

RELIEVE, LITOLOGÍA Y RIESGOS EN LA ZONA URBANA DE LA DELEGACIÓN ÁLVARO OBREGÓN, DISTRITO FEDERAL, MÉXICO

*José Lugo-Hubp¹,
Maricarmen Cordero-Estrada² y
José Juan Zamorano-Orozco¹*

RESUMEN

La delegación del Distrito Federal Álvaro Obregón se encuentra en las laderas montañosas de la sierra de Las Cruces, y el piedemonte de la misma constituye la zona del Distrito Federal donde ocurren más daños anualmente por deslaves, inundaciones y colapsos en antiguos túneles (minas de arena). Estos problemas se deben a la litología, al relieve y a la actividad humana. Los depósitos provenientes del volcán San Miguel consisten en ceniza, pómez, derrames piroclásticos y lahares, además de conglomerado y fanglomerado. El relieve es una superficie inclinada, disecada por barrancos profundos paralelos y por sus afluentes menores.

El crecimiento urbano en los últimos 25 años ha sido explosivo, ocupando zonas peligrosas como cauces fluviales y laderas de barrancos, además de la amplia zona minada. En los últimos cinco años ha habido un mínimo de 28 deslaves y colapsos y 26 inundaciones que causaron daños. Por tanto, este estudio está orientado a conocer los riesgos naturales en la zona, a partir de un análisis geomorfológico.

Palabras clave: Geomorfología, riesgo, delegación Álvaro Obregón, Distrito Federal, México.

ABSTRACT

The Delegación Álvaro Obregón is located on the mountain slopes and piedmont of the volcanic range Sierra de las Cruces. The piedmont is an urban area and it is here where most of the damage in Mexico City, as floods, landslides and collapse of old mining tunnels, occurs each year. These problems are related to lithology, landform and human activity. Deposits from the San Miguel volcano consist of ash, pumice, pyroclastic flows and lahars, as well as conglomerate and fanglomerate. The predominant landform is a sloping surface dissected by deep parallel ravines and their tributaries.

Urban growth has been explosive in the last 25 years, invading areas of risk such as stream beds, ravine slopes and zones with extensive underground mining tunnels. During the last five years, damage has been caused by over 28 landslides and tunnel cave-ins, and 26 floods. The purpose of this study is to recognize the natural hazards in the zone on the basis of a geomorphological analysis.

Key words: Geomorphology, risk, Delegación Álvaro Obregón, Distrito Federal, Mexico.

INTRODUCCIÓN

La delegación Álvaro Obregón (Figura 1) se encuentra situada en el occidente del Distrito Federal, extendida en forma alargada, desde las altas cimas de la sierra de Las Cruces, hasta las antiguas riberas de la planicie lacustre.

La litología consiste en rocas volcánicas que forman las laderas montañosas y un extenso piedemonte, donde predominan capas de depósito de pómez, de derrame piroclástico y de ceniza volcánica.

En esta localidad, han sido explotados, principalmente en la primera mitad de este siglo, los depósitos de pómez, cavando en el suelo de manera rudimentaria. Como resultado, una porción considerable de la delegación está asentada sobre una extensa red de túneles—minas de arena—desconocida en su totalidad y difícil de cartografiar, porque en parte aquéllos están obstruidos por colapsos que se producen frecuentemente, lo que afecta vías de comunicación y casas habitación.

Con el fin de conocer el problema de los riesgos en la delegación Álvaro Obregón, se inició este estudio en 1990, de lo que resultó la tesis profesional del segundo autor (Cordero-Estrada, 1992). Otras tesis se refieren a las zonas contiguas (Hernández-Adame, 1987; García-Romero, 1993), como parte de un estudio geomorfológico que se realiza en el Instituto de Geografía de la UNAM, en relación con algunas localidades de la cuenca de México.

El estudio de los riesgos para esta zona se apoya en dos factores principales: el relieve—geomorfología—y la constitución litológica, además de la influencia del hombre, factores que son analizados en el presente estudio.

EL RELIEVE

La delegación Álvaro Obregón se extiende desde la superficie subhorizontal de la Ciudad de México, a unos 2,240 m s.n.m.m., en dirección al sudoeste, hasta las altas cimas de la sierra de Las Cruces, donde alcanza 3,800 m s.n.m.m. en una distancia horizontal de aproximadamente 20 km, resultando un fuerte gradiente de 0.78, que condiciona diferencias climáticas notables entre la porción de menor altura y la de mayor altura:

¹Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 D.F.

²Secretaría de Desarrollo Social, Río Elba 22, Delegación Cuauhtémoc, 06500 D.F.

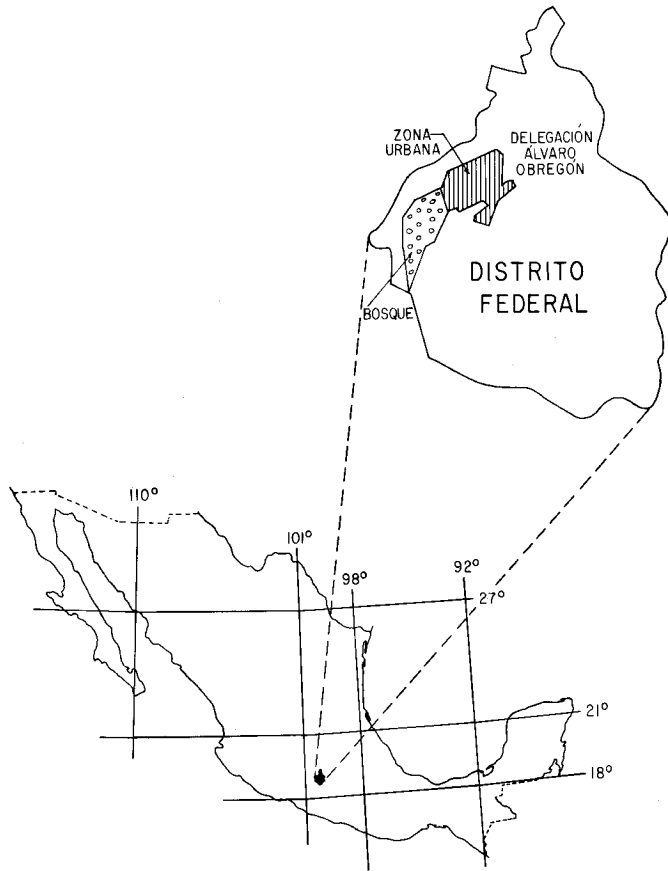


Figura 1.- La delegación Álvaro Obregón en el Distrito Federal y la posición de éste en la República Mexicana.

temperaturas medias anuales de 15 y 10°C, respectivamente, y precipitaciones medias anuales de 736 y 1,300 mm, respectivamente (valores aproximados, de acuerdo con García-Amaro, 1988). El escurrimiento de las corrientes consecuentes es permanente, con fuertes crecidas ocasionales, aunque el régimen hidrológico ha sido alterado considerablemente por obras como presas, entubamiento y otras.

El relieve se puede subdividir en tres unidades principales: las laderas montañosas, el piedemonte y la planicie lacustre—aunque esta última representa solamente la ribera. Este estudio se concentró en el piedemonte, analizando en especial la morfología y litología de los barrancos que lo cortan.

De sur a norte, son reconocidos siete barrancos principales (Figura 2): La Malinche (Contreras-Magdalena), San Ángel, San Ángel Inn (Guadalupe), Puerta Grande, Mixcoac, Becerra y Tacubaya. Sólo el río Mixcoac se extiende hasta las laderas montañosas, por arriba de los 3,000 m; el resto tiene sus cabeceras a menos de 2,700 m s.n.m.m., lo que se refleja en un predominio de la erosión remontante.

Las formas del relieve fueron definidas a partir del análisis de mapas topográficos de escala 1:7,500, de lo que resultó un primer mapa geomorfológico, mismo que fue simplificado para su publicación (Figura 3) en una escala menor, y que se explica a continuación.

Las laderas montañosas (Figura 3, [1]) son superficies de fuerte inclinación—más de 15 grados—y se presentan en general a partir de los 2,700 m s.n.m.m. Están constituidas de rocas volcánicas andesíticas, con una cubierta de material piroclástico de grosor variable. El contacto de las laderas con el piedemonte—llamado por Mooser y colaboradores (1986) abanicos volcánicos—es fácilmente reconocible por un cambio de pendiente de 15-30 a unos 6° y se puede subdividir en dos porciones: una inferior, de los 2,250 a los 2,400 m s.n.m.m., con piedemonte menor de 4°, y otra superior—2,400-2,700 m s.n.m.m. Su constitución es esencialmente de material volcánico de caída—pómez y piroclastos finos—así como de derrame piroclástico. En menor grado, existen acumulaciones de lahar, de corriente de lodo—de desembocadura fluvial—y de cauce fluvial.

Las superficies de divisorias de aguas (Figura 3, [2]), son franjas rectilíneas-sinuosas y estrechas, planas en sección transversal e inclinadas de 3 a 8° en sentido longitudinal, que han sido aprovechadas para el trazo de vías de comunicación y asentamientos humanos. Son las porciones más estables del relieve de la zona en estudio, residuos del piedemonte original. Sobre éstas, se ha construido las vías de comunicación más importantes, como las calzadas Las Águilas, Santa Lucía, Santa Fe, Constituyentes, etc.

Con las anteriores, limitan las laderas convexas de piedemonte, con inclinación de 4-10°, transicionales entre las superficies de divisoria y las laderas de los barrancos; han sido poco modificadas por la erosión, urbanizadas casi en su totalidad, son favorables para las construcciones y representan la mayor parte de la superficie de la zona estudiada (Figura 3, [3]).

El piedemonte se encuentra cortado por una serie de barrancos profundos, de laderas empinadas y de fondo estrecho. Se han formado principalmente por una erosión remontante que se reconoce en las cabeceras que no alcanzan las porciones elevadas de las montañas. Son de dos tipos: los mayores y los secundarios (Figura 3, [4, 5]). Los primeros son paralelos, consecuentes, con corrientes permanentes y de formación antigua; están controlados por fallas (de Cserna *et al.*, 1988; Mooser *et al.*, 1992), y de acuerdo con este último autor y sus colaboradores, los grandes barrancos de Contreras—La Malinche—y Tacubaya en los extremos meridional y septentrional de la zona estudiada, corresponden a dos grandes fallas que delimitan una fosa extendida hacia la planicie lacustre.

