ante el temor de que se vinieran abajo.

Toda la zona, en un perímetro de dos kilómetros, fue acordonada por miembros de la policía estatal y el Ejército Mexicano y los habitantes de ese populoso sector fueron evacuados.

De acuerdo con informes proporcionados por Fernando Navarrete Zorrilla, "di-

rector del Sistema Estatal de Protección Civil, los primeros "acomodamientos" de tierra se registraron en septiembre pasado, "pero lo más grave fue esta madrugada, cuando se hundió una casa a una profundidad de diez metros, otras dos más se derrumbaron en el transcurso de esta mañana y se teme que los deslizamientos provoquen más hundimientos.

En su recorrido por el lugar, el gobernador Jesús Murillo Karam ofreció a los habitantes de la zona realizar un estudio a conciencia para determinar las causas que originaron el deslizamiento. Mientras tanto, ordenó que nadie habitara el lugar hasta que los movimientos de tierra cesen.

También dispuso el gobernador que un grupo de ingenieros estudie en el lugar las causas de este problema que, a decir del mismo Murillo Karam, se debe quizá a la intensa actividad minera.

No quiso adelantar la cuantificación de los daños pues los hundimientos y derrumbes "podrían continuar en las próximas horas". Justo cuando ofrecía una conferencia de prensa, Murillo Karam fue notificado del derrumbe de una casa más en cuyo sitio quedó un gran hoyo de unos 20 metros de diámetro.

EXCELSIOR.
Marzo 29, 1995

Cinco más Presentan Cuarteaduras de Alto Riesgo Suman ya 500 los Afectados y 4 las Casas Derrumbadas por el Hundimiento en el Cerro Las Animas: J. Romero

RAFAEL MEDINA GÓNZALEZ, corresponsal

PACHUCA, Hgo., 28 de marzo.— Debido al hundimiento de tierra ocurrido el pasado fin de semana en el cerro de Las Animas, en la colonia Cubitos de esta ciudad, suman ya cuatro casas derrumbadas y cinco más presentan cuarteaduras de alto riesgo, además de que 100 están acordonadas por el Sistema Estatal de Protección

SÍGUE EN LA PAGINA 106

Suman ya 500 los Afectados y 4 las Casas Derrumbadas

Sigue de la primera plana

Civil y son 800 los afectados, señaló hoy el director de Gobernación en la entidad, Jorge Romero Romero.

Asimismo, indicó, el fenómeno ha originado la paralización de actividades totales de dos escuelas primarias y una de preescolar, por presentar cuarteaduras de consecuencia, así como por la interrupción de la energía eléctrica y la red telefónica.

Este día, comentó, se reanudó el suministro de energía eléctrica y la comunicación telefónica, para que los vecinos de la colonia Cubitos no afectados por este fenómeno se encuentren más tranquilos.

En tanto, los geólogos del Instituto de Geofísica de la Universidad Autónoma de México ya trabajan en el lugar de los hechos, y se espera que en esta misma semana den una versión acerca de la causa de estos hundimientos, expuso.

El funcionario estatal en una reunión con los vecinos les pidió dar toda la información requerida a los geofísicos de la máxima casa de estudios, porque ellos son los únicos que saben dónde están exactamente los tiros de la mina El Alamo.

Acercas de los afectados por el hundimiento, se informó que 200 de ellos están en las cinco albergues habilitados por el gobierno del estado, y los demás se refugian en sus familiares.

El Sistema Estatal de Protección Civil indicó que los asentamientos en las casas se han agrandado, pues aún se casan los asentamientos de tierra en este lugar.

Por su parte, el alcalde de esta ciudad, Rafael Arriaga Paz, aseguró que la compraventa de terrenos por parte de personas sin escrúpulos, así como la violación a los reglamentos respectivos, han hecho de amplias zonas de Pachuca lugares de alto riesgo, debido a la gran cantidad de túneles de explotación minera. Incluso, este martes fue detectado otro tiro de mina en el fraccionamiento Lomas Residencial, con una profundidad de 180 metros.

LA JORNADA.
Marzo 30, 1995

La Jornada

JUEVES 30 DE MARZO DE 1995

■ "Deslizamientos"

Son ya 4 las casas destruidas en el cerro Las Animas, Hidalgo

Carlos Camacho, corresponsal, Pachuca, Hgo., 29 de marzo □ Con el hundimiento de una más, hoy llegó a cuatro el número de casas destruidas por los deslizamientos de tierras que desde el sábado ocurren en el cerro de Las Animas, en la colonia Cubitos. También creció de 295 a 500 la cifra de damnificados y a 160 el de viviendas acordonadas.

En esas de horas otra casa más se vendrá abajo por el deterioro que sufrió con el hundimiento de parte del cerro en que se ubica la mina El Alamo. Estas y las cuatro que ya se cayeron habían sido consideradas ya por el gobierno estatal para ser destruidas "ante el peligro que representaban para los vecinos".

La comisión técnica, integrada por geólogos y geofísicos de la UNAM, el Consejo de Recursos Minerales y la Compañía Real del Monte y Pachuca, que se encarga de realizar los estudios sobre estos deslizamientos, dará a conocer resultados parciales de sus investigaciones hasta la próxima semana.

Esto lo dio a conocer el ingeniero Jesús Corrales, durante una reunión con los vecinos de ese sector de la ciudad que exigían saber las causas del problema y castigo a los culpables.

Ante la exigencia de que se restablecieran los servicios de agua potable y energía eléctrica, el Sistema Estatal de Protección Civil anunció que el primero "ya se restableció" y aclaró que se suspendió porque en algunas de las casas afectadas hay fugas y el agua podría acelerar los derrumbes.

EXCELSIOR.
Mayo 28, 1995

Granizada en Pachuca; 20 Familias Desalojadas: PC

RAFAEL MEDINA GONZALEZ, corresponsal

PACHUCA, Hgo., 28 de mayo.— Veinte familias desalojadas, un número indeterminado de viviendas inundadas y el entorpecimiento vial en la continuación de la autopista México-Pachuca, propició una granizada ocurrida en esa zona la noche de ayer, reportó hoy el secretario técnico del Sistema Estatal de Protección Civil, Jorge Romero Romero.

Entre los sectores más afectados, mencionó, están las colonias El ISSSTE, Santa Julia, Maestranza, Aquiles Serdán, Cubitos, el bulevar Felipe Angeles y Venta Prieta, al sur de esta ciudad.

Las familias desalojadas habitan en el bulevar Felipe Angeles, donde el agua subió de nivel hasta un metro y tanto bomberos como personal de Protección Civil rescataron a varias personas atrapadas en sus vehículos tras la inundación.

Hasta ahora, aseveró, no se han reportado desgracias personales, pero sí pérdidas incuantificadas aún, por daños a vehículos, muebles, viviendas y mercancía en establecimientos comerciales.

LA JORNADA.
Mayo 29, 1995

■ Inundaciones

Daña la lluvia más de cien casas en Pachuca

Carlos Camacho y José Manuel Penítez, corresponsales □ Un fuerte aguacero, acompañado de granizos, que cayó la tarde del sábado en Pachuca, Hidalgo, provocó daños en más de cien viviendas y el cierre de la circulación vehicular en el bulevar Felipe Angeles, vía de salida a la ciudad de México. Todavía la tarde del domingo, los bomberos sacaban el agua de las casas y comercios, donde los niveles alcanzaron los 2.20 metros.

