



1123  
R-1  
12  
201

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

Facultad de Ingeniería

**Análisis del Relieve, Litología y Vulnerabilidad  
en la Delegación Miguel Hidalgo, D.F. y sus  
zonas conurbadas de los Municipios de  
Naucalpan y Huixquilucan, Estado de México.**

**T E S I S**

Para obtener el grado de  
**Ingeniero Geólogo.**

Que presenta

**JORGE MANUEL LAGUNES DUCK**

Ciudad Universitaria, D.F., Mayo de 1998

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

26/5/98



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-I-082

**SR. JORGE MANUEL LAGUNES DUCK**  
**Presente**

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

**ANALISIS DEL RELIEVE, LITOLOGIA Y VULNERABILIDAD EN LA DELEGACION MIGUEL HIDALGO Y SUS ZONAS CONURBADAS DE LOS MUNICIPIOS DE NAUCALPAN Y HUIXQUILUCAN, ESTADO DE MEXICO**

- I INTRODUCCION
- II MARCO GEOGRAFICO DE LA DELEGACION MIGUEL HIDALGO, D.F. Y SUS ZONAS CONURBADAS DE LOS MUNICIPIOS DE NAUCALPAN Y HUIXQUILUCAN, ESTADO DE MEXICO
- III DESCRIPCION GEOLOGICA REGIONAL
- IV ANALISIS DEL RELIEVE
- V LITOLOGIA
- VI VULNERABILIDAD
- VII CONCLUSIONES  
BIBLIOGRAFIA

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

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

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Ciudad Universitaria, a 22 de octubre de 1996  
EL DIRECTOR

ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

## DEDICATORIA

En primer lugar, dedico esta modesta obra a Dios Nuestro Señor y Nuestro Padre, quien por medio de su Hijo, mi Señor Jesucristo, me ha otorgado la fuerza y el entusiasmo para elaborarla, y sin cuya ayuda no habría vencido todos los problemas y obstáculos que se presentaron en su realización.

Lo dedico además, de una manera muy especial, a la memoria de mi querida abuela, Rosa María Lahut, que en paz descanse, a quien debo mi crianza, mi amor y mi respeto por los valores morales que me han formado como Hombre.

También, es mi deseo hacer un tributo con él a la memoria de mi Madre, María Duck, que en paz descanse, a quien debo la vida y mi integridad como ser humano.

Asimismo, deseo dedicarlo también a mi hermano Genaro, cuya valiosa ayuda profesional hizo posible la cabal realización de éste trabajo.

Finalmente, deseo hacer con él un humilde pero muy sincero tributo a mi colonia, San Miguel Chapultepec, del viejo y querido barrio de Tacubaya de la delegación Miguel Hidalgo, en el cual nací, crecí, y en donde hasta hoy sigo viviendo, a la vez que disfrutando de sus parques y jardines así como de los paseos por sus viejas calles con casonas llenas de historia y leyendas que me remontan al México decimonónico y colonial.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseo expresar mi más profundo agradecimiento al Doctor José Lugo Hubp, investigador titular y catedrático de Geomorfología del Instituto y del Colegio de Geografía de la U.N.A.M. respectivamente, así como ex-catedrático de dicha materia en la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. y en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del I.P.N., por su noble y generosa ayuda con la cual dio el impulso inicial a este trabajo, así como por todo su apoyo brindado durante el desarrollo del mismo, que puso a mi alcance el conocimiento y la práctica indispensables para su realización y consumación.

Agradezco también muy sinceramente, la desinteresada ayuda brindada por los Doctores e Investigadores José Juan Zamorano Orozco y Mario Arturo Ortiz Pérez, del Instituto de Geografía de la U.N.A.M., la cual facilitó la consulta y la obtención de gran parte del material bibliográfico y cartográfico utilizado en la elaboración éste trabajo.

Asimismo, doy gracias también al Ingeniero Germán Arriaga García, Coordinador de la carrera de Ingeniero Geólogo en la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M., por todas las facilidades que me otorgó en los trámites de titulación y por su interés académico hacia éste trabajo.

Por otra parte, agradezco en todo lo que cabe el apoyo brindado a ésta Tesis por parte del Instituto de Geografía de la U.N.A.M., al frente del cual se encuentra el Doctor Román Alvarez Béjar, sin el cual no hubiera sido posible su elaboración.

Finalmente, gracias también a todos aquellos antiguos mentores a quienes solicité su ayuda, petición a la que respondieron cerrando sus puertas, ya que su actitud despertó en mi interior un intenso y genuino deseo de superación, de fe en la ayuda de Dios y de confianza en mí mismo, que en suma me dieron la fuerza necesaria para vencer todos los obstáculos que impedían mi desarrollo personal y profesional, y con ello conseguir finalmente el éxito deseado con la realización total de esta Tesis profesional.

A todos ellos:

**“MULTI GRATIAS, EX TOTO CORDE, IN PRAESENTI ET IN  
SAECULA SAECULORUM”**

## **NO CLAUDIQUES**

**Cuando vayan mal las cosas como a veces suelen ir;  
cuando ofrezca tu camino solo cuestas que subir;  
cuando tengas poco haber pero mucho que pagar;  
y precisas sonreír aún teniendo que llorar.....**

**Cuando vayan mal las cosas como a veces suelen ir,  
cuando ofrezca tu camino solo cuestas que subir,  
cuando ya el dolor te agobie y no puedas ya sufrir,  
DESCANSAR ACASO DEBES, PERO NUNCA DESISTIR.**

**Tras las sombras de la duda, ya plateadas, ya sombrías;  
puede bien surgir el triunfo, no el fracaso que temías;  
y no es dable a tu ignorancia figurarse cuan cercano,  
puede estar el bien que anhelas y que juzgas tan lejano.**

**Lucha, lucha pues por más que tengas en la brega que sufrir;  
cuando todo esté peor, MÁS DEBEMOS INSISTIR.**

**Rudyard Kipling**

**“Nada en el mundo puede superar a la constancia;  
ni siquiera el talento. Es de lo más común ver hombres  
talentosos que no conocen el éxito. Tampoco el genio;  
el mundo está lleno de genios fracasados. Las únicas  
cualidades omnipotentes son la constancia y la determinación.  
El lema “INSISTE, NO CEJES EN TU PROPÓSITO”,  
siempre ha resuelto y siempre resolverá los problemas de  
la raza humana.”**

**Calvin Coolidge**

**“El éxito alcanzado con honradez y esfuerzo le da sabor a la vida.  
Triunfar en las cosas pequeñas es dar un paso en firme hacia el  
éxito en las cosas mayores”**

**Anónimo**

**“No te preocupes si no tienes grandes virtudes.  
Dios creó un millón de hojas de hierba por cada árbol.  
La tierra no está alfombrada con bosques sino con hierbas.  
Ten suficientes virtudes pequeñas y lealtades comunes,  
y no lamentarás no ser héroe ni santo.”**

**Henry Ward Beecher**

**“Puedo hacerlo todo, a través de Cristo, quién me fortalece”**

**Filipenses (4 : 13)**

**“Si tienes fe, .... nada te será imposible”**

**San Mateo (17 : 20)**

**“Nada en el mundo puede superar a la constancia; ni siquiera el talento. Es de lo más común ver hombres talentosos que no conocen el éxito. Tampoco el genio; el mundo está lleno de genios fracasados. Las únicas cualidades omnipotentes son la constancia y la determinación. El lema “INSISTE, NO CEJES EN TU PROPÓSITO”, siempre ha resuelto y siempre resolverá los problemas de la raza humana.”**

**Calvin Coolidge**

**“El éxito alcanzado con honradez y esfuerzo le da sabor a la vida. Triunfar en las cosas pequeñas es dar un paso en firme hacia el éxito en las cosas mayores”**

**Anónimo**

**“No te preocupes si no tienes grandes virtudes. Dios creó un millón de hojas de hierba por cada árbol. La tierra no está alfombrada con bosques sino con hierbas. Ten suficientes virtudes pequeñas y lealtades comunes, y no lamentarás no ser héroe ni santo.”**

**Henry Ward Beecher**

**“Puedo hacerlo todo, a través de Cristo, quién me fortalece”**

**Filipenses (4 : 13)**

**“Si tienes fe, .... nada te será imposible”**

**San Mateo (17 : 20)**

# INDICE

Pag.

<b>I.- INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
------------------------------	----------

<b>II.- MARCO GEOGRÁFICO DE LA DELEGACIÓN MIGUEL HIDALGO, D.F. Y SUS ZONAS CONURBADAS DE LOS MUNICIPIOS DE NAUCALPAN Y HUIXQUILUCAN, ESTADO DE MÉXICO.....</b>	<b>3</b>
--	----------

2.1 - Localización.....	3
2.2 - Aspectos fisiográficos.....	4
2.3 - Clima.....	6
2.3.1 - Temperatura.....	8
2.3.2 - Precipitación pluvial .....	9
2.4 - Vegetación.....	11
2.5 - Hidrografía.....	14
2.6 - Suelos.....	16

<b>III.- DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA REGIONAL.....</b>	<b>23</b>
--	-----------

3.1 - Marco geológico regional.....	23
3.2 - Tectónica.....	31
3.3 - Vulcanismo.....	37

<b>IV.- ANÁLISIS DEL RELIEVE.....</b>	<b>42</b>
4.1 - Morfometría.....	42
4.1.1 - Altimetría.....	42
4.1.2 - Densidad de la disección.....	48
4.1.3 - Profundidad de la disección.....	52
4.1.4 - Pendientes.....	56
4.1.4.- Estructuras disyuntivas.....	59
4.2 - Geomorfología.....	70
4.2.1 - Relieve endógeno.....	71
4.2.2 - Relieve endógeno - modelado.....	71
4.2.3 - Relieve exógeno.....	74
A) relieve erosivo fluvial.....	74
B) relieve acumulativo aluvial.....	76
C) relieve acumulativo lacustre- aluvial.....	77
D) relieve acumulativo lacustre.....	77
E) relieve antrópico ( tecnógeno).....	78
4.2.4 - Evolución del relieve.....	79
<b>V.- LITOLOGÍA.....</b>	<b>84</b>
5.1 - Marco estratigráfico.....	85
<b>VI.- VULNERABILIDAD.....</b>	<b>100</b>
6.1 - Crecimiento urbano.....	100
6.2 - Uso del suelo.....	102
6.3 - Riesgos.....	105
6.4 - Vulnerabilidad.....	110
<b>VII.- CONCLUSIONES.....</b>	<b>114</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>117</b>

## I.- INTRODUCCIÓN

El área de la delegación Miguel Hidalgo y de sus zonas conurbadas de los municipios de Naucalpan y Huixquilucan, se encuentra situada en el poniente de la Cuenca de México, presentando una forma semialargada que va desde las porciones inferiores del piedemonte superior de la Sierra de Las Cruces (límite occidental de la Cuenca), hasta un sector de la parte occidental de la planicie de la misma cuenca, la cual se extiende hacia el oriente del área en estudio formando una gran altiplanicie (Fig. 1).

Estas condiciones espaciales han hecho que dicha área presente características especiales, pues consiste en un gran abanico de origen volcánico que morfológicamente conforma un extenso piedemonte muy disecado por corrientes fluviales (Lámina 5) el cual cubre una gran parte de la vertiente oriental de la Sierra de Las Cruces extendiéndose tanto al norte como al sur del área en estudio, a modo de un gran pedimento constituido por materiales piroclásticos y al que se le denomina desde 1948 con el nombre de "Formación Tarango" (Bryan, 1948; Arellano, 1953).

La litología de esta unidad estratigráfica en dicha área, consiste de flujos y cenizas arrojadas durante las erupciones explosivas del volcán (Cerro) San Miguel y de los volcanes más cercanos de la Sierra de Salazar (Cerros de Salazar y de Chimalpa, principalmente) ubicados fuera del área, al sudponiente y poniente de la misma respectivamente. Dichas rocas piroclásticas han formado depósitos de composición diversa que varían desde riolíticos hasta andesíticos(?) (Mooser et al., 1992), dispuestos en capas que se interstratifican con estratos de pómez (Fig. 39).

Dentro del área, específicamente en una parte de la zona sudoccidental de Naucalpan y su adyacente de Huixquilucan, existe una serie de depresiones topográficas que antiguamente constituyeron bancos de material que suministraron materias primas para la industria de la construcción (conocidos comúnmente como "minas de arena"); las cuales han modificado considerablemente el relieve original, ocasionando cambios en las pendientes y afectando la estabilidad de las laderas naturales formadas por las corrientes fluviales, además de dificultar la cartografía y el análisis del relieve (Mapa Geomorfológico).

Debido a esto y a las propiedades físicas de los depósitos, en especial los pumíticos, ha tenido lugar el surgimiento de una serie de riesgos que se han tratado de prevenir ya sea con el relleno de estas obras o mediante la instalación de ademes para reforzar sus taludes, ya que la mayoría de estos bancos han sido utilizados posteriormente para la construcción de fraccionamientos residenciales y de instalaciones comerciales, debido al acelerado desarrollo de la urbanización en las zonas conurbadas del Estado de México, en donde existe una demanda de espacios cada vez mayor para la vivienda y las actividades mercantiles.

Por otra parte la delegación Miguel Hidalgo a pesar de no tener la presencia de antiguos bancos de material en su territorio, presenta varios barrancos principales cuyas características resulta interesante estudiar, además de incluir en su territorio una parte de la planicie lacustre de la Cuenca de México cuyo subsuelo se ha caracterizado por causar problemas a las construcciones que sobre él se asientan cuando se ve sometido a la acción de movimientos telúricos, como ocurrió en la vecina delegación Cuauhtémoc durante los sismos de Septiembre de 1985.

Es pues el propósito de este trabajo conocer, aunque sea de manera muy elemental, el problema de la vulnerabilidad y los riesgos en la delegación Miguel Hidalgo y su zona conurbada del Estado de México, apoyándose en dos factores principales: la geomorfología y la constitución litológica, pero sin soslayar la importante influencia que sobre éstos tiene la actividad humana, la cual se considera un factor importante en la modificación del relieve en dicha área.

## **II.- MARCO GEOGRÁFICO DE LA DELEGACIÓN MIGUEL HIDALGO, D.F. Y DE SUS ZONAS CONURBADAS DE LOS MUNICIPIOS DE NAUCALPAN Y HUIXQUILUCAN, ESTADO DE MÉXICO.**

### **2.1.- Localización**

El área de la delegación Miguel Hidalgo y su zona conurbada se encuentra situada en la porción occidental de la Cuenca de México (Figura 1), la cual es una estructura geomorfológica bien definida de una de las principales unidades geológicas y geomorfológicas de la República Mexicana, el Sistema Volcánico Transversal (Eje Neovolcánico).

Dicha cuenca está “comprendida burdamente entre los paralelos 19°00’ y 20°00’ N y los meridianos 98°40’ y 99°20’ W” abarcando “una superficie cercana a los 7,700 kilómetros cuadrados” (de Cserna et al., 1987-88; p. 45); sus límites espaciales son precisos y conforman una línea divisoria de aguas cerrada que la define claramente como una cuenca de tipo endorreico (Lugo, 1984; p. 5).

Debido a que su desagüe natural hacia la cuenca del Río Amacuzac en el sur fue obstruido por la actividad volcánica que dio origen a la Sierra Chichinautzin, sus habitantes le han hecho en distintas épocas históricas varios sistemas de drenaje artificial hacia su exterior a fin de evitar las inundaciones que durante la temporada de lluvias suelen afectar a la Ciudad de México (tajo de Nochistongo, gran canal de desagüe y sistema de drenaje profundo) y que hoy la drenan hacia la cuenca del Río Tula, ubicada al norte.

De acuerdo con sus dimensiones, puede clasificarse como una forma del relieve de tercer orden, “alargada en dirección NNE-SSW, con una longitud de unos 100 km y anchura de unos 30 km” (de Cserna et al., op. cit.; p. 1), con diferencias de altura de 200 a 2,000 m o hasta más (Lugo, op.cit.; p. 5); por su morfología, puede decirse que es una extensa altiplanicie rodeada totalmente por grupos de montañas, algunas más antiguas que otras (Sierra de Pachuca al norte, Sierra Chichinautzin al sur, Sierras Nevada y del Río Frío al este, y Sierra de Las Cruces al oeste), con algunos grupos montañosos ubicados sobre ella (Sierras de Santa

Catarina, de Guadalupe y otras) y con una altitud mínima de 2,240 m s.n.m.m. (op. cit.).

El área en estudio está conformada por el territorio que abarcan la delegación política Miguel Hidalgo, ubicada en el poniente del Distrito Federal, y la franja fronteriza de los dos municipios del Estado de México adyacentes a la misma (Naucalpan y Huixquilucan), la cual es una pequeña parte de toda la zona mexiquense que rodea casi por completo al D.F., la cual desde hace varios años se le identifica con el nombre de "zona conurbada" (Lámina 1).

Geográficamente, se ubica entre las coordenadas 19°23' a 19°30' de latitud norte, y 99°10' a 99°16'40" de longitud oeste. Su altitud máxima es de 2,490 m s.n.m.m., la cual se alcanza en el extremo occidental del sector estudiado del municipio de Huixquilucan; y la mínima es de 2,240 m s.n.m.m., la cual se presenta en el extremo oriental de la delegación Miguel Hidalgo, muy cerca del límite con la delegación Cuauhtémoc (id.).

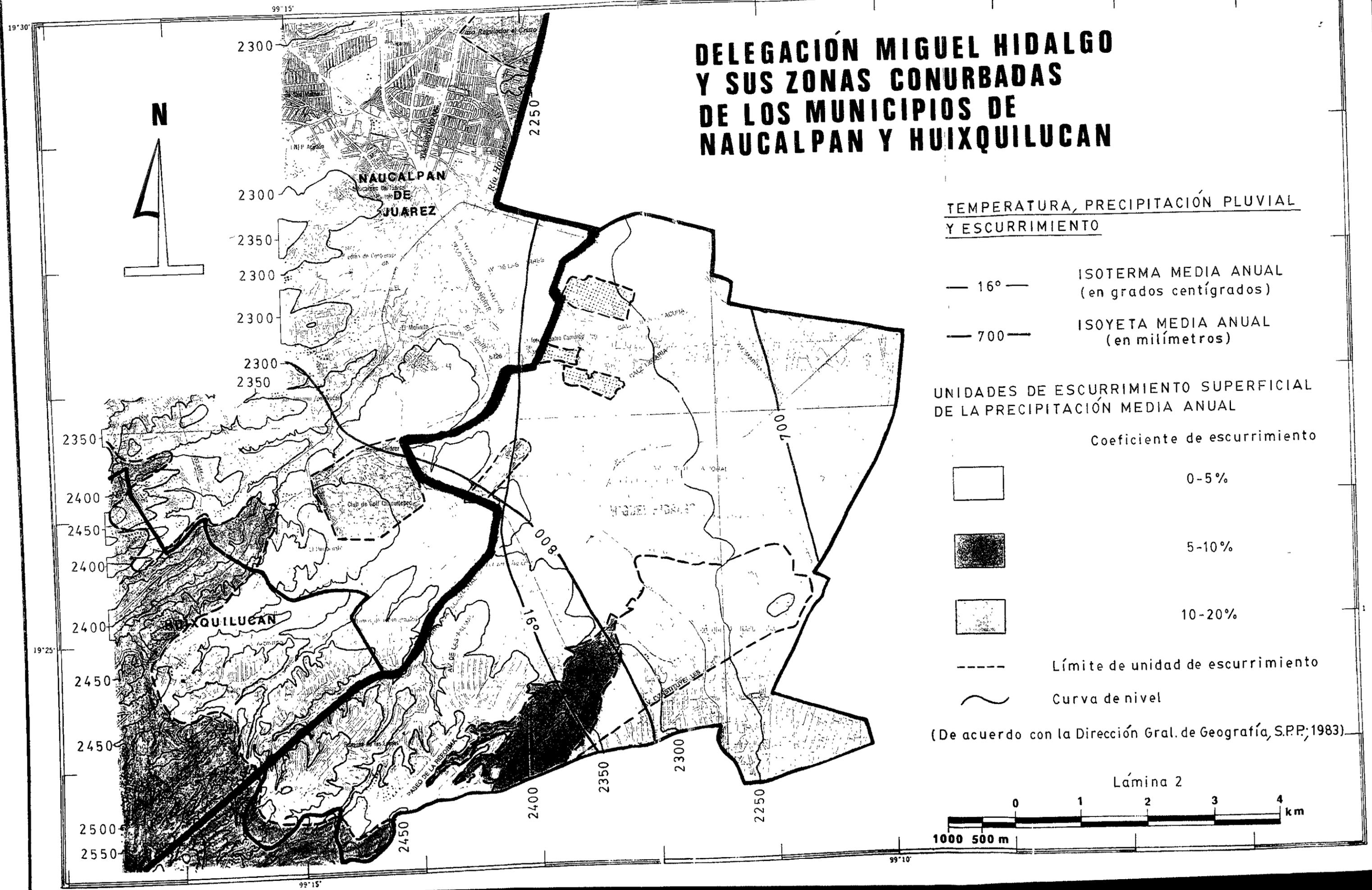
Sus límites son: al norte, la delegación Azcapotzalco, la porción sudoriental del municipio de Naucalpan y la oriental del de Huixquilucan; al sur, las delegaciones Alvaro Obregón y Benito Juárez; al oriente, la delegación Cuauhtémoc; y al poniente, la delegación Cuajimalpa y un sector de la porción oriental del municipio de Huixquilucan.

Su territorio ocupa una superficie combinada de 92.47 km cuadrados (47.64 km<sup>2</sup> de la delegación Miguel Hidalgo, 28.06 km<sup>2</sup> de la zona conurbada del municipio de Naucalpan y 16.77 km<sup>2</sup> de la del municipio de Huixquilucan), (Guía Roji S.A. de C.V., 1992).

## 2.2.- Aspectos fisiográficos

El área en estudio ocupa tanto una parte de la vertiente oriental de la Sierra de Las Cruces, como una parte de la planicie de la Cuenca de México (altiplanicie), importantes estructuras geomorfológicas que tuvieron su origen en los procesos volcánicos que conformaron el Sistema Volcánico Transversal en el Cuaternario.

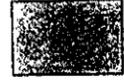
# DELEGACIÓN MIGUEL HIDALGO Y SUS ZONAS CONURBADAS DE LOS MUNICIPIOS DE NAUCALPAN Y HUIXQUILUCAN



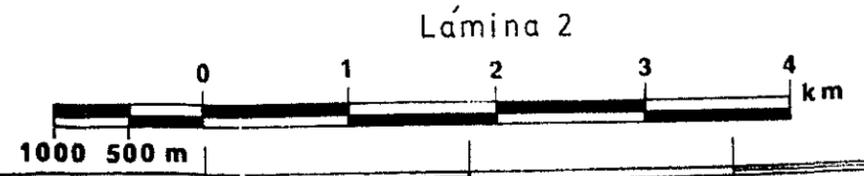
## TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN PLUVIAL Y ESCURRIMIENTO

- 16° — ISOTERMA MEDIA ANUAL  
(en grados centígrados)
- 700 — ISOYETA MEDIA ANUAL  
(en milímetros)

## UNIDADES DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL

- Coeficiente de escurrimiento
-  0-5%
  -  5-10%
  -  10-20%
  - Límite de unidad de escurrimiento
  - ~ Curva de nivel

(De acuerdo con la Dirección Gral. de Geografía, S.P.P.; 1983)



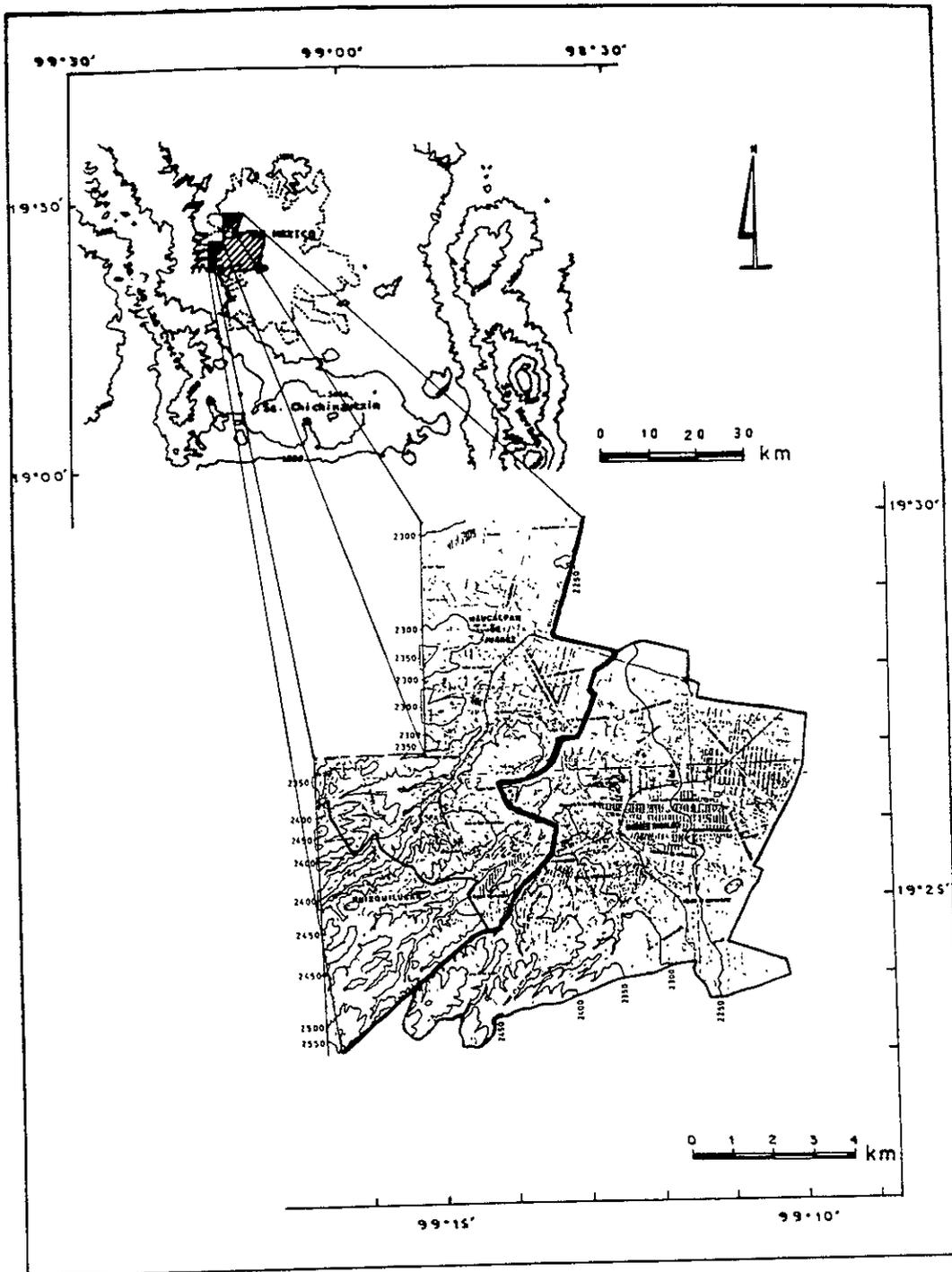


FIGURA 1.- Ubicación de la Delegación Miguel Hidalgo y sus zonas conurbadas de los municipios de Naucalpan y Huixquilucan en el sur de la Cuenca de México..

El relieve de este territorio es de piedemonte y de planicie (Lámina 5); el 60% de su superficie presenta una pendiente de seis grados o menos (en las planicies lacustre, lacustre-aluvial, aluvial e inclinada del piedemonte inferior, superficies de divisorias de aguas, laderas convexas, así como en las llanuras de inundación de las corrientes principales), (Lámina 8 y Mapa Geomorfológico); mientras que el 40% restante presenta pendientes superiores a dicho valor pues corresponde a las zonas donde se encuentran las laderas de los barrancos principales y secundarios.

La zona del piedemonte está constituida por dos partes: una superior y otra inferior (Lámina 5).

La superior forma el extremo sudoccidental del territorio; comienza a una altura de 2,450 m s.n.m.m. y se extiende hacia las partes más altas del mismo, abarcando gran parte de los territorios vecinos del municipio de Huixquilucan y de la delegación de Cuajimalpa, donde constituye "una rampa acumulativa de vulcanoclastos (cenizas y flujos piroclásticos principalmente)", (García-Romero, 1993; p. 28).

Morfológicamente, se trata de una estructura compleja formada tanto por la depositación de los materiales piroclásticos producidos durante las erupciones explosivas del volcán (Cerro) San Miguel, ubicado en el límite occidental de las delegaciones Cuajimalpa y Alvaro Obregón y los volcanes (Cerros) de Salazar y de Chimalpa ubicados en la parte central del municipio de Huixquilucan, como por la acumulación de materiales detríticos arrastrados por las corrientes fluviales y la acción de la gravedad (procesos endógenos y exógenos), la cual fue sometida posteriormente a una serie de procesos de erosión intensos provocados por corrientes que la disecaron profundamente causando la formación de los barrancos principales y, posteriormente, la de los secundarios (Lugo, op. cit.; p. 9), (Mapa Geomorfológico).

El piedemonte inferior al igual que el superior, es una estructura formada por la acumulación de materiales piroclásticos y detríticos originados por los mismos procesos anteriores; se extiende por toda la superficie comprendida entre las cotas de 2,280 y 2,250 m s.n.m.m., constituyendo la zona más extensa del área en estudio y al igual que su contraparte superior también se encuentra muy disecado por corrientes fluviales que han formado en él profundos barrancos por donde corren corrientes de carácter permanente (de tercer y cuarto orden) y en cuyas laderas se

han desarrollado un gran número de barrancos secundarios por los que corren caudales intermitentes (de temporada), que constituyen corrientes fluviales de primer orden (Mapa Geomorfológico).

Por su parte, se puede observar que también la zona de planicie está constituida por dos partes principales:

La primera es la planicie inclinada del piedemonte inferior (Lámina 5), la cual es una superficie de inclinación suave ubicada entre las cotas de 2,255 y 2,280 m s.n.m.m.. Su origen es de tipo acumulativo-aluvial, habiéndose formado por la coalescencia de los abanicos aluviales que se formaron en las desembocaduras de las antiguas corrientes principales que fluían hacia la Cuenca de México desde la Sierra de Las Cruces (de Cserna et al, op. cit.; p. 2).

La segunda parte está conformada por la planicie lacustre (Lámina 5), la cual constituye el nivel de base de toda el área estudiada ya que es la porción más baja de la misma. Se extiende a partir de la cota de 2,255 m s.n.m.m. hacia las zonas más bajas del área y representa “una antigua zona de acumulación de los arroyos en su desembocadura en la ribera del lago” (Lugo et al, 1995; p. 55), por lo que es el lugar en donde los detritos (materiales volcánicos retrabajados) arrastrados por las antiguas corrientes fluviales se depositaron y se interdigitaron con los depósitos de origen netamente lacustre, que generaron el azolve paulatino de la Cuenca de México (de Cserna et al, op. cit.; p. 1), (Mapa Geomorfológico).

### 2.3.- Clima

El tipo de clima que presenta el área en estudio ha sido clasificado dentro del subgrupo de los climas templados de tipo subhúmedo; de acuerdo con la clasificación de climas establecida por Köppen y modificada para México por García-Amaro (1988).

Dicho clima se caracteriza por tener una temperatura media anual de entre 12 y 18 °C, con una temperatura del mes más frío de entre 3 y 18 °C y lluvias en el verano con una precipitación pluvial durante el mes más seco menor a los 40 mm; valores que señalan con más precisión que se trata de un clima templado subhúmedo, con lluvias en el verano y una humedad media, por lo que queda

comprendido dentro de los subtipos menos húmedos de los climas templados subhúmedos (S.P.P., Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, Carta de Climas, 1980).

Usando las siglas que han sido establecidas para este sistema de clasificación climática, el tipo de clima del área estudiada puede definirse de manera general como un clima del tipo C(W<sub>0</sub>)(W)b(i'), el cual cambia hacia el sur al tipo C(W<sub>1</sub>)(W)b(i')g, y hacia el norte al tipo C(W<sub>1</sub>)(W)b(i'), (op. cit.).

El significado de dichas siglas es el siguiente:

C: Subgrupo de los climas templados, el cual incluye:

-Tipo templados subhúmedos con lluvias en verano y precipitacional del mes más seco menor de 40 milímetros:

(W<sub>0</sub>)(W): Porcentaje de precipitación pluvial invernal menor al 5%

-Tipo templados subhúmedos con lluvias en verano, que agrupa los subtipos de humedad media pertenecientes a este tipo:

(W<sub>1</sub>)(W) : Porcentaje de precipitación pluvial invernal menor al 5%

b: Verano fresco y largo, con una temperatura del mes más cálido de entre 6.5° y 22° C

(i'): Con poca oscilación (entre 5° y 7° C)

g: Indica que el mes más cálido se presenta antes de Junio (símbolo referente a la marcha anual de la temperatura). Si no se presenta dicha condición este símbolo se omite

### 2.3.1.- Temperatura

La temperatura media anual calculada para el centro del área estudiada es de 16 °C (S.P.P., Dirección General de Geografía, Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, 1983).

La isoterma media anual que tiene ese valor corre a lo largo de la parte central del área (Lámina 2), lo que la convierte en un escalón térmico ubicado burdamente a la altura de 2,350 m s.n.m.m. a partir de donde las temperaturas disminuyen hacia el poniente (zona del piedemonte), y aumentan hacia el oriente (zona de la planicie). Esto quizá se deba, al menos en parte, a la gran escasez de vegetación que presenta la zona de la planicie en comparación con la del piedemonte debido su alto grado de urbanización (Lámina 11).

La siguiente tabla muestra los valores de las temperaturas medias anuales medidas en las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional ubicadas dentro del área estudiada hasta el año de 1980:

Cláve (1)	Nombre de la Estación	Años (*)	Temperatura media anual	Tipo de Clima
09-049	Tacubaya (S.M.N.)	55	15.3° C	C(W1)(W)b(i')g
09-051	Tecamachalco	20	15.3° C	C(W2)(W)b(i')
09-030	Jardín botánico Chapultepec	37	14.8° C	C(W1)(W)b(i')
09-063	Tacuba (Mar Kara No. 3)	17	17.6° C	C(Wo)(W)b(i')g
09-075	Col. Tlaxpana	5	16.3° C	C(Wo)(W)b(i')g
09-012	Col. Escandón	48	7.5° C	C(Wo)(W)b(i')g

(1) Las claves son las asignadas a cada Estación Meteorológica en la Carta de Climas, escala 1:1,000,000 editada por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, S.P.P., 1980.

(\*) Hasta 1980.

(Fuente: Carta de Climas, escala 1:1,000,000; Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, S.P.P., 1980)

### 2.3.2.- Precipitación pluvial

En lo que a lluvias se refiere, los niveles de precipitación media anual que se presentan en el área en estudio son medios.

La Dirección General de Geografía de la Secretaría de Programación y Presupuesto señala en su Carta Hidrológica de Aguas Superficiales (op. cit.), la existencia de dos líneas de igual precipitación pluvial (isoyetas) que cruzan el territorio.

La primera corresponde a un valor de 700 mm de agua y corre a lo largo del extremo oriental del área sobre la planicie lacustre, con un rumbo NW-SE (Lámina 2).

La segunda, que corresponde a un valor de 800 mm de agua, corre atravesando la zona de la planicie inclinada del piedemonte inferior, al oeste de la isoyeta anterior, a modo de una curva irregular cuyo extremo norte penetra en la zona del piedemonte inferior (íd.).

Lo anterior indica que las mayores precipitaciones medias anuales se dan en la porción occidental del área estudiada, aumentando hacia niveles aún mayores en el territorio correspondiente a la vecina delegación Cuajimalpa donde se alcanzan valores de 1,200 a 1,500 mm (García-Romero, op. cit.; p. 32).

Al parecer, los valores de la precipitación pluvial se hacen más homogéneos hacia el poniente de la zona del piedemonte, lo que se refleja en los tipos de vegetación emplazados en la misma (bosques, matorrales y pastizales) que aprovechan la mayor humedad de los suelos de esta zona para su desarrollo (Lámina 11).

La temporada de lluvias se concentra en el período que va del mes de Julio al de Septiembre, prolongándose algunas veces hasta mediados del mes de Octubre (S.P.P., Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, op. cit.).

La siguiente tabla muestra los valores de las precipitaciones totales anuales medidas en las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional ubicadas dentro del área en estudio, hasta el año de 1980:

Clave (1)	Nombre de la Estación	Años (*)	Precipitación total anual (**)	Tipo de Clima
09-049	Tacubaya (S.M.N.)	55	753.1	C(W <sub>1</sub> )(W)b(i')g
09-051	Tecamachalco	20	923.2	C(W <sub>2</sub> )(W)b(i')
09-030	Jardín botánico Chapultepec	37	748.2	C(W <sub>1</sub> )(W)b(i')
09-063	Tacuba (Mar Kara No. 3)	17	747.2	C(W <sub>0</sub> '')(W)b(i')g
09-075	Col. Tlaxpana	6	630.4	C(W <sub>0</sub> )(W)b(i')g
09-012	Col. Escandón	48	715.0	C(W <sub>0</sub> )(W)b(i')g

1) Las claves son las asignadas a cada Estación Meteorológica en la Carta de Climas, escala 1:1,000,000 editada por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, S.P.P., 1980.

(\*) Hasta 1980

(\*\*) En milímetros

(Fuente: Carta de Climas, escala 1:1000 000, Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, S.P.P., 1980)

En lo referente al escurrimiento superficial natural, la Carta Hidrológica antes citada zonifica dentro del área en estudio tres tipos de unidades de escurrimiento superficial aplicables a zonas no urbanizadas o que lo están muy poco (escurrimiento natural), referidas a la precipitación media anual de la misma área, la cual a su vez se encuentra delimitada por las isoyetas ya mencionadas (Lámina 2).

La primera unidad de escurrimiento posee un coeficiente ubicado dentro del rango que va del cero al 5% del total de la precipitación media anual; dicho rango se presenta en la zona que comprenden la primera y segunda secciones del Bosque de Chapultepec, así como la del Panteón Civil de Dolores, ambas en la delegación Miguel Hidalgo (í.d.).

La segunda unidad tiene un coeficiente de escurrimiento que va del 5 al 10% del total de la precipitación antes mencionada, y las zonas que lo presentan son la tercera sección del Bosque de Chapultepec, en la delegación Miguel Hidalgo y casi todo el sector occidental de la porción estudiada del municipio de Huixquilucan, en donde solo un tercio de la misma no posee un coeficiente de escurrimiento natural debido a su urbanización casi total (í.d.).

La última unidad de escurrimiento que se presenta en el área, posee un coeficiente que varía entre el 10 y el 20% del total de la precipitación media anual. Las zonas en donde se presenta son el Club de Golf Chapultepec ubicado en el municipio de Naucalpan, junto al Campo Militar No. 1; el vaso regulador de caudales "El Cristo" dentro del mismo municipio, y las zonas del Hipódromo de Las Américas y de los panteones Sanctorum, Francés y Español del área de Tacuba, (Lámina 2).

Todo lo antes mencionado constituye un conjunto de factores importantes que deben ser tomados en cuenta al analizar tanto la posibilidad de generación de procesos gravitacionales como el régimen hidrológico que presenta el territorio estudiado.

#### 2.4.- Vegetación

Con base en la información que para el área en estudio proporciona la Carta de Uso del Suelo publicada por CETENAL (1976), actualizada por el autor (Lámina

11), la delegación Miguel Hidalgo y su zona conurbada mexiquense poseen una vegetación que puede ser clasificada en tres tipos principales:

- a) Forestal
- b) Pastizales
- c) Matorrales

A continuación damos una explicación de cada uno de ellos.

a) Forestal:

Está formada en su mayor parte por bosques artificiales, es decir, bosques cuyos árboles han sido sembrados o a los que el hombre les ha facilitado de alguna manera su desarrollo (alóctonos), con escasos sectores cubiertos por bosques naturales (autóctonos).

Examinando los tipos de uso del suelo que se le han dado al área en estudio (Lámina 11), podemos observar que sólo existen en ella algunas zonas muy pequeñas de uso forestal cuyos árboles han crecido ahí de manera natural, sin que medie influencia alguna por parte del hombre. Dichas zonas son los únicos bosques de ese tipo que se encuentran en el área, y están ubicadas casi totalmente en el territorio perteneciente al municipio de Huixquilucan; la excepción es una que se encuentra en Náucalpan, ubicada muy cerca del límite municipal de ambas entidades, al norte del Arroyo El Sordo (Láminas 3 y 11).

En ellas observamos que son árboles de encino los que conforman la vegetación arbórea dominante (encinales), mezclada en su mayoría de las mismas con pastizales que deben su desarrollo a la influencia del hombre (pastizales inducidos) como vegetación secundaria.

Por otra parte, el mapa de uso del suelo (Lámina 11) nos muestra que existen zonas forestales que se encuentran pobladas tanto por árboles que crecieron ahí naturalmente como por otros que fueron sembrados "ex profeso", es decir, zonas que presentan una mezcla de bosque natural con bosque artificial.

La primera (y más grande) de ellas es la que conforma la primera sección del Bosque de Chapultepec, en la delegación Miguel Hidalgo, cuyos árboles naturales consisten principalmente en coníferas (árboles de hojas aciculares) de las cuales la especie más abundante es la conocida comúnmente como "ahuehuete"; éstos se encuentran mezclados con otras especies del tipo de las latifoliadas (árboles de hojas anchas) que fueron sembrados en la zona, y de los cuales el más común es el eucalipto, (id.).

Otras zonas de este tipo están ubicadas en el municipio de Huixquilucan, justo al noroeste y al sureste de las instalaciones de la Universidad Anáhuac, en los barrancos pertenecientes a los arroyos de La Loma y de La Pastora respectivamente (Láminas 3 y 11); aquí los árboles que han crecido en forma natural son encinos (especie dominante) los cuales se encuentran mezclados con eucaliptos y pastizales inducidos.

Estas características hicieron que estas zonas fueran clasificadas como bosques naturales-artificiales (op. cit), (Lámina 11).

El resto de las zonas de uso forestal del área son bosques artificiales en donde la vegetación arbórea dominante es de especies latifoliadas, entre las que destaca el eucalipto, las cuales pueden o no estar mezcladas con pastizales inducidos como vegetación secundaria (id.).

#### b) Pastizales:

Constituyen la vegetación herbácea más abundante del área estudiada (Lámina 11); está compuesta por pastos inducidos por el hombre, ya sea directamente o por una inducción favorecida por alguna acción del mismo sobre las otras vegetaciones (tala inmoderada de zonas forestales, construcción de obras hidráulicas, etc.).

Una gran parte de ellos se encuentra como vegetación secundaria en los bosques naturales y artificiales (inciso anterior) o mezclada con vegetación arbustiva (matorrales), especialmente en las laderas de los barrancos de Huixquilucan; mientras que otros constituyen el único tipo de vegetación presente en algunas zonas



FIGURA 2.- Vista de la ladera norte del barranco del Rio Hondo frente a la colonia La Unidad, en Huixquilucan, donde se aprecia la ladera convexa que limita con la superficie de divisoria de aguas en la parte superior, cubierta por vegetación compuesta de matorrales inermes que han crecido sobre un suelo conformado por litosoles

del área (laderas de la barranca Barrilaco en Miguel Hidalgo; Club de golf Chapultepec y laderas del barranco de la colonia El Chamizal en Naucalpan), (íd.).

c) Matorrales:

Es el tipo de vegetación herbácea menos abundante del área; está constituida por arbustos de altura variable y ramificaciones desde la base del tallo, las cuales no tienen espinas por lo que desde el punto de vista taxonómico se trata de matorrales inermes. A diferencia de los pastizales, no son una vegetación inducida sino que se genera por medios naturales.

Del mismo modo que los pastizales, los matorrales se presentan como vegetación secundaria en los bosques (especialmente en los artificiales), como puede observarse en una parte de la tercera sección del Bosque de Chapultepec, en Miguel Hidalgo, y en varias de las zonas forestales con vegetación secundaria importante en Huixquilucan, mencionadas en el inciso (a), (Lámina 11).

Asimismo, también son parte de la vegetación dominante en varias de las zonas no urbanizadas del área en estudio como se observa a lo largo de las laderas de los barrancos correspondientes a los arroyos Los Jazmines, El Sordo y en las laderas del barranco del río Hondo, en Huixquilucan (Láminas 3 y 11, y Fig. 2).

## 2.5.- Hidrografía

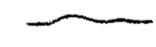
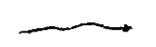
El conjunto de las aguas corrientes presentes en el área en estudio se encuentra controlado por dos factores principales: el régimen pluviométrico y las pendientes del terreno.

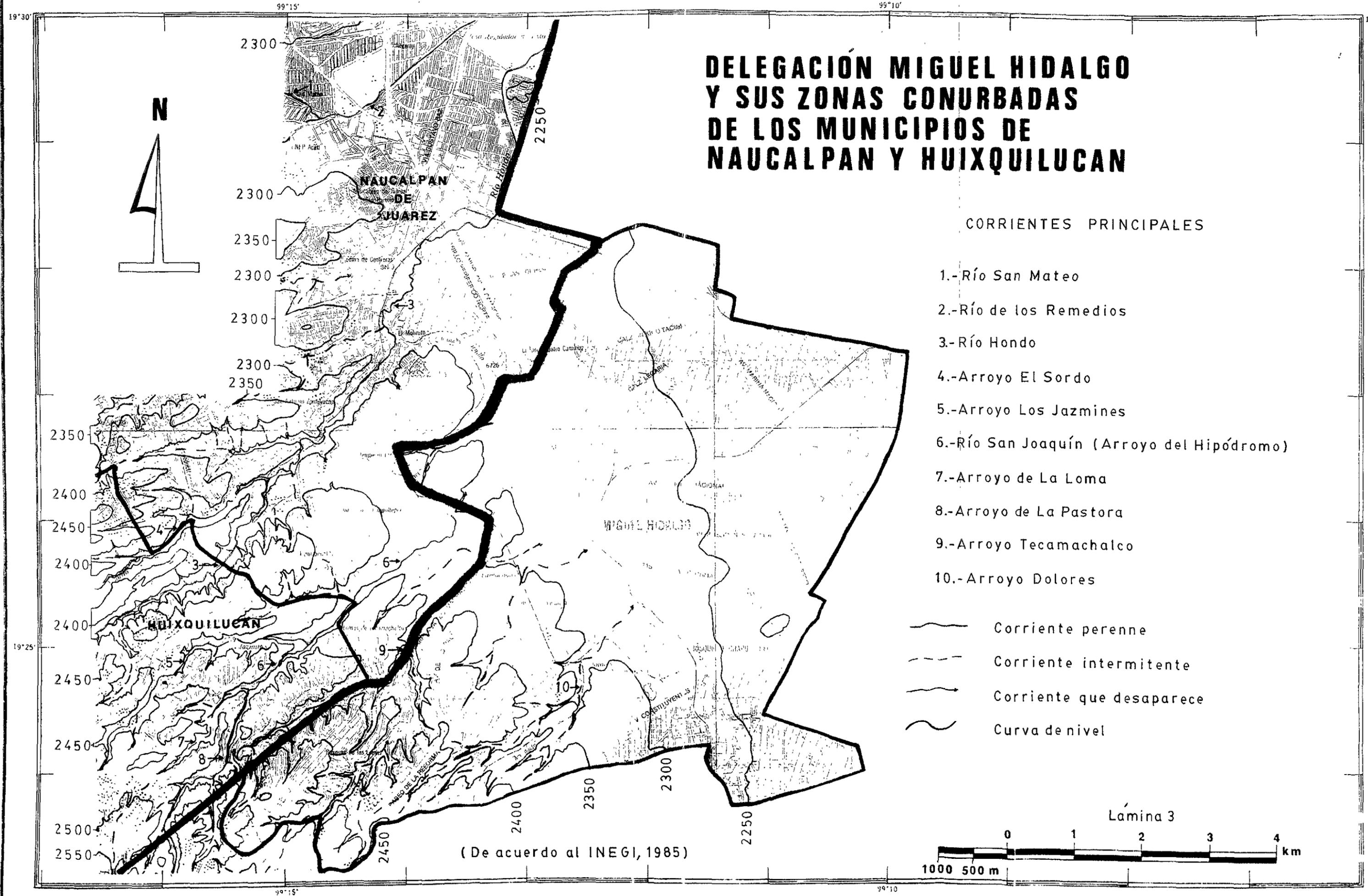
Con respecto al régimen pluviométrico, señalamos en el subcapítulo 2.3.2 que el área estudiada está afectada por una precipitación media cuyos valores varían desde poco más de 800 mm anuales en las zonas altas del piedemonte superior (zona poniente), hasta 700 mm anuales en la zona de la planicie (zona oriente), los cuales se distribuyen en los meses de Julio a Septiembre principalmente, (Lámina 2)

# DELEGACIÓN MIGUEL HIDALGO Y SUS ZONAS CONURBADAS DE LOS MUNICIPIOS DE NAUCALPAN Y HUIXQUILUCAN

## CORRIENTES PRINCIPALES

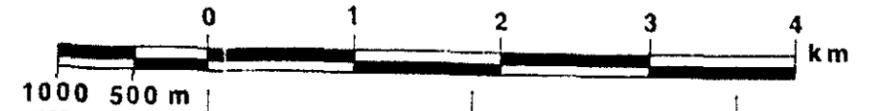
- 1.-Río San Mateo
- 2.-Río de los Remedios
- 3.-Río Hondo
- 4.-Arroyo El Sordo
- 5.-Arroyo Los Jazmines
- 6.-Río San Joaquín (Arroyo del Hipódromo)
- 7.-Arroyo de La Loma
- 8.-Arroyo de La Pastora
- 9.-Arroyo Tecamachalco
- 10.-Arroyo Dolores

-  Corriente perenne
-  Corriente intermitente
-  Corriente que desaparece
-  Curva de nivel



(De acuerdo al INEGI, 1985)

Lámina 3



En lo referente a las pendientes (Lámina 8), podemos observar que la zona poniente del área es la que presenta las de mayor intensidad (más de 15°) lo que ocasiona que ahí el escurrimiento superficial sea de intermedio a alto, como queda señalado con el rango de 5 a 10% que muestra dicha zona en la Lámina 2.

Lo anterior ha permitido el desarrollo de tres sistemas hidrográficos en la superficie del territorio (Lámina 3):

A) El sistema del Río Hondo, al norte, que es el primero y más importante, cuyos tributarios superiores nacen en la zona montañosa del municipio de Huixquilucan, fuera del área estudiada, mientras que los inferiores incluyen los siguientes cauces:

- Arroyo Totolinga
- Arroyo Los Cuartos
- Arroyo El Sordo

B) El sistema del Río San Joaquín (o Arroyo del Hipódromo), al centro del área, cuyos tributarios incluyen a los siguientes cauces:

- Arroyo de La Loma
- Arroyo de La Pastora
- Arroyo de Los Jazmines

C) Sistema del Arroyo Tecamachalco; el más meridional de todos, cuyo tramo final al igual que el de su tributario principal, el Arroyo Dolores, ha sido entubado a causa de la urbanización, por lo que su confluencia no se muestra superficialmente .