Las laderas de los barrancos mayores son generalmente estables. La erosión vertical ha creado profundidades de más de 40 m y en estas superficies se ha desarrollado una vegetación arbórea que frena los procesos erosivos. En gran parte, las laderas están urbanizadas (Figura 4), donde son reconocidos tres tipos de construcciones. El primero son las casas pequeñas, improvisadas, de cartón y lámina, con frecuencia en condiciones riesgosas; el segundo, construcciones modestas, pero más sólidas y con menor riesgo; el tercero son las buenas construcciones, hechas incluso en laderas de fuerte pendiente,

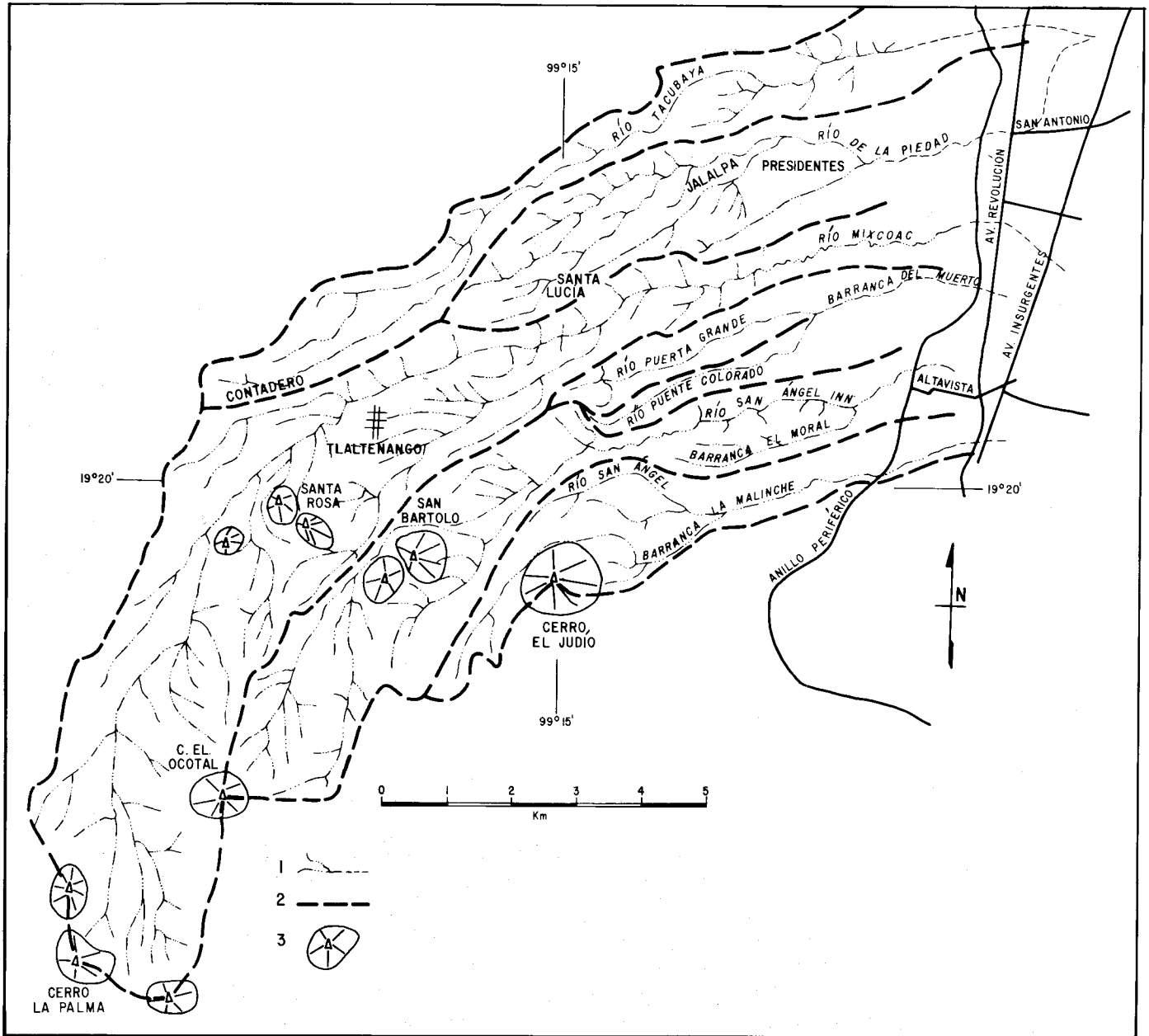


Figura 2.- Rasgos fisiográficos de la delegación Álvaro Obregón. 1, Corrientes fluviales; 2, líneas divisorias de aguas principales; 3, volcanes.

modificadas por obras de ingeniería; aunque en menor grado, éstas también son afectadas por deslaves.

Los barrancos secundarios (Figura 3, [5]) son mayoritariamente pequeños y poco profundos, con corrientes de temporada, mucho más activos en lo que se refiere a su crecimiento, en especial en las cabeceras; se originaron en tiempos históricos, debido principalmente a la deforestación (Figura 5). Están en las etapas iniciales de desarrollo, con profundidades de 2-10 m y hasta 20-40 m los más profundos. El crecimiento se da principalmente en época de lluvias, favorecido por la litología de material no consolidado y por las modificaciones al relieve causadas por la acción humana. Son importantes por el riesgo que representan a las vías de comunicación y asentamientos humanos. Muchos están parcialmen-

te urbanizados con construcciones del segundo y tercer tipos. Son las formas del relieve con mayor riesgo por deslaves—desrumbes de poca magnitud.

Los cauces y llanuras de inundación, de 50 a 175 m de anchura (Figura 3, [6]), son provocados en muchos casos por las presas que, al frenar el flujo del agua, obligan al depósito de sedimentos aguas arriba, rellenando el fondo del valle. A pesar del riesgo por inundación, hay escasos asentamientos irregulares.

Algunas laderas del piedemonte, modeladas por la erosión fluvial (Figura 3, [7]), presentan numerosos barrancos menores (Figura 6). En gran parte, están ocupadas por casas habitación, donde los problemas principales son ocasionados por la densidad alta de éstas y los andadores en pendientes

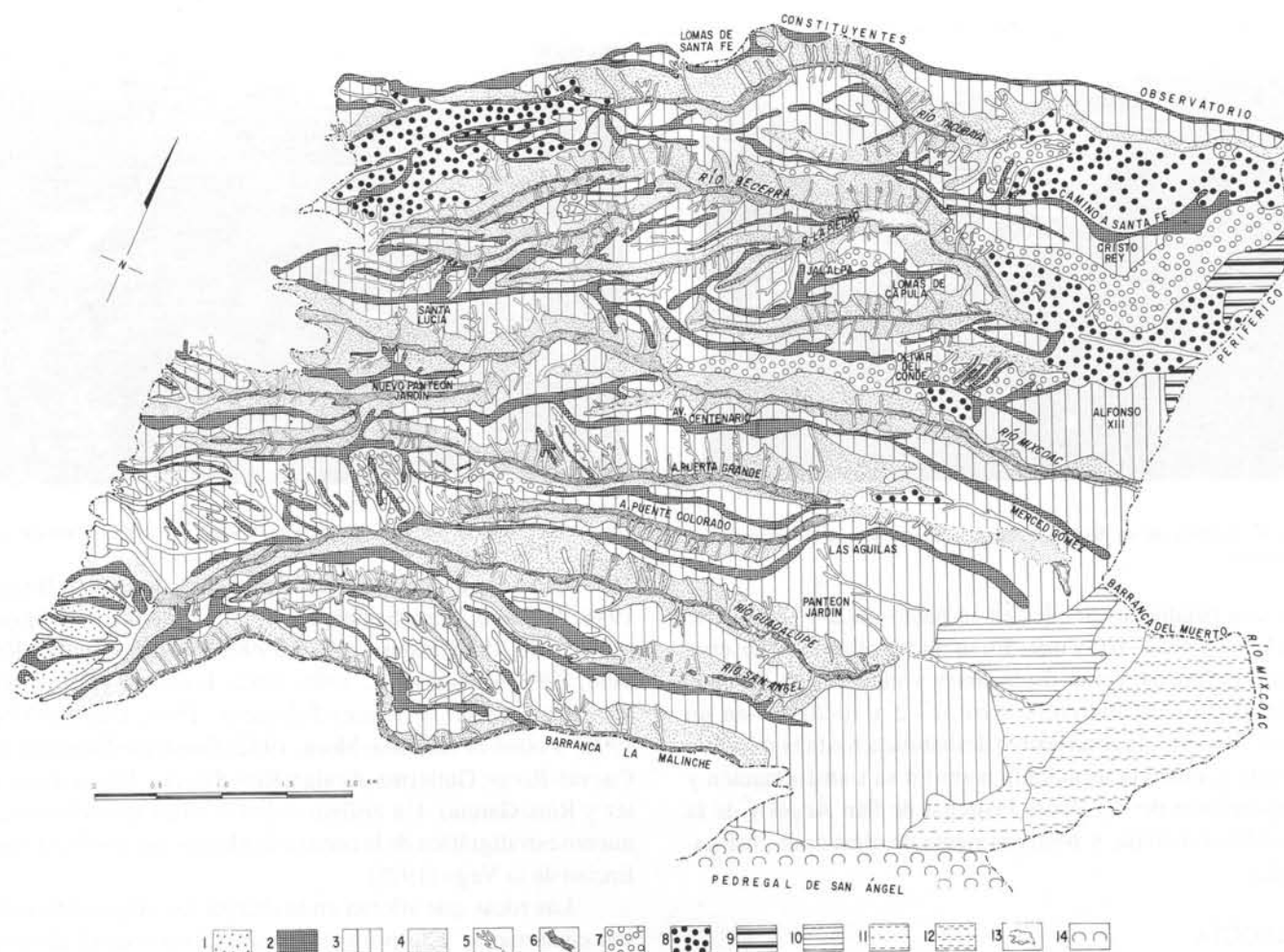


Figura 3.- Mapa geomorfológico de la zona urbana de la delegación Álvaro Obregón. 1, Laderas montañosas de lava y material piroclástico; 2, superficies de divisorias de aguas; 3, laderas de piedemonte, convexas, transicionales de las divisorias al borde de los barrancos; 4, laderas erosivas, cóncavas o rectas de los barrancos principales; 5, barrancos secundarios; 6, cauce y llanura de inundación de los barrancos principales; 7, laderas modeladas por la erosión, con numerosos barrancos secundarios; 8, superficies de grandes dimensiones, originadas por la actividad humana, principalmente depresiones (canteras); 9, planicie inclinada del piedemonte inferior (2,300-2,280 m s.n.m.); 10, planicie inclinada (2,280-2,260 m s.n.m.); 11, planicie inferior transicional a la planicie lacustre (2,260-2,250 m s.n.m.); 12, planicie lacustre-aluvial (menos de 2,250 m s.n.m.); 13, presas; 14, lavas del volcán Xictli.

fuerzas que encauzan el agua de lluvia; localmente se llegan a producir deslaves.

