

Formación de grietas en la margen del antiguo lago al oriente de la cuenca de México

J. Lugo-Hubp*, A. Pérez-Vega** y M. Rojas-Salas***

* Instituto de Geografía de la UNAM.

** Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.

*** Departamento de Cartografía del Instituto Federal Electoral.

Recibido: 21 de noviembre, 1990; aceptado: 3 de mayo, 1991.

RESUMEN

Entre 1986 y 1990 se formaron grietas anchas en forma repentina, en cuatro localidades distintas del oriente de la cuenca de México. Todas poseen características comunes: se localizan en la porción inferior de un piedemonte volcánico, cerca de la ribera de los lagos desecados de Chalco y Texcoco, en tierras de cultivo con buena alimentación hídrica subterránea. Surgieron con lluvias torrenciales y alcanzaron más de 6 m de profundidad y ancho de hasta 1 m; su longitud llega a ser de 400 m. En el relieve se expresan como aberturas anchas, de más de 20 cm, continuas, y en partes como fisuras milimétricas. Se infiere su origen relacionado con el descenso de los mantos de agua subterránea por la extracción que se hace por medio de pozos. Se considera que el proceso de formación de grietas continuará en el futuro.

PALABRAS CLAVE: geomorfología, grietas superficiales, cuenca de México.

ABSTRACT

Between 1986 and 1990 wide cracks suddenly appeared in four different areas of the eastern margin of the Basin of Mexico. All cracks were located in the lower part of a volcanic footslope, near the edge of the former lakes of Chalco and Texcoco, in agricultural terrains with good underground drainage conditions. They appeared after heavy downpours. Some were up to 6 m deep and 1 m wide, and as long as 400 m. Their origin is related to drawdown of the water level due to pumping in wells. It is assumed that the crack-forming process will continue.

KEY WORDS: geomorphology, surface cracks, Basin of Mexico.

INTRODUCCION

En 1989 y 1990 los autores estudiaron las grietas que se formaron en las márgenes de cuatro poblaciones (figura 1) cercanas a la ribera oriental del Lago de Texcoco: Ayotla, Chicoloapan, Ixtapaluca y Tlapala, todas en el Estado de México.

El interés por realizar este trabajo radica en primer lugar, en registrar el fenómeno con una descripción de las formas del relieve originadas y una interpretación sobre su formación; en segundo, iniciar una investigación que puede continuar en el futuro, tanto por la alta posibilidad de que surjan nuevas grietas, como por la conveniencia de observar la evolución de las mismas. El tema tiene una relación estrecha con riesgos para las construcciones y los terrenos agrícolas.

ANTECEDENTES

El fenómeno de formación de grietas en la superficie de la cuenca de México ha sido tratado en pocas ocasiones. F. Hiriart *et al.* (1952), en una publicación de la Comisión Federal de Electricidad, mencionan a Nabor Carrillo como el primero que explicó con fundamentos "el mecanismo que regula la formación de grietas en el valle de México" (p.

10). Para Hiriart *et al.*, el proceso empezó a manifestarse en esa época y se había incrementado lo mismo que el hundimiento de la ciudad de México. Las grietas surgieron en superficies del terreno que se cubrieron con una lámina delgada de agua en la época de lluvias. Posteriormente se azolvieron con materiales de acarreo superficial y fue común que quedaran completamente selladas.

Los mismos autores mencionan grietas formadas en el Parque Elías Calles y en el campo de aviación (actual Aeropuerto Benito Juárez), y otras grietas contiguas al río Churubusco en Ixtapaluca y al canal del desagüe en Villa Madero. En todos los casos reconocieron una configuración irregular de las grietas vistas en planta, excepto cerca del Caracol, donde presentaron disposición transversal.

La formación de las grietas fue explicada por el estado de tensión en las arcillas provocado por dos o más pozos de extracción de agua y un gradiente hidráulico pequeño, horizontal, que puede contribuir a la ruptura de la arcilla. Se rechaza que en la formación de las grietas influya el secado de las capas someras del subsuelo.

E. Juárez Badillo (1959), considera que las grietas se deben "a los esfuerzos inducidos en el terreno al anular la tensión del agua producida por una intensa y prolongada evaporación superficial" (p.2).

