

01059

3

2 EJ



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

"ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE UN DESLIZAMIENTO
DE TIERRAS EN METZTITLÁN, HGO."

T E S I S

PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN GEOGRAFÍA (*Eval. de Rec. Naturales*)

PRESENTA:

MARÍA TERESA L. GARCÍA ARIZAGA



México D.F. junio de 1995.

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

RECONOCIMIENTOS

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

Al Dr. José Lugo Hubp por la dirección y apoyo brindado en la realización de esta tesis.

Asimismo, al jurado de la misma, Dr. José Juan Zamorano O., Dra. Martha Cervantes, Dr. Alberto López Santoyo, Dr. Jorge López Blanco por los comentarios y valiosas sugerencias hechas al manuscrito que mejoraron considerablemente su contenido.

Al Instituto de Geografía de la UNAM.

A la Compañía Colinas de Buen y en especial al Ing. Luis Fco. Pliego Rosique quien autorizó la consulta de los informes geológicos elaborados sobre Metztlán. A los Ings. Saúl Alarcón Parra, Cesar Gatica y Rogelio Vargas Villanueva por su valiosa ayuda en la consulta del mismo.

Al Gobierno del Estado de Hidalgo, a la Presidencia Municipal de Metztlán y a Protección Civil por el apoyo logístico e información proporcionada. Al Lic. Marco Antonio Heras por su colaboración.

Al Dr. Graciano Gallegos quien participó en esta investigación.

En el trabajo de campo la valiosa ayuda de numerosas personas, en especial por su participación constante al Dr. José Lugo Hubp, a Oscar Salas García y al Dr. José Juan Zamorano.

Finalmente a Josefina Hernández Lozano y al Dr. José Luis Palacio por su ayuda en la edición del manuscrito.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
1. MARCO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO DE LA VEGA DE METZTITLÁN.....	5
1.1 Localización y marco físico geográfico.....	5
1.1.1 Clima.....	6
1.1.2 Hidrología.....	14
1.1.3 Suelos.....	16
1.1.4 Vegetación y Fauna.....	17
1.1.5 Geomorfología.....	18
1.2 Geología.....	26
1.2.1 Estratigrafía.....	26
1.2.2 Geología estructural.....	33
1.2.3 Geología histórica.....	35
2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LA COLINA DE METZTITLÁN.....	37
2.1 Características físico geográficas.....	37
2.1.1 Clima.....	37
2.1.2 Hidrología.....	39
2.1.3 Suelos.....	41
2.1.4 Vegetación.....	41
2.2 Geología.....	42
2.2.1 Estratigrafía.....	42
2.2.2 Origen de la Colina de Metztlán.....	47
2.3 Geomorfología.....	51
3. BREVES ASPECTOS HISTÓRICOS Y ACTUALES DE LA POBLACIÓN.....	56
3.1 Marco histórico.....	56
3.2 Construcciones del siglo XVI en la villa.....	59
3.2.1 Ex convento de la Comunidad.....	59
3.2.2 Ex convento de Los Santos Reyes.....	61
3.2.3 La Tercena.....	62
3.3 Población actual.....	64
4. ASPECTOS TEÓRICOS SOBRE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA.....	66
4.1 Procesos gravitacionales.....	66
4.2 Deslizamientos de Tierra.....	70
5. ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE UN DESLIZAMIENTO DE TIERRAS.....	77
5.1 Origen.....	77

5.2 Evolución.....	86
5.2.1 Formas resultantes del deslizamiento.....	87
5.2.1.1 Grietas.....	87
5.2.1.2 Escarpes.....	95
5.2.1.3 Terraza de flujo de tierra.....	102
5.2.1.4 Fosas.....	105
5.2.2 Localidades de especial interés dentro del área del deslizamiento.....	107
5.2.2.1 Campo de grietas.....	107
5.2.2.2 Calle Vasco de Quiroga.....	110
5.2.2.3 Bóvedas del convento.....	113
6. ACTITUD Y MEDIDAS TOMADAS POR LA POBLACIÓN Y EL GOBIERNO MUNICIPAL Y ESTATAL ANTE LA PROBLEMÁTICA DE UN DESLIZAMIENTO DE TIERRA.....	117
CONCLUSIONES.....	131
BIBLIOGRAFÍA.....	134

INTRODUCCIÓN

La Vega de Metztlán, formada por el río del mismo nombre, es un valle cuyo cauce y llanura de inundación son considerablemente anchos, de algunos cientos de metros y hasta 3 kilómetros. Se extiende desde la población de Venados, a la Laguna de Metztlán, con una longitud de aproximadamente 30 km y se ubica en la base de la Sierra Madre Oriental, en la región conocida como Sierra Alta (Fig. 1). Este valle por su morfología, es un caso excepcional en toda la sierra, donde predominan los cañones profundos de fondo estrecho, con una gran variedad de cactáceas (H. Sánchez M., 1978, H. Bravo, 1990) y se observan estructuras geológicas admirables. La vega (la llanura aluvial), delimitada por laderas empinadas, disecadas por valles (afluentes) de fondo estrecho, posee una enorme riqueza agrícola.

La población principal de la zona de la vega, es Metztlán, ubicada 85 km (por carretera), al norte de Pachuca, y se asienta sobre una colina alargada e inclinada de norte a sur, de poco más de un kilómetro de longitud, bordeada por dos arroyos que desembocan en el Río Metztlán. La población del lugar se remonta a la época prehispánica, en donde se estableció una confederación poderosa, no sometida a la Triple Alianza y frecuentemente en guerra con ella (Gerhar, 1986). Posteriormente a la llegada de los españoles, se edificó un convento agustino (Comunidad) en la ladera oeste de la colina, más tarde se construiría la enorme obra que constituye el convento de Los Santos Reyes.

La colina de Metztlán debe haberse originado en el Cuaternario (posterior a la laguna), por un gran derrumbe de material volcánico de las montañas aledañas, mismo que cubrió un antiguo valle, y el río al no encontrar salida, bordeó el material de acumulación, a lo largo del contacto con las rocas sedimentarias. Se formaron así los barrancos que bordean Metztlán por el oriente y occidente.

El material no consolidado de la Formación (Fm.) Atotonilco, que constituye la colina, tiene poco más de 20 m de grosor y es de alta permeabilidad. El agua se infiltra fácilmente hasta el sustrato sedimentario (Fm. Méndez), correspondiente en altitud con el nivel base de erosión.