El relieve antrópico de dimensiones cartografiables en la escala aplicada, consiste principalmente en grandes depresiones (Figura 3, [8]), formadas a partir de la excavación—bancos de material—hacia los lados de barrancos (Figura 7).

Una superficie de piedemonte en su porción inferior es de suave inclinación, entre las cotas de 2,300 y 2,280 m s.n.m. (Figura 3, [9]), con urbanización parcial.

La planicie de nivel de base, urbanizada totalmente, es la porción más baja de la delegación. Los problemas que suelen presentarse son las inundaciones por encharcamiento, y en algunas localidades, por desborde de presas e insuficiencia del drenaje. Para la zona estudiada, fueron diferenciados los siguientes tres tipos de planicie:

a. Inclinada, extendida en un nivel inferior al piedemonte (Figura 3, [10]), con una pendiente de 1.5-3°, entre los 2,280 y 2,260 m s.n.m. Se originó por acumulación volcánica y fluvial—proluvial—en las desembocaduras de los arroyos. En la

actualidad, está urbanizada totalmente y las formas del relieve modificadas y cubiertas.

b. De inclinación débil, de 0.5 a 1.5°, entre los 2,250 y 2,260 m s.n.m., constituye una extensión del piedemonte hacia la planicie lacustre (Figura 3, [11]). También se encuentra urbanizada.

c. La más baja (Figura 3, [12]), representa una zona de antigua acumulación de los arroyos en su desembocadura en la ribera del lago, con una altitud aproximada de 2,250-2,240 m s.n.m.; está urbanizada en su totalidad e inclinada ligeramente—menos de 30 minutos—al oriente y al norte.

En el extremo meridional, se reconoce una de las formas más jóvenes del relieve: una colada de lava (Figura 3, [14]), originada por el volcán Xictli, hace unos 2,200 años—datación de Libby (1955).

Por su juventud y permeabilidad alta, no ha sido alterada por el intemperismo y la erosión. Es muy estable, cubre una superficie de unos 70 km² y pertenece a las delegaciones Tlalpan, Coyoacán y Álvaro Obregón. Está inclinada hacia el

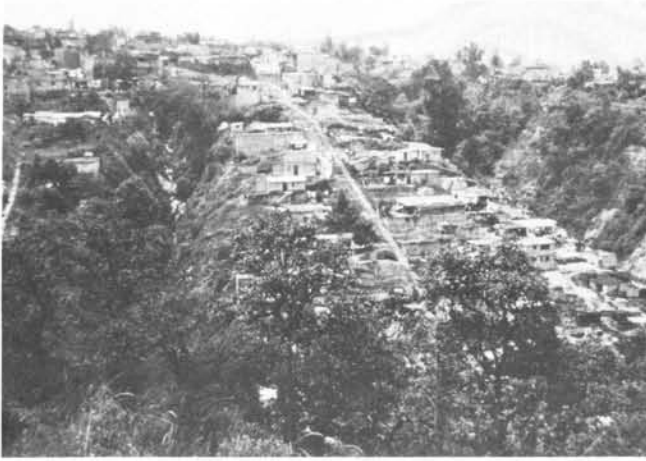


Figura 4.- Ladera de un barranco mayor cortada por otros secundarios, transversales.

norte, con pendientes débiles en su base—de 2-3°—y fuerte hacia la parte alta—10° y más. En su microrrelieve, se observa numerosas formas, como depresiones y elevaciones de unos cuantos metros de diferencia vertical—2 a 10-20 m—en un malpaís. Por esto, la zona estuvo deshabitada hasta la mitad de este siglo, cuando la tecnología permitió su transformación y la construcción de la colonia Pedregal de San Ángel y de la Ciudad Universitaria, y posteriormente de otras zonas habitacionales.

LITOLOGÍA

La secuencia estratigráfica conocida de la cuenca de México abarca desde el Cretácico hasta el Cuaternario, aunque en la superficie sólo afloran rocas de origen volcánico y derivadas de éstas, cuyas edades más antiguas son consideradas del Oligoceno, de acuerdo con los estudios de diversos autores (Mooser, 1956, 1975; Schlaepfer, 1968; Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989). La información sobre las rocas del occidente de la cuenca de México, en especial del piedemonte,



Figura 5.- La cabecera de un barranco menor avanza sobre una calle.

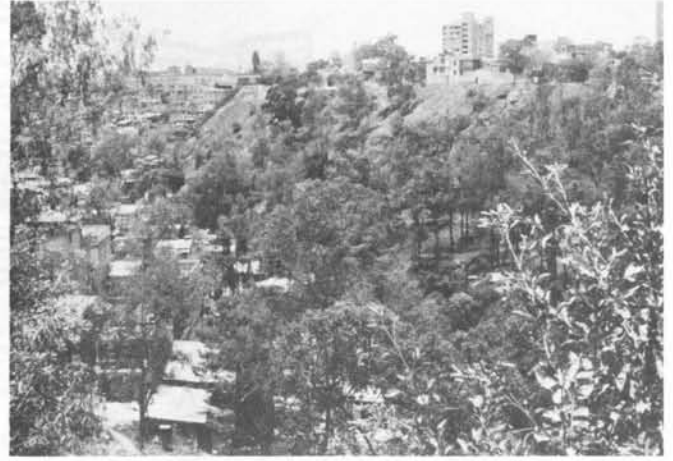


Figura 6.- Ladera de barranco mayor con construcciones de diversos tipos.

está contenida en varias publicaciones (Ordóñez, 1895; Bryan, 1948; Arellano, 1953; Schlaepfer, 1968; Dávalos, 1976; Springall-Caram, 1976; Mooser, 1976, 1990; Mooser y Montiel-Rosado, 1989; Mooser *et al.*, 1986, 1992; de Cserna *et al.*, 1988; Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989; Pantoja-Alor, 1991; y otros *in* Sánchez-Mora, 1992; Gutiérrez-Sarmiento y Cuevas-Rivas; Gutiérrez-Ayala y Ríos-García; Tamez-González y Ríos-García). Un análisis sobre la situación del conocimiento estratigráfico de la cuenca de México fue publicado por Enciso de la Vega (1992).

Las rocas que afloran en la delegación Álvaro Obregón son cuaternarias y su posición estratigráfica y edad absoluta han sido establecidas gradualmente en los últimos años, aunque no en forma definitiva.

El piedemonte está constituido por varios tipos de sedimentos, que Bryan (1948) y Arellano (1953) llamaron Formación Tarango. Bryan (*op. cit.*) consideró que la Formación Tarango es de unos 300 m de grosor al sudponiente de Mixcoac, donde está bien expuesta, y es indicio del fin del gran vulcanismo en la región.



Figura 7.- Las excavaciones a cielo abierto dieron origen a esta planicie en la margen meridional del río Tacubaya.

Pantoja-Alor (1991) identificó hasta tres horizontes o mantos de pómez que afloran en la parte superior de la columna estratigráfica y a más de 5-10 m bajo la superficie, con un grosor de 1.5-3 m, con distintas tonalidades que van del blanco al gris, rosa, amarillo, marrón y pardo, debidas a la alteración química.

Mooser y colaboradores (1992) reconocieron en el piedemonte de la sierra de Las Cruces las siguientes unidades litológicas: (1) derrames piroclásticos, arenas azules (270,000 años); (2) erupciones piroclásticas Xolopo (430,000 años); (3) tres erupciones plinianas de pómez; (4) derrames piroclásticos Cuquita; (5) erupciones de nubes ardientes menores de polvo fino (de menos de 600,000 años).

Los estudios geotécnicos de diversos autores (Rodríguez y León, 1976; Gutiérrez-Ayala y Ríos-García, 1992; Tamez-González y Ríos-García, 1992; Sánchez-Mora, 1992; Gutiérrez-Samiento y Cuevas-Rivas, 1992), para el occidente de la zona urbana, definen con precisión los tipos litológicos que establecieron Mooser y colaboradores (1992).

En el piedemonte de la delegación Álvaro Obregón, los autores presentes reconocieron, en el trabajo de campo, seis unidades litológicas principales, las cuales se describe a continuación (Figuras 8 y 9).

1. Piroclastos finos—principalmente cenizas—de color amarillo claro a pardo (Figura 10), en partes con un tono rosado. Es el depósito con mayor distribución horizontal y vertical en la