Estos sistemas presentan un patrón de drenaje semidendrítico hasta los 2,400 m de altitud aproximadamente, luego aguas abajo, éste cambia a subparalelo hasta llegar a la zona de la planicie.

En cuanto al escurrimiento, observamos que las corrientes de los barrancos mayores (ríos de Los Remedios, Hondo, San Joaquín y arroyos El Sordo, Los Jazmines, La Loma, La Pastora, Tecamachalco y Dolores) es de tipo perenne, mientras que las de los barrancos menores es intermitente; aquí es importante mencionar que aunque el escurrimiento en las corrientes principales se incrementa en la época de lluvias (Julio a Septiembre), el régimen hidrológico se ha alterado artificialmente de manera importante debido a las obras capto-reguladoras y conductoras de aguas que se han construido en los cauces de las mismas (presas, vasos reguladores, carcamos, entubamientos, etc.).

Asimismo, cabe señalar que la densidad de las corrientes es mayor hacia el poniente del área, en el territorio de Huixquilucan, y en el occidente de Naucalpan (Lámina 6); lo anterior será tratado con más profundidad en el capítulo IV.

## 2.6.- Suelos

Tomando en cuenta que en los procesos físicos y químicos que dan origen a los materiales edáficos que se forman en la superficie terrestre, son el tipo de clima y las características del material rocoso del que derivan los dos factores genéticos más importantes, haremos una breve descripción de los suelos holocénicos que se presentan en el área en estudio; el análisis de los suelos preholocénicos se hará en el capítulo V.

De acuerdo con la información que proporciona la Carta Edafológica editada por CETENAL (1977), en el área estudiada se presentan cuatro tipos de suelos predominantes (Lámina 4), dos de los cuales se encuentran combinados con otros suelos secundarios, (la clasificación está hecha en base a la de la FAO/UNESCO de 1970, modificada por CETENAL):

Suelos Predominantes

Suelos Secundarios

Feozem (indiferenciado)

Feozem háplico

Feozem háplico

+

Litosol

Feozem háplico

+

Vertisol pélico

Litosol

+

Feozem háplico

Regosol

A) Feozem (indiferenciado):

Su nombre deriva del vocablo griego "Phaeo" que significa "pardo", y del ruso "Zemljá" que quiere decir "tierra"; literalmente significa: "tierra parda". " Se trata de un amplio grupo de suelos que se desarrollan en varias condiciones climáticas, las cuales pueden variar desde semiáridas hasta tropicales muy lluviosas" (S.P.P., Guías para la Interpretación de Cartografía (Edafología); 1980), por lo que el clima templado que caracteriza al área en estudio no se puede considerar como un factor genético determinante; también tienen la característica de "desarrollarse sobre terrenos de diversos tipos, desde planos hasta montañosos" (op. cit.), rasgos que se cumplen en el área estudiada porque estos suelos se presentan tanto en la zona de piedemonte como en su planicie adyacente

La vegetación que muestran es muy variada, y su característica especial es la de "presentar una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes, sin capas ricas en cal"; su susceptibilidad a la erosión está en razón directa de su espesor y de la pendiente del terreno donde se encuentren (op. cit.).

Este grupo de suelos se presenta al oriente del área en estudio, en la mayor parte de la zona correspondiente a la planicie lacustre (Lámina 4), lo que indica que se formaron por procesos que meteorizaron "in situ" los sedimentos depositados en el fondo del antiguo lago de la cuenca de México, transformándolos en arcillas hidrófilas.

#### B) Feozem háplico:

Son los suelos más simples del grupo Feozem, el cual abarca otras variedades como la gléyica, lúvica y calcárica, que poseen características adicionales, (de ahí su calificativo de "háplico", derivado del vocablo griego "haplos", que significa "sin mezcla"), asimismo, presentan la misma tendencia a la erosión de los suelos del inciso anterior (op. cit.).

En el área estudiada éste tipo de suelos se presenta como predominante en las laderas de los barrancos principales, como en la ladera norte y en la llanura de inundación del barranco del Río San Joaquín y en una parte del tramo final del barranco del Río Hondo, desde el poblado de San José Río Hondo hasta su desembocadura en la planicie cerca de San Bartolo y su zona industrial cercana, en Naucalpan, así como en algunas partes de la planicie inclinada del piedemonte inferior (fraccionamientos Bulevares y San Bartolo, en el mismo municipio), (Lámina 4).

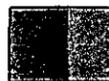
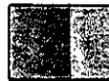
Al ubicar todas las zonas antes mencionadas en el Mapa Geológico, salta a la vista el detalle de que los afloramientos de estos suelos corresponden con las zonas donde se encuentran emplazados los depósitos piroclásticos denominados "Cuquita" por Mooser y colaboradores (1992), pertenecientes a la Formación Tarango (Capítulo V), cuya composición es pumítico-andesítica. También se observan afloramientos de ellos en zonas correspondientes a depósitos aluviales ubicados en la zona de la planicie inclinada del piedemonte inferior (Lámina 4 y Mapas Geológico y Geomorfológico).

Lo anterior sugiere que los suelos Feozem háplicos derivan de la meteorización de los componentes pumítico-andesíticos de estos depósitos piroclásticos y de los sedimentos acarreados por las corrientes fluviales hacia las

# DELEGACIÓN MIGUEL HIDALGO Y SUS ZONAS CONURBADAS DE LOS MUNICIPIOS DE NAUCALPAN Y HUIXQUILUCAN

## UNIDADES DE SUELO (\*)

SUELO PREDOMINANTE      SUELO SECUNDARIO

	Feozem		
	Feozem háplico		
	Feozem háplico	+	Litosol
	Feozem háplico	+	Vertisol pélico
	Litosol	+	Feozem háplico
	Regosol		

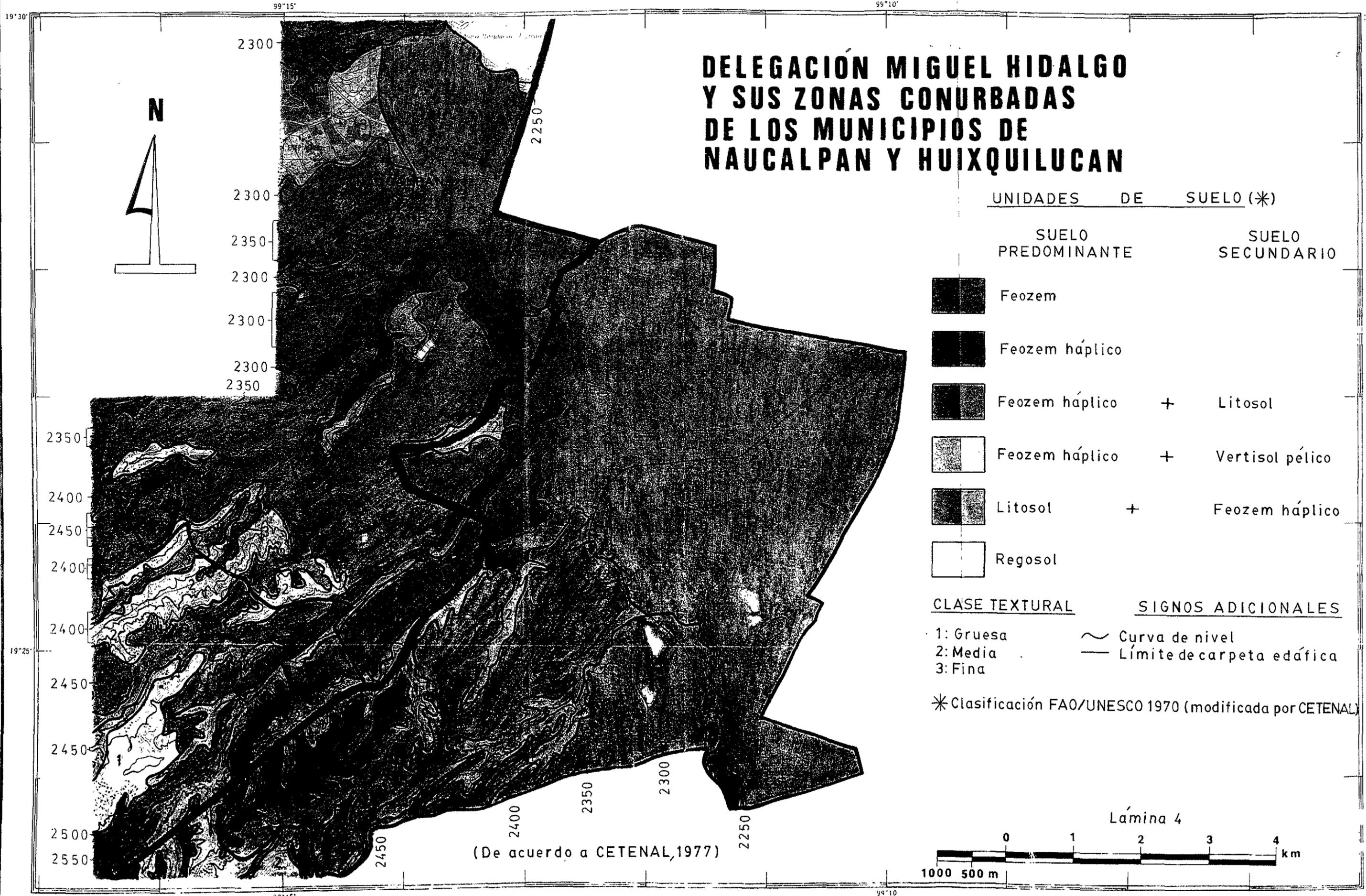
### CLASE TEXTURAL

- 1: Gruesa
- 2: Media
- 3: Fina

### SIGNOS ADICIONALES

-  Curva de nivel
-  Límite de carpeta edáfica

\* Clasificación FAO/UNESCO 1970 (modificada por CETENAL)



(De acuerdo a CETENAL, 1977)

Lámina 4

partes inferiores del piedemonte (planicie inclinada) que conforman la zona de transición hacia la planicie lacustre.

Los suelos Feozem háplicos predominantes unidos a los suelos de tipo Litosol secundarios conforman la carpeta edáfica más extensa que cubre el área en estudio, al abarcar la mayor parte de la superficie correspondiente al piedemonte inferior y una parte de la del superior (id.); esta característica probablemente se deba a que se han formado a partir de los varios tipos de depósitos piroclásticos que componen a la Formación Tarango y no de uno solo como ocurre con los Feozems háplicos predominantes que no presentan suelos secundarios, como puede observarse al correlacionar sus sitios de afloramiento con las litologías correspondientes señaladas en el Mapa Geológico (depósitos pumítico-andesíticos "Cuquita", Tobas pumíticas "Hank", flujos riódacíticos "Xolopo" y flujos dacíticos "Arenas Azules"), (Mooser et al., op. cit.; p. 8).

La presencia de los litosoles en su composición nos indica que su desarrollo edáfico no está muy avanzado ya que éstos son suelos de poco espesor que conservan muchos clastos de la roca madre poco alterados por los procesos edafogenéticos (inciso C).

También los podemos encontrar como suelos secundarios en los Litosoles de las laderas de los barrancos que disecan todo el piedemonte del área estudiada (Lámina 4), lo que indica que forman una combinación de suelos con un desarrollo edáfico aún menor que el de la combinación anterior.

Por todo lo antes mencionado, los suelos Feozem háplicos son por mucho la variedad edáfica más extensa e importante del área estudiada.

### C) Litosol:

Es un suelo cuyo nombre deriva del vocablo griego "Lithos" que quiere decir "piedra", por lo que literalmente su nombre significa "suelo de piedra".

Se trata de un tipo de suelos "poco desarrollados, caracterizados por tener un espesor menor a los 10 cm." (S.P.P., op. cit.), profundidad a la cual se encuentra la roca sobre la que se asientan.

“Sus otras características son muy variables dado su escaso desarrollo, la gran variedad de materiales a partir de los cuales pueden ser formados (roca madre) y de climas donde se presentan, y el muy variado tipo de vegetación que se desarrolla sobre ellos, por lo que pueden ser suelos fértiles o infértiles. Su susceptibilidad a erosionarse depende de la zona en donde se encuentren, de la topografía y del mismo suelo, por lo que ésta puede ser desde moderada hasta muy alta” (op. cit.).

Dentro del área estudiada se presentan como suelos predominantes en casi todas las laderas de los barrancos principales y en las de todos los secundarios, donde la erosión ha impedido su desarrollo (Fig. 2), mientras que como suelos secundarios se encuentran unidos a los Feozems háplicos predominantes cubriendo la mayor parte de la extensa zona piedemonte inferior y una parte de la del superior, constituida por diversos depósitos piroclásticos pertenecientes a la Formación Tarango, ya mencionados en el inciso (B), (Lámina 4).

#### D) Regosol:

Se trata de un tipo de suelos cuyo nombre deriva del vocablo griego “Rhegos” que significa “manto o cobija”, por lo que el significado de su nombre es “capa de material suelto que cubre la roca”. Al igual que los litosoles, se presentan en muy distintos climas y con muy diversos tipos de vegetación, por lo que el clima y la vegetación que presenta el área en estudio no pueden considerarse como factores claves para su desarrollo de éstos suelos.

Su característica principal es la de no presentar capas distintas sino uniformes. “Son de color claro y se parecen bastante a la roca que los subyace cuando no son profundos. Se encuentran en las laderas de todas las sierras mexicanas muchas veces acompañados de litosoles, de afloramientos de roca o de tepetate” (op. cit.).

En la área estudiada sólo se presentan en una pequeña zona del sudponiente de la porción estudiada del municipio de Huixquilucan, junto a una antigua zona de bancos de materiales que hoy ha sido urbanizada en su mayor parte, justo al noroeste de las instalaciones de la Universidad Anáhuac (Lámina 4 y Mapa Geológico).

### E) Vertisol pélico:

Son suelos cuyo nombre deriva del vocablo latino “Verto” el cual quiere decir “voltear”, por lo que literalmente su nombre significa “suelo que se voltea o revuelve”. Se caracterizan por presentarse en “zonas de climas templados y cálidos, en las que existe una marcada diferencia entre la estación seca y la lluviosa” (S.P.P., op. cit.), por lo que a diferencia de los tipos anteriores, en estos suelos el clima templado y el régimen de precipitación pluvial del área estudiada si son factores primordiales en su formación y desarrollo.

“La vegetación natural de éstos suelos va desde las selvas bajas hasta los pastizales y matorrales de los climas semisecos. Son negros o grises en las zonas del centro y oriente de México; son pegajosos cuando están húmedos y muy duros cuando están secos; a veces son salinos”, (op. cit.).

En el área en estudio se presenta su variedad pélica (del griego “Pellos” que significa “grisáceo”) como suelos secundarios de color gris oscuro unidos a los Feozems háplicos predominantes en una reducida zona del municipio de Naucalpan que abarca desde el Río San Mateo y el Parque Naucalli al norte, hasta las instalaciones de la ENEP Acatlán al sur (Lámina 4).

Estos suelos se desarrollaron presumiblemente a partir de los depósitos aluviales que arrastró el Río San Mateo hasta su desembocadura en la planicie lacustre.

Por otra parte, en lo referente a las clases texturales que presentan los suelos del área estudiada (contenido de partículas de diferentes tamaños que se presentan en los 30 centímetros superficiales del suelo), la Carta Edafológica antes mencionada (op. cit.) nos indica que los suelos de tipo Feozem háplico tienen una textura predominantemente fina (señalados con el número 3 en la Lámina 4) en la zona correspondiente al piedemonte inferior, lo que hace que sean “suelos arcillosos, con mal drenaje, poca porosidad, duros al secarse, que se inundan y que tienen problemas de laboreo” (S.P.P., op. cit.).

Asimismo, este tipo de suelos presentan una textura media (señalada con el número 2, íd.) “parecida a los limos de los ríos” en las zonas del piedemonte

superior, la cual es “la textura con menos problemas de drenaje, aireación y fertilidad” (op. cit.).

Los suelos que son producto de la combinación Feozem háplico + Litosol, presentan una textura media; los que son producto de la combinación Feozem háplico + Vertisol pélico, la tienen fina; aquellos producto de la combinación Litosol + Feozem háplico, la tienen media; mientras que en los suelos de tipo Regosol la textura es gruesa (número 3, id.), o sea se trata de suelos “que en la superficie son arenosos, lo que puede ser causa de problemas como poca retención de agua o pocos nutrientes en los mismos” (op. cit.).

Con el fin de completar la información referente a las características físicas de los suelos del área estudiada, es importante mencionar que todos los suelos de tipo Feozem háplico que se presentan combinados con Litosoles ya sea como predominantes o secundarios, presentan una capa dura, cementada, que no se rompe con facilidad (tepetate), la cual es llamada por los edafólogos “duripán” y que es característica de la fase física denominada “dúrica” (S.P.P., op. cit.).

De acuerdo a lo anterior, los suelos Feozem háplicos combinados del área estudiada pueden tener un duripán ya sea a menos de 50 centímetros de profundidad (fase dúrica superficial) o a una profundidad que puede variar entre los 50 y 100 centímetros (fase dúrica profunda); la primera característica la presentan los suelos de ese tipo ubicados al norte del barranco del Río San Joaquín, mientras que la segunda es propia de los ubicados al sur del mismo (Lámina 4); los demás tipos de suelo no presentan alguna fase física particular que los caracterice (CETENAL, op. cit.).

### III.- DESCRIPCIÓN GEOLOGICA REGIONAL

#### 3.1.- Marco geológico regional

De acuerdo con lo establecido someramente en el subcapítulo 2.1, el hecho de que el área en estudio sea una pequeña parte de la Cuenca de México hace que sus características geológicas estén supeditadas a la geología regional que presenta la misma; ésta por su parte, “asemeja una enorme presa azolvada: la cortina, situada en el sur, está representada por los basaltos de la Sierra de Chichinautzin, mientras que los rellenos del vaso están constituidos en su parte superior por arcillas lacustres y en su parte inferior por clásticos derivados de la acción de ríos, arroyos, glaciares y volcanes.” (Mooser et al., 1986; p. 7), (Fig. 3).

La parte superior de dicho azolve es el resultado del depósito de sedimentos en el fondo de un antiguo lago formado al norte de esa Sierra (lago de la Cuenca de México, hoy convertido en una planicie), la cual interrumpió el drenaje natural que el antiguo Valle de México tenía hacia la cuenca del río Amacuzac, al sur, causando que se cubriera de manera discordante su basamento profundamente disecado “compuesto de depósitos volcánicos estratificados que progradan del centro de la cuenca hacia el sur”, provocando que el espesor del relleno aumentara de norte a sur (200 m en la parte central de la cuenca, y de 500 a 600 m al sur de la misma), (de Cserna et al., 1987-88; p. 1) y (Mooser y Molina, 1993; fig. 2).

Esta disección del basamento estratificado (Fig. 4, número 6) no es otra cosa que la red hidrográfica del paleovalle de México, la cual ha sido modelada con cierta precisión por Mooser (1990; p. 32 y 33), (Fig 5) a partir de la interpretación de 26 líneas sísmicas en combinación con los datos obtenidos en cinco pozos profundos ubicados en diversos puntos de la Cuenca de México.

Dicha red estaba compuesta por una compleja agrupación de valles dentro de la cual destaca por su extensión uno que se originaba en la zona de los barrancos septentrionales y en la Sierra de Guadalupe, el cual unía debajo de la actual Alameda Central a los antiguos barrancos de las zonas de Tacubaya y Becerra con otro valle proveniente de la zona de Cuauhtepac (?), que pasa por debajo de la zona de Tlatelolco, al que Mooser (op. cit.) ha denominado “Paleovalle Chapultepec-Alameda” (Fig. 6).

Le sigue en importancia un segundo paleovalle, ubicado al sur del anterior, el cual reunía a los barrancos de Mixcoac, del Muerto, San Angel y Contreras y que pasaba al lado del flanco occidental del Cerro de la Estrella, llamado "Paleovalle Culhuacán" (op. cit., p. 30); ambos valles confluían en uno solo hacia el sur en las cercanías del actual Canal de Cuemanco (Fig. 5).

Otros paleovalles importantes son los ubicados bajo la actual planicie de Texcoco, los cuales se unían para formar un solo cauce cerca del flanco oriental del Cerro de la Estrella, que al final se reunía con la salida del paleovalle de Culhuacán para formar un cauce común que drenaba hacia la cuenca hidrográfica del Río Amacuzac, y cuya profundidad se estima en 450 metros (op. cit.; p. 30), (Fig. 5).

Los sedimentos que rellenaron y cubrieron posteriormente los paleovalles occidentales de dicha red hidrográfica están constituidos principalmente por capas de piroclastos producidas por las diversas erupciones de los volcanes San Miguel, de Salazar y Chimalpa (Formación Tarango), (Fig. 4) ocurridas durante el último medio millón de años (Pleistoceno superior) y por numerosos horizontes producto de la meteorización de dichos depósitos, que conformaron los suelos del paleovalle que posteriormente se transformó en la Cuenca de México, dichos depósitos son actualmente paleosuelos preholocénicos cuyas características reflejan las condiciones climáticas predominantes en la región cuando estos se formaron (Fig. 6).

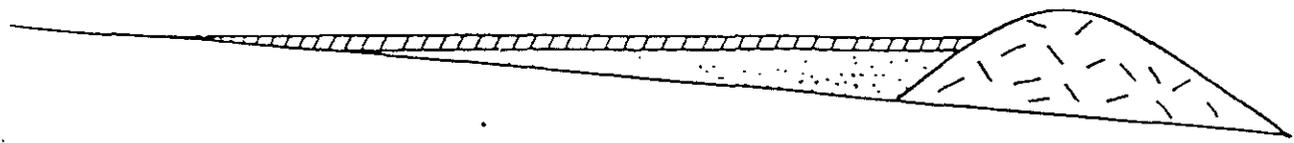
Algunos de estos suelos presentan un color amarillo que indica climas fríos; otros muestran un color pardo a rojizo, indicativo de climas que van de templados a subtropicales (Mooser et al., op. cit.; p. 7).

Las capas de piroclastos "se interdigitan con depósitos netamente lacustres hacia las partes centrales de la cuenca" donde "la mayor parte de la zona urbana de la Ciudad de México está edificada, mientras que el resto lo está sobre el material aluvial que forma la zona de transición" (Fig. 7) "entre los depósitos lacustres y lo que propiamente constituye el basamento para el relleno" (de Cserna et al., op. cit.; p. 1).

La anterior distribución de la zona urbana se debe al explosivo crecimiento de la Ciudad de México iniciado a partir de la década de los cuarentas el cual ha provocado que los asentamientos humanos y la consecuente urbanización hayan

N

S



 ARCILLAS LACUSTRES  
 DEPOSITOS CLASTICOS

 SIERRA DE CHICHINAUTZIN

FIGURA 3.- Esquema geológico general del Valle de México; ( según Mooser et al., 1986 ).



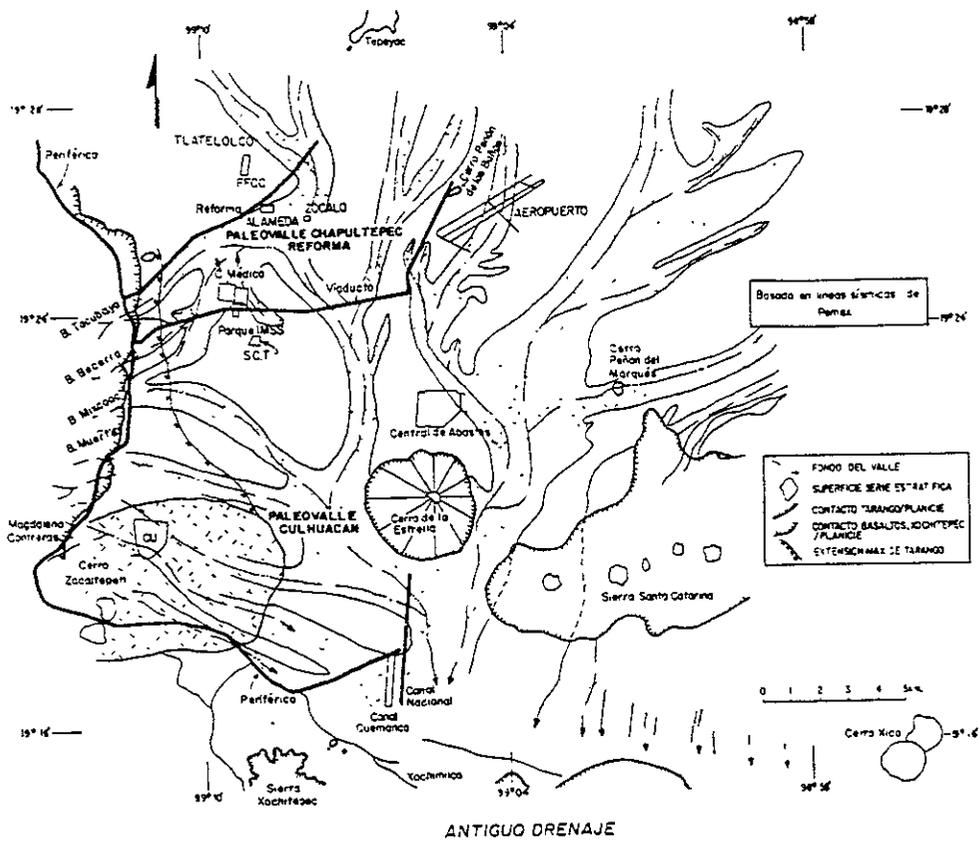


FIGURA 5.- Esquema que muestra el antiguo drenaje que conformaba el Paleovalle de México; ( según Mooser, 1990 ).

invadido la zona de transición y que aún hoy continúen extendiéndose, especialmente hacia el norte y el poniente, abarcando gran parte del flanco occidental de la cuenca (piedemonte oriental de la Sierra de Las Cruces) constituido por depósitos de piroclastos de diversos tipos, muy diferentes a los depósitos arcillosos superficiales que se encuentran en el centro de la cuenca, al que Mooser y colaboradores (op. cit.) dieron el nombre genérico de "Las Lomas".

Es precisamente en una parte de esa zona transicional y en su adyacente del piedemonte de la Sierra de Las Cruces en donde se ubican la delegación Miguel Hidalgo y sus zonas conurbadas de Naucalpan y Huixquilucan.

Con respecto al marco estratigráfico general de la Cuenca de México, de Cserna y colaboradores (op. cit.; p. 1, 11 y 12) afirman que las rocas más antiguas que se encuentran en el subsuelo de la Cuenca de México son unas anhidritas detectadas en un sondeo profundo efectuado en el vaso de Texcoco en 1969, que fueron ubicadas entre los 1,990 y los 2,045 m de profundidad, las cuales "subyacen a calizas marinas del Cretácico Inferior" que pueden ser la continuación al norte de las calizas de cuenca de la Formación Morelos, que afloran al sur de la Cuenca de México, o la continuación al sur de las calizas de plataforma de la Formación El Doctor que afloran al norte de la misma (Fig. 11, núm. 11b), "que a su vez están cubiertas por calizas, lutitas y areniscas del Cretácico Superior" que posiblemente son parte de las calizas fosilíferas de la Formación Cuautla y de la secuencia tipo flysch de la Formación Mexcala (Fig. 11, núm 11a).

Hacia el final del Cretácico, esta secuencia de rocas sedimentarias fue afectada por un proceso tectónico que las plegó y cabalgó, al cual siguió un período de erosión, por lo que su distribución precisa y su espesor real no se conocen con certeza; sin embargo, "conservadoramente se estima su espesor máximo entre 1,400 y 2,200 m" (op. cit.; p. 12).

A pesar de la problemática planteada anteriormente, cabe mencionar que el estudio sismoestratigráfico hecho por Mooser (1990; p.34) revela que "es posible discernir un magno anticlinorio de sedimentos marinos flanqueado al poniente y al oriente por dos sinclinorios, donde el eje del anticlinorio se extiende de SSE a NNW", pero "no es posible definir sus pliegues individuales por falta de diferenciación en los sismogramas".

Los anteriores depósitos cretácicos plegados fueron cubiertos de modo discordante por una secuencia terciaria formada por “depósitos clásticos continentales de color principalmente rojizo (predominantemente clastos de calizas cretácicas en una matriz de arcilla calcárea), con la presencia local de yeso y de rocas volcánicas” que se acumularon formando una secuencia post-orogénica a modo de una molasa continental en el lapso Paleoceno-Eoceno, cuando el drenaje hacia el sur del paleovalle de México estaba obstruido a consecuencia de un fallamiento en bloques que “también influyó en la distribución lateral de éstos y en la variación de su espesor”, el cual alcanza los 600 m en el subsuelo de la Cuenca de México (de Cserna et al. op. cit.; p. 1 y 12).

A través de datos aislados, a estas rocas terciarias continentales se les ha correlacionado con la Formación Balsas, que aflora al sur de la Cuenca de México (op. cit.; p. 13), (Fig 11, núm. 10a).

Encima de la secuencia anterior, se encuentra una serie de rocas volcánicas dispuestas en forma discordante, cuya composición varía de andesitas a dacitas principalmente, con un “espesor promedio de 600-700 m, que se acumularon entre el Oligoceno tardío y el Mioceno temprano” (Fig. 11; número 9) y a las que se les atribuye un origen magmato-tectónico relacionado con un proceso de subducción ocurrido “a lo largo de la costa occidental de México que finalizó hace unos 20 millones de años” (op. cit.; p. 1).

Estas vulcanitas afloran en muy pocos sitios de la Cuenca de México; por una parte conforman las calderas denominadas Sierra del Tigre en el municipio de Atizapán de Zaragoza (zona centro-poniente de la Cuenca) y Sierra de Tlaixpan en el área de Texcoco (zona centro-oriente de la Cuenca), ambas “característicamente falladas al NNW” (Mooser y Molina, op. cit.; Cap. II-10) y a las que se les atribuye una edad oligocénica (Fig 8); mientras que por otra parte conforman los cerros de la zona de Barrientos y el Cerro del Tepeyac (domo de lava) en el municipio de Cuautitlán Izcalli y en la delegación Gustavo A. Madero respectivamente (Fig. 8), a los que se les atribuye una edad miocénica (op. cit.; Cap. II-9).

A la formación de las rocas oligo-miocénicas anteriores siguió un período de erosión que las afectó profundamente en el Mioceno tardío; posteriormente dichas rocas volcánicas fueron cubiertas por una secuencia compuesta por arcillas de

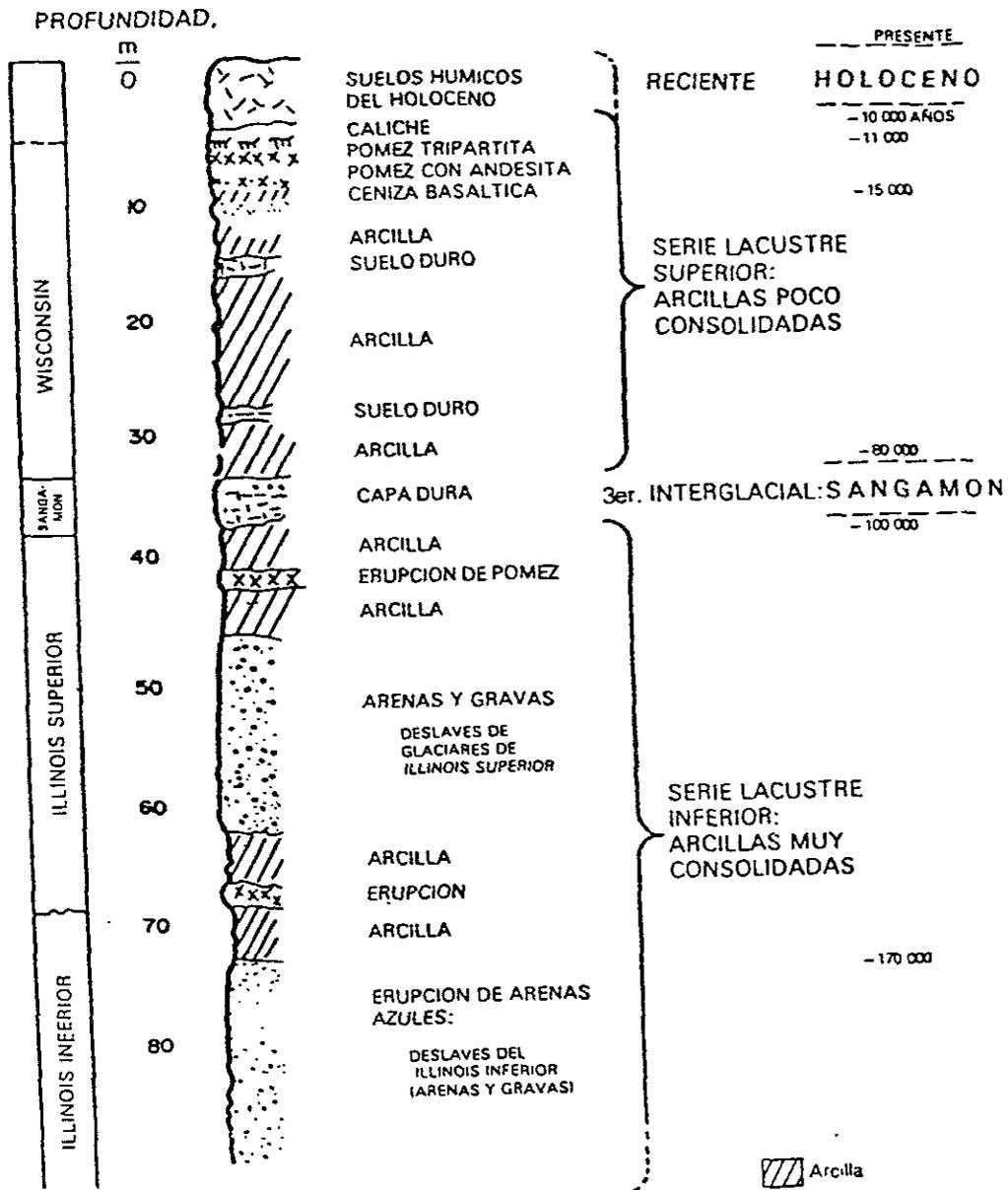


FIGURA 6.-Estatigrafía de la planicie lacustre de la Ciudad de México; ( según Mooser et al., 1986 ).

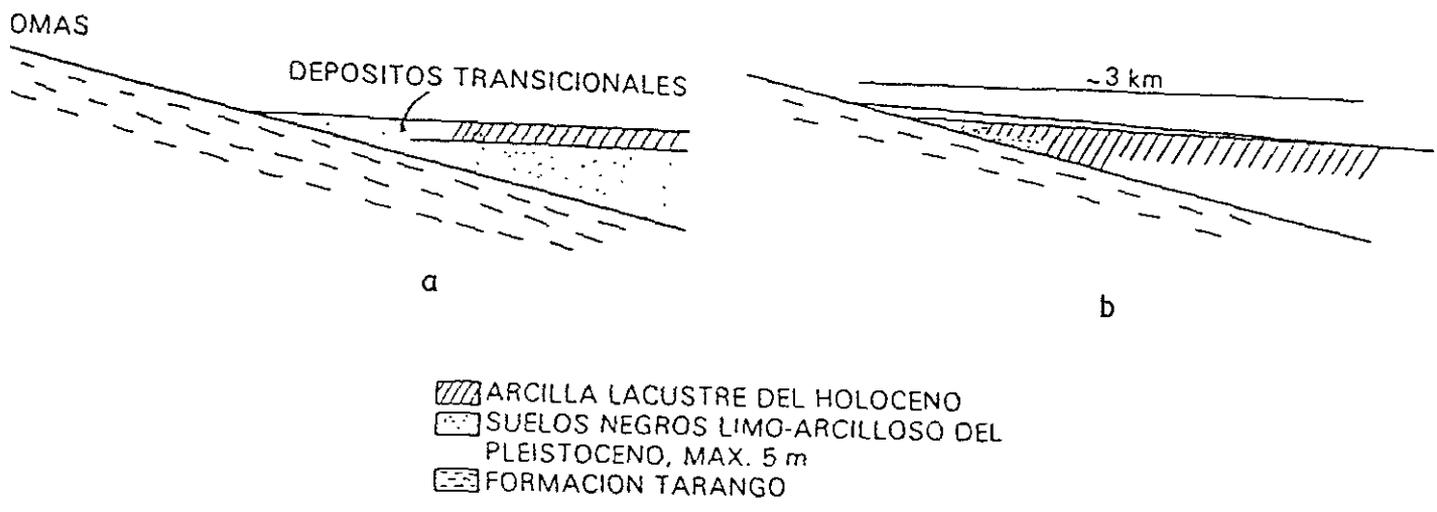


FIGURA 7.-a) Esquema geológico general de la transición piedemonte-planicie dentro de un delta aluvial, y  
 b) Esquema geológico general de la transición piedemonte-planicie fuera de un delta aluvial; ( según Mooser et al.,  
 19 86).

origen lacustre bien consolidadas, las cuales presentan espesores que van de los 200 a los 300 m debajo de la Ciudad de México (op. cit.; Cap. II-8), (Fig. 11, núm. 8).

Su origen se debe probablemente a una condición de drenaje obstruido como consecuencia del proceso tectónico que afectó a las vulcanitas del Oligoceno y del Mioceno (fallamiento en bloques?). Sus afloramientos se encuentran ubicados al nortede la Cuenca en las zonas de Taximay y Requena, Estado de México, y en Huehuetoca, Hidalgo, desapareciendo hacia el sur “debajo de los rellenos aluviales y de las lavas pliocénicas intermedias y ácidas de las Sierras de Tepetzotlán y de Guadalupe” y volviendo a aflorar al sur de la Cuenca “debajo de los elementos orientales de la Sierra del Tepozteco” (op. cit.).

El siguiente evento geológico ocurrido durante el Plioceno en la Cuenca de México, después del depósito y consolidación de las arcillas lacustres pliocénicas, consistió en la formación de una serie de volcanes de mediana altura, estratificados, en parte intercalados y en parte ubicados en la base de la secuencia inmediata superior, y de otra serie de grandes domos, que constituyen las Sierras de Tepetzotlán, Las Pitayas, Guadalupe y Patlachique (op. cit.; Cap. II-7), (Fig. 11, núm 7) a la cual siguió el depósito de una secuencia volcánica estratificada correlacionable por su posición y forma con la denominada Serie Estratificada El Tepozteco (Formación Tepetzotlán) “que consiste en tobas, lahares y derrames lávicos cuya composición varía de basalto a latita cuarcifera, con predominio de andesita” (de Cserna et al., op. cit.; p. 14), (Fig. 11, núm 6) que “prograda del centro hacia el sur de la Cuenca con espesores en el norte de 100 a 200 m y de hasta 600 m en el sur” donde “desaparecen debajo de la Sierra del Chichinautzin para aflorar en la sierra del Tepozteco, al oriente de Cuernavaca” (Mooser y Molina, op. cit.; Cap. II-6), (Fig. 9) sitio donde “varían en espesor desde unos 200 a 700 m” (de Cserna et al., op. cit.; p. 15).

El ya citado estudio sismoestratigráfico de Mooser muestra a la porción superior de esta serie estratificada profundamente disecada por una serie de valles fluviales que, según este autor, corresponden a la red que conformaba el paleovalle de México antes de su transformación en una cuenca de tipo endorreico (Fig 10).

Posteriormente, en el período del Plioceno al Pleistoceno principió en la Cuenca un “nuevo período de magmatismo, de composición riolítica, dacítica, andesítica y hasta basáltica, que se inició después del rearrreglo geodinámico de la

región del Pacífico Oriental a raíz de una convergencia general NE-SW que hoy día está activa” (de Cserna et al., op. cit.; p. 1).

Ese período de magmatismo se manifestó a través de derrames lávicos y de volcanoclastos asociados que en la Cuenca conformaron “la mayor parte de las sierras que constituyen sus límites oriental, septentrional y occidental” (Sierras Nevada y de Río Frío, Sierra de Pachuca y Sierra de Las Cruces; respectivamente) (op. cit.), así como los cuerpos volcánicos de composición basáltico-andesítica que forman los cerros de La Estrella, Peñón de los Baños, Chimalhuacán, Chapultepec y los del sureste de la Sierra de Guadalupe (Mooser y Molina, op. cit.; Cap. II-5).

Asimismo, en el Plio-cuaternario a estas manifestaciones se asociaron una serie de depósitos volcánicos epiclásticos entre los que destaca la Formación Tarango, constituida por tobas flujos piroclásticos, lahares, depósitos fluviales, capas de pómez y suelos que conforman el piedemonte de las Sierras de Las Cruces y Nevada (abanicos volcánicos), así como el relleno de muchos de los cauces que formaban parte de la red fluvial del antiguo Valle de México, sobre el cual o en forma interstratificada con sus horizontes superiores, se encuentran los depósitos aluviales acarreados por los ríos que corrían desde las partes altas de dichas sierras hacia el antiguo lago originado por la transformación del paleovalle en una cuenca endorreica (op. cit.; Cap. II-4), (Fig. 4, núm. 4).

El último evento geológico importante que tuvo lugar en la región de la Cuenca de México consistió en una serie de manifestaciones volcánicas ocurridas hace 700,000 años aproximadamente, las cuales fueron las responsables de transformar completamente al antiguo valle en la Cuenca actual y que están representadas por una serie de “conos volcánicos monogenéticos de andesita basáltica” 220 de los cuales se encuentran agrupados en “dos campos volcánicos mayores: Chichinautzin y Tezontepec”, ubicados al sur y al noreste de la Ciudad de México respectivamente, mientras que otros veinte se encuentran ubicados en la parte sur de la Cuenca (de Cserna et al., op. cit.; p. 2).

La disposición espacial que muestran estos conos volcánicos son un reflejo de “la orientación NE-SW del esfuerzo tectónico en la región” al que se le atribuye una estrecha relación con los procesos geodinámicos que tienen lugar en el sur de México (op. cit.). Estas lavas, según Mooser y Molina (op. cit.); “están

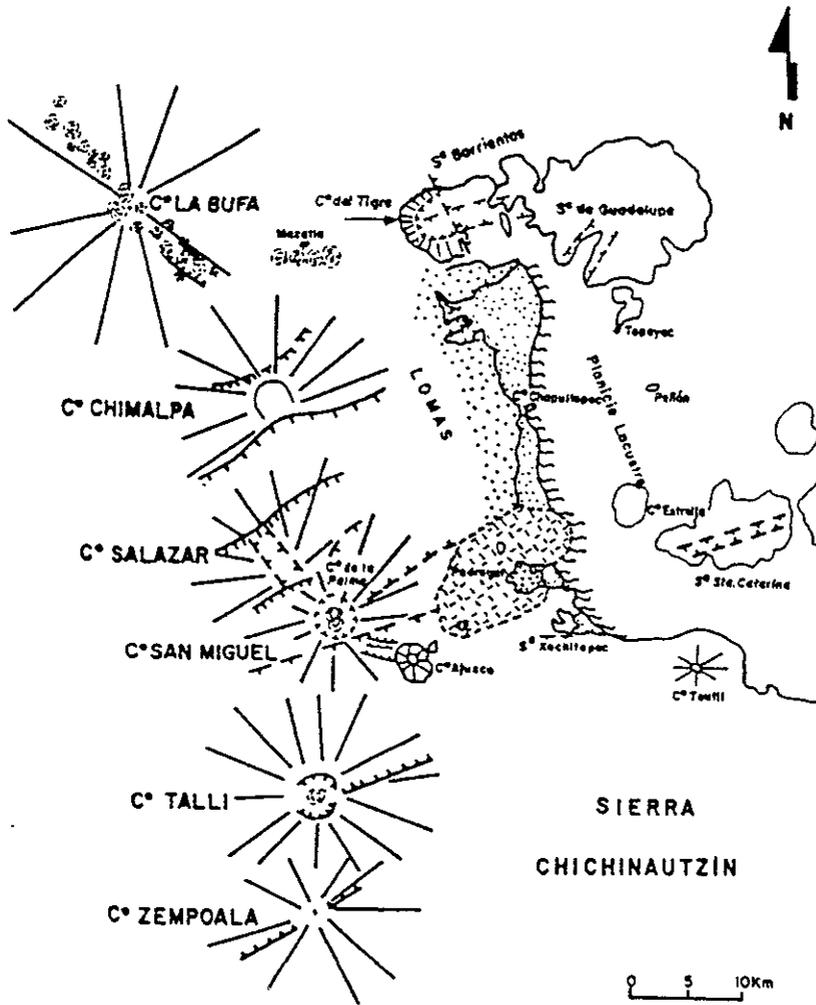


FIGURA 8.-Esquema general de la sierras que conforman el límite occidental de la Cuenca de México; ( según Mooser et al., 1992 )

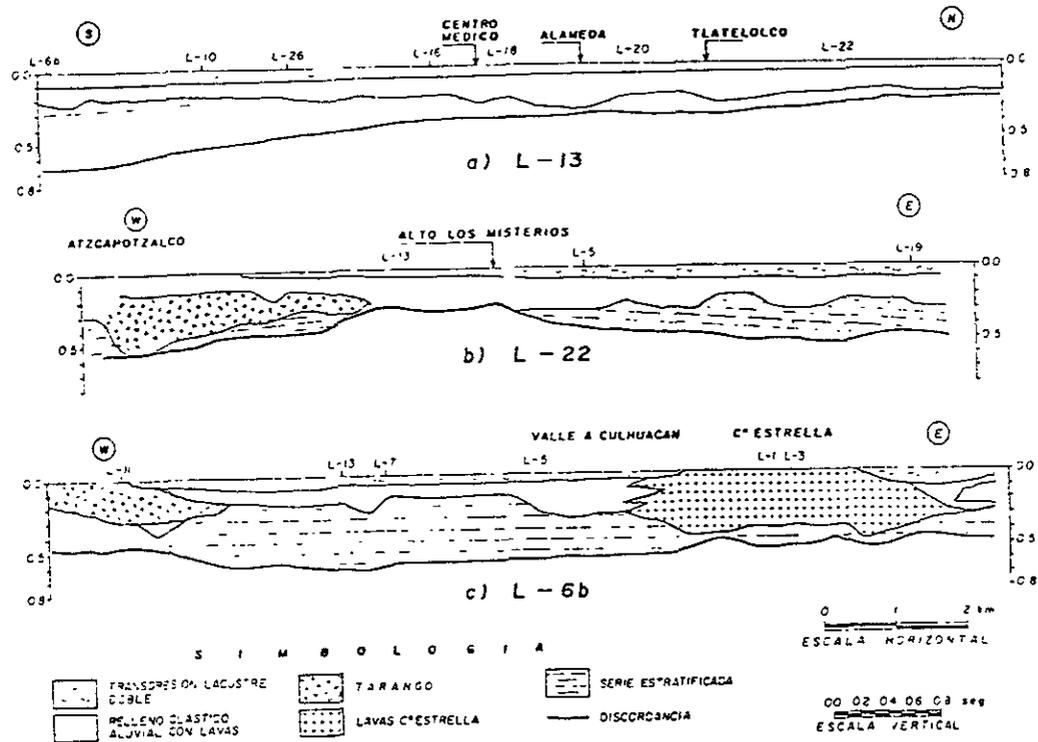


FIGURA 10.-Secciones sísmicas que muestran la estratigrafía de la Cuenca de México a lo largo de tres líneas sísmicas del estudio sísmoestratigráfico hecho por Mooser en 1990.

interestratificadas con los depósitos lacustres y con los rellenos aluviales cuaternarios” (Fig 9, núm. 3).

Debido a la transformación del antiguo Valle de México en una cuenca endorreica a consecuencia de la formación de la Sierra Chichinautzin que lo represó hace 600,000 años, comenzó en la Cuenca de México la formación de un vaso que paulatinamente fue azolvándose a causa del depósito de los materiales en suspensión que transportaban los ríos que fluían desde las Sierras de Pachuca, Las Cruces y Nevada hacia el sur por los paleovalles Chapultepec-Alameda, Culhuacán y otros, el cual dio origen a una serie de “abanicos aluviales coalescentes, depósitos de tefra y lacustres que pudieran estar localmente cubiertos o interdigitados con productos volcánicos principalmente de composición andesítico-basáltica, que se formaron por la actividad de centros eruptivos locales” (Figs.4 y 9), “algunos de los cuales hoy están sepultados” conformando una secuencia de relleno compuesta por materiales aluviales y lacustres cuyo espesor grosso modo aumenta desde el norte hacia el sur, el cual según cálculos hechos en base al perfil hidráulico del paleorío que cruzaba el Valle de México desde Pachuca hasta Tepoztlán “debería ser cercano a los 600 metros” (de Cserna et al., op. cit.; p. 22).

Estratigráficamente “descansan sobre la Formación Tarango, donde sepultan una red de valles erosionados (cauces occidentales del antiguo Valle de México). En el centro descansan sobre los aglomerados volcánicos estratificados correlacionables con la Formación Tepozteco donde también sepultan una red de valles” (Mooser y Molina, op. cit.; Cap. II-2), (Fig. 11, núm 2).

Según de Cserna y colaboradores (op. cit.; p. 22), esto se ha confirmado mediante perforaciones y sondeos en la Cuenca, identificándose ocho unidades estratigráficas que no han sido debidamente cartografiadas, aunque para algunos depósitos de las mismas se han efectuado dataciones geocronológicas que han permitido “calibrar la secuencia con la cronología glacial (Fig. 6) y detectar dos períodos de hundimiento de la parte central de la Cuenca” ocasionados por un fallamiento en bloques.

Del mismo modo, los depósitos clásticos plio-cuaternarios se encuentran cubiertos en forma discordante por depósitos aluviales (Fig. 7, a y b) “que consisten en su parte inferior en material aluvial y lahárico retrabajado en forma de gravas proveniente de estos mismos depósitos plio-cuaternarios los cuales circundan los

vasos de los antiguos lagos de la Cuenca de México” y cuya granulometría disminuye desde las sierras que rodean la Cuenca hasta la zona limítrofe de los vasos (op. cit.); asimismo, estos depósitos aluviales se interdigitan, se interstratifican o han quedado cubiertos por otros consistentes en “tobas eólicas (tefra?), depósitos aluviales y brechas de pómez que cambian lateralmente a arenas, arenas limosas y arcillas volcánicas cuyo espesor supera los 100 metros aún en sitios alejados de sus áreas de origen” (op. cit.; p. 23).

Simultánea y posteriormente a la depositación de los materiales aluviales descritos anteriormente, se fueron acumulando los depósitos lacustres que conforman el extremo superior del relleno de la Cuenca de México (Fig. 11, núm. 1); formados por “arcillas desarrolladas a partir de tobas y cenizas volcánicas, acumuladas en aguas tranquilas y que localmente contienen lentes de turba” (op. cit.), mientras que en los frentes de la Sierra Chichinautzin se encuentran interstratificadas con lavas basálticas (Mooser y Molina, op. cit.; Cap. II-1).

Su extensión varía de acuerdo con la amplitud abarcada por los antiguos lagos formados en la Cuenca (de Cserna et al., op. cit.) y su espesor es variable a consecuencia de los hundimientos que ha sufrido la misma (53 m en la zona del vaso de Texcoco; op. cit., p. 23); y 200 a 300 m en los frentes de la Sierra Chichinautzin, (Mooser y Molina, op. cit.).