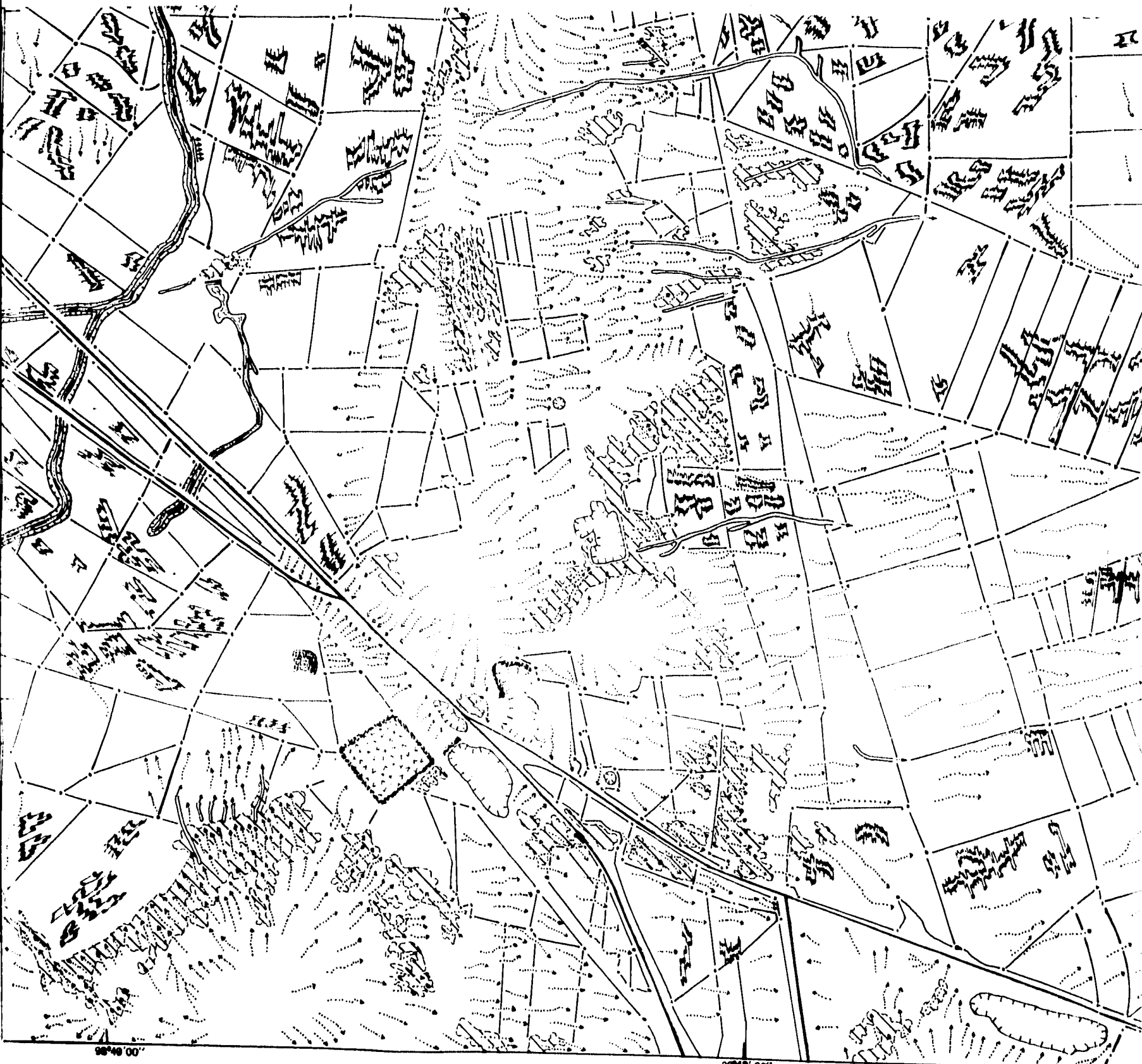
La lluvia movilizó al cuerpo de bomberos y a personal del Sistema Estatal de Protección Civil, y de acuerdo con sus informes, unas 20 familias, de viviendas ubicadas sobre el bulevar Felipe Angeles y la vieja carretera México-Pachuca, tuvieron que ser evacuadas.

En el fraccionamiento Constitución, las calles parecían ríos, pues el agua llegó a más de 50 centímetros. En este sector, se reportó una casa donde el agua alcanzó una altura de 1.20 metros, y una farmacia se vio severamente afectada. Los daños se cuantificaron en 50 mil nuevos pesos.

De acuerdo con los reportes del director de Seguridad Pública y Tránsito en el Estado (DGSPT), José Alberto García Vega, las inundaciones en el bulevar Felipe Angeles y la colonia Santa Julia, los sectores más afectados, se debieron a que las compuertas del canal de desagüe no fueron abiertas a tiempo, por lo que el ducto se desbordó y el agua fue a dar a las casas.

Aseguró que el sistema de drenaje en el sur de la ciudad "es ya insuficiente" y, mientras no se resuelva este problema, las inundaciones continuarán.

EXCELSIOR DE PERSONA A PERSONA
Calle de la Libertad, No. 100



98°48' 00"

98°48' 00"



98°47' 00"

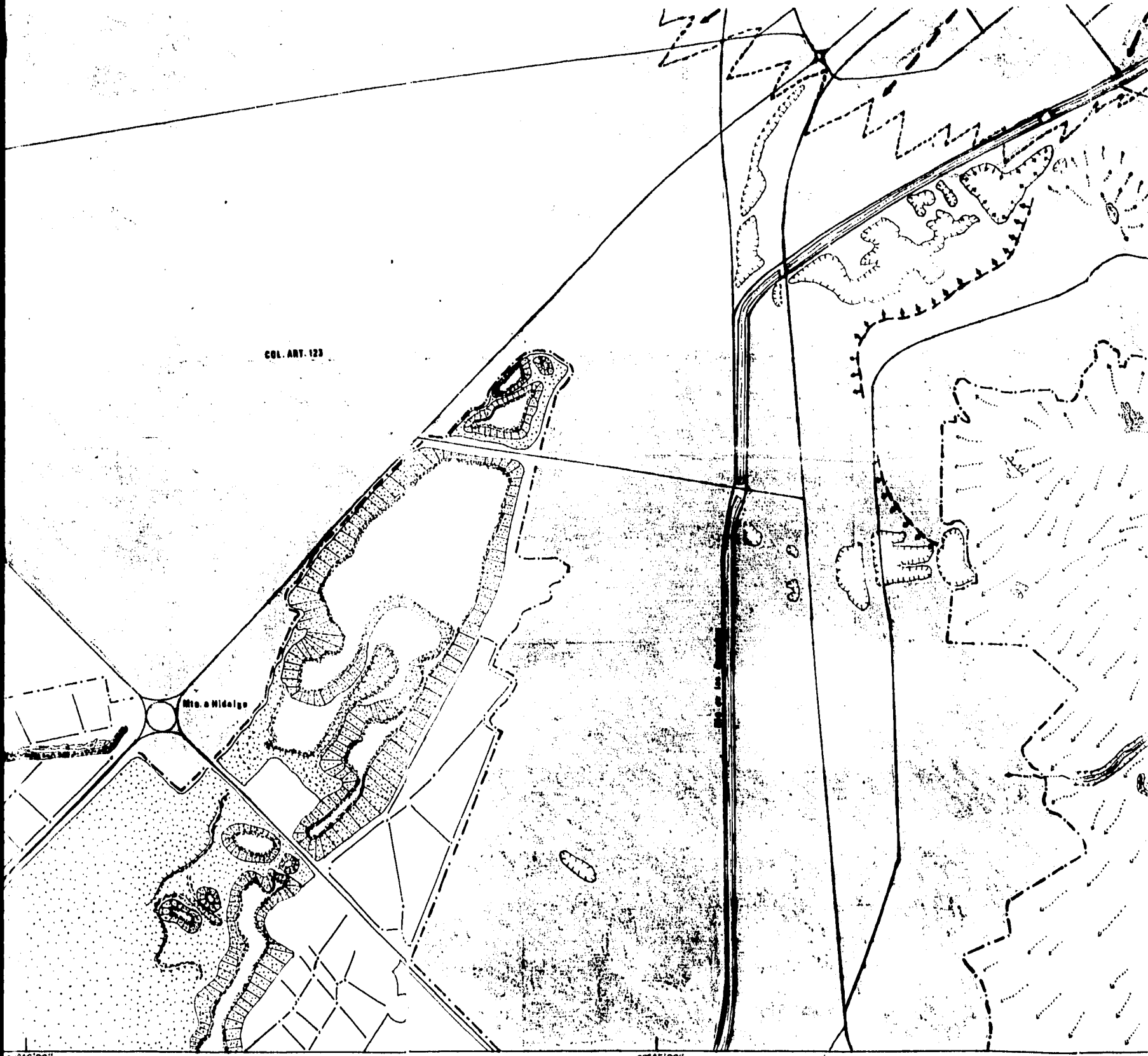
98°46' 00"