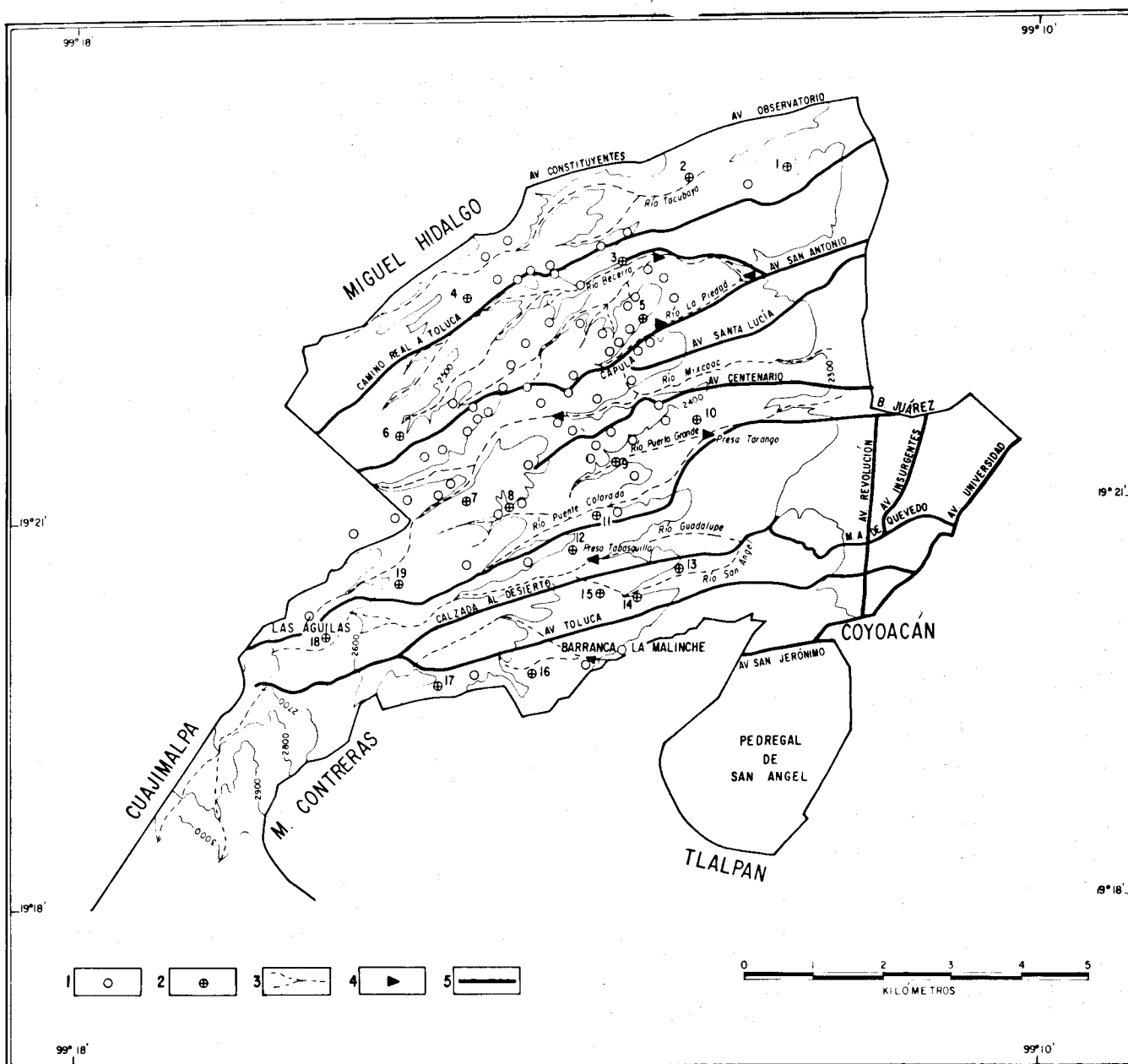


Figura 8.- Localidades donde fueron hechas observaciones detalladas. 1, 2, Localización de las columnas litológicas de la Figura 9; 3, corrientes fluviales principales; 4, presas; 5, avenidas principales.

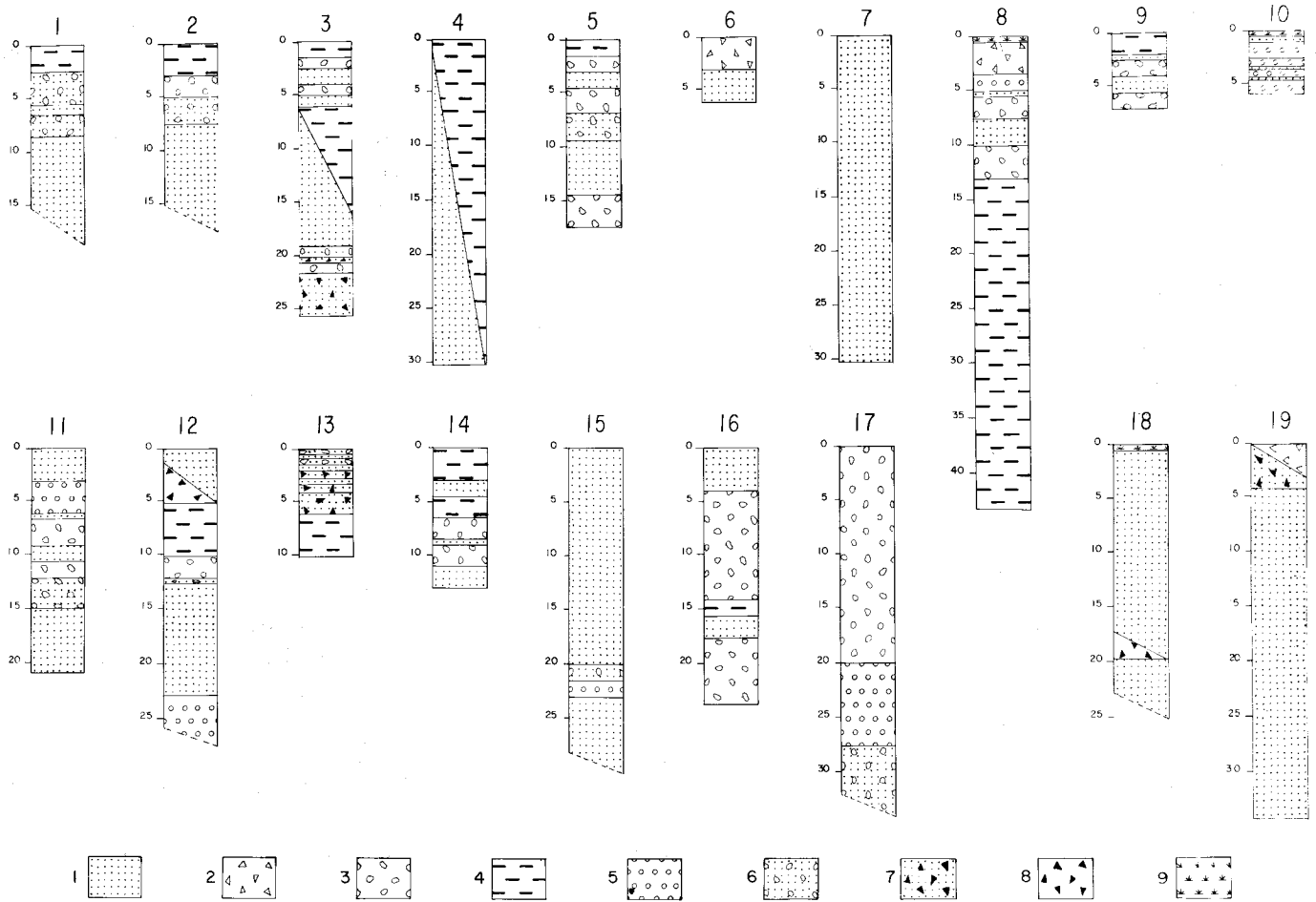


Figura 9.- Columnas litológicas en la zona estudiada. Su localización se indica en la Figura 8. Símbolos litológicos: 1, Ceniza volcánica; 2, depósitos de lahar; 3, pómez; 4, depósitos de derrame piroclástico; 5, conglomerado; 6, ceniza con pómez; 7, ceniza con clastos; 8, depósitos de derrame de lodo; 9, suelos.

zona estudiada; frecuentemente se observó en la parte superior de las columnas, lo mismo que en la inferior. En varias se apreció dos depósitos de ceniza separados por capas delgadas de pómez, de derrame piroclástico y otras. El grosor mínimo es de unos 50 cm y el máximo de aproximadamente 50 m observables. Algunas localidades donde se puede apreciar son la ladera meridional del río Becerra (Figura 9, [12]), así como la confluencia de los ríos Puerta Grande y Puente Colorado, en la presa Tarango (Figura 9, [15]).

2. Otra de las unidades es una ceniza—semejante a la del punto anterior—con clastos angulosos, mal clasificados, con tamaños máximos de 70 cm, en promedio de 15 cm, y el mínimo de 0.5 cm; se trata de material andesítico de colores rojo y gris. Esta capa tiene un grosor de hasta 2 m y un mínimo de 50 cm. Se encuentra asociada con la toba de piroclastos pumíticos finos, en apariencia el mismo material en cuanto a constitución y edad, con fragmentos de lava, producto de derrames piroclásticos. Se observó en la margen del río San Ángel (Figura 9, [13]) y a un lado de la calzada Las Águilas (Figura 9, [19]).
3. La ceniza con pómez es una capa transicional entre dos unidades distintas en contacto normal. El grosor máximo es de 1.50 m y el mínimo de 50 cm. La pómez es de color blanco, con

fragmentos de 0.5 a 5 cm, bien redondeados y se reconoce en la ribera del río Tacubaya (Figura 9, [2]), en el río Puente Colorado (Figura 9, [11]) y a un lado de la avenida Toluca, en los límites con la delegación Contreras.

4. Pómez. Es un tipo de depósito común en la zona estudiada. Se observa en forma continua, principalmente en el subsuelo, a poca profundidad, por lo general yaciendo bajo un depósito de derrame piroclástico. Se observó en la mayoría de los barrancos profundos del piedemonte superior. Hacia la parte inferior, el grosor de las capas de pómez se reduce y aumenta al sudoeste (Figura 11).

En las columnas litológicas diferentes que fueron hechas en el campo, se observó hasta tres capas de pómez—lo que ya fue señalado por Pantoja-Alor (1991) y Mooser y colaboradores (1992)—separadas por otros depósitos volcánicos—ceniza, ceniza con pómez, depósito de derrame piroclástico. Fueron reconocidos tres tipos principales de pómez:

a—En capas casi horizontales; es el tipo dominante en la zona estudiada, con grosor máximo de 5 m y mínimo de 50 cm; predominan los cercanos a 1.5 m. Son materiales de color amarillo claro (Figura 12). Se reconoce fácilmente en las laderas meridionales del río Mixcoac, en la calle Garzas (Figura 9, [17]).