Debido a sus peculiares características geotécnicas (arcillas de comportamiento plástico) y a que la mayor parte de la zona urbana de la Ciudad de México se encuentra edificada sobre ellas, se han emprendido estudios que han permitido zonificarlas de acuerdo a la relación que guardan con los depósitos ya mencionados (zona de transición, de depósitos aluviales, del lago y de depósitos lacustres), (Mooser et. al, op. cit.).

Existen otros depósitos aluviales cuaternarios más jóvenes que los anteriores dispuestos a lo largo de los ríos y arroyos actuales, pero dado que su extensión y espesor son muy reducidos su importancia en la Cuenca de México se reduce a mostrar el control que las fallas y fracturas ejercen sobre el patrón del drenaje en algunas áreas reducidas. (de Cserna et al., op. cit.; p.23).

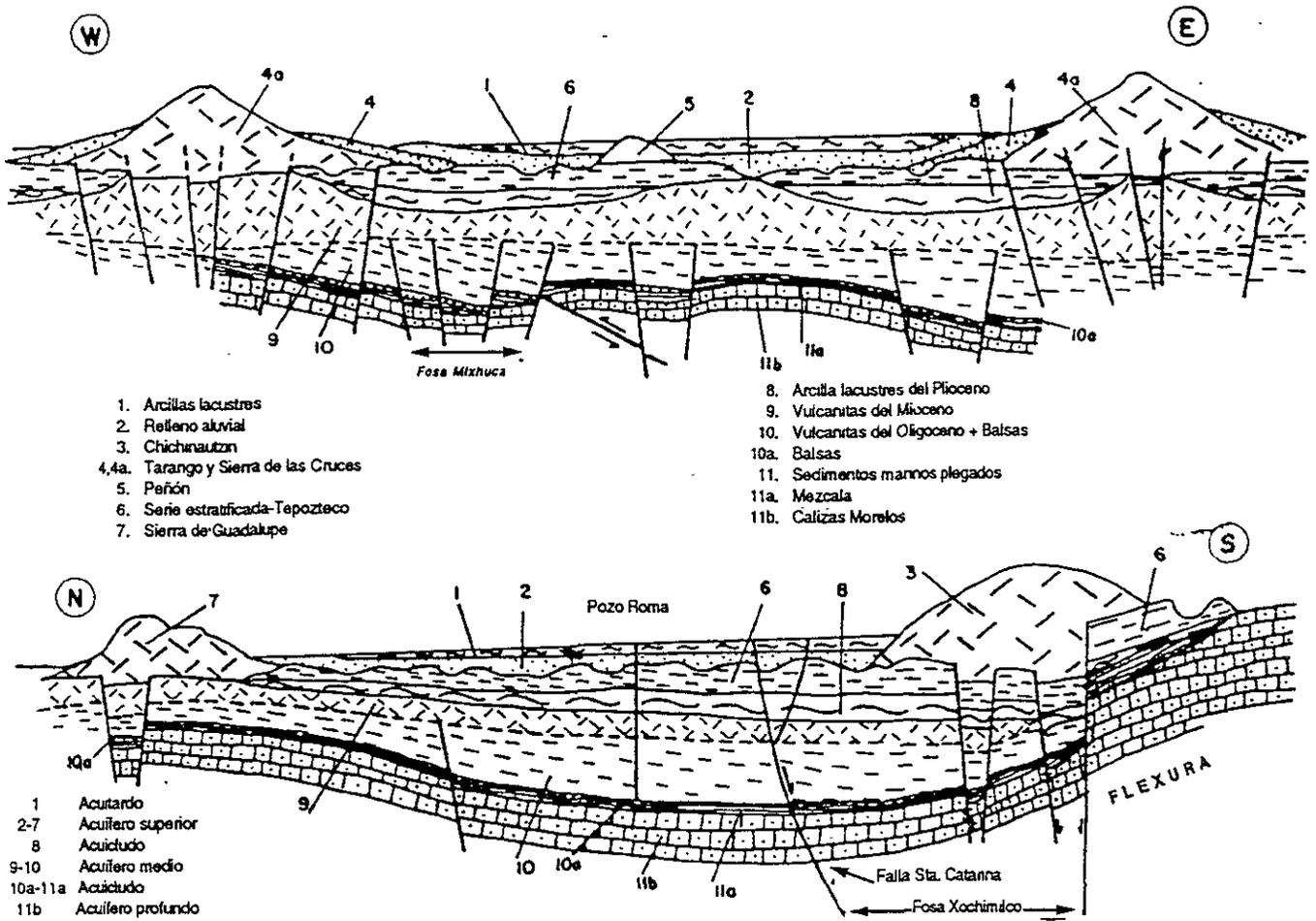


FIGURA 11 -Sección geológica que define la estratigrafía completa de la Cuenca de México, de oriente a poniente (arriba) y de norte a sur (abajo); (según Mooser y Molina, 1993).



### 3.2.- Tectónica

Según Mooser y Molina (op. cit.), el tectonismo que ha afectado a la Cuenca de México inicia en el Eoceno con una serie de pliegues y cabalgaduras de las rocas mesozoicas marinas, posteriormente, en el Oligoceno se manifiesta mediante la formación de fallas tensionales que afectaron principalmente a las vulcanitas oligocénicas; continúa en el Mioceno, Plioceno y Pleistoceno inferior produciendo otra serie de fallas de cizalleo a la izquierda y derecha que afectaron a las vulcanitas post-oligocénicas y a los demás depósitos subyacentes, para finalizar en el Pleistoceno superior con una serie más de fallas de cizalleo, esta vez solo a la izquierda, lo que ocasionó que las formaciones más antiguas se vieran afectadas por un mayor número de fallas que las más jóvenes (Fig. 12).

En la región sur de la Cuenca se pueden reconocer claramente una serie de fracturamientos cuyas direcciones se presentan en tres rumbos principales (Mooser, 1990;p. 34 y 35):

- al NW
- al NE
- al ENE

#### Fracturamientos al NW

Según el análisis de la serie de líneas sísmicas que reflejan las condiciones del subsuelo de la Cuenca (op. cit), los fracturamientos dirigidos al NW consisten en una serie de fallas con desplazamientos importantes que pueden dividirse en dos grupos: al primero se le ha atribuido una edad oligocénica por estar afectando a las vulcanitas de la misma edad y haber provocado su hundimiento mientras se extravasaban; estas fallas han conformado una serie de fosas que presentan esa dirección (Fosas Mixhuca, de la Sierra de Las Cruces y de la Sierra Nevada), (Fig. 11) y su origen se atribuye a “un cizalleo lateral derecho a lo largo de una antigua debilidad cortical, dirigida grosso modo E-W” al que se supone conectado con la antigua subducción de la Placa Farallón en el Pacífico (op. cit.; p. 35), (Fig 13).

El segundo grupo lo conforman las fallas que afectan a las vulcanitas post-oligocénicas, las cuales delimitan en el subsuelo varios bloques hundidos a la vez que en la superficie cortan a los cerros (calderas) del Tigre (Fig. 8) y de Tlaixpan en dos partes.

Estas fallas han sido relacionadas con el proceso de subducción producto de los empujes de la Placa de Cocos hacia el poniente en la costa sur de México y se ha inferido que son “el resultado de un renovado movimiento de cizalleo lateral-derecho, inducido esta vez por esfuerzos originados en la moderna trinchera de Acapulco y ejercidos sobre la misma supuesta debilidad cortical debajo de la Cuenca” (op. cit.), (Fig 13).

De Cserna y colaboradores (op. cit.; p. 41 a 43) detectaron y estudiaron un grupo de fallas ubicadas en las cercanías del poblado de Tepetlaoxtoc, Estado de México, las cuales presentan una orientación general NW-SE con bloques hundidos al NE (Falla Hacienda La Flor y asociadas).

Debido a la coincidencia de la orientación de estas estructuras con la orientación de las fallas mencionadas anteriormente, y al hecho de que la proyección noroccidental de la Falla Hacienda La Flor en Tepetlaoxtoc se encuentra truncada contra la proyección nororiental de las fallas que integran el “Enjambre de Fallas Las Cruces” (posiblemente originado por un cizalleo a la izquierda que se considera posterior al derecho ya mencionado), se infiere que este grupo de fallas también se originó por el cizalleo lateral derecho causado por la subducción que tuvo lugar en la trinchera de Acapulco y que puede “constituir un rasgo geológico anterior a este enjambre” (op. cit.).

### Fracturamientos al NE

Estas estructuras son específicamente “fallamientos en bloques dirigidos al NE” cuya causa se atribuye a un cizallamiento lateral izquierdo ocurrido en la Cuenca de México, que en la superficie ha dado origen a la fosa de Cuauhtepac ubicada en el centro de la Sierra de Guadalupe (Fig. 12), así como a los fracturamientos más jóvenes ubicados en la cima del Cerro de Tláloc los cuales conforman las llamadas fracturas del sistema Tláloc-Apan, que a su vez limitan fosas menores dirigidas al NE (Mooser, op. cit.; p. 36), (Fig 13).

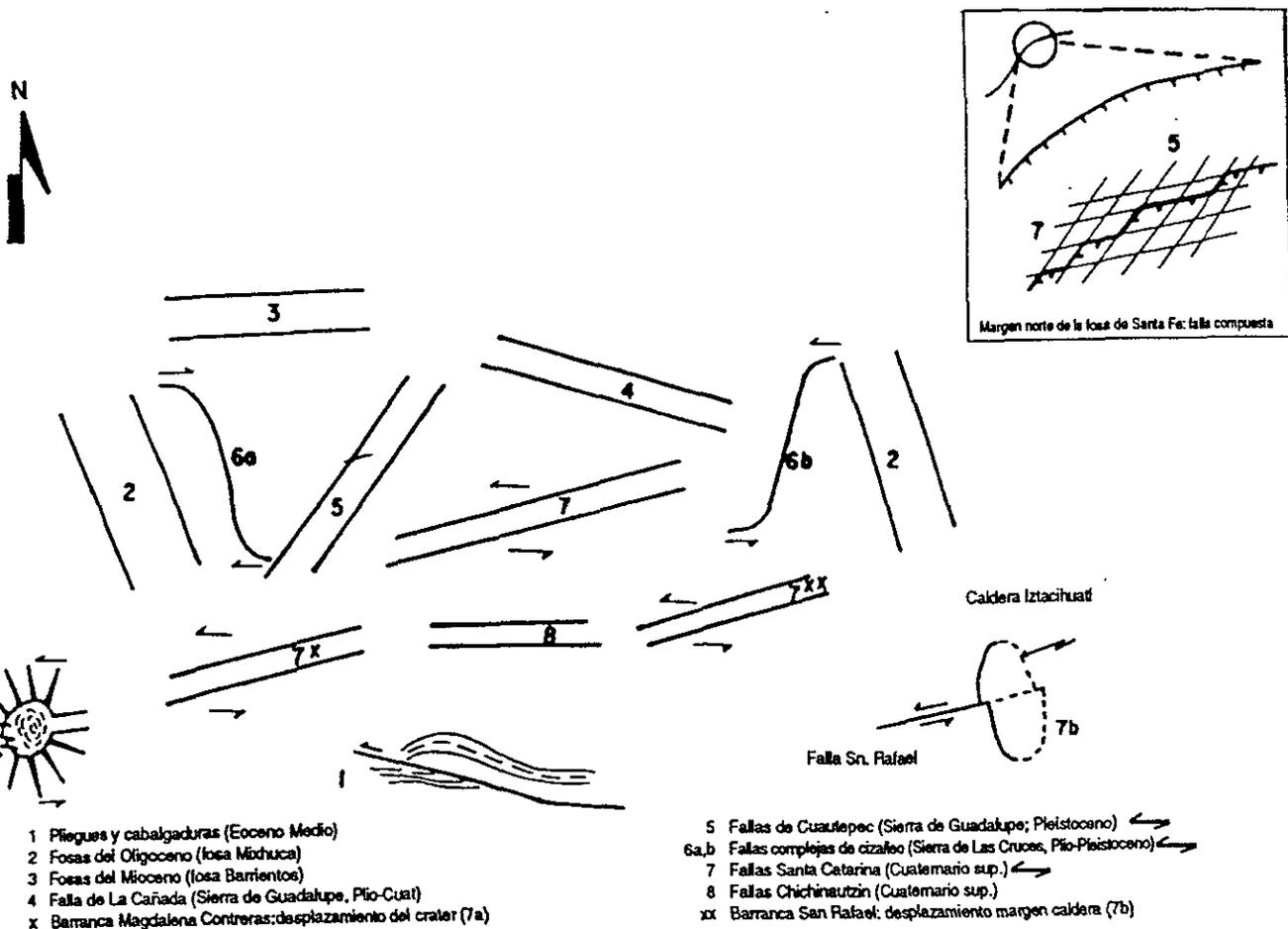


FIGURA 12 -Esquema que muestra los tipos de fallas tectónicas que están presentes en la Cuenca de México; (según Mooser y Molina, 1993)

Aún cuando estas fallas han dado origen a estructuras como la mencionada Fosa de Cuauhtepac, sus desplazamientos no son tan importantes si se les compara con los que presentan las fallas oligocénicas dirigidas al NW o los de las fallas pleistocénicas dirigidas al ENE (op. cit.; p.34).

A reserva de los resultados que arrojen estudios posteriores más detallados en este grupo de fallamientos, que permitan afinar la hipótesis tectogénica que se les atribuye, es posible que este tectonismo también sea el responsable de la formación de dos grupos de estructuras disyuntivas superficiales con la misma orientación de aquellas, que están presentes en la vertiente oriental de la Sierra de Las Cruces y en la Sierra de Guadalupe, así como de la formación de otro grupo de estructuras detectado gravimétricamente en el subsuelo de la Ciudad de México (de Cserna et al., op. cit.).

Las estructuras disyuntivas superficiales presentes en la vertiente oriental de la Sierra de Las Cruces son un grupo de ocho fallas mayores que de norte a sur reciben los nombres de Río Hondo, Hipódromo, Santa Fe, Contadero, Atzoyapan, Puente Colorado, Texcalatlaco y Contreras, alrededor de las cuales se presentan varias fracturas asociadas y que en conjunto se les ha denominado "Enjambre de Fallas Las Cruces" (op. cit.; p. 24 a 39), (Fig. 14).

Específicamente, están ubicadas en el tramo central de la sierra del mismo nombre, su "límite septentrional corresponde a la barranca del Río Hondo y el meridional a la barranca del Río de la Magdalena, presentando un rumbo general N 55° E y una longitud promedio de 11 km a partir del contacto occidental de los depósitos aluviales de la Cuenca hacia el sudponiente" (op. cit.).

En conjunto con las fallas que afectan a las sierras adyacentes (Chimalpa, Salazar, Tlalli y Zempoala) conforman una gran estructura semejante en forma a la de un candelabro hebreo (Menorá), pues las fallas ubicadas tanto al norte como al sur del volcán San Miguel descienden escalonadas al centro (Mooser et al., 1992; p. 6), (fig. 15).

De estas ocho fallas, tres (Río Hondo, Hipódromo y Contadero) atraviesan el territorio del área estudiada (Lámina 9 y Mapa Geológico) motivo por el cual

adquieren un interés relevante en el presente trabajo y su descripción se hará en el subcapítulo dedicado a las estructuras disyuntivas (Capítulo IV).

De Cserna y colaboradores (op. cit.) han inferido la posible continuidad de las fallas de este enjambre hacia el nororiente, por debajo del relleno de la Cuenca de México; al parecer algunas de ellas se conectan con las fallas que afloran en la Sierra de Guadalupe mientras que otras se extienden en el subsuelo hasta la zona que se encuentra entre el evaporador solar de Ecatepec y el poblado de Tepexpan, Estado de México.

Un modelado gravimétrico hecho por dichos autores, obtenido con siete perfiles orientados N-S, coincidentes con siete meridianos a partir de los 99° 00' W hacia el poniente, con separaciones de dos minutos entre uno y otro (excepto uno ubicado más hacia el oriente), y que cubrió una parte de la región central de la Cuenca (op. cit.; p. 53) muestra que las fallas Río Hondo e Hipódromo se conectan por debajo del suelo de la misma con las Fallas Tenayuca y Chiquihuite, respectivamente, que afectan a la Sierra de Guadalupe mientras que las restantes del enjambre se extienden hasta la zona mexiquense antes mencionada sin presentar trazas en la superficie (op. cit.), (Fig. 14).

### Fracturamientos al ENE

Consisten en una serie de “fallamientos en bloques dirigidos al ENE” que se infiere son producto de “la combinación de un cizalleo lateral izquierdo con un empuje de sur a norte, originado en la Trinchera de Acapulco”, el cual dio lugar a la formación de la Fosa de Barrientos (Fig 13) y más recientemente a la Sierra de Santa Catarina (Figs. 8 y 12) y a “las hileras de conos monogenéticos dirigidos al ENE” ubicados en las cumbres de la Sierra Chichinautzin (Mooser, 1990, p. 36), (Fig. 16).

La distribución y alineamiento que presentan la mayor parte de estos conos monogenéticos, agrupados bajo los nombres de “Campo volcánico Chichinautzin” y “Campo volcánico Tezontepec” (al oriente de Tizayuca, Hgo.), sirvieron a de Cserna y colaboradores (op. cit.) para calcular la orientación preliminar del esfuerzo tectónico responsable de la formación de estos fallamientos.

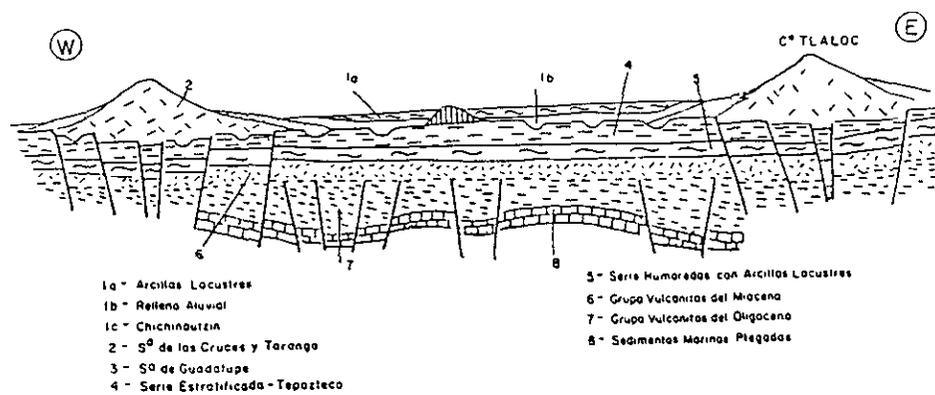


FIGURA 13.- Sección geológica esquemática basada en estudios sismoestratigráficos que muestra los fracturamientos (fallas) que afectan a las vulcanitas oligocénicas y a las post-oligocénicas del subsuelo de la Ciudad de México; (según Mooser, 1990).

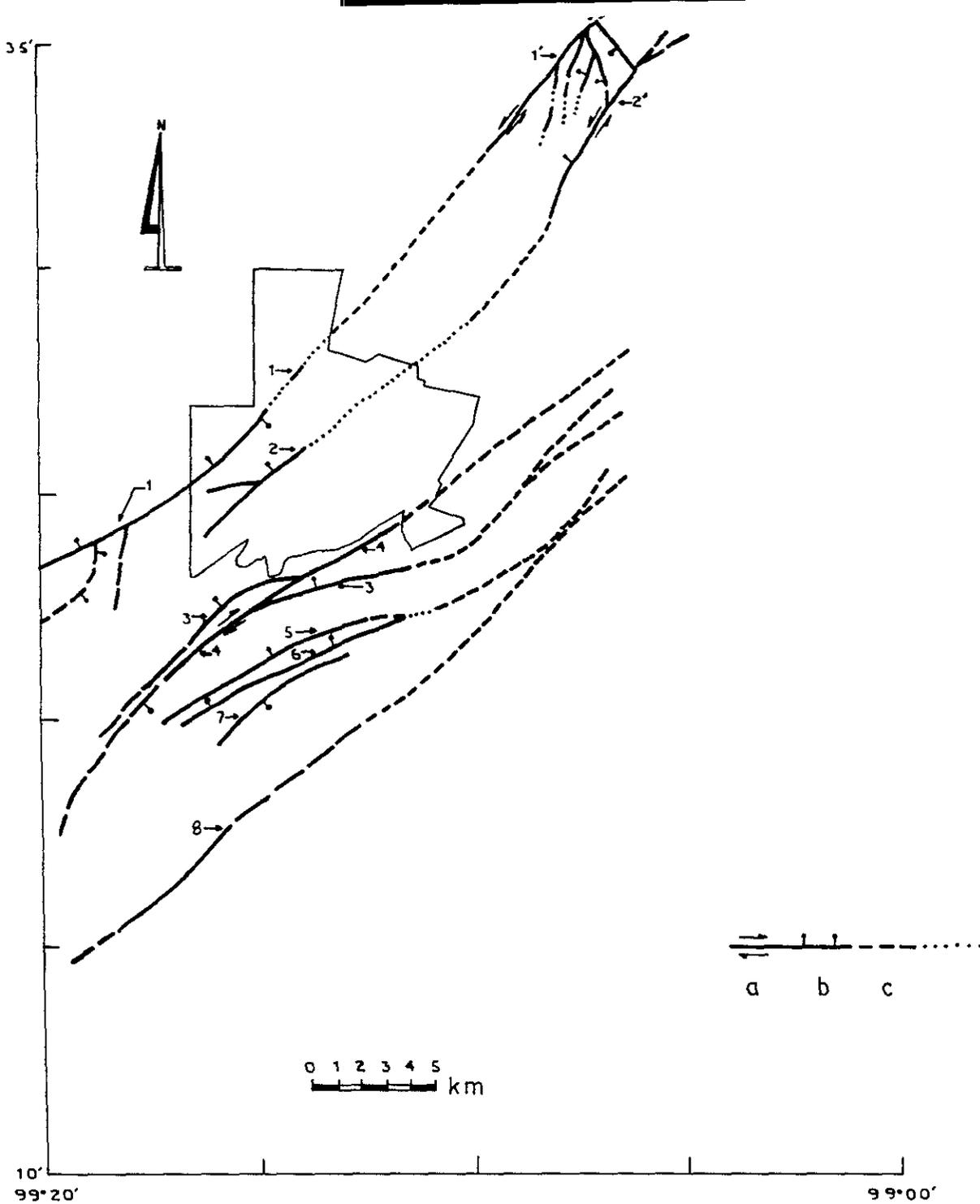


FIGURA 14.- Esquema que muestra la ubicación del Enjambre de Fallas Las Cruces y su continuación inferida por debajo del relleno lacustre de la Cuenca de México, su relación con las fallas de la Sierra de Guadalupe, así como la ubicación del área en estudio con respecto a dicho Enjambre (según de Cserna et al., 1987-88)

1: Falla Río Hondo; 2: Falla Hipódromo; 3: Falla Santa Fe; 4: Falla Contadero; 5: Falla Atzoyapan; 6: Falla Puente Colorado; 7: Falla Texcalatlaco; 8: Falla Contreras; 1': Falla Tenayuca; 2': Falla Chiquihuite; a: Falla mostrando la dirección relativa del desplazamiento; b: Falla mostrando el bloque hundido; c: Falla sepultada.

Para el primer campo volcánico se obtuvo una orientación predominante del esfuerzo tectónico de rumbo N 55-75° E, mientras que para el segundo la obtuvieron de N 35-45° E

Es posible que este esfuerzo tectónico sea también la causa generadora de las fallas detectadas por estos autores en el área de "El Tezoyo", al noreste de Chalco, Estado de México, donde se presenta un arreglo estructural de "cuatro fallas mayores burdamente paralelas entre sí, cuyo rumbo general es N 70° E y entre las cuales se presentan siete fallas menores con arreglo escalonado", que señalan claramente el desplazamiento lateral izquierdo de las fallas mayores y que a su vez afectan a "depósitos volcanoclásticos correlacionables con la Formación Tarango del Pleistoceno", lo que nos indica que este tectonismo es muy reciente (op. cit.; p. 43 a 45).

Según Mooser (op. cit.), todos estos hundimientos en bloques escalonados dirigidos en las tres direcciones de fracturamiento señaladas pueden ser el resultado de una serie de "compresiones, tensiones y cizalleos interrumpidos y pulsantes, una vez a la derecha y otra vez a la izquierda" ejercidos sobre una supuesta "debilidad cortical antigua dirigida grosso modo W-E" ubicada debajo de la Cuenca de México, y que aún hoy está siendo afectada por cizalleos de tipo lateral izquierdo los cuales quizá son los responsables de la actividad sísmica reciente que presenta la parte central de la misma Cuenca (op. cit.; p. 36).

Dicha actividad sísmica reciente ha sido examinada con cierto detalle utilizando el registro sismológico de la Cuenca, el cual muestra que aún la misma Ciudad de México acusa la existencia de una "actividad sísmica local que decididamente está relacionada con la estructura geológica de la Cuenca por lo que reviste importancia en relación con las obras civiles que en aquella están construidas o que están por construirse" (de Cserna et al., op. cit.; p. 56).

Utilizando los datos de registros sísmicos provenientes de cuatro estaciones del Servicio Sismológico Nacional (Tacubaya, Toluca, Tepoztlán y Cd. Universitaria, UNAM) recabados entre 1952 y 1985, se tabuló la relación de 45 epicentros de sismos de baja magnitud ocurridos en la Cuenca (op. cit., Tabla 1) entre los que destacan una serie de 14 sismos ocurrida en el vaso de Texcoco en 1973 (seis el día 22 de Enero y ocho el 30 del mismo mes), y otra serie de ocho sismos ocurrida entre el cuatro y el ocho de Febrero de 1981 que afectó a la zona de

Mixcoac (sudoccidente de la Ciudad de México), cuyas profundidades se registraron entre 0.32 y 1.67 km bajo la superficie, causando en la misma “una serie de fracturas escalonadas que indican un desplazamiento lateral diestro con rumbo aproximado de N 60° E, las cuales pudieron seguirse por una distancia aproximada de 100 m” (op. cit.).

La frecuencia de estos sismos, su profundidad menor a 30 km y su localización sobre las fallas detectadas en superficie y por métodos gravimétricos, son indicativos de “la presencia de una zona de cizallamiento activo a través de la Ciudad de México con orientación general NE-SW, donde el desplazamiento prosigue aparentemente por reptación y sólo ocasionalmente por rupturas bruscas que resultan en sismos locales someros” (op. cit., p. 57).

Toda la tectónica regional de la Cuenca de México descrita anteriormente está en función del marco geodinámico que se presenta en el sur de México el cual, de acuerdo con estudios más amplios, parece consistir en una zona de cizallamiento compuesta por un conjunto de fallas y fracturas “de las cuales aquéllas con orientación NE-SW corresponden a desplazamiento lateral o cizallamiento horizontal, mientras que las de otra orientación a tensión” y a lo largo de la cual tienen lugar muchos sismos de foco somero (Zona de Cizallamiento “Tenochtitlan”, op. cit.; p. 59), (Fig.17).

Esta zona de cizallamiento implica un “movimiento diferencial de dos bloques continentales mayores de México, cuyo motor es la subducción oblicua que se está efectuando a lo largo de la fosa México-Mesoamericana con un vector de movimiento cercano a N 45° E y velocidad de 5 a 7 cm por año” cuya dinámica quizá también implique un movimiento lateral izquierdo a lo largo de dicha zona de cizallamiento, el cual no puede afirmarse con certeza pues aún no se cuenta con un número suficiente de datos que permitan una afirmación razonable al respecto (op. cit.).

El cizallamiento producto de los esfuerzos compresivos ejercidos sobre la placa continental en la fosa antes mencionada tiene la misma orientación general del vector de movimiento, lo cual se refleja en el alineamiento de los conos volcánicos monogenéticos presentes en los Campos volcánicos “Chichinautzin” y “Tezontepec” (op. cit.; p. 64).

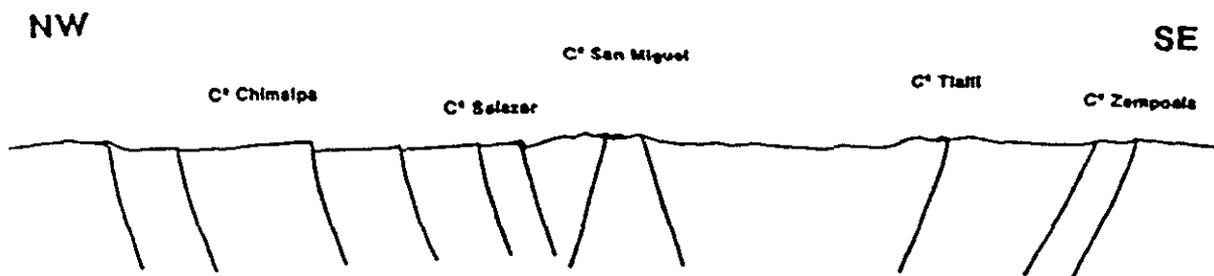


FIGURA 15.- Estructura de la Sierra de Las Cruces; (según Mooser et al., 1992)

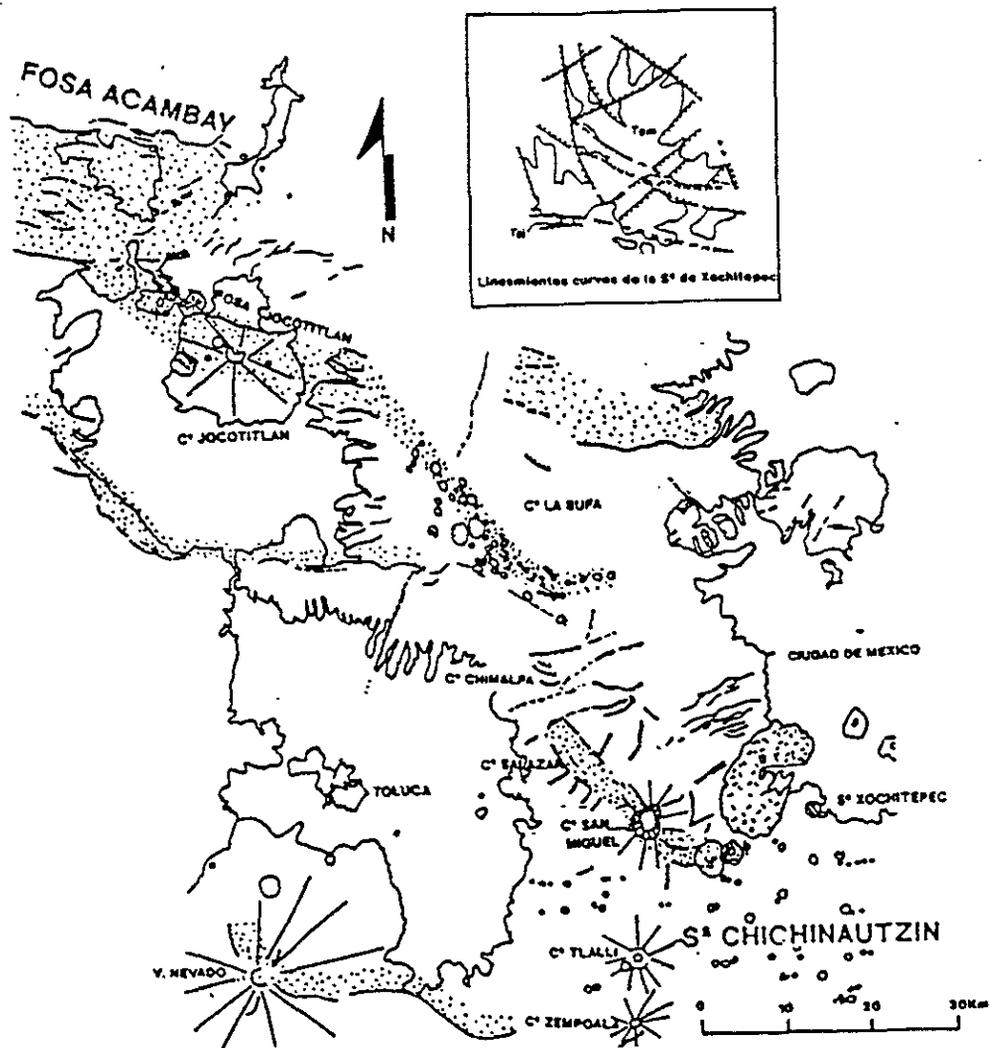


FIGURA 16.- Conexión tectónica entre la Fosa de Acambay y la Sierra Chichinautzin (con sus volcanes monogenéticos), que muestra la ubicación de la Sierra de Las Cruces entre ambas; (según Mooser et al., 1992)

La generación de los sismos de mayor magnitud registrados en la zona de cizallamiento corresponden a “la liberación repentina de la energía elástica acumulada ocurrida en la zona frontal de la placa continental”, mientras que la generación de los sismos de menor magnitud (como los registrados dentro de la Cuenca de México) corresponde a la liberación de energía ocurrida a lo largo de las fallas de desplazamiento lateral o de tensión de la misma zona (op. cit.)

En base a todo lo anterior, se afirma que “la Zona de Cizallamiento Tenochtitlán constituye el rasgo tectónico fundamental para la sismicidad, tanto regional como local que viene afectando a la Ciudad de México” (op. cit.)

### 3.3.- Vulcanismo

El primer indicio de actividad volcánica en la Cuenca de México está dado por el contraste sísmico distintivo que muestra un paquete de vulcanitas en la secuencia sismoestratigráfica más reciente de la misma (Mooser y Molina, op. cit.; Cap. III).

Estas rocas cuya composición “es predominantemente andesítica a dacítica y hasta riódacítica”, se acumularon en el lapso comprendido entre el Oligoceno tardío y el Mioceno medio, con un espesor promedio de 600 a 700 m y su origen estuvo ligado al parecer a los procesos magmato-tectónicos generados por un arco magmático migrante, que provino primero desde el poniente con dirección hacia el oriente al principio del Paleógeno y que retornó posteriormente hacia el poniente durante la segunda mitad del Paleógeno y principios del Neógeno, el cual estuvo relacionado con el proceso de subducción acaecido a lo largo de la costa occidental de México hasta hace 20 Ma, que en ese entonces estaba a 650 km en línea recta de la Cuenca, cuando dicha costa era “burdamente paralela a la Cresta de Farallón con una orientación general N 30° W” (de Cserna et al., op. cit.; p. 15).

Al paquete que conforma la base de estas vulcanitas se le ha asignado una edad oligocénica y se considera que sus afloramientos conforman la Sierra del Tigre en el centro-poniente de la Cuenca y la Sierra de Tlaxpan en el centro-oriental de la misma (Mooser y Molina, op. cit.; Cap. II-10), mientras que al resto de las vulcanitas se les ha adscrito una edad miocénica y sus afloramientos conforman los

cerros de la zona de Barrientos y el del Tepeyac, mencionados con anterioridad (op. cit.; Cap. II-9).

Estas vulcanitas se encuentran afectadas por fallamientos que conformaron una serie de fosas paralelas entre las que destaca la de Mixhuca con 1,500 m de desplazamiento (Fig. 11). Posteriormente fueron sometidas a una intensa erosión antes de la aparición en la región de las siguientes manifestaciones volcánicas (op. cit.; Cap. III).

El siguiente período de vulcanismo que afectó a la Cuenca se produjo hacia el final del Mioceno, permaneciendo hasta el Plio-pleistoceno en las áreas nororiental y septentrional de la Cuenca y hasta el Pleistoceno-Holoceno en las áreas occidental y suroriental de la misma (de Cserna et al., op. cit.; p. 15).

Al parecer fue consecuencia de un “rearrreglo geodinámico de la región del Pacífico Oriental a raíz de una convergencia general NE-SW que hoy día está activa” (subducción en la fosa México-Mesoamericana ocurrida en el lapso entre los 26 y 20 Ma antes del presente, que originó una deformación de corrimiento lateral entre los 22 y los 10 Ma antes del presente), el cual se manifestó como una serie de derrames lávicos y de erupciones piroclásticas asociadas a los mismos que conformaron la mayor parte de las sierras que delimitan actualmente la Cuenca al norte, oriente y occidente (Sierra de Pachuca, Sierras Nevada y de Río Frío, y Sierras de Las Cruces, Ajusco y Zempoala, respectivamente), así como “a la masa principal de la Sierra de Guadalupe” y a los domos andesíticos aislados que constituyen los cerros de Zacatepetl, La Estrella, Chapultepec, Peñón de los Baños y Chimalhuacán (op. cit.; p. 1, 15 y 19).

La Sierra de Pachuca está constituida en su mayor parte por derrames lávicos y rocas volcánicas asociadas de composición principalmente andesítica (op. cit.; p. 16).

La Sierra Nevada, conformada por los macizos volcánicos del Iztaccíhuatl y del Popocatepetl, está constituida en su parte inferior por una secuencia de andesitas de dos piroxenos con dacitas y por otra de andesitas de hornblenda y dacitas con cuarzo en su parte superior, ambas producto de la actividad eruptiva de los dos volcanes desarrollada desde hace un millón de años sobre rocas volcánicas muy disecadas, que al parecer continuó hasta el Pleistoceno tardío, mientras que la Sierra

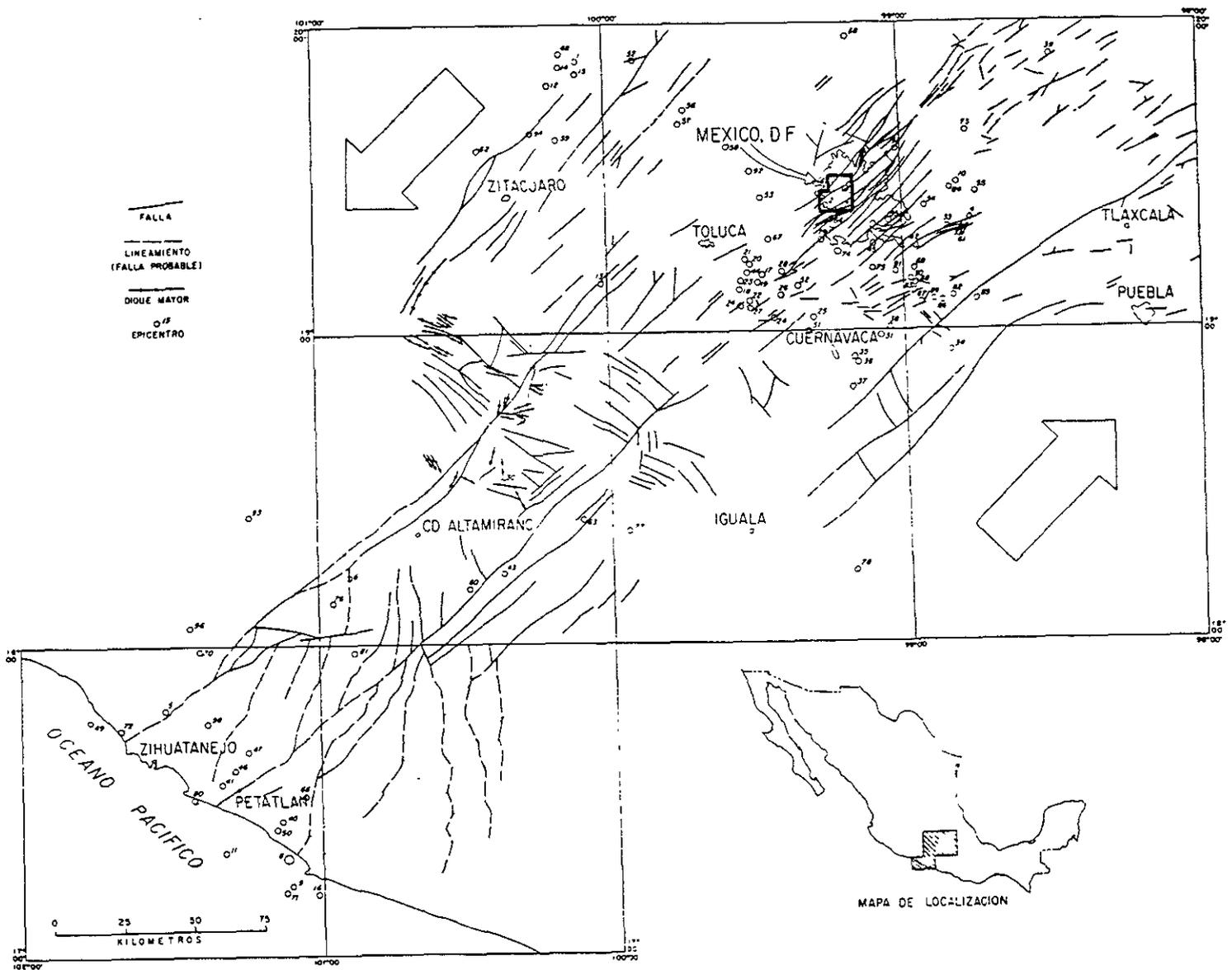


FIGURA 17.- Bosquejo tectónico del tramo sudoccidental de la Zona de Cizallamiento Tenochtitlan; (según de Cserna et al., 1987-88)

de Río Frío está constituida por una secuencia inferior de derrames lávicos riódacíticos cubiertos por otra secuencia de derrames andesíticos edificados sobre rocas andesíticas del Terciario medio muy erosionadas (op. cit.; p. 17 y 18).

La Sierra de Las Cruces, *sensu stricto*, está constituida por derrames lávicos, de piroclastos y lahares de composición dacítica formados durante el lapso Mioceno superior-Plioceno; la Sierra del Ajusco se compone principalmente de derrames de lava andesíticos que en el Plioceno tardío cubrieron a las dacitas de la Sierra de Las Cruces y a otras andesitas más antiguas pertenecientes a la sureña Sierra de Xochitepec, mientras que la Sierra de Zempoala se compone de derrames de lava andesíticos interestratificados con derrames piroclásticos y lahares cuya composición varía entre andesítica y riódacítica, los cuales se consideran de la misma edad que las dacitas de la Sierra de Las Cruces y más antiguos que las rocas de la Sierra del Ajusco (op. cit.).

A las anteriores manifestaciones volcánicas se asociaron una serie de depósitos epiclásticos "que se acumularon principalmente durante el Pliocuaternario" como abanicos volcánicos "desde las sierras limítrofes de la Cuenca hacia el antiguo Valle de México" y cuyos espesores alcanzan los 650 m en algunas partes del subsuelo de la Cuenca (op. cit., p. 2).

Dentro de estos depósitos se encuentran incluidos los pertenecientes a la Formación Tarango, que destacan sobre los demás por estar ampliamente distribuidos en las áreas occidental y oriental de la Cuenca.

Dichos depósitos están compuestos por tobas, flujos piroclásticos, brechas tobáceas, gravas volcánicas, lahares y capas pumíticas que en la parte occidental de la misma fueron producto principalmente de la actividad volcánica del Cerro de San Miguel, ubicado en la Sierra de Las Cruces al poniente de la Ciudad de México (op. cit.; p. 19), el cual es de capital importancia en relación con el área en estudio ya que sus productos piroclásticos conforman la litología de la mayor parte de la misma (Capítulo V).

Este cerro es un extenso escudo-volcán "coronado por pequeños domos, cuyo arreglo sugiere una caldera circular en la vasta cima plana", que surgió a partir de una renovación de esfuerzos tectónicos que afectaron a un antiguo complejo volcánico erosionado (escudo-volcán de Contreras), cuyos restos están disecados por

la ladera meridional del Barranco de La Magdalena Contreras (Falla Contreras con bloque hundido al norte), el cual estuvo “controlado tectónicamente por una serie de fracturamientos dirigidos al NE semejantes a aquéllos que cortan a la Fosa de Cuauhtepac” (Mooser et al., 1992; p. 7).

Estos esfuerzos tectónicos afectaron al complejo tiempo después de su extinción produciendo fracturas y fallas normales dirigidas al ENE, posteriores a la Falla Contreras (Fallas Coconetla y Llano Grande), cuyos bloques caen al sur (op. cit.).

Al mismo tiempo que estas fallas se desarrollaban, tuvo lugar la formación del escudo-volcán de San Miguel en la intersección de la prolongación sudoriental de la Fosa de Salazar con la Falla Contreras, cuya serie de eventos dieron origen a “un gran número de domos y lavas que coronan sus flancos y a otros que están ubicados en las fallas de Contreras y Coconetla” (e. g. Domos de Coconetla y El Ocotal), (op.cit.).

La historia eruptiva de este volcán continuó con la emisión de los productos de cinco ciclos eruptivos violentos que a través de avalanchas de nubes pesadas de polvo y rocas candentes cargadas de vapor sobrecalentado (nubes ardientes), flujos piroclásticos de alta presión con arenas y gravas, erupciones plinianas de pómez y avalanchas de lodo (lahares) conformaron la actual estratigrafía que presentan Las Lomas al poniente de la Ciudad de México (Capítulo V), y culminó con las erupciones que destruyeron el cono central y originaron “la somma del Cerro de la Palma, cumbre más elevada del escudo-volcán que tiene su margen desgarrada y abierta por explosiones cataclísmicas y que contiene un domo doble que cubre su chimenea” (op. cit., p. 7 a 9), (Fig. 18).

La última fase explosiva que presentó este aparato concluyó hace 270 mil años aproximadamente, caracterizándose por la formación de una serie de “pequeños cuerpos eruptivos en sus flancos, generalmente basálticos” a excepción de uno, el estrato-volcán del Ajusco (op. cit.).

Las últimas manifestaciones de actividad volcánica que afectaron a la Cuenca de México tuvieron lugar durante los últimos 690,000 años(?) y su importancia geológica radica en que obstruyeron completamente el drenaje hacia el sur del antiguo Valle de México con lo cual éste se transformó definitivamente en una

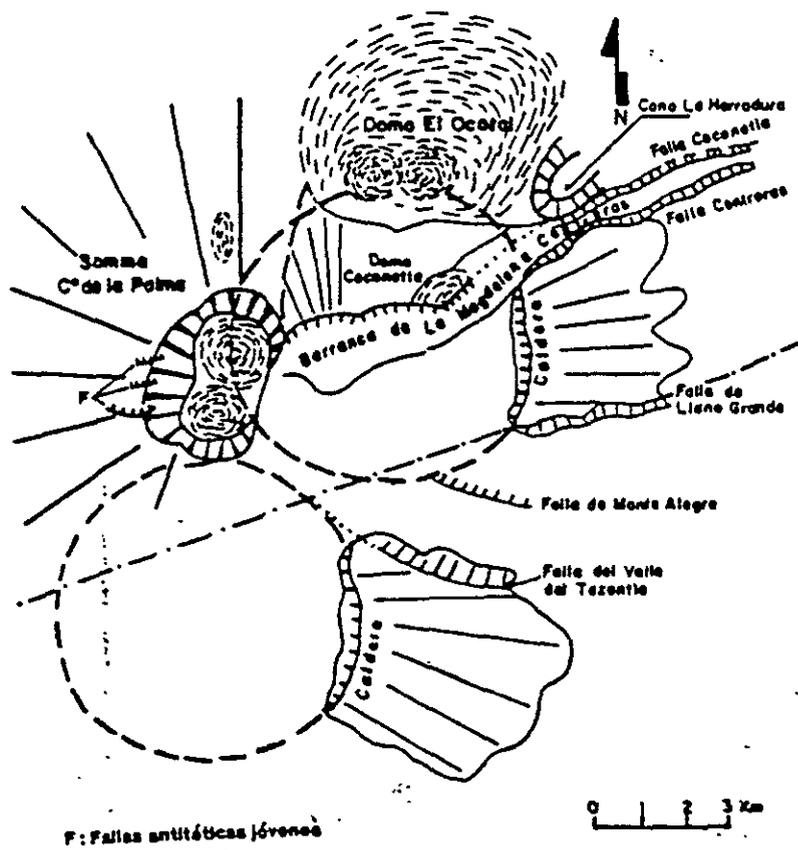


FIGURA 18.- Estructura del escudo-volcán San Miguel, de la Sierra de Las Cruces (según Mooser et al., 1992).

cuenca endorreica separada de la cuenca hidrográfica del Río Amacuzac (de Cserna et al., op. cit.; p.1 y 21).

A diferencia de los eventos volcánicos anteriores que originaron las grandes sierras que delimitan al norte, al oriente y al poniente a la Cuenca de México, este "volcanismo pleistocénico y holocénico ha sido de tipo monogenético formado por unos 220 conos cineríticos que se presentan en dos campos volcánicos mayores" ubicados al sur y nororiente de la Ciudad de México (Sierras de Chichinautzin y de Tezontepec, respectivamente), "además de una veintena de conos en las partes meridionales del vaso de la Cuenca, unos cuantos domos volcánicos y varios derrames de lava asociados" que en conjunto se les atribuye un espesor de 1,800 m y cuyas rocas tienen una composición que varía desde basaltos hasta dacitas, las cuales cubren discordante e indistintamente a rocas que van desde mesozoicas hasta cuaternarias, y cuyo alineamiento refleja la orientación NE-SW del esfuerzo tectónico que afectó más recientemente a la región (op. cit.).

El último evento de este volcanismo que afectó a la Cuenca de México fue el derrame de lava que se produjo en el volcán del Xitle (perteneciente a la Sierra de Chichinautzin), el cual dio origen al Pedregal de San Angel en el extremo sudoccidental de la misma y al que se le atribuye una edad en base a datación radiométrica de 2,422 más-menos 250 años (op. cit., p. 21).

## IV.- ANÁLISIS DEL RELIEVE

En este capítulo estudiaremos los principales elementos puntuales, lineales y areales posibles de cuantificar de las formas del relieve que presenta el área en estudio (Morfometría), cuyas variaciones espaciales e interrelaciones nos permitirán la elaboración de una serie de láminas a partir de las cuales podremos deducir el origen, desarrollo y transformaciones que ha tenido el mismo, para posteriormente poder clasificarlo geomorfológicamente.

### 4.1.- Morfometría

El análisis de las características cuantitativas (longitud, superficie, volumen, altura absoluta y relativa, pendiente, orientación, densidad y otros) que presentan las formas del relieve del área en estudio serán la base para la elaboración de los mapas morfométricos específicos (Láminas de altimetría, de densidad de la disección, de pendientes y de estructuras disyuntivas), cuya interpretación posterior nos permitirá conocer los elementos del relieve, su génesis y su desarrollo (Lugo, 1988; p. 26).

#### 4.1.1.- Altimetría

Tomando en cuenta el planteamiento que establece que la manera más inmediata y clara para que un mapa topográfico exprese la totalidad del relieve “consiste en definir, a partir de las alturas máxima y mínima, los intervalos de valores que han de delimitarse” (op. cit.), analizamos la topografía que muestra el área en estudio (Lámina 1) la cual presenta una altura máxima absoluta de 2,560 m s.n.m.m., y una mínima absoluta de 2,240 m s.n.m.m.; posteriormente, aplicamos el método estadístico de Simonov (1985) para determinar los intervalos de altitud que sintetizan la información altimétrica del mapa topográfico, y con ello elaborar el mapa altimétrico del área estudiada (Lámina 5).

Dicho método estadístico se aplicó de la siguiente manera:

A) Utilizando como espacio muestral a todas las intersecciones de la cuadrícula de la proyección Universal Transversa de Mercator (U.T.M) contenidas en el fragmento de la Carta Topográfica "Ciudad de México" (E14A39) del INEGI (1985) que abarca el territorio del área en estudio (Lámina 1), se hizo un muestreo sistemático en la misma tomando como muestras representativas de altitud a los valores de altura absoluta que posee cada intersección dentro de ella.

De este modo se obtuvo una población compuesta por 102 valores de alturas absolutas correspondientes a un mismo número de puntos de intersección en el fragmento de la Carta (id.), separados uno de otro por una distancia vertical y horizontal de 950 m.

B) Con estos 102 valores de alturas absolutas se determinó el rango de la población (diferencia entre la mayor y la menor altitud:  $2,530 - 2,250 = 280$  m), que sirvió como base para establecer los límites reales máximo y mínimo de la escala de altitud utilizada (2,550 y 2,230 m respectivamente) con la que a su vez se elaboraron cuatro histogramas de frecuencias, cuyo número de intervalos de clase (intervalos de altitud) fue seleccionado aleatoriamente respetando las reglas generales establecidas para formar las distribuciones de frecuencia (Spiegel, 1970; p. 28).

Los números de intervalos de clase se asignaron a los histogramas como sigue: al primero 5, al segundo 7, al tercero 10 y al cuarto 13 intervalos (Figs. 19 A, B, C y D).

Posteriormente, se les trazaron sus respectivos polígonos de frecuencia uniéndolos los puntos medios de los techos de los rectángulos, correspondientes a las respectivas marcas de clase de cada uno de los intervalos.

C) A continuación se escogió el histograma que mejor caracteriza a todas las unidades morfológicas presentes en el área estudiada. Esto correspondió al histograma de 13 intervalos, pues su anchura de clase (ancho uniforme de cada intervalo) de 24.6 m permite una mejor caracterización del relieve a pesar de presentar dos máximos relativos en las marcas de clase de 2,340.7 y 2,390 m s.n.m. (Fig. 19-D), pues la anchura de clase que poseerán los otros tres histogramas causaría una simplificación poco representativa del relieve, indeseable para la elaboración del mapa altimétrico.

Con el fin de obtener una mejor definición de las fronteras de altitud (límites reales de cada intervalo de clase) en el histograma, se ajustó la anchura de clase en cada intervalo a la cifra entera más cercana, por lo que de acuerdo con este criterio los límites reales máximo y mínimo de cada intervalo quedan de la siguiente manera:

INTERVALO	ALTITUD MÍNIMA (m s.n.m.m.)	ALTITUD MÁXIMA (m s.n.m.m.)
1	2,230	2,255
2	2,255	2,279
3	2,279	2,304
4	2,304	2,328
5	2,328	2,353
6	2,353	2,378
7	2,378	2,402
8	2,402	2,427
9	2,427	2,451
10	2,451	2,476
11	2,476	2,501
12	2,501	2,525
13	2,525	2,550

Es importante señalar que el ajuste de la anchura de clase en cada intervalo generó un error acumulado de 3.2 m, pero éste es tolerable ya que representa solo el 1% del total (320 m).y, por ende no perjudica la zonificación de las unidades morfológicas del área en estudio al elaborar el mapa altimétrico.

D) Utilizando los valores contenidos en la tabla anterior se elaboró el mapa altimétrico del área estudiada (Lámina 5).

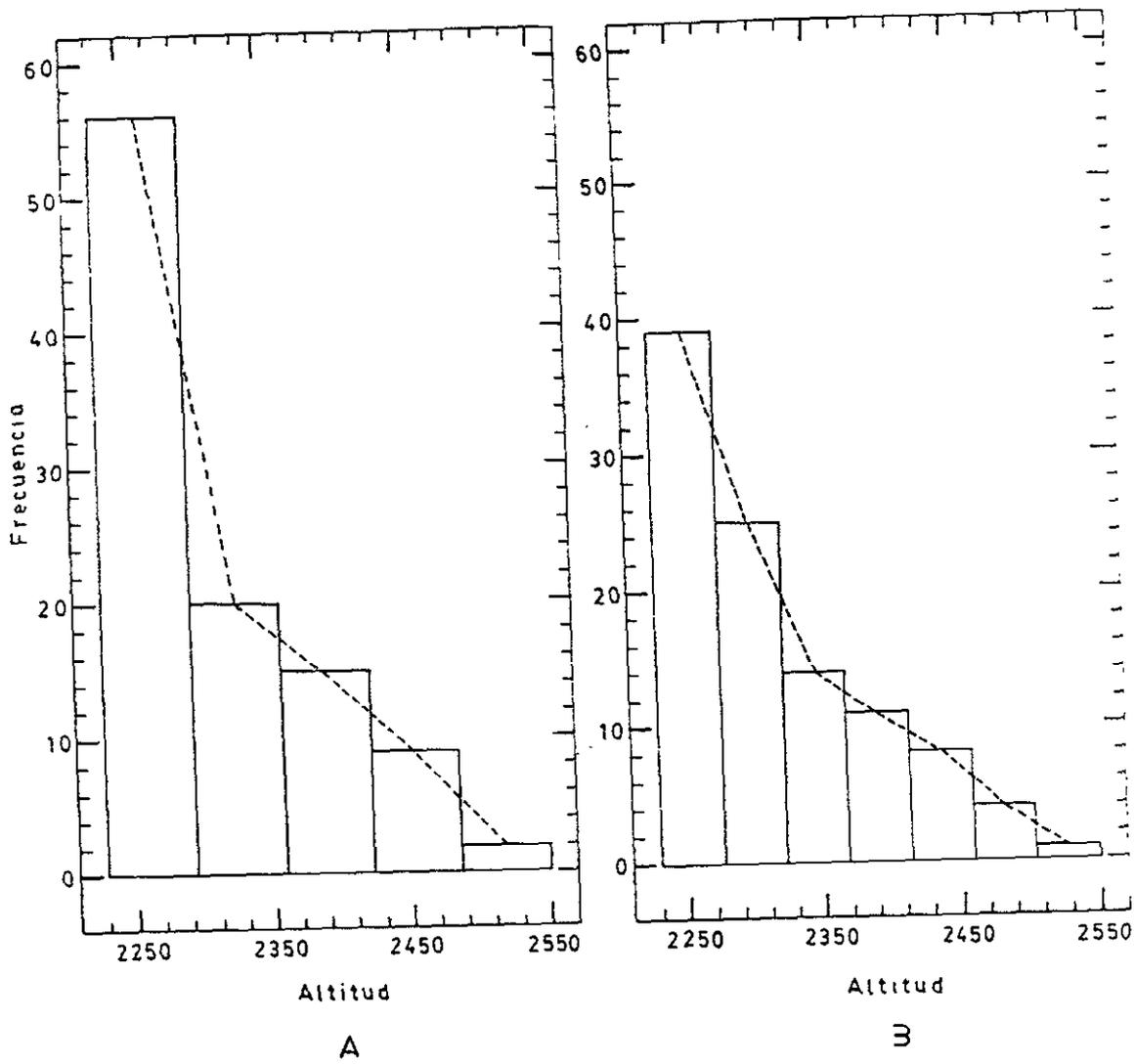


FIGURA 19.-Histogramas de frecuencia de altitudes; A: de cinco intervalos de clase, B: de siete intervalos de clase

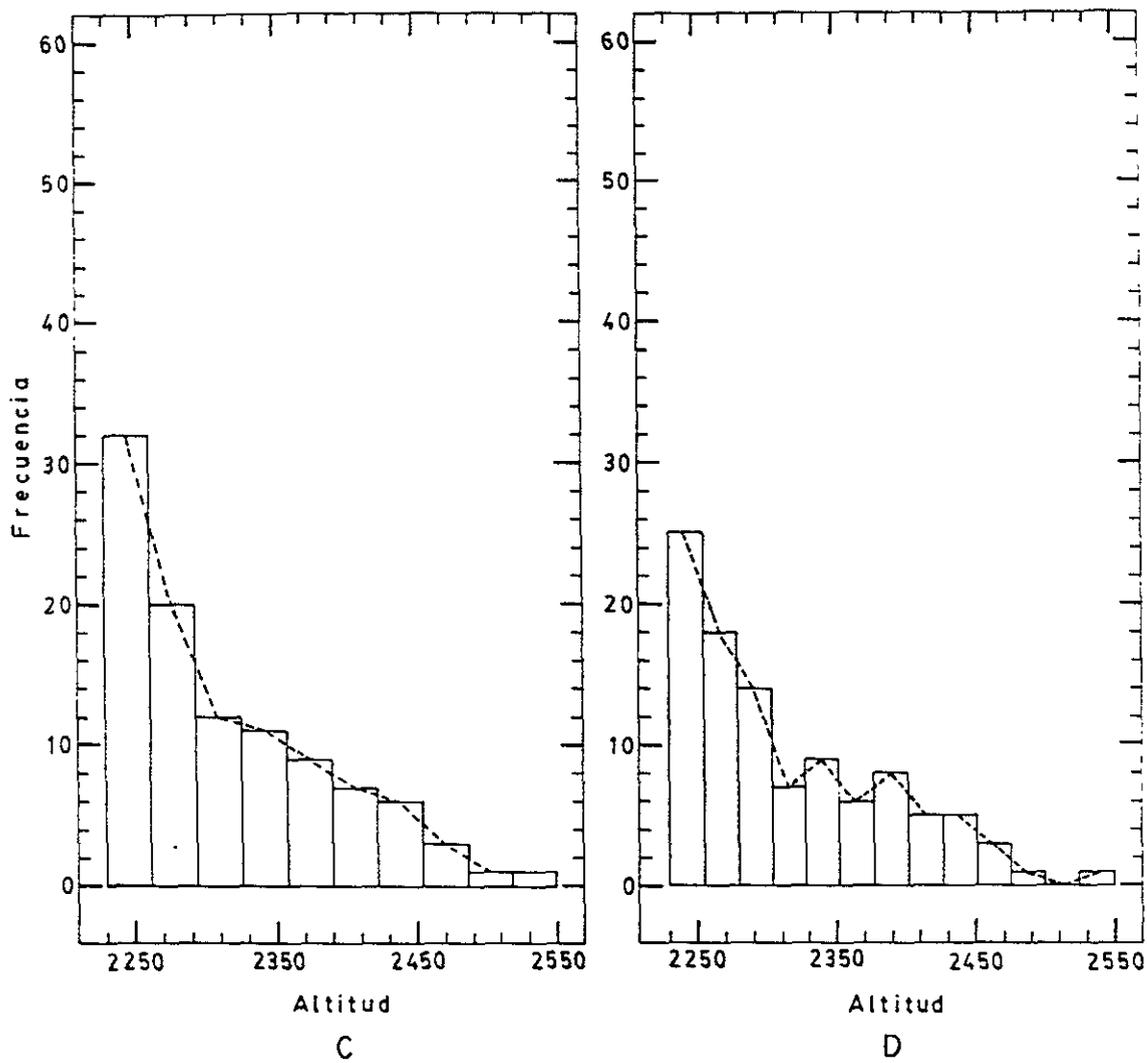


FIGURA 19 (continuación):-Histogramas de frecuencia de altitudes; C: de diez intervalos de clase, D: de trece intervalos de clase

Analizando ésta, podemos reconocer cuatro intervalos que corresponden respectivamente a cuatro zonas del relieve de la misma:

El primer intervalo incluye a todos los sectores del área estudiada que tienen una altitud superior a los 2,450 m s.n.m.m., los cuales conforman la zona del piedemonte superior (íd.).

El segundo intervalo comprende a los sectores cuya altitud se ubica entre los 2,450 y los 2,280 m s.n.m.m. y que conforman la zona del piedemonte inferior (íd.).

El tercer intervalo incluye a aquellos sectores comprendidos entre las altitudes de 2,280 y 2,255 m s.n.m.m., que en conjunto forman la zona de la planicie inclinada del piedemonte inferior (íd.).

Por último, el cuarto intervalo, que comprende a los sectores restantes, los cuales presentan una altitud inferior a los 2,255 m s.n.m.m. y corresponden a la zona de la planicie lacustre (íd.).

A continuación describimos cada una de las zonas que delimita cada intervalo de altitud:

- Zona del Piedemonte superior.

Es la más pequeña de las cuatro zonas del relieve (Lámina 5), y constituye una fracción de la parte terminal de todo el piedemonte superior de la Sierra de Las Cruces que se encuentra ampliamente distribuido en los territorios de las delegaciones y municipios ubicados al nor y sudponiente del área estudiada, conformando una rampa acumulativa de materiales piroclásticos de flujo y caída (Formación Tarango) producto de la actividad volcánica del Cerro de San Miguel descrito en el capítulo anterior.

Debido a que pertenece a la parte de la Cuenca de México en donde se registra una precipitación media anual superior a los 800 mm, con una temperatura media anual inferior a los 16° C (Lámina 2) y a que presenta muchos sectores con pendientes superiores a los 15°, (Lámina 7), la zona se caracteriza por presentar escurrimientos superficiales que van del 5 al 10% de la precipitación media, lo que

hace que se vea afectada por procesos erosivo-fluviales intensos que se reflejan tanto en la presencia de numerosos barrancos que conforman un patrón de drenaje dendrítico, como en altos valores de densidad de la disección (2 a 3 km/km cuadrado), (Láminas 2, 3 y 6).

- Zona del Piedemonte inferior.

Esta zona, que también es una fracción del piedemonte marginal de la Sierra de Las Cruces, es la de mayor extensión de todas las que conforman el relieve del área estudiada (Lámina 5).

Está sujeta a un régimen de precipitación media anual ligeramente inferior al registrado por la zona anterior ya que se ubica más cerca de la isoyeta media anual de los 800 mm, además de presentar valores de temperatura algo mayores a los de la misma zona porque también se ubica más cerca de la isoterma media anual de los 16° C.

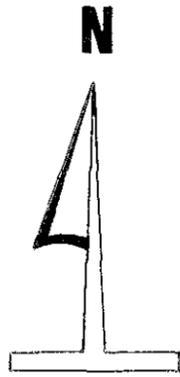
Debido a que está urbanizada en su mayor parte sólo existen en ella tres áreas que presentan un importante coeficiente de escurrimiento superficial natural de la precipitación media anual: el área donde se ubican las instalaciones del Hipódromo de las Américas, el de las instalaciones del Club de Golf Chapultepec (10 al 20% ambas) y el área correspondiente a la tercera sección del Bosque de Chapultepec (5 al 10%), (Lámina 2).

Presenta un patrón de drenaje dendrítico-subparalelo ya que el control que aquí ejercen sobre el mismo las estructuras disyuntivas presentes en la zona es mayor que en la zona del piedemonte superior (Lámina 3).

En su mayor parte presenta pendientes que van de los cero a los 15°, con pocos sectores con pendientes de mayor valor (Lámina 8).

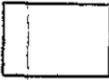
Sus valores correspondientes de densidad de la disección (0.5 a 2 km / km<sup>2</sup>) son menores a los que presenta la zona del piedemonte superior, a excepción de los que muestra su extremo occidental donde son iguales a los de la antedicha zona, esto debido a su mayor cercanía con el nivel de base de la Cuenca de México (zona de la Planicie lacustre).

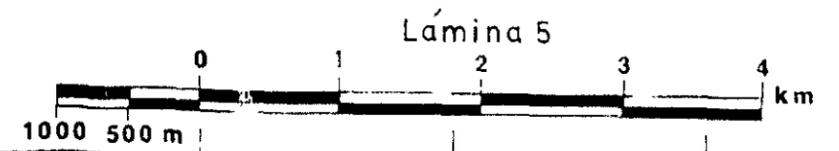
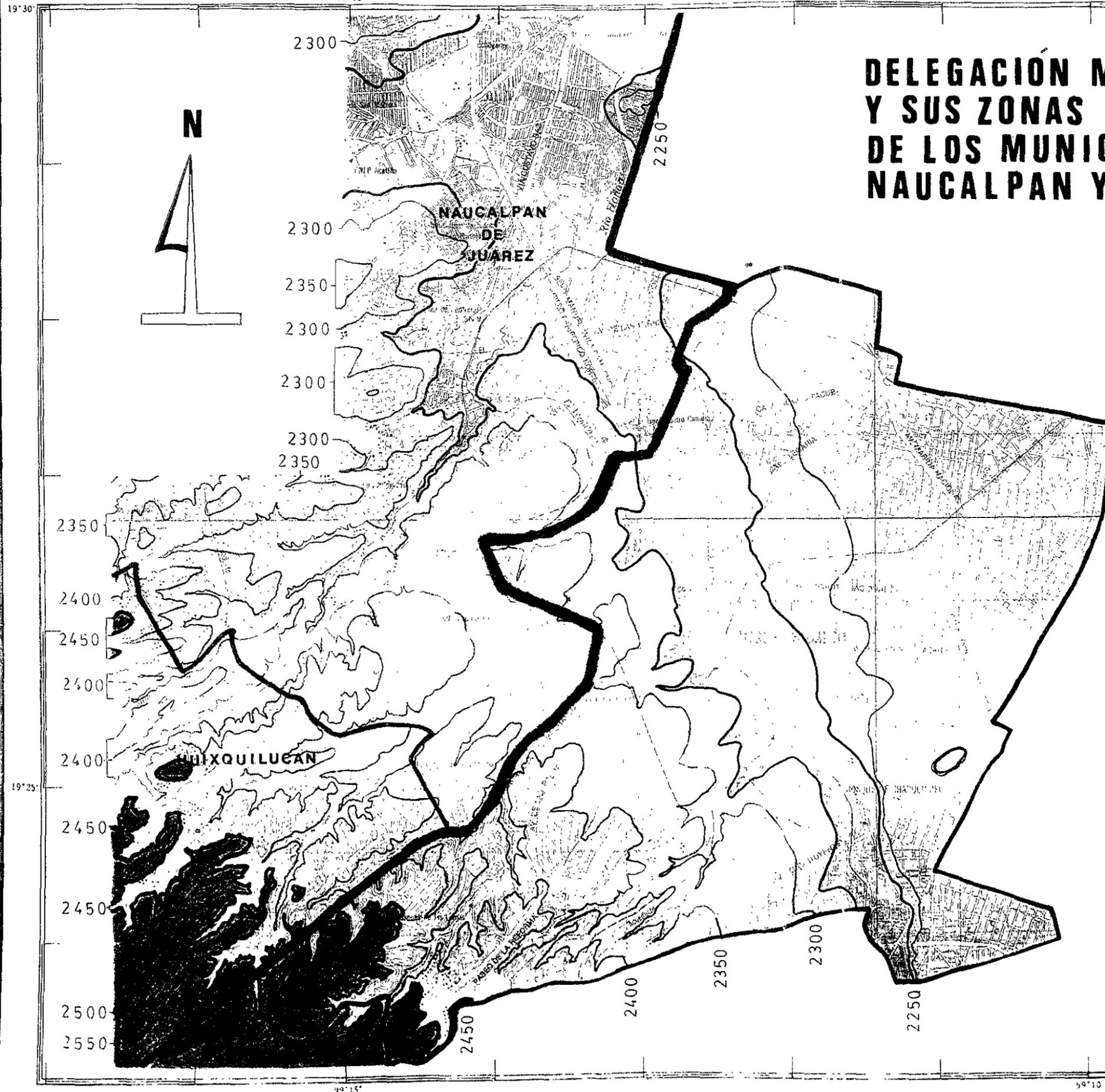
# DELEGACIÓN MIGUEL HIDALGO Y SUS ZONAS CONURBADAS DE LOS MUNICIPIOS DE NAUCALPAN Y HUIXQUILUCAN



INTERVALOS  
ALTITUDINALES

UNIDADES  
MORFOLÓGICAS

	MENOS DE 2255 m.s.n.m.	Planicie lacustre
	DE 2255 A 2280 m.s.n.m.	Planicie inclinada del piedemonte inferior
	DE 2280 A 2450 m.s.n.m.	Piedemonte inferior
	MÁS DE 2450 m.s.n.m.	Piedemonte superior
	Curva de nivel	
	Límite de piso altitudinal	



Al igual que la zona anterior, se trata de una rampa acumulativa de material piroclástico de flujo y caída proveniente tanto de la actividad del volcán de San Miguel como de la de los volcanes que forman parte de la Sierra de Salazar (Formación Tarango).

#### Zona de la Planicie inclinada del piedemonte inferior.

Es la zona correspondiente a la porción más baja del piedemonte, la cual conforma una superficie de suave inclinación (menos de  $6^\circ$ ) transicional a la planicie lacustre.

Debido a que se encuentra urbanizada casi en su totalidad, los valores de densidad de la disección que presenta son muy bajos (menos de 1 km/km cuadrado) además de que su régimen hidrológico y su consecuente poder erosivo se ha alterado completamente pues en ella se ubican la mayoría de las obras hidráulicas que regulan los caudales de los ríos y arroyos que cruzan toda el área. Esto hace que los valores de la precipitación media anual que presenta no tengan gran importancia en la formación de corrientes que pudieran modificar el relieve de esta zona (Lámina 2).

Hasta antes de las alteraciones hechas por el hombre a los procesos hidrológicos y morfogenéticos naturales de esta zona, aquí se ubicaban las desembocaduras de los ríos y arroyos del área estudiada que vertían sus aguas y sus sedimentos acarreados en el antiguo lago de la Cuenca de México, por lo que esta zona se transformó en la actual planicie constituida por una secuencia de depósitos transicionales formados por una mezcla de sedimentos de origen piroclástico con arcillas de origen lacustre (Fig. 7a y b).

#### Zona de la Planicie lacustre.

Es la zona más baja de toda el área en estudio (Lámina 5) por lo que conforma el nivel de base de la misma, y por ser una fracción de la planicie lacustre de la Cuenca de México podemos considerarla como parte del nivel de base de toda esta región.

Como se señaló con mayor amplitud en el subcapítulo 3.1, esta planicie está conformada por depósitos arcillosos que se desarrollaron a partir de la descomposición de las cenizas volcánicas y sedimentos tobáceos acarreados por las corrientes hacia la zona del antiguo lago de la Cuenca de México, donde se depositaron en un ambiente de aguas tranquilas.

Debido a lo anterior y al hecho de que en la actualidad se encuentra totalmente urbanizada, su pendiente general es menor a 3° (Lámina 8) y su densidad de la disección es nula (Lámina 6).

#### 4.1.2.- Densidad de la disección.

El grado de erosión del relieve de la zona en estudio es un efecto palpable del nivel de la capacidad denudatoria que poseen las corrientes fluviales que corren sobre la misma, el cual a su vez podemos considerarlo como el producto final de la interacción de varios factores como son las características de la precipitación pluvial que afecta al área, su litología, su fracturamiento sus pendientes y sus cubiertas edáfica y vegetal.

Un medio por el cual podemos conocer qué predisposición tiene el relieve a desarrollar un determinado tipo de procesos erosivos es la obtención, en todos sectores rectangulares de cada una de sus zonas, de la razón aritmética que hay entre la suma de las longitudes de los talwegs presentes en cada sector y la medida de su superficie abarcada, lo cual proporciona los valores de densidad de la disección que presenta cada uno de los mismos.

De acuerdo con Lugo (op. cit.; p. 31), usando estos valores para obtener los complementarios entre uno y otro, uniendo los que son iguales con líneas y agrupándolos posteriormente delimitando intervalos o rangos apropiados, podremos obtener la base de un mapa de densidad de la disección del área estudiada.

Con el fin de obtener estos valores de densidad y elaborar con ellos el mapa correspondiente se aplicaron los siguientes pasos secuenciales, que son concordantes con los establecidos por dicho autor para elaborar ese tipo de mapas (op. cit.; p. 29):

- a) Se marcaron todos los talwegs en el mapa topográfico escala 1: 50,000 del área estudiada (Lámina 1).
- b) Haciendo uso de todas las intersecciones de la gradícula de la proyección U.T.M. con la que se elaboró dicho mapa topográfico (señaladas dentro del mismo), se le dividió en rectángulos iguales para conformar los diversos sectores de cada una de las zonas del relieve, cuyas dimensiones fueron de 3.6 por 3.75 cm (13.5 cm cuadrados) por lo que cada uno cubrió una superficie real de 3.375 km cuadrados.
- c) Utilizando un curvímeter se midió en cada rectángulo la longitud total de los talwegs en km.
- d) Se dividió a cada una de estas longitudes entre el valor de la superficie real que cubre su rectángulo correspondiente (3.375 km cuadrados), salvo en aquellos sectores que incluyeron las fronteras del área estudiada, pues en ellos los rectángulos solo abarcaron una fracción de la misma, lo que dio pie a que el valor de su superficie real fuese menor a la antes mencionada..
- e) Los resultados son los valores de densidad de la disección en km/km cuadrado correspondientes a cada uno de los sectores que componen las cuatro zonas del relieve presentes en el área estudiada, los cuales se anotaron en el centro de cada rectángulo.
- f) Se hizo una interpolación con todos los valores de los centros cuya posición era adyacente horizontal o verticalmente, para con ello obtener los puntos correspondientes a los valores complementarios entre uno y otro centro.
- g) Con líneas, se unieron los puntos de igual valor cada 0.5 unidades de densidad comenzando en cero para con ello configurar en el mapa las isolíneas de densidad de la disección del área (Lámina 6).
- h) Se definieron los rangos de densidad de la disección que delimitaron las isolíneas ya trazadas (id.), los cuales resultaron como sigue:

RANGO	DENSIDAD DE LA DISECCION (km / km cuadrado)
1.	0.0 - 0.5
2	0.5 - 1.0
3	1.0 - 1.5
4	1.5 - 2.0
5	2.0 - 2.5
6	2.5 - 3.0

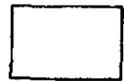
i) Por último, se colorearon las zonas correspondientes a cada rango con el fin de definir claramente sus jerarquías en el mapa (íd.).

Al analizar este mapa, se observa que los valores de densidad de la disección tienen una relación directa con la zonificación altitudinal del relieve ya que los valores más altos (mayores o iguales a 2.0 km/km cuadrado) se presentan en la zona del piedemonte superior y en su franja adyacente del piedemonte inferior, mientras que los más bajos (menos de 0.5 km/km cuadrado) se presentan en la zona de la planicie lacustre y en la mayor parte de la correspondiente a la planicie inclinada del piedemonte inferior (Láminas 5 y 6).

# DELEGACIÓN MIGUEL HIDALGO Y SUS ZONAS CONURBADAS DE LOS MUNICIPIOS DE NAUCALPAN Y HUIXQUILUCAN



RANGOS DE DENSIDAD DE LA DISECCIÓN

	0 - 0.5 km/km <sup>2</sup>
	0.5 - 1.0 "
	1.0 - 1.5 "
	1.5 - 2.0 "
	2.0 - 2.5 "
	2.5 - 3.0 "

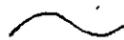
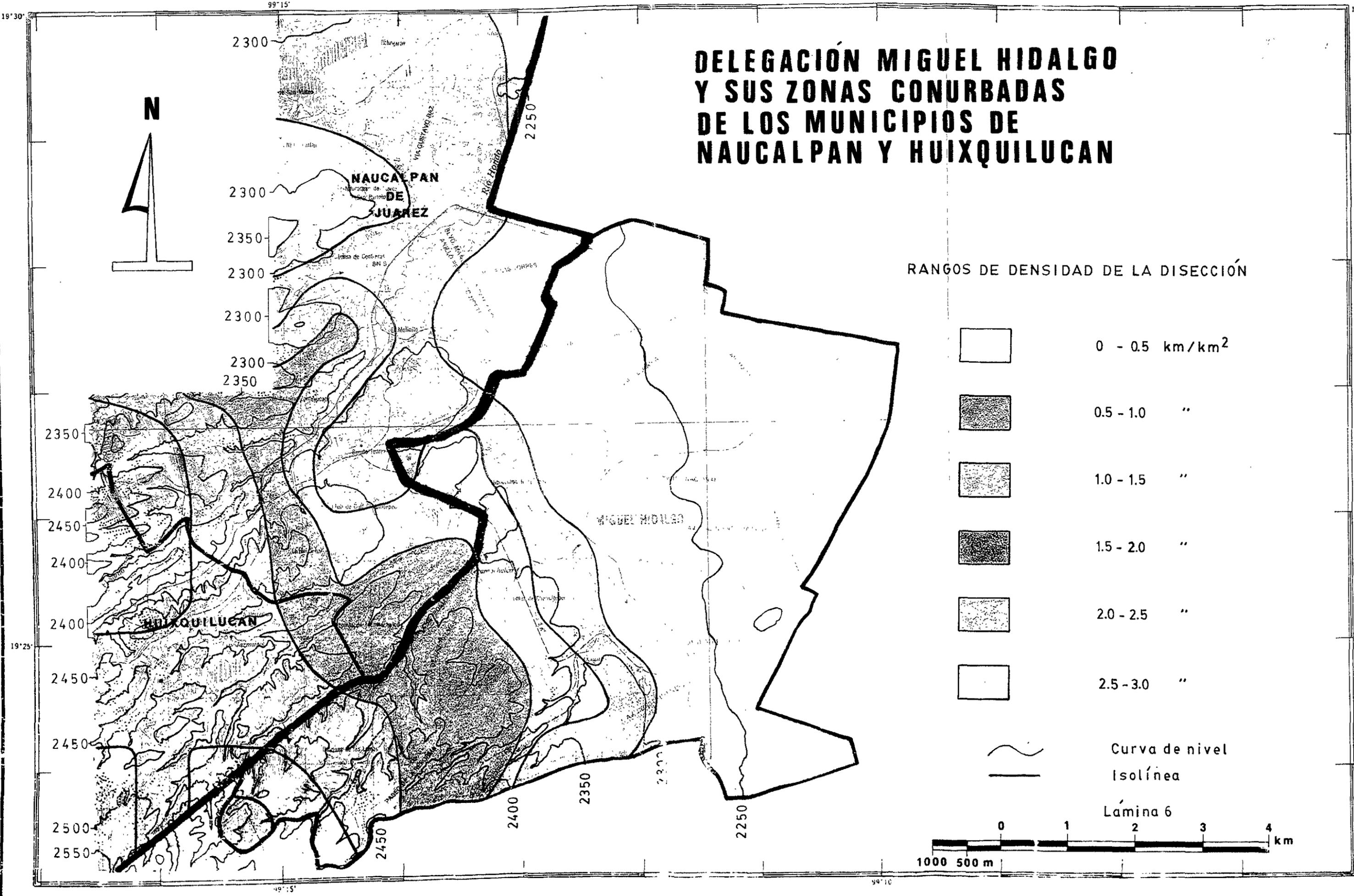
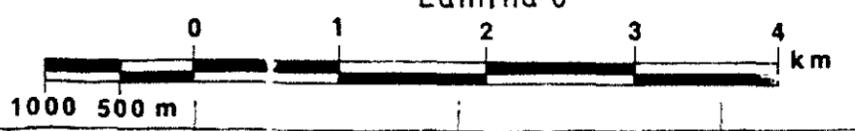
 Curva de nivel  
 Isolínea

Lámina 6



con los valores más altos de la densidad, los cuales corresponden a la zona del piedemonte superior y su franja adyacente del inferior (Láminas 2 y 5).

Por lo anterior, podemos ver que existe una correspondencia directa entre la distribución de la precipitación pluvial en el área estudiada y los valores de densidad de la disección que presenta la misma, siendo ambos más altos hacia la zona del piedemonte superior y más bajos hacia la zona de la planicie (Láminas 2 y 6).

Otro factor importante que tiene relación con la disección son las estructuras disyuntivas presentes en el relieve del área en estudio, pues estas controlan el patrón del drenaje en la mayor parte de la misma).

En el mapa correspondiente (Lámina 9), podemos observar que éstas se concentran al sudponiente del área, especialmente en la porción estudiada del municipio de Huixquilucan, por lo que esta concentración tiene lugar principalmente en la zona del piedemonte superior, lo que la hace también coincidente con la zona de altos valores de densidad de la disección.

Esto también nos muestra la existencia de una relación directa entre la distribución de las estructuras disyuntivas en el área y la distribución de los valores de densidad de la disección en la misma..

Como conclusión a todo lo anterior, podemos decir que la densidad de la disección en el área estudiada está condicionada fundamentalmente por la distribución de las estructuras disyuntivas, la forma y distribución de las vertientes con pendientes de 15° o más, la distribución de la precipitación pluvial y el coeficiente de escurrimiento superficial.

#### 4.1.3.- Profundidad de la disección.

En el subcapítulo anterior se analizó el nivel de erosión fluvial que presenta el área en estudio considerando este proceso en plano, pero a fin de obtener una estimación completa del grado de erodabilidad de la misma se tiene que considerar el valor del corte vertical que efectúan las corrientes en cada una de sus zonas, es decir, se tiene que considerar la acción de la erosión en perfil (Lugo, 1991; p. 33).

Por otro lado, también es notable la correspondencia que existe entre la forma que presentan las vertientes de los barrancos y los valores de densidad pues estos alcanzan su rango más alto (2.5 a 3.0 km/km cuadrado) en las zonas donde los barrancos principales son abundantes en laderas rectas y barrancos secundarios, resultado de la acción de altos volúmenes de escurrimiento acumulados en corrientes con un alto poder erosivo.

Un ejemplo de esta situación lo es el extremo NW de la porción estudiada del municipio de Huixquilucan y su sector adyacente de Naucalpan, hacia el norte a partir del barranco del Río Hondo, donde los máximos valores de densidad se alcanzan sobre pendientes de 15° o más (Lámina 6).

Otras dos zonas con fuerte densidad de disección son la franja fronteriza de la delegación Miguel Hidalgo con la delegación Cuajimalpa y el extremo SW de la porción estudiada del municipio de Huixquilucan, cuyos valores máximos de 3.0 km/km cuadrado disminuyen hacia el nororiente (id.).

Por su parte, los valores de densidad intermedios (1.0 a 2.5 km/km cuadrado) y bajos (0.5 a 1.0 km/km cuadrado) se distribuyen en franjas burdamente paralelas con orientación NW - SE, en la mayor parte de la zona del piedemonte inferior y en la porción de la planicie inclinada del mismo ubicada en Naucalpan (extremo norte del área estudiada), (id.).

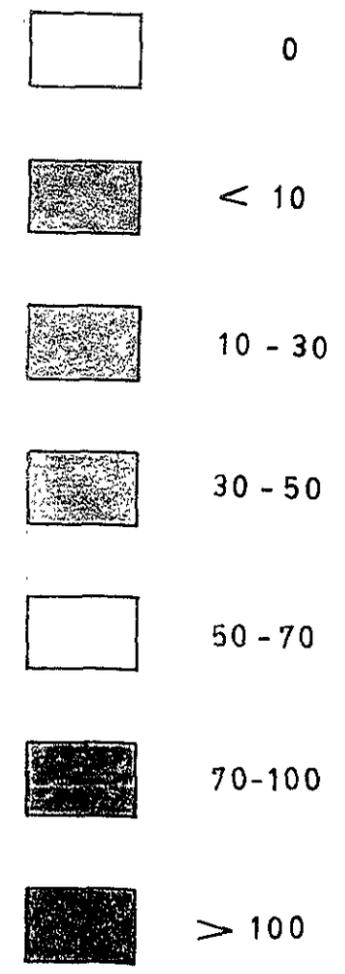
Si consideramos que el proceso de escurrimiento de las aguas pluviales sobre el relieve y su consecuente erosión depende muy estrechamente de la distribución de la precipitación existente en el área estudiada, entonces es importante observar qué relación existe entre los rangos de densidad de la disección y la distribución de dicha precipitación en conjunto con los coeficientes de escurrimiento de la misma en la superficie.

Al respecto, podemos notar que las franjas mencionadas tienen la misma orientación que presentan las isoyetas medias anuales que cruzan el área y que tanto la densidad como los valores de la precipitación media anual aumentan conforme se avanza hacia el SW desde el extremo NE de la misma (Lámina 2).

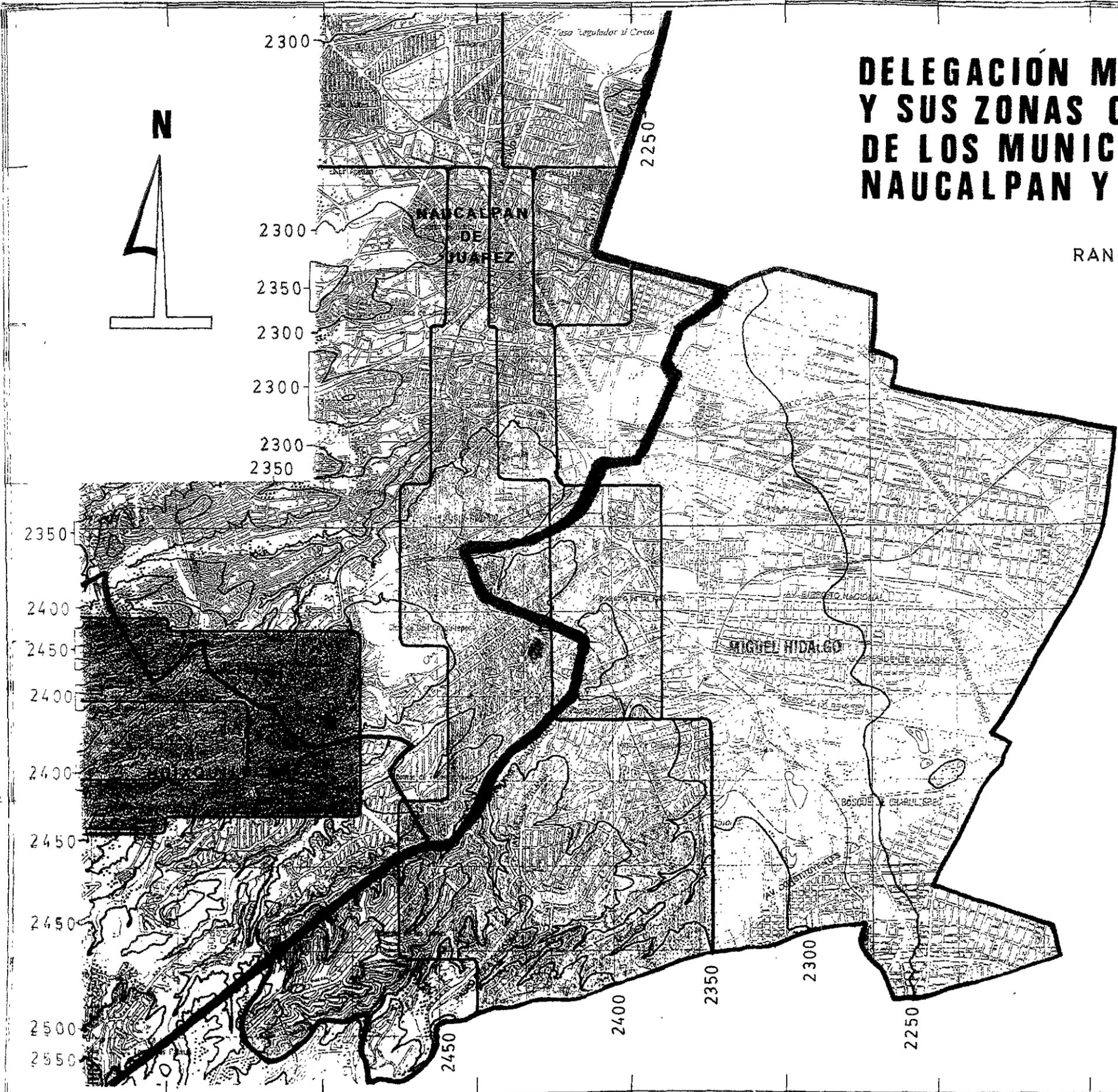
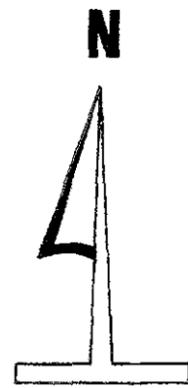
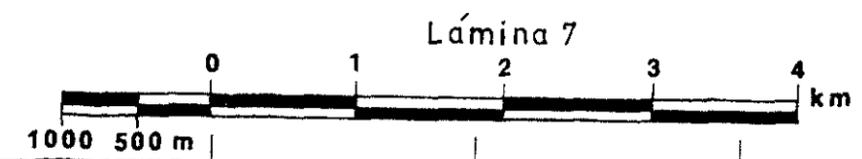
Asimismo, observamos que los valores que toma el coeficiente de escurrimiento superficial hacia la misma dirección son altos (5-10%) y coincidentes

# DELEGACION MIGUEL HIDALGO Y SUS ZONAS CONURBADAS DE LOS MUNICIPIOS DE NAUCALPAN Y HUIXQUILUCAN

RANGOS DE PROFUNDIDAD DE LA DISECCION  
(VALORES EN METROS)



 Curva de nivel  
 Isolínea



Lo anterior se debe a que este sector abarca la porción del barranco del Río Hondo ubicado entre las colonias Federal Burocrática y El Pedregal, cuyo desarrollo está controlado por la falla del mismo nombre y que presenta aquí un plano de fuerte inclinación (Fig. 25) ahondado por el gran poder erosivo de la corriente, que se refleja en las fuertes pendientes que presentan las laderas del mismo.

El segundo rango de altos valores de profundidad de la disección es el de 70 a 100 m, el cual conforma en el mapa correspondiente (Lámina 7) una aureola que bordea al sector anterior abarcando parte del cauce del Arroyo El Sordo y sus afluentes inmediatos en el norte, aguas arriba de la presa del mismo nombre, hasta la zona del cauce del Arroyo Los Jazmines y el fraccionamiento La Herradura al sur, aguas arriba de la presa del mismo nombre.

Los valores de este sector se relacionan con valores altos de densidad de la disección del área estudiada en su porción norte (2.5 a 3.0 km/km cuadrado) producto de la fuerte dinámica erosiva que formó el tramo del barranco del Río Hondo que corre a través de la franja fronteriza del municipio de Naucalpan con Huixquilucan, y con valores un poco menores de la misma en las porciones centro y sur del mismo (2.0 a 2.5 km/km cuadrado) donde se relacionan con la dinámica erosiva que formó los barrancos del Arroyo Los Jazmines y sus afluentes cercanos (Lámina 6), cuyas laderas en su mayoría presentan pendientes con valores de entre 15° y 25° (Lámina 8).

El tercer rango de valores de profundidad de la disección (50 a 70 m) se distribuye rodeando al sector anterior, extendiéndose hacia el norte hasta la zona de San Bartolo en Naucalpan y hacia el sur hasta el extremo NW de la delegación Miguel Hidalgo (Lámina 7).

En el norte y centro se relaciona con valores bajos y medios de densidad de la disección (0.5 a 2.0 km/km cuadrado) mientras que en el sur su relación es con valores altos de la misma (2.0 a 3.0 km/km cuadrado), (Lámina 6). Esto es debido a que en su porción sur se encuentra un gran número de barrancos secundarios que son cabeceras y afluentes de las corrientes principales que drenan la zona, mientras que en el centro su relación es con el tramo del barranco del Río Hondo y sus cauces afluentes que se encuentra a la altura de los poblados San Antonio Zomeyucan y San José Río Hondo donde su profundidad es sensiblemente menor que la que presentan aguas arriba, a la vez que en su porción norte se relacionan con las densidades de la

Dicha medida de la profundidad de la erosión o disección del relieve del área se estimó obteniendo el valor máximo de la diferencia de cotas existente entre los talwegs de las corrientes y las líneas de los parteaguas adyacentes, en forma transversal a los mismos.

La elaboración del mapa de profundidad de la disección del área estudiada (Lámina 7) se hizo de acuerdo con el procedimiento señalado por Lugo (op. cit.), cuyos pasos secuenciales son los siguientes:

- a) Se trazaron las corrientes fluviales y sus divisorias correspondientes en el mapa topográfico del área estudiada (Lámina 1).
- b) Se dividió el mapa en rectángulos iguales haciendo uso de las intersecciones de la gradícula de la proyección U.T.M. del mapa topográfico, del mismo modo que se señaló en el inciso (b) de la secuencia de elaboración del mapa de densidad de la disección del subcapítulo anterior.
- c) Dentro de la superficie que abarca cada rectángulo se obtuvo el valor máximo de profundidad por erosión, que se anotó en el centro de cada figura, para posteriormente obtener los valores complementarios entre uno y otro, y con ello configurar los rangos de valores con isolíneas procediendo de igual manera que en el método señalado en el subcapítulo anterior.

Este mapa (Lámina 7) nos proporciona los niveles de intensidad de la erosión vertical ocurrida en un período de tiempo determinado, donde la distribución de los valores está en relación principalmente con la litología, las estructuras disyuntivas, el régimen tectónico y las condiciones climáticas del área estudiada.

Los valores más altos de profundidad de la disección (mayores a 100 m) se localizan en la zona del piedemonte inferior, en un sector ubicado al norte de la porción estudiada del municipio de Huixquilucan (Lámina 7) donde estos valores se relacionan con los valores altos de densidad de la disección del área estudiada (2.5 a 3.0 km/km cuadrado; Lámina 6) y con laderas de pendiente no menor a 15° (Lámina 8), que a su vez corresponden con fallas de orientación NE-SW.

El valor más bajo de la profundidad de la disección (cero) corresponde obviamente a la zona de las planicies lacustre-aluvial (cuyos drenajes naturales se encuentran actualmente entubados) y lacustre, las cuales se encuentran totalmente urbanizadas (Lámina 7).

Como podemos observar, todos los valores señalados anteriormente nos muestran una correspondencia con los datos (mapas) de densidad de la disección, de pendientes y de estructuras disyuntivas congruente y directa, ya que:

- a) Las zonas más disecadas en planta lo fueron también en sentido vertical
- b) Los valores altos de las pendientes corresponden con los valores altos de profundidad de la disección
- c) Valores de profundidad de la disección medios a altos determinan la presencia de estructuras disyuntivas en la zona, por ser estas zonas de debilidad favorables para el desarrollo de cauces fluviales.

#### 4.1.4.- Pendientes.

El conocimiento de la distribución de los valores de las pendientes en el área en estudio es esencial para poder establecer la influencia que tienen estas en la predisposición del terreno a sufrir procesos erosivos.

Para ello es necesario reconocer cuáles son los rangos críticos de las mismas y que relación tienen con las áreas más inestables.

Para ello, se elaboró un mapa de pendientes del terreno (Lámina 8) utilizando la equivalencia existente entre las distancias que hay entre las curvas de nivel del mapa topográfico del área y sus pendientes correspondientes, es decir, se transformaron las distancias entre curvas de nivel en valores de pendiente estableciendo rangos adecuados para jerarquizarlas (op. cit.).

zona cercana a la desembocadura del Río San Mateo en la planicie lacustre aluvial (Láminas 3 y 7).

Lo anterior también se refleja en los valores de las pendientes que corresponden a este rango de profundidad de la disección, ya que en la porción sur se correlaciona con laderas con pendientes de  $15^\circ$  a  $35^\circ$  mientras que en la porción norte las pendientes relacionadas son menores a  $15^\circ$ , lo cual revela una notable diferencia en el poder erosivo de las corrientes que drenan ambas porciones..

El cuarto rango de valores de profundidad de la disección del área estudiada abarca de los 30 a los 50 m, el cual conforma en el mapa correspondiente una franja rectilínea de anchura variable que se extiende desde la zona de San Bartolo al norte hasta la zona de las colonias Lomas de Chapultepec y Lomas Altas al sur, en la delegación Miguel Hidalgo (Lámina 7).

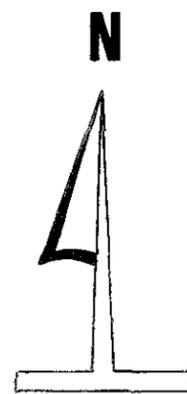
De igual manera que en el rango anterior, los valores de densidad de la disección correspondientes con este rango varían de norte a sur pues mientras que en la porción norte se presentan valores inferiores a 1.5 km/km cuadrado, en el sur la densidad alcanza valores de hasta 2.0 km/km cuadrado (Lámina 6).

Lo mismo pasa con las pendientes de las laderas correspondientes, ya que estas alcanzan valores de hasta  $35^\circ$  en la porción sur mientras que en la porción norte alcanzan un máximo de  $6^\circ$ .

Todo lo anterior se debe a que en el sur este rango coincide con la presencia de numerosos barrancos secundarios de laderas empinadas, altamente erosivos, que conforman los afluentes del Arroyo Dolores mientras que en el norte este rango de profundidad coincide con las laderas que conforman los barrancos de la zona cercana a la desembocadura del Río Hondo.

Los dos últimos rangos significativos de la profundidad de la disección (10 a 30 m y menos de 10 m) coinciden con las pequeñas laderas de los barrancos que se formaron en las desembocaduras de las corrientes principales que drenan el área en estudio (Ríos 'Hondo y San Joaquín y Arroyo Tecamachalco), donde el poder erosivo de las mismas es muy escaso, por lo cual sus correspondientes valores de densidad de la disección y de pendientes también son muy bajos (menos de 1 km/km cuadrado y  $3^\circ$  o menos, respectivamente).

# DELEGACIÓN MIGUEL HIDALGO Y SUS ZONAS CONURBADAS DE LOS MUNICIPIOS DE NAUCALPAN Y HUIXQUILUCAN



RANGOS DE VALORES DE LAS PENDIENTES  
(en grados)

	0 - 3
	3 - 6
	6 - 15
	15 - 25
	25 - 35
	mayor a 35
	Curva de nivel

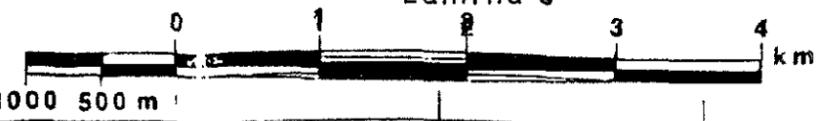
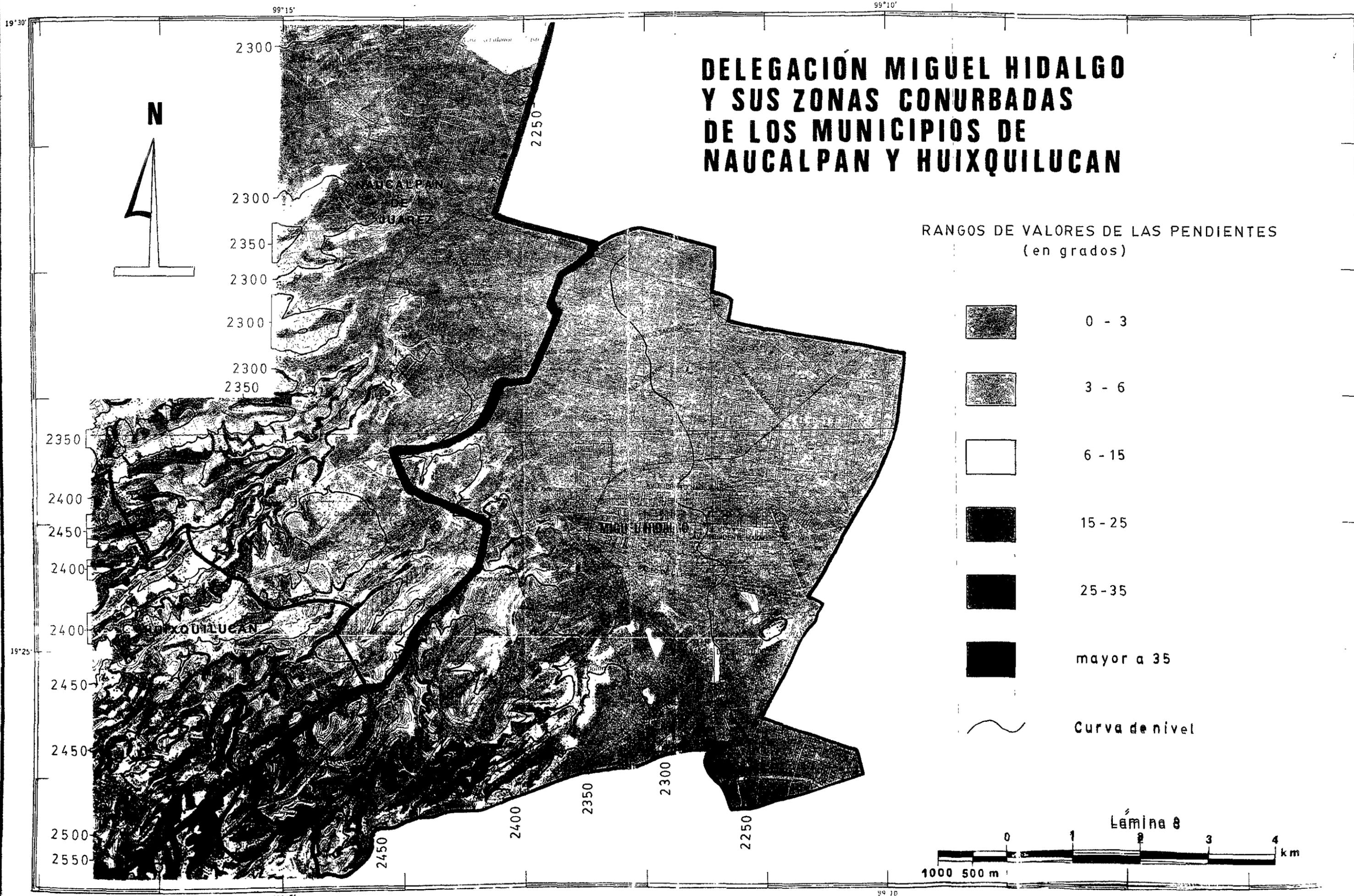


Lámina 8



Las pendientes de menos de  $3^\circ$  están ampliamente distribuidas en las planicies lacustre y lacustre aluvial, pero también puede observarse que se distribuyen en las llanuras de inundación de las corrientes principales, que son zonas caracterizadas por no haber sido afectadas por la erosión fluvial. El área que ocupan es del 60% de la superficie total del área estudiada (Lámina 8).

Las pendientes de  $3^\circ$  a  $6^\circ$  se distribuyen en las cimas interfluviales de la zona del piedemonte donde son características de las superficies de divisorias de aguas, formando franjas sinuosas, planas transversalmente y con inclinación longitudinal. Estas zonas se caracterizan por ser porciones estables muy poco afectadas por la erosión fluvial y el área que ocupan comprende el 15% de la superficie total (íd.).

Las pendientes de  $6^\circ$  a  $15^\circ$  están presentes principalmente en las laderas convexas adyacentes a las cimas interfluviales, las cuales se caracterizan por estar poco modificadas por la acción fluvial. El área que ocupan es del 10% del área total (íd.).

Las pendientes de  $15^\circ$  a  $25^\circ$  se presentan en las laderas cóncavo-convexas y rectas de los barrancos principales, que se caracterizan por estar afectadas por procesos erosivos fluviales intensos. Ocupan un área equivalente al 7% de la superficie total (íd.).

Las pendientes de  $25^\circ$  a  $35^\circ$  coinciden con las partes altas de los barrancos principales y con la gran mayoría de los barrancos secundarios, donde conforman las laderas rectas inestables que terminan en fondos estrechos, producto de procesos erosivo-fluviales muy fuertes. El área que ocupan es del 5% del área total estudiada (íd.).

Las pendientes mayores de  $35^\circ$  presentan una distribución más puntual que las anteriores, relacionándose estrechamente a las del rango anterior pues se ubican en los mismos lugares, donde pasan transicionalmente unas a otras. También son producto de procesos erosivos muy intensos y el área que ocupan es del 3% del total (íd.).

La anterior relación nos indica que el 15% del área total presenta vertientes cóncavas o rectas que se encuentran sometidas a una erosión hídrica que va de moderada a fuerte.

El establecimiento de los rangos de pendientes representados en el mapa se hizo en base a las siguientes normas condicionantes que Lugo (op. cit.; p. 34) recomienda tomar en cuenta:

- a) La escala del mapa topográfico (1 : 50,000)
- b) Equidistancia entre curvas de nivel (10 m)
- c) Condiciones fisiográficas del área (piedemonte y planicie)
- d) Objetivo del trabajo

La aplicación de lo anterior nos llevó a seleccionar la siguiente escala de pendientes de seis rangos:

menos de 3° Planicies, llanuras de inundación

3° - 6° Planicies ligeramente inclinadas y superficies de divisorias de aguas

6° - 15° Planicies inclinadas y laderas convexas

15° - 25° Laderas cóncavo-convexas

25° - 35° Laderas rectas

más de 35° Laderas de relieves accidentados

La relación entre la distribución de las pendientes y las formas exógenas del relieve en la zona en estudio resultó como sigue:

- Rosa de fracturas de la Zona del Piedemonte Superior

Las fracturas en esta zona se agrupan en dos rangos de orientación principalmente (Fig. 20-A):

a) NE 21°-30°

b) NE 41°-50°

a) Las fallas y fracturas cuya orientación queda incluida en el rango NE 21°-30° se presentan en el extremo suroccidental de esta zona y en él se incluye el extremo NW de la Falla Hipódromo, al sudponiente de las instalaciones de la Universidad Anáhuac, la cual fue descrita por de Cserna y colaboradores aguas abajo sobre el cauce del Río San Joaquín (Arroyo del Hipódromo), (op. cit.; p. 30).

Esta falla aparentemente es de tipo normal, con su bloque hundido en el NW (Lámina 9) y su presencia fue inferida por dichos autores en base a las relaciones estratigráficas que muestran dos secciones que levantaron a través del barranco de este río a la altura del fraccionamiento La Herradura, en el municipio de Huixquilucan.

Una descripción más completa de las características de esta falla se dará más adelante, en la parte correspondiente al análisis de la rosa de fracturas del piedemonte inferior.

b) Las estructuras con orientación incluida dentro del rango NE 41°-50° consisten en fracturas que controlan las cabeceras de los arroyos ubicados en el extremo suroccidental de la delegación Miguel Hidalgo, cuyas aguas fluyen hacia los cauces de los arroyos Tecamachalco y Dolores (Lámina 9).

Al parecer se trata de estructuras secundarias cuyo origen está relacionado con los mismos procesos tectónicos que dieron origen a la cercana Falla Hipódromo.

#### 4.1.4.- Estructuras disyuntivas.

Con la finalidad de explicar la actividad tectónica y la relación existente entre esta y los procesos erosivos en el área estudiada, se elaboró un mapa que muestra las principales fallas y fracturas que presenta el relieve de la misma (Lámina 9) el cual incluye tanto a las estructuras que se caracterizan por su expresión directa en el mismo como aquellas que han sido inferidas en el subsuelo por métodos geofísicos y que han sido reportadas en referencias bibliográficas por diversos autores (de Cserna et al., op. cit.).

La distribución de los lineamientos en el área muestra tres patrones bien diferenciados, uno en la zona del piedemonte superior, otro en la del piedemonte inferior y el último en la de las planicies inclinada del piedemonte inferior y lacustre, los cuales se analizaron en base a la rosa de fracturas obtenida para cada una de ellas además de la rosa general del área que permite visualizar, comparar y evaluar la suma de los resultados obtenidos en las tres zonas (Figs. 20 y 21).

A continuación se presenta la tabulación de los rangos de los valores de orientación y de las correspondientes longitudes que presentan los lineamientos tectónicos, base de la elaboración de las rosas de fracturas mencionadas, cuya explicación se da posteriormente:

Rangos	Piedemonte superior		Piedemonte inferior		Planicie inclinada y lacustre		General de la Zona en Estudio		L I N E A M I E N T O S
	NE	NW	NE	NW	NE	NW	NE	NW	
0°-10°		0.3		2.3				2.6	
11°-20°									L
21°-30°	1.55		3.75		5.0		10.3		O
31°-40°			2.1				2.1		N
41°-50°	2.35		12.05		5.85		20.25		G D
51°-60°			7.15				7.15		I E
61°-70°			5.15				5.15		T
71°-80°			2.05				2.05		U
81°-90°			5.4				5.4		D

(Longitudes en km)

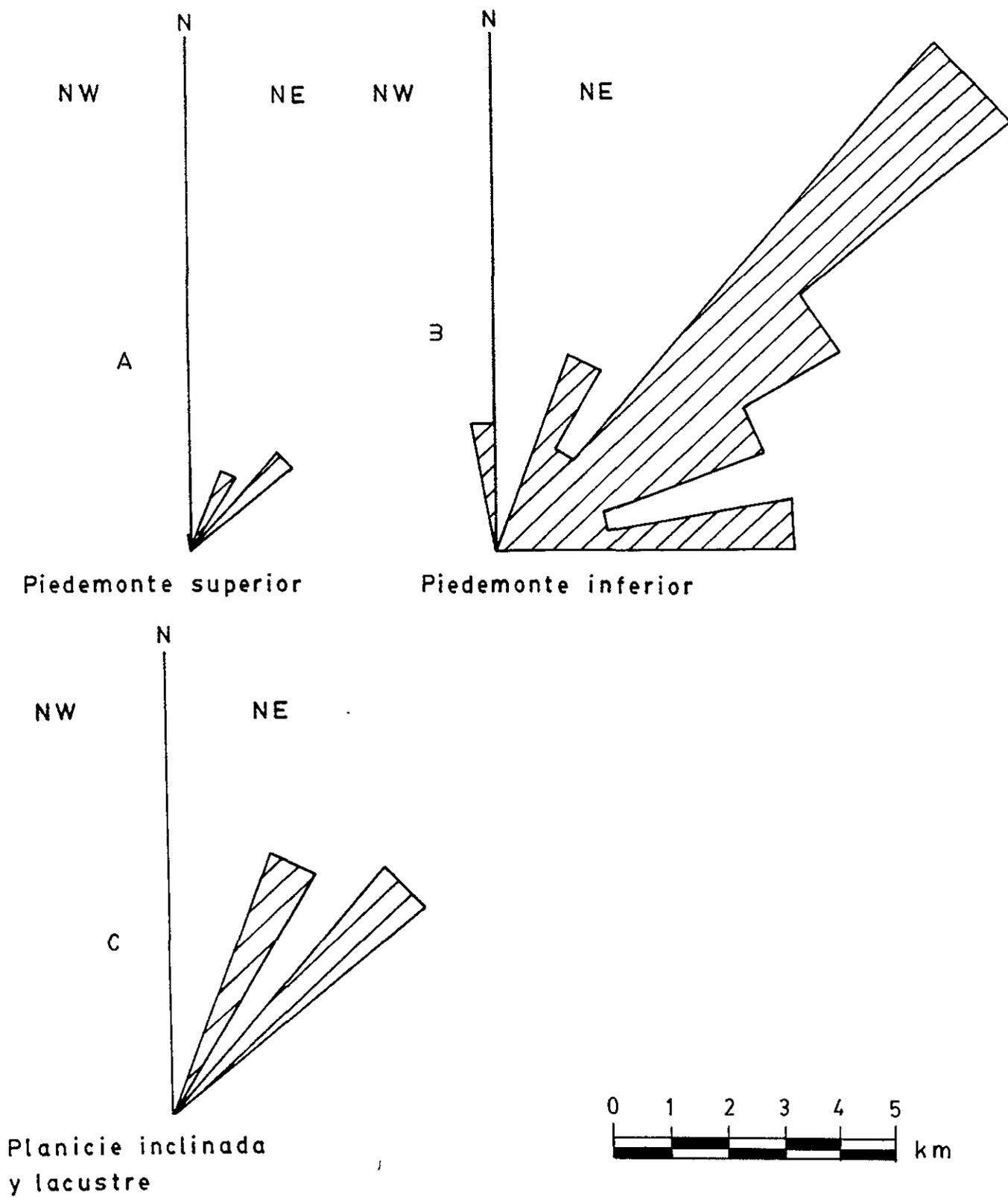


FIGURA 20:-Rosas de fracturas de las tres zonas que componen el área en estudio; A: del piedemonte superior; B: del piedemonte inferior; C: de las planicies inclinada y lacustre.



# DELEGACIÓN MIGUEL HIDALGO Y SUS ZONAS CONURBADAS DE LOS MUNICIPIOS DE NAUCALPAN Y HUIXQUILUCAN

## ESTRUCTURAS DISYUNTIVAS

- Fractura
- TTTT Falla normal mostrando el bloque hundido
- TTT Falla normal sepultada
- ..... Falla inferida mediante información gravimétrica (según De Cserna et al, 1987-1988)

## FALLAS PRINCIPALES \*

1. Falla Río Hondo
2. Falla Hipódromo
3. Falla Contadero

\* De acuerdo con De Cserna et al, 1987-1988

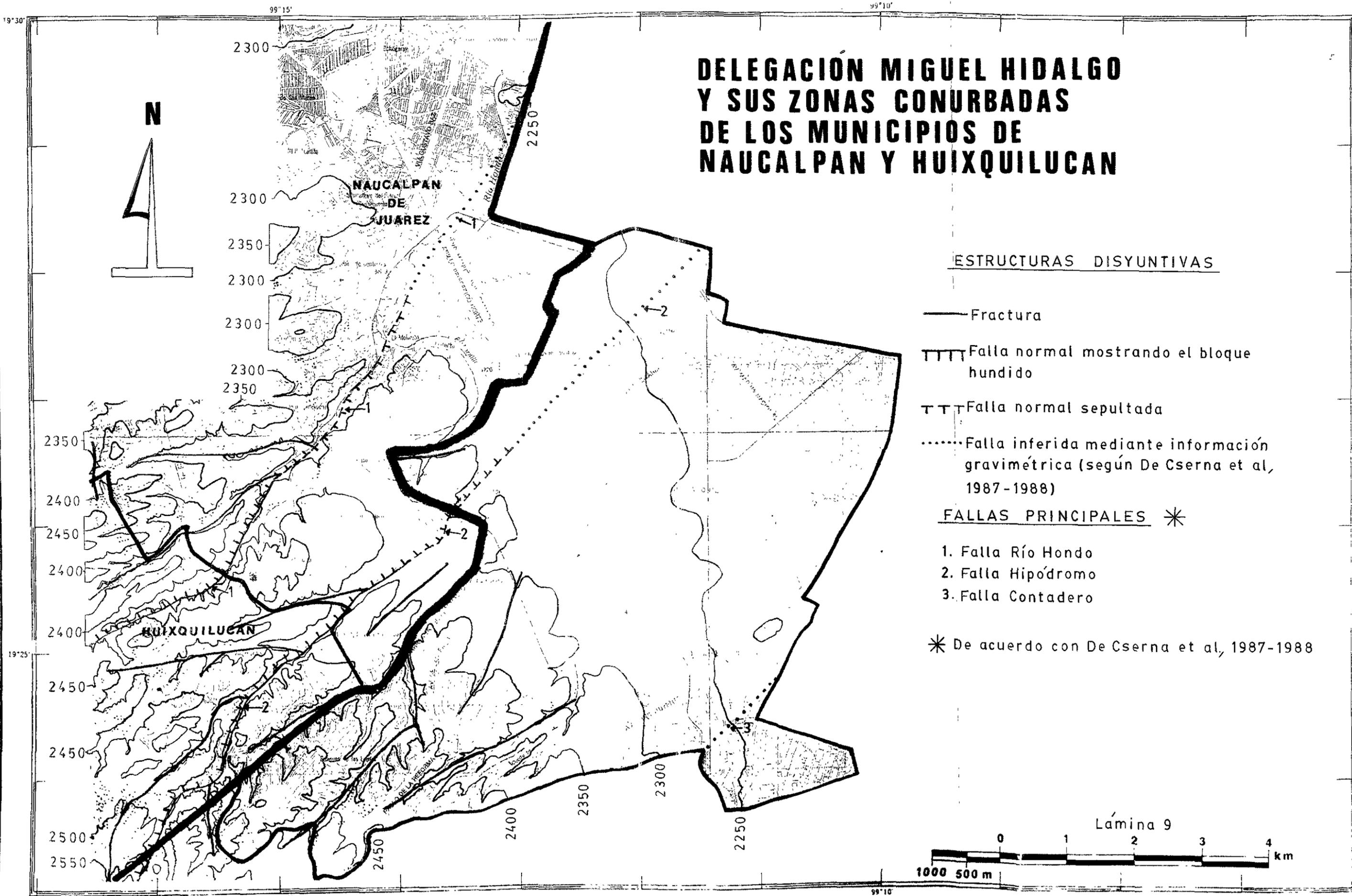
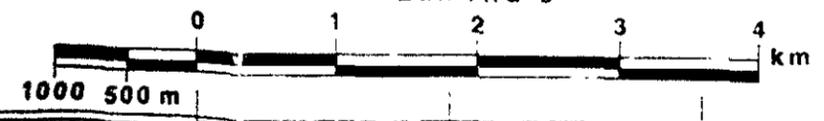


Lámina 9



- Rosa de fracturas de la Zona del Piedemonte Inferior

En el piedemonte inferior las orientaciones que muestran las estructuras disyuntivas se agrupan en los rangos siguientes (Fig.20-B):

- a) NW  $0^{\circ}$ - $10^{\circ}$
- b) NE  $21^{\circ}$ - $30^{\circ}$
- c) NE  $41^{\circ}$ - $50^{\circ}$
- d) NE  $51^{\circ}$ - $60^{\circ}$
- e) NE  $61^{\circ}$ - $70^{\circ}$
- f) NE  $81^{\circ}$ - $90^{\circ}$

a) Los lineamientos que muestran orientaciones incluidas dentro del rango NW  $0^{\circ}$ - $10^{\circ}$  corresponden a dos fracturas que controlan los cauces de dos corrientes de segundo orden ; la primera se encuentra en territorio de la delegación Miguel Hidalgo en donde vierte sus aguas en el cauce del Arroyo Tecamachalco y la segunda también es una corriente de segundo orden ubicada en territorio del municipio de Naucalpan donde vierte sus aguas al cauce del Arroyo El Sordo.

En sí son dos estructuras secundarias que no presentan rasgos tectónicos de importancia.

b) Los lineamientos cuya orientación queda incluida en el rango NE  $21^{\circ}$ - $30^{\circ}$  corresponden a dos fracturas que controlan a un mismo número de corrientes de segundo orden ubicadas al SW del territorio de la delegación Miguel Hidalgo.

La primera fractura controla el cauce de la "Barranca Barrilaco", situada entre el Paseo de las Palmas y el Paseo de la Reforma en la colonia Lomas de Chapultepec; la segunda controla el cauce de un barranco sin nombre ubicado al

suroeste del primero, inmediatamente al sur del fraccionamiento Bosques de las Lomas (Lámina 9).

Al igual que los lineamientos del rango anterior, no presentan rasgos tectónicos importantes.

c) El sistema de estructuras disyuntivas cuyas orientaciones quedan incluidas en el rango NE  $41^{\circ}$ - $50^{\circ}$  está conformado principalmente por las fallas Río Hondo e Hipódromo, a las cuales se les asocian algunas fracturas secundarias de poca longitud (i.d.).

Estas dos estructuras son parte del ya referido "Enjambre de Fallas Las Cruces" (subcapítulo 3.2), y conforman la parte del mismo presente en el área en estudio.

A continuación damos una descripción de las características que presentan estas estructuras dentro de dicha área.

#### - Falla Río Hondo:

La presencia de la falla Río Hondo, límite septentrional del Enjambre de Fallas Las Cruces, es determinante en el desarrollo del barranco del mismo nombre, ya que ejerce un fuerte control sobre su cauce y por ser la estructura tectónica más grande de toda el área estudiada (Mapa geológico).

A partir del límite occidental del área y hasta que cruza el límite municipal de Huixquilucan y Naucalpan, su traza tiene una trayectoria casi rectilínea de 2.2 km con rumbo N  $25^{\circ}$  E a partir de donde cambia a un rumbo N  $50^{\circ}$  E, para 1.5 km más adelante, al llegar a la zona del pueblo San José Río Hondo en el municipio de Naucalpan, desaparecer para transformarse en una falla sepultada cuya presencia se infiere por las diferencias de posición que guardan las distintas unidades litológicas en ambas laderas del barranco del Río Hondo (Lámina 9 y Mapa Geológico), (op. cit.; p. 25).

Estas diferencias permiten deducir su presencia hasta la zona cercana al pueblo San Andrés Atoto, en el mismo municipio, a partir de donde se infiere su continuación hacia el NE por la extrapolación de información gravimétrica obtenida en zonas más al centro de la Cuenca de México (í.d.), (op. cit.; p. 53).

En el barranco del Río Hondo, cerca de la colonia El Chamizal en Naucalpan, la presencia de esta falla se puede inferir por la distribución que presentan los diversos depósitos piroclásticos de la Formación Tarango en ambas márgenes (Fig. 24 y Mapa Geológico).

En este sitio, los depósitos pumítico-andesíticos "Cuquita"(Cq) y las tobas pumíticas "Hank" (ToH) inmediatamente suprayacentes afloran en la ladera sudoriental, mientras que en la ladera opuesta el afloramiento de los primeros tiene lugar a un nivel topográfico superior, estando sobreyacidos por un cuerpo de tobas pumíticas producto de la actividad volcánica de los aparatos que conforman la Sierra de Salazar (ToS), (Mooser et al., 1992; p. 8).

De acuerdo con Mooser y colaboradores (op. cit.), los depósitos "Cuquita" conforman el paquete más antiguo de la Formación Tarango, seguido por el depósito de las Tobas de la "Sierra de Salazar", que por alguna causa no especificada por estos autores, solo aflora hasta la ladera NW del Río Hondo.

Tiempo después, la actividad explosiva del volcán San Miguel dio origen al depósito de las Tobas "Hank" que cubrieron a los depósitos "Cuquita" y cuyos afloramientos, también por causas no especificadas por los mismos, no llegan más allá de la ladera sudoriental del barranco del Río Hondo (Mapa Geológico).

Según de Cserna y colaboradores (op. cit.), la diferencia en el nivel topográfico que presenta el límite superior de los depósitos "Cuquita" en ambas laderas del barranco (Fig. 24) hace que se infiera la existencia de la falla en este lugar, donde aparentemente es de tipo normal y con el bloque hundido en el SE.

Es evidente que estos datos son insuficientes para afirmar lo anterior con certeza, ya que una falla de desplazamiento oblicuo produciría los mismos resultados (op. cit.), por lo que es necesario efectuar estudios y mediciones más precisos para describir correctamente a esta estructura.

Sobre este mismo barranco, 3.9 km aguas arriba del sitio anterior, las relaciones que muestran los depósitos de la Formación Tarango a través del barranco del Río Hondo, entre las colonias El Pedregal y Federal Burocrática del municipio de Huixquilucan, son las representadas en la Fig. (25).

En este lugar puede observarse a los depósitos "Cuquita" en las partes inferiores de ambas laderas del barranco, donde es notable que el nivel topográfico que alcanza el límite superior de estos depósitos es mayor en la ladera SE. Asimismo, puede observarse el mayor espesor que presentan las Tobas de la "Sierra de Salazar" y las Tobas "Hank" en este lugar con relación al sitio anterior.

Al igual que en el caso anterior, la diferencia en el nivel topográfico mostrada por el límite superior de los depósitos "Cuquita" en ambas laderas nos conduce a inferir la existencia de la Falla Río Hondo, aparentemente de tipo normal (op. cit.) y cuyo desplazamiento vertical tuvo lugar a lo largo de un plano que se encuentra en la ladera SE (Fig. 25).

En este caso, la información recabada es insuficiente para afirmar con certeza lo anterior ya que también en este sitio falta efectuar una serie de estudios y mediciones más precisas que permitan definir claramente a esta estructura, pues un desplazamiento entre los bloques con un componente horizontal también produciría este efecto (op. cit.).

Una serie de levantamientos estratigráficos y estructurales hechos por de Cserna y colaboradores (op. cit.) en varios sitios aguas arriba de este último, sobre el cauce del Río Hondo, señalan la existencia de desplazamientos verticales aparentes en el tramo que va de la zona central del municipio de Huixquilucan hasta la zona del pueblo San José Río Hondo, en donde el bloque que aparentemente se hundió está en el NW, mientras que en la continuación sepultada de la falla, desde este último sitio y hasta el pueblo de San Andrés Atoto, se infiere que el bloque hundido puede estar ubicado al SE del barranco, (Lámina 9 y Mapa Geológico).

Dichos autores señalan que estos desplazamientos en realidad "solo corresponden a la separación vertical y no al desplazamiento real vertical" de los bloques, pues la existencia de una serie de estratos con evidencias de posibles efectos de arrastre de esta falla en el cercano fraccionamiento Bosques de la

Herradura, en Huixquilucan, indican la existencia de un desplazamiento horizontal (op. cit.; p. 29).

También, estos autores detectaron la continuación de esta estructura debajo del relleno de la Cuenca de México, hacia el NE del pueblo de San Andrés Atoto, por medio de un modelado gravimétrico con el que obtuvieron seis perfiles orientados N-S, coincidentes con seis meridianos cuya separación fue de dos minutos a partir de la Longitud  $99^{\circ} 00' W$ , con dirección hacia el oeste (op. cit.; p. 49).

Dichos perfiles muestran claramente que la Falla Río Hondo se extiende por debajo de la superficie de la Cuenca conectándose con la Falla Chiquihuite que afecta a la Sierra de Guadalupe, ubicada al norte de la misma (op. cit.; p. 53). por lo que parece ser que ambas estructuras son expresiones superficiales de una misma falla (op. cit.), (Fig. 14).

Finalmente, los mismos autores consideran que hasta que sean plenamente demostradas las relaciones existentes entre los contactos de las diversas unidades litológicas en ambas laderas del barranco del Río Hondo, será posible demostrar la naturaleza real de esta falla, por lo que en este momento solo es posible afirmar que la misma muestra “desplazamientos aparentes tanto verticales como horizontales, que son característicos y comunes de las fallas de desplazamiento horizontal”, sin registrar actividad sísmica local reciente, aunque puede actuar como reflector o refractor de ondas sísmicas o aun ser activa por reptación (op. cit.; p. 3 y 29).

#### - Falla Hipódromo:

Conforma la segunda estructura tectónica más grande presente en el área estudiada. Se ubica al SE de la Falla Río Hondo y su traza se extiende desde la zona donde se encuentran las instalaciones de la Universidad Anáhuac, en Huixquilucan, hasta el extremo poniente de las instalaciones del Hipódromo de Las Américas (op. cit.), en el límite de la delegación Miguel Hidalgo y el municipio de Naucalpan, donde desaparece debido al sepultamiento de la continuación de la falla hacia el NE a causa de las modificaciones que ha sufrido el relieve por la construcción de las antedichas instalaciones, así como por el relleno aluvial y lacustre de la Cuenca de

México (Lámina 9 y Mapa Geológico). Dicha traza presenta una trayectoria casi recta de 6 km con un rumbo N 54° E.

Esta falla da pie a que afloren las capas de varias unidades litológicas pertenecientes a la Formación Tarango en ambos márgenes del barranco del Río San Joaquín, a la altura del fraccionamiento La Herradura (Fig. 26 y Mapa Geológico).

En este sitio los depósitos "Cuquita", las Tobas "Hank" y las "Arenas Azules" se encuentran inclinadas hacia el SE en la ladera suroriental, mientras que sus contrapartes en la ladera opuesta se encuentran a un nivel topográfico más bajo y presentan una inclinación hacia el NW (Fig. 26).

Basados en esto y en que la inclinación que muestran las capas en la ladera NW puede ser debida al efecto de arrastre producido por el bloque hundido de la falla, de Cserna y colaboradores infieren que éste se encuentra en el norponiente (op. cit.).

Al igual que en el caso de la Falla Río Hondo, estos autores consideran que este desplazamiento puede ser aparente pues se trata de un rasgo que también puede ser producto de un desplazamiento lateral de los bloques, por lo que se necesita una serie de mediciones y observaciones estructurales más detalladas para poder deducir con mayor certeza el tipo y la magnitud del desplazamiento ocurrido en esta estructura, que también no registra actividad sísmica reciente, pudiendo actuar como reflector o refractor de ondas sísmicas o bien activarse por procesos de reptación.

d) El sistema de lineamientos cuyas orientaciones pertenecen al rango NE 51°-60°, consiste en una serie de fracturas secundarias al sistema formado por las tres fallas anteriormente descritas.

De estas, las principales son las fracturas que controlan los cauces de los arroyos Tecamachalco y Dolores, de la delegación Miguel Hidalgo (Láminas 3 y 8) los cuales han conformado en ellas barrancos con laderas rectas altamente erosivas, con numerosos barrancos secundarios, producto de la erosión remontante que actualmente se muestra activa hacia sus cabeceras.

e) Los lineamientos con orientaciones pertenecientes al rango NE 61°-70° también son fracturas secundarias al sistema de fallas descritas en el inciso (a).

Al igual que las estructuras del sistema anterior, controlan los cauces de una serie de corrientes de primer y segundo orden que presentan erosión remontante hacia sus cabeceras, por lo que su importancia tectónica es mínima.

f) El sistema de lineamientos cuyas orientaciones caen dentro del rango NE 81°-90°, lo conforman tres fracturas relativamente largas en donde las dos más grandes controlan los cauces de los arroyos Los Jazmines, en Huixquilucan, y El Sordo en la franja fronteriza de Naucalpan y Huixquilucan, al norte del Río Hondo (Láminas 3 y 9).

La primera fractura está asociada directamente a los desplazamientos que ha sufrido la Falla Hipódromo, formando un lineamiento que se une con esta a la altura del fraccionamiento la Herradura, aguas abajo de la Presa Los Jazmines, donde la corriente del arroyo del mismo nombre se une a la del Río San Joaquín (Lámina 9 y Mapa Geológico).

Por su parte, la segunda fractura se encuentra asociada a los desplazamientos que ha mostrado la Falla Río Hondo pues al igual que la fractura anterior, también constituye un lineamiento que se une a esta falla aguas abajo de la Presa El Sordo, en Naucalpan (id.).

Al igual que en el sistema anterior, su importancia tectónica es mínima pues no muestran signos de actividad y el único fenómeno de importancia es la erosión remontante que se presenta hacia las cabeceras de sus cauces, con desarrollo de laderas erosivas y barrancos secundarios.

#### - Rosa de fracturas de la Zona de las Planicies Inclínada y la Lacustre

En las planicies del área estudiada, las orientaciones que muestran las estructuras disyuntivas ahí presentes se agrupan dentro de los dos rangos siguientes (Fig. 20-C):

a) NE 21°-30°

b) NE 41°-50°

a) Dentro del rango NE 21°-30° está incluida solo la continuación hacia el NE de la Falla Río Hondo en las planicies, en donde está sepultada por el relleno de la Cuenca y cuyas características fueron descritas anteriormente en el análisis de las rosa de fracturas de la zona del piedemonte inferior (Lámina 9 y Mapa Geológico).

De Cserna y colaboradores han inferido la presencia de la continuación de esta falla a partir de la información obtenida de los perfiles gravimétricos mencionados anteriormente (op. cit.).

b) El rango de orientación NE 41°-50° incluye tanto a la continuación hacia el NE de la Falla Hipódromo en las planicies, como a la parte de la continuación nororiental de la Falla Contadero que cruza el área en estudio. La primera presenta un rumbo N 43° E y una longitud de 4.3 km mientras que la segunda tiene un rumbo de N 42° E y una longitud 1.6 km (Lámina 9 y Mapa Geológico).

La Falla Contadero constituye la estructura tectónica más larga del Enjambre de Fallas Las Cruces (17 km), y al igual que las fallas Río Hondo e Hipódromo su presencia en la zona de planicies se ha inferido a partir de información gravimétrica, pues está sepultada por el relleno aluvial y lacustre de la Cuenca de México (op. cit.; p. 33).

Datos geofísicos recabados y trabajos de campo efectuados por de Cserna y colaboradores en varios sitios al sudponiente del área estudiada, en las vecinas delegaciones Alvaro Obregón y Cuajimalpa donde la traza de esta falla aflora claramente, indican que "su bloque hundido está en el suroriente" y que a lo largo de la misma "también se manifiesta un desplazamiento lateral diestro" (Mapa Geológico), que se refleja en "una actividad sísmica reciente localizada aparentemente a lo largo de su traza" sin que aun se haya evaluado con precisión el comportamiento geológico de esta estructura (op. cit.; p. 34).

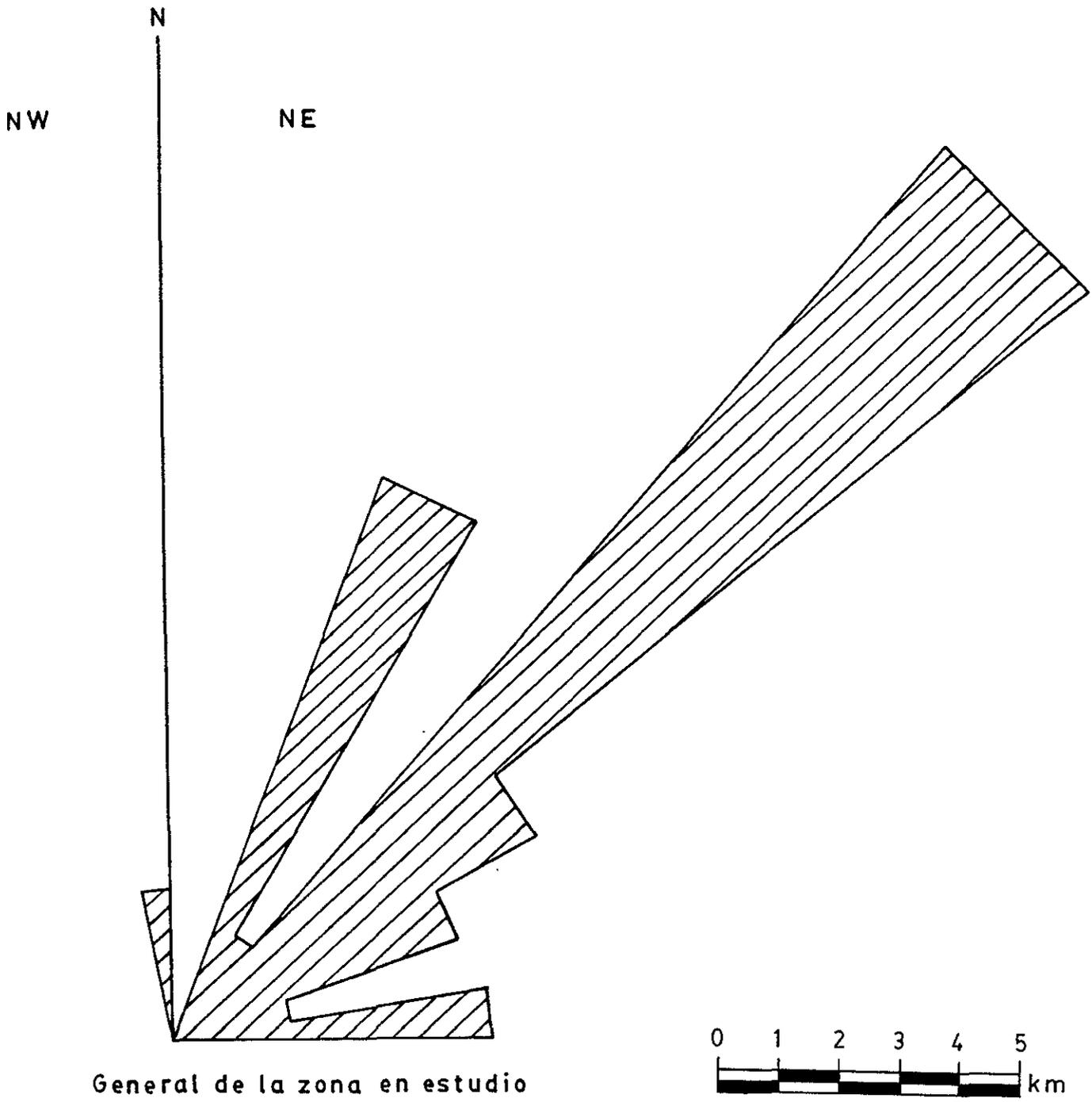


FIGURA 21:-Rosa general de fracturas del área en estudio..

### - Rosa de fracturas de toda el Área en Estudio

La rosa de fracturas general nos muestra que los esfuerzos tectónicos predominantes que afectaron al área estudiada dieron origen principalmente a lineamientos orientados dentro del rango NE 41°-50°, cuya longitud total es de 20.25 km, que equivale al 36.82% del total de lineamientos presentes en la misma (55 km), (Fig. 21).

Lo anterior se debe a que en este rango quedan incluidos los lineamientos correspondientes a las Fallas Río Hondo e Hipódromo en la zona del piedemonte inferior, que es donde sus trazas presentan su mayor longitud, así como la continuación de esta última y de la Falla Contadero en la zona de planicies del área estudiada (Lámina 9).

Como ya fue señalado en el Capítulo III, es muy probable que estas tres estructuras sean producto del cizallamiento lateral izquierdo que afectó a la Cuenca de México después del depósito de los flujos de "Arenas azules" en el Pleistoceno medio (Mooser et al., 1992; p. 8), pues al parecer es el responsable de los desplazamientos aparentes tanto verticales como horizontales que muestran estas fallas de desplazamiento horizontal(?), además de que también se le atribuye la formación de los diversos fracturamientos orientados al NE que presenta dicha Cuenca, como es el caso de la Fosa de Cuauhtepac (subcapítulo 3.2), (Mooser, 1990; p. 36).

La actividad sísmica local que registra la Falla Contadero fuera del área estudiada y las características sísmicas y de reptación de las Fallas Río Hondo e Hipódromo señaladas anteriormente, dan una importancia relevante a estas estructuras dentro de dicha área.

El segundo grupo importante de lineamientos que presenta la rosa de fracturas en cuestión es el agrupado dentro del rango NE 21°-30°, cuya longitud es de 10.3 km, la cual corresponde al 18.73% del total (Fig. 21).

En él se incluyen los lineamientos correspondientes al extremo NW de la Falla Hipódromo, las fracturas que controlan los cauces de los Barrancos Barrilaco y Bosques de Las Lomas y la continuación inferida de la Falla Río Hondo en las planicies (Lámina 9).

La génesis de estas fallas es producto de los esfuerzos cortantes mencionados anteriormente, mientras que las fracturas conforman un sistema secundario a las mismas.

El conjunto de lineamientos cuyas orientaciones se agrupan dentro del rango NE 51°-60° constituyen el tercero en magnitud dentro del área en estudio, su longitud es de 7.15 km la cual equivale al 13% del total (Fig. 21). Sin embargo, la importancia de sus estructuras correspondientes es mucho menor en relación a las antes mencionadas ya que se trata de fracturas secundarias de poca longitud y sin actividad tectónica registrada las cuales están relacionadas al sistema de fallas principales, por lo que su función se reduce a ejercer un control sobre las corrientes de segundo y tercer orden presentes en dicha área (Lámina 9).

Los lineamientos cuyas orientaciones se agrupan dentro de los rangos NE 61°-70°, NE 71°-80, NE 81°-90 y NW 0°-10° (Fig. 21) también corresponden a fracturas secundarias relacionadas con el sistema de fallas principales, por lo que su importancia tectónica es reducida dado que tampoco muestran actividad alguna y solo ejercen un control sobre la serie de cauces que han formado los barrancos que se presentan a lo largo de cada uno de ellos. En estos barrancos el proceso de erosión remontante tiene lugar hacia sus cabeceras, como es el caso de los barrancos de los Arroyos Dolores, Los Jazmines y El Sordo (Láminas 3 y 9).

## 4.2 Geomorfología

En este subcapítulo se estudiarán y evaluarán todas las formas del relieve que presenta el área en estudio, considerándolas como un producto de la interacción de los procesos endógenos y exógenos que han afectado a la misma, así como la dinámica que ha determinado su evolución en el tiempo.

Para ello se elaboró un mapa geomorfológico del área a escala 1 : 20,000 de acuerdo con los criterios señalados en la siguiente secuencia de trabajo:

a) Reconocimiento de los rasgos topográficos generales que presenta el relieve del área mencionada en las cartas de densidad de construcción correspondientes,

editadas por el Sistema de Información Cartográfico Catastral de la Tesorería del Distrito Federal.

b) Definición de las formas del relieve a partir del análisis de la topografía del área mencionada, representada en las cartas anteriores.

c) Análisis integral de los mapas morfométricos elaborados anteriormente (Láminas 5 a 9).

d) Trabajos de campo, en donde se verificaron las formas y elementos morfométricos definidos en los trabajos de gabinete, así como la detección de procesos de reciente actividad en el área mencionada.

A continuación se hace el análisis de dicho mapa geomorfológico en base a la explicación de los tipos de relieve que presenta dicha área (para su localización, ver la Simbología del mismo), tomando en cuenta que éstos son tan sólo una parte de todos los tipos que están presentes en el sur de la Cuenca de México, los cuales se agrupan en tres grandes categorías morfogenéticas: relieve endógeno, relieve endógeno modelado y relieve exógeno (Lugo, 1984; p. 9).

#### 4.2.1.- Relieve endógeno.

En el área estudiada este relieve es de tipo volcánico-efusivo, y está constituido exclusivamente por el domo de lava andesítica que conforma el Cerro de Chapultepec en la delegación Miguel Hidalgo, cuya formación se debe a la actividad volcánica que se presentó en la Cuenca de México probablemente a principios del Plioceno (subcapítulo 3.3).

#### 4.2.2.- Relieve endógeno modelado.

Las formas del relieve que se agrupan dentro de esta categoría genética son aquellas que “no han conservado su aspecto original, sino que han sido transformadas substancialmente por la actividad exógena” (Lugo, 1984; p. 35)

Dado que el relieve de la mayor parte del área estudiada está constituida por una porción del piedemonte marginal de la Sierra de Las Cruces, formado esencialmente por materiales piroclásticos, las formas de esta categoría pertenecen al tipo volcánico-erosivo las cuales incluyen a las superficies de divisorias de aguas, a las laderas convexas de piedemonte y a las laderas cóncavo-convexas transicionales de las divisorias de aguas.

#### A) Superficies de divisorias de aguas

Representan residuos del piedemonte original que fue cortado linealmente y a profundidad por la erosión fluvial, la cual removió fácilmente los materiales piroclásticos hacia la zona del antiguo lago de la Cuenca de México, dado su poco grado de consolidación.

Son franjas estables rectilíneo - sinuosas, muchas de ellas estrechas, planas, generalmente con pendientes de  $0^\circ$  a  $1^\circ$  en sentido transversal e inclinadas de  $3^\circ$  a  $6^\circ$  en sentido longitudinal, lo cual ha sido aprovechado tanto para el trazo de las vías de comunicación más importantes como para las construcciones más favorables del área estudiada, excepto en casos extremos, cuando son muy estrechas y están en contacto con cabeceras de barrancos menores o cuando longitudinalmente su pendiente es superior a  $10^\circ$ .

Ejemplos característicos de ellas son las superficies sobre las que se han trazado la Avenida de Los Bosques del fraccionamiento La Herradura, en Huixquilucan, la Avenida de los Maestros y el Camino Nuevo a Huixquilucan en Naucalpan, así como los Paseos de la Reforma y de Las Palmas en la delegación Miguel Hidalgo, entre otras (Fig. 22).

#### B) Laderas convexas de piedemonte

Son superficies bien conservadas del relieve original que han sido poco modificadas por la erosión fluvial; limitan con las superficies anteriores presentando una pendiente de  $6^\circ$  a  $10^\circ$  en sentido transversal, siendo transicionales entre éstas y las laderas de los barrancos.

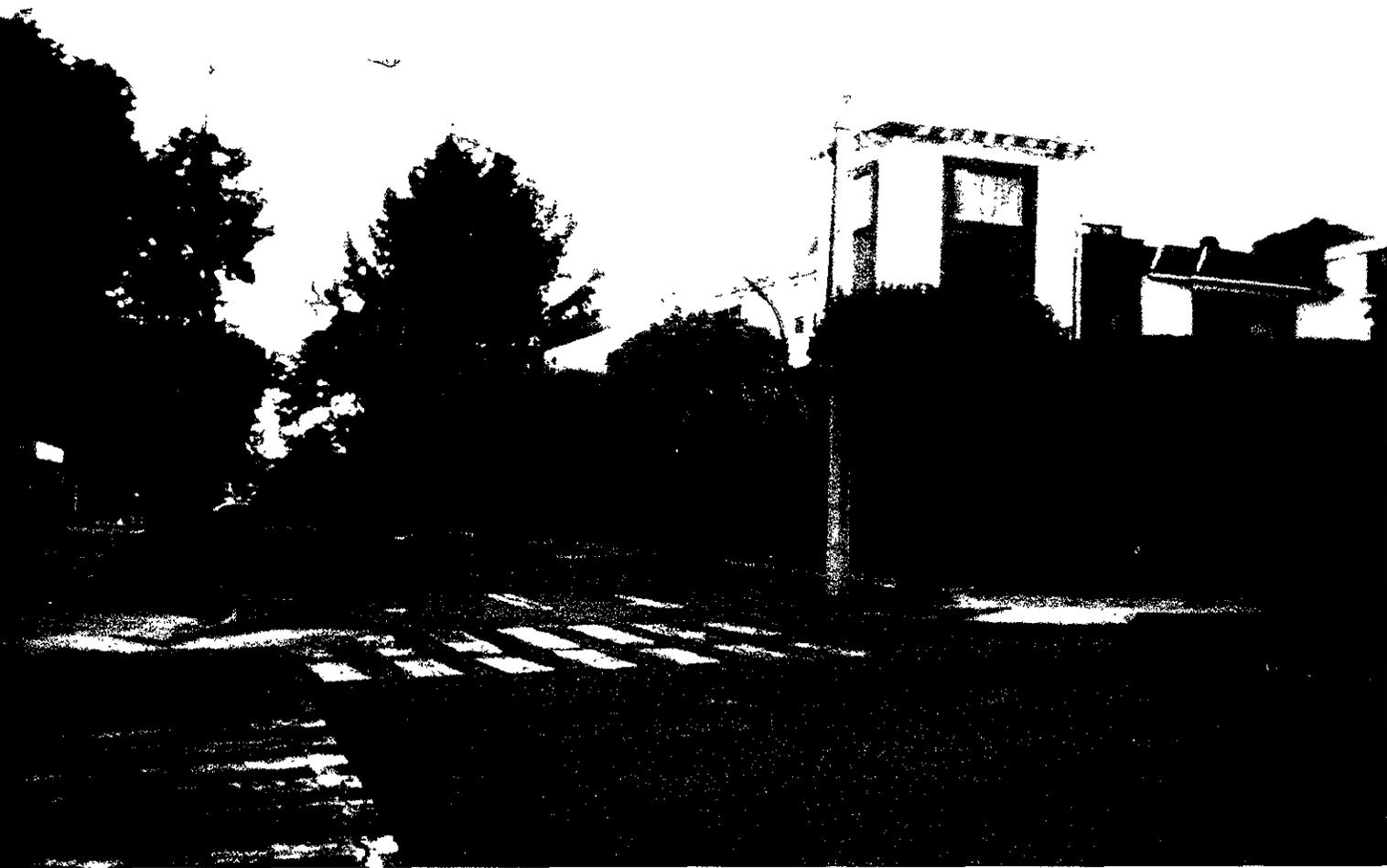


FIGURA 22.-Fotografía de la esquina que forman la calle de Monte Antuco y la avenida Paseo de la Reforma, en la colonia Lomas de Chapultepec, Miguel Hidalgo. Dicha esquina se encuentra ubicada sobre la superficie de divisoria de aguas en la que se trazó dicha avenida, que como se observa son las formas del relieve más favorables para la construcción de casas habitación, edificios comerciales y vías de comunicación, dada su forma plana y su baja pendiente



FIGURA 23.- Ladera cóncavo-convexa del barranco del Arroyo de La Pastora, modificada sustancialmente por los trabajos de urbanización hechos para el trazo de la calle de Arquitectura (en primer plano) y la construcción de residencias (al fondo), en la colonia Lomas Anáhuac de Huixquilucan, justo abajo de las instalaciones de la Universidad Anáhuac. En el corte situado en primer plano se observa el contacto entre los flujos piroclásticos "Arenas azules" y el horizonte superior de las tobas "Hank", junto a la casa marcada con el número 23.

Estas características se deben al comportamiento que tienen estas formas en respuesta a la humedad y escurrimiento pluviales ya que la humedad captada en sus partes altas se transporta hacia los niveles inferiores, en donde se expande debido al aumento en el área de la ladera, lo que ocasiona una disminución del poder erosivo de los escurrimientos.

Se encuentran urbanizadas en su mayor parte ya que también son favorables para los asentamientos humanos (Fig. 2), los cuales muchas veces las han modificado como ha ocurrido en la colonia Lomas de Chapultepec de la delegación Miguel Hidalgo, y en el fraccionamiento Lomas de Tecamachalco del municipio de Naucalpan.

### C) Laderas cóncavo-convexas transicionales de las divisorias de aguas

Son formas resultantes de una modificación parcial del relieve original hecha por la erosión fluvial, por lo que son transicionales entre las laderas anteriores, bien conservadas, y las laderas que son producto de una erosión fluvial intensa (laderas rectas de los barrancos principales).

Sus características se deben a que son formas concentradoras de humedad que acumulan los escurrimientos pluviales en sus partes bajas, donde la superficie es más estrecha, lo que hace que el volumen relativo del agua aumente así como su poder erosivo.

Son formas menos favorables que las anteriores para los asentamientos humanos y el trazo de vías de comunicación, por lo que en donde se ha logrado su urbanización, ésta se ha hecho efectuando modificaciones importantes a su forma original, como ha ocurrido en los fraccionamientos Lomas Anáhuac (Fig. 23) y Bosques de la Herradura y en la colonia La Unidad (Fig 28), en Huixquilucan, así como en las colonias Lomas de Bezares y Lomas Altas en el SW de la delegación Miguel Hidalgo.

#### 4.2.3.- Relieve exógeno.

Las formas del relieve agrupadas en esta categoría son las que se generan por la acción de procesos exógenos sobre éste, como la erosión, la acumulación de materiales detríticos y la influencia del hombre.

El desarrollo de estos procesos en la parte sur de la Cuenca de México no ha sido continuo en el tiempo, ya que “ha estado condicionado por la actividad volcánica, en especial del Cuaternario” la cual ha hecho que “la erosión y la acumulación hayan sido interrumpidas continuamente por el volcanismo”, lo que ha dado pie a que “las formas más extendidas del relieve exógeno sean las planicies lacustres y las formas erosivas como barrancos y cañadas” (Lugo, 1984; p. 42).

Dentro del área en estudio, el relieve exógeno presenta cinco tipos morfogenéticos:

- Relieve erosivo-fluvial
- Relieve acumulativo aluvial
- Relieve acumulativo lacustre - aluvial
- Relieve acumulativo lacustre
- Relieve antrópico o tecnógeno

##### A) Relieve erosivo - fluvial

La disección del relieve debida a la acción de las corrientes fluviales constituye el proceso más importante en el área estudiada, pues el desarrollo de la red fluvial en la misma (Lámina 3) ha hecho que la zona del piedemonte se encuentre cortada por una serie de barrancos, con laderas empinadas, muchos de ellos con fondo estrecho.