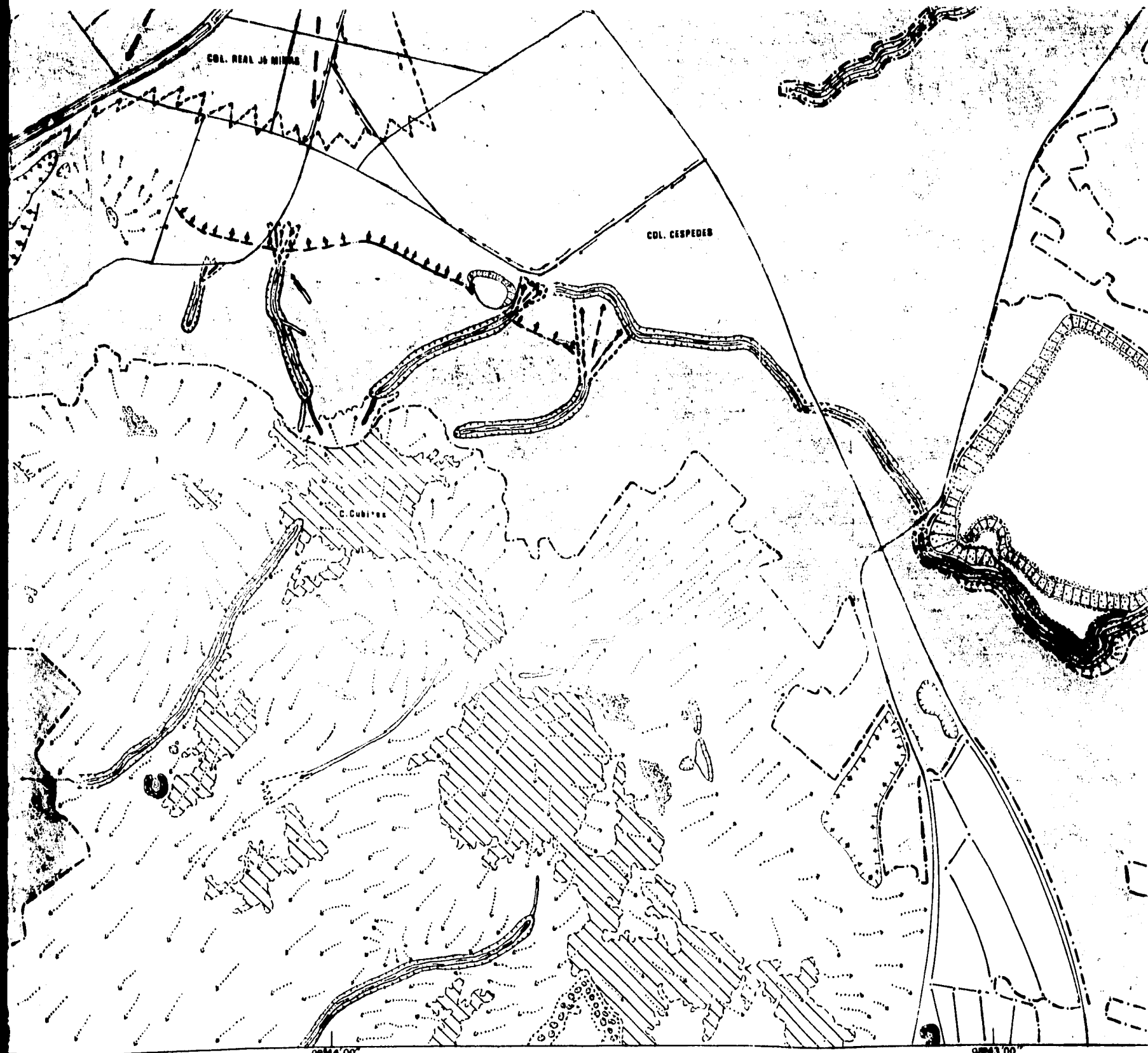
COL. ART. 123

Mts. e Nidoigo

98°46'00"

98°45'00"





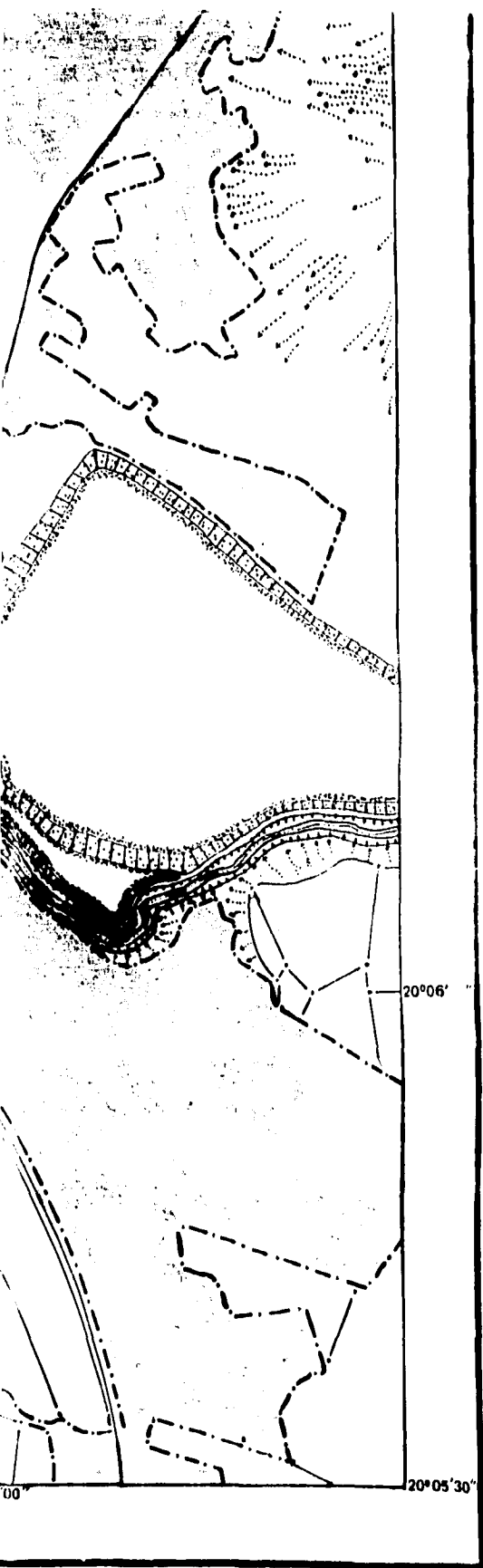
COL. REAL JO MIERA

COL. CEPEDAS

C. Cubi

98°44' 00"

98°43' 00"