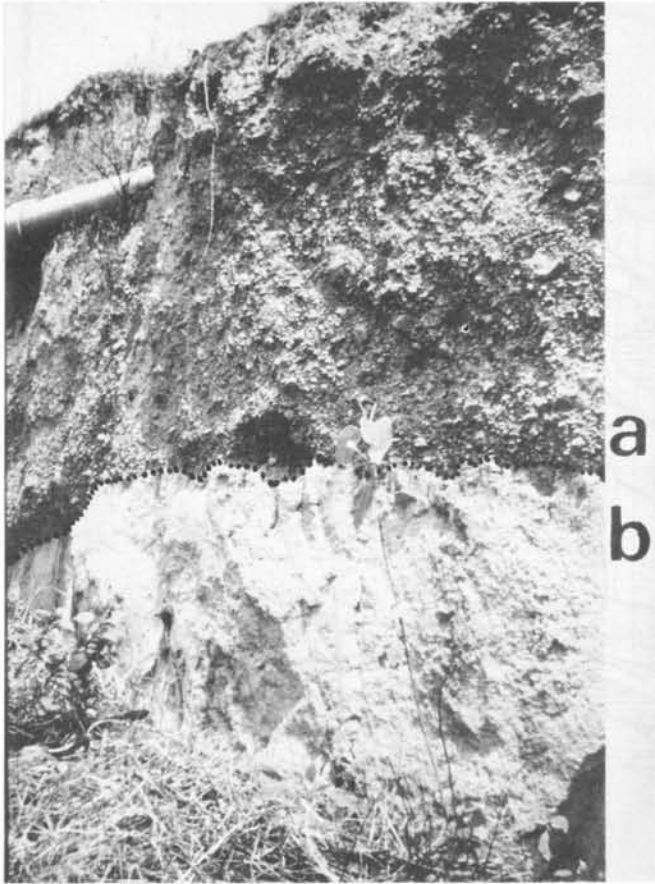


Figura 10.- Un depósito de derrame piroclástico (a) yace sobre otro de ceniza volcánica (b).

b— Una pómez fina, poco común en la zona estudiada, de color blanco, constituida por fragmentos pequeños, menores de 3 mm y de hasta 5 mm. Se presenta en lentes de 10 a 15 cm de grosor, en los barrancos de Tarango y Las Flores, en la ladera meridional del río Becerra, cerca de la presa San Francisco—próxima al punto 3 de la Figura 8.

c— Pómez rosa. Se presenta en estratos de 1 a 3 m de espesor, con fragmentos de 1 a 15 cm de diámetro, donde predominan los de tamaño aproximado de 10 cm. Fueron observados en las laderas septentrionales del río La Piedad en una antigua mina ya cancelada, en la calle Golondrina del Río.

5. Depósitos de derrames piroclásticos. Se reconoció tres tipos principales:

a— Clastos mal clasificados, angulosos, con tamaño de 2 a 5 cm que llega a alcanzar un máximo de 15 cm, de color gris azulado, en general, y ocasionalmente rosa o pardo rojizo; son de poca consolidación. Se disponen en capas de 5 m o más de grosor, apoyados generalmente en tobas o pómez. Se observa los espesores mayores al norte de la delegación, en la autopista a Toluca (Figura 9, [4]), frente a la Universidad Iberoamericana; cerca de Santa Fe, las capas alcanzan más de 30 m, con grandes bloques de hasta 1 m, aunque predominan los de 10-15 cm. Están bien definidos por Gutiérrez-

Ayala y Ríos-García (1992), en la zona contigua a la delegación Cuajimalpa.

b— Una capa delgada, desde 60 cm hasta 2 m, con clastos angulosos bien clasificados, de 1-5 cm, bien cementados (Figura 13), descansando en forma concordante, generalmente sobre pómez. Son los más extendidos en la zona estudiada y los más jóvenes, arenas azules, de 170,000 años (Mooser *et al.*, 1986). Un afloramiento representativo se encuentra en la calle Grover Cleveland de la colonia Ampliación Presidentes (Figura 9, [8]).

c— Sedimentos volcánicos de color gris azulado. Son clastos angulosos bien clasificados, de tamaños que varían entre algunos milímetros y 3 cm, poco consolidados y dispuestos en forma masiva, hasta de 20 m de grosor. Es una variedad de las arenas azules. El afloramiento característico se reconoció en una cantera en explotación al sur de la Universidad Iberoamericana. No son reconocibles fácilmente, debido a la explotación que se ha hecho de los mismos. Gutiérrez-Sarmiento y Cuevas-Rivas (1992) los describieron como "conglomerado azul". En apariencia, el primer tipo descrito es más antiguo, mientras que se considera a los otros dos de una misma etapa de erupción.

Estos tres depósitos son los que Mooser y colaboradores (1986) llaman arenas azules y pueden ser observados en las canteras en explotación contiguas a la Universidad Iberoamericana. En la margen septentrional de la autopista a Toluca, aflora un derrame piroclástico más antiguo, llamado por Mooser y colaboradores (*op. cit.*) Cuquita, característico por su matriz pumítica y bloques, desde pequeños, de 1-3 cm, hasta mayores de 30 cm. Se elaboró un mapa que muestra las zonas donde se reconoce los depósitos de derrame piroclástico, sin diferenciarlos (Figura 14).

Otros sedimentos que están dispuestos en localidades reducidas, son los originados por lahares, derrames de lodo y los conglomerados fluviales.

6. Los depósitos de lahar—o de derrame piroclástico—fueron reconocidos especialmente en la ladera meridional del río Puente Colorado, en las calles Cerrada Remanso de Gipaetos y Chotocabras de la colonia Lomas de las Águilas, de un grosor observable de unos 35 m, con bloques de andesita de hasta 1.50 m de diámetro, angulosos; la clasificación del material es mala y los tamaños varían hasta el centímetro, aunque los más representativos son de 10-20 cm. Presentan una compactación regular, cementados con piroclastos finos con pómez.

7. Los depósitos de derrame de lodo, característicos de corrientes montañosas, fueron reconocidos en afloramientos pequeños. Generalmente consisten en bloques angulosos y subredondeados con clasificación regular, con tamaños máximos de un metro de diámetro, medios de 10-20 cm y menores de 1-5 cm. A diferencia de los depósitos de lahar, se presentan en capas de menor grosor y con una mejor clasificación de los detritos; son los depósitos característicos de desembocadura de arroyos montañosos.

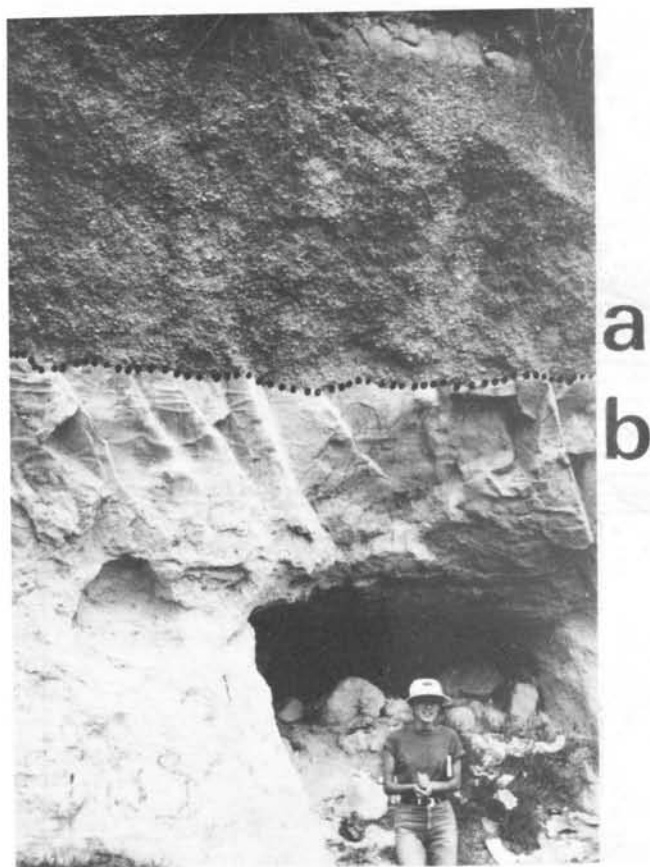


Figura 12.- Depósito de derrame piroclástico (a), sobre otro de pómez (b). La oquedad es una de las numerosas bocas de las minas de arena.

casas habitación y vías de comunicación, lo que se discutirá más adelante.

EVOLUCIÓN DEL RELIEVE

A partir del Oligoceno, el relieve de la actual cuenca de México se desarrolló esencialmente por volcanismo. Se trata de una zona activa, parte de otra mayor, el Eje o Cinturón Volcánico. Las erupciones se produjeron en alternancia con erosión y acumulación.

La sierra de Las Cruces debe haberse formado a partir del Plioceno, ya que sus rocas descansan discordantemente sobre otras vulcanitas del Mioceno medio y superior (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989). Fechamientos hechos por Mora-Álvarez y colaboradores (1991) de rocas que constituyen la sierra, proporcionaron una edad máxima cercana a los 3 Ma en el norte de la misma, mientras que las edades de otras cuatro muestras recolectadas en dirección meridional disminuyen hasta 0.39 ± 0.16 Ma en el volcán Ajusco.

El piedemonte de la zona estudiada se formó en el Cuaternario, aproximadamente hace 700,000 a 500,000 años (Mooser *et al.*, 1992). Poderosas erupciones arrojaron pómez y dieron lugar a derrames piroclásticos que se desplazaron



Figura 13.- Depósitos de derrame piroclástico, arenas azules, de detritos grandes mal clasificados. La marca señala un bolígrafo de 15 cm.

varios kilómetros al oriente. La regularidad de las capas, en su extensión y grosor, demuestra que se produjeron en una superficie poco accidentada; asimismo, que provienen de una misma etapa de actividad, ya que los contactos son normales. Este piedemonte debe haber crecido como los similares de otros volcanes compuestos como el de Colima, Popocatepetl, Nevado de Toluca, por ejemplo, donde además de las grandes acumulaciones volcánicas, en la parte baja se forman conos de erupción en las desembocaduras de los arroyos, proceso que debió ser más activo después del cierre de la cuenca de México por el sur. También hay que considerar un posible levantamiento originado por la formación de domos en la actual sierra de Las Cruces, lo que contribuye a la formación de la superficie inclinada y su disección profunda (Bryan, 1948).