El arroyo Tlaxómotl que bordea la colina por el poniente, al cortar verticalmente los depósitos, dejó al descubierto las capas del sustrato sedimentario de margas sobre arcillas, plano de fricción lubricado por el agua que se infiltra, provocando que una masa de tierra y roca se deslice hacia el arroyo, desestabilizando la ladera oriental de la colina, lo que afectó a partir de noviembre de 1991, las casas construidas en esta zona. Desde diciembre de ese año, el deslizamiento de tierras en Metztlán es un proyecto de investigación del Instituto de Geografía de la UNAM, y constituye el tema central de esta tesis. La importancia del estudio radica radica, en que por primera vez se estudia en México, con detalle, un fenómeno de esta naturaleza, consideración que se apoya en la consulta de las principales publicaciones mexicanas de ciencias de la tierra, se trata de una investigación que ha tenido aplicación porque periódicamente se ha informado a las autoridades municipales, estatales y del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), de los resultados obtenidos, con recomendaciones especiales sobre medidas a tomar.

(CENAPRED), de los resultados obtenidos, con recomendaciones especiales sobre medidas a tomar.

Los estudios sobre los procesos de remoción en masa son muy recientes en la ciencia de la Geología tienen poco tiempo en la geología. Se desarrollaron esencialmente durante la segunda mitad del siglo pasado y adquieren solidez, sólo en 1938 con la obra de C.F. Sharpe, quien los definió en su conjunto con una gran precisión y los clasificó con base en la velocidad del movimiento, el material en que se producen y la presencia de mayor o menor cantidad de agua, asimismo, explicó las numerosas causas que originan a cada uno de ellos. En los años posteriores, el tema se viene enriqueciendo con las aportaciones de otros autores, lo que se trata en otro apartado.

En la actualidad hay trabajos muy completos sobre deslizamientos de tierras, realizados en diferentes países del mundo y al describir la evolución y origen del fenómeno, han enriquecido el tema, lo que se encuentra en estrecha relación con las medidas a tomar para evitar o frenar un proceso de este tipo. En México, desde 1985 se da cada vez una mayor importancia a los estudios relacionados con los riesgos de todo tipo, y entre los naturales, a los sismos y las erupciones volcánicas. Sin embargo, pocos trabajos tratan el problema de la remoción en masa (derrumbes, caída de rocas, reptación, etc.), y menos aún, de los deslizamientos de tierras.

La importancia de conocer el origen y evolución de un fenómeno natural como el de Metztlitlán, tiene no sólo valor científico, sino también es de utilidad en la aplicación de medidas para evitar pérdida de vidas humanas y el daño a construcciones diversas.

El estudio realizado no es definitivo, ya que el proceso continúa y posiblemente esto sea a lo largo de 5-10 años más. Ha servido para comprender que es algo que puede ocurrir en varias poblaciones del país y en realidad se presentan, pero pocas veces llaman suficientemente la atención por tratarse de aldeas de unos cuantos habitantes, aisladas en las zonas montañosas, o en localidades despobladas, por lo que pasan desapercibidos.

En los seis capítulos que constituyen esta tesis, se intenta explicar de manera detallada el deslizamiento de tierras de Metztlitlán, con apoyo en las observaciones hechas en campo durante más de 35 visitas. Asimismo, es importante considerar paralelamente otros temas de interés, como la geografía física general, la población y datos sobre la historia de Metztlitlán. El primer capítulo es un marco geográfico general que trata la localización regional del área y sus características físico-geográficas y geológicas más relevantes, con el fin de ubicar el área en estudio en un contexto mayor. En el segundo capítulo, ya en particular se exponen las características geográficas y geomorfológicas de la zona objeto de estudio. El tercer capítulo la define brevemente desde el punto de vista histórico, enfatizando en la importancia arquitectónica de los edificios del siglo XVI ubicados en la villa y se señalan algunas características importantes sobre la población actual. En el cuarto capítulo se expone un resumen de las aportaciones generales más importantes sobre los procesos gravitacionales, características y comportamiento de los deslizamientos de tierra. En el quinto capítulo y

principal, se tratan las características particulares y las causas principales que dieron origen al deslizamiento de tierras y se narra su comportamiento y evolución con apoyo en datos obtenidos a lo largo de los tres años de observaciones. Y por último, el sexto capítulo trata las medidas y actitudes tomadas por la población del lugar y el gobierno municipal y estatal ante este fenómeno, así como las acciones emprendidas.

Objetivos

El estudio del proceso de deslizamiento de tierras en Metztlitlán, Hgo., se ha realizado con los siguientes propósitos:

1. Tener un registro detallado sobre el desarrollo de este proceso, lo cual significa una primera investigación de este género en México, lo que incluye:
 - a) La transformación del relieve de la zona afectada, donde se producen cambios en lapsos de semanas y meses.
 - b) Obtener valores del desarrollo de formas del relieve relacionados con el proceso de deslizamiento.
 - c) Establecer las causas que originaron el problema
2. Conocer la actitud de la población y de las autoridades ante el fenómeno.

Por todo lo anterior, se trata de un enfoque esencialmente geomorfológico, donde se intenta el conocimiento integral del fenómeno mencionado, así como su relación con los riesgos y otros temas.

Hipótesis

Al inicio del estudio del deslizamiento de tierras se reconocieron las causas esenciales: geológicas y topográficas. Sin embargo, era de suponer que otros factores han influido, como la actividad humana y las lluvias torrenciales, en especial las que acompañan a los ciclones. En este caso, se requiere confirmar esta hipótesis y de ser válida, considerar la manera en que ha influido cada una en el proceso

Metodología

Gabinete

1. Consulta bibliográfica sobre información físico geográfica, geológica e histórica de la Vega de Metztlitlán y la colina en donde se ubica la población.
2. Consulta cartográfica, lo que incluye mapas base (topográficos) en diversas escalas, como temáticos (distintos mapas geológicos, climáticos y otros).
3. Análisis de datos meteorológicos proporcionados por la Comisión Nacional de Agua del Gobierno de Hidalgo. Esta información incluye precipitación media anual y mensual, total anual y máxima en 24 horas, temperatura media mensual y anual, todo de cuatro estaciones (tres ubicadas en la vega y una en la sierra) en un periodo de 30 años. Además, datos de precipitación diaria de enero de 1991 a enero y marzo de 1994.