24. Cono de detritos inactivo

III. Procesos antrópicos

25. Avenidas construidas sobre una antigua red de drenaje natural, que funcionan como cauces en temporada de lluvias.

26. Escarpe antrópico

27. Canteras en explotación

28. Canteras abandonadas

29. Zona de canteras pequeñas

30. Socavon o tiro de mina

31. Terrazas de labor

32. Terrenos deprimidos con deficiencias de drenaje (encharcamientos)

33. Jagüey

34. Bordo de material

35. R. fisca: artificiales

36. Banco de material

37. Jales

IV. Símbolos complementarios

38. Ruptura de pendiente

39. Contacto inferido

40. Límite urbano

41. Caminos

42. Presas

43. Canal

44. Bordo de contención



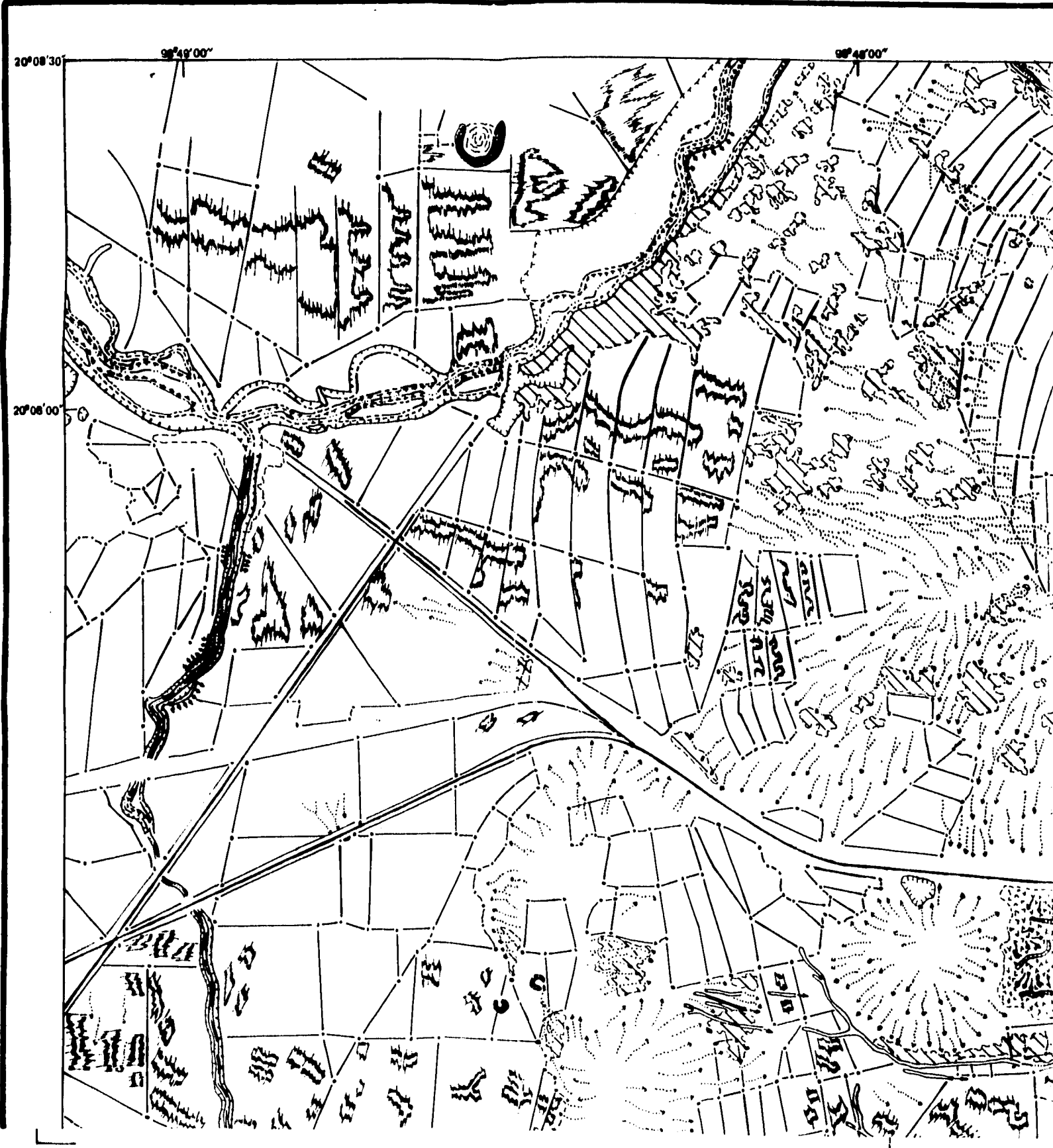
TESIS UNAM	Elaboró: Oscar Salas García	FIG. 19
FFyL COL. GEOGRAFIA		

20°08'30"

98°48'00"

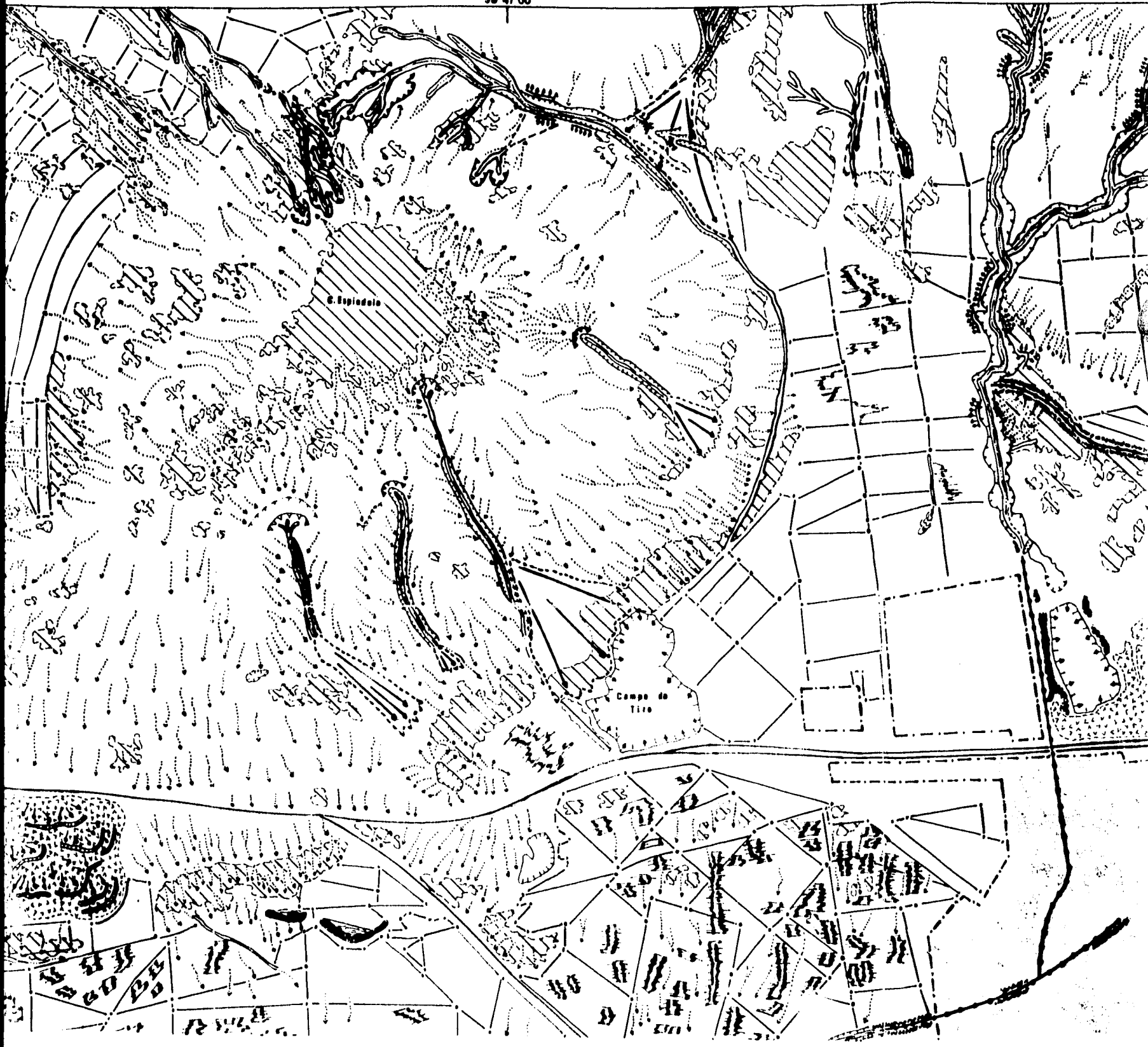
98°48'00"

20°08'00"



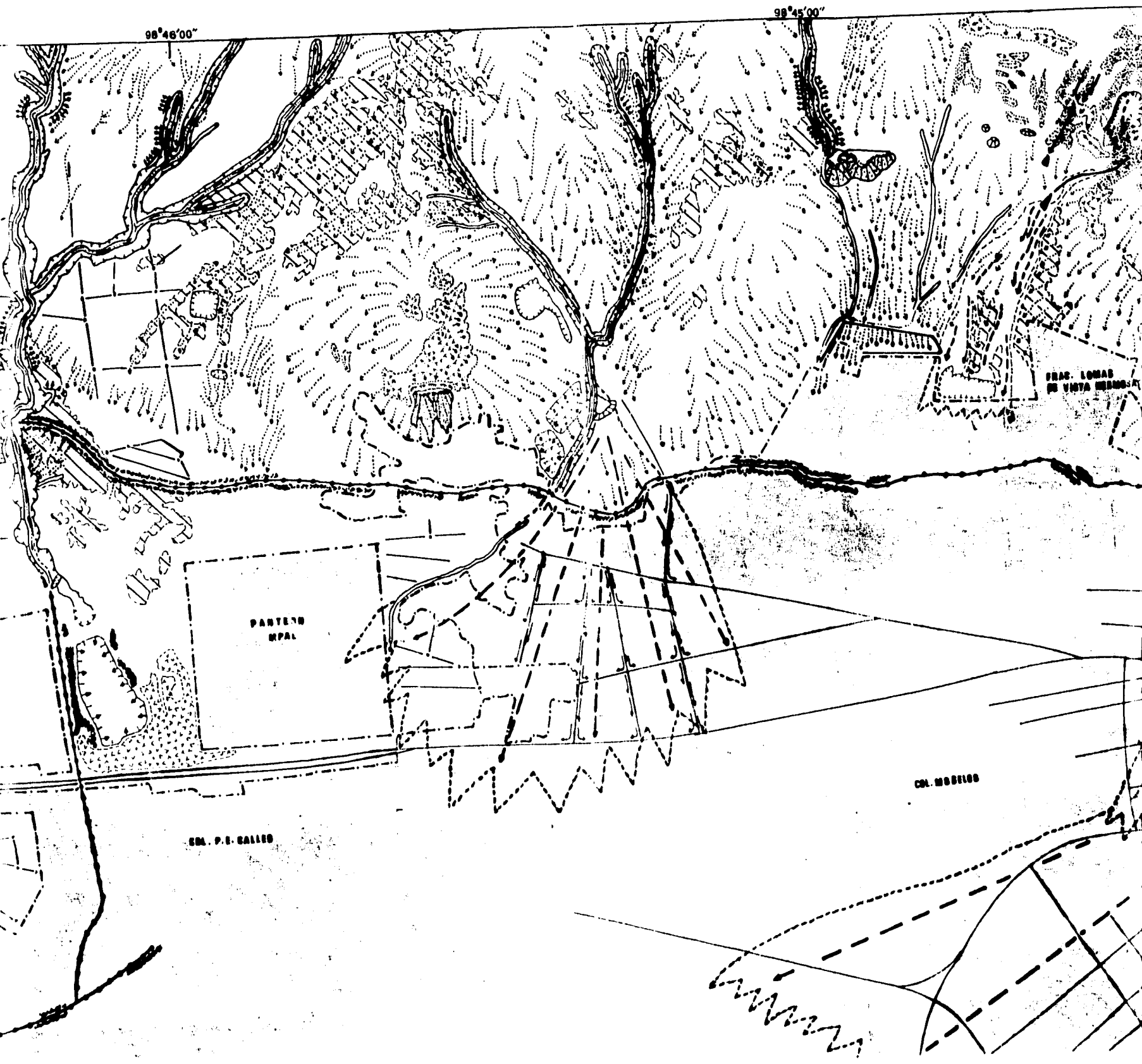
98° 47' 00"