RIESGOS

En el Distrito Federal, la delegación Álvaro Obregón es la que presenta un mayor número de problemas anualmente por daños a casas y vías de comunicación, frecuentemente con pérdida de vidas humanas. Una razón es la constitución litoló-

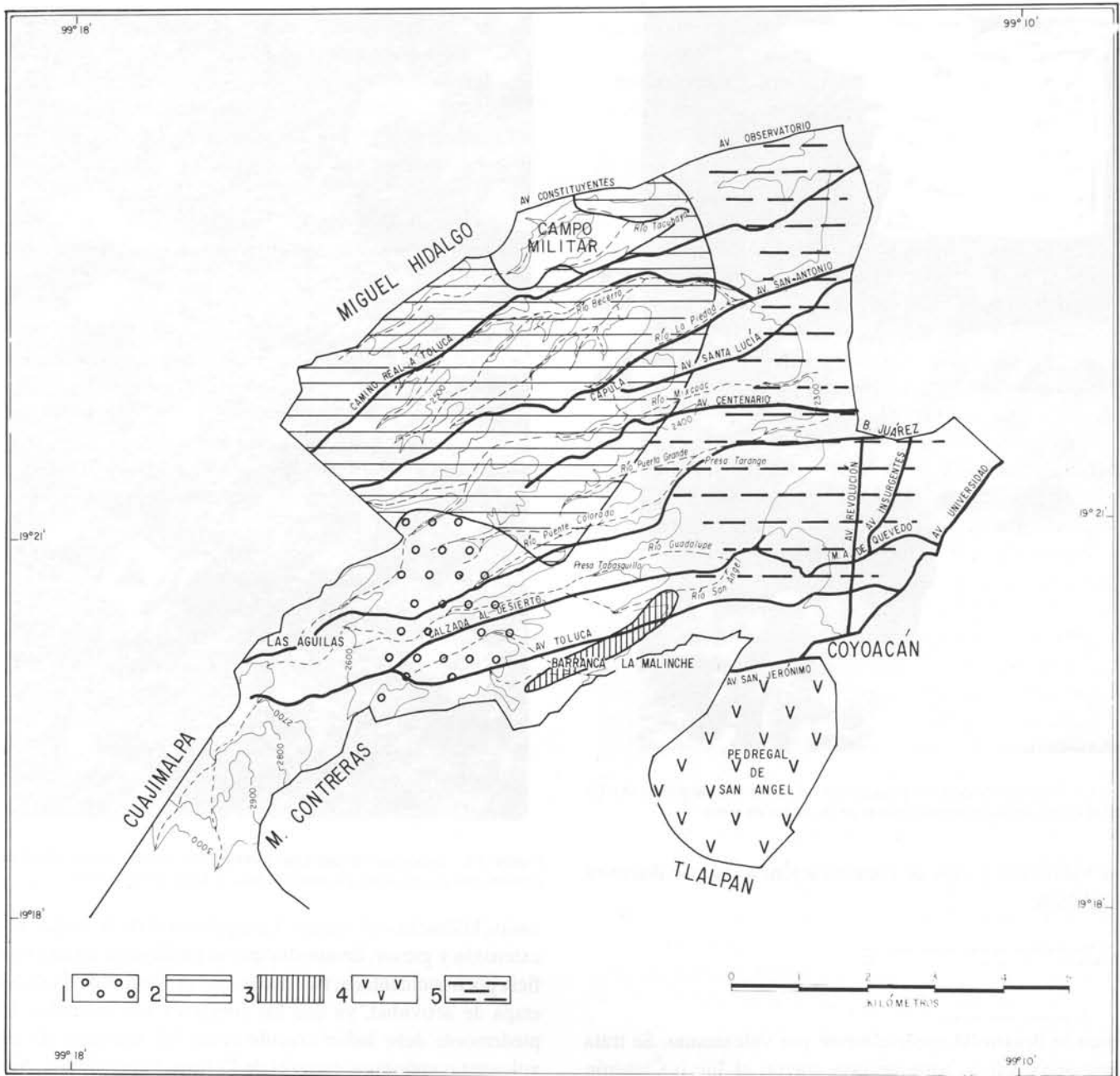


Figura 14.- Depósitos de derrame piroclástico (reconocidos en la superficie y en el subsuelo), y otros superficiales. 1. Ceniza volcánica (toba); 2, depósitos de derrame piroclástico con grosores de más de 10 m; 3, de menos de 1 m y hasta 9-10 m; 4, lavas holocénicas; 5, superficie con afloramientos escasos por la urbanización.

gica particular, pero los problemas se agravan por la influencia del hombre que ha causado una modificación seria en el relieve y el subsuelo.

El tema de los riesgos es de actualidad en las ciencias naturales y sociales, porque los daños a personas o bienes van en aumento en el mundo. En este estudio, no se aplicó la terminología que al respecto ha surgido para diferenciar la categoría de los daños posibles de ocurrir, que incluye vocablos como peligro, vulnerabilidad, amenazas naturales y otros. Al respecto, es valioso el estudio editado por Heyman (1991). Para el caso de este artículo, se optó por el término general

riesgo, de acuerdo con su significado: "proximidad de un daño". Se considera que la terminología especializada se justifica en trabajos más específicos, con cuantificaciones de tipos de riesgo.

Hay tres tipos de daños que ocurren con frecuencia en la zona estudiada. El primero es el de los colapsos por la presencia de túneles en el subsuelo; problema complejo por el desconocimiento total de la red de túneles. El segundo son los deslaves que ocurren en escarpes y cabeceras de barrancos; casi todos los potencialmente activos fueron reconocidos en el estudio geomorfológico. El tercero son las inundaciones de

diverso tipo, producto de un proceso natural. De todos estos riesgos, los escarpes y cabecera de barrancos son los que se define con precisión; y los colapsos e inundaciones son señalados en el mapa, de acuerdo con su presencia en los últimos cinco años.

1. Túneles—minas de arena. Están distribuidos ampliamente en todo el piedemonte inferior y en la parte superior, hasta los 2,600 m s.n.m.m., en general tienen alturas de 1 a 5 m. En el campo, se observó que los afloramientos de pómez de mayor grosor se presentan entre los 2,350 y 2,450 m s.n.m.m. Entre los estudios que han sido publicados al respecto, una serie de artículos sobre geotecnia, litología y riesgos (*in* Springall-Caram y Martínez-Mier, 1976) trata el problema de la ciudad, y especialmente la delegación Álvaro Obregón, donde definieron cuatro zonas minadas con diferente grado de peligro: alto en las colonias Capula y Golondrinas, medio en La Mexicana-Jalalpa, bajo al sudoeste de Golondrinas y nulo en Las Águilas. Entre 1989 y 1993, hubo colapsos en las zonas primera, segunda y cuarta. Seguramente, la valoración para esta última fue correcta, y el factor que ya se mencionó de la influencia humana que transforma rápidamente las condiciones existentes, favoreció los procesos dañinos que tienen lugar en la delegación.

Las capas de pómez fueron explotadas desde fines del siglo pasado, en forma rudimentaria, hasta el año 1968, cuando el Departamento del Distrito Federal prohibió la excavación (Springall-Caram y Martínez-Mier, 1976). Los afloramientos en las laderas permitían la extracción siguiendo la capa subterránea, generalmente de 1-3 m de grosor. Por esto, en una zona amplia del piedemonte hay extensas oquedades e incluso con dos y tres niveles de túneles.

La pómez está presente en una superficie amplia de la delegación Álvaro Obregón (Figura 11); sin embargo, se considera que las localidades de mayor peligro están bien localizadas, primeramente por estudios de ingeniería que han sido elaborados (Springall-Caram y Martínez-Mier, 1976), y posteriormente, por la frecuencia con que suceden los colapsos. En este estudio se señala las zonas donde han ocurrido colapsos, que en principio son las más peligrosas, como Golondrinas, Jalalpa y La Mexicana, aunque también tienen lugar en niveles altitudinales menores—cerca del anillo periférico—donde todo está cubierto por asentamientos humanos.

2. Cabeceras de barrancos. Los barrancos menores son, en su mayoría muy activos, sobre todo sus cabeceras (Figura 15), que avanzan por el proceso normal de erosión remontante. Las observaciones y mediciones hechas en el lapso de dos años han permitido reconocer velocidades de hasta 1 m/año. Sin embargo, es un período muy breve y se requiere de un estudio más prolongado para conocer mejor este proceso.

En apariencia, casi todos los barrancos con cabeceras activas son muy recientes, debido a la actividad humana en la época anterior a la Conquista, y posiblemente la tala es uno de los factores que más influyó en su desarrollo. Están en el piedemonte superior, en cualquier tipo de la litología reconocida,

pero hay diferencias en cuanto a la resistencia a la erosión. La toba de piroclastos finos, en general compacta, es la roca más resistente; sin embargo, se llega a producir desprendimientos en bloques por lluvias intensas.

El material menos resistente es la pómez que se erosiona fácilmente. Los depósitos de derrame piroclástico de bloques pequeños bien clasificados muestran una mayor compactación y resistencia a la erosión, por lo que su desprendimiento y remoción, aunque constantes, son en volúmenes pequeños; las capas de material mal clasificado, de tamaño grande, originado también por lahar, son poco resistentes y son erosionadas por deslaves.

Otro caso es la alternancia de capas distintas de roca en una cabecera, muy común de pómez, depósitos de derrames piroclásticos y ceniza volcánica. Se ha observado que la capa de pómez, en un talud inclinado e incluso vertical, es erosionada con mayor intensidad que la que le yace encima, con frecuencia de derrame piroclástico, lo que provoca un deslave.

El retroceso de cabeceras es muy activo en los afluentes de los ríos Becerra, La Piedad, Puerta Grande y Colorado.

3. Escarpes en retroceso. Este proceso de erosión (Figura 15) se produce únicamente en las laderas de barrancos y en taludes artificiales. En la mayoría de los casos, se observa en el piedemonte superior, arriba de los 2,400 m s.n.m.m. Como se explicó en el punto anterior, el factor litológico influye en forma decisiva. Los derrumbes son favorecidos por las lluvias que humedecen el subsuelo, y en ocasiones se conjugan con las minas, de tal manera que un colapso se acompaña por un derrumbe en un escarpe.

4. Inundaciones. Este problema, originado por las lluvias fuertes, tiene varias causas. La primera se debe a las crecidas de los arroyos que llegan a desbordar hacia las márgenes; la superficie inundable se representa en el mapa. La segunda ocurre cuando las presas y conductos subterráneos son insuficientes para contener el agua, misma que desborda en forma violenta. La tercera la provoca el escurrimiento encauzado por las construcciones (calles, andadores, etc.). Los frecuentes encharcamientos en calles, por obstrucción de los conductos del drenaje, constituyen la cuarta causa de las inundaciones. Las causas segunda y tercera provocan los mayores daños y, en sí, son herencia de las antiguas desembocaduras de las corrientes canalizadas al drenaje. Las obras de ingeniería han modificado el régimen fluvial original, con lo que se evita y reduce las inundaciones. Por esto, en el mapa se señala las zonas donde han ocurrido problemas.

CRECIMIENTO

La evolución del crecimiento urbano se analizó a partir de mapas topográficos de distintas etapas (Figura 16), de 1952a y b de la Secretaría de la Defensa Nacional; de CETENAL, 1975; de Sistemas de Información Geográfica (SIGSA, 1986a y b); y de la Guía Roji de 1992.

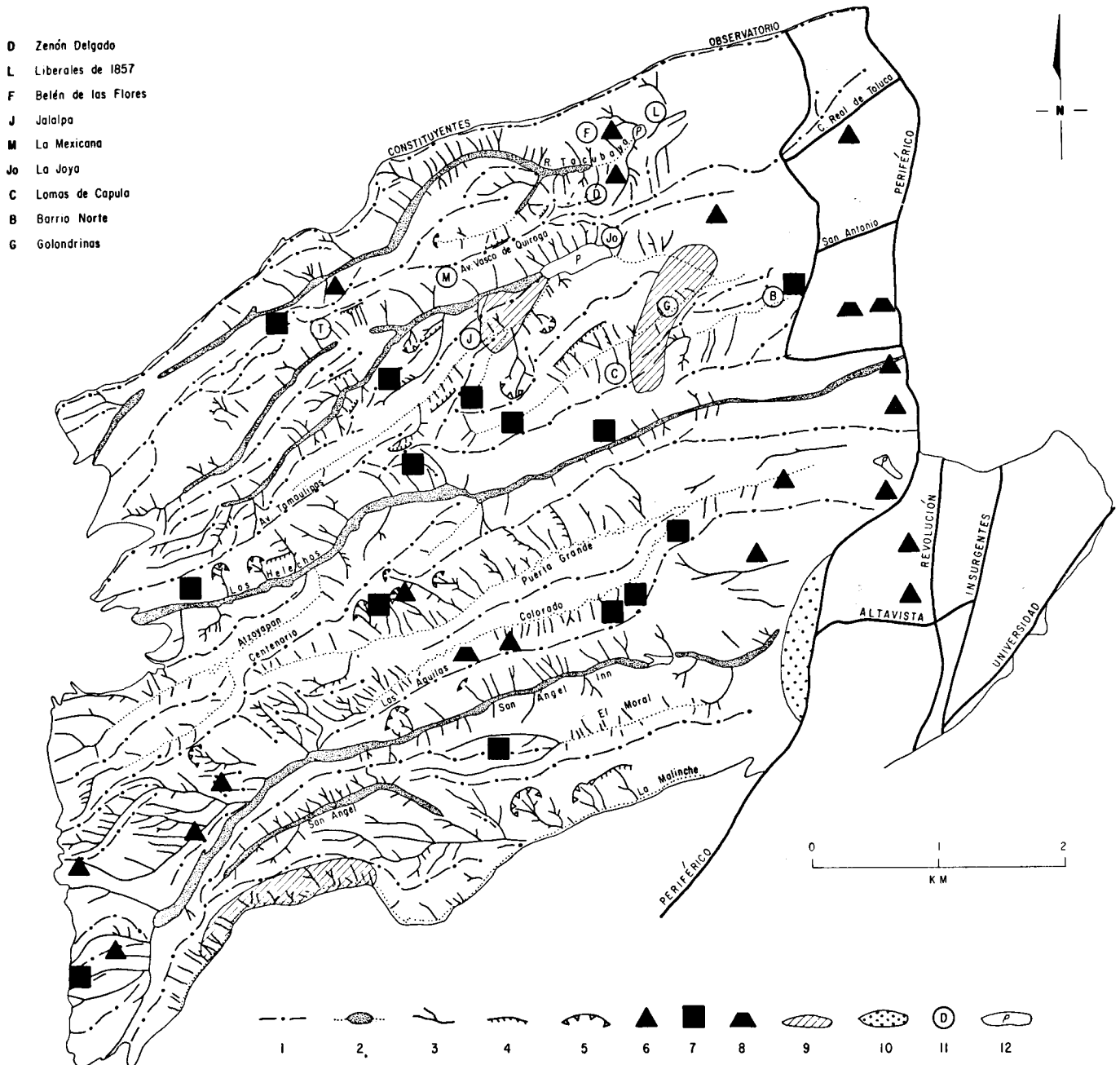


Figura 15.- Mapa de riesgos de la zona urbana de la delegación Alvaro Obregón. 1, Líneas divisorias de aguas; 2, fondos de barrancos con inundaciones por crecidas; 3, arroyos de barrancos secundarios; 4, escarpes en retroceso; 5, circos de erosión activos. Localidades afectadas entre 1989 y 1993 (información obtenida por consulta hemerográfica); 6, por inundaciones; 7, por caída de rocas (deslaves); 8, por colapsos (hundimientos); 9, zonas donde se han producido los daños mayores, principalmente por zonas de colapsos y deslaves; 10, zonas con inundaciones; 11, colonias más afectadas (se indica los nombres en el mapa); 12, presas.

Hasta 1950, la delegación contaba con 44,193 habitantes, distribuidos en las superficies más bajas del piedemonte, hasta los 2,300 m s.n.m.m. En el piedemonte superior, estaban ubicados pequeños poblados rurales, como Santa Fe de Vasco de Quiroga, San Bartolo Ameyalco, Santa Rosa Xochiac y Olivar de los Padres. Para 1970, la mancha urbana había rebasado los 2,500 m s.n.m.m., hacia las laderas con pendiente fuerte de los barrancos. Las superficies planas estaban totalmente urbanizadas; también fueron ocupadas porciones amplias de los barrancos Becerra, Tacubaya, Mixcoac, Puente Colorado y San

Ángel Inn, aunque en los dos últimos el poblamiento es menor—el piedemonte inferior se urbanizó en su totalidad y el superior en su porción más baja. La delegación contaba con una población de aproximadamente 456,709 habitantes, diez veces más que en 1950, un ritmo de crecimiento superior al promedio de toda la Ciudad de México (Aguilar-Martínez y Sánchez-Gómez, 1993).

En 1990, el piedemonte estaba poblado hasta los 2,600 m s.n.m.m., aunque no totalmente. Los asentamientos avanzaron hacia superficies de más de 8° de inclinación. Hay un total

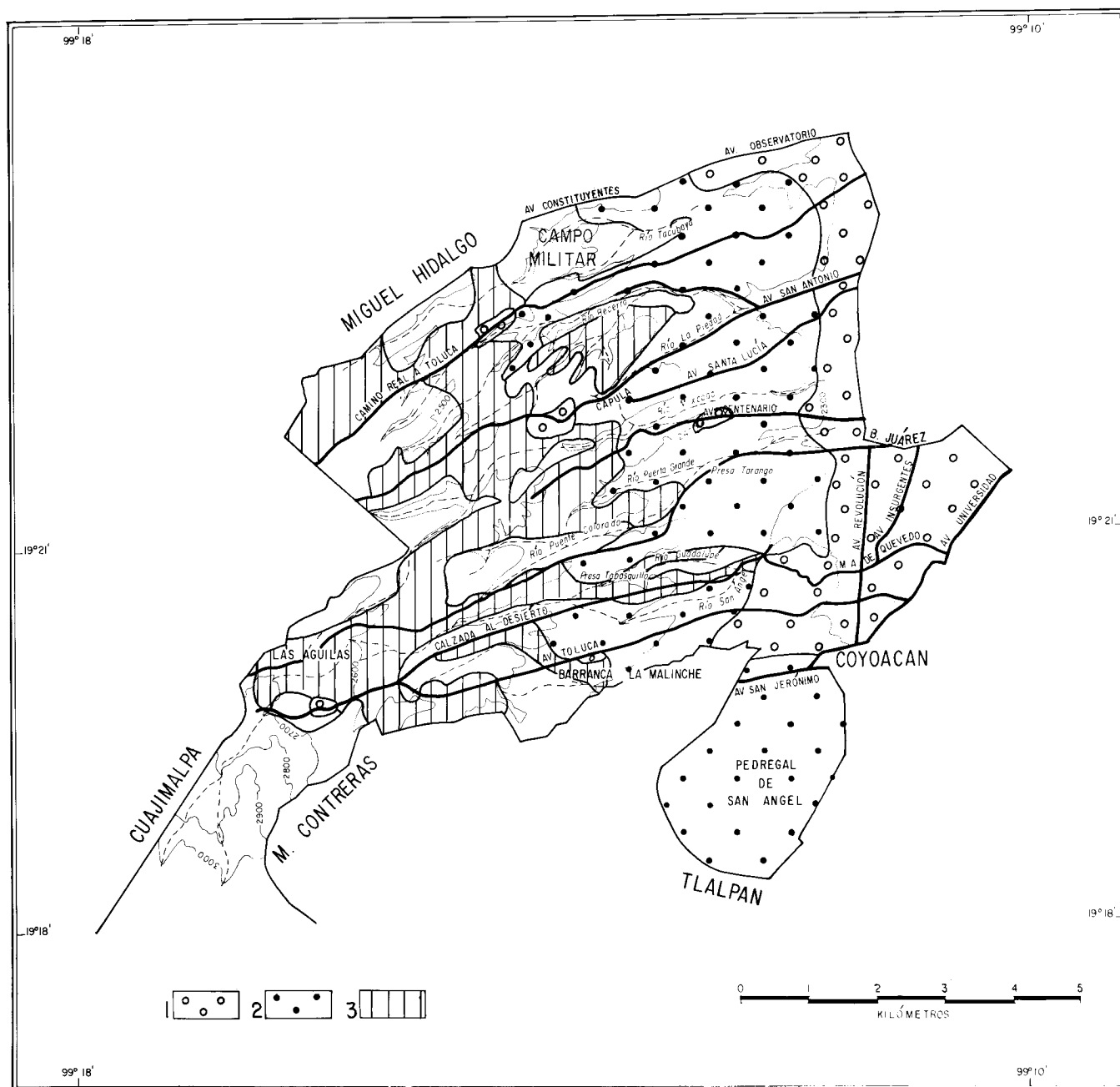


Figura 16.- Urbanización de la delegación Álvaro Obregón. 1, Hasta 1950; 2, hasta 1970; 3, hasta 1993.

de 265 colonias, fraccionamientos y unidades habitacionales en terrenos desfavorables—pendientes fuertes y laderas de barrancos—(Programa Álvaro Obregón Comunidad Solidaria-PAOC, 1990). Según datos del censo elaborado por la propia delegación, hay un total de 1,200,000 habitantes; además, el 80% de estos asentamientos carece de servicios (Álvaro Obregón Comunidad Solidaria-PAOC, *op. cit.*).

ALGUNAS SOLUCIONES POSIBLES

El problema de los daños que ocurren en la zona estudiada es muy complejo y requiere de un análisis profundo. En los dos últimos años, las autoridades han tratado de resolver los

hundimientos por colapsos de túneles, con base en un estudio que realiza la Facultad de Ingeniería de la UNAM. La medida que se ha tomado consiste en rellenar estas oquedades.