Estos barrancos son de dos tipos: principales (o mayores) y secundarios.

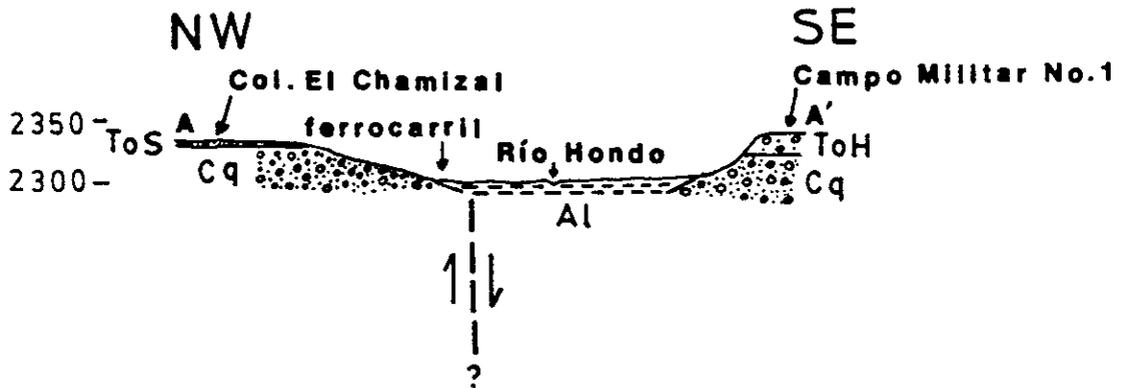


FIGURA 24.- Sección a través del barranco del Río Hondo, cerca del pueblo de San José Río Hondo en el se muestra la posición inferida de la Falla Río Hondo debajo de los depósitos aluviales del cauce, así como la posición de las diferentes unidades litológicas en ambas márgenes del barranco. Para la localización de la sección véase el Mapa Geológico. Escala vertical igual que la horizontal.

- ToH: Tobas "Hank"
- ToS: Tobas "Sierra Salazar"
- Cq: Flujos piroclásticos "Cuquita"
- Al: Aluvión

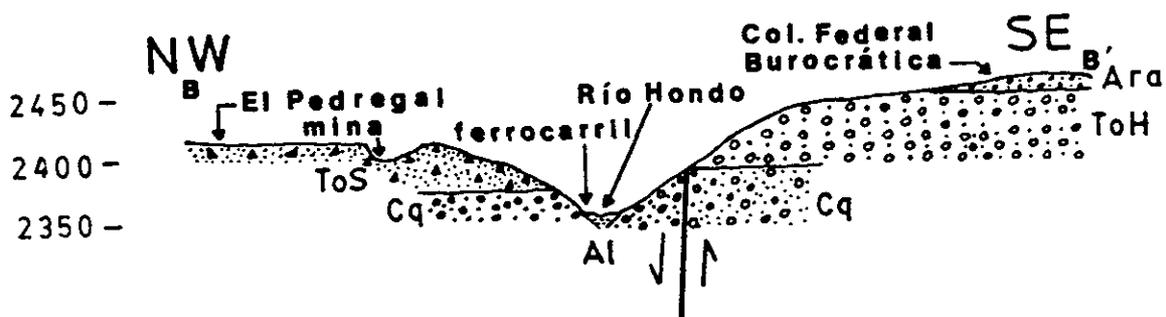


FIGURA 25- Sección a través del barranco del Río Hondo, entre las colonias El Pedregal y Federal Burocrática, en el municipio de Huixquilucan, donde se muestra en la ladera SE la Falla Río Hondo. Para la localización de la sección véase el Mapa Geológico.. Escala vertical igual que la horizontal.

- Ara: Arenas azules
- ToH: Tobas "Hank"
- ToS: Tobas "Sierra Salazar"
- Cq: Flujos piroclásticos "Cuquita"
- Al: Aluvión

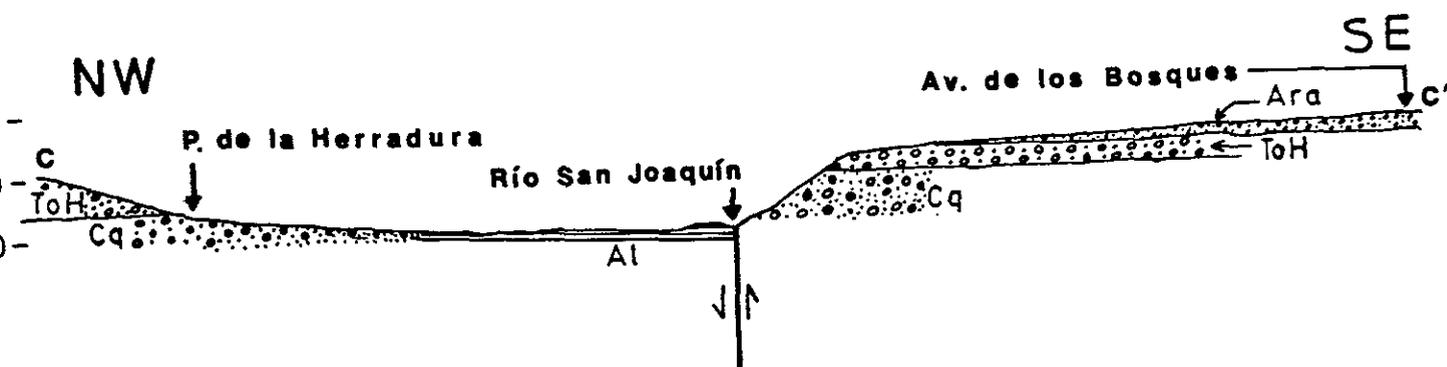


FIGURA 26.- Sección transversal barranco del Río San Joaquín, a la altura del fraccionamiento La Herradura, justo en la confluencia de los cauces del Río San Joaquín y el Arroyo Los Jazmines, en Huixquilucan, la cual muestra la distribución y la posición topográfica de las unidades litológicas en ambos lados de la Falla Hipódromo.. Para la localización de la sección véase el Mapa Geológico.. Escala vertical igual que la horizontal.

- Ara: Arenas azules
- ToH: Tobas "Hank"
- ToS: Tobas "Sierra Salazar"
- Cq: Flujos piroclásticos "Cuquita"
- Al: Aluvión



FIGURA 27 - Ladera cóncavo-convexa de la margen sur del barranco del Río Hondo, justo donde se ubica la colonia La Unidad, en Huixquilucan. En este lugar se observan los efectos de la erosión fluvial intensa producto de la concentración de humedad en las partes bajas de la misma (zona de color oscuro a la derecha).



FIGURA 28- Residencia construida sobre la ladera recta de la márgen norte del barranco del Arroyo Dolores, en la colonia Lomas Altas, delegación Miguel Hidalgo.

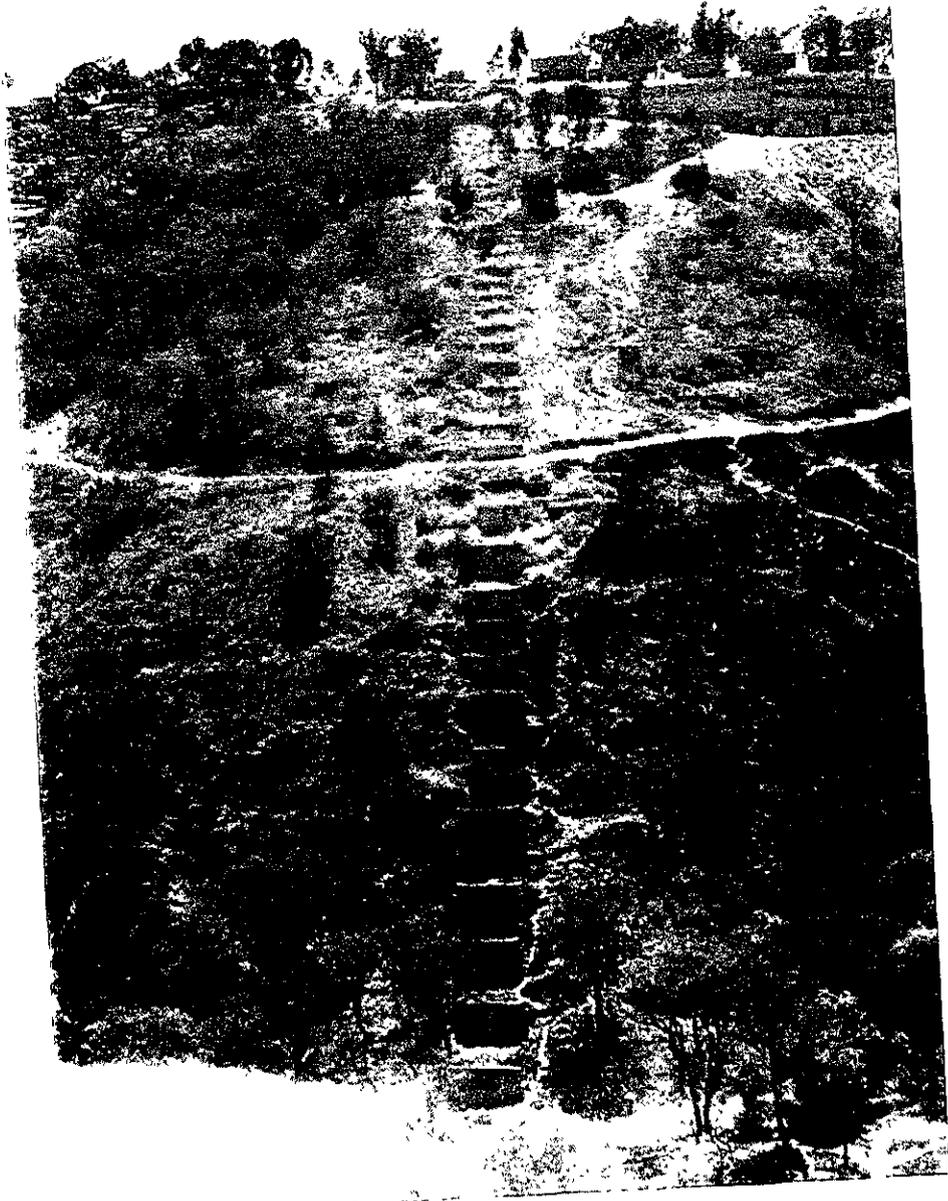


FIGURA 29- Ladera recta de la margen sur del Río Hondo, al pie del panteón Lomas Renacimiento en Huixquilucan; en ella se observa un corte hecho para el trazo de una calle, perpendicularmente a la cual está dispuesta una serie de bloques de concreto instalados con el fin de proteger de derrumbes un ducto que corre bajo los mismos.

Los primeros son paralelos, profundos, consecuentes, con corrientes permanentes, de formación antigua y están controlados por el sistema de fallas principales y sus fracturas mayores asociadas (subcapítulo 4.1.4), por lo que presentan una orientación hacia el NE.

Los segundos son de menores dimensiones y poco profundos, ya que fueron originados más recientemente que los anteriores por corrientes de temporada.

El desarrollo de estos barrancos ha dado origen a las siguientes formas denudatorias:

- Laderas rectas de los barrancos principales

Son producto de la erosión vertical más antigua que afectó al área estudiada, por lo que generalmente son estables, con una profundidad promedio de 40 m y pendientes de 15° a más de 35°.

Muchas de ellas presentan superficies en donde se han desarrollado pastizales inducidos y matorrales inermes (subcapítulo 2.4) que han frenado los procesos erosivos recientes, lo que ha dado pie a que en gran parte de ellas estén presentes asentamientos humanos con un grado variable de urbanización (Figs. 28 y 29).

- Barrancos secundarios

Son el resultado de una erosión más joven ocurrida en su mayor parte en tiempos históricos, por lo que son mayoritariamente pequeños y poco profundos, con corrientes intermitentes que han provocado su desarrollo por erosión remontante en sus cabeceras, el cual ha sido favorecido por la deforestación, lo que los hace muy activos en su crecimiento (Figs. 30 y 31).

Su desarrollo se encuentra en las etapas iniciales, presentando profundidades que varían de 2 a 40 m, siendo la época de lluvias la más favorable para éste, que se ve favorecido por el bajo grado de consolidación de los materiales piroclásticos del piedemonte y la influencia de la actividad humana.

## B) Relieve acumulativo aluvial

En este grupo están incluidas las llanuras de inundación formadas por los depósitos que son producto de la acción de las corrientes principales, así como la planicie inclinada del piedemonte inferior y la planicie aluvial del mismo, que se formaron en el límite de este con la planicie lacustre de la Cuenca de México.

Las llanuras de inundación son producto del depósito de los materiales que acarrearon las corrientes cuando estas sufrieron una disminución en su capacidad de transporte; presentan pendientes que van de 0° a 3° y su distribución está restringida al fondo de los siguientes barrancos mayores del área estudiada:

- Barranco del Río Hondo
- Barranco del Arroyo Los Jazmines
- Barranco del Río San Joaquín
- Barranco del Arroyo Tecamachalco

Estos depósitos presentan anchuras que van de los 40 a los 200 m a cada lado de los cauces y desde la década de los cuarenta su acumulación se ha incrementado debido a los cambios en el régimen hidrológico que han ocasionado las presas y vasos reguladores (Figs. 32, 33 y 34), los cuales han abatido el gasto natural de las corrientes obligándolas a depositar sus materiales acarreados aguas arriba de las mismas, lo que ha generado el relleno del fondo de los valles.

La planicie inclinada del piedemonte inferior se extiende al pie del mismo formando una franja alargada que presenta una orientación NW-SE, con una pendiente de 1.5° a 3°, entre las cotas de 2,280 y 2,260 m s.n.m.m..

Es producto de una combinación de acumulaciones volcánicas (tefra) y depósitos fluvial-proluviales en las desembocaduras de los ríos y arroyos, y actualmente sus formas han sido modificadas debido a que está totalmente urbanizada.



FIGURA 30.-Cabecera de un barranco secundario que avanza sobre el terreno de una vivienda en construcción ubicada en la colonia El Pedregal, en Huixquilucan.



FIGURA 31.-Cabecera de un barranco secundario ubicado en una calle de la colonia La Unidad, la cual está situada en la ladera sur del barranco del Río Hondo, en Huixquilucan. En primer plano se aprecia la construcción de una guarnición de concreto, rodeada por un pavimento del mismo material que han impedido el avance de dicho barranco sobre la calle por efecto de la erosión remontante.

La planicie aluvial del piedemonte inferior constituye una extensión del piedemonte hacia la planicie lacustre; adyacente a la planicie anterior y como esta, forma una franja alargada orientada NW - SE entre las cotas de 2,260 y 2,250 m s.n.m.m. y al igual que la anterior, también se encuentra totalmente urbanizada.

#### C) Relieve acumulativo lacustre-aluvial

Está formado por las planicies lacustre-aluviales superior e inferior, ubicadas entre las cotas 2,240 y 2,250 m s.n.m.m., que conformaron una ribera (zona intermedia) que existió entre el antiguo lago de la Cuenca y los depósitos fluviales que se formaron en las desembocaduras de las corrientes que drenaban la zona.

Presenta una ligera inclinación de menos de 1° al oriente y al norte, y también se encuentra urbanizada totalmente.

#### D) Relieve acumulativo lacustre

Lo conforman las planicies lacustres inferior, intermedia y superior ubicadas al oriente del área estudiada, entre las cotas de 2,240 y las menores a 2,230 m s.n.m.m., las cuales son la porción más baja de la misma y consecuentemente, constituyen su nivel de base. Están formadas por arcillas, producto de la alteración por intemperismo de los materiales piroclásticos que se depositaron en el fondo del antiguo lago de la Cuenca de México (subcapítulo 3.1).

Se encuentran totalmente urbanizadas y representan la superficie del lago mencionado, que en teoría tenía un nivel aproximado a los 2,240 m s.n.m.m.. El desnivel de 5 m que existe entre cada una de ellas es resultado del hundimiento diferencial que ha experimentado el subsuelo de la Ciudad de México en este siglo a causa de la excesiva extracción de agua de sus mantos freáticos.

### E) Relieve antrópico o tecnógeno

Consiste en formas que son el resultado de procesos originados por la actividad humana que ha modificado el relieve natural del área en estudio, las cuales están agrupadas en dos tipos principales:

- Grandes depresiones formadas por la excavación hacia los lados de los barrancos.

Son las formas más escasas de este relieve en el área y fueron hechas con la finalidad de extraer materias primas para la industria de la construcción, es decir, se trata de bancos de material o "minas de arena", algunos de los cuales aún son explotados (Fig. 35) pero que en su mayoría se encuentran abandonados actualmente.

Ejemplo de esto último es la mina de arena ubicada en la ladera NW del Río Hondo a la altura de la colonia El Pedregal, en el municipio de Huixquilucan (Fig. 36).

- Barrancos ampliados artificialmente para obras civiles y bancos de material actualmente urbanizados.

Son las formas más comunes de este relieve.

Los primeros son excavaciones similares a las anteriores pero con la finalidad de crear espacios necesarios para la edificación de infraestructuras para asentamientos humanos, instalaciones comerciales o de servicios.

Ejemplo de esto es la ampliación que se hizo al barranco del Río San Joaquín, cerca de su desembocadura, para la construcción de las instalaciones del Hipódromo de Las Américas y de la Presa San Joaquín (Fig. 33), en el límite de la delegación Miguel Hidalgo y el municipio de Naucalpan en la zona de Sotelo.

Los segundos son trabajos de urbanización que se han hecho en las depresiones generadas por la extracción de materiales en bancos abandonados,



FIGURA 32.-Cortina y vaso de la Presa Dolores ubicada entre la segunda y la tercera sección del Bosque de Chapultepec, en la delegación Miguel Hidalgo.

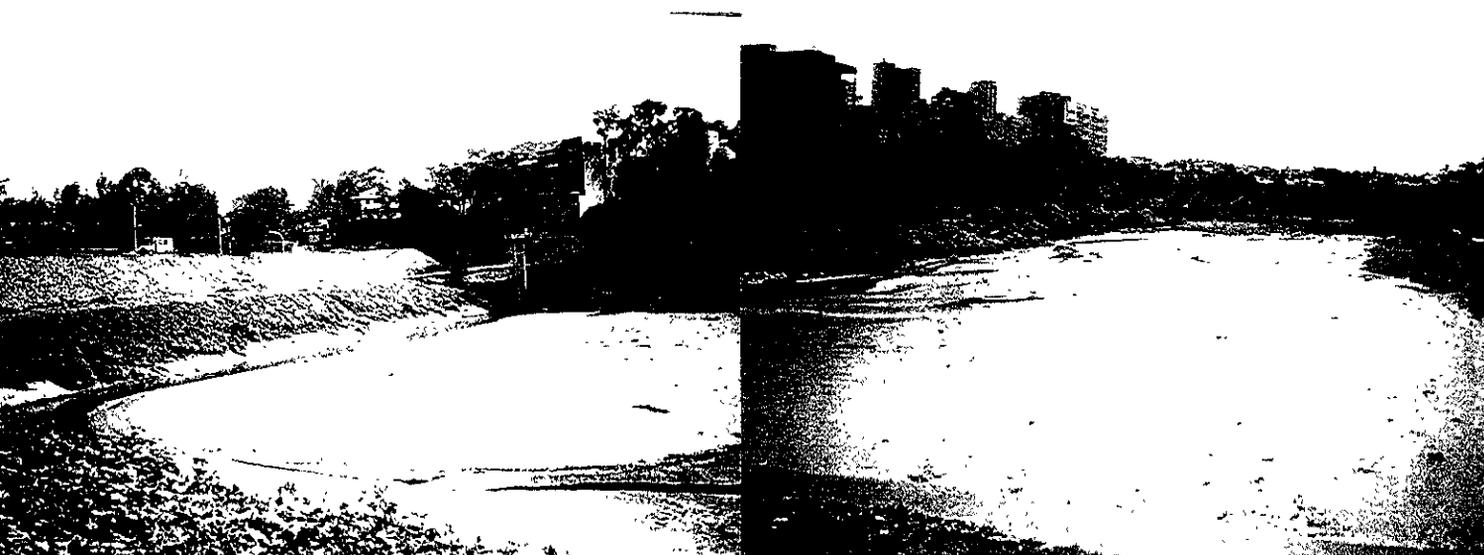


FIGURA 33.-Cortina y vaso de la Presa San Joaquín, que regula el caudal del río del mismo nombre, ubicado junto al extremo poniente de las instalaciones del Hipódromo de Las Américas, en el límite del municipio de Naucalpan y la delegación Miguel Hidalgo



FIGURA 34.-Cortina y vaso de la Presa El Sordo que regula el caudal del arroyo del mismo nombre, ubicada al norte del Río Hondo, junto a la colonia La Mancha en Naucalpan

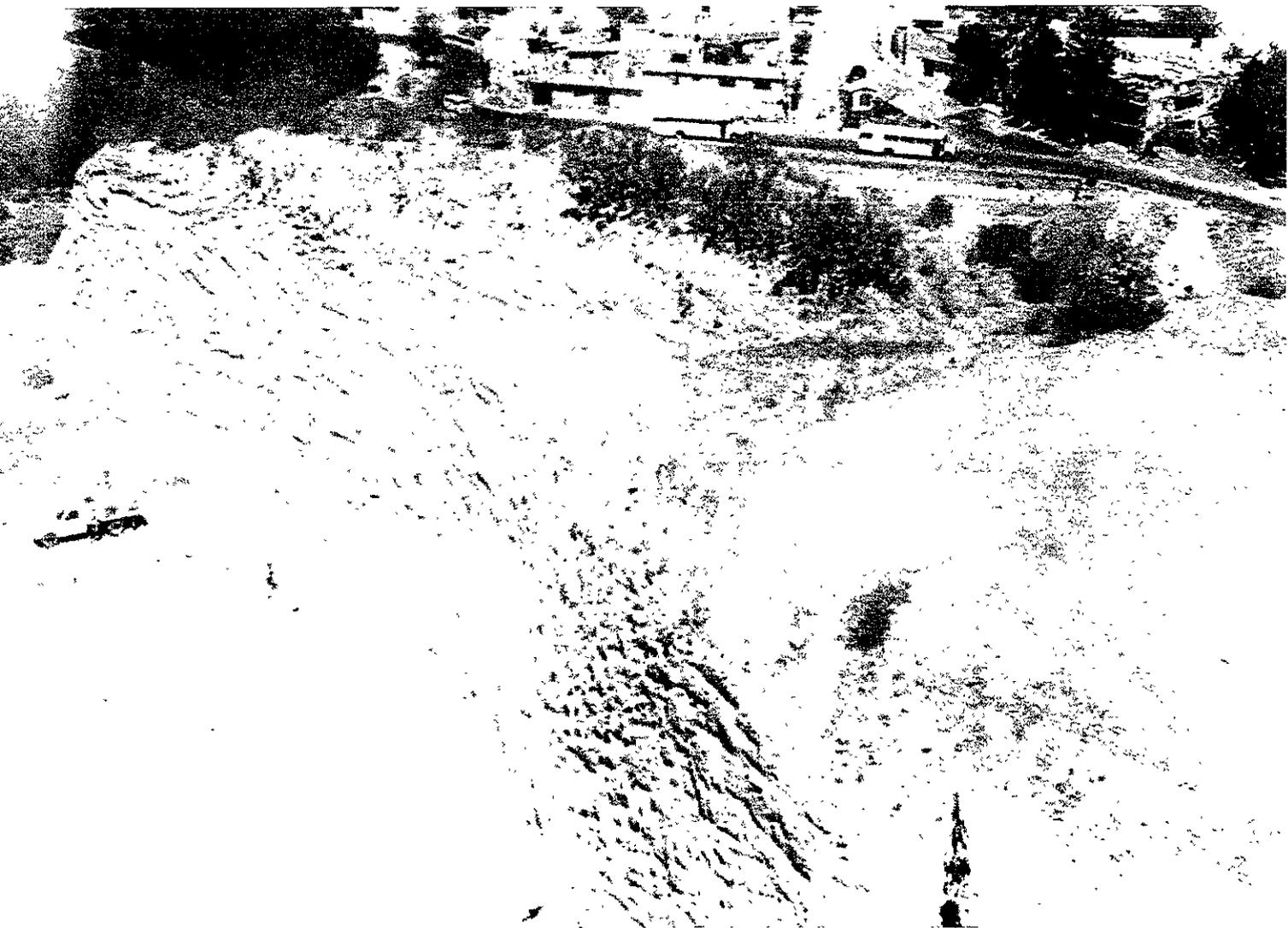


FIGURA 35.-Talud del banco de material ubicado en las cercanías de la colonia El Pedregal, cerca del límite del municipio de Huixquilucan con el de Naucalpan, el cual se encuentra actualmente en explotación. La litología observada corresponde a las tobas de la Sierra de Salazar.



FIGURA 36.- Banco de material abandonado ubicado en la ladera norte del barranco del Río Hondo, junto a la colonia El Pedregal en Huixquilucan. Al igual que el caso de la figura anterior, la litología observada corresponde a las tobas de la Sierra de Salazar



FIGURA 37.-Ejemplo de conversión de un antiguo banco de material en una zona comercial. sobre la margen norte del Arroyo de La Loma, frente a las instalaciones de la Universidad Anáhuac. Nótese el reforzamiento de los taludes con ademes de concreto a la derecha de la fotografía.

donde se han efectuado reforzamientos de taludes y rellenos necesarios para la construcción de instalaciones habitacionales o de servicios.

Ejemplos de esto son los trabajos de urbanización hechos en el antiguo banco de material donde se construyó el actual fraccionamiento Villa de Las Lomas, ubicado al sudponiente de las instalaciones de la Universidad Anáhuac, así como los rellenos y reforzamientos efectuados para la construcción de edificios comerciales en terrenos de un antiguo banco de material ubicado en la ladera NW del Arroyo de La Loma, inmediatamente al norte de las instalaciones antes referidas (Fig. 37), ambos en el municipio de Huixquilucan.

#### 4.2.4.- Evolución del Relieve.

En la parte sudoccidental de la Cuenca de México y por ende en el área en estudio, se reconocen dos etapas evolutivas que en conjunto dieron origen al relieve que actualmente está presente.

La primera etapa es la que se debe a procesos geológicos sensu stricto, la cual incluye a los períodos caracterizados por los procesos volcánicos que afectaron la zona de la Cuenca a partir del Oligoceno tardío (Capítulo III), así como a los períodos de erosión y acumulación fluviales que alternaron con ellos.

El primer evento volcánico que inició la formación del relieve en el poniente de dicha zona fue el que dio origen a las vulcanitas oligocénicas detectadas en la secuencia sismoestratigráfica obtenida por Mooser y Molina (1993), descritas con anterioridad en el subcapítulo 3.2 (Fig. 11).

De acuerdo con esta misma secuencia, a ese evento le siguió el que dio origen a las vulcanitas lávicas del Mioceno que sobreyacen a las anteriores, a las que siguió el depósito de las arcillas lacustres del plioceno-inferior que afloran al norte de la Cuenca, las que a su vez subyacen a la Secuencia estratificada que ha sido correlacionada con los depósitos de la Sierra del Tepozteco en Morelos, la cual antes de ser cubierta por depósitos posteriores, fue profundamente disecada por la erosión fluvial que formó la red hidrográfica que incluía a los antiguos barrancos de Tacubaya y Becerra, que formaron parte del Paleovalle Chapultepec-Alameda (subcapítulos 3.1 y 3.3).

Dichas vulcanitas lávicas, a las que Vázquez y Jaimes (1989) consideran del Mioceno medio y superior, formaron la base sobre la que descansa de manera discordante la mayor parte de la actual Sierra de Las Cruces (Lugo et al., 1995; p. 61), la cual es producto del siguiente período de actividad volcánica que afectó a la Cuenca en el Plioceno y Pleistoceno, cuyas manifestaciones principales fueron los derrames de composición basáltica a dacítica que hoy conforman las partes centrales de dicha sierra (Formación Las Cruces; de Cserna et al., 1987-88).

Esta sierra, que hoy define el límite occidental de la Cuenca, se extiende en dirección NNW desde la Sierra de Zempoala en el sur hasta la Sierra de la Bufa en el norte, y comprende entre sus extremos, de norte a sur, a la Sierra de Chimalpa, a la Sierra de Salazar, al Cerro (volcán) de San Miguel y a la Sierra del Tlalli (Mooser et al., 1992; p. 6), (Fig. 8).

A la parte norte de esta sierra se le atribuye una edad máxima cercana a los 3 Ma, la cual disminuye progresivamente hacia el sur ( $0.39 \pm 0.16$  Ma en el Volcán Ajusco) de acuerdo a fechamientos hechos por Mora y colaboradores (1991) con muestras obtenidas en diversos sitios de la misma, por lo que se puede decir que la formación de esta sierra comenzó en el Plioceno superior y perduró hasta el Pleistoceno medio.

Asimismo, la sismoestratigrafía antes mencionada muestra que una parte de la vertiente oriental de la Sierra de Las Cruces descansa sobre el extremo occidental de la Secuencia estratificada ya referida (Fig. 11).

Ambas litologías conformaron el basamento sobre el que se depositaron los productos de la última fase del vulcanismo que formó a esta sierra, resultado de la actividad explosiva de varios volcanes de la misma (subcapítulo 3.3).

Estos depósitos constituyen el actual piedemonte de la Sierra de Las Cruces (del que es parte el que está presente en el área estudiada), el cual se formó en el Cuaternario hace 700,000 a 500,000 años (Mooser et al., op. cit.) como resultado del depósito de flujos piroclásticos y material pumítico, producto de las erupciones altamente explosivas del volcán San Miguel, al SW del área, y en menor grado de los volcanes de la Sierra de Salazar (Cerros Salazar y Chimalpa) ubicados al NW de la misma.

Estos materiales se desplazaron muchos kilómetros hacia el oriente y nororiente de estos aparatos y al consolidarse dieron origen a las tobas, depósitos de flujos piroclásticos, capas de pómez y lahares que junto con los suelos y depósitos fluviales formados a partir de ellos conforman una sola unidad litoestratigráfica (Formación Tarango; Capítulo V).

La regularidad en el espesor y en la extensión que presentan las capas de estos depósitos en la zona del piedemonte superior y en las partes altas del piedemonte inferior del área estudiada, indican que los derrames lávicos de la Formación Las Cruces sobre los que se depositaron tenían una superficie poco accidentada.

Otra característica de éstos en la misma área es la de presentar contactos normales, lo que indica que son producto de erupciones que no estuvieron muy separadas en el tiempo sino que fueron parte de una sola fase explosiva del volcán San Miguel.

Según Bryan (1948) la posterior formación de domos en la actual Sierra de Las Cruces, como los de Coconetla, El Ocotal y Santa Rosa en territorio de las delegaciones Álvaro Obregón y Magdalena Contreras, originó un posible levantamiento que dio pie a un aumento en la inclinación de la superficie de las zonas de piedemonte cercanas, como la del área en estudio, el cual contribuyó a profundizar su disección por erosión fluvial cuyo patrón de drenaje fue controlado por el sistema de fallas y fracturas orientadas al NE que previamente habían afectado al mismo (subcapítulos 3.2 y 4.1.4).

En un principio, todo esto propició la formación de los actuales barrancos mayores en los cauces de las corrientes principales que drenaban el área, posteriormente empezaron a formarse en las laderas de estos una serie de escorrentías que por el proceso de erosión remontante se transformaron en la red de barrancos secundarios que actualmente disecan dichas laderas y que aun hoy siguen activos en su crecimiento, especialmente en las cabeceras.

Por otra parte, al mismo tiempo que se desarrollaban los barrancos en la red fluvial del área en estudio, aguas abajo tenía lugar el depósito de los detritos producto de la erosión, formando abanicos aluviales en las desembocaduras de los ríos y arroyos los cuales debido a los grandes aportes crecieron hasta formar un gran

abánico coalecente que dio origen a las planicies inclinada y aluvial del piedemonte inferior, "proceso que debió ser más activo después del cierre de la Cuenca de México por el sur" (Lugo et al., op. cit.).

La segunda etapa de la evolución del relieve es la que se debe a procesos originados por la actividad humana (antrópicos o tecnológicos). Esta etapa puede dividirse en dos períodos de acuerdo con la época histórica en que tuvieron lugar.

El primero comprende las actividades que se desarrollaron en el área estudiada desde la época prehispánica, entre las que destaca la deforestación, la cual favoreció el desarrollo de la red de barrancos secundarios por erosión remontante.

El segundo período comprende la actividad que se desarrolló posteriormente a la conquista española, tanto en el virreinato como en la época independiente, y que continúa hasta nuestros días.

Dentro de esta destacan por su impacto ambiental:

- a) La desecación total del antiguo lago de Tenochtitlan, cuyas aguas cubrían la mayor parte de la zona de planicies del área, la cual fue consumada a principios de este siglo.
- b) El rápido avance de la urbanización hacia el occidente de la Cuenca debido al crecimiento de la Ciudad de México, motivado principalmente por el aumento constante de su población.
- c) La excesiva extracción de materiales para construcción en muchas zonas del piedemonte, sobre todo al SW del área estudiada; causada por la creciente demanda de los mismos en la Ciudad de México, lo que propició la ampliación de las depresiones de los bancos de material ya existentes y la aparición de otros nuevos en otras partes del piedemonte. Esto trajo consigo profundas modificaciones al relieve original que han desestabilizado los taludes naturales causando deslaves y hundimientos posteriores.

- d) La excesiva extracción de agua del subsuelo para cubrir la creciente demanda de este recurso en la Ciudad de México, lo cual ha causado que en la actualidad la planicie lacustre esté en un proceso de hundimiento que la ha hecho perder su antigua forma plana horizontal, provocando desniveles en la misma que se reflejan en la formación de tres planicies en la parte central de la Cuenca (planicies lacustres superior, intermedia e inferior del Mapa Geomorfológico), lo que a su vez es causa de muchos de los problemas geotécnicos que se presentan en la Ciudad de México (hundimientos en túneles del Metro, rompimiento de tuberías en las redes de conducción de agua potable y de desagüe, etc.).

## V.- LITOLOGÍA

De toda la secuencia conocida de rocas y depósitos que conforman la litología de la Cuenca de México, descrita en el Capítulo III, sólo afloran en la superficie del área en estudio las rocas piroclásticas que constituyen el piedemonte oriental de la Sierra de Las Cruces y los depósitos aluviales y lacustres derivados de ellas, los cuales forman las planicies adyacentes al mismo en el oriente de dicha área. Estos últimos han sido reconocidos por medio de sondeos ya que desde hace tiempo se encuentran urbanizados.

La edad absoluta de las rocas que afloran en el área no ha sido establecida en forma definitiva debido a que no se han hecho estudios radiométricos suficientemente extensos y precisos en los depósitos del piedemonte, por lo que se han establecido las edades aproximadas de algunos de ellos por la posición estratigráfica que guardan en relación a otras rocas fechadas que son producto de algún evento volcánico conocido.

Mooser y colaboradores (1992) reconocieron las siguientes cinco unidades litológicas que componen a la Formación Tarango en la porción SW de dicho piedemonte:

- 1) Flujos piroclásticos dacíticos "Arenas azules" (300 mil años).
- 2) Flujos piroclásticos riódacíticos "Xolopo" (430 mil años).
- 3) Tres capas de pómez producto de erupciones plinianas.
- 4) Flujos piroclásticos con pómez y fragmentos de roca oscura "Cuquita".
- 5) Tobas pumíticas amarillas con paleosuelos producto de nubes ardientes (menos de 600 mil años).

Durante el trabajo de campo en el área estudiada se reconocieron en los afloramientos visitados a las cuatro primeras unidades; la quinta no aflora. Además se reconocieron otras dos unidades en dichos afloramientos, una en la zona norte del área sobreyaciendo a la penúltima unidad (Tobas de la Sierra de Salazar; Fig. 38), y otra en el suroeste de la misma sobreyaciendo a la primera (Toba Ondulina; Fig. 38).

La denominación y características de estas dos unidades no han sido descritas detalladamente en referencia alguna hasta la fecha.

A continuación se da la descripción estratigráfica del área en función de estas unidades litoestratigráficas, las cuales se encuentran cartografiadas en el mapa geológico-tectónico correspondiente.

### 5.1.- Marco estratigráfico.

Como ya fue señalado en el capítulo anterior, el área en estudio comprende dos zonas muy diferentes entre sí por su forma y litología: la zona del piedemonte (parte del piedemonte oriental de la Sierra de Las Cruces) y la zona de planicies (parte de la zona occidental de las planicies lacustre y aluvial de la Cuenca de México).

En la primera, dado que no se encuentra totalmente urbanizada, existen varios afloramientos donde es posible reconocer los diversos horizontes que constituyen su secuencia estratigráfica, así como recabar datos y muestras útiles para su descripción. En la segunda, totalmente urbanizada en la actualidad, el tipo de litología fue reconocido por la forma superficial que muestran los depósitos y por datos publicados de sondeos hechos por algunos investigadores en pozos perforados en dicha zona (Mooser et al., 1986; Mooser, 1990; Mooser y Molina, 1993).

La distribución de las unidades litoestratigráficas que se reconocieron en los afloramientos visitados (puntos de verificación del Mapa Geológico), a excepción de la de los depósitos de las planicies aluvial y lacustre cuya distribución se intuyó en base a información obtenida de otras fuentes debido a que carecen de buenos afloramientos, se cartografió en el mapa geológico-tectónico del área estudiada, donde a algunas de ellas se les ha asignado la edad aproximada que, según Mooser y

colaboradores (1992), tienen de acuerdo con las relaciones que presentan con los eventos eruptivos conocidos del volcán San Miguel.

Es importante señalar que la nomenclatura de las unidades litoestratigráficas utilizadas en el presente trabajo es informal y está lejos de ser la más adecuada si se toman en cuenta las recomendaciones señaladas en el Código Estratigráfico Norteamericano establecido por la Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica (1984).

Lo anterior se debe a que las publicaciones de los trabajos de investigación geológica desarrollados en la Cuenca de México, en cuya consulta nos hemos basado para analizar la estratigrafía del área, no se han enfocado a establecer debidamente la edad absoluta y las relaciones temporales de las rocas que afloran en dicha Cuenca, además de que no existen referencias bibliográficas que contengan una cartografía geológica regional detallada de la misma.

Todas las investigaciones que se han hecho en relación al contenido estratigráfico que presenta el piedemonte (o abanico volcánico) oriental de la Sierra de Las Cruces indican que éste es muy extenso, pues incluye tanto depósitos netamente volcánicos como tobas, flujos piroclásticos y capas de pómez, como acumulaciones de materiales derivados de ellos (lahares, conglomerados, arenas fluviales y paleosuelos), (Mooser et al., op. cit.).

En conjunto, todos estos depósitos derivan directa o indirectamente de la actividad del volcán San Miguel, que constituye la última etapa del ciclo de formación de la Sierra de Las Cruces (subcapítulos 3.3 y 4.2.4), para los que desde la publicación de los trabajos de Bryan (1948) y Arellano (1953) se emplea el nombre de "Formación Tarango". Esta dependencia hace que el estudio de dichos depósitos permita la reconstrucción de la historia eruptiva de este aparato (Mooser et al., op. cit.; p. 8).

Mooser (1981) afirma que se pueden reconocer dos etapas de acumulación en la conformación de los horizontes de la Formación Tarango en base a las condiciones de la actividad volcánica y del clima prevalecientes al momento de su depósito.

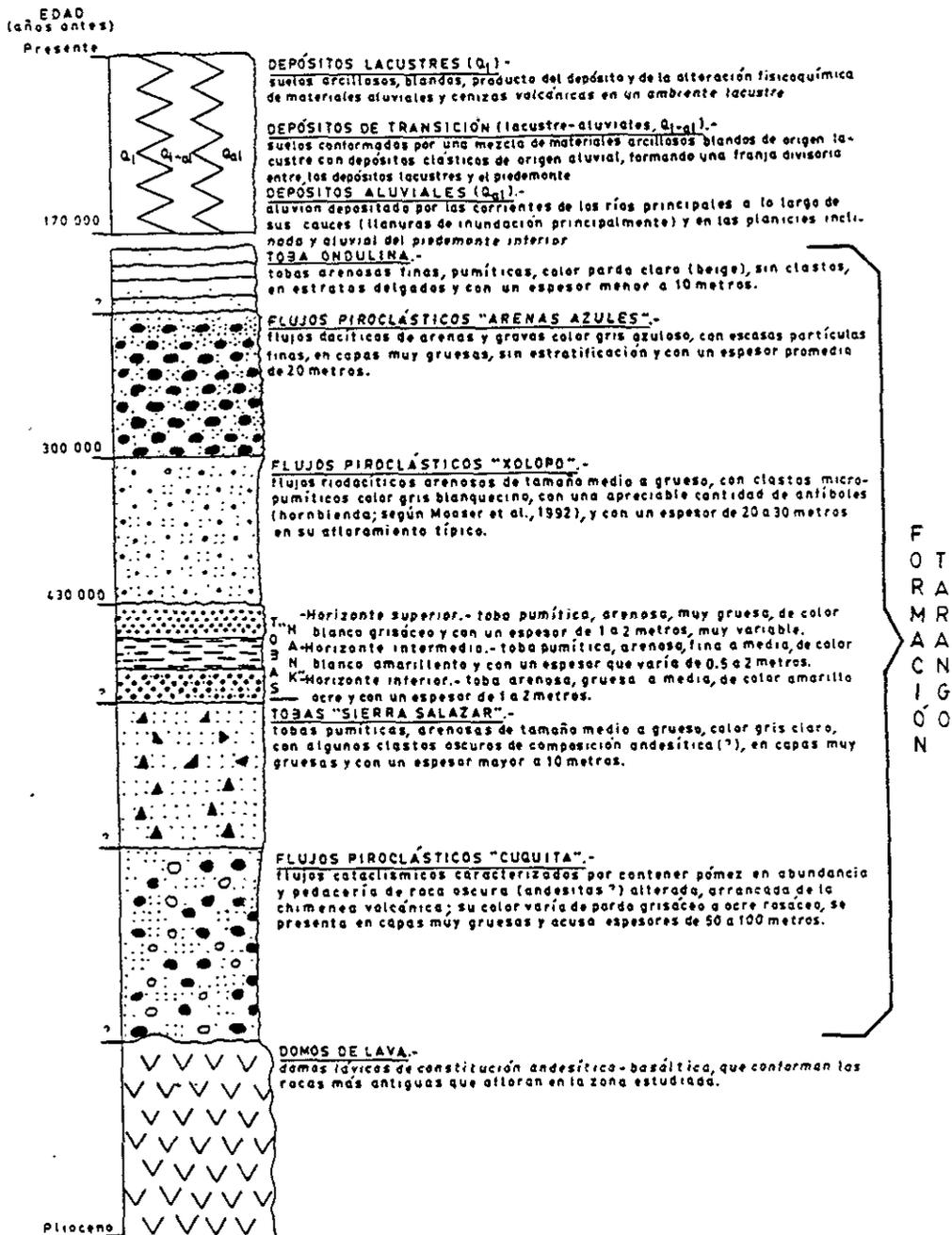


FIGURA 38.-Columna estratigráfica del área de la delegación Miguel Hidalgo y sus zonas conurbadas de los municipios de Naucalpan y Huixquilucan.

De acuerdo con este autor la primera etapa comenzó con las primeras fases eruptivas que originaron al volcán San Miguel, que debieron coincidir con un aumento en la intensidad de la erosión a finales del Plioceno, debido posiblemente a los cambios en las condiciones climáticas que iniciaron hace poco más de 2 Ma y que condujeron a la aparición de las primeras glaciaciones en el Cuaternario (Glaciaciones Nebraska y Kansas; Fig. 39).

Al parecer el tiempo que abarcaron estos cambios fue de 1 Ma, lapso durante el cual el aumento en las precipitaciones pluviales y escurrimientos superficiales originó la erosión de las laderas de la Sierra de Las Cruces y la acumulación de importantes volúmenes de materiales detríticos derivados de esta en la zona de planicies.

Se piensa que durante las glaciaciones antes referidas los procesos erosivos mantuvieron su intensidad favoreciendo el desarrollo de los barrancos de los Ríos Hondo y San Joaquín, así como la de otros ubicados al sur de los mismos, fuera del área estudiada (op. cit.).

Al parecer durante esta etapa tuvo lugar un modelado importante de las rocas más antiguas que afloran en dicha área, que son las que conforman el Cerro de Chapultepec en la delegación Miguel Hidalgo (Fig. 38), el cual es un domo de lava andesítica (de Cserna et al., op. cit.; p. 15), (punto de verificación # 7 del Mapa Geológico), cuyo origen se atribuye a la actividad volcánica que se presentó en la Cuenca de México como consecuencia de la subducción de la placa Mesoamericana en la costa del Pacífico mexicano ocurrida entre los 22 y los 10 Ma antes del presente (subcapítulo 3.3).

En la segunda parte de esta primera etapa, al parecer en el período interglacial Yarmouth (op. cit.), (Fig. 39) tuvo lugar el primer gran ciclo eruptivo del volcán San Miguel, que dio origen al depósito del paquete de rocas más antiguo que presenta la Formación Tarango en el área estudiada (Fig. 38).

Este consiste en un importante flujo piroclástico que se caracteriza por contener una matriz arenosa mal clasificada que contiene pómez y abundantes fragmentos subangulosos de roca oscura alterada de probable composición andesítica, al cual Mooser y colaboradores (op. cit.) ha denominado con el nombre de "Cuquita".

En los afloramientos visitados (puntos de verificación # 3, 8, 9, 11 y 15 del Mapa Geológico), este flujo se presenta en capas muy gruesas, con un color que varía de pardo a ocre rosáceos, con espesores de 50 a 100 m, sin límite inferior visible.

Dichos autores afirman que este depósito es producto de una erupción cataclísmica que arrojó materiales a alta temperatura que destruyeron la chimenea del volcán (de la cual derivan los fragmentos de roca oscura) formando flujos que avanzaron grandes distancias rodeando al Cerro de Chapultepec en el área estudiada y a los cerros de Zacatépetl y Zacayucan hacia el sur de la misma, pudiendo alcanzar incluso la zona de Cuernavaca ya que la Cuenca de México aún no se encontraba cerrada por la Sierra Chichinautzin.

Estos depósitos pueden observarse en los afloramientos de las partes bajas del piedemonte inferior, como en los cortes del circuito José María Velasco, junto al Club Hípico de la Ciudad de México en la tercera sección del Bosque de Chapultepec (Fig. 40), en los cortes hechos para el trazo de la calle Cumbres de Alcutzingo de la colonia Lomas Altas (Figs. 41 y 42) y en los de las partes bajas de la avenida Bosque de la Reforma en la colonia Bosques de Las Lomas (Fig. 45), en la delegación Miguel Hidalgo, así como en las partes inferiores de las laderas de los barrancos de las corrientes principales como la ladera SE del Río Hondo, la sur del Río San Joaquín y las de los arroyos Tecamachalco y Dolores.

Todo lo anterior nos lleva a inferir que la extensión de estos depósitos en la planicie inclinada y partes bajas del piedemonte inferior del área en estudio, debajo de las zonas urbanizadas, es muy amplia ya que abarca desde el fraccionamiento Industrial Naucalpan en el municipio del mismo nombre, en el norte, hasta la colonia Observatorio en la delegación Miguel Hidalgo al sur, incluyendo las partes bajas de las Lomas de Chapultepec, la zona del Panteón de Dolores y toda la segunda sección del Bosque de Chapultepec.

Al gran evento explosivo "Cuquita" le siguieron algún tiempo después otras erupciones piroclásticas que tuvieron lugar en volcanes pertenecientes a la Sierra de Salazar, como los Cerros de Salazar y Chimalpa ubicados al NW del Cerro San Miguel, en el municipio de Huixquilucan y al poniente del área estudiada (Fig. 38 las cuales marcan el final de la primera etapa de acumulación.

Estos eventos consistieron en erupciones piroclásticas que produjeron el depósito de una serie de tobas pumíticas que se extienden desde la antedicha sierra hacia el oriente, cubriendo una gran parte del extremo noroccidental del área estudiada donde sobreyacen a los depósitos "Cuquita" hasta las laderas septentrionales del barranco del Río Hondo, en donde terminan abruptamente frente a los depósitos producidos por las erupciones del volcán San Miguel.

Dichas tobas, que no han recibido alguna denominación en las referencias consultadas por lo que decidimos llamarlas "Tobas pumíticas de la Sierra de Salazar" (Fig. 39), afloran en el área estudiada en forma de capas de color gris claro, con espesores superiores a 10 m, con textura arenosa media a gruesa y con la presencia de algunos clastos de color oscuro quizá de composición andesítica, características que la hacen favorable para su explotación como materia prima para la industria de la construcción, (Fig 35 y punto de verificación # 6 del Mapa Geológico).

Años antes de hoy

$10^4$	Holoceno
80-10 $10^3$	4a. Glaciación: Wisconsin 3 avances
100-80 $\times 10^3$	3er. Interglacial Sangamon
300-100 $\times 10^3$	3a. Glaciación Illinois 2 avances
600-400 $\times 10^3$	Gran Interglacial Yarmouth
?	2a. Glaciación: Kansas
?	1er. Interglacial
1,000-900 $\times 10^3$	1a. Glaciación: Nebraska

Fig. 39.- Períodos glaciales e interglaciales en el Cuaternario (según Mooser et al., 1986)

La segunda etapa de acumulación de los depósitos de la Formación Tarango está relacionada con las erupciones que en principio dieron origen al arreglo circular en forma de caldera con cima plana que actualmente presenta el volcán San Miguel (Mooser et al., op. cit.), (Fig. 18), la cual coincidió con la aparición de la glaciación Illinois (Mooser, op. cit.), (Fig. 39).

Esta etapa inició con el segundo gran ciclo eruptivo de este aparato, que de acuerdo con Mooser y colaboradores (op. cit.) consistió en una serie de erupciones de tipo pliniano que produjeron el depósito de tres capas de pómez a las que se ha denominado con el nombre de "Tobas Hank" (Ing. Federico Mooser, comunicación personal al Dr. José Lugo), (Fig. 38).

Los afloramientos visitados donde se presentan estas capas en el área estudiada (puntos de verificación # 5, 8, 12 y 17 del Mapa Geológico) muestran tres horizontes bien diferenciados, separados entre sí por superficies de erosión:

El horizonte inferior, consistente en una toba arenosa media a gruesa, de color amarillo ocre, con espesores de 2 m o más (Fig. 44).

El horizonte intermedio, compuesto por tobas pumíticas arenosas finas a medias, de color blanco amarillento, con espesores que varían de 0.5 a 2 m (Fig. 45).

El horizonte superior, que se compone de tobas arenosas muy gruesas de color blanco grisáceo, con espesor muy variable de 1 a 2 m, (Figs. 23, 46 y 47).

Estas tobas sobreyacen a los depósitos "Cuquita" en la zona del piedemonte inferior ubicada al sur del barranco del Río Hondo (Mapa Geológico), por lo que sus afloramientos se ubican en los mismos puntos donde están los de estos depósitos en dicha zona, como es el caso de los cortes laterales del Circuito Joaquín Clausell en la tercera sección del Bosque de Chapultepec (Figs. 44 y 47), de los cortes en la calle Cumbres de Alcutzingo antes mencionados (Figs. 45 y 46) y en las partes superiores de las laderas de los barrancos de las corrientes principales de la zona mencionada.