98°



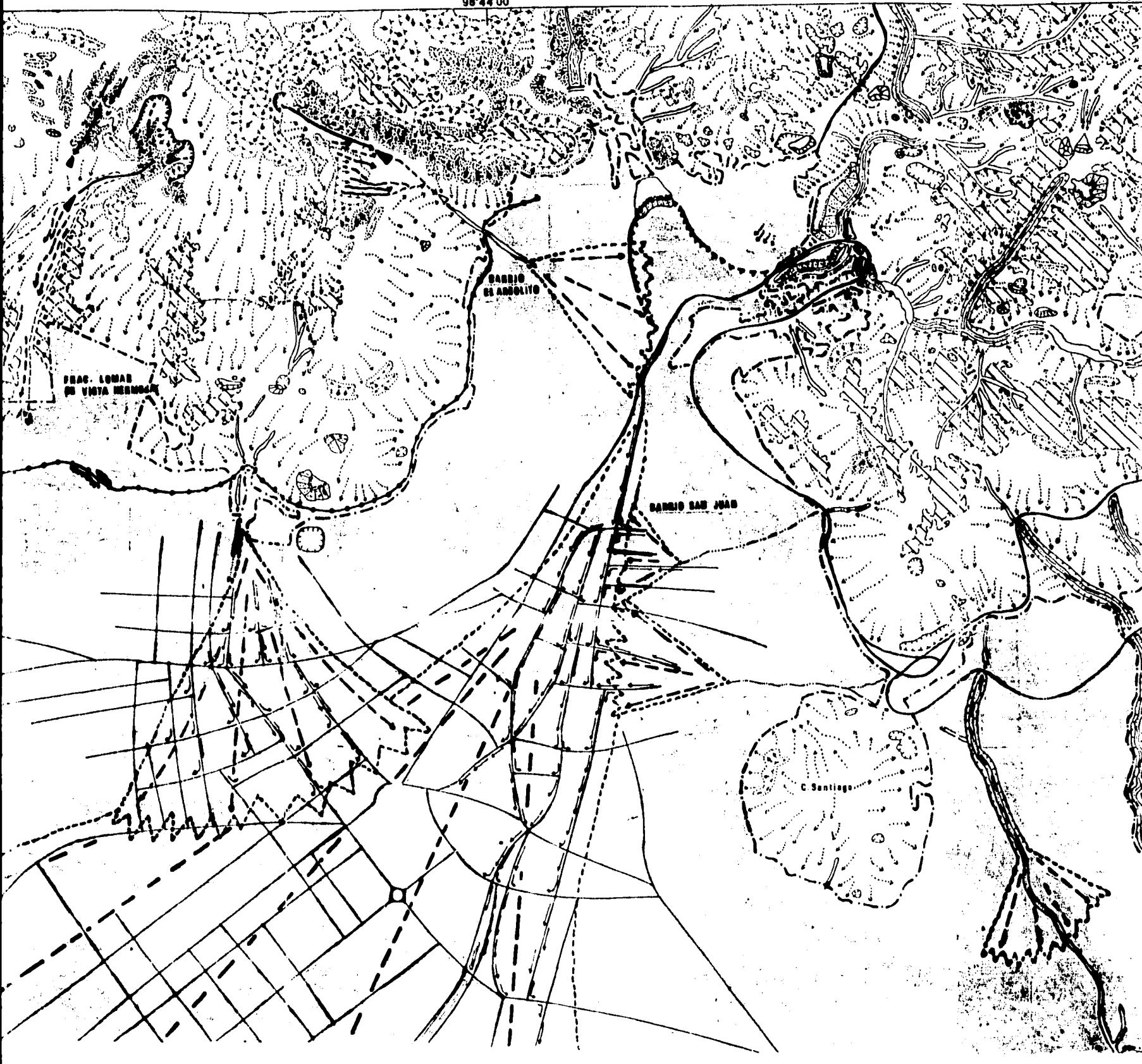
98°46'00"

98°45'00"



98°44'00"

98°
















PACHUCA DE SOTO, HGO.
Fig. 19. Mapa morfodinámico

Procesos y formas del relieve asociadas.







I. Procesos fluviales

A. Erosivos







-  1. Ladera superior de valle fluvial
-  2. Ladera superior de valle fluvial modificada:
 -  a) por detrimbos
 -  b) por socavación de la base
-  3. Cauce fluvial y línea de mayor profundidad (talweg)
-  4. Lecho mayor de valle fluvial
-  5. Límite inferior de terraza fluvial
-  6. Barrancos menores
-  7. Sircos de erosión
-  8. Alveolos de erosión laminar
-  9. Cabeceira de barranco activa
-  10. Circos de erosión activos
-  11. Circos de erosión inactivos

B. Acumulativos



-  12. Valle fluvial obstruido
-  13. Abanico (cono de eyecciones) activo
-  14. Abanico (cono de eyecciones) inactivo
-  15. Depósito de flujo de lodo por ruptura de terrazas de labor

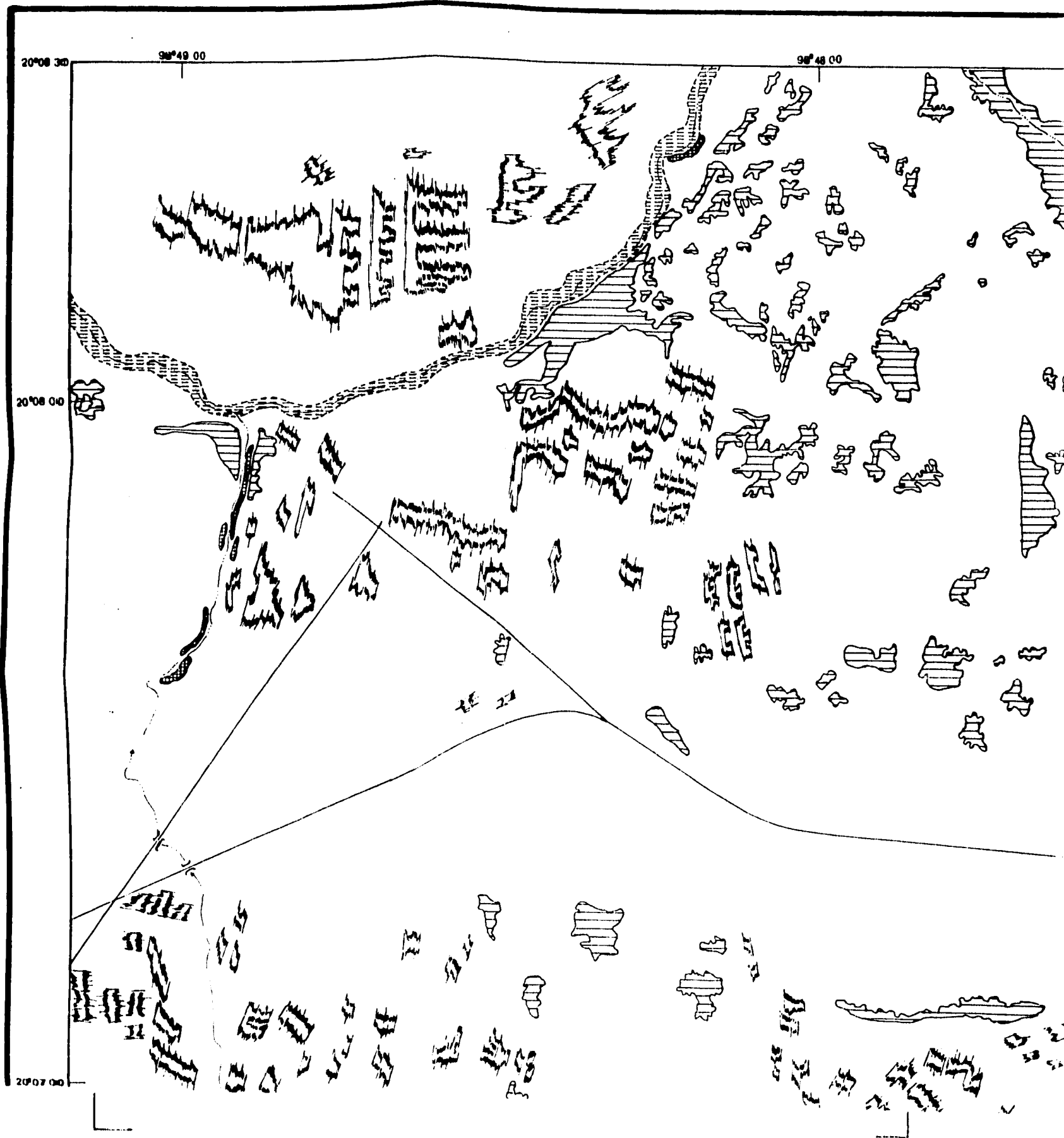
II. Procesos gravitacionales (inestabilidad de laderas)