Se trata de evitar o mitigar las inundaciones y deslaves con obras de ingeniería; sin embargo, éstas han causado daños serios a casas habitación, como las del año 1992 en Atlamaya y Tlacopac. En opinión de los autores, la mejor manera de evitar, ya no los daños, sino su aumento, es impidiendo que sean habitadas las zonas peligrosas.

Desde los años sesenta, tiene lugar un avance impetuoso de la mancha urbana hacia relieves desfavorables y peligrosos en buena parte de la cuenca de México. Este proceso parece incontenible y, aparentemente, sin solución inmediata.

CONCLUSIONES

La zona urbana de la delegación Álvaro Obregón se encuentra asentada en una porción del piedemonte de la sierra de Las Cruces, originado principalmente por las erupciones pleistocénicas del volcán San Miguel, que consisten en cenizas, pómez, derrames piroclásticos y lahares; y está cortado por una serie de barrancos profundos controlados por fracturas.

A diferencia de las delegaciones contiguas formadas por el mismo piedemonte, donde la litología es homogénea, con pocas y gruesas capas de material volcánico, en la zona estudiada hay una gran variedad de materiales, donde predominan las capas delgadas, incluso hasta siete, en una columna de 15 m de altura. Éste es el origen principal de los daños frecuentes que ocurren, promovidos por la actividad humana mencionada.

El hombre ha influido considerablemente en la modificación del relieve: los barrancos menores son en apariencia inducidos por la deforestación y otros factores, desde antes y posteriormente a la Conquista. La extracción de pómez cavando túneles, sobre todo en este siglo, ha creado una extensa red subterránea de oquedades que, con frecuencia, se colapsan en localidades pequeñas; las excavaciones grandes—canteras—han originado depresiones amplias, que pueden representarse en mapas de escala 1:50,000. La construcción de presas en todos los arroyos principales ha provocado relleno de sedimentos y ensanchamiento de los cauces. La urbanización abarca casi todo el piedemonte de la delegación.

Los daños más comunes son las inundaciones, la caída de rocas—deslaves—en cabeceras de barrancos y escarpes, y los colapsos por presencia de túneles en el subsuelo. Todos estos problemas pueden explicarse por una relación litología-relieve-clima-actividad humana. La superficie situada entre los 2,300 y 2,500 m s.n.m.m. es la que presenta los riesgos mayores.

La zona urbana tuvo un crecimiento explosivo en la década comprendida entre 1960 y 1970, y si bien disminuyó en los últimos 20 años, las construcciones en gran parte fueron hechas en los relieves de fuerte pendiente y riesgos.

RECONOCIMIENTOS

El mapa geomorfológico original, de escala 1:7,500, fue elaborado en 1984, por las estudiantes de geografía Columba Espinosa-Perdigón, Silvia Hernández-Adame y Regina Oliveira-Carrasco, y actualizado por los autores en 1992. En el trabajo de campo, colaboraron José Fernando Aceves-Quesada, Ma. Teresa García-Arizaga, Gabriel Legorreta-Paulín y Azucena Pérez-Vega.

Federico Mooser, Jerjes Pantoja-Alor y Barbara Martiny hicieron comentarios valiosos a los autores. Se agradece los dictámenes de Claus Siebe y un árbitro anónimo. En el dibujo de las ilustraciones, se contó con el apoyo de Armando Sánchez-Enríquez, Juan Carlos del Olmo-Martínez, Arturo Reséndiz-Cruz y Javier Orta-Hernández.

Este estudio se hizo con apoyo de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico, a través del proyecto IN103891.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Martínez, Guillermo, y Sánchez-Gómez, M.L., 1993, Vulnerabilidad y riesgo en la Ciudad de México: México, Ciudades, núm. 17, p. 31-39.
- 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, 1975, [Hoja] Ciudad de México (E14-A39): México, D.F., Secretaría de la Presidencia, Comisión de Estudios del Territorio Nacional, carta topográfica, escala 1:50,000.
- Cordero-Estrada, Maricarmen, 1992, El origen y evolución del relieve en la delegación Álvaro Obregón: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, tesis profesional, 106 p. (inédita).
- Cserna, Zoltan de; de la Fuente-Duch, Mauricio; Palacios-Nieto, Miguel; Triay, Leonardo; Mitre-Salazar, L.M.; y Mota-Palomino, Reynaldo, 1987 (1988), Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la cuenca de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 104, 71 p.
- Dávalos, Fernando, 1976, Antecedentes, Zonificación, in Springall-Caram, Guillermo, y Martínez-Mier, Jaime, eds., Cimentaciones en zonas minadas de la Ciudad de México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, Simposio, México, D.F., p. 3-6.
- Enciso de la Vega, Salvador, 1992, Propuesta de nomenclatura estratigráfica para la Cuenca de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, v. 10, p. 26-36.
- 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 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, 1992, Ciudad de México, Área metropolitana y alrededores: México, D.F., Guía Roji, S.A. de C.V., escala 1: 22,500, 156 p., 109 planos, 59.^a edición.
- Gutiérrez-Ayala, Evangelina, y Ríos-García, Marcelo, 1992, Estabilidad de taludes—de la exploración a la construcción, in Sánchez-Mora, Ismael, ed., Experiencias geotécnicas en la zona poniente del valle de México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, p. 103-109.
- Gutiérrez-Sarmiento, C.E., y Cuevas-Rivas, Alberto, 1992, Solución de cimentación sobre rellenos mediante una losa de suelo-cemento, in Sánchez-Mora, Ismael, ed., Experiencias geotécnicas en la zona poniente del valle de México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, p. 65-81.
- Hernández-Adame, Silvia, 1987, Geomorfología de las delegaciones Cuajimalpa y Miguel Hidalgo, Distrito Federal: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, tesis profesional, 83 p. (inédita).
- Heyman, Arthur, ed., 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.
- Libby, W., 1955, Radiocarbon data: University of Chicago, 129 p.
- Mooser, Federico, 1956, Los ciclos del vulcanismo que formaron la cuenca de México: México, D.F., Congreso Geológico Internacional, 20, Simposio sobre Vulcanología del Cenozoico, v. 2, p. 337-348.
- 1975, Historia geológica de la cuenca de México, in Memoria de las obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal: México, D.F., Departamento del Distrito Federal, t. 1, p. 7-38 y mapa geológico.
- 1976, Geología, in Springall-Caram, Guillermo, y Martínez-Mier, Jaime, eds., Cimentaciones en zonas minadas de la Ciudad de México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, Simposio, México, D.F., p. 7-13.

- 1990, Estratigrafía y estructuras del Valle de México, *in* Ovando-Shelley, Efraín, y González-V., F., eds., El subsuelo de la cuenca del Valle de México y su relación con la ingeniería de cimentaciones a cinco años del sismo: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, México, D.F., Simposio, p. 29-36.
- Mooser, Federico, y Montiel-Rosado, Arturo, 1989, El relleno post-Chichinautzin del valle de México y su relación con la intensidad sísmica, *in* Ramírez-Rascón, Armando, coordinador del simposio, Simposio sobre tópicos geológicos de la cuenca del valle de México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, p. 55-60.
- Mooser, Federico; Montiel-Rosado, Arturo; y Zúñiga-Arista, Ángel, 1992, El suroeste de la cuenca de México en el nuevo mapa geológico, *in* Sánchez-Mora, Ismael, ed., Experiencias geotécnicas en la zona poniente del Valle de México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, p. 5-16.
- Mooser, Federico; Tamez-González, Enrique; Santoyo-Villa, Enrique; Holguín-Olvera, Ernesto; y Gutiérrez-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.
- Mora-Álvarez, Gabriela; Caballero-Miranda, Cecilia; Urrutia-Fucugauchi, J.F.; y Vichiumi, 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.
- Ordóñez, Ezequiel, 1895, Las rocas eruptivas del suroeste de la cuenca de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 2, p. 5-46.
- Pantoja-Alor, Jerjes, 1991, Explotación de pómez y pumicita: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Información Científica y Tecnológica, v. 183, p. 41-47.
- Programa Álvaro Obregón Comunidad Solidaria, 1990, Delegación Álvaro Obregón: México, s/n p.
- Rodríguez, Juan, y León, José, 1976, Estratigrafía y propiedades, *in* Springall-Caram, Guillermo, y Martínez-Mier, Jaime, eds., Cimentaciones en zonas minadas de la Ciudad de México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, México, D.F., Simposio, p. 15-36.
- Sánchez-Mora, Ismael, ed., 1992, Experiencias geotécnicas en la zona poniente del valle de México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, México, D.F., Simposio, 167 p.
- Schlaepfer, Carmen, 1968, Hoja México 14Q-h(5), con Resumen de la geología de la Hoja México, Distrito Federal y estados de México y Morelos: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Carta Geológica de México, serie de 1:100,000, mapa con texto explicativo en el reverso.
- Secretaría de la Defensa Nacional, 1952a, Hoja México Q-h(71): México, D.F., Secretaría de la Defensa Nacional, escala 1: 25,000.
- 1952b, Hoja Tlalpan Q-h(87): México, D.F., Secretaría de la Defensa Nacional, escala 1: 25,000.
- SIGSA, 1986a, [Hoja] Ciudad Universitaria: México, D.F., Sistema de Información Geográfica, carta topográfica, escala 1: 20,000.
- 1986b, [Hoja] Chapultepec: México, D.F., Sistema de Información Geográfica, carta topográfica, escala 1: 20,000.
- Springall-Caram, Guillermo, 1976, Implicaciones de las minas subterráneas, *in* Springall-Caram, Guillermo, y Martínez-Mier, Jaime, eds., Cimentaciones en zonas minadas de la Ciudad de México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, Simposio, México, D.F., p. 81-127.
- Springall-Caram, Guillermo, y Martínez-Mier, Jaime, eds., 1976, Cimentaciones en zonas minadas de la Ciudad de México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, Simposio, México, D.F., 204 p.
- Tamez-González, Enrique, y Ríos-García, Marcelo, 1992, Diseño de un túnel carretero urbano en los suelos arenosos de la Ciudad de México, *in* Sánchez-Mora, Ismael, ed., Experiencias geotécnicas en la zona poniente del valle de México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, p. 131-144.
- Vázquez-Sánchez, Eliseo, y Jaimes-Palomera, L.R., 1989, Geología de la cuenca de México: *Geofísica Internacional* (México), v. 28, p. 133-190.

Manuscrito recibido: 25 de noviembre de 1993.

Manuscrito corregido devuelto por el autor: 3 de noviembre de 1994.

Manuscrito aceptado: 15 de noviembre de 1994.