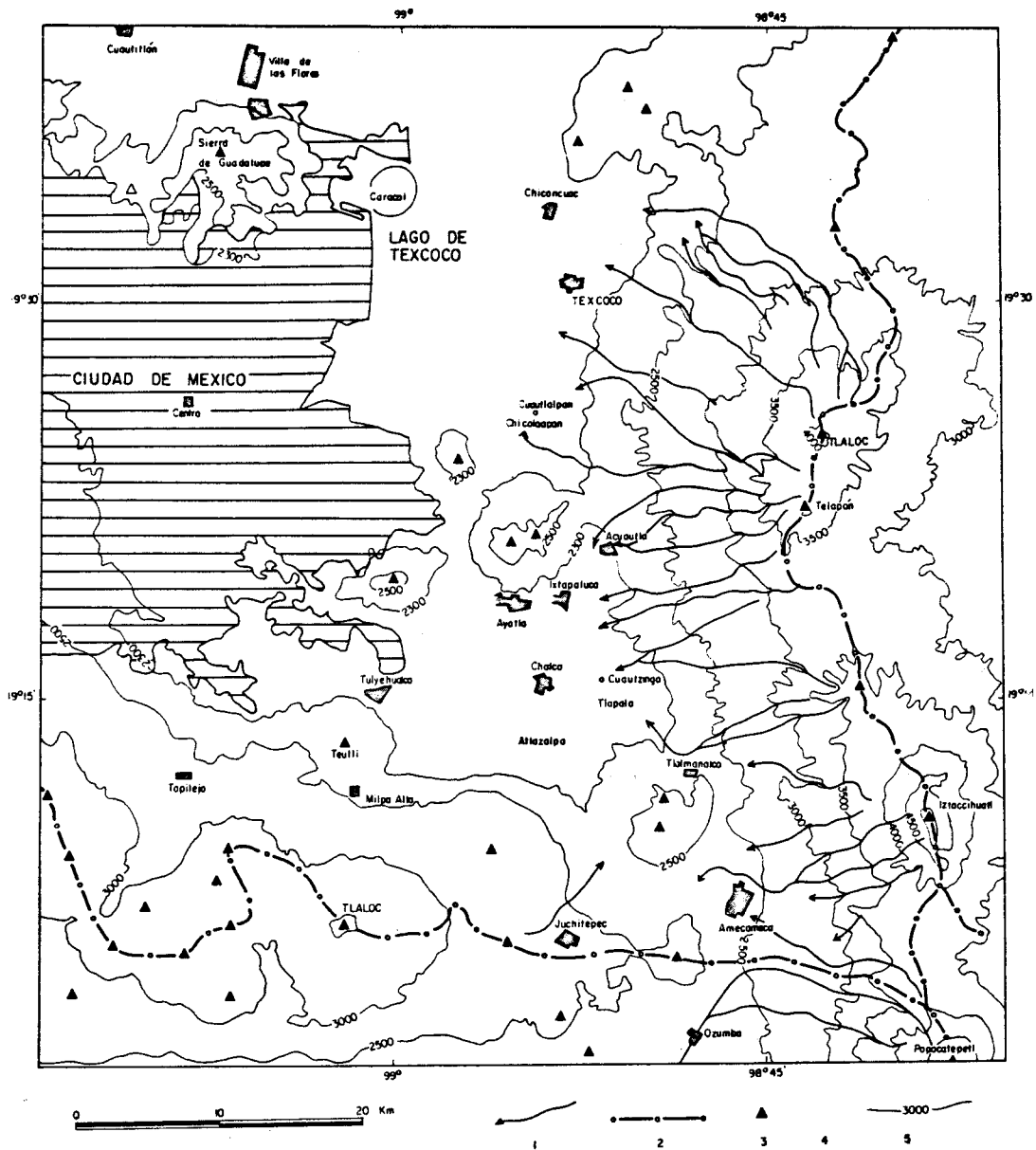


Fig. 1. Mapa general del sureste de la cuenca de México. 1, Corrientes fluviales principales; 2, Divisoria de aguas de la cuenca; 3, Cimas principales; 4, Curvas de nivel; 5, Localización de las grietas.

D. Riquelme (1974) reportó la formación de grietas en el fraccionamiento Los Olivos de la delegación Tlahuac, entre 1972 y 1975. Estaban dispuestas en una red transversal, con orientaciones norte-sur y este-oeste. La autora consideró que se formaron por procesos tectónicos.

J. Alberro y R. Hernández (1988, 1990) explican el agrietamiento por esfuerzos de tensión por evaporación y posterior encharcamiento del agua de lluvia, bombeo y exceso de presión generado por artesianismo en capas permeables confinadas por materiales impermeables del subsuelo. Coinciden con F. Hiriart *et al.* en cuanto a que no influye el secado en la formación de grietas.

Todos los casos citados se refieren a grietas formadas en la planicie lacustre de la cuenca de México. En varias localidades de la República se han producido fenómenos semejantes, aunque sólo hemos obtenido información periodística. En la ciudad de Aguascalientes, J. Aranda (1986) reportó el fenómeno en un estudio geológico regional.

CARACTERÍSTICAS DE LAS GRIETAS RECIENTES

Las grietas que se consideran en este trabajo tienen una serie de características comunes.

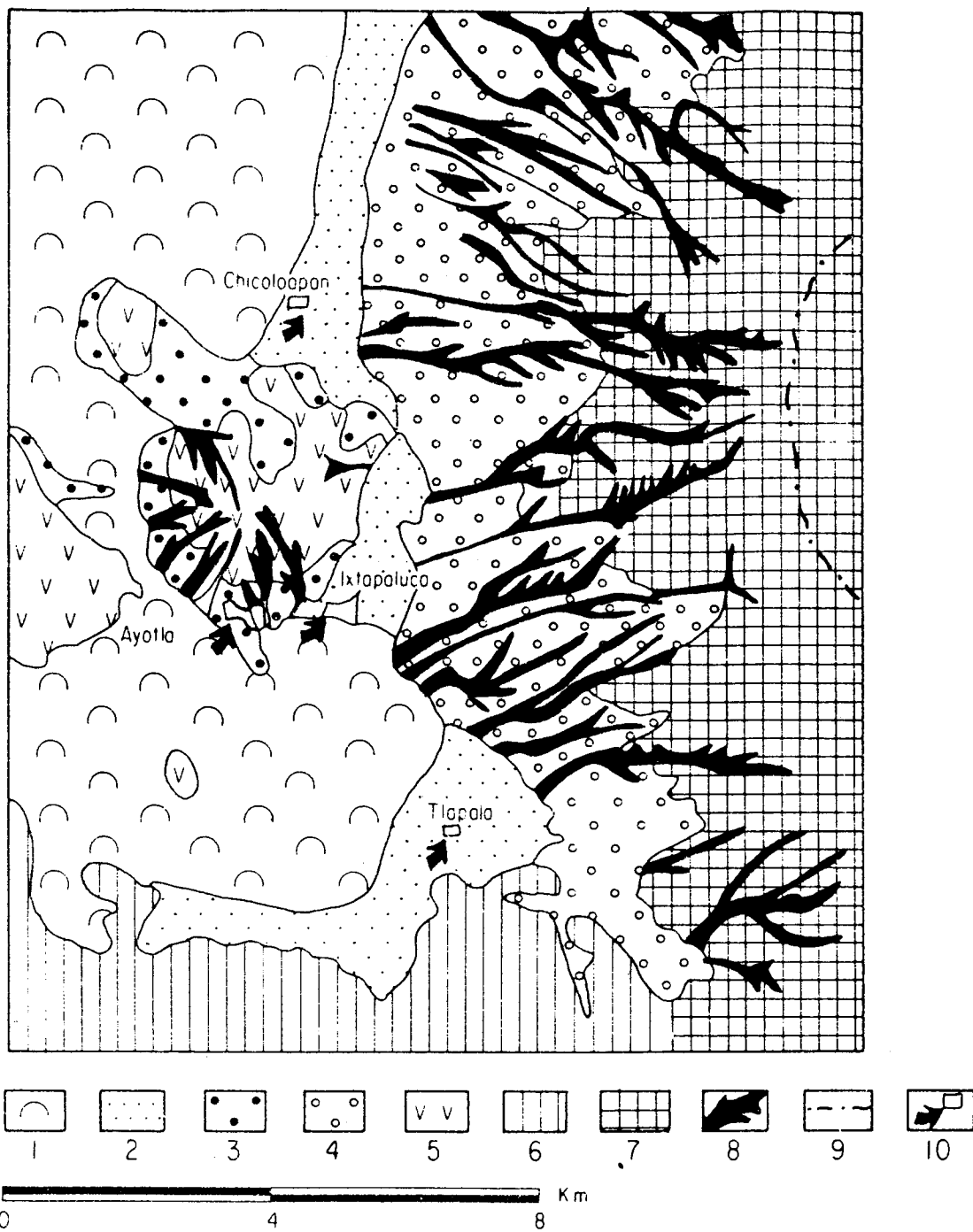


Fig. 2. Esquema geomorfológico general del oriente de la cuenca de México. 1, Planicie lacustre; 2, Piedemonte inferior de material volcánico, fluvial y lacustre; 3, Piedemonte inferior de material volcánico; 4, Piedemonte superior esencialmente volcánico; 5, Laderas de lava de volcanes menores; 6, Laderas de lava y tefra de la Sierra Chichinautzin; 7, Laderas de lava y tefra de la Sierra Nevada-Río Frío; 8, Barrancos; 9, Divisoria de aguas de la cuenca de México; 10, Localización de las grietas.

1. Se localizan en la porción inferior de una misma unidad geomorfológica: el piedemonte volcánico de las sierras Nevada-Río Frío al sudoriente de la cuenca de México (figura 2).

2. La distancia horizontal a la ribera del lago desecado en tiempos históricos es de menos de 2 km. Las grietas se sitúan entre las cotas de 2240 y 2260 msnm.

3. Son zonas de buena circulación de agua subterránea, favorecida por el escurrimiento e infiltración que se produce desde las altas montañas, con sus divisorias de aguas a más de 3500 m de altitud, y por la litología del piedemonte de alta permeabilidad.

4. Existen pozos para la extracción de agua. El nivel freático actual es de 8-15 y más metros; originalmente no pasaba de 5 metros.

5. Las grietas se formaron en tierras de cultivo y terrenos de urbanización reciente, de pendientes de menos de 1.5 grados. Los suelos son incipientes, jóvenes, con predominio de piroclastos finos en su constitución.

6. Se encuentran en las márgenes exteriores de poblaciones (Ayotla, Chicoloapan, Ixtapaluca y Tlapala).

7. Son muy semejantes en su morfometría: tamaño, profundidad máxima reconocida, anchos mayor y menor.

8. Las grietas anchas surgieron en forma repentina durante fuertes lluvias.

GRIETAS DE CHICOLOAPAN

El 10 de julio de 1989 se produjo una inundación con desarrollo de grietas que afectaron en diverso grado a varias construcciones modestas en la Colonia Santa Rosa, del poblado de San Vicente Chicoloapan, Estado de México (figura 3). Este se encuentra en la desembocadura de una corriente montañosa, cuya cabecera se localiza a 3700 m de altitud, en las faldas del volcán Yeloxochtli, entre los volcanes Telapón y Tláloc. Los pobladores informaron que las grietas se manifestaban desde por lo menos cinco años antes, pero sólo como fisuras de milímetros de ancho.

Una lluvia torrencial de una duración aproximada de 20 minutos sobre la zona afectada produjo un flujo extraordinario que inundó una amplia zona urbana del poblado de San Vicente Chicoloapan. Las calles transversales al flujo se convirtieron en canales de circulación y surgió, o se reactivó, un sistema de grietas (figura 4).

En partes, las grietas son fisuras delgadas de milímetros a 2 cm de ancho, pero localmente se ensanchan hasta 80 cm e incluso más de un metro. En la zona habitacional la fisura se extiende a través de tres manzanas (figura 4). En los terrenos que fueron hace pocos años tierras agrícolas y se han convertido en baldíos es donde se formó la grieta ancha y profunda, y prácticamente desaparece (o no es fácilmente observable) en las tierras de cultivo. La mayor de ellas alcanzó unos 6 m de profundidad, aunque pronto se rellenó y se redujo a un par de metros.

La grieta, en partes convertida en una cárcava, fue rellenada artificialmente y un año después, a fines de agosto de 1990, se había vuelto a abrir en pequeñas localidades, a causa de aguaceros. Mostró una profundidad máxima de 2.77 m y anchura de hasta 4.85 m. Se aprecia una evolu-



Fig. 3. La grieta principal de Chicoloapan y la casa dañada.

ción por retroceso de las paredes verticales. Asimismo, la fisura que atraviesa varias casas se encontraba mejor expuesta. Se reconocieron también nuevas grietas, ramificaciones de las del año anterior. El extremo de una de ellas avanzó 5 m de agosto a octubre de 1990.

La superficie ligeramente inclinada sobre la que se asienta la colonia posee en el subsuelo un abundante flujo subterráneo. El agua se extrae de pozos a una profundidad de 7-10 m, aunque pozos cercanos perforados a mayor profundidad, unos 15 m, no encontraron agua. Opiniones de los moradores coinciden en que durante los aguaceros extraordinarios, el agua en los pozos alcanza su nivel máximo e incluso se desborda.

El material que constituye el subsuelo hasta la profundidad de 10 m fue estudiado en dos pozos (figuras 5a y 5b), el primero en una casa de la colonia Santa Rosa (figura 4) y el otro en el extremo oriental de Chicoloapan, contiguo a un corte artificial (ladrillera) donde se extrae y procesa arcilla.

Los perfiles de los pozos muestran una serie de sedimentos lacustres (arcillas), en combinación con otros volcánicos: pómez y piroclastos, desde cenizas hasta blo-

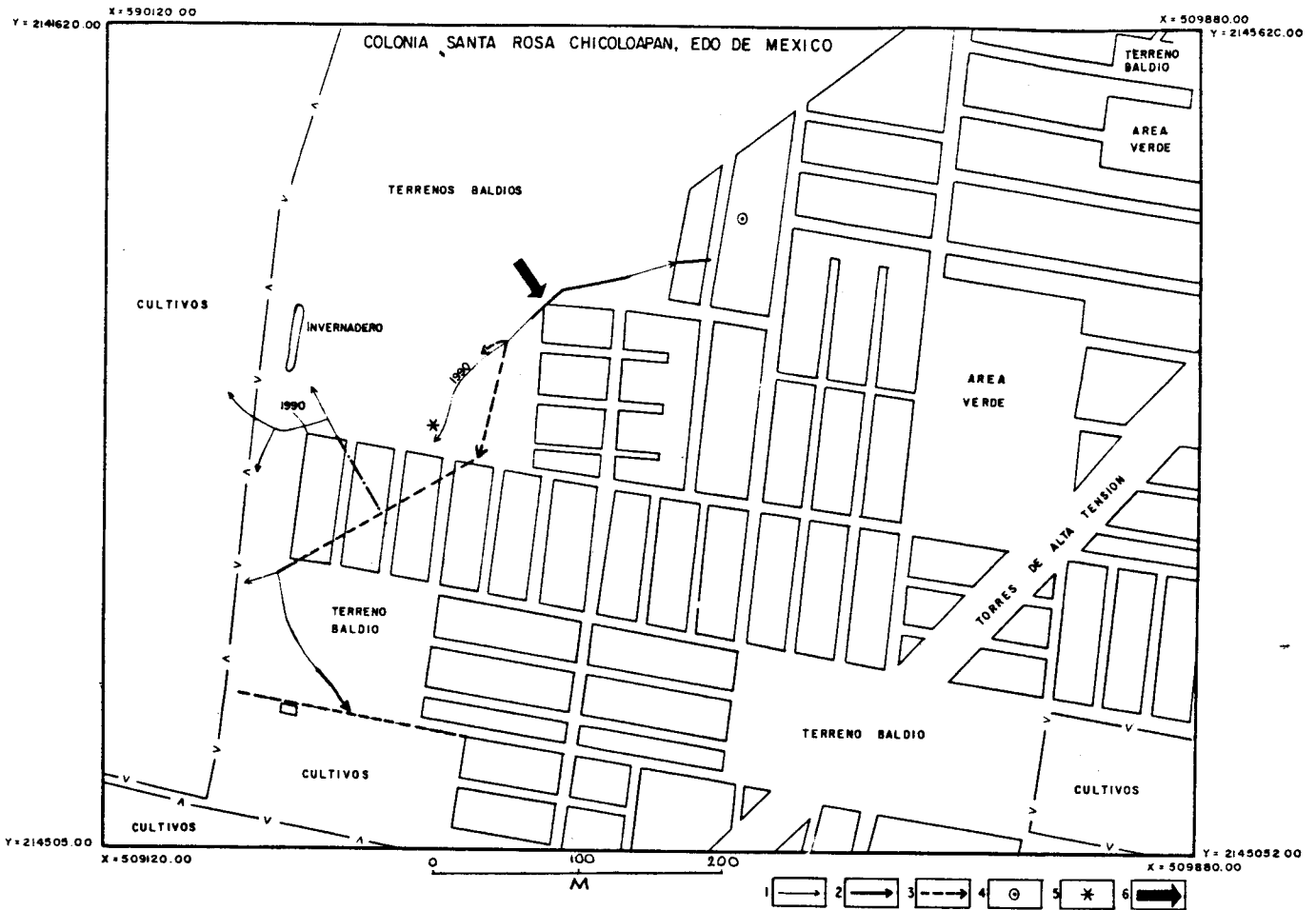


Fig. 4. Plano de las grietas de Chicoloapan (elaborado con base en fotografía aérea en escala 1:2 500, de Geocentro y verificación en el campo con brújula y cinta). 1, Grieta estrecha o fisura (las flechas señalan los extremos expresados en la superficie); 2, Grieta ancha (más de 10 cm); 3, Grieta inferida a través de casas habitación; 4, Pozo de agua donde se elaboró el perfil litológico; 5, Extremo que creció 5 m de agosto a octubre de 1990; 6, Localidad de mayor profundidad y anchura de la grieta.

ques. Las arenas y gravas son de origen volcánico, pero transportados y depositados por agua, lo que se aprecia por su buena clasificación y redondeamiento. De acuerdo con esta información, el actual piedemonte inferior fue en el pasado parte de un lago, relleno por diversas erupciones volcánicas y por depósitos de arroyos.

GRIETAS DE IXTAPALUCA

En una planicie levemente inclinada, en las afueras extremo occidental - de la población de Ixtapaluca, se formó una grieta en julio de 1990, a unos 400 m de distancia de la carretera federal a Puebla (figura 6).

La grieta de Ixtapaluca tiene una longitud de 323.50 m, rumbo dominante NE 80 (figura 7), profundidad máxima 2.85 m y ancho máximo 2.52 m. Las mediciones se hicieron 15 días después de la formación. El relleno del fondo por derrumbe en las laderas verticales y remoción y

deposición por el agua fue muy rápido. La grieta hacia sus extremos es sólo una fisura, fácilmente reconocible en la superficie, o se expresa por pequeñas depresiones de algunos centímetros de profundidad y 30-40 cm de largo; en otras ocasiones, la grieta sólo se aprecia por una mancha de humedad alargada, en terrenos desprovistos de vegetación.

GRIETA DE AYOTLA

Se extiende desde el mercado situado en el extremo occidental de la carretera federal a Puebla, en dirección a una escuela **Conalep**. En plano es arqueada y quebrada (figura 8). Tiene una longitud total de 358 m. La profundidad máxima medida fue de 2.50 m y la anchura máxima de 1.52 m. Atraviesa el jardín de una escuela y una construcción reciente, no terminada; en ésta atravesó dos muros a manera de fisuras delgadas (figura 9).

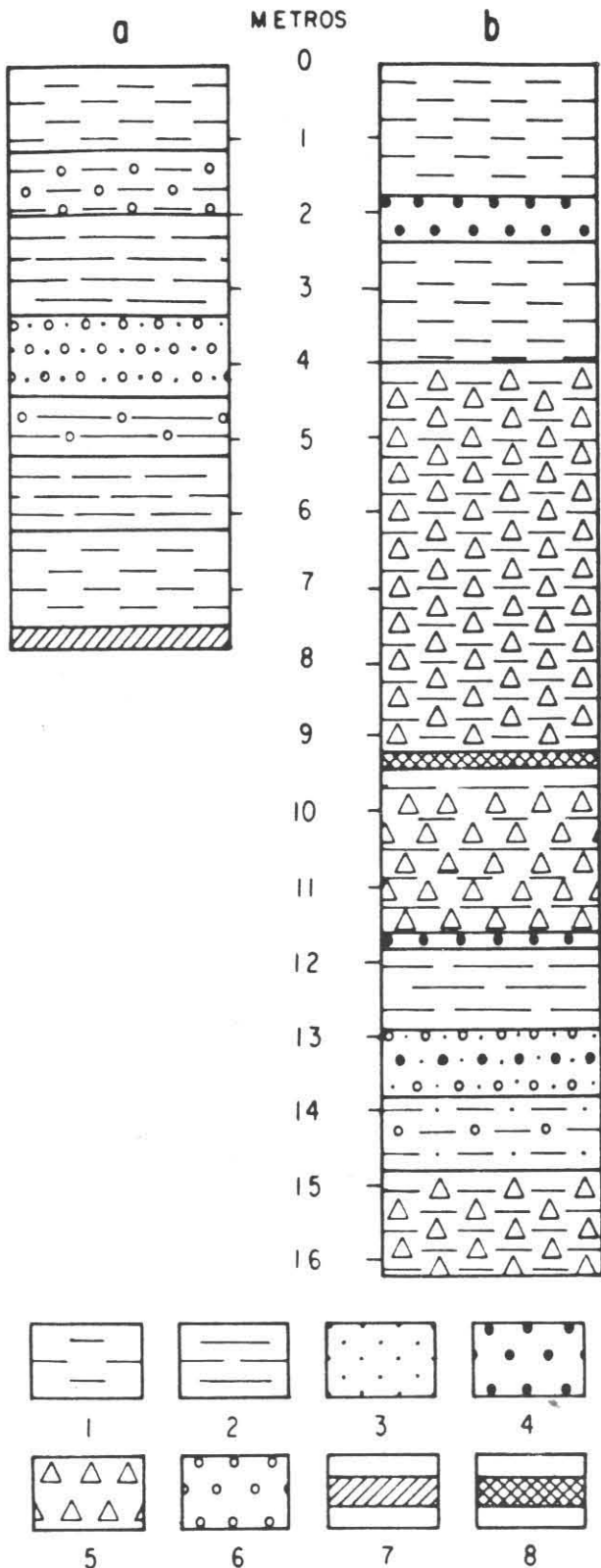


Fig. 5. Perfiles litológicos: a, de un pozo de la Colonia Santa Rosa, en Chicoloapan; b, en una ladrillera en el extremo oriental de Chicoloapan. 1, Arcillas; 2, Limos; 3, Arenas; 4, Gravas; 5, Bloques; 6, Pómez; 7, Roca dura (no determinada); 8, Paleosuelo.



Fig. 6. La grieta de Ixtapaluca, dos semanas después de su formación.

GRIETAS DE TLAPALA

La población de Tlapala se localiza en la porción inferior del piedemonte del volcán Iztaccíhuatl, en la carretera de Chalco a Miraflores. Aquí se formaron dos grietas paralelas. La primera (figura 10) alcanzó 400 m. Se midió una profundidad máxima de 4.15 m y ancho máximo de 1.80 m. Su orientación es 10-20 grados al noreste. La segunda se encuentra a una distancia de 500 m de la anterior y es considerablemente más corta, de sólo 35 m, con una orientación de 18 grados al noreste. Ambas se formaron en terrenos de cultivo (figura 11), cubiertos por vegetación abundante en época de lluvias, lo que las hace menos visibles que las anteriores.

DISCUSION

Este fenómeno de formación de grietas se conoce en la porción seca de la Pampa Argentina, Provincia de Córdoba y en otras partes del mundo (comunicación personal de J. Tricart). En México ha sido estudiado desde el punto de vista de la mecánica de suelos (Hiriart *et al.*, 1952; Juárez Badillo, 1959; Alberro y Hernández, 1988, 1990). Llama la atención por la manera repentina en que origina formas del

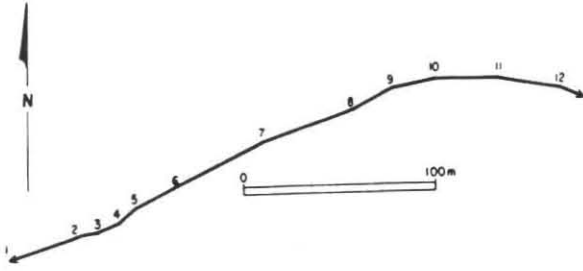


Fig. 7. Plano de la grieta de Ixtapaluca. Los símbolos se explican en la figura 4.

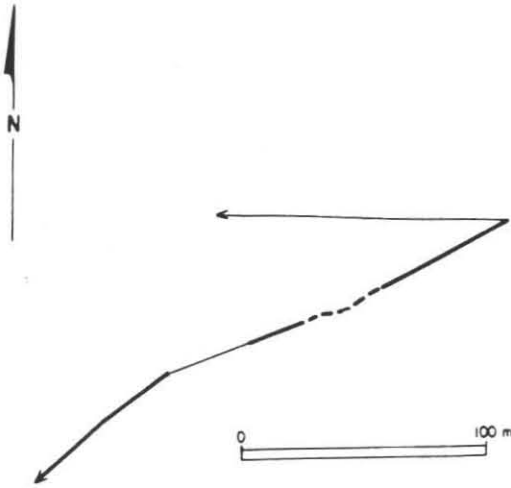


Fig. 8. Plano de la grieta de Ayotla. Los símbolos se explican en la figura 4.



Fig. 9. La grieta de Ayotla afectó una casa en construcción.

microrrelieve semejantes a cárcavas que en el futuro pueden evolucionar como barrancos, ya que cuentan con condiciones favorables de pendiente, litología y clima.

Las grietas mencionadas por otros autores presentan semejanzas y diferencias con las que tratamos en este artículo. Coinciden en los puntos siguientes: presentan una configuración irregular en plano; la profundidad es semejante y se formaron en época de lluvias. Las diferencias consisten en que las grietas en terrenos del antiguo lago se formaron en lugares de encharcamiento temporal y después se rellenaban por material de acarreo.

En los cuatro casos estudiados observamos: 1) Reducción del nivel del agua subterránea por extracción de éstas; 2) Reducción de la permeabilidad del terreno, especialmente en antiguas tierras de cultivo convertidas en terrenos baldíos, en los que el material superficial limoarcilloso se compacta, dificultando la infiltración.

Los perfiles litológicos (figura 5) muestran una capa superior arcillosa a la que subyace otra de material más grueso, muy permeable. En general, la secuencia es de capas de material fino, compacto (incluyendo las indicadas con los números 7 y 8), con otras de alta porosidad (3 a 6).

El proceso de formación de las grietas, con base en la mecánica de suelos, ha sido ampliamente discutido por Hiriart *et al.* (1952), Juárez Badillo (1959) y Alberro y Hernández (1988, 1990). Consideramos conveniente, sin embargo, agregar algunas ideas basadas en nuestras observaciones.

Además de los efectos que ha causado en las capas arcillosas del subsuelo la extracción de agua, es probable que otros efectos ocurran en las capas de clastos gruesos

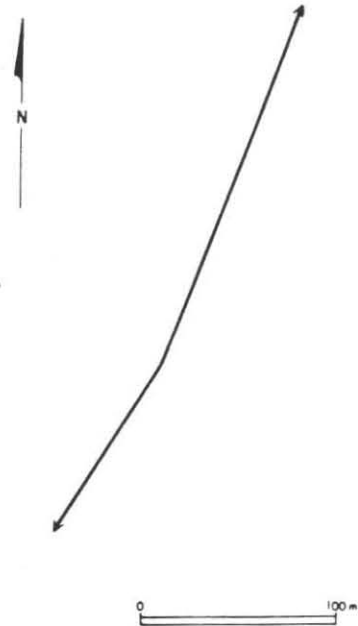


Fig. 10. La grieta mayor de Tlapala vista en plano. Los símbolos se explican en la figura 4.



Fig. 11. La grieta mayor de Tlapala se extiende a través de un campo de cultivo.

como gravas y bloques que contienen material fino limoarcilloso. Las aguas subterráneas circulan fácilmente en estas capas y en forma gradual arrastran las partículas finas, incrementando la porosidad.

La primera etapa del proceso de formación de las grietas consiste en fisuras delgadas en las arcillas, como ha sido expuesto por otros autores. Estas fisuras pueden crecer gradualmente y captar los escurrimientos superficiales.

La segunda etapa se produce con lluvias extraordinarias que provocan la formación repentina de las grietas anchas y la saturación del subsuelo, repitiendo las condiciones originales que prevalecían a principios de siglo. La presión da lugar a la ruptura de la capa arcillosa en un plano vertical. Los testigos afirman que la masa de tierra se colapsa y buena parte de ésta es removida por el flujo de agua.

El agua circula verticalmente a través de la grieta con velocidad considerable. La capa subyacente altamente porosa debe favorecer también la circulación subterránea. En este flujo, el agua continúa transportando material fino. Se trataría de un fenómeno típico de sufosión: remoción en el subsuelo de partículas finas por corrientes subterráneas.

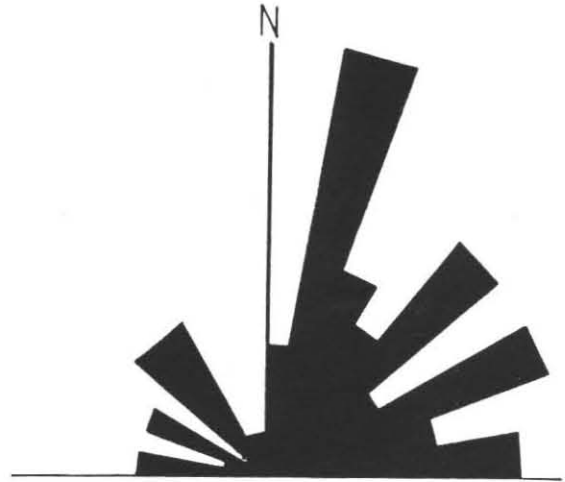


Fig. 12. Las orientaciones de las grietas estudiadas se muestran en esta roseta, elaborada con más de 50 mediciones.

Consideramos que este proceso se presenta durante ambas etapas de formación de la grieta. No se trata del proceso generador de las grietas, sino, muy probablemente, de uno que contribuye a su desarrollo, semejante a una corriente superficial que es controlada por una falla geológica o un contacto litológico.

Queda la duda acerca de si han tenido influencia o no los movimientos sísmicos sobre la formación de fisuras nuevas o sobre el agrandamiento de las ya existentes. Las cuatro grietas estudiadas son posteriores a los sismos de septiembre de 1985. Pero aun cuando hubiera influencia sísmica, no significa esto que se trate de fallas geológicas. Con excepción de las grietas de Tlapala dispuestas en una dirección dominante (figura 10), las otras tres son muy irregulares. La roseta de la figura 12 muestra una dirección dominante de las grietas unos 20 grados al noreste, pero también las hay con otras orientaciones.

Para controlar las grietas, J. Tricart (comunicación personal) recomienda la remoción de la tierra con arado y posteriormente adición abundante de materia orgánica: estiércol, abono verde, etcétera.

CONCLUSIONES

El fenómeno de formación de grietas considerado en este trabajo se produce en condiciones específicas geomorfológicas, litológicas, climáticas y geohidrológicas. Ya que ha sido reportado frecuentemente en los últimos 5 años (1986-1990), es de suponer que se presente en otras localidades de una amplia zona con condiciones semejantes a las localidades descritas, y muy probablemente continuará su desarrollo en los años futuros.

La formación de las grietas estudiadas se puede explicar por un proceso semejante al que dio origen a otras en la

planicie lacustre desde mitad de siglo; pero consideramos a la sufosión como un proceso complementario importante.

El piedemonte inferior del oriente de la cuenca de México es la zona más favorable para la formación de grietas. Estas se localizan en las márgenes de cuatro poblaciones; pero es posible inferir que esto pueda ocurrir en otras zonas asentadas en la misma unidad geomorfológica, como Chiconcuac, Texcoco, Acuatla, Chalco, Cuautzingo y Atlazalpa (figura 1).

Desde el punto de vista de la geomorfología se trata de un proceso de gran interés, escasamente descrito en la literatura e importante por el riesgo que representa para las construcciones y las tierras de cultivo, ya que las grietas pueden convertirse en agentes de la erosión del suelo.

RECONOCIMIENTOS

Este artículo se realizó con la colaboración de José Fernando Aceves Quesada, Ramón Espinosa Perena y José Juan Zamorano Orozco en parte del trabajo de campo. El doctor J. Tricart, de la Universidad de Estrasburgo, hizo valiosos comentarios en forma epistolar sobre el tema; la maestra Concepción Basilio asesoró en problemas bibliográficos, y dos árbitros anónimos hicieron críticas sustanciales.

BIBLIOGRAFIA

ALBERRO, J. y R. HERNANDEZ, 1988. Génesis de las grietas de tensión en el Valle de México. *En: El subsuelo de la cuenca del Valle de México y su relación con la ingeniería de cimentaciones, a cinco años del sismo.* pp. 95-106. México.

ALBERRO, J. y R. HERNANDEZ, 1990. Fuerzas de filtración y fracturamiento hidráulico. *Series del Instituto de Ingeniería*, No. 528, UNAM, México.

ARANDA GOMEZ, J. J., 1986. Geología preliminar del graben de Aguascalientes. *Revista del Instituto de Geología, UNAM*, 8, 1, 22-32. México.

HIRIART, F., R. J. MARSAL, G. CRUICKSHANK y F. KEY, 1952. Contribución de la Comisión Federal de Electricidad a la solución del problema de abastecimiento de agua a la ciudad de México. CFE, México.

JUAREZ-BADILLO, E., 1959. Teoría de grietas de tensión. I Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. *Memorias*, pp. 65-76. México.

RIQUELME de REJON, D., 1974. Fracturas del Fraccionamiento Los Olivos, en la región cercana al volcán San Lorenzo o San Nicolás, Tláhuac. *Anuario de Geografía, V. XIV*, pp.67-72. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.

J. Lugo-Hubp*, A. Pérez-Vega**, M. Rojas-Salas***.

* *Instituto de Geografía de la UNAM. 04510, México, D. F., MEXICO.*

** *Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. 04510, México, D. F., MEXICO.*

*** *Departamento de Cartografía del Instituto Federal Electoral. Boulevard Adolfo López Mateos No. 239 01010 México, D. F., MEXICO*