A. Erosivos

-  16. Afloramientos rocosos inestables, en laderas de fuerte pendiente
-  17. Cuenca de captación de conos de detritos
-  18. Corredor de escombros activo
-  19. Corredor de escombros inactivo
-  20. Reptación del manto superficial (material de predominio) activo
-  21. Reptación del manto superficial (material de predominio) potencial

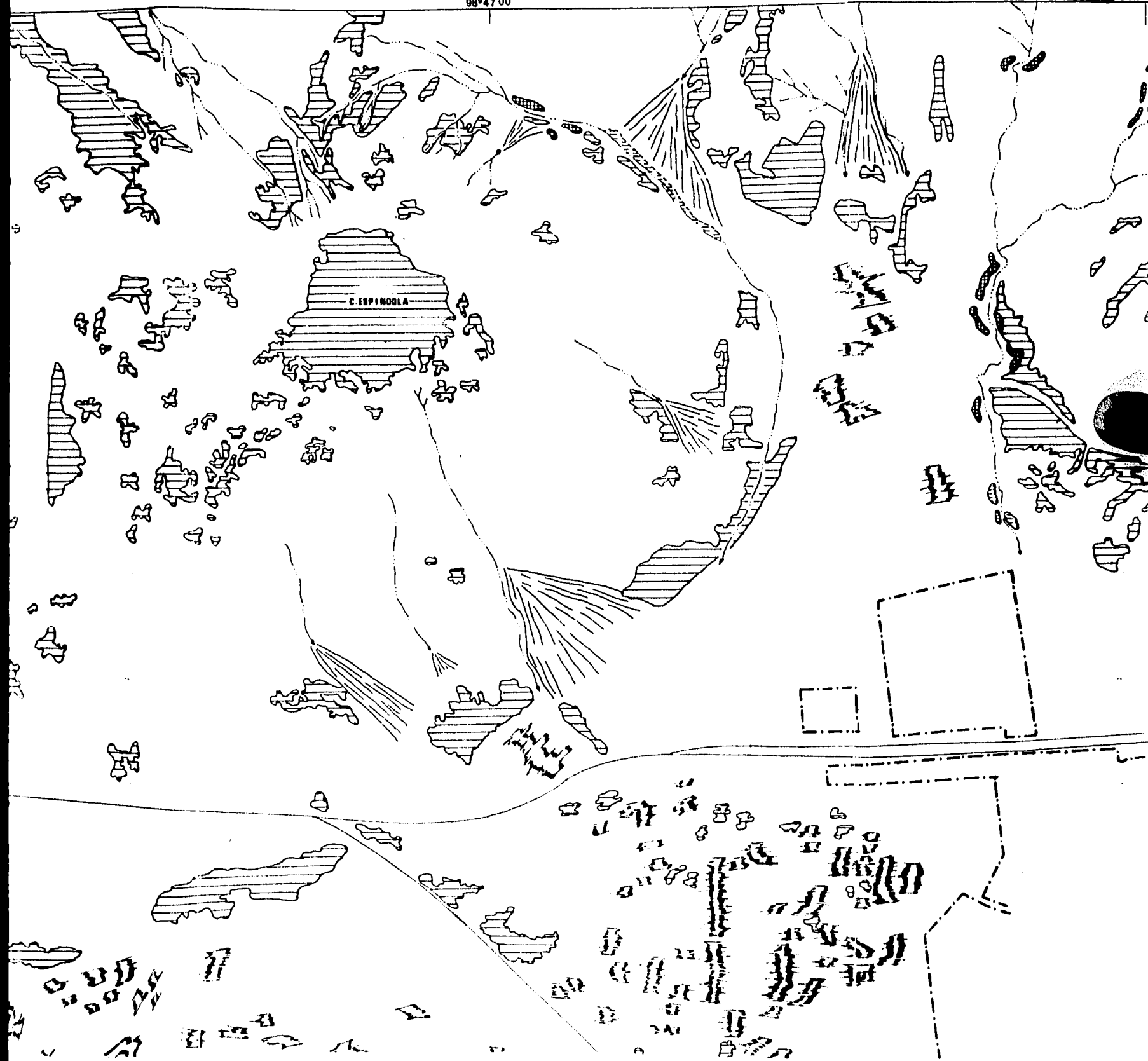
B. Acumulativos