4. Consulta del censo efectuado en 1992 por Protección Civil del Estado a la población de Metztlán.
5. Consulta de informes y trabajos realizados por diversas dependencias y compañías sobre el deslizamiento estudiado.

Campo

El trabajo de campo se basó en 35 visitas a la zona en estudio y alrededores, de mayo de 1992 a diciembre de 1994. Durante los primeros cuatro meses las visitas fueron semanales y quincenales, una vez realizados recorridos de análisis general y comprendido el comportamiento básico del deslizamiento, se hicieron mensualmente.

La medición de velocidades de crecimiento de los rasgos más importantes se efectuó mediante estaciones que se fijaron a partir de mayo de 1992 y se siguieron colocando a medida que surgían nuevas formas (grietas, escarpes, etc.) y otras dejaban de crecer. Los criterios utilizados para la elección de las estaciones de medición fueron los siguientes:

- Localidades donde era mayor la actividad (velocidad de abertura o crecimiento en un periodo corto).
- Las facilidades para hacer mediciones, de acuerdo con la ubicación y estabilidad de los sitios.
- Posibilidad de monitorear amplias superficies con puntos bien distribuidos.

Así, la metodología utilizada en campo se puede resumir en lo siguiente:

1. Reconocimiento general para observar relieve, procesos, geología, uso del suelo
2. Influencia del hombre.
3. Registro del surgimiento de nuevas formas del relieve, relacionadas con el deslizamiento (terrazas, escarpes, grietas, etc.).
4. Registro de la velocidad de desarrollo de grietas, escarpes, terraza de flujo de tierra, etc.

Finalmente, en gabinete, en la medida que se acumulaban datos de mediciones, se hicieron gráficas, perfiles y la correlación de las velocidades con las precipitaciones pluviales, de lo que fueron resultando las conclusiones.

1. MARCO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO DE LA VEGA DE METZTITLÁN

1.1 MARCO FÍSICO GEOGRÁFICO

1.1.1 Localización

La zona objeto de estudio está ubicada en la porción central del Estado de Hidalgo, en un área de transición entre la Sierra Madre Oriental y el Sistema Volcánico Transversal (Fig. 1), lo cual explica gran parte de sus características físicas y los fuertes contrastes geomorfológicos.

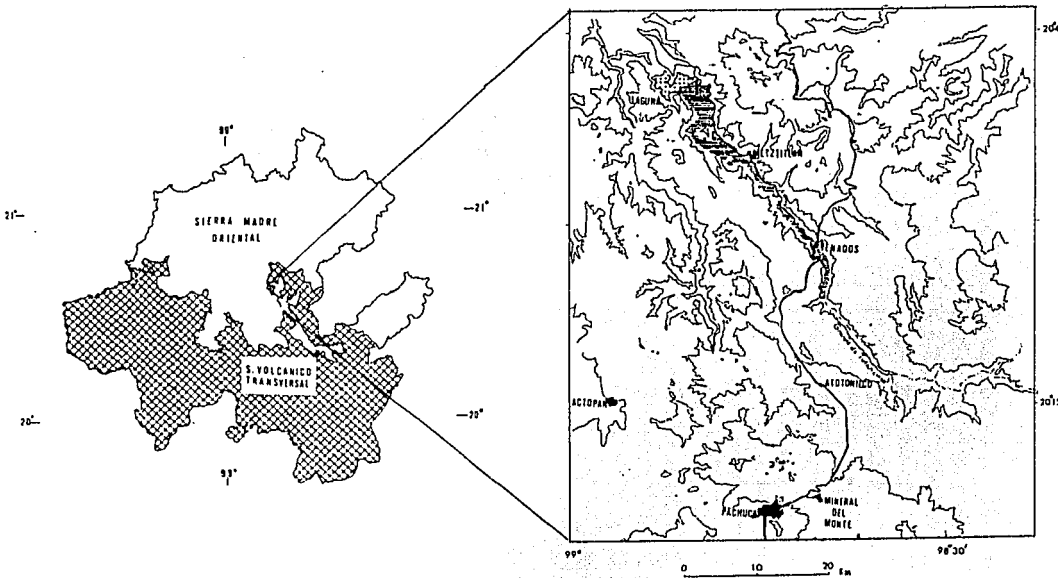


Fig. 1. Mapa de localización de la Vega de Metztlán (con hachure).

A esta región de la Sierra Madre se le conoce desde la época colonial como la Sierra Alta y en ella pueden distinguirse dos unidades principales: al norte, las montañas con clima húmedo y flora exuberante y al sur, la Vega de Metztlán y las montañas con clima seco que la circundan.

En esta última unidad es donde se ubica nuestra zona de interés, por lo que se tratarán de caracterizar los elementos físico-geográficos más importantes para comprender regionalmente la unidad de la que forma parte.

Políticamente, la zona pertenece al municipio de Metztitlán, uno de los más grandes del estado, cuya cabecera se localiza en el poblado del mismo nombre, y colinda con nueve municipios (Fig. 2).

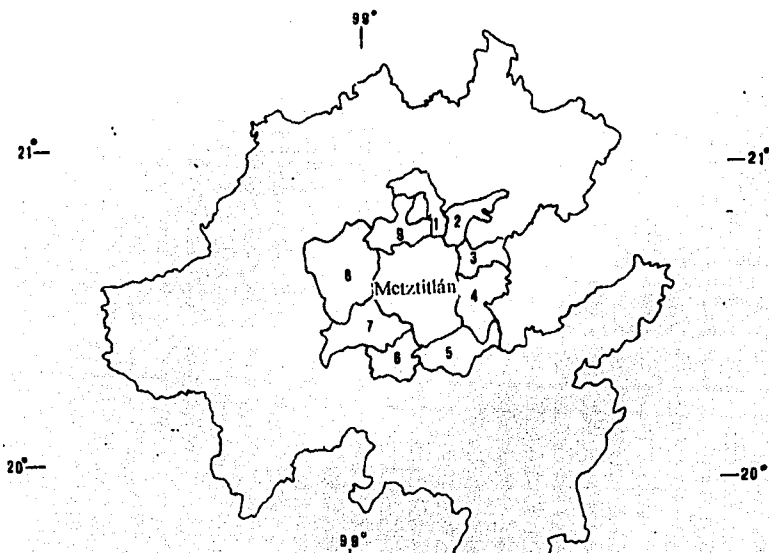


Fig. 2. Municipios que colindan con Metztitlán: 1) Molango, 2) Xochicoatlán, 3) Zacualtán, 4) Metzquitlán, 5) Atotonilco el Grande, 6) Actopan, 7) Santiago Anaya, 8) Cardonal y 9) Eloxochitlán

1.1.2 Clima

Con excepción de un área pequeña al oriente, prácticamente toda la zona queda comprendida en el clima seco, que se acentúa al occidente. Esta aridez está determinada por diversos factores:

1. El régimen de lluvias, menor a 420 mm anuales, con las mayores precipitaciones en pequeños lapsos a lo largo del año.

2. La profundidad de la barranca y su posición perpendicular a los vientos dominantes.
3. El alto grado de insolación anual, que unido a la temperatura, determina un alto nivel de evaporación y una humedad atmosférica baja.

Para el estudio climatológico en la Vega de Metztlilán, se utilizaron 4 estaciones distribuidas en diferentes puntos: al norte en el poblado de San Cristóbal, al sur en Venados, otra en Metztlilán y en la sierra (al oriente) en Zacualtipán (Fig. 6).

De acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García (1973), el clima en la Vega de Metztlilán puede caracterizarse en general, como seco semicálido, con presencia de las lluvias en verano, que son por lo menos en cantidad, diez veces más que en el mes más húmedo y presenta canícula, es decir, sequía interestival. La temperatura media anual oscila entre los 18° y 22° C, la del mes más frío es <18° C, el invierno es fresco. La única variante en las 4 estaciones es la oscilación anual de la temperatura (tabla 1).

Mientras que en la zona de Zacualtipán, en la sierra, el clima es templado húmedo, con régimen de lluvias de verano y presencia de canícula. La temperatura media anual oscila entre los 12° C y 18° C, pero en general la oscilación anual es extrema, presenta marcha anual de la temperatura tipo ganges.

Tabla 1. Estaciones meteorológicas en la región.

ESTACION	ALTITUD (m)	LAT. Y LONG.	PRECIP MEDIA ANUAL (mm)	TEMP. MEDIA ANUAL (°C)	TIPO DE CLIMA
San Cristobal	1350	20° 38' 98° 49'	387.9	20.5	BS hw'(w)(e)g
El Tajo	1264	20° 42' 98° 52'	Sin datos	Sin datos	BS hw'(w)(e)g
Metztlilán	1353	20° 36' 98° 46'	419.3	17.7	BS hw'(w)(i)g
Venados	1329	20° 28' 98° 40'	413.4	20.6	BS / hw'(w)(i)g
Zacualtipán	1800	20° 39' 98° 39'	1311	13.4	C(fm)w"b(e)g

La siguiente gráfica (Fig. 3) muestra la temperatura promedio, durante el periodo 1961-1990 para las estaciones de San Cristóbal, Metztlilán, Venados y Zacualtipán. En ella se observa con claridad la posición intermedia de Metztlilán con respecto a las estaciones de la vega con las que más se asemeja, y su diferencia en relación con Zacualtipán.

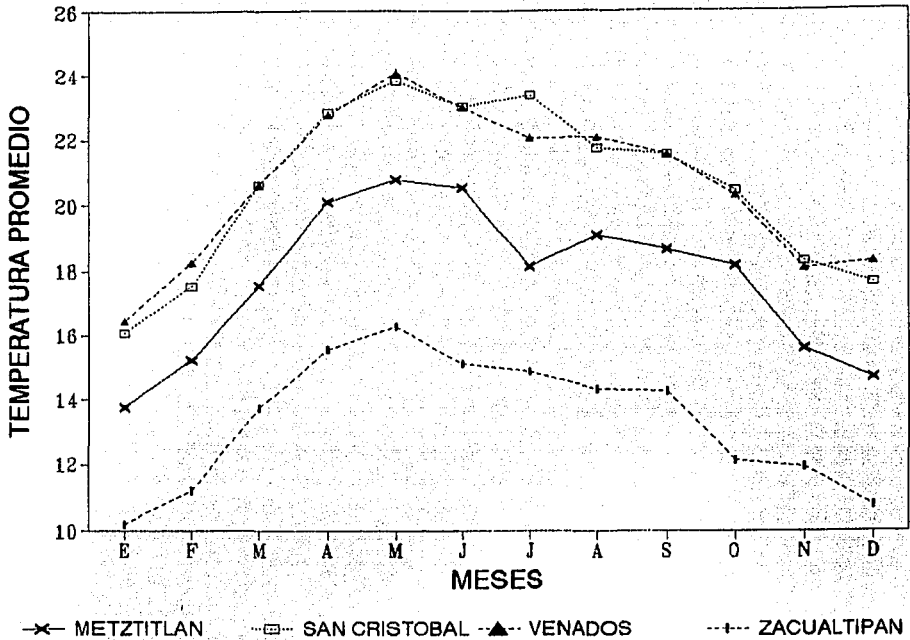


Fig. 3. Gráfica de temperaturas medias anuales (C°)

En cuanto a la precipitación total, durante el mismo periodo de 30 años, las gráficas (Fig. 4) muestran que los años con mayor precipitación fueron 1974, 1976, 1981 y 1990, para las estaciones ubicadas en la vega. La gráfica de Zacualtipán expresa la gran diferencia entre la precipitación registrada en la sierra con respecto a la de la vega.

Los vientos dominantes de la región son húmedos del noreste, provenientes del Golfo de México, con velocidades promedio de 4 m/seg. En enero proceden del norte y alcanzan una velocidad máxima no menor de 20 m/seg (Sánchez, 1978).

Con respecto a los ciclones y a las masas húmedas de aire que entran del océano, en la región son los fenómenos más importantes por lo que representan para cosechas y la productividad de la vega.

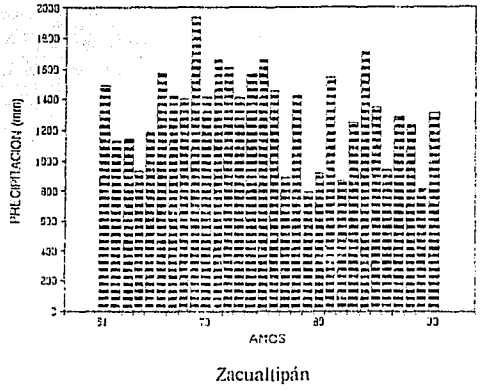
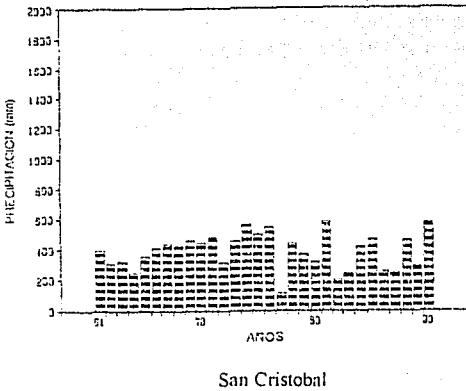
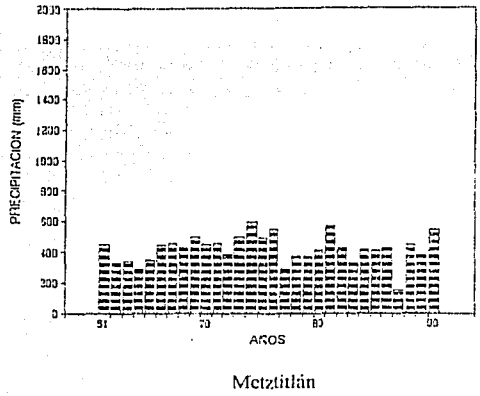
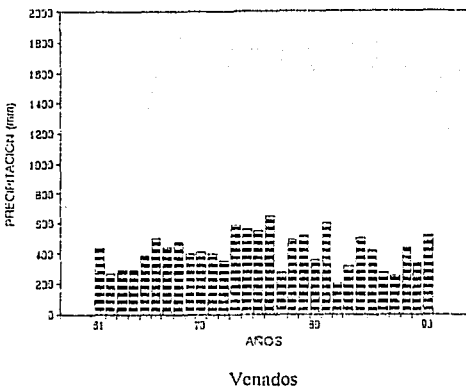
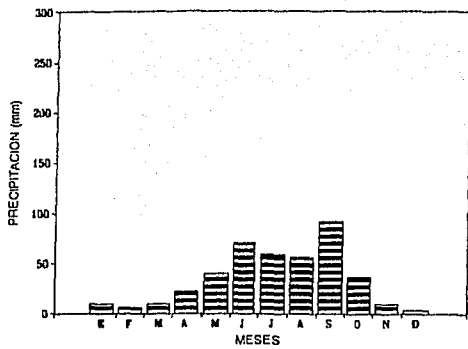
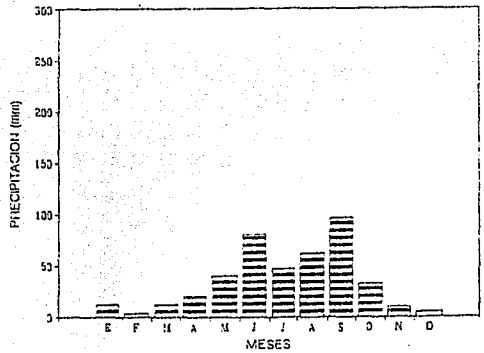


Fig. 4. Gráficas de precipitación total en un periodo de 30 años.

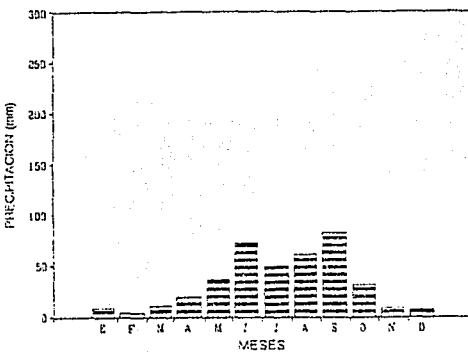
Como es conocido, en el país los ciclones tanto del Atlántico como del Pacífico, son frecuentes. La estación se inicia por el mes de mayo y termina en noviembre, siendo el mes de septiembre el de mayor incidencia de perturbaciones. Lo anterior es muy representativo en las estaciones ubicadas en la vega, como lo muestran las gráficas (Fig. 5). En estos meses, cuando los ciclones tocan nuestras costas, las etapas de disolución provocan abundantes precipitaciones, que se extienden hasta las partes elevadas de las sierras en ambos litorales, ocasionando derrumbes de taludes, deslaves de terrapienes en carreteras, además de otros fenómenos (Jauregui, 1967).



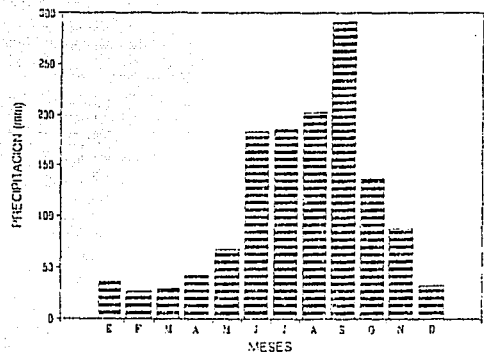
Venados



Metztlán



San Cristobal



Zacualtipán

Fig. 5. Gráficas de precipitación media mensual en un periodo de 30 años.

La presencia y efecto de los ciclones, principalmente provenientes del Golfo de México en el área, son de gran importancia, como ya se mencionó, en el desencadenamiento de ciertos procesos geomorfológicos y en sus efectos en la vega, cuando esta llega a inundarse dejando poblados incomunicados y la pérdida de cosechas, al mismo tiempo que el depósito de una carpeta de sedimentos.

Las inundaciones que provocan estos fenómenos en la vega, han ocurrido desde tiempos remotos, de los cuales se tienen algunas referencias, gracias a documentos históricos (Manzano, 1927):

- Septiembre de 1865 ocurre una sorprendente avenida que afectó las tierras de labor.
- Septiembre de 1888, el río Venados lleva gran cantidad de agua, según habitantes, hacía más de 22 años que no ocurría esto.
- Junio de 1910, las lluvias provocan la inundación de la vega y la destrucción de caminos, quedando incomunicada durante algunos días.
- Septiembre de 1926 se inunda la vega, al siguiente año se tiene noticia que el agua llegó hasta San Cristóbal y como los años que siguieron fueron lluviosos, no hubo tiempo para que la laguna se desaguara.
- En 1930 y 1944 las lluvias causan graves daños.
- Septiembre de 1988, el huracán *Gilberto* causa importantes precipitaciones. En las 3 estaciones que funcionan en la vega se registran los siguientes datos: en Metztlilán, en 5 días un total de 147.5 mm, en San Cristóbal 148.5 mm en 4 días y en Venados 181.5 mm también en 4 días.
- Agosto de 1990, el huracán *Diana* provoca lluvias en la región, donde se registran los siguientes datos en sólo 2 días: Metztlilán 175 mm, San Cristóbal 174 mm y Venados 113 mm.
- Septiembre de 1993, el huracán *Gert* deja incomunicada a la vega por algunos días debido a la inundación de ésta. Desafortunadamente no hubo registro de la precipitación en Metztlilán, pero en San Cristóbal fue de 149.5 mm en sólo 2 días y en Venados 95 mm.

En los últimos años el ciclón que ha provocado daños más graves ha sido el *Gert* en septiembre de 1993, que causó enormes perjuicios en toda la Huasteca potosina, veracruzana e Hidalguense. Dejó incomunicada a la vega por algunos días, debido a la destrucción e inundación de la carretera. Entre algunos de los daños que se registraron están la destrucción parcial de caminos y de algunas casas sobre la llanura aluvial, pérdida de cosechas, destrucción de canales, remoción de gran cantidad de material hacia la vega obstruyendo caminos y casas; el viento derribó árboles y dañó dos casas, etc. (fotos 1, 2, 3, 4). Sin embargo, es importante señalar que los huracanes no sólo causan daños a la región, también aportan grandes beneficios, lo que se tratará más adelante.



Fotos 1, 2. Vista de la vega inundada en septiembre de 1993.



Fotos 3, 4. Cosechas y casa destruida por las lluvias producidas por el huracán *Gert* , septiembre de 1993.

1.1.3 Hidrología

El Río Grande nace en los límites de Hidalgo y Puebla y cambia su nombre al noreste por el de Tulancingo. Capta las aguas del Huasca y del Apulco para escurrir por la Vega del río Metztilán y desemboca en la laguna del mismo nombre (Fig. 6).

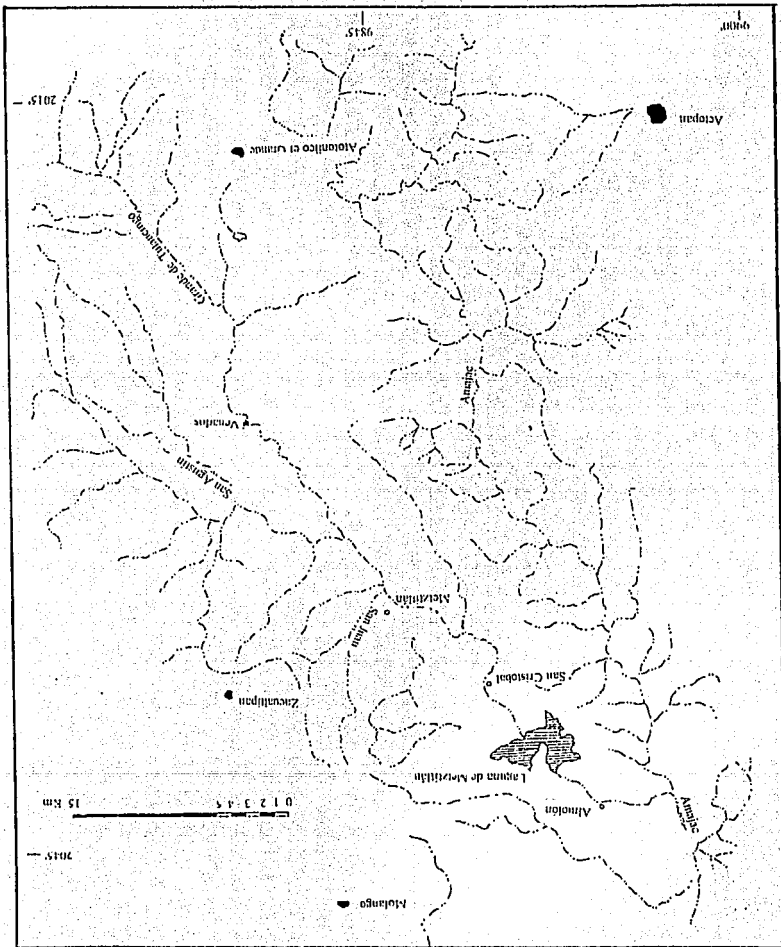


Fig. 6. Mapa hidrológico de la zona de la vega.

La laguna desagua de manera artificial al otro lado del cerro El Tajo, donde recibe el nombre de Río Almolón, que más adelante se une a las aguas del Amajac, para desembocar en el Moctezuma, tributario del Pánuco, perteneciente a la vertiente del Golfo de México.

El valle de Metztitlán forma la parte baja de la cuenca del Río Grande. Esta es alargada y presenta la misma orientación NW-SE, que las estructuras principales de la región. El drenaje principal está constituido por el Río Grande y las corrientes transversales que bajan de las montañas. Su régimen es torrencial.

Como ya se ha mencionado, los escurrimientos que se observan en la vega y en las montañas circundantes, están influenciados por los diferentes tipos de litología y por las estructuras geológicas; el agua se infiltra en el subsuelo, escurre a través de las fracturas o planos de falla o contactos litológicos que siguen los principales arroyos, o bien, pueden escurrir por los contactos litológicos, o de acuerdo con la composición química y mineralógica de las rocas y su grado de porosidad y permeabilidad, lo que se comprueba por la presencia de manantiales cercanos al área (Colinas de Buen, 1993).

Los afluentes tienen mayor desarrollo en las montañas de la margen oriental de la vega, de la cual drenan el río San Agustín, los arroyos San Juan, Tepatetipa y Papaxtla, entre otros.

Estos cuatro tributarios tienen una longitud considerable (12 a más de 30 km) y un marcado control estructural. El mayor encontrado en la zona es de cuarto orden. El patrón de drenaje es burdamente rectangular y más denso en la vertiente oriental. La densidad de disección es muy alta en las rocas sedimentarias (en promedio mayor de 6 km/km²), mientras que en las mesetas de lava que las coronan, ésta disminuye considerablemente por ser subterránea. En cuanto a la profundidad de disección, en los valles principales es en promedio de 450 m y como máximo se tienen valores superiores a los 700 m.

Los cursos fluviales en las rocas estratificadas siguen la dirección del buzamiento de las capas, en algunos se puede observar que es paralela al rumbo y raramente se ve que el flujo sea en dirección contraria al buzamiento (Martínez, 1984), por otra parte, la gran variedad de pendientes y grados de erosión dependen de la litología local.

Con respecto a las aguas subterráneas, en el área son importantes y se explotan en pequeña escala por medio de norias y pozos excavados en aluviones.

Las inundaciones en la vega son esporádicas, originadas por la entrada de masas húmedas tropicales y ciclones del Golfo de México, así como la falta de control para regular el nivel de la laguna cuando ocurren estos fenómenos, ya que el cauce del río solo permite el paso de 8 m³/seg (Cantú, 1957). Estas inundaciones se registran desde tiempos remotos y se conoce la existencia de proyectos para desaguarla desde entonces.

En 1939 se realizaron obras de ingeniería para controlar el desagüe de la laguna, con lo que disminuyeron las inundaciones y se benefició la agricultura (Waitz, 1947).

1.1.4 Suelos

Se ha considerado que la fertilidad de la Vega de Metztlán, se debe al agua abundante en la época de lluvias y a la presencia de ciclonés que ocasionan grandes escurrimientos por laderas y barrancos, erosionando el material (materia orgánica, limo, etc.) que posteriormente es depositado en las partes bajas.

Las inundaciones de la vega, provocan el depósito de una gruesa carpeta de material, que de acuerdo con habitantes de la zona, llega a ser de hasta 50 cm en una sola inundación. Esto presenta un factor importante en la fertilidad del área. Sin embargo, en las últimas décadas han influido muchísimo en los rendimientos de los cultivos, la clase, cantidad y método de uso de abonos, y como menciona Canul (1984), sería conveniente hacerlo metódicamente para proteger los suelos.

En las laderas y montañas que circundan a la Vega de Metztlán, los suelos tienen poco desarrollo, debido posiblemente a las condiciones climáticas, la fuerte pendiente y la litología.

De acuerdo con INEGI (1993), en la zona existen los siguientes tipos de suelos:

Fluvisol, se presenta en la superficie de la Vega y en los ríos San Juan y San Agustín. Es el suelo más productivo de la zona, se utiliza para cultivos de riego y áreas pequeñas de temporal. Se define como material sedimentario acarreado de las montañas que lo rodean y de lugares más lejanos. De acuerdo con el estudio hecho por Cantú (1953), en el cual fueron analizadas 12 muestras de suelo que se tomaron de diversos sitios de la Vega, los suelos que predominan son los migajones, principalmente arcillosos, arenosos y limosos.

Litosol, considerado por la clasificación FAO-UNESCO como suelos poco evolucionados, aunque es prácticamente roca. En éstos, la profundidad es menor de 10 cm, son pobres en materia orgánica y se presentan en las zonas montañosas de pendiente fuerte, donde el rejuvenecimiento por la erosión interviene de forma intensa. En la zona es el suelo más extendido, al occidente de la Vega, en una enorme franja NNW-SSE, sobre el cordón Cerro Alto y el Cerro Pericón, entre otros.

Luvisol órtico, es un suelo lavado, rico en arcillas y de alta susceptibilidad a la erosión. En la región se localiza en una franja delgada y larga NNW-SSE, al oriente de la Vega, en el área de Los Alumbres, Zacualtípán y Los Arcos.

Luvisol crómico, sus características son semejantes a las anteriores, sólo que en este caso, el horizonte álbico está ausente. Se presenta al norte de la laguna y al oriente del río San Agustín.

Regosol calcárico, es un suelo poco evolucionado, procedente de material no consolidado, excluyendo depósitos aluviales recientes, presenta un horizonte A órtico y son calcáreos a una profundidad de 20 a 50 cm de la superficie (SPP, 1981). Constituye

la etapa inicial de formación de un gran número de suelos (Fitz, 1984). En la zona se encuentra en una franja angosta a ambos lados de la vega.

Rendzina, este suelo contiene o está apoyado sobre material calcáreo, aunque puede presentarse también en sedimentos no consolidados o depósitos de acarreo. Es de escasa profundidad, con poca capacidad para almacenar humedad y se encuentra usualmente en zonas con procesos kársticos. Debido a su escasa profundidad y alta permeabilidad, su utilización tiene grandes limitaciones (SPP, 1981). En la región se distribuye al suroeste del área, en San Bernardo, por el Pirú Tepozotlán y el Palmar, y en una pequeña área al noroccidente de la laguna.

Cambisol vértico, es un suelo joven poco desarrollado, que se caracteriza por tener una capa en el subsuelo de textura arcillosa, que se agrieta cuando está seca. Su susceptibilidad a la erosión es de moderada a alta (SPP, 1981). En la región se ubica en una pequeña área al noreste de la laguna, sobre la mesa Chihuahua y Eloxochitlán.

1.1.5 Vegetación y Fauna

De acuerdo con Ortiz (1980), debido a su posición geográfica y geológica, la vegetación de la Vega de Metztlitlán y de las montañas que la limitan, puede ser una prolongación de la zona árida Chihuahuense y tener relación con la zona árida de Tehuacán. Asimismo, la vegetación de la zona, está determinada principalmente por factores como el suelo, el sustrato geológico, procesos geomorfológicos, factores climáticos y orientación. En la zona se encuentra dispersa en las laderas y barrancos.

Los tipos de vegetación que predominan en el área, de acuerdo con la nomenclatura utilizada por Rzedowski (1955, 1956, etc.), e identificados por Sánchez (1978), son los siguientes:

Matorral submontano, encontrado en sustrato basáltico, en los bordes de la barranca, lo constituyen diversas asociaciones. Entre las especies dominantes están la *Stenocereus dumortieri*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Opuntia cantabrigiensis*, *Celtis pallida*, *Neopringlea integrifolia* y *Montanoa xanthiifolia*.

Mezquital extradésértico, se desarrolla en suelos aluviales profundos. La especie dominante es la *Prosopis laevigata* mezclada con *Celtis pallida* y *Karwinskia mollis*.

Matorral Cactus-mezquite, se desarrolla principalmente en el estrato basáltico. Dominado por los grandes nopales, el garambullo y el mezquite, algunos de sus componentes en la zona son *Opuntia hyptiacanthus quadrifolius*, *Acacia tortuosa*, *Cassia wislizenii*, *Mimosa biuncifera* y *Celtis pallida*.

Matorral desértico calcícola, predomina en la parte inferior de la barranca, en estratos calizos, entre las principales asociaciones se encuentran *Cephalocereus senilis*, *Agave xylonacantha*, *Dasyliñon glaucophyllum* y *Fouquieria splendens*; la *Echinocactus ingens*,

Cephalocereus senilis y *Agave striata*; la de *Mammillaria gemnispina*, *Astrophytum ornatum*, *Ferocactus glaucescens* y otras varias.

Matorral desértico aluvial, se desarrolla donde hay suelo arenoso profundo con provisión, por lo menos temporal, de agua edáfica. Dominancia de *Prosopis laevigata* junto con *Acacia berlandieri*, *A. tortuosa*, *Artemisia mexicana*, *Cassia wislizenii*, *Celtis pallida*, *Mimosa biuncifera*, *Jaatropha dioica* y diversas cactáceas.

Por otra parte, uno de los grandes atractivos de la región, es el contar, con una de las más llamativas zonas cactológicas de nuestro país, constituida por enormes agrupaciones de diversos órganos y candelabros, las gigantescas biznagas, además de los "viejitos" (H.. Sánchez M., 1978). Esta población de cactáceas es rica, tanto en número de especies, como en número de individuos, ya que existen no menos de 59 especies distribuidas en 19 géneros.

En cuanto a la Vega de Metztlán, en ella se asienta el Distrito de Riego del mismo nombre, con 4100 ha. de terrenos dedicados a la agricultura de riego y humedad, así como a huertos de frutales.

En relación con la fauna que se encuentra en la región, Sánchez (1978) menciona que aun cuando por sus condiciones geográficas (altitud, acceso a la Huasteca) debería ser tipo neotropical, se asemeja más a la de las tierras templadas del altiplano.

Entre las especies más comunes de la vega, están las siguientes:

Mamíferos: tlacuaches, armadillos, varias especies de ardillas, liebres, conejos, ardillas de tierra, tuzas, ratas, zorras, comadrejas, cacomixtle, zorrillos y coyotes que rara vez se ven en la vega, aunque es abundante en las planicies que la bordean, y en las cañadas de los ríos tributarios

Pájaros: zenzontle, huilacoche, gorrión, tortolas, calandrias, cardenal, saltaparedes, gavián pollero, chichicuilotes, correcaminos, tecolotes, lechuzas, colibrís, carpintero, cuervo, diferentes especies de palomas, patos, garzas, zopilotes, golondrina, entre otros.

Reptiles: camaleón, cascabel, víbora prieta, culebras de agua, además de víbora coralillo, charronera y ratonera, etc.

Peces: carpa, bagre, trucha, poxta, etc.

1.1.6 Geomorfología

El valle montañoso del río Metztlán, se originó por movimientos tectónicos que provocaron intensos plegamientos, fracturas y fallas NW-SE. Posteriormente la erosión aprovechó estas zonas para profundizar y dar origen a este valle (Cantú, 1957).

El valle debe de haber sido demasiado profundo, estrecho y poseído un gran caudal. De acuerdo con Waitz (1947) la parte occidental del Tajo está constituida por un

bloque hundido desprendido en tiempos remotos de la sierra, al oeste de la laguna. El río, al pasar por este cañon angosto entre el bloque hundido y la sierra oriental, fue socavando el pie de la ladera montañosa, hasta provocar el enorme derrumbe (Plioceno-Pleistoceno) que obstruyó el curso del río, de la misma manera que la cortina de una presa (foto 5).

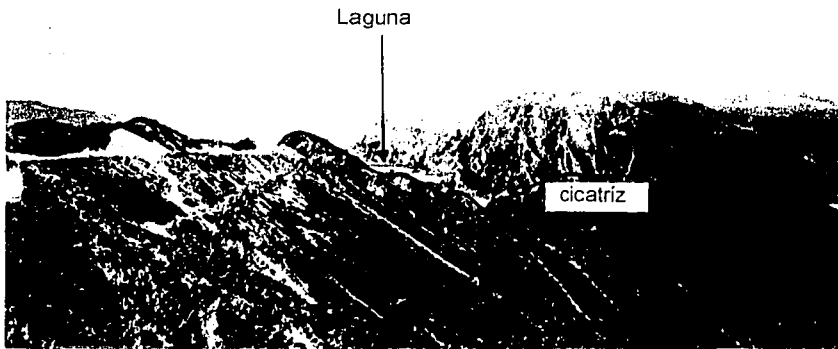


Foto 5. Se observa la cicatriz que dejó el derrumbe del enorme bloque en la sierra oriental, que obstruyó el curso del río y causó la formación de la vega.

El proceso erosivo que formó el profundo valle, cambió a un proceso acumulativo y con él comenzó la formación de la Vega de Metztlán.

En un principio se formó un lago alargado, que gracias al fracturamiento y permeabilidad del bloque hundido y posteriormente a las obras de irrigación (construcción de dos túneles), el curso tuvo salida al valle del Almolón.

Cantú (1957) señala un desnivel aproximado entre el dique natural y la vega del Almolón de 250 m, lo que muestra el azolve que se produjo en una longitud aproximada de 32.5 Km.

Regionalmente, la distribución de los elementos morfológicos está controlada por estructuras mayores, y los procesos que actúan en las montañas que rodean a la vega, tienen un notable control litológico y estructural.

El relieve en la zona consiste en sierras paralelas originadas por intensos plegamientos y afallamientos, mesas de lava, el fondo plano del valle que constituye la vega, y derrames fisurales al pie de ésta, que demuestran su origen tectónico (foto 6).



Foto 6. Relieve característico de la vega.

Como ya se mencionó, la vega es una estructura longitudinal paralela a las estructuras principales, NW-SE; de fondo plano, originada por el relleno de depósitos aluviales, se extiende de Venados a la laguna de Metztlán, con una longitud de unos 32.5 km y con un ancho variable de 300 o 400 m en su parte más angosta y hasta 3.5 a 4 km en la porción más ancha (fotos 7, 8). Está limitada, en general por laderas de fuerte pendiente y, en algunas zonas casi verticales, de las que la separa un salto vertical de unos 100 a 200 m.

De las sierras plegadas, se distinguen dos tipos principales: montañas de suaves pendientes, fuertemente erosionadas, y elevaciones con laderas abruptas, interfluvios redondeados y cañadas profundas.



Foto 7. Vista de la vega y al fondo la laguna, ésta es una de las zonas más anchas.



Foto 8. La vega cerca de Venados donde se estrecha.

Las mesas basálticas se encuentran coronando las formaciones cretácicas y son las formas mejor conