

Deslizamiento de tierras activo en Metztlán, Hgo

J. Lugo-Hubp*, J. J. Zamorano* y G. Gallegos**

*Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F.

**Presidencia Municipal. Metztlán, Hgo.

Recibido: 26 de mayo, 1992; aceptado: 8 de febrero, 1993.

RESUMEN

De diciembre de 1991 a octubre de 1992 se ha estudiado un deslizamiento de tierras en la población de Metztlán, Hgo., asentada en una colina originada por un poderoso derrumbe en el Cuaternario. En diciembre se manifestaron grietas con una longitud total de 53 m; en mayo fueron 263 m y en octubre son del orden de más de 1500 m. Se trata de un deslizamiento rotacional en bloques, con 6 grietas maestras paralelas, dispuestas del cauce a la divisoria de aguas. Se obtuvieron valores de velocidad de abertura en dos puntos: 0.3 mm/día el mínimo y 3.3 mm/día el máximo, calculados en lapsos de siete días. El proceso inició al deslizarse una capa de marga sobre otra de lutita, inclinadas ambas en dirección al arroyo Tlaxómotl y expuestas por la erosión vertical. El movimiento de los estratos desestabilizó una masa de unos 850,000 m³ de material no consolidado, de lo que resulta el deslizamiento en bloques, a lo largo de 350 m. Han sido dañadas más de 30 casas y está amenazado un ex convento del siglo XVI. La erosión vertical, el escurrimiento subterráneo y la acción del hombre, son los agentes principales que desencadenaron el deslizamiento.

PALABRAS CLAVE: Deslizamiento de tierras, riesgo, Metztlán, México.

ABSTRACT

From December 1991 to October 1992, an active landslide occurred near Metztlán, Hgo. The town is located on a hill formed by the debris of a large collapse that occurred during the Quaternary. The first active sliding occurred in December 1991 when several fissures appeared with a total length of 53 m. By May 1992 the fissures measured 263 m and in October a total length of 1500 m had been reached. The landslide is rotational in several different blocks covering from the thalweg of Tlaxomotl stream to the main divide, separated by 6 main fractures parallel to the stream. At two locations the speed of opening of the fissures was measured from 0.3 mm/day to 3.3 mm/day, measured at 7 days intervals. A marl bed started sliding on top of an underlying shale bed; both strata are tilted towards the stream and are exposed by vertical erosion. This movement destabilized a mass of unconsolidated material with a volume of 850,000 m³, which resulted in the sliding of blocks over a 350 m stretch of terrain. Over 30 houses have been damaged, and a XVI century convent is at risk. Vertical erosion by the Tlaxomotl underground water flow in the collapse debris, and human activities, are the main factors that triggered the landslide process.

PALABRAS CLAVE: Landslides, hazards, Metztlán, Mexico.

INTRODUCCION

La población de Metztlán (del náhuatl, lugar de la Luna) se localiza a unos 85 km por carretera, al norte de Pachuca (Figura 1), sobre una colina alargada e inclinada de norte a sur, bordeada por dos arroyos que desembocan en el río Metztlán, también conocido como Venados y Grande de Tulancingo (Figura 2). Posee 4500 habitantes, de acuerdo con los datos de un censo realizado en 1992 por el gobierno del Estado. Esta localidad está situada en la base de la región de la Sierra Madre Oriental conocida como Sierra Alta, con un relieve de laderas empinadas, disecadas por valles profundos y de fondo estrecho, donde se pueden reconocer principalmente estratos mesozoicos plegados.

El lecho del valle (la Vega de Metztlán) es de una anchura excepcional (Figura 2), de hasta 3 km, lo que ha favorecido la agricultura y el desarrollo de poblaciones pequeñas. Tiene su origen en un poderoso derrumbe, seguramente en el Cuaternario, de rocas calizas, que azolvó una pequeña porción de un valle montañoso, formando la laguna de Metztlán (Waitz, 1947) y posteriormente, al cambiar el régimen del río, el proceso de erosión se trans-

formó en acumulación, aguas arriba. Así, un valle en "V", se convirtió en un tiempo breve, en una extensa planicie lacustre aluvial.

En 1939 se realizaron obras de ingeniería para controlar el desagüe de la laguna. Con esto disminuyeron las inundaciones y se ha beneficiado a la agricultura.

La colina en la que actualmente se asienta Metztlán, es alargada de poco más de un kilómetro de longitud por 500-750 m de ancho y hasta 60 m de altura. Se formó por un derrumbe posterior, de rocas volcánicas provenientes de las montañas vecinas, mismas que rellenaron el fondo de un valle montañoso afluente del Metztlán. El río anterior encontró salida por las márgenes del depósito, principalmente de material pumicítico fino, con bloques de roca de diversos tamaños; en parte se encuentran fragmentos de yeso y bloques de caliza. Todo esto sobre estratos plegados.

Al quedar cubierto el cauce anterior, surgieron dos arroyos que escurren al sur, uno a cada lado de la colina (Figura 2).

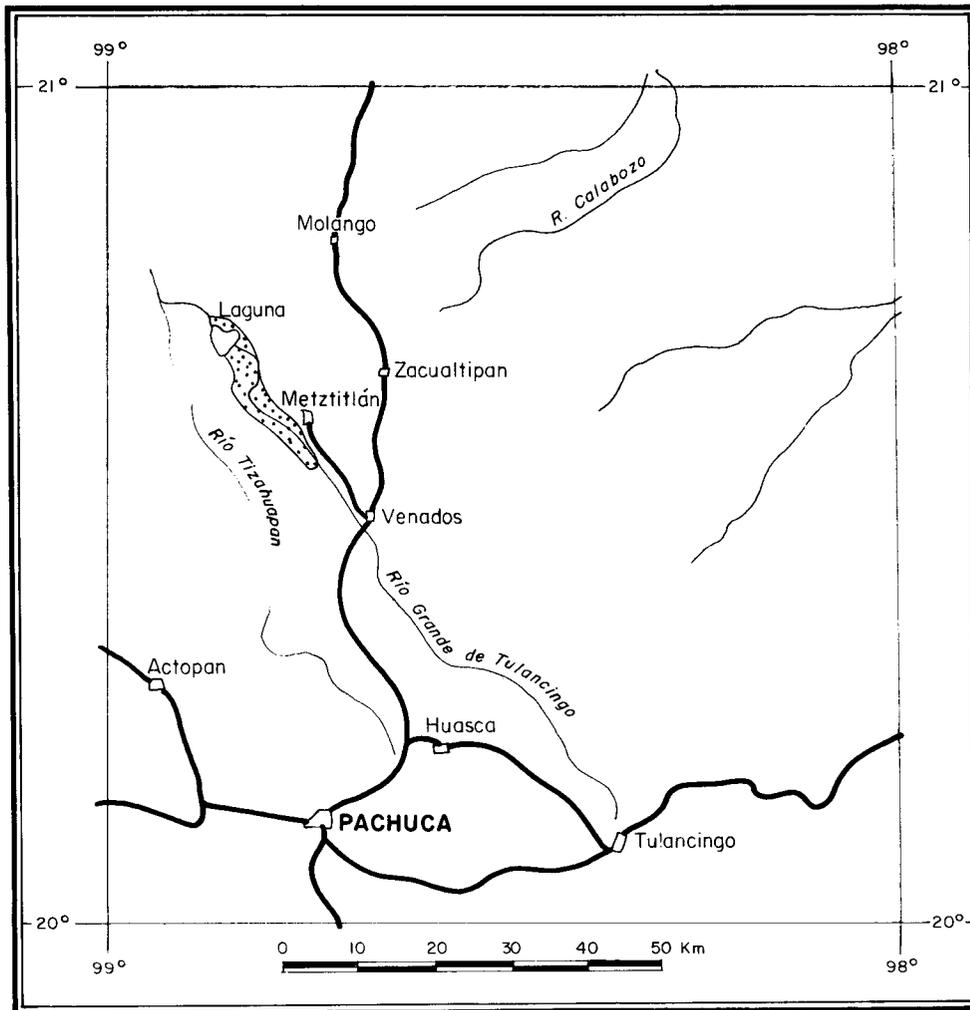


Fig. 1. Localización de Metztlán en el plano regional (hoja México, 1:1,000,000, SPP, 1980).

Lo anterior se infiere por los tipos de depósitos que se observan en los barrancos de la población (Figura 3) y grandes escarpes alineados en las montañas vecinas, "cicatrices" de un desprendimiento de rocas.

El material que constituye la colina es de alta permeabilidad. El agua que se infiltra debe circular fácilmente hasta el sustrato sedimentario, correspondiente en altitud con el nivel base de erosión. Una parte del agua de circulación subterránea, descarga hacia el arroyo del oriente; otra, debe infiltrarse a través de las grietas de la Formación Méndez. En la zona de desembocadura del Tlaxómotl se han perforado pozos para la extracción de agua y de acuerdo con V. Torres (1992), el nivel se encuentra a aproximadamente 18 m de profundidad.

La formación de los nuevos barrancos debe haber sido un proceso rápido, ya que a la fecha se lleva a cabo con velocidad considerable, favorecida por la poca resistencia de los sedimentos y las lluvias de temporada, de mayo a septiembre; ocasionales se presentan de octubre a enero, y de febrero a abril predomina el estiaje.

Vista en perfil longitudinal, la colina de Metztlán, presenta por lo menos tres escalones y en el último se construyó la obra monumental del convento agustino (Figura 4), separado del borde del barranco oriental por una calle (Juárez) de 5 m de ancho. Los escalones o terrazas mencionados pueden ser originales del depósito, lo que es algo normal, pero seguramente fueron ampliados para realizar construcciones, en especial, el convento, lo que afirma G.P. Victoria (1985), al igual que ratifica las conclusiones de G. Kubler (1948) en el sentido que la obra inició en 1553.

MANIFESTACION INICIAL DEL PROCESO

En noviembre de 1991 se reconocieron fisuras en el suelo de la ladera occidental del barranco Tlaxómotl, lo mismo que en casas situadas al oriente y noreste del convento. Los pobladores no dieron importancia al fenómeno. En diciembre del mismo año, algunas fisuras de 1-2 mm de ancho, se convirtieron en grietas de hasta 12 m de longitud y 30 cm de ancho, aunque como máximo se reconoció una de 80 cm; en total, sumaron 53 m de longitud. Algunas casas fueron afectadas seriamente.

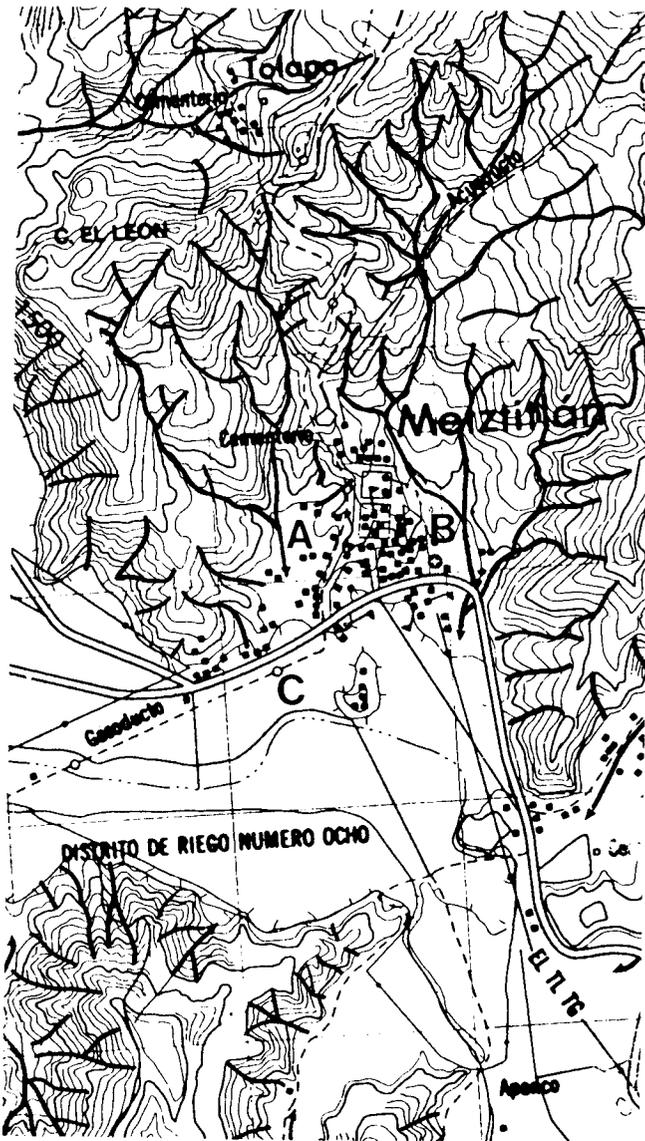


Fig. 2. La población de Mezquitalán (hoja F14061, 1:50,000) en una colina bordeada por dos arroyos (A y B - Tlaxómotl) que desembocan en la vega (C).

En el fondo del barranco, en su ladera derecha, se pudo observar una capa de margas de la Formación Méndez (estudiada por Segerstrom en 1961), muy alterada, inclinada 5 grados hacia el arroyo, sobre la que yacían sedimentos no consolidados, de unos 20-30 m de grosor. La marga sobresalía en su deslizamiento, unos 35 cm sobre una capa arcillosa (Figura 5). Esto se produjo en el transcurso de unos pocos días que coincidieron con lluvias provenientes de una masa polar. Esta observación en la margen derecha del barranco, permitió reconocer el origen de las grietas en la superficie: el movimiento de un estrato arrastraba consigo un paquete de sedimentos, formando grietas transversales a la dirección del desplazamiento.

TIPO DE PROCESO

Tomando en cuenta las pequeñas dimensiones de la colina de Mezquitalán y los factores climático y geológico estruc-

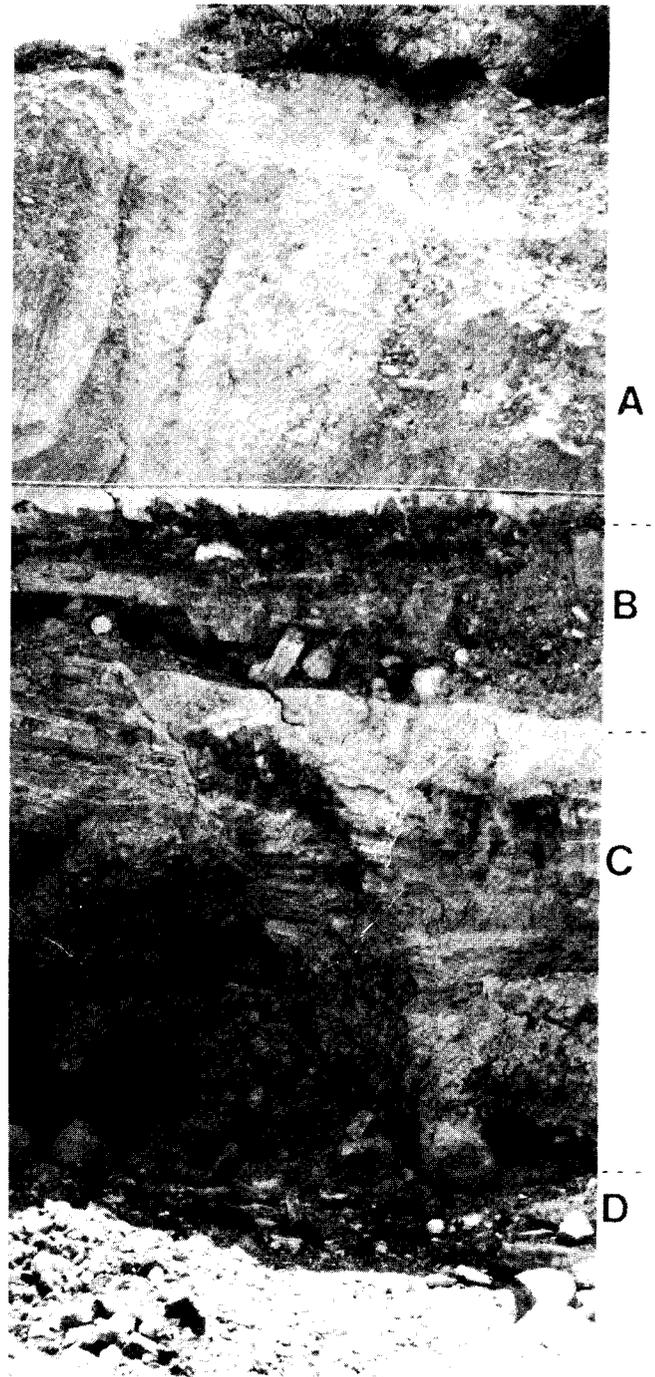


Fig. 3. Columna litológica que muestra la constitución del subsuelo de Mezquitalán. A, material detrítico depositado por corriente de lodo; B, cantos y bloques de cauce antiguo; C, estratos de margas y lutitas de la Formación Méndez; D, depósitos actuales de cauce.

turales, resultaron evidencias suficientes en favor de lo que se conoce en geología como un proceso exógeno de remoción en masa (o de ladera) y en particular, un deslizamiento de tierras (landslide). Por lo anterior, es preferible no utilizar el término falla que en geología se aplica a las rupturas de las rocas debidas a movimientos profundos (endógenos), con desplazamiento de una de las porciones.

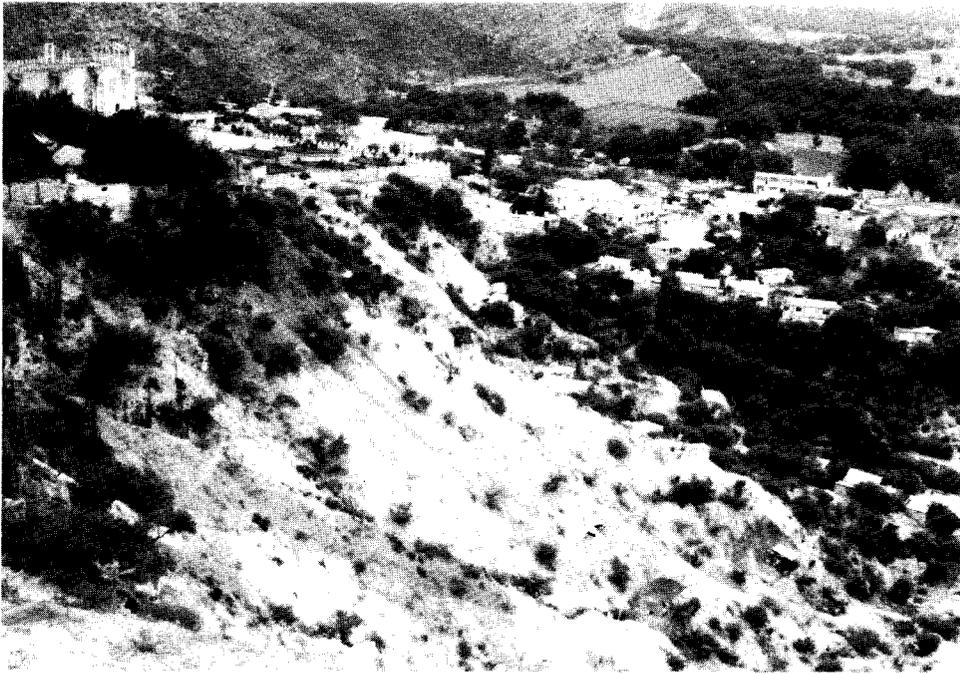


Fig. 4. El ex convento agustino de Metztlán de los Santos Reyes en una colina escalonada, vista en perfil longitudinal.



Fig. 5. La capa de marga se desliza sobresaliendo unos 35 cm sobre una de lutita (diciembre de 1991), en la margen derecha del arroyo Tlaxómotl.

La clasificación de los procesos de remoción en masa o de laderas, incluyendo la explicación de cada uno, fue establecida por C.F. Sharpe en 1938, en forma tan clara y ordenada, que a la fecha sigue siendo válida. Se basa en la velocidad del movimiento, el material en que se produce y la presencia en mayor o menor grado del agua; está expuesta en prácticamente todo libro de geología general y de geomorfología, naturalmente, con agregados o modificaciones. Los deslizamientos de tierras se deben a dos factores principales: la topografía y la estructura geológica. En el primer caso, las laderas montañosas, incluyendo los valles, son zonas donde se producen estos fenómenos con más frecuencia.

Respecto a la estructura geológica, el caso más representativo es el de estratos de calizas o margas que yacen sobre otro arcilloso, inclinado en dirección de la pendiente del terreno y con presencia de agua subterránea.

Los factores que pueden dar inicio al deslizamiento son varios: sismos, sobresaturación de agua en el subsuelo, la erosión vertical que debilita las laderas y hace aflorar capas que pueden deslizarse, la erosión marina en las costas y la acción humana. El deslizamiento de tierras es un proceso lento, cuya velocidad varía de fracciones de milímetro por día, a milímetros. Es común que ésta se incremente gradualmente y el proceso se convierte en otro de tipo rápido: el derrumbe. Son conocidos los casos en que se desencadena un tercer proceso al formarse un dique natural en un río o depositarse en un lago o presa, surge una corriente de lodo, que es lo que causa daños mayores.

En Metztlán se daban las condiciones favorables para un deslizamiento de tierras. El arroyo Tlaxómotl se encargó de cortar verticalmente los depósitos provocados por un

gran derrumbe y dejó al descubierto las capas del sustrato sedimentario, que se levantan sobre el piso del cauce menos de 5 metros. La deformación intensa de los estratos permite reconocer inclinaciones desde unos pocos grados, a la vertical y con buzamiento prácticamente en cualquier dirección.

En la localidad en estudio, las precipitaciones pluviales no son altas en el curso del año, de 427 mm en promedio (E. García, 1988); sin embargo, en tiempos históricos se han reconocido inundaciones poderosas por crecidas del río Metztitlán, casi siempre debidas a ciclones (S. Cantú, 1953). Por otro lado, a pesar de las precipitaciones escasas en el año, Metztitlán tiene una buena alimentación subterránea, proveniente de las partes altas de la Sierra Madre Oriental. Por ejemplo, a 12 kilómetros al noreste (Figura 1), en Zacualtipán (1800 msnm), las precipitaciones anuales son de 1764 mm (E. García, 1988).

El último ciclón que afectó a la región, fue el Diana, en agosto de 1990, lo que provocó en Metztitlán una precipitación de 174 mm en dos días. Las modificaciones al relieve por estos fenómenos son de gran importancia, ya que originan largas cárcavas en laderas montañosas y se produce una extraordinaria remoción de material y su consecuente depósito en el pie de las laderas, en los cauces y en las desembocaduras de los arroyos.

La influencia del hombre en el relieve parece ser una causa más del deslizamiento de tierras en Metztitlán, por ejemplo:

1. La ladera del barranco oriental, antes conservada, se ha modificado en los últimos 10 años. Primero, la tala de árboles y cactáceas que protegen el suelo y reducen la infiltración a profundidad. En segundo lugar, se han hecho construcciones modificando el relieve original, principalmente terrazas, que han favorecido la formación de grietas a lo largo de la línea de sutura.
2. El desagüe de la población se realiza por fosas sépticas. Las aguas negras penetran fácilmente la capa de más de 20 m de material no consolidado, de alta permeabilidad, hasta alcanzar el lecho rocoso sedimentario, donde disminuye o cesa la circulación vertical.

EVOLUCION DEL DESLIZAMIENTO

No se conocen antecedentes históricos de deslizamientos importantes en la población, lo que confirma la presencia del convento por más de 400 años. La actividad ha sido permanente desde noviembre de 1991 y se incrementa en periodos breves de cuatro-cinco días, que coinciden con lluvias en Metztitlán o en las cercanías de las montañas. El estrato de margas que deslizaba sobre arcillas se pudo observar hasta el 22 de febrero. El proceso había sido lento y en la medida que avanzaba, se rompía parte del estrato a desplome (llegó a sobresalir hasta 85 cm). Finalmente, un movimiento brusco provocó un derrumbe que cubrió las rocas sedimentarias (Figura 6), lo que coincidió con una precipitación de 6 mm el día 18.

En diciembre se midió la longitud total de grietas, que fue de unos 53 m; en mayo, 263 m y en octubre era ya casi imposible obtener un valor preciso, pero se calcula que debe ser de más de 1500 m.

La evolución del proceso ha sido del cauce a la divisoria de aguas y se explica de la manera siguiente:

1. Inicialmente surge en la superficie una grieta paralela al arroyo, variando en orientación de N-S a NW30, con aberturas de 1-10 cm; son las grietas maestras (longitudinales) que constituyen los límites de los bloques. Paralelamente se presentan numerosas fisuras y grietas menores en longitud y anchura.
2. Las grietas maestras definen dos bloques, posteriormente se produce el asentamiento por gravedad del bloque inferior. Se forma así un escarpe de unos centímetros, que en dos meses ha llegado a superar los dos metros de altura (Figura 7). Las grietas maestras alcanzan aproximadamente 350 metros. Las dos inmediatas al arroyo forman escarpes continuos, mientras que las cuatro o cinco restantes sólo los han formado parcialmente (Figura 8).
3. Surgen otras grietas transversales a las anteriores, desmembrando los bloques mayores, en una serie de otros pequeños, mismos que se desplazan con velocidad y dirección desiguales (Figura 9) hacia los lados y hacia el frente, lo que se reconoce por el tipo de deformación que se presenta en las construcciones (Figura 10).

Durante cinco meses se han estado realizando mediciones precisas en 10 grietas formadas a partir de noviembre de 1991. En este lapso, las observaciones se pueden resumir en tres puntos: 1) grietas que surgieron en la etapa inicial con anchura de hasta 6 cm, no se reactivaron; b) otras permanecieron inactivas un tiempo para reactivarse después; c) la actividad ha sido permanente (Figura 11), aunque en algunos casos con periodos de estabilidad.

El movimiento de abertura de las grietas se empezó a estudiar con 12 estaciones de observación, colocando en cada una tres agujas, una a un lado de la grieta y dos al otro, formando un triángulo, con lo que se midieron distancias entre los tres puntos.

En dos grietas (Figura 8) se reconocieron movimientos rápidos, mientras que en las restantes han sido insignificantes o nulos. Esto se explica porque las más activas corresponden a las grietas maestras o longitudinales. De las restantes, consideramos que los desplazamientos pueden presentarse en un plazo mayor. En agosto, al reactivarse otras grietas, se fijaron ocho estaciones más de observación, con datos que todavía son escasos. A continuación se muestran los obtenidos en dos estaciones: la primera en el jardín interior del convento (Figura 11) y la segunda, en la esquina de las calles Juárez y Vasco de Quiroga (Figura 12).

A



B



Fig. 6. Localidad donde se produjo el deslizamiento de tierras en febrero de 1992. a) Antes, en diciembre de 1991; b) después, en mayo de 1992. Las flechas señalan el mismo punto para referencia.

Tabla 1

Estación 1			Estación 2	
Fecha	mm	mm/día	mm	mm/día
15-V	254	-	-	-
22-V	256	0.3	191	-
5-VI	275	1.4	193	0.1
12-VI	298	3.3	195	0.3
19-VI	312	2	197	0.3
25-VI	323	1.8	199	0.3
2-VII	331	1.1	200	0.1
9-VII	339	1.4	208	1.1
17-VII	346	0.9	214	0.8
24-VII	352	0.9	-	-
8-VIII	364	0.8	223	0.4
14-VIII	372	1.3	-	-
22-VIII	376	0.5	236	1.1
29-VIII	379	0.4	237	0.1
11-IX	387	0.6	248	0.8
23-IX	-	-	253	0.4
3-X	-	-	276	3.0
21-X	-	-	303	1.5
	133	1.2	112	0.7

En la primera columna se indican las fechas en que se hicieron mediciones; en la segunda y cuarta, la distancia en posición casi horizontal, entre dos agujas (al final se indica el total); la tercera y quinta, la velocidad de abertura de las grietas, incluyendo el valor promedio.

Los datos anteriores demuestran lo siguiente:

1. Un movimiento permanente con velocidad (V) de 0.1 a 3.3 mm/día.
2. Los incrementos de la velocidad se produjeron después de las lluvias más intensas de la temporada en Metztlán, de los primeros días de junio, y de la segunda quincena de septiembre.
3. La primera grieta ha mostrado una actividad mayor, con una abertura de 125 mm, contra 57 de la segunda, del 5 de junio al 11 de septiembre. Posiblemente, la grieta 1 se desarrolla con más libertad, empujando al bloque inferior que delimita la grieta 2, de tal manera que sólo en apariencia se ha desplazado a una menor distancia.
4. La disminución de la velocidad de la grieta 1 en las últimas mediciones, se puede explicar porque en estas fechas se han reactivado las grietas paralelas situadas a mayor altitud.

Las observaciones en la grieta 1 culminaron, ya que el 19 de septiembre se produjo el derrumbe de una pequeña porción del convento en su extremo nororiental y las agujas fueron cubiertas, aunque los muros que separa la grieta no se han colapsado (Figura 13).

Otra observación consistió en reconocer las grietas que se formaron en la calle Vasco de Quiroga, de 125 m de largo. En diciembre eran solamente tres las de formación reciente, situadas en los primeros 15 metros (de oriente a poniente). En mayo eran más de 30 en toda la calle y tan sólo en los primeros 15 metros, había 13 grietas. En octubre eran 39 (Figura 14) y la mayoría de ellas había incrementado su anchura. Asimismo, se concentran en mayor cantidad en zonas determinadas (Figura 14: A, C) que corresponden a las grietas maestras más activas. La frecuencia de grietas en la calle fue de 3.25 cada 10 metros y considerando distancias de 25 m, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 2

Distacia en metros	Frecuencia grietas/10 m
0-25 m	5.2/10m
25-50 m	3.2
50-75 m	0.4
75-100 m	4.0
100-125 m	1.2

EL RIESGO

Este tipo de deslizamientos llegan a ser catastróficos. El movimiento inicialmente muy lento, aumenta gradualmente su velocidad para culminar en un derrumbe. Esta posibilidad de que uno o más bloques de 300-350 m de longitud se precipitara en forma repentina hacia el arroyo Tlaxomotl, arrastrando consigo casas, parece poco probable por la evolución que ha tenido de diciembre de 1991 a octubre de 1992.

El movimiento de los bloques mayores no se presenta en toda su extensión a un mismo tiempo, sino en pequeños bloques, de unos 10-30 m de ancho, delimitados por grietas transversales (Figura 9). La aparición de las grietas en una casa, es en muchos casos, un proceso irreversible que culmina con la destrucción.

A la fecha (octubre) había 6 casas destruidas, 5 muy dañadas, 10 con fisuras bien marcadas y en crecimiento y otras 9 con fisuras iniciales. Actualmente se han edificado 30 casas provisionales para los damnificados (Figura 15), al oriente del arroyo Tlaxomotl.

El riesgo principal es que el proceso activo de deslizamiento puede continuar algunos años, hasta que se produzca un nuevo equilibrio. Las grietas longitudinales avanzaron, del barranco en dirección al occidente; la última se localiza cerca de la divisoria de aguas del poblado y hay indicios de que en esta zona se forma ya una nueva grieta maestra (Figura 14-D). Esto significa una destrucción gradual de una parte importante de la población, con el peligro que el proceso llegue a manifestarse en la vertiente contraria, la del arroyo del occidente.

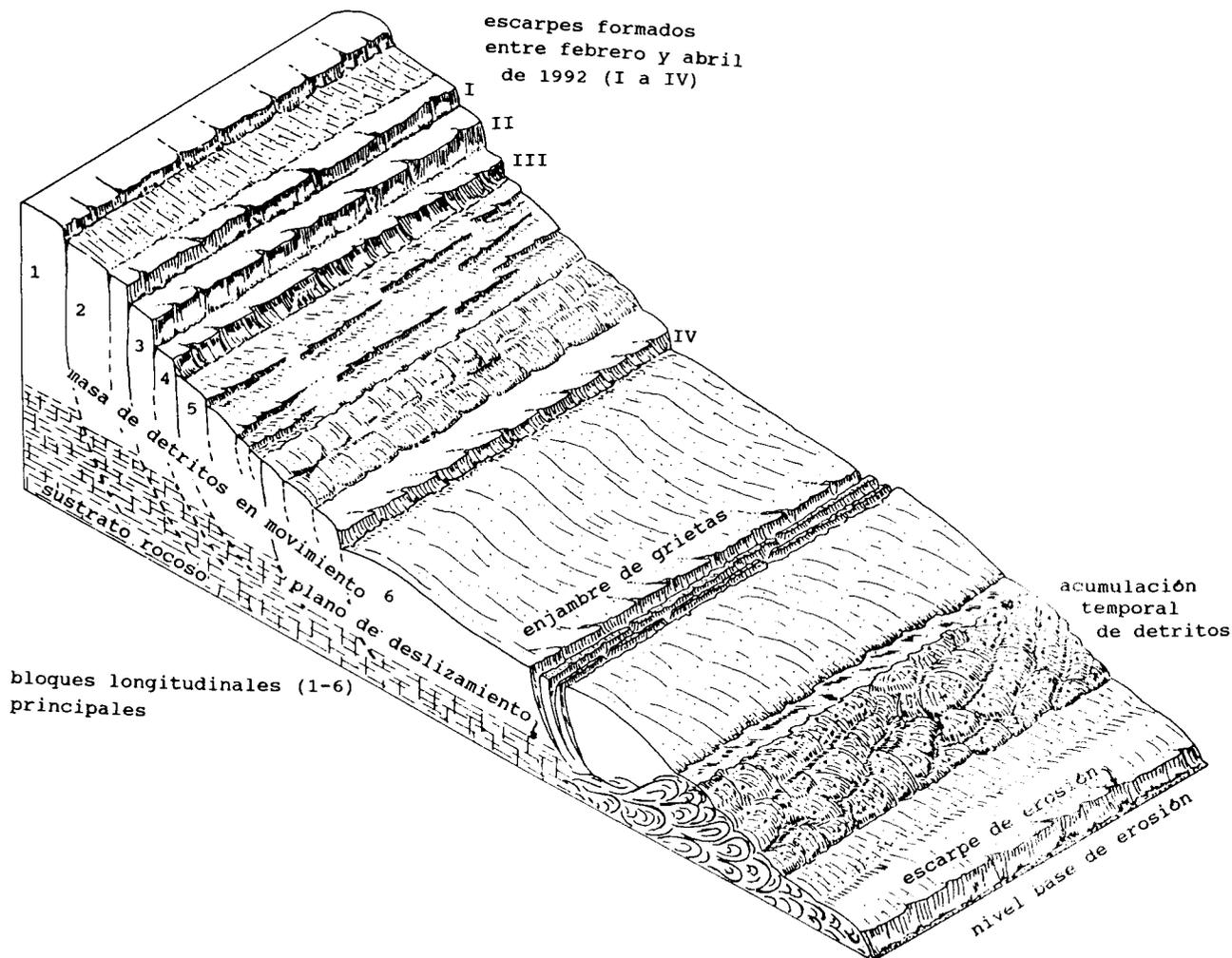


Fig. 7. Bloque diagramático que expresa el tipo de deslizamiento al oriente del ex convento de Metztitlán.

La destrucción de una pequeña porción del convento, en su esquina nororiental, es un aviso sobre la posibilidad de que las grietas avancen hacia el interior de la construcción. También hay que considerar que la grieta que provocó el daño, puede pasar a formar un escarpe, aumentando el riesgo.

PREVENCIÓN

Las medidas preventivas tomadas por las autoridades, han sido la evacuación de casas dañadas, el acordonamiento de las zonas peligrosas y la información a la población.

Es obvio que se puede intentar detener o amortiguar el proceso actual con una gran obra de ingeniería. En diciembre de 1991, A. Echavarría y C. Gutiérrez propusieron "la colocación de peso muerto al pie del talud, por lo menos a lo largo de la superficie de falla manifiesta, que sirva de contrapeso y a su vez de protección contra la erosión". En junio, un informe elaborado por F. Mooser, E. Santoyo y J. Segovia, recomienda: "Estabilizar la ladera con una protección de un relleno revestido para soportar la acción erosiva de las corrientes de agua". En julio de 1992, V. Torres

propuso la construcción de grandes muros escalonados, del arroyo hacia la porción superior y la colocación de pilotes bajo el convento. En octubre, una compañía privada realiza estudios de mecánica de suelos para definir la obra a realizar.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El proceso estudiado en la población de Metztitlán, Hgo., es un deslizamiento de tierras que se produce por el movimiento de estratos de margas sobre arcillas. En el plano de fricción se genera el movimiento por la presencia de fuerzas de filtración a raíz de las lluvias que se producen en la localidad y en las zonas elevadas cercanas de la Sierra Alta. Al moverse estos estratos, arrastran consigo los materiales no consolidados de 20 y más metros de grosor que yacen encima.

La razón por la que el deslizamiento sólo ha pasado a derrumbe en localidades pequeñas y no a lo largo de las grietas de 300-350 m, se explica por el buzamiento de las rocas plegadas del sustrato sedimentario, que no es uniforme. Pero el hecho de que en una margen del arroyo se haya pro-

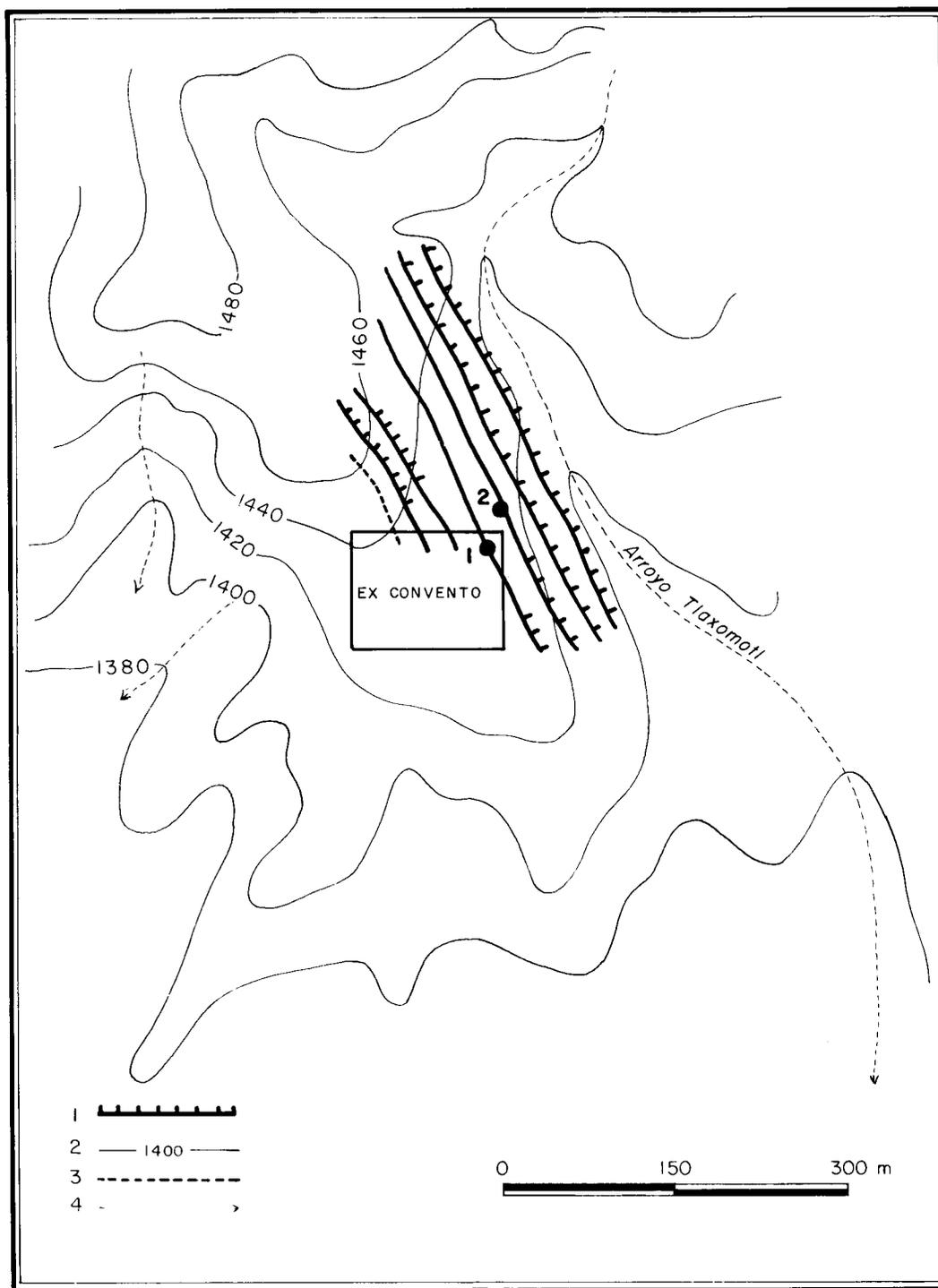


Fig. 8. Las grietas maestras (longitudinales) vistas en planta. Se indican las dos estaciones (1 y 2) a que se hace referencia en la Tabla 1.

ducido el deslizamiento, convertido después en derrumbe, significa una ruptura del equilibrio en el subsuelo de la porción oriental de la colina de Metztlán. Es poco probable que las grietas formadas en la superficie, de 350 m y más de longitud, tengan su origen en movimientos de esa magnitud, de las rocas sedimentarias. Seguramente se producen en localidades pequeñas, pero son suficientes para

desestabilizar a una masa frágil de material no consolidado de aproximadamente 850,000 metros cúbicos, a lo que contribuyen la erosión de los arroyos, las aguas subterráneas y las alteraciones que el hombre ha hecho en el relieve.

Las condiciones topográficas y estructurales son favorables para que se produzca un deslizamiento de tierras y

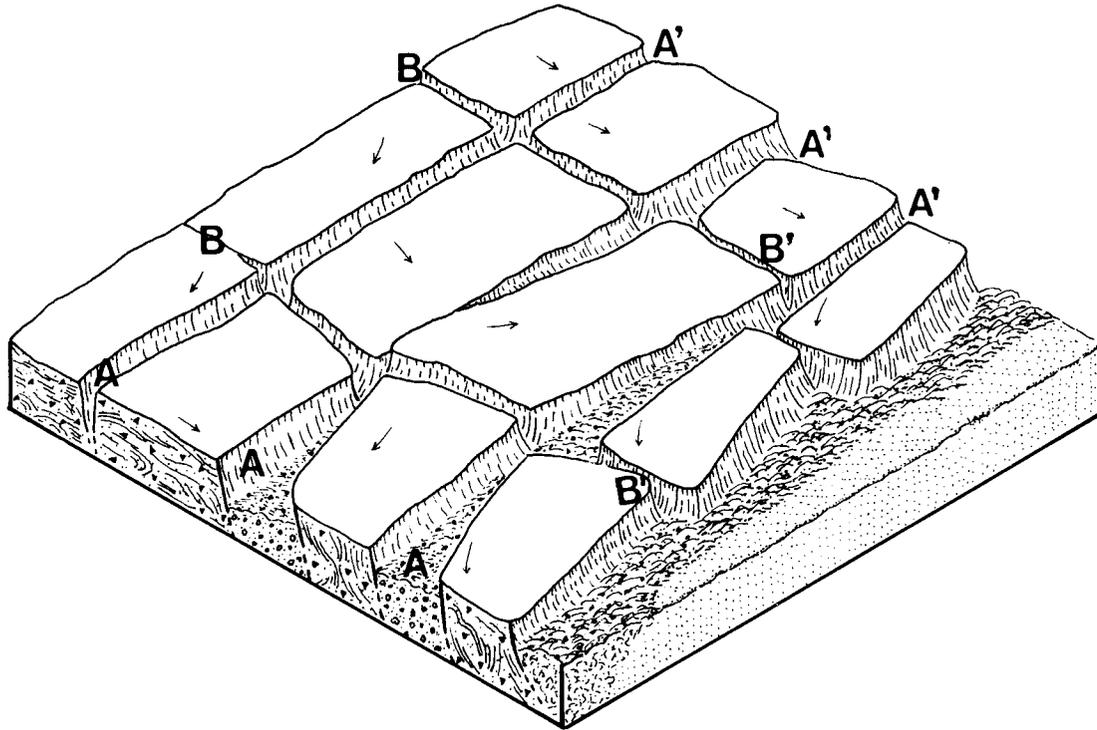


Fig. 9. Bloque diagramático que muestra los diversos tipos de movimientos de los bloques. Inicialmente se forman las grietas maestras (longitudinales, AA'), posteriormente las transversales (BB').

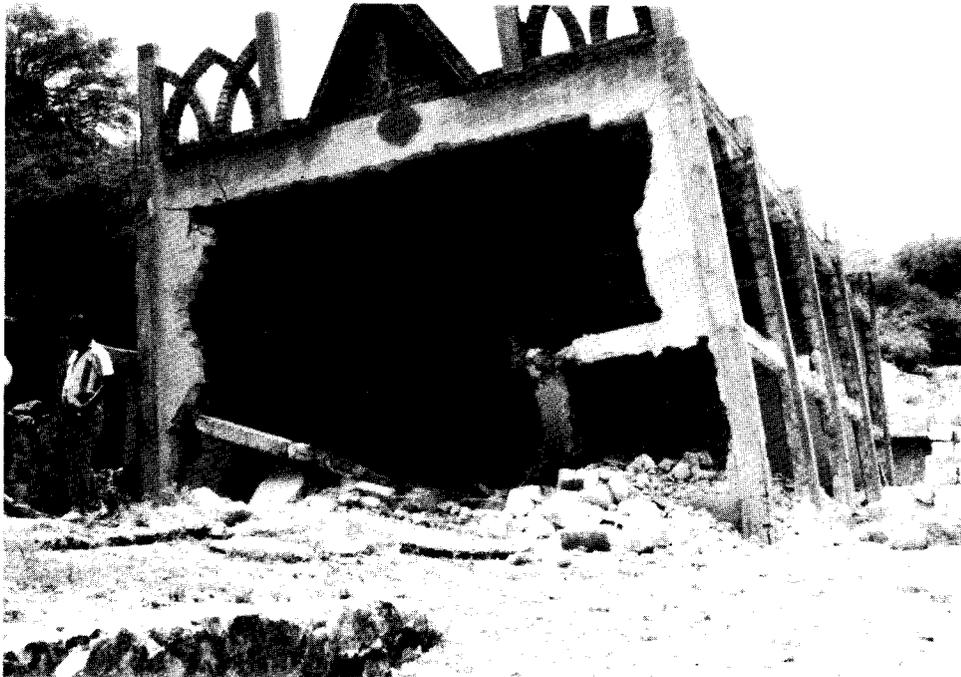


Fig. 10. Esta construcción (templo evangélico) se inclinó hacia el lado contrario del desplazamiento, lo que demuestra el movimiento rotacional de los bloques. La fotografía fue hecha el 15 de mayo; el movimiento continuó y dos meses después se colapsó totalmente.

éste se ha iniciado por la conjugación de varios procesos: la disección vertical que produce el arroyo Tlaxómotl, exponiendo en un corte los estratos plegados, inclinados hacia el arroyo; las aguas subterráneas que lubrican el plano de fric-

ción, provenientes de la Sierra Alta, de las lluvias locales y de las fosas sépticas y fugas de agua de las tuberías (opinión de F. Mooser *et al.*, 1992). Especial atención merecen los procesos antrópicos, ya que se observa que al-

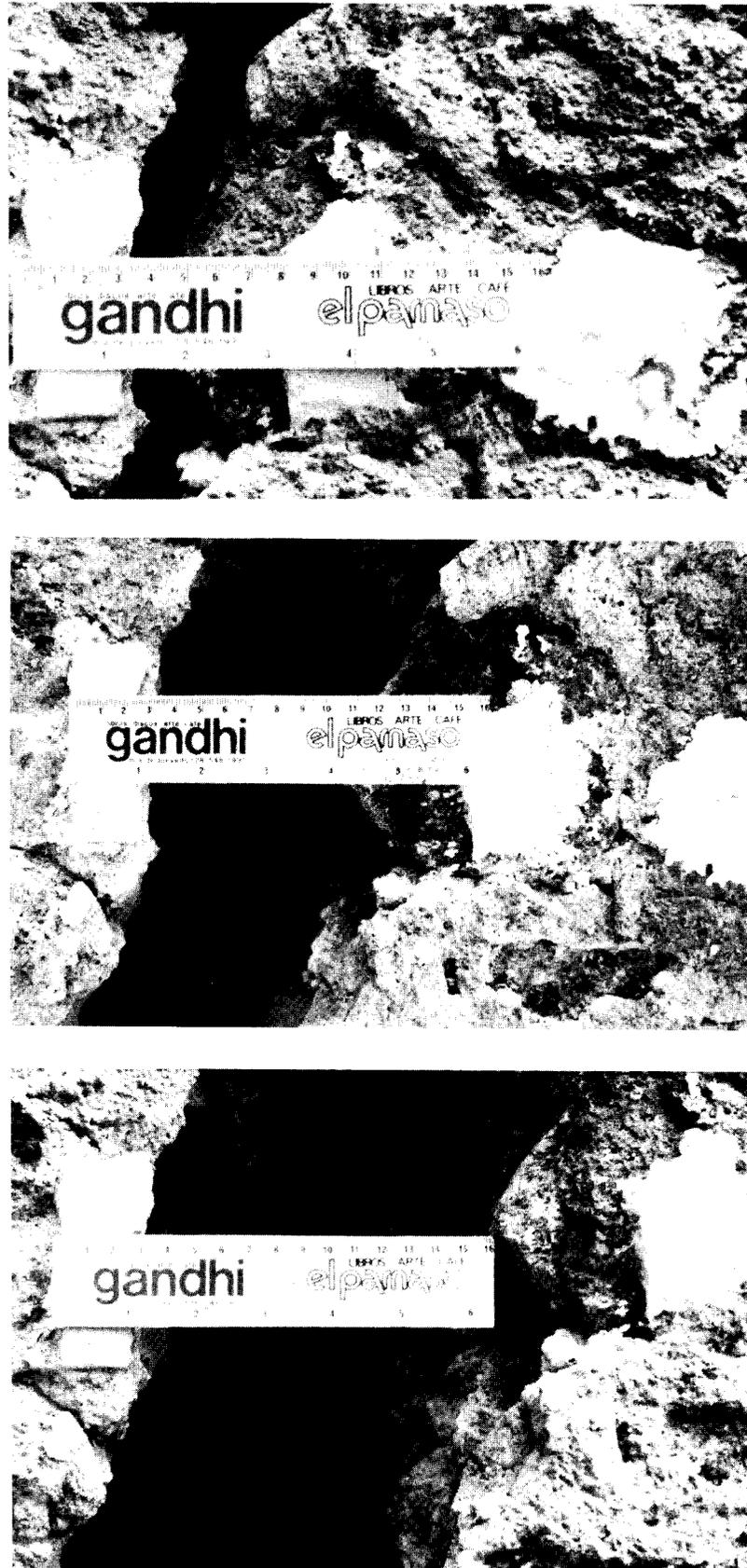


Fig. 11. Grieta en un muro en el interior del jardín NE del convento (estación 1): a) el 5 de junio de 1992, b) el 2 de julio, c) el 11 de septiembre.



Fig. 12. Grieta en una barda de la esquina de las calles Juárez y Vasco de Quiroga (estación 2): a) el 15 de mayo de 1992, b) el 21 de octubre.

gunos escarpes muy activos se han formado en la línea de sutura de terrazas artificiales. Uno de éstos se observa en la parte trasera del templo evangélico y otros tres al norte del convento.

Las grietas maestras, paralelas al arroyo Tlaxómotl, han ido creciendo desde diciembre de 1991, tanto en longitud, como en la formación de nuevas, hasta acercarse a la divisoria de aguas de Metztitlán, con lo que las superficies en riesgo aumentan gradualmente. El peligro mayor es que en

un plazo corto, de menos de cinco años, se vea afectada una parte mayor de la población.

RECONOCIMIENTOS

El trabajo de los autores contó con el apoyo del presidente municipal de Metztitlán, Gaudencio López Sánchez, del ingeniero Alonso Echavarría (del Centro Nacional de Prevención de Desastres) y del doctor Román Álvarez, director del Instituto de Geografía de la UNAM.



Fig. 13. Porción colapsada del convento el 19 de septiembre de 1992.

En el trabajo de campo colaboraron los geógrafos: Irasema Alcántara, Patricia Ballesteros, Maricarmen Cordero, Oscar Frausto, María Teresa García Arizaga, Julio Martínez, Azucena Pérez Vega, Oscar Salas y Araceli Salinas, así como el doctor en geografía David Palacios, de la Universidad Complutense de Madrid, quien hizo valiosos comentarios. Dos árbitros anónimos revisaron el manuscrito original. La Comisión Nacional del Agua, con sede en Pachuca, ha proporcionado a los autores información climática, por conducto del ingeniero Mario Sánchez Celis y sus colaboradores.

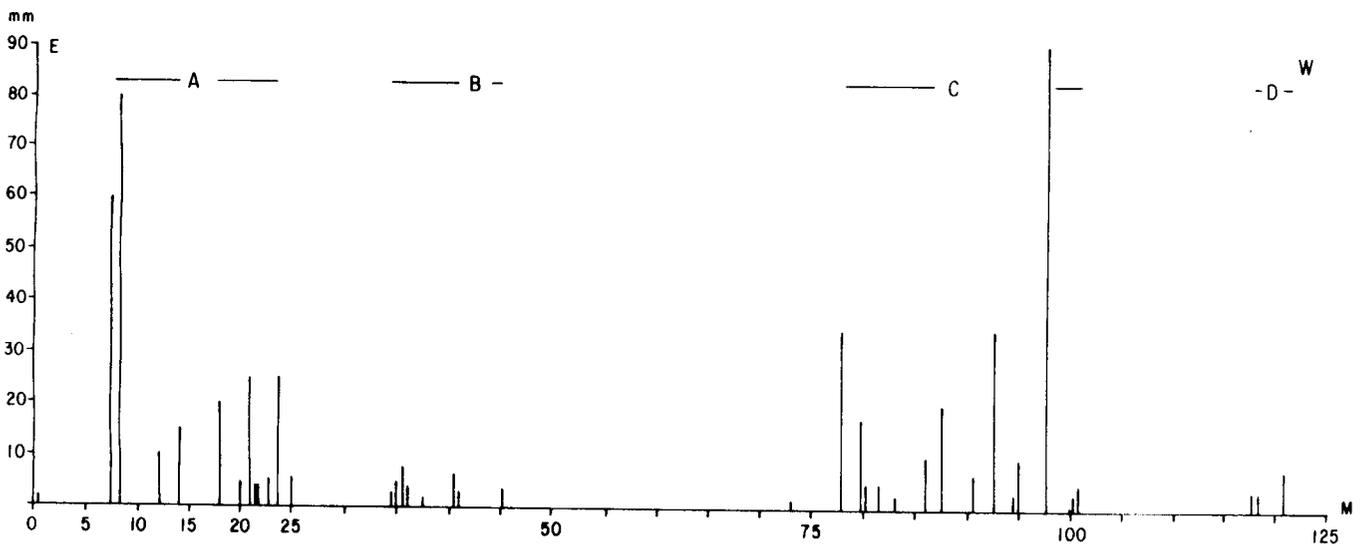


Fig. 14. Grietas en la calle Vasco de Quiroga. La escala vertical corresponde a los milímetros de abertura. A y C, expresan zonas de grieta maestra con clara expresión; B, con menor desarrollo, y D, inicio aparente. Mediciones hechas el 3 de octubre.

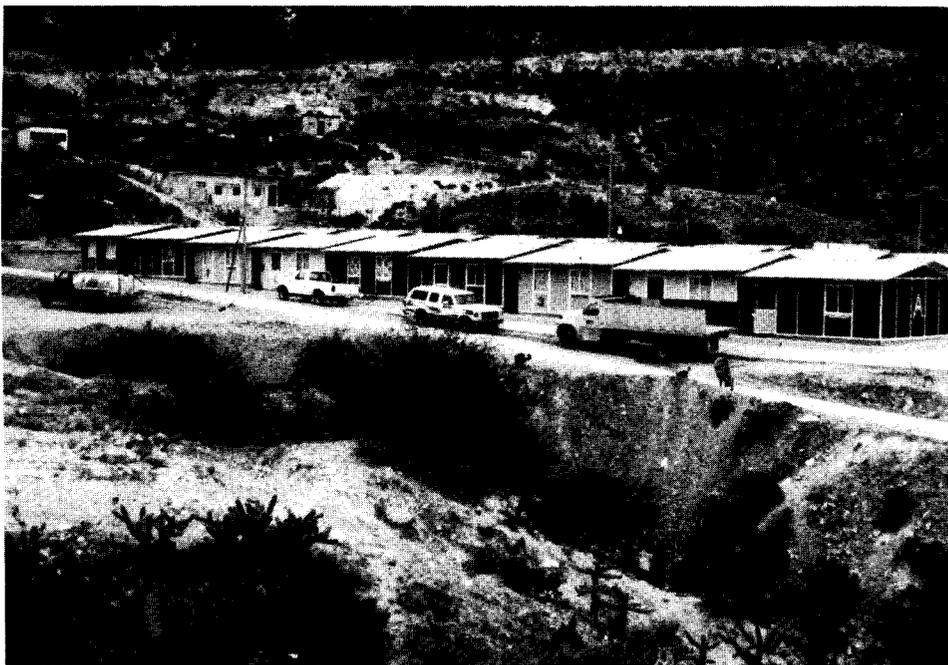


Fig. 15. Casas construídas para damnificados (3 de octubre).

BIBLIOGRAFIA

CANTU, T. S., 1953. La Vega de Metztlán en el Estado de Hidalgo. Tesis de maestría en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. Publicada en: Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, 1953, t. LXXV, núms. 1-3, 279 págs.

ECHAVARRIA, A. L., C. GUTIERREZ, 1991. Reconocimiento geotécnico del barrio El Calvario, municipio de Metztlán, Hgo., diciembre. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México (informe interno).

GARCIA, E., 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koepen. Edición privada, México.

KUBLER, G., 1948. Mexican Architecture of sixteenth Century. New Haven, Yale University Press.

MOOSER, F., E. SANTOYO y J. SEGOVIA, 1992. Reconocimiento del ex convento y terrena de Metztlán, Hgo. Informe de TGC Geotécnica para la Secretaría de Desarrollo Social, junio, México (informe interno).

SEGERSTROM, K., 1962. Geología del suroeste del Estado de Hidalgo y noreste del Estado de México. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 13, 3-4, 147-167.

SHARPE, C. F., 1938. Landslides and related phenomena. Columbia University.

TORRES, V., 1992. Informe del estudio geológico estructural y topográfico del barrio El Calvario, del pueblo de Metztlán, Mpio. de Metztlán, Hgo., junio, México (informe interno).

VICTORIA, J. G., 1985. Arte y arquitectura en la Sierra Alta, siglo XVI. Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM.

WAITZ, P., 1947, Dos grandes derrumbes que causaron la formación de lagos, uno moderno en el Perú y otro antiguo en el Estado de Hidalgo. *Ingeniería Hidráulica en México*, 1, 2, 145-160.

J. Lugo-Hubp*, J. J. Zamorano*, G. Gallegos**
*Instituto de Geografía, UNAM
Ciudad Universitaria
04510 México, D. F.

** Presidencia Municipal
Metztlán, Hgo.