-  22. Mantos de detritos
-  23. Cono de detritos activo



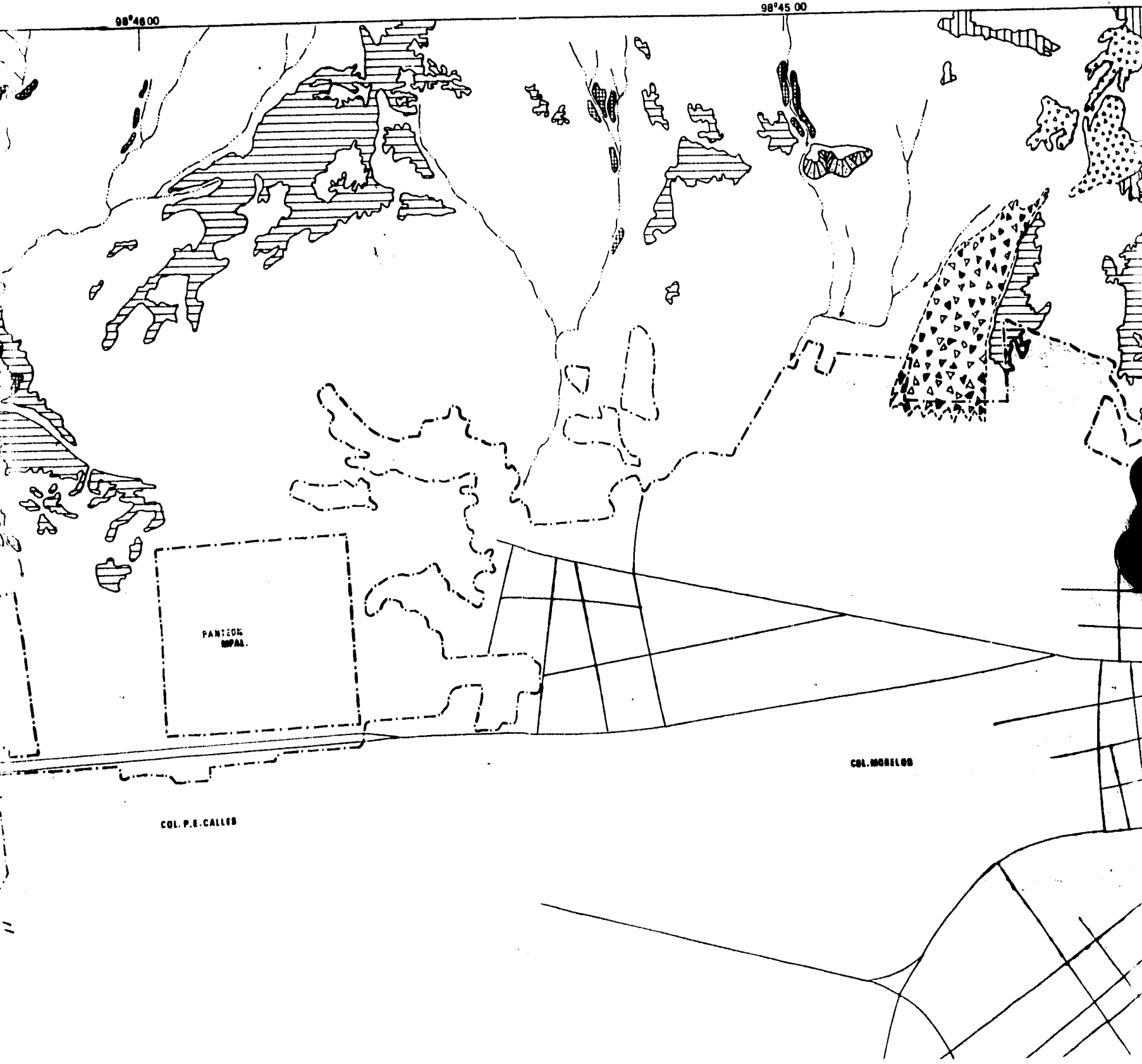
98°47'00

98°4



98°46 00

98°45 00



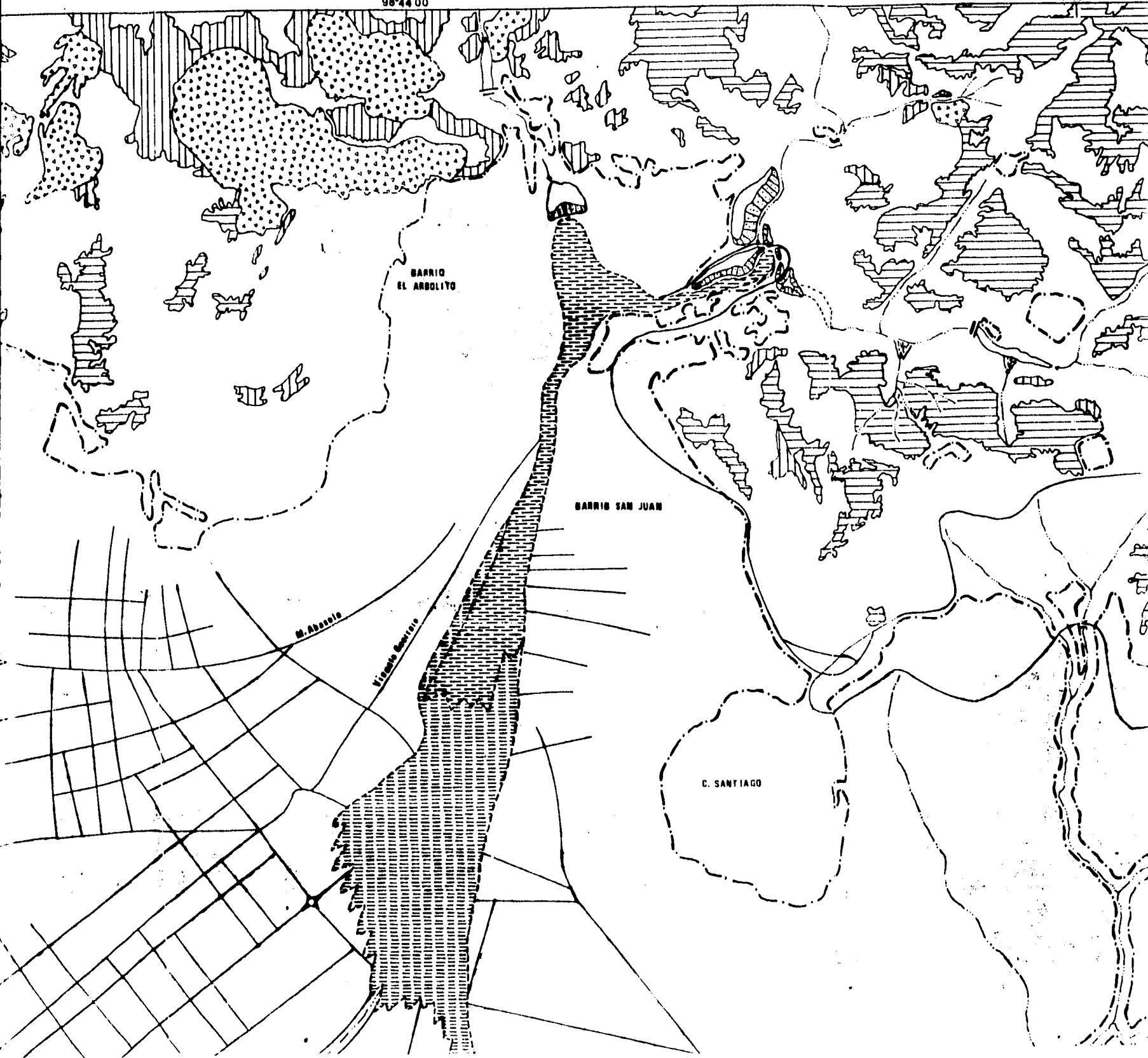
PANTEON
MPAL

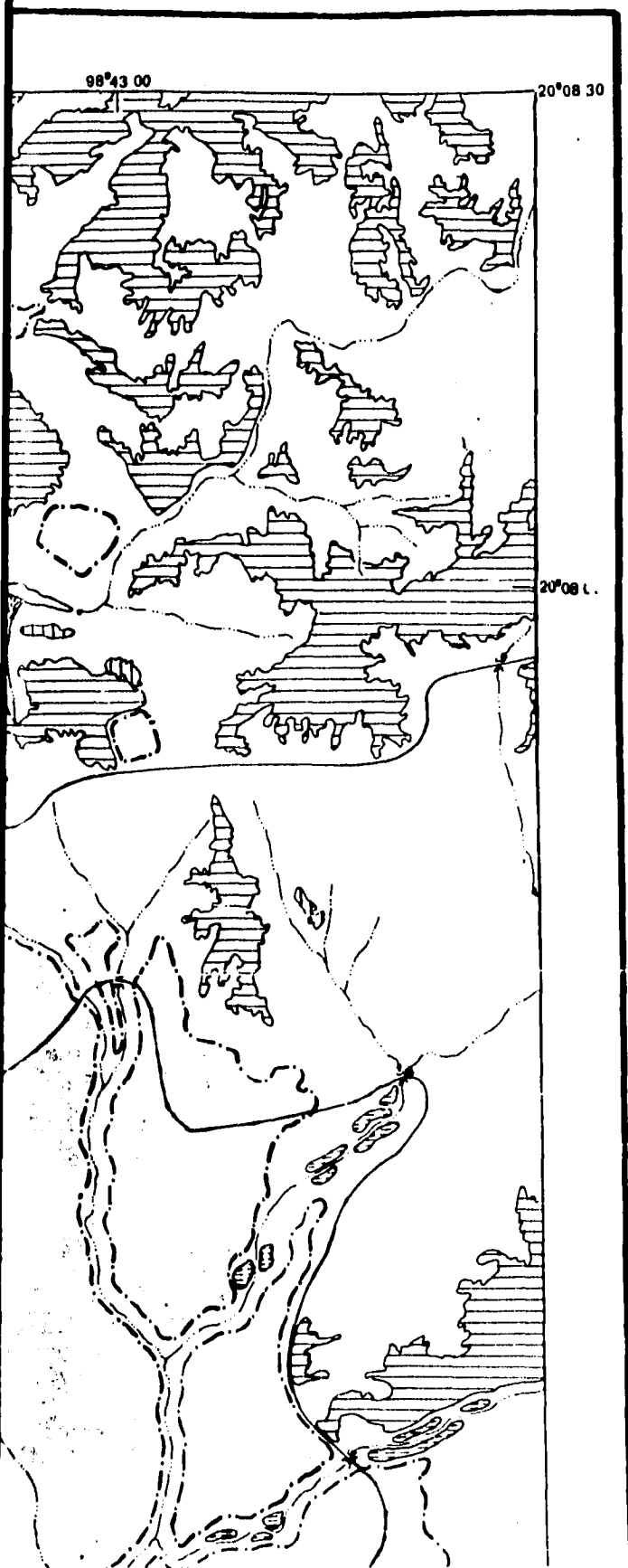
COL. P. E. CALLED

COL. MORELOS

98°44 00

98°43 00

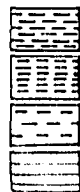




PACHUCA DE SOTO, HGO.
Fig. 21. Mapa de amenaza por procesos geomorfológicos.

I. FLUVIALES

I. Zonas susceptibles a inundación



- a) Con posibilidad alta
- b) Con posibilidad media
- c) Con posibilidad baja

2. Erosión superficial en manto.

3. Flujos de escombros.



3.1 Zonas de arrastre y acumulación de material detrítico por agua

3.2 Depósitos de material susceptibles a ser transportados por agua.



a) Jales



b) Valle fluvial colmatado



3.3 Remoción en antiguos depósitos de flujo lodoso.



4. Círcos de erosión activos por caída de rocas



5. Laderas de valle fluvial con caída de rocas por socavación de la margen inferior.

II. INESTABILIDAD DE LADERAS



6. Cimas aisladas donde se produce caída de rocas.

7. Reptación o arrastre del manto superficial (creep)



a) Activo



b) Potencial

SIMBOLOS COMPLEMENTARIOS



8. Terrenos agrícolas con drenaje deficiente



9. Mancha urbana



10. Corrientes fluviales





9847 00



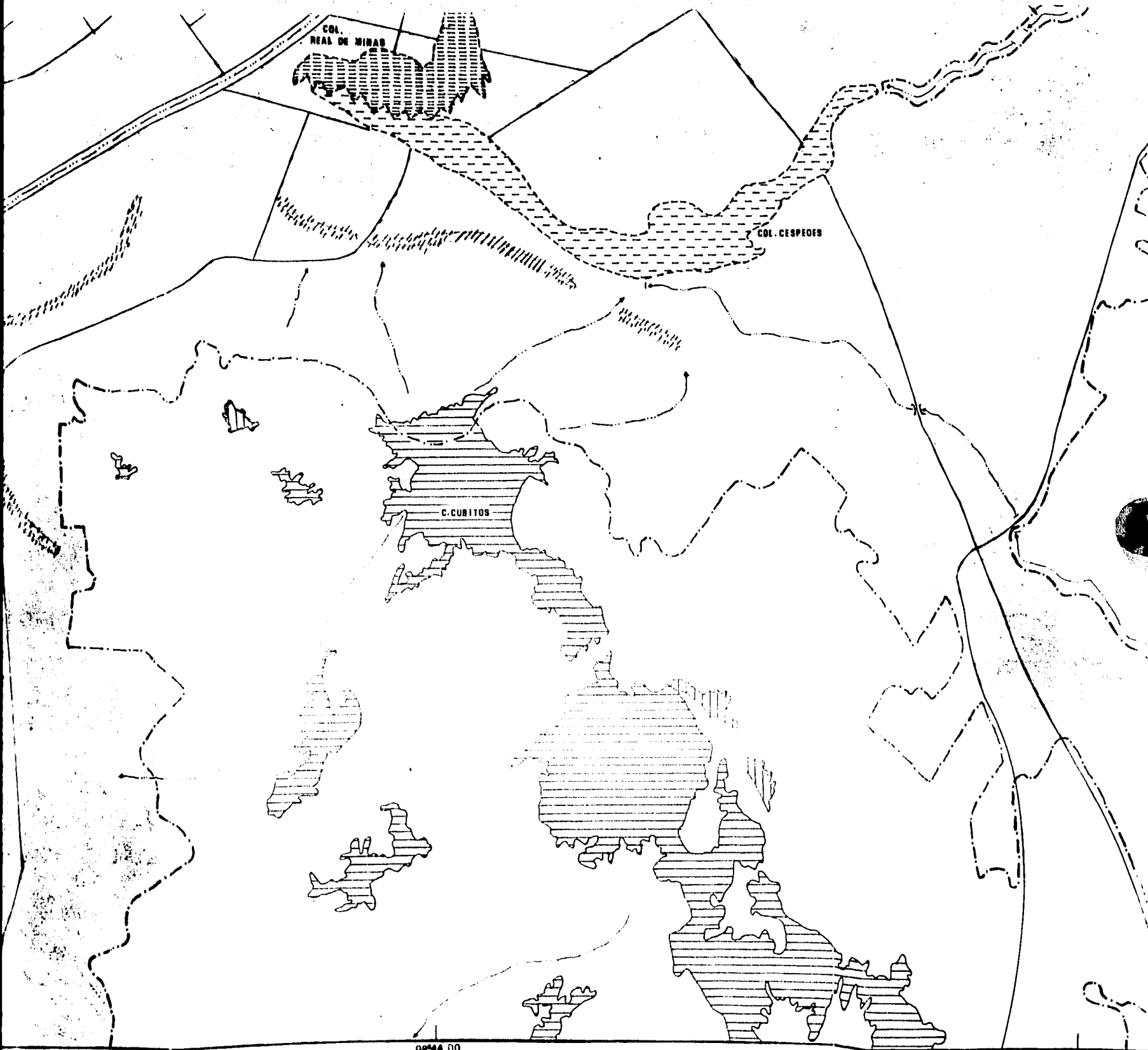
COL. ART. 123

Mto. a Hidalgo

98°46 00

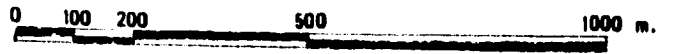
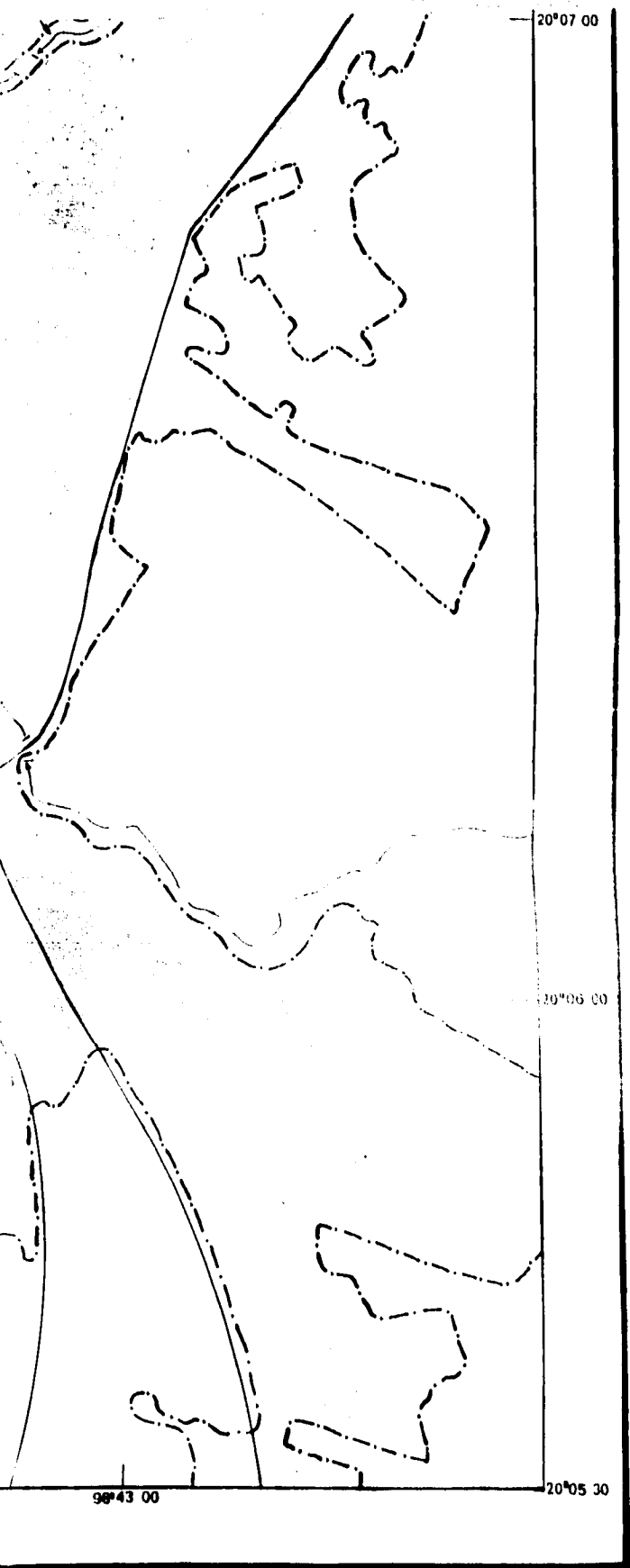
98°45 00





98°44 00

98°43 00



TESIS UNAM		Elaboró: Oscar Salas Garcia	FIG.21
FFyL	COL. GEOGRAFIA		