FIGURA 40.-Afloramiento de los flujos piroclásticos "Cuquita" junto a las instalaciones del Club Hípico de la Cd. de México, en la tercera sección del Bosque de Chapultepec.



FIGURA 41.-Afloramiento de los flujos piroclásticos "Cuquita" junto a la residencia marcada con el número 298 de la calle de Cumbres de Alcutzingo, en la colonia Lomas Altas de la delegación Miguel Hidalgo



FIGURA 42.-Afloramiento de los flujos piroclásticos “Cuquita” en un corte de la calle Cumbres de Acultzingo, frente a la residencia marcada con el número 255, en el cual se aprecia su contenido de pedacería de roca oscura y alterada, de probable composición andesítica, producto del rompimiento de la chimenea del volcán San Miguel, del cual emanaron, incluida en una matriz arenosa de color pardo oscuro



FIGURA 43.- Afloramiento de los flujos piroclásticos "Cuquita" en un corte ubicado a un costado de la glorieta de la avenida Bosque de la Reforma, en la colonia Bosques de Las Lomas de la delegación Miguel Hidalgo; en él se aprecia nuevamente su contenido de pedacería oscura y la presencia de numerosos fragmentos de pómez incluidos en una matriz arenosa de color pardo.

Todo lo mencionado anteriormente nos lleva a inferir que la distribución de estos horizontes en el área en estudio debajo de las zonas urbanizadas debe ser amplia, aunque de menores dimensiones que la de los flujos "Cuquita", abarcando la zona donde se ubica el Campo Militar No. 1 en Naucalpan; las zonas de los fraccionamientos La Herradura, Bosques de la Herradura y Lomas de La Herradura en Huixquilucan y las zonas correspondientes a la superficie de divisoria de aguas sobre la que se encuentra el extremo nororiental de la avenida Bosque de la Reforma y a las aledañas a la barranca Barrilaco de las Lomas de Chapultepec en la delegación Miguel Hidalgo (Mapa Geológico).

El siguiente gran ciclo explosivo del volcán San Miguel que afectó al piedemonte de la Sierra de Las Cruces y por ende al área estudiada inició hace 430 mil años, según Mooser y colaboradores (op. cit.), y consistió en una emisión de flujos piroclásticos de composición riodacítica que sobreyacen a la secuencia de tobas anteriores, con abundantes fragmentos micropumíticos y de minerales oscuros, al que estos autores denominaron "Flujos Xolopo" (Fig. 38).

Estos flujos no presentan afloramientos accesibles y bien definidos dentro del área estudiada en debido a la urbanización o por estar situados en laderas rectas de alta pendiente, por lo que se visitó su afloramiento accesible más cercano dentro del territorio de la vecina delegación Cuajimalpa (calle Paseo de los Tamarindos, colonia Lomas de Bezares; punto de verificación # 18 del Mapa Geológico).

En él se puede observar que consisten de piroclastos arenosos de tamaño medio a grueso, con abundantes clastos micropumíticos blanquecinos y apreciables cantidades de ferromagnesianos, que según Mooser y colaboradores (op. cit.) son de hornblenda, con un espesor de entre 20 y 30 m (Fig. 48).

Debido a lo restringido de sus afloramientos en el área, la distribución de estos flujos en la misma no debe ser muy grande en comparación con las distribuciones de los flujos "Cuquita" y de las "Tobas Hank", por lo que solo abarcan un sector restringido del extremo sudoccidental de la delegación Miguel Hidalgo (colonias Bosques de Las Lomas y Lomas de Bezares) y una franja alargada en la zona fronteriza del municipio de Huixquilucan con esta delegación, en la ladera sur del Arroyo de La Pastora frente a la Universidad Anáhuac, al cual se extiende hacia el NE hasta la sección Cumbres del fraccionamiento Lomas de Tecamachalco (Mapa Geológico).

De acuerdo con Mooser y colaboradores (op. cit.), el último gran evento explosivo del volcán San Miguel ocurrió hace 300 mil años aproximadamente y se distinguió por la emisión de grandes volúmenes de flujos piroclásticos de composición dacítica antecedidos por la destrucción del cono central en la cima de dicho aparato (formación de un "somma", subcapítulo 3.3), actividad que continuó por varios miles de años y que culminó con la erupción piroclástica de arenas, gravas y cenizas de color azul claro hace aproximadamente 270 mil años.

Estos cuerpos se extendieron dentro del área estudiada, por una parte hasta la ladera SE del Río Hondo, y por otra hasta las zonas de Tecamachalco, Lomas de Sotelo, Lomas de Chapultepec y partes altas de Tacubaya continuando su avance hacia el sur, fuera de la misma, hasta las zonas de Santa Fe, Mixcoac y San Angel.

Estos flujos fueron denominados por dichos autores con el nombre de "Arenas Azules" y en el área afloran como una capa gruesa, sin estratificación, de color gris azulado, con un espesor que varía de 2 a 10 metros, compuesta en su mayor parte de gravas angulosas, con menores cantidades de arenas gruesas y escasas cantidades de partículas menores a 1 mm (puntos de verificación # 4, 13, 14 y 17 del Mapa Geológico), (Figs. 23, 46, 47 y 49).

Debido a que en su composición mineralógica carecen de minerales deletéreos para la elaboración de concretos y a su facilidad de extracción, la demanda de estos materiales por parte de la industria de la construcción es grande, lo que ha propiciado en gran medida la existencia de numerosos bancos de material de diversas dimensiones en la zona del piedemonte de la Sierra de Las Cruces, y en el caso particular del área estudiada de los que actualmente han sido transformados, los cuales fueron la causa de muchos cambios desfavorables en el relieve original de la misma (subcapítulo 4.2.3, inciso (E)).

De acuerdo a la distribución que presentan los afloramientos de estos flujos en el área estudiada, se infiere que son el tercer tipo de depósitos piroclásticos más ampliamente distribuidos en la zona del piedemonte, después de los flujos "Cuquita" y las "Tobas Hank", extendiéndose desde el SW y hacia el NE, abarcando principalmente las superficies de divisorias de aguas, las laderas convexas y parte de las laderas cóncavo-convexas de las colonias y fraccionamientos Constituyentes de 1917, Palo Solo, Lomas de La Herradura, Villa de Las Lomas, Lomas Anáhuac (Fig. 23) y Lomas de Tecamachalco en Huixquilucan; Ricardo Flores Magón,

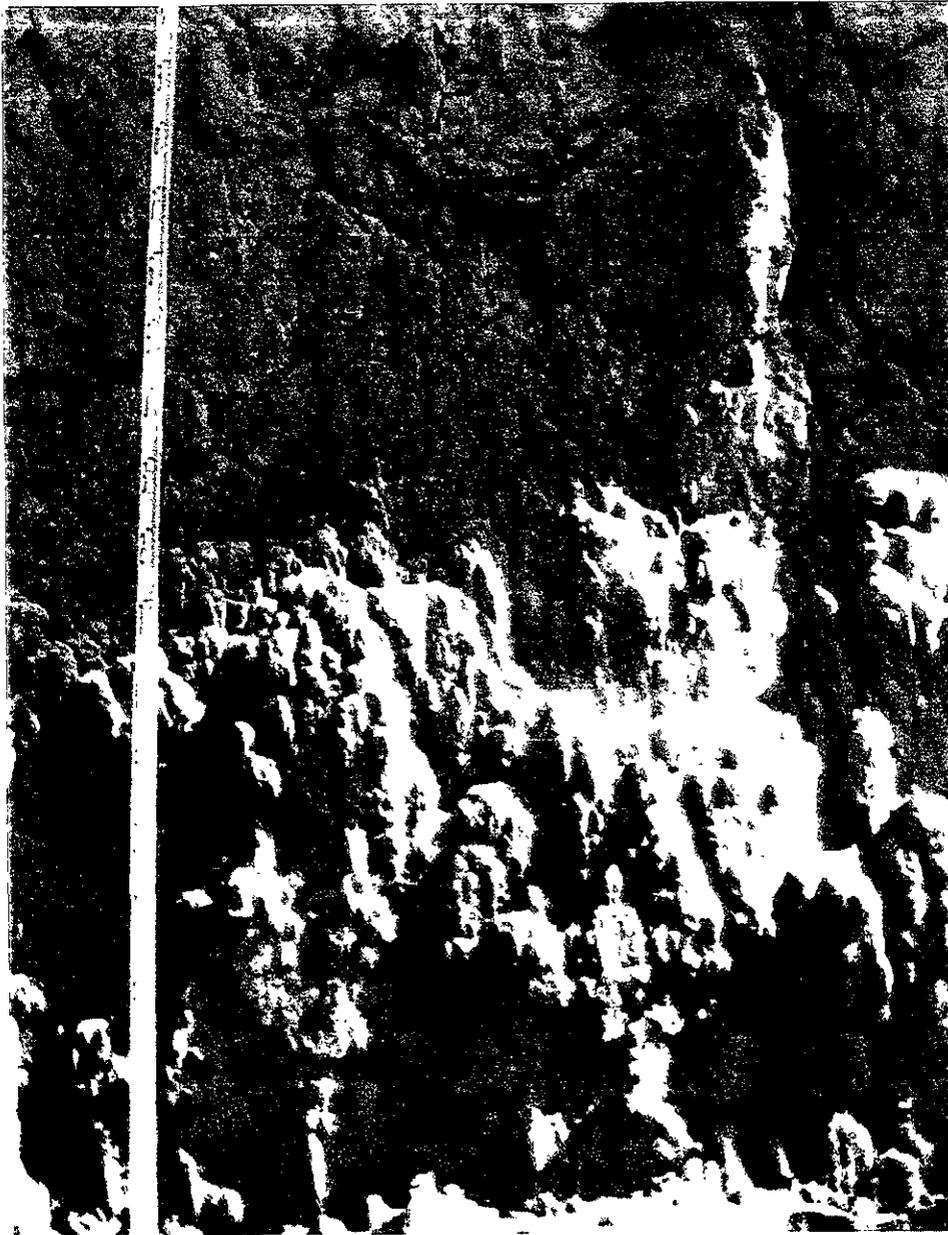


FIGURA 44.- Afloramiento del horizonte inferior de las tobas pumíticas "Hank" en un corte ubicado al lado norte del circuito Joaquín Clausell, en la tercera sección del Bosque de Chapultepec, donde se aprecia su textura arenosa y un color pardo amarillento



FIGURA 45.- Afloramiento de los horizontes intermedio y superior de las tobas pumíticas "Hank" así como de las "Arenas azules" en un corte al lado de la calle Cumbres de Alcutzingo, de la colonia Lomas Altas en Miguel Hidalgo. Aquí se aprecia en la parte baja al horizonte intermedio de dichas tobas, de color blanco amarillento, sobreyacido por el horizonte superior de la misma unidad, el cual presenta un color grisáceo. Sobre este último yace una capa gruesa de flujos piroclásticos de "Arenas azules" de color gris oscuro, al lado norte del circuito Joaquín Clausell, en la tercera sección del Bosque de Chapultepec, donde se aprecia su textura arenosa y un color pardo amarillento.



FIGURA 46.- Afloramiento frente al número 135 de la calle Cumbres de Alcutzingo de la colonia Lomas Altas, en donde se aprecia el contacto entre los flujos piroclásticos "Arenas azules" (arriba) de color gris azulado, y el horizonte superior grisáceo de las tbas pumíticas "Hank" (abajo)..



FIGURA 47.- Afloramiento que muestra claramente el contacto entre el horizonte superior de las tobas puníticas "Hank" (abajo en color pardo claro) con los flujos dacíticos de "Arenas azules" (arriba en color gris azulado), en un corte ubicado junto al circuito Joaquín Clausell de la tercera sección del Bosque de Chapultepec. Nótese las diferencias en textura y tamaño de grano.



FIGURA 48. - Afloramiento de los flujos piroclásticos "Xolopo" en un corte ubicado en la calle Paseo de los Tamarindos de la colonia Lomas de Bezares, en la delegación Cuajimalpa, muy cerca de la frontera con la delegación Miguel Hidalgo. Aquí se aprecia su textura arenosa gruesa y su color gris claro.



FIGURA 49.- Afloramiento de un flujo de "Arenas azules" a un costado del boulevard El Pípila, cerca de las instalaciones de la Procuraduría General para la Defensa del Ambiente y de la Presa San Joaquín, en el municipio de Naucalpan.

Manuel. Ávila Camacho (Fig. 49) y Lomas de Tecamachalco en Naucalpan; así como Lomas de Chapultepec, Lomas Reforma, Lomas Altas (Fig. 45) y parte alta de la tercera sección del Bosque de Chapultepec (Fig. 47), en la delegación Miguel Hidalgo.

Después de la depositación de las Arenas Azules la actividad explosiva del volcán San Miguel continuó aunque no con la misma intensidad, erupcionando materiales piroclásticos que al depositarse formaron secuencias de tobas amarillas que en la zona montañosa se intercalaron con flujos lávicos pero que solo alcanzaron a cubrir la parte superior y algunos sectores de la inferior del piedemonte de la Sierra de Las Cruces.

Estas erupciones marcan el final de la segunda etapa de acumulación de la Formación Tarango ya que al final de ellas el "somma" del San Miguel se tapó con dos extensos domos (op. cit.).

Dichas tobas, que han sido denominadas con el nombre de "Ondulina" (Ing. Federico Mooser, comunicación personal al Dr. José Lugo) constituyen los últimos depósitos de la Formación Tarango (Fig. 38).

En el área en estudio sólo se encontró un afloramiento de ellas, de poca extensión, en un corte lateral de la calle Paseo Lomas Altas muy cerca de su confluencia con la calle Cumbres de Alcutzingo en la colonia Lomas Altas al SW de la delegación Miguel Hidalgo (punto de verificación # 16 del Mapa Geológico), (Figs. 50 y 51) donde forman un paquete duro y poco estratificado, de color pardo amarillento (beige), de aproximadamente 7 m de espesor, compuesto de granos pumíticos arenosos finos a muy finos, cubierto por una capa de suelo de color pardo oscuro (Feozem háplico) de poco espesor.

Debido a que la distribución que presentan estas tobas en el área estudiada se restringe a la zona del afloramiento visitado, su relevancia estratigráfica en la misma es mínima.

En relación a la zona de la colonia Lomas Altas, es importante señalar que es el único sector donde afloran todos los depósitos que conforman a la Formación Tarango dentro del área en estudio, con excepción de las Tobas de la Sierra de Salazar.

En la figura 57 se muestra una sección transversal entre la zona de la avenida Paseo de la Reforma ubicada en la parte alta de la colonia Lomas de Chapultepec y la zona de la colonia Lomas Altas, ambas separadas por el barranco principal del Arroyo Dolores.

En ella podemos observar a los flujos "Cuquita" (Cq) en las partes bajas de ambas laderas rectas del barranco Dolores, formando la base de la secuencia estratigráfica, los cuales presentan un espesor promedio de 30 m estimados a partir del talweg.

A estas sobreyacen en contacto normal y ligeramente inclinadas hacia el NW las tres capas que componen la secuencia de las "Tobas Hank" (ToH), cuyos afloramientos corresponden con las laderas cóncavo-convexas del barranco. El espesor que presentan estos depósitos en la ladera NW es de aproximadamente 12 m mientras que su espesor en la ladera opuesta es de 7 m aproximadamente.

Encima de estas tobas se encuentran los flujos piroclásticos dacíticos "Arenas Azules" (Ara), también en contacto normal e inclinados hacia la misma dirección; estos depósitos afloran formando los extremos superiores de las laderas cóncavo-convexas, las laderas convexas y toda el área correspondiente a la superficie de divisoria de aguas sobre la cual está trazada la avenida Paseo de la Reforma. Se infiere que el espesor que presentan estos flujos en la zona varía de 5 a 20 m, pues su estimación se hace muy difícil debido a la urbanización de la mayoría de sus afloramientos ya que por su posición resultan muy favorables para las construcciones.

Sobreyaciendo a estas últimas se encuentran las tobas "Ondulina", con un espesor de 10 m, las cuales conforman la superficie de divisoria de aguas que separa al barranco principal del Arroyo Dolores de su ramal tributario inmediato al SE.

Los depósitos preholocénicos más jóvenes que están presentes en la zona en estudio son (Fig. 38):



FIGURA 50.- Afloramiento de tobas "Ondulina" en un corte ubicado al lado de la calle Paseo de Lomas Altas en la colonia del mismo nombre, delegación Miguel Hidalgo. Estas rocas son un grupo de tobas arenosas finas, de color pardo claro (beige) y composición pumítica.



FIGURA 51.- Afloramiento de tobas "Ondulina" en un corte ubicado frente a la casa de la Asociación de Colonos de Lomas Altas en la delegación Miguel Hidalgo; aquí se observa un paquete de estas tobas con colorpardo claro y textura arenosa fina, cubierto por una capa de suelo de color castaño oscuro de poco espesor (Feozem háplico).

- a) Aluviales
- b) Lacustre-aluviales o de transición
- c) Lacustres

Cada uno de dichos depósitos cubrió a diversos horizontes de la Formación Tarango en función de la distribución de los afloramientos de estos en el tiempo de la depositación de aquellos, de los factores sedimentarios prevalecientes durante su depósito y de la zona del relieve donde se efectuó éste (piedemonte, planicie inclinada o planicie lacustre).

a) Depósitos aluviales (Qal):

Se componen principalmente de guijarros, gravas y arenas producto tanto de la erosión generada por los escurrimientos de origen pluvial que afectaron las laderas de la zona de montaña y del piedemonte de la Sierra de Las Cruces, como de los deslaves originados por el deshielo de los glaciares formados por las dos últimas glaciaciones cuaternarias (Illinois y Wisconsin, Fig. 39) en los períodos interglaciales Sangamon y Reciente (Mooser et al.; 1986), (Fig. 38).

Dichos materiales detríticos fueron transportados por las corrientes de los ríos y arroyos que posteriormente los depositaron a lo largo de sus cauces y desembocaduras, como en las llanuras de inundación y en las planicies inclinada y aluvial del piedemonte inferior, donde cubrieron a los depósitos de la Formación Tarango.

b) Depósitos de transición o lacustre-aluviales (Qal-l):

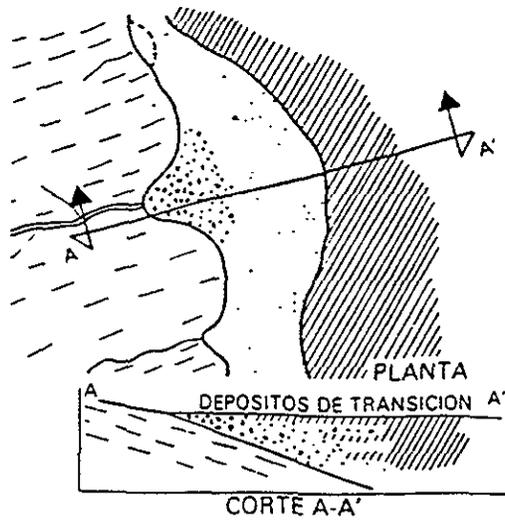
Se caracterizan por ser una mezcla de materiales clásticos arrastrados por las corrientes fluviales (principalmente arenas y gravas) con materiales arcillosos blandos de origen lacustre producto de cenizas volcánicas alteradas (op. cit.), (Fig. 38).

Su depositación dentro del área estudiada tuvo lugar en el quiebre morfológico piedemonte-planicie, donde formaron una franja que separa los depósitos (suelos) lacustres de la parte central de la Cuenca de México de los flujos piroclásticos y tobas propios de las sierras ubicadas al occidente de la misma (Planicies lacustre-aluviales superior e inferior del Mapa Geomorfológico), (op. cit.).

El análisis de sondeos eléctricos hechos en estos depósitos (Fig. 53) ha mostrado que el volumen de clásticos que fueron acarreados por las corrientes hacia la zona lacustre formó suelos gruesos que se alternan con estratos arcillosos lacustres, cuyos espesores dependen de los avances y retrocesos que sufrió el antiguo lago de la Cuenca de México, lo que dio pie a la formación de una zona de transición entre los depósitos netamente aluviales y los netamente lacustres (Fig. 58), cuyo límite con estos últimos se ha ubicado donde desaparece en el subsuelo una "secuencia de estratos de arcilla separados por lentes duros de material piroclástico", en donde sobreyace a una profundidad de 20 m una capa dura desarrollada en el período interglacial Sangamon (Figs. 6 y 52), compuesta "de limo arenoso con algo de arcilla y ocasionales gravas, con una cementación muy heterogénea, cuyo espesor aumenta desde casi imperceptible en la zona central de la Cuenca hasta unos 5 m en lo que fueron las orillas del lago de la misma" (op. cit.).

En su parte más próxima al piedemonte de la Sierra de Las Cruces, esta zona de transición "presenta irregularidades estratigráficas producto de los depósitos aluviales cruzados, cuya frecuencia y disposición dependen de su cercanía a los antiguos barrancos", que en el área estudiada corresponden principalmente a los barrancos de los ríos y arroyos de Los Remedios, Hondo, San Joaquín, Tecamachalco y Dolores, bajo los cuales "se encuentran estratos arcillosos que sobreyacen a los depósitos propios del piedemonte" (op. cit.), (Fig. 54).

Por otro lado, la parte más próxima de esta zona a la zona lacustre se compone de una "serie arcillosa con intercalaciones de estratos limoarenosos de origen aluvial (Serie Arcillosa Lacustre Superior; Figs. 6 y 52), que se depositaron durante las regresiones del antiguo lago, dando origen a una estratificación compleja, donde los espesores y propiedades de los materiales pueden tener variaciones importantes en cortas distancias, dependiendo de su ubicación con respecto a las corrientes de los antiguos barrancos" antes mencionados, (op. cit.).



-  ARCILLA LACUSTRE
-  DEPOSITOS ALUVIALES
-  TOBAS

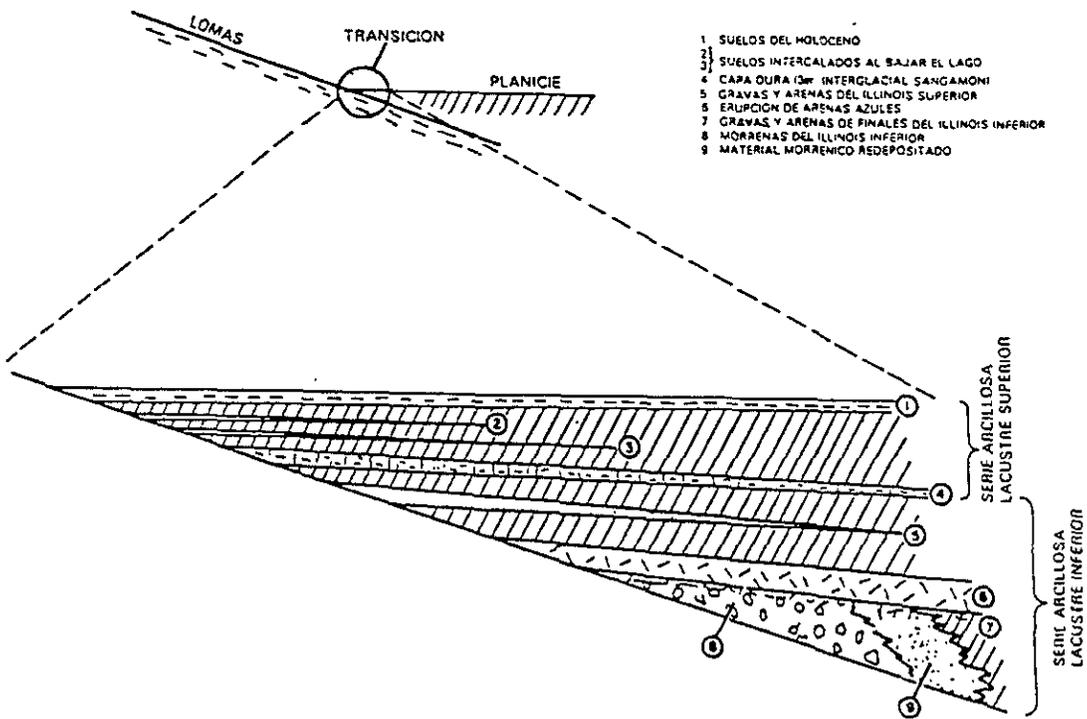


FIGURA 52.- Transición estratificada ancha ubicada en la franja de depósitos lacustre-aluviales de la planicie inclinada del piedemonte; (según Mooser et al., 1986)

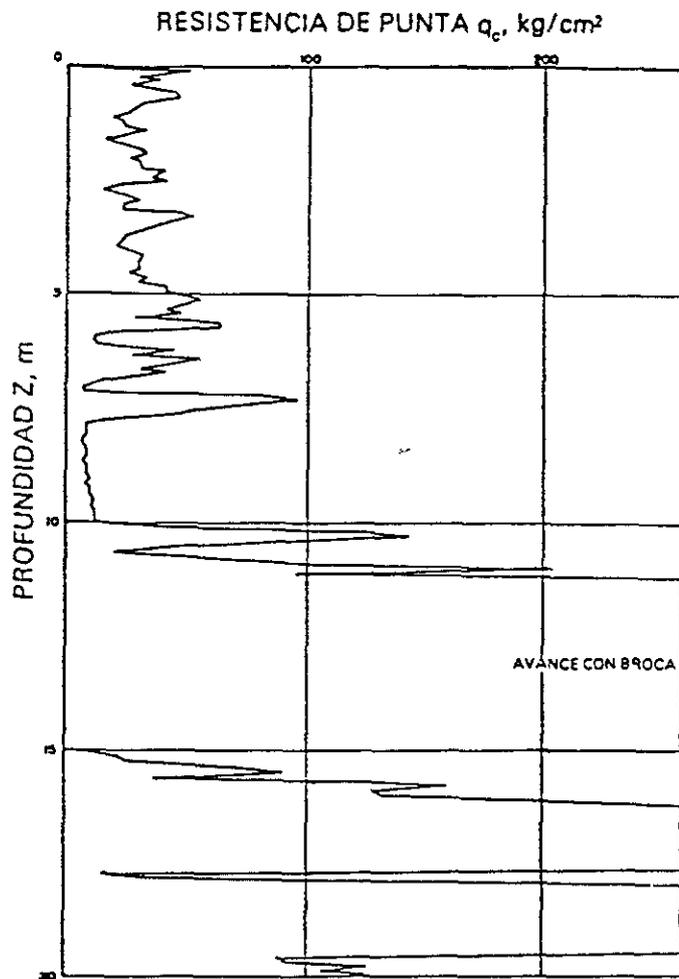


FIGURA 53.-Sondeo de cono eléctrico en la subzona de transición alta (según Mooser et al., 1986)

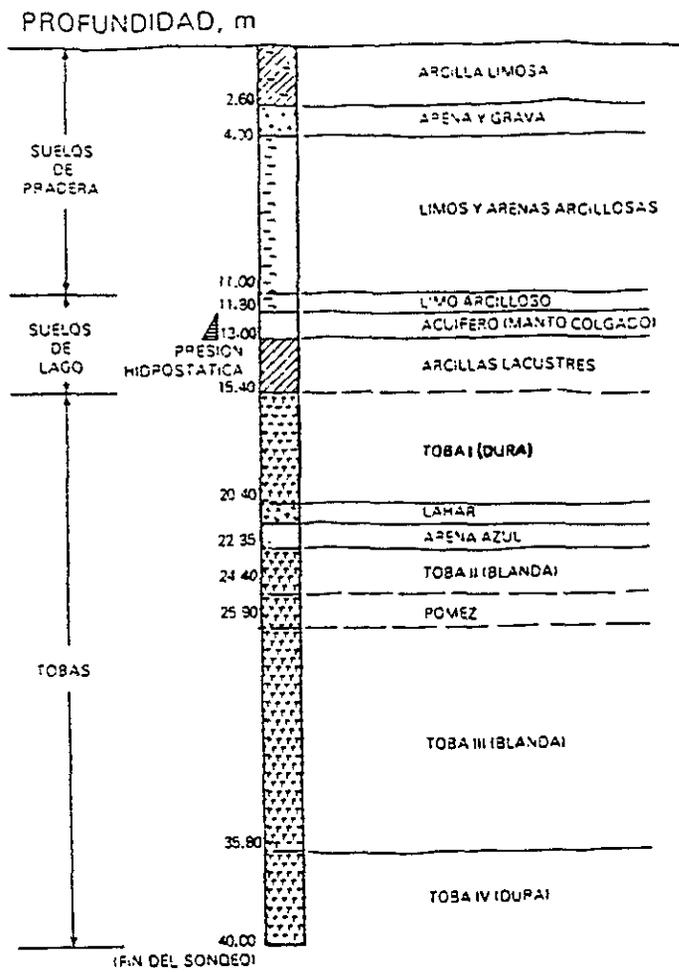


FIGURA 54.- Estratigrafía típica en la zona de transición alta; (según Mooser et al., 1986)

c) Depósitos lacustres (Q1):

Son el producto del depósito y subsecuente alteración por procesos físicos, químicos y orgánicos en un ambiente lacustre de materiales detríticos aluviales y de cenizas volcánicas y loess eólico que en el área estudiada provinieron directamente de los volcanes de la Sierra de Las Cruces o de la zona del piedemonte de la misma, los cuales después de haber sido transportados hacia la zona del antiguo lago de México se transformaron principalmente en arcillas blandas, que hacia las orillas de la Cuenca progradan hacia los depósitos de transición lacustre-aluviales antes descritos (op. cit.), (Fig. 39).

Los análisis de los sondeos hechos en diversos sitios en estos depósitos, que en el área en estudio conforman las planicies lacustres superior, intermedia e inferior del Mapa Geomorfológico, señalan que están constituidos por “una secuencia ordenada de capas de arcilla blanda separadas por lentes duros de limos arcillo-arenosos, costras secas y por arenas basálticas o pumíticas producto de emisiones volcánicas” (op. cit.).

Estas costras secas, al parecer endurecidas debido a la deshidratación causada por la exposición subaérea de estos depósitos en períodos de abatimiento del nivel del lago durante largas sequías, presentan un espesor mayor en las orillas de la Cuenca, adelgazándose hacia el centro de la misma (op. cit.).

Mooser y colaboradores (op. cit.) caracterizaron estratigráficamente esta secuencia en función de su resistencia al corte en sondeos con cono eléctrico, identificando en ella cinco unidades litológicas de acuerdo con su origen y características geotécnicas (Fig. 55):

a) Costra superficial:

Es una capa compuesta por “materiales naturales cubiertos con un relleno artificial heterogéneo” que en su parte inferior presenta una “costra seca” producto del proceso antes descrito, a la que sobreyace una “serie de depósitos aluviales blandos con lentes de material eólico intercalados” (“Suelo Blando”, op. cit.),

cubiertos a su vez por restos de construcciones antrópicas de poco espesor (1 a 7 m), (Figs. 56 y 63).

b) Serie arcillosa lacustre superior:

Está constituida por cuatro capas principales de arcillas intercaladas con lentes duros (costras de secado solar, arena o pómez?, que se utilizan como marcadores de la estratigrafía), con un espesor total variable (25 a 50 m), (op. cit.), (Figs. 55 y 56).

Su estrato profundo (Arcilla preconsolidada profunda) es un suelo que presenta características de alta consolidación debido a la extracción de agua por bombeo al que se ha visto sometido por sobreexplotación (op. cit.), (Fig. 56).

La siguiente capa (Arcilla normalmente consolidada) se localiza por encima de los suelos consolidados anteriores y por debajo del nivel de profundidad hasta el que afectan las sobrecargas superficiales provocadas por la urbanización. Se trata de suelos arcillosos que “se han consolidado por procesos naturales a partir de su condición inicial” (op. cit.), (id.).

La capa más somera de esta serie (Arcilla preconsolidada superficial) se localiza por debajo de la costra superficial y está compuesta por “arcillas consolidadas por procesos de sobrecargas y rellenos” provocados por la urbanización de la Cuenca de México (op. cit.), (id.).

c) Capa Dura:

Es un estrato de “limo arenoso con algo de arcilla y ocasionales gravas, con una cementación muy heterogénea, de espesor variable, desde casi imperceptible en la zona central de la Cuenca hasta alcanzar unos cinco metros en lo que fueron las orillas del lago” cuyo desarrollo tuvo lugar al parecer en el período interglacial Sangamon (op. cit.), (Figs. 6 y 55).

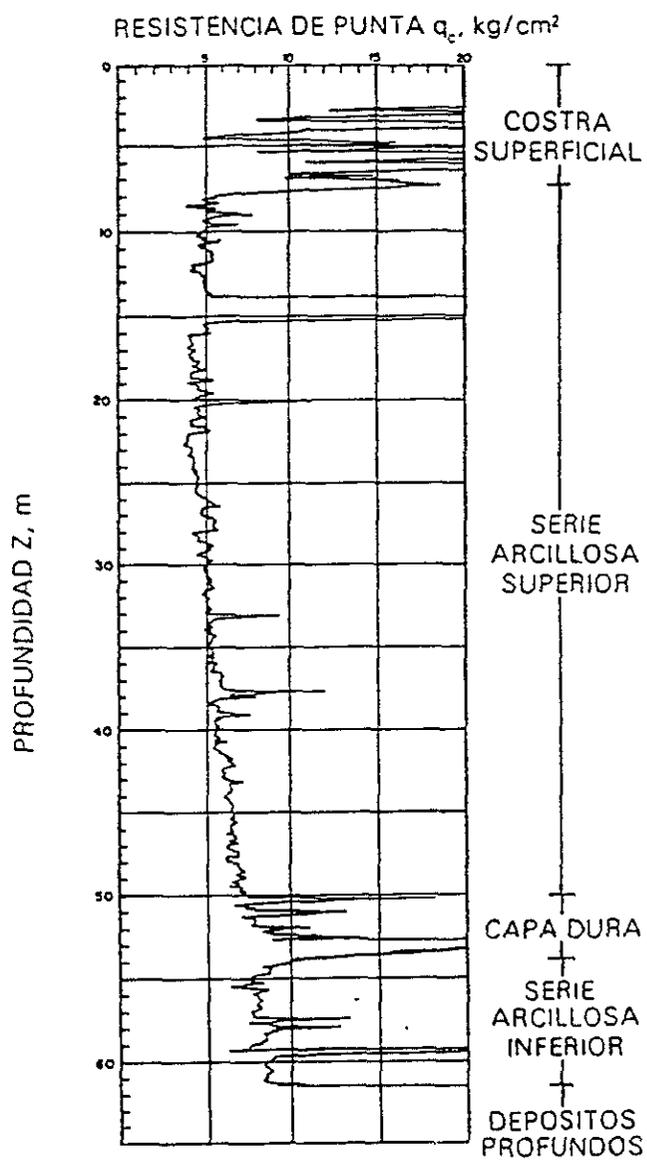


FIGURA 55.- Sondeo de cono eléctrico en la zona del lago; (según Mooser et al., 1986)

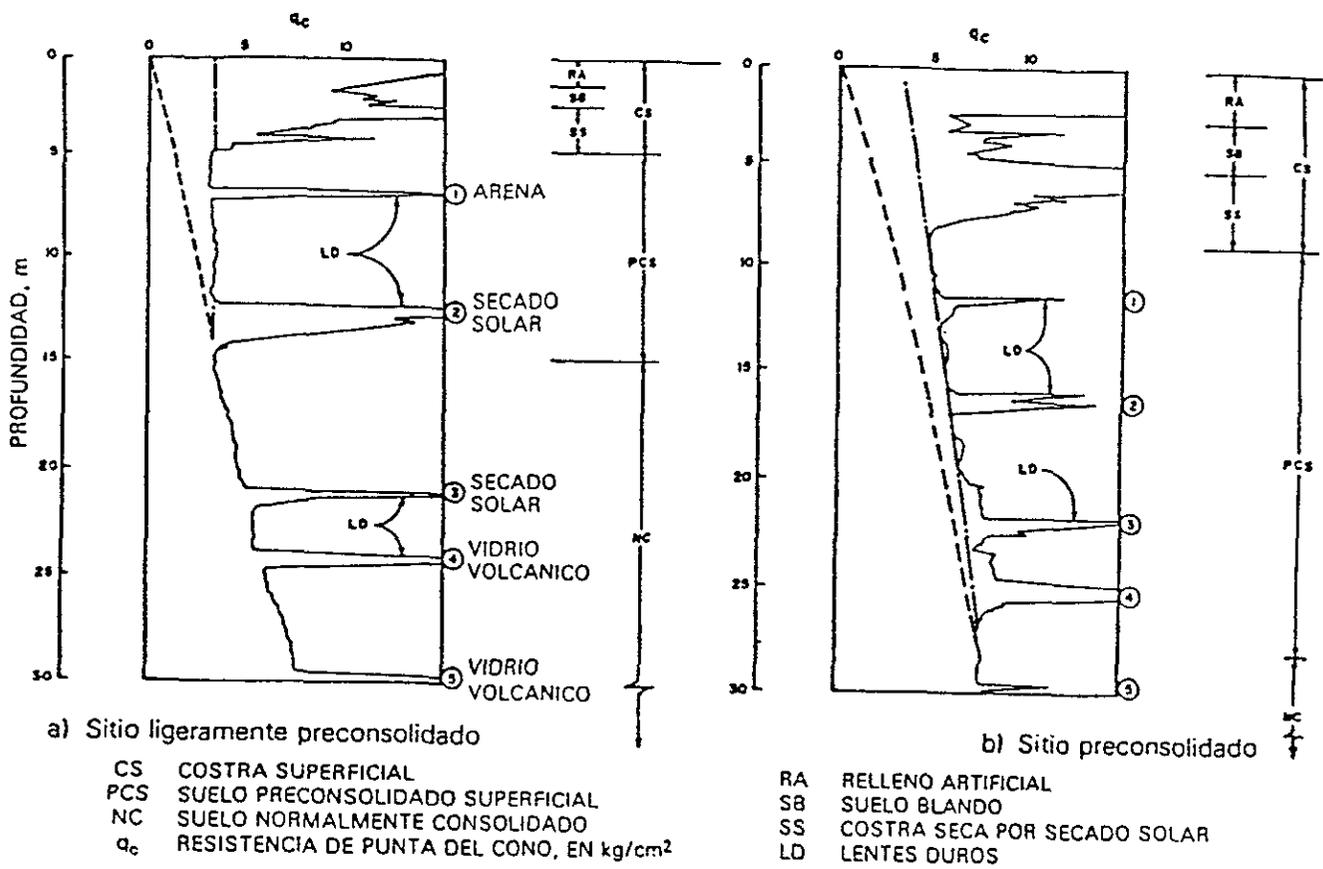


FIGURA 56.- Perfiles tipo de los suelos de la zona del lago, en función de la resistencia al corte determinada con cono eléctrico; (Mooser et al., 1986)

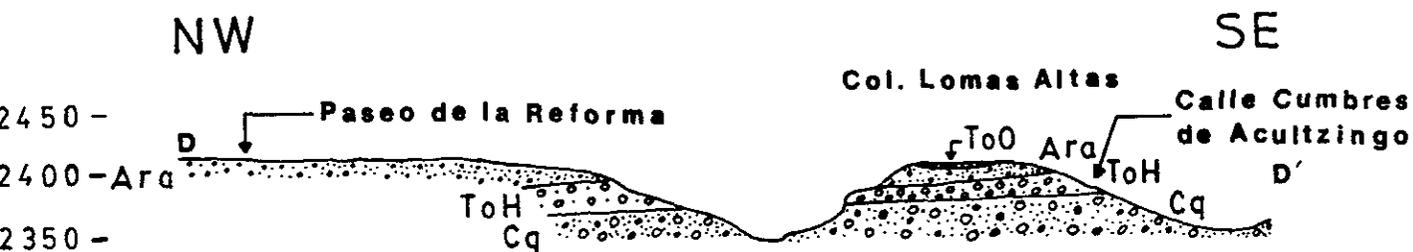


FIGURA 57.- Sección transversal al barranco del Arroyo Dolores entre la zona de la avenida Paseo de la Reforma, ubicada en la parte alta de la colonia Lomas de Chapultepec y la zona de la colonia Lomas Altas, la cual muestra a todas las unidades litológicas que componen a la Formación Tarango en el área en estudio, exceptuando a los flujos piroclásticos "Xolopo". Para la localización de la sección véase el Mapa Geológico. Escala vertical igual que la horizontal.

- ToO: Tobas "Ondulina"
- Ara: Arenas azules
- ToH: Tobas "Hank"
- Cq: Flujos piroclásticos "Cuquita"

d) Serie arcillosa lacustre inferior:

Es un grupo de estratos de arcilla con intercalaciones de lentes duros cuyo arreglo es semejante al de la serie arcillosa superior, de los cuales sólo se conoce que su espesor es mayor hacia las partes centrales de la Cuenca, donde se le han detectado espesores de 15 m, y que se adelgaza hacia las orillas de la misma en la zona de la planicie lacustre más próxima al piedemonte (op. cit.), (Figs. 6 y 55)

e) Depósitos profundos:

Es una secuencia subyacente a la serie anterior, que al parecer se compone de “arenas y gravas aluviales limosas cementadas por arcillas duras y carbonatos de calcio” cuya parte superior es más dura que la inferior (op. cit.), (Fig. 55).

## VI.- VULNERABILIDAD

### 6.1.- Crecimiento urbano

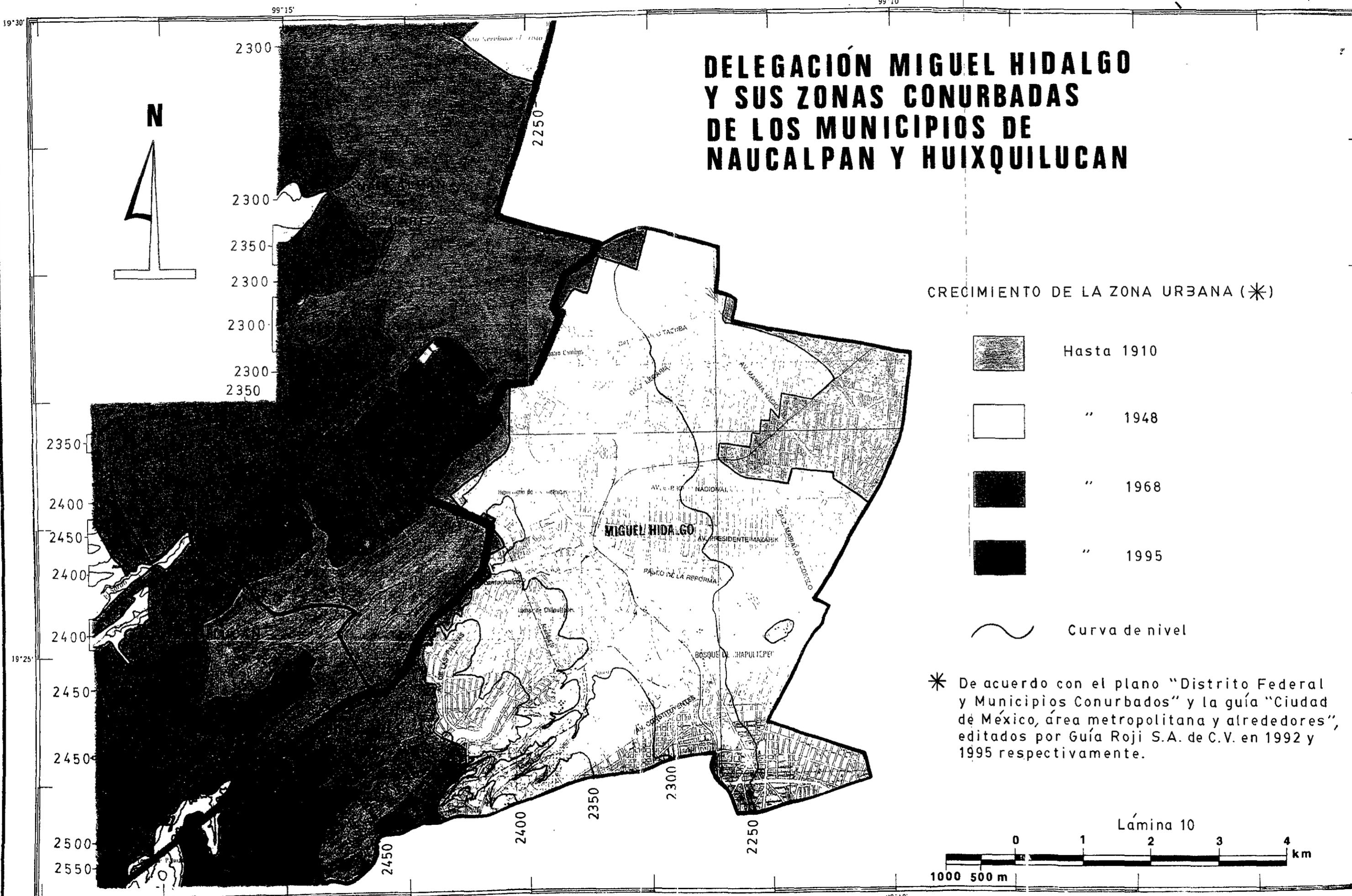
La expansión de la mancha urbana en el área en estudio en distintos períodos históricos, se compiló en base a la información contenida en los mapas topográficos editados por la Secretaría de la Defensa Nacional (1952), en las cartas de densidad de construcción editadas por el Sistema de Información Cartográfico Catastral de la Tesorería del D.F. (1985), así como en el plano "Distrito Federal y Municipios Conurbados" (1992) y la guía "Ciudad de México, área metropolitana y alrededores" (1995) editados por Guía Roji, S.A. de C.V..

Dicha compilación (Lámina 10) muestra que la mancha urbana en el territorio delegación Miguel Hidalgo, hasta 1910 sólo cubría una reducida área de la porción más baja de la planicie lacustre de la misma (por debajo de los 2,250 m s.n.m.m.), que incluía las actuales colonias de Tacuba, Santo Tomás, Anáhuac (Santa Julia) y Huasteca.

Para 1948, la delegación contaba con casi 445,556 habitantes, siendo la segunda más poblada del D.F. (Connolly, 1990; p. 298) por lo que la mancha urbana se había extendido rebasando incluso los 2,350 m s.n.m.m., cubriendo toda la planicie, incluida la aluvial (colonias Verónica Anzures, Polanco, Pensil, Lomas de Sotelo, San Miguel Chapultepec y Tacubaya) y abarcando la porción baja de la zona del piedemonte inferior de la misma, urbanizándose totalmente las superficies más planas (superficies de divisorias de aguas y laderas convexas de las colonias Observatorio y Lomas de Chapultepec) y ocupando algunas porciones de las laderas de los barrancos principales (San Joaquín, Tecamachalco y Dolores), sin que rebasara aún el límite estatal (Lámina 10).

En 1968 la urbanización ya había rebasado el límite estatal del área estudiada. Para ese año había cubierto toda la porción alta del piedemonte inferior y gran parte de la del superior de la delegación Miguel Hidalgo (colonias Lomas Altas y Lomas Reforma), invadiendo los territorios de Naucalpan y Huixquilucan donde cubrió aproximadamente un tercio de la zona del piedemonte inferior (fraccionamientos Tecamachalco, Lomas Hipódromo y El Huizachal en Naucalpan, y fraccionamiento

# DELEGACIÓN MIGUEL HIDALGO Y SUS ZONAS CONURBADAS DE LOS MUNICIPIOS DE NAUCALPAN Y HUIXQUILUCAN



CRECIMIENTO DE LA ZONA URBANA (\*)

 Hasta 1910

 " 1948

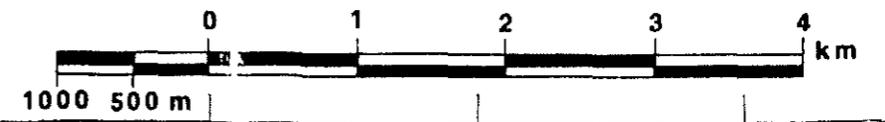
 " 1968

 " 1995

 Curva de nivel

\* De acuerdo con el plano "Distrito Federal y Municipios Conurbados" y la guía "Ciudad de México, área metropolitana y alrededores", editados por Guía Roji S.A. de C.V. en 1992 y 1995 respectivamente.

Lámina 10



## 6.2.- Uso del suelo

Una forma de determinar la magnitud del peligro que pueden implicar las diversas zonas que componen el área en estudio es por medio del mapeo (zonificación) de la distribución espacial de las formas de aprovechamiento (urbano y rural) que se hecho de los suelos de la misma (Lámina 11).

Dicha zonificación se llevó a cabo con base en la recopilación de la información que contiene la Carta de Uso del Suelo editada por CETENAL (1976), actualizada mediante reconocimientos en campo.

Al observar el mapa correspondiente es notable inmediatamente que el uso del suelo más ampliamente difundido en el área estudiada es el habitacional y de servicios urbanos, el cual está relacionado directamente con los fuertes intereses socioeconómicos que influyeron en dicha área a partir de la década de los cuarenta (id.).

El análisis de lo anterior se puede realizar a partir del análisis de cada uno de los siguientes factores que han incidido de modo determinante en el uso que se le ha dado al suelo en cada zona del área estudiada:

- A) Factor de accesibilidad
- B) Factor socioeconómico
- C) Factor político
- D) Factor histórico

La Herradura en Huixquilucan) así como toda la zona de planicies de la porción estudiada de Naucalpan (id.).

Aunque la delegación Miguel Hidalgo registró decrementos netos en su población a partir de 1960, los municipios de Naucalpan y Huixquilucan incrementaron su población total respectiva de 31,884 y 14,315 habitantes en 1950, a casi 428,788 y casi 36,380 en 1968, respectivamente, la mayor parte de la cual se asentó en la zona más cercana al límite con el D.F., (Connolly, op. cit.), (Nuñez et al., 1990a y b)

Para 1995, todo el piedemonte fue poblado por completo hasta los 2,400 m s.n.m.m., con excepción de algunas porciones ubicadas en las laderas del Río Hondo y el Arroyo El Sordo en Huixquilucan y del extremo meridional del Parque Nacional de Los Remedios en Naucalpan, pues los asentamientos humanos no solo acabaron de cubrir todas las partes planas o de poca inclinación del piedemonte superior de toda el área (superficies de divisorias de aguas y laderas convexas) sino que también avanzaron hacia superficies de más de 8° de inclinación (laderas concavo-convexas y parte de las rectas de los barrancos principales) (Lámina 10).

En dicho año la población total de la delegación Miguel Hidalgo superaba la cifra de 560,000 habitantes, mientras que las de los municipios de Naucalpan y Huixquilucan superaban las de 759,000 y 81,000 habitantes (op. cit). Estos datos son un indicador de la causa principal de la rápida expansión urbana hacia las partes altas del piedemonte y de la gran demanda de espacios para vivienda y servicios básicos que sufre actualmente la parte alta de la zona conurbada del área en estudio; situación que sólo se ha resuelto en parte ya que mientras la población que habita en las zonas de clase media y alta, favorables para la construcción, ha logrado que las autoridades doten a sus colonias y fraccionamientos de todos los servicios residenciales (por ejemplo: fraccionamientos Bosques de las Lomas y Lomas de Bezares en Miguel Hidalgo; El Huizachal y Lomas del Bosque en Naucalpan, y Bosques de La Herradura y Lomas Anáhuac en Huixquilucan), a gran parte de la población de clase baja, que habita en colonias ubicadas en sitios de relieve desfavorable para la construcción, no se le ha dotado de uno o más servicios básicos (agua y drenaje principalmente; por ejemplo: colonias La Unidad y El Pedregal en Huixquilucan).

Otro caso es el de la autorización de cambios al uso del suelo habitacional por el comercial o de servicios en las colonias Polanco, Lomas de Chapultepec, San Miguel Chapultepec y Tacubaya, donde no se han tomado muy en cuenta los planes de reordenación urbana establecidos por el D.D.F..

Caso distinto al anterior es el establecimiento formal de industrias de bienes y servicios en el centro y norte del área estudiada donde se asentaron y desarrollaron, principalmente a partir de la década antes mencionada, zonas industriales de fabricación y procesamiento de productos como es el caso de la colonia Granada y de la zona de la Refinería "18 de Marzo" en la delegación Miguel Hidalgo, y de los fraccionamientos Alce Blanco e Industrial Tlatilco en Naucalpan (id.).

### C) Factor político

Con motivo del crecimiento explosivo que ha tenido la población del D.F., durante la década de los sesenta el gobierno de esta entidad diseñó un Programa de Uso del Suelo que incluyó a todas las delegaciones, encaminado a limitar los desarrollos habitacionales en las zonas de las laderas de los barrancos mediante el desalojo en los mismos, reubicando e incentivando el asentamiento de dichos desarrollos en zonas más planas y menos riesgosas.

A pesar de ello, dicho plan no tuvo éxito debido al auge que siguieron teniendo los asentamientos irregulares, sobre todo en las dos décadas posteriores a la mencionada, debido a la alta demanda de vivienda generada por los flujos de personas migrantes provenientes de diversas provincias del país hacia el D-F. y su zona conurbada mexiquense, los cuales se fueron aprovechados por diversos líderes con fines políticos y para lucrar con la promesa de la obtención de terrenos para edificación de vivienda.

### D) Factor histórico

La expansión de la mancha urbana a partir del centro histórico de la Capital de la República, en parte descrita en el subcapítulo anterior, acabó por integrar a la misma a los principales pueblos que se ubicaban en el territorio de la delegación Miguel Hidalgo (Tacuba y Tacubaya, por ejemplo) que hasta 1928 estaban en

### A) Factor de accesibilidad

El aprovechamiento de las planicies y de aquellas superficies de poca inclinación en la zona del piedemonte, tales como las superficies de divisorias de aguas y las laderas convexas en la década de los cuarenta para la construcción de vías de comunicación principales (avenidas y paseos) con la consecuente introducción de medios de transporte, ha propiciado la expansión de las zonas habitacionales y el desarrollo de instalaciones de servicios comerciales y urbanos en las mismas en la zona del piedemonte, modificando muchas veces el relieve original mediante la remoción del suelo para la construcción de terrazas en distintos sectores de las laderas con la consecuente deforestación de la carpeta edáfica.

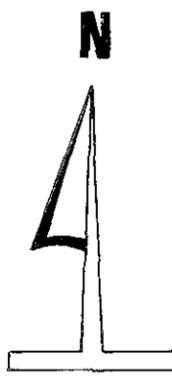
Este proceso es altamente notable a ambos lados a lo largo del eje de las avenidas Paseo de la Reforma, de Las Palmas y Bosques de la Reforma en la delegación Miguel Hidalgo, Paseo de la Herradura y Carretera México-Huixquilucan en Huixquilucan, y Avenida de los Maestros en Naucalpan, principalmente.

### B) Factor socioeconómico

Desde el inicio de la década de los cuarentas, el crecimiento de la Ciudad de México comenzó a impactar significativamente a la delegación Miguel Hidalgo, y desde la mitad la década de los cincuentas a su zona conurbada mexiquense mediante fenómenos de carácter socioeconómico que hasta el presente siguen teniendo influencia, tales como la modificación del uso del suelo de forestal a habitacional, y de habitacional a comercial o industrial.

Dado que el proceso de urbanización ha sido intenso, el uso del suelo forestal se ha visto desplazado paulatinamente como ha ocurrido recientemente en la zona de la tercera sección del Bosque de Chapultepec, que ha visto reducida su área debido a que de manera ilegal se han fraccionado terrenos de la misma para la construcción de residencias y condominios, así como también el caso de algunos asentamientos humanos irregulares en las inmediaciones del territorio del Parque Nacional de Los Remedios (Lámina 11).

# DELEGACIÓN MIGUEL HIDALGO Y SUS ZONAS CONURBADAS DE LOS MUNICIPIOS DE NAUCALPAN Y HUIXQUILUCAN



## TIPOS DE USO DEL SUELO

- Habitacional, comercial y de servicios urbanos
- Industrial
  - E: de extracción
  - P: de procesamiento
  - F: de fabricación
- Forestal
  - B: bosque natural
  - Ba: bosque artificial
- Área sin urbanizar sometida a erosión hídrica
  - f: fuerte
  - m: moderada
  - l: leve

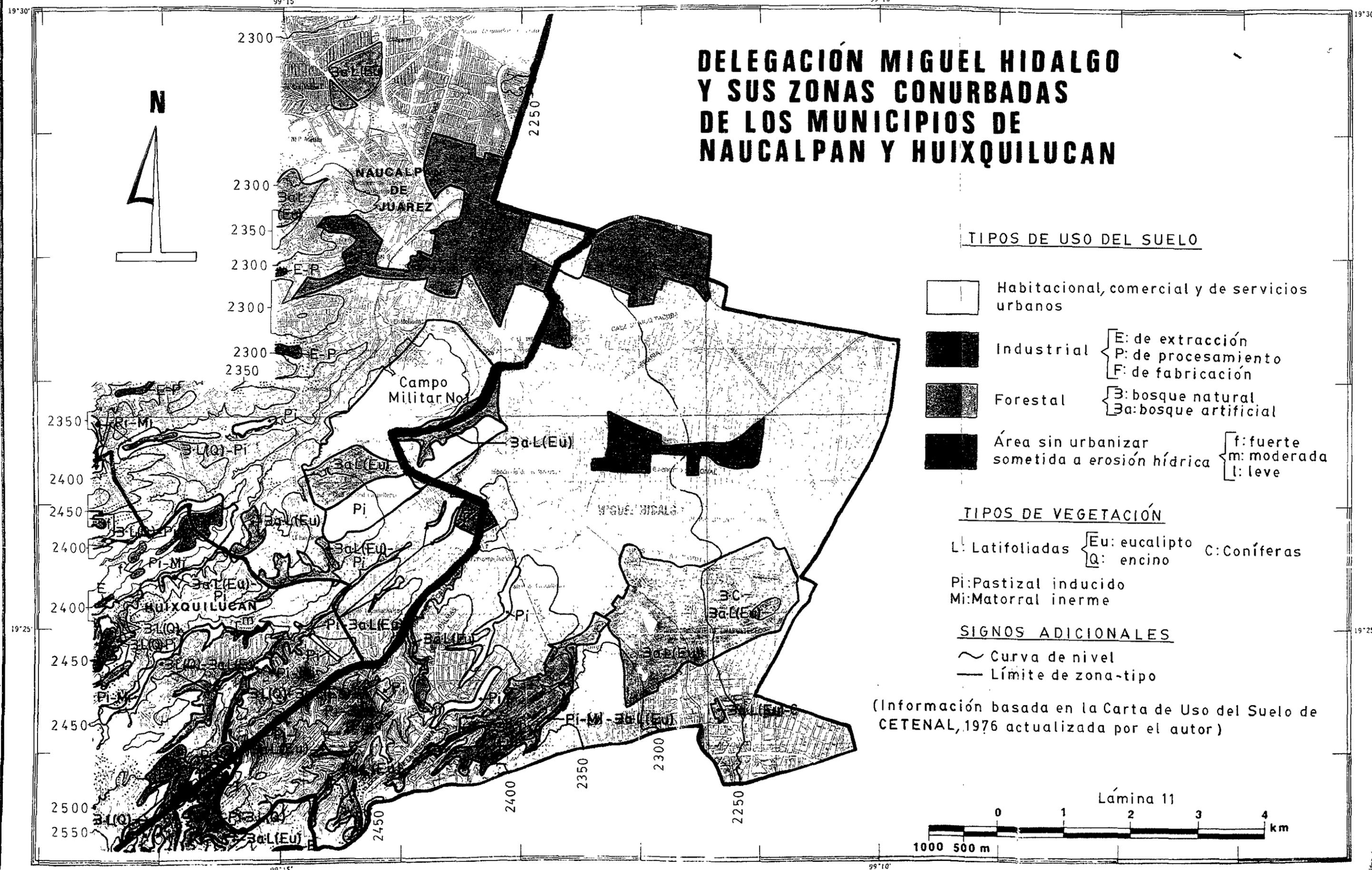
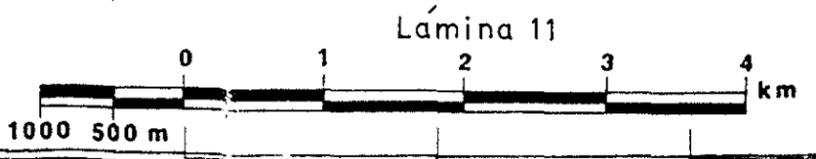
## TIPOS DE VEGETACIÓN

- L: Latifoliadas
  - Eu: eucalipto
  - Q: encino
- C: Coníferas
- Pi: Pastizal inducido
- Mi: Matorral inerme

## SIGNOS ADICIONALES

- Curva de nivel
- Límite de zona-tipo

(Información basada en la Carta de Uso del Suelo de CETENAL, 1976 actualizada por el autor)



profundizar en el sentido que le ha dado la terminología especializada que ha surgido muy recientemente, cuyo uso se justifica en la elaboración de trabajos más específicos en donde se hacen cuantificaciones altamente precisas de todo tipo de riesgos (Heyman, 1991).

En el área estudiada existen tres tipos de riesgos, dos de los cuales han generado daños, mientras que el tercero ha sido mitigado por lo que no ha causado daños recientemente.

El primero es el de los colapsos, que son consecuencia de las operaciones extractivas a cielo abierto que se llevan a cabo en los bancos de material que aún operan en el área. El segundo son los deslaves que tienen lugar en las cabeceras de los barrancos secundarios y en los escarpes en retroceso. El tercero son las inundaciones de diverso tipo que son producto de procesos naturales.

De todos estos riesgos, se han definido con precisión las cabeceras de barrancos y los escarpes, mientras que los colapsos y zonas sujetas a inundaciones se han señalado de acuerdo con su presencia en los últimos años (Lámina 12).

#### A) Colapsos.-

Durante el trabajo de campo se reconocieron sólo dos bancos de material (minas de arena) que no han sido rellenados ni urbanizados. Ambos se localizan en las inmediaciones de la colonia El Pedregal, en Huixquilucan, donde uno de ellos está abandonado mientras que el otro se encuentra actualmente en operación (Figs. 35 y 36).

Las labores de extracción llevadas a cabo en este último fueron la causa, en 1993, del debilitamiento y posterior colapso de un tramo cercano del libramiento diagonal que comunica a la zona de las colonias Radio y La Mancha con la carretera México-Huixquilucan, junto a la margen derecha del Arroyo El Sordo (información obtenida por consulta hemerográfica).

Más recientemente, en 1996, se presume que dichas labores también fueron la causa del colapso de una vivienda cercana a dicho banco (información verbal obtenida de los lugareños y verificada por observación directa), donde al parecer un

calidad de municipalidades en las sucesivas delimitaciones del D.F., y cuya ley orgánica emitida en ese año las incorporó definitivamente a un área que se denominó "Ciudad de México", convirtiéndolas en delegaciones (Connolly op. cit.).

Dicho proceso de expansión consistió en la formación de núcleos de casas-habitación en la periferia de los asentamientos previamente establecidos que se fueron incorporando a estos hasta formar parte de la mancha urbana, fenómeno que se repitió muchas veces hasta alcanzar las dimensiones que actualmente tiene.

Otro tipo de uso del suelo en donde el factor histórico también tiene una importancia relevante es el industrial de tipo extractivo, ya que esta actividad se realiza desde la época de la colonia en respuesta a la demanda de materiales para la construcción causada por la misma expansión de la mancha urbana.

Tal es el caso de los bancos de material descritos en el inciso (E) del subcapítulo 4.2.3, la mayoría de los cuales se han transformado en zonas habitacionales y comerciales, y de las ladrilleras que aún existen en el territorio de Naucalpan (Lámina 11).

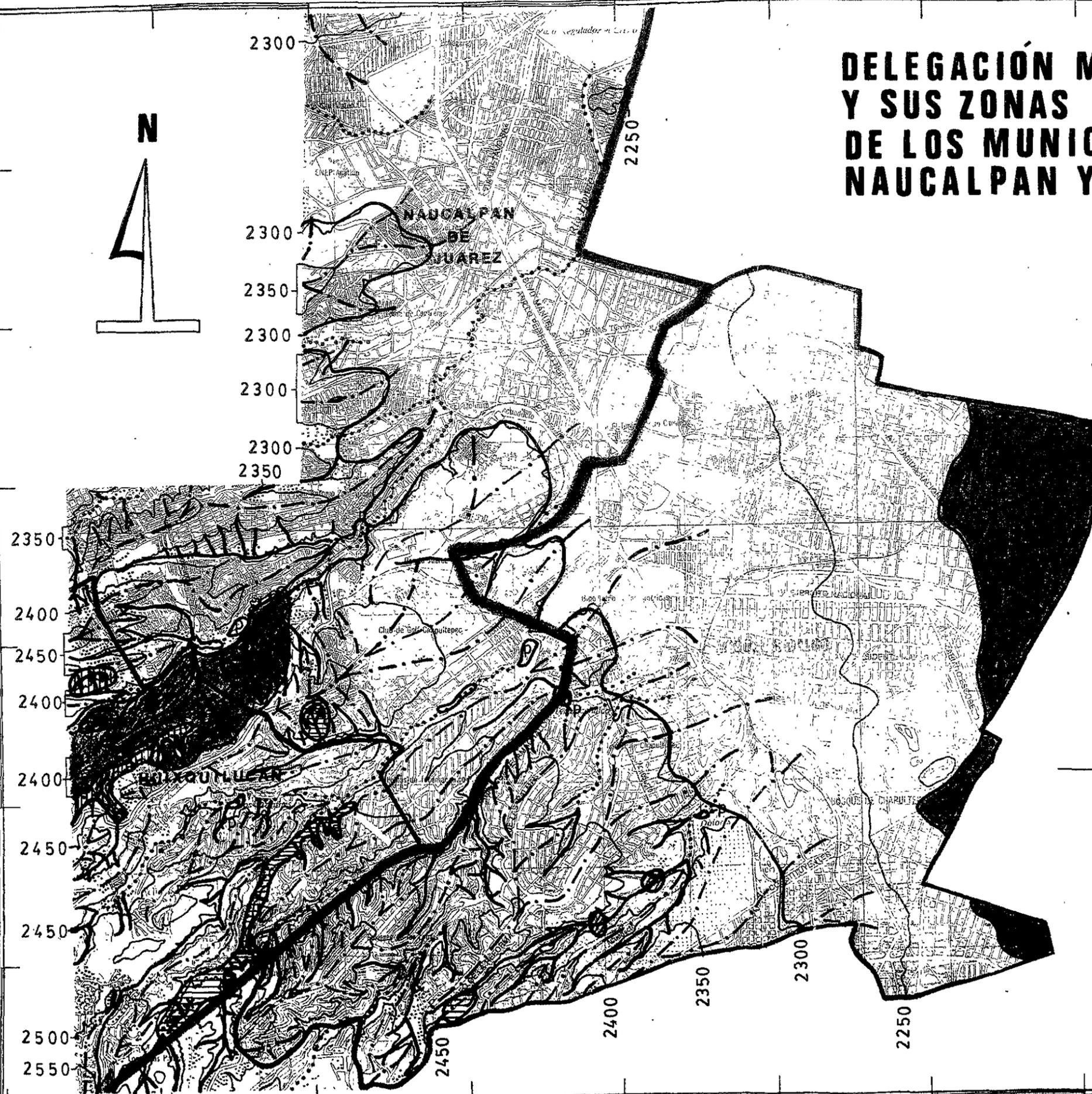
Dadas las condiciones de desarrollo que presenta actualmente el área en estudio, lo más probable es que la expansión de las zonas habitacionales presentes en la misma continúe hacia las laderas de los barrancos del piedemonte del territorio, lo cual provocará cambios o mezclas en el uso de los suelos que actualmente no están urbanizados, con la consecuente deforestación de los mismos, que a su vez conlleva la aparición o aumento de los procesos erosivos..

### 6.3.- Riesgos

Actualmente el análisis de los riesgos constituye un asunto de importancia cada vez más relevante tanto en el campo de las ciencias naturales como en el de las sociales, dado que involucra el estudio de aquellos fenómenos que pueden ser causa de daños a bienes y personas, los cuales han registrado un aumento muy significativo en el mundo.

En este estudio, entenderemos por "riesgo" a una estimación de la proximidad de un daño, es decir se entenderá este término de acuerdo con su significado, sin

# DELEGACIÓN MIGUEL HIDALGO Y SUS ZONAS CONURBADAS DE LOS MUNICIPIOS DE NAUCALPAN Y HUIXQUILUCAN



## RIESGOS

- FONDOS DE BARRANCOS CON INUNDACIONES POR CRECIDAS
- ARROYOS DE BARRANCOS SECUNDARIOS
- ESCARPES EN RETROCESO
- CIRCOS DE EROSION ACTIVOS
- LOCALIDADES AFECTADAS POR COLAPSOS

## VULNERABILIDAD

- POR SISMO  $\geq 7^{\circ}$  RICHTER
- |      |          |      |
|------|----------|------|
|      |          |      |
| alta | moderada | baja |
- POR COLAPSOS
- |      |          |
|------|----------|
|      |          |
| alta | moderada |
- POR DERRUMBES EN CABECERAS DE BARRANCOS Y ESCARPES
- |      |          |
|------|----------|
|      |          |
| alta | moderada |

- Líneas de divisorias de aguas
- Talwegs
- Presas
- Límite de zona
- Curva de nivel

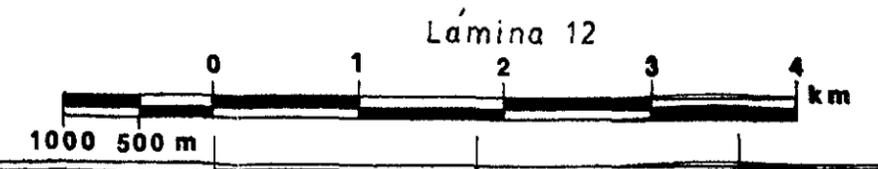




FIGURA 58.- Ejemplo de los efectos de un colapso del subsuelo en una vivienda ubicada junto al acotamiento norte de la carretera México-Huixquilucan, en la periferia de la colonia El Pedregal del municipio de Huixquilucan. En primer plano se aprecian el hundimiento y los agrietamientos causados por el colapso en una barda de ladrillo, mientras que al fondo se aprecian los restos de la vivienda colapsada. Al parecer el fenómeno fue resultado del agrietamiento de las tobas del subsuelo, resultado de las actividades extractivas en un banco de material cercano, aunado a una sufosión de las mismas.

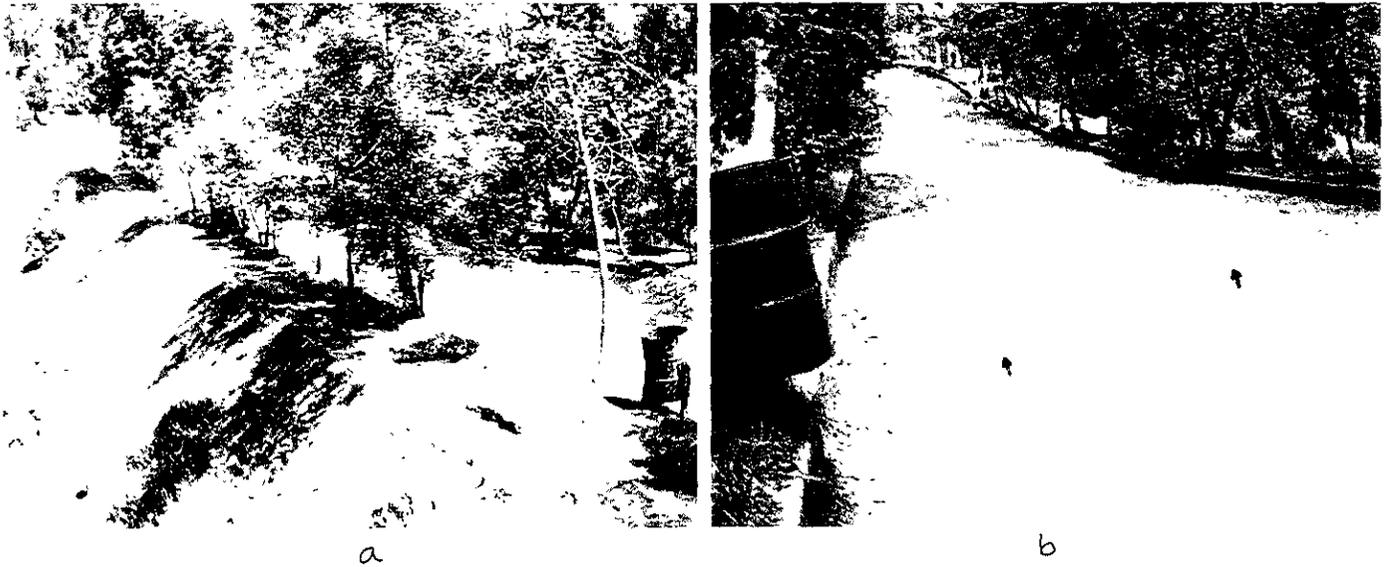


FIGURA 59.- Fotografía que muestra los agrietamientos sufridos en el coronamiento habilitado como puente (a) de la presa de tierra que regula el caudal del Arroyo Dolores en la parte alta de la tercera sección del Bosque de Chapultepec. Dichas fracturas son producto de un proceso de reptación que está sufriendo el subsuelo debajo del extremo sur de la cortina ( b ).



FIGURA 60.- Fotografía que muestra los agrietamientos sufridos en el coronamiento habilitado como puente de la presa de tierra que regula el caudal del Arroyo Dolores en la parte baja de la tercera sección del Bosque de Chapultepec (señalados con flechas). Al igual que en el caso anterior, dichas fracturas son producto de un proceso de reptación que está sufriendo el subsuelo debajo del extremo sur de la cortina

fracturamiento de las tobas del subsuelo aunado a un proceso de sufosión dio como resultado un asentamiento del mismo (Fig. 58).

Otro fenómeno de colapso cuya causa es distinta a la de los dos casos anteriores, está ocurriendo de manera gradual en dos presas de tierra que regulan el caudal del Arroyo Dolores dentro del área de la tercera sección del Bosque de Chapultepec, cuyos coronamientos han sido aprovechados como puentes por donde cruza el circuito José Ma. Velasco (Figs. 59 y 60).

Aquí en ambas obras, los extremos del coronamiento más cercanos a la ladera sur, están presentes varias fracturas en el pavimento producto del hundimiento diferencial de las partes centrales de la cortina en relación a sus extremos, el cual es resultado de un proceso de reptación que ha sufrido el subsuelo sobre el que se encuentran asentadas dichas obras (íd.).

En la Lámina 12 se encuentran señaladas las zonas de colapso antes mencionadas, de las cuales la más peligrosa es la ubicada en las cercanías de la colonia El Pedregal dada la velocidad con que dicho fenómeno se presenta en ese lugar.

#### B) Cabeceras de barrancos.-

Una gran parte de los barrancos menores que están presentes en la zona estudiada son muy activos, sobre todo hacia sus cabeceras, donde avanzan por el proceso normal de erosión remontante. Sin embargo, este proceso no está bien estudiado en la misma debido a que para ello se requieren estudios que requieren una serie de observaciones y mediciones a lo largo de varios años que permitan establecer su velocidad de avance anual (Lámina 12).

Aparentemente, dichas cabeceras activas son muy recientes pues su desarrollo se ha acelerado debido a la influencia de la actividad humana, especialmente la tala y quema de árboles y arbustos (Fig. 61).

Lo anterior se presenta especialmente en la zona noroeste del área estudiada, donde dadas las características socioeconómicas de su población, las labores de desmonte han sido intensivas. Debido a esto, en algunas colonias de dicha zona,

ubicadas en las laderas de los barrancos principales se ha tenido que mitigar la erosión remontante mediante la urbanización de las calles con planchas de concreto que eviten el avance de las cabeceras de los barrancos secundarios (Fig. 31).

A diferencia de la zona noreste del área estudiada, en la zona sudoccidental el proceso de erosión remontante ha sido mitigado por la presencia de una mayor vegetación en las laderas de los barrancos, la cual ha sido poco afectada por la actividad humana.

Las cabeceras de los barrancos menores se presentan especialmente en la parte alta del piedemonte inferior y en toda la del superior, en cualquier tipo de litología, la cual ha influido en su desarrollo al presentar diferentes resistencias a la erosión.

Por ejemplo, las tobas arenosas de la Sierra de Salazar que en general no son altamente compactas, presentan una moderada resistencia a la erosión, ya que durante los períodos de lluvias intensas se llegan a producir desprendimientos en bloques.

Por su parte, las tobas pumítico-arenosas "Hank" constituyen las rocas menos resistentes pues dadas sus características deleznable se erosionan fácilmente, mientras que los depósitos de los flujos piroclásticos "Xolopo" y "Arenas azules" dada su mayor compactación presentan una buena resistencia a la erosión, ya que esto hace que su desprendimiento y remoción durante los períodos de lluvias sea en volúmenes pequeños.

Con respecto a los flujos piroclásticos "Cuquita", estos presentan una moderada resistencia a la erosión pues su compactación es mucho menor que la de los dos flujos anteriores lo que hace que sean erosionados por deslaves.

El retroceso de cabeceras es muy activo en los afluentes del Arroyo El Sordo y del Río Hondo, siendo menor en los afluentes del Río San Joaquín y de los arroyos Tecamachalco y Dolores.



FIGURA 61.- Cabecera de barranco secundario ubicado en la colonia El Chamizal, en Naucalpan, cuyo avance se ha acelerado a causa de la deforestación de los árboles y matorrales que crecen sobre el mismo.

### C) Escarpes en retroceso.-

Se trata de un proceso de erosión por derrumbes en donde también tiene una influencia decisiva el factor litológico, ya que tiene lugar únicamente en las laderas de los barrancos y en los taludes de los bancos de material que no han sido reforzados por ademes de concreto (Lámina 12), como el caso de las minas abandonadas cuyo espacio no ha sido utilizado para otros fines (Fig. 62).

Dichos derrumbes son favorecidos por la deforestación que ocasiona que las lluvias humedezcan profundamente el subsuelo haciendo que este pierda su cohesión y se colapse por gravedad.

### D) Inundaciones.-

El origen de este problema, que suele presentarse en los períodos de fuerte precipitación pluvial en el área estudiada, es producto de dos causas. La primera se debe a las crecidas de las corrientes principales que se desbordan hacia las márgenes, dando pie a la existencia de zonas inundables (Lámina 12). La segunda ocurre cuando las presas, cárcamos y ductos de drenaje son insuficientes para contener el agua, misma que se desborda en forma violenta.

Este riesgo ha sido mitigado considerablemente en base a medidas como el control de los asentamientos humanos en las zonas inundables, como son las llanuras de inundación de las corrientes principales debido a que en los municipios éstas han sido declaradas zonas federales donde se tiene prohibido cualquier tipo de precarismo.

Otras medidas importantes han sido la construcción de cárcamos de capacidad suficiente para drenar el agua que se capta en las presas durante la temporada de lluvias (Fig. 63) y la ejecución de programas de desasolve de los vasos de las mismas, que ayudan a mantener la capacidad de contención de las aguas de los ríos y arroyos que desembocan en las mismas evitando su desborde.

#### 6.4.- Vulnerabilidad

Dentro del estudio de las amenazas naturales cada día cobra mayor importancia, además del análisis de los riesgos, la evaluación de la "vulnerabilidad".

En este trabajo entenderemos por vulnerabilidad a la "estimación de la severidad de las pérdidas o daños que puedan ser causados por un evento natural", como pueden ser los daños a las construcciones, daños personales, interrupción de las actividades económicas o de la actividad normal de las comunidades (Heyman, 1991).

De acuerdo a esta definición, en el área en estudio se presentan tres tipos de vulnerabilidad relacionadas con un igual número de eventos naturales peligrosos: Por sismos de magnitud igual o superior a 7° en la escala de Richter, por colapsos y por derrumbes en cabeceras de barrancos y escarpes (Lámina 12).

A) Vulnerabilidad por sismos de magnitud igual o mayor a 7° en la escala de Richter.-

De acuerdo con la información proporcionada por Suárez y Jiménez (1981), la sismicidad de la Cuenca de México es producto en su mayor parte de los sismos que genera el movimiento de placas tectónicas que tiene lugar en la zona de subducción de la costa del Pacífico mexicano, pero también se registra una actividad sísmica local principalmente de tipo trepidatorio.

La magnitud de los sismos referidos en primera instancia suele ser superior a los generados localmente (4° Richter o menos, con excepciones que llegan a superar los 5°), los cuales dada su magnitud tan baja y la carencia de suficientes estaciones sismológicas en la región, su origen no se ha analizado con la debida precisión. Algunos de ellos han sido atribuidos a movimientos de las fallas que forman parte de la Cuenca de México (p. e. la Falla Contadero), mientras que otros se calcula que han ocurrido a lo largo de diversos puntos del Eje Volcánico Transversal (op. cit.).

"Del análisis de los reportes históricos de sismos ocurridos en la Ciudad de México, salta a la vista la observación de que los mayores daños e intensidades (superiores a V ó VI en la escala de Mercalli) se registraron en las inmediaciones del



FIGURA 62 - Escarpe antrópico activo, producto de las labores extractivas que se llevaron a cabo en un banco de material actualmente abandonado, cerca de la colonia El Pedregal en Huixquilucan, donde al pie del talud del mismo se aprecian varios conos de detritos.

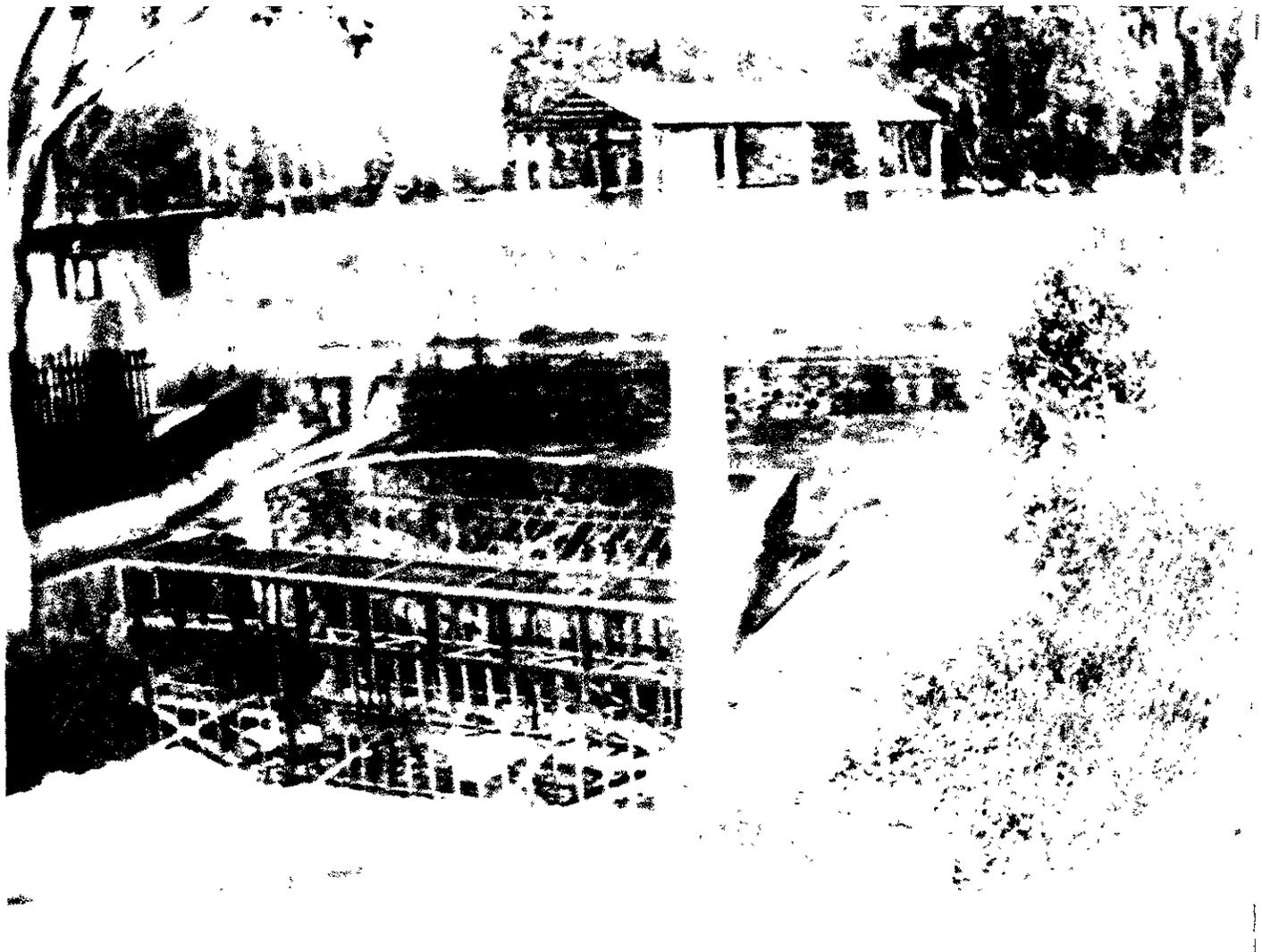


FIGURA 63.- Cárcamo ubicado detrás de la cortina de la presa San Joaquín, por donde son entubadas las aguas del río del mismo nombre. La construcción de esta obra ha evitado los problemas que generaban los desbordes de las aguas en la zona durante la temporada de lluvias fuertes, a la vez que ha impedido que se inunden los terrenos del Hipódromo de Las Américas cuyas instalaciones se aprecian en el fondo de la imagen.

centro de la ciudad, mientras que en las poblaciones vecinas como Coyoacán o Tlalpan, rara vez se dio tal caso; esto quiere decir que es en la zona que ocupaba el antiguo lago de la Cuenca de México donde suelen producirse los mayores daños a bienes y personas por sismos de gran intensidad” (op. cit.).

Al analizar los registros de los diez últimos sismos de magnitud igual o mayor a 7° en la escala de Richter que ha sufrido la Ciudad de México, el más fuerte fue el ocurrido el 19 de Septiembre de 1985, el cual se caracterizó por una magnitud de 8.1° en dicha escala y una intensidad de VIII en la de Mercalli, teniendo su origen en la parte de la zona de subducción del Pacífico mexicano conocida como “Brecha de Michoacán” (Op. cit.).

Diversos estudios sísmicos han demostrado que las condiciones mecánicas que presenta el subsuelo de la Ciudad de México (blando y deformable), formado por las arcillas depositadas en su antiguo lago, ejercen un efecto de amplificación de las ondas sísmicas el cual ocasiona daños considerables a las edificaciones que están asentadas sobre él, con un consecuente incremento en las intensidades reportadas (desde el grado V hasta el IX), (op. cit.).

Basados en lo anterior, podemos definir en el área estudiada dos zonas vulnerables por sismos de alta severidad.

La primera corresponde a la zona de la planicie lacustre que está presente en ella, ubicada desde el límite oriental del área hasta una cota aproximada de 2,240 m s.n.m.m. (Mapa Geomorfológico), cuyo subsuelo está conformado principalmente de arcillas de comportamiento plástico (subcapítulo 5.1), (Lámina 12).

Actualmente, aún existen edificaciones en la zona de la planicie lacustre del área estudiada que muestran los daños que causó la amplificación de las ondas sísmicas del terremoto ocurrido el 19 de Septiembre de 1985 (Fig. 64).

La segunda zona de alta vulnerabilidad por sismos la ubicamos en la región del barranco del Río Hondo, basados en la característica de que esta forma del relieve es la expresión superficial de una falla de grandes dimensiones que tiene la capacidad de actuar como un elemento refractor o reflector de las ondas sísmicas lo que puede generar un proceso de reptación tectónica que podría activarla (subcapítulo 4.1.5), (id.).

Asimismo, podemos definir la existencia de una zona de moderada vulnerabilidad por sismos mayores iguales a 7° Richter desde la cota antes mencionada hasta la de 2,300 m s.n.m. m., zona que corresponde a la de las planicies aluvial y lacustre aluvial, cuyo subsuelo se compone de depósitos de transición donde las arcillas lacustres se encuentran mezcladas con materiales clásticos aluviales, lo que lo hace menos blando y deformable (id.).

#### B) Vulnerabilidad por colapsos.-

Con base en lo mencionado en el inciso (A) del subcapítulo anterior, podemos definir en el área estudiada una zona de alta vulnerabilidad por colapsos correspondiente con la zona de las inmediaciones de la colonia El Pedregal, en Huixquilucan, cuyos bancos de materiales han causado hundimientos en construcciones cercanas, por lo que toda obra civil ubicada en dicha zona se encuentra en posibilidad de sufrir severos daños en su estructura (Lámina 12)

Además de la anterior, existen otras dos zonas de vulnerabilidad por colapso dentro del área estudiada pero de severidad moderada, en las zonas donde se ubican las dos presas mencionadas en el inciso antes referido en la tercera sección del Bosque de Chapultepec.

Estas zonas pueden clasificarse con una severidad menor dado que se trata de una zona deshabitada, donde el proceso de reptación ha sido propiciado por las características de la cortina de estas dos obras (presas de tierra), (id.).

#### C) Vulnerabilidad por derrumbes en cabeceras de barrancos y escarpes.-

De acuerdo con la distribución que muestran estas formas del relieve que son activas, señaladas ya en los incisos (B) y (C) del subcapítulo anterior, se definen tres zonas de alta vulnerabilidad por derrumbes, de las cuales dos se ubican sobre las laderas del Arroyo El Sordo y su afluente principal respectivamente, y otra más en la ladera derecha del Río Hondo a la altura de las colonias La Unidad y Federal Burocrática (Lámina 12).



FIGURA 64.- Casa ubicada en el número 39 de la calle de General León, en la colonia San Miguel Chapultepec de la delegación Miguel Hidalgo. Dicha residencia fue edificada en terrenos de la planicie lacustre y actualmente es una de las pocas edificaciones que muestra los agrietamientos (señalados con flechas) que le causó la ampliación de las ondas sísmicas de los terremotos ocurridos en el mes de Septiembre de 1985, hechas por las arcillas plásticas que componen el subsuelo de la zona.

Ambas zonas se caracterizan por la presencia de varias cabeceras de barrancos secundarios que avanzan por erosión remontante causando derrumbes en temporadas de lluvias fuertes.

Es posible definir una tercera zona, aunque esta de severidad moderada, en el escarpe que forma la ladera derecha del Arroyo de La Pastora, al sur de las instalaciones de la Universidad Anáhuac y del fraccionamiento La Herradura, en Huixquilucan (id.).

Dicho escarpe, que forma parte de la Falla Hipódromo, ha sufrido un retroceso que se ha visto mitigado por la presencia de vegetación que en parte lo cubre (id.).

## VII.- CONCLUSIONES

La porción del piedemonte de la Sierra de Las Cruces donde se encuentran asentadas la parte alta de la delegación Miguel Hidalgo así como la parte alta y la porción sudoriental de las zonas conurbadas de los municipios de Naucalpan y Huixquilucan, respectivamente, analizadas en el presente trabajo se originaron a partir del depósito de tobas pumíticas y flujos piroclásticos que arrojaron las erupciones del volcán San Miguel durante el Pleistoceno, y las de los volcanes de Salazar y Chimalpa sobre las rocas lávicas de las laderas de la Sierra de Las Cruces.

Estos depósitos se presentan en capas cuyo espesor varía de medio a muy grueso, conformando una litología moderadamente variable que no representa un factor preponderante en la generación de daños a bienes y personas, a diferencia de la litología más heterogénea que presenta este mismo piedemonte en las delegaciones contiguas.

Las actividades humanas han sido el factor que más ha influido en la modificación del relieve de la zona, así como en la génesis de uno de los daños que se presentan en la misma (colapsos) ya que las excavaciones con fines extractivos efectuadas en los bancos de materiales para construcción han generado amplias depresiones que resultan difíciles de cartografiar, que en algunos casos se han aprovechado posteriormente para la edificación de conjuntos habitacionales o de servicios, pero que en otros se han convertido en la causa de hundimientos de asentamientos humanos y obras civiles cercanas, sobre todo si se encuentran en operación.

La mejor manera de evitar el aumento de estos daños, difíciles de evitar en estas zonas, es impidiendo el establecimiento de más viviendas en estas zonas peligrosas.

Asimismo, la deforestación del área estudiada, que se lleva a cabo principalmente en la zona norte del piedemonte, ha propiciado otros tipos de daños que ocurren en dicha zona: el avance de las cabeceras de los barrancos secundarios por erosión remontante y los derrumbes en lugares donde existen escarpes con alta pendiente.

La construcción de presas reguladoras en los cauces de todas las corrientes principales que drenan el área estudiada ha afectado a la actual zona urbana, que abarca prácticamente todo el piedemonte de la misma, debido al azolve de vasos y cauces, lo que ha generado el ensanchamiento de estos últimos en algunos lugares. Afortunadamente, esto se ha resuelto en gran parte con las obras de desazolve efectuadas en los vasos y cárcamos de dichas obras.

Por su parte, la porción de la planicie donde se ubican las partes bajas de la delegación Miguel Hidalgo y del municipio de Naucalpan conurbado a esta última, tuvieron su origen en el depósito y posterior alteración de materiales detríticos aluviales y cenizas volcánicas en el fondo del antiguo lago de la Cuenca de México, donde se transformaron en arcillas, las cuales provienen tanto de las erupciones volcánicas ocurridas en la Sierra de Las Cruces como de la zona del piedemonte de la misma, el cual se encuentra separado de la planicie lacustre por una franja de depósitos limoarenosos aluviales, producto del depósito de los materiales acarreados por los ríos que drenan hacia la Cuenca en sus desembocaduras, que alternan con estratos arcillosos lacustres que conforman una planicie inclinada en la base del piedemonte.

Dichas planicies se encuentran en la actualidad totalmente urbanizadas, por lo que los mayores daños que se presentan en ellas son los causados a las construcciones por las ondas sísmicas, producto del fenómeno de subducción que está ocurriendo en la parte sur de la costa del Pacífico mexicano.

Este problema se debe esencialmente a la amplificación que hacen los depósitos arcillosos lacustres a dichas ondas sísmicas debido a sus características plásticas.

En lo referente al crecimiento de la mancha urbana, vemos que se ha extendido de manera incontenible hacia las partes altas del área estudiada a partir de 1948, cuando en ese entonces sólo cubría la zona de planicies y la mayor parte del piedemonte inferior de la delegación Miguel Hidalgo; este crecimiento explosivo rebasó el límite estatal llegando a cubrir en 1968 casi toda la delegación, las partes bajas del municipio de Naucalpan y parte del piedemonte inferior del mismo.

Para 1995, todo el piedemonte inferior y casi todo el superior se encontraba urbanizado con construcciones cuya edificación se efectuó incluso en laderas

empinadas; es decir, en las zonas del relieve con mayor pendiente, con mayores niveles de riesgo y de vulnerabilidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARELLANO, A.R.V., 1951 (1953), *Estratigrafía de la Cuenca de México*:  
Universidad Nacional Autónoma de México, Congreso Científico Mexicano,  
México, D.F., Memorias, v.3, p. 172-186.
- BRYAN, KIRK, 1948, *Los suelos complejos y fósiles de la Altiplanicie de México,  
en relación con los cambios climáticos*: Boletín de la Sociedad Geológica  
Mexicana, v. 13, p. 1-20.
- CETENAL, 1976, (Hoja) Ciudad de México (E14 A39): México, D.F.,  
Secretaría de la Presidencia, Comisión de Estudios del Territorio Nacional,  
Carta de Uso del Suelo, escala: 1 : 50,000.
- 1977, (Hoja) Ciudad de México (E14 A39): México, D.F.,  
Secretaría de la Presidencia, Comisión de Estudios del Territorio Nacional,  
Carta Edafológica, escala: 1 : 50,000
- COMISIÓN NORTEAMERICANA DE NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA  
1984, Código Estratigráfico Norteamericano, 1983; México, D.F.,  
Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología,  
Sociedad Geológica Mexicana y Asociación Mexicana de Geólogos  
Petrologos, 87 p.
- CONNOLLY, PRISCILLA, 1990, Delegación Miguel Hidalgo: Departamento del  
Distrito Federal, Colegio de México, Atlas de la Ciudad de México: p. 295-  
299.
- C SERNA, ZOLTAN DE; DE LA FUENTE-DUCH, MAURICIO; PALACIOS  
NIETO, MIGUEL; TRIAY, LEONARDO; MITRE-SALAZAR, LUIS M.;  
Y MOTA-PALOMINO, REYNALDO, 1987 (1988), *Estructuras geológicas,  
gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca  
de México*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de  
Geología, Boletín 104, 71 p.

- GARCÍA-AMARO, ENRIQUETA, 1988, *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*: México, Edición privada, 217 p.
- GARCÍA-ROMERO, ARTURO, 1993, *Análisis geomorfológico de la distribución de los riesgos naturales en la delegación Cuajimalpa de Morelos, Distrito Federal*: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, tesis profesional, 163 p. (inédita).
- GUÍA ROJI, S.A. DE C.V., 1992, (Hoja) Distrito Federal y Municipios conurbados, escala 1 : 30,000.
- 1995, (Plano seccionado y Guía) Ciudad de México, área metropolitana y alrededores, escala 1 : 22,500.
- HEYMAN, ARTHUR, de., 1991, *Desastres, planificación y desarrollo - manejo de amenazas para reducir los daños*: Washington D.C., Organización de los Estados Americanos, Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente, 80 p.
- INEGI, 1985 (Hoja) Ciudad de México (E14 A39): D.F. y Estado de México, Carta topográfica, escala 1 : 50 ,000.
- LUGO-HUBP, JOSÉ; 1984, *Geomorfología del sur de la Cuenca de México*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, Serie Varia, T. 1, núm. 8, 95 p.
- 1988, *Elementos de geomorfología aplicada (métodos cartográficos)*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, 109 p.
- 1991, *Diccionario geomorfológico con equivalentes de los términos más comunes en alemán, francés, inglés y ruso*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, 337 p..
- LUGO-HUBP, JOSÉ; CORDERO-ESTRADA, MARICARMEN; Y ZAMORANO OROZCO JOSÉ JUAN, 1995, *Relieve, litología y riesgos en la zona urbana de la delegación Álvaro Obregón, Distrito Federal, México*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista Mexicana de

Ciencias Geológicas, v. 12, núm 1, p. 52-67:

MOOSER, FEDERICO, 1981, Geología de la Cuenca de México: Departamento del Distrito Federal, Atlas de la Ciudad de México.

-----1990, Estratigrafía y estructuras del Valle de México, in Ovando-Shelley, Efraín, y González-V, F., eds., El subsuelo de la Ciudad de México y su relación con la ingeniería de cimentaciones a 5 años del sismo, Sociedad Mexicana de Mecánica de suelos, México; D.F., simposio, p. 29 a 36.

MOOSER, FEDERICO; TAMEZ -GONZÁLEZ, ENRIQUE; SANTOYO-VILLA, ENRIQUE; OLGUÍN-OLVERA, ERNESTO; Y GUTIERREZ-SARMIENTO C.E., 1986, Características geológicas y geotécnicas del Valle de México: México, D.F., Departamento del Distrito Federal, Comisión de vialidad y Transporte urbano, 32 p.

MOOSER, FEDERICO; MONTIEL; ARTURO; y ZUÑIGA; ANGEL, 1992, Nuevo mapa geológico del sur-poniente del Valle de México; in Sánchez-Mora, Ismael, de., Experiencias geotécnicas en la zona poniente del Valle de México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, p. 5-16.

MOOSER, FEDERICO; y MOLINA, CLAUDIO, 1993, Nuevo modelo hidrogeológico para la Cuenca de México: Centro de Investigación Sísmica, A.C. de la Fundación Javier Barros Sierra, v. 3, núm. 1, México, D.F.

MORA-ÁLVAREZ, GABRIELA; CABALERO-MIRANDA, CECILIA; URRUTIA-FUCUGAUCHI, J.F.; y VICHUIMI, SH., 1991, Southward migration of volcanic activity in the Sierra de Las Cruces, basin of México? - A preliminary K-Ar dating and paleomagnetic study: Geofísica Internacional (México), v. 30, p. 61-70.

NUÑEZ, CARLOS; RODRÍGUEZ-PARGA, JUAN LUIS; RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, RAFAEL; VALLEJO, VICTOR; Y ORTEGA, LINA, 1990, Municipio de Huixquilucan: Departamento del Distrito Federal y Colegio de México, Atlas de la Ciudad de México, p. 348-349.

-----1990, Municipio de Naucalpan de Juárez: Departamento del Distrito Federal y

Colegio de México, Atlas de la Ciudad de México. p. 353-355.

SECRETARÍA DE PROGRAMACIÓN Y PRESUPUESTO, 1980 (Hoja)  
Carta de Climas (E14-2): Dirección General de Geografía del Territorio  
Nacional, escala: 1 : 1,000,000.

-----1980, Guías para la interpretación de Cartografía (Edafología): 32 p.

-----1983 (Hoja) Carta Hidrológica de Aguas Superficiales (E14-2): Dirección  
General de Geografía, escala: 1 : 1,000,000.

SIMONOV, Y.G., 1972, Análisis morfométrico: Universidad Estatal de Moscú,  
Lomonosov, Moscú, URSS.

SPIEGEL, MURRAY R., 1970, Estadística: Serie de compendios Schaum, Libros  
McGraw-Hill de México, S.A. de C.V., 357 p.

SUÁREZ, GERARDO; Y JIMÉNEZ; ZENÓN, 1990, Características de los  
terremotos del 19 y 20 de septiembre en la Ciudad de México,  
Departamento del Distrito Federal y Colegio de México, Atlas de la Ciudad  
de México, p. 153-158

TESORERÍA DEL DISTRITO FEDERAL, 1985 (Hoja) Azcapotzalco  
(E14-A39-13), La Raza (E14-A39-14), Bosques de Las Lomas (E14-A39-22)  
Bosque de Chapultepec (E14-A39-23), Zócalo (E14- A39-24), Santa Fe  
(E14-A39-32), Mixcoac (E14-A39-33): Sistema de Información Cartográfico  
Catastral, Cartas de densidad de la construcción, escala: 1 : 10,000.

VÁZQUEZ-SÁNCHEZ, ELISEO; y JAIMES-PALOMERA, L.R., 1989,  
Geología de la Cuenca de México: Geofísica Internacional (México).  
v. 28, p. 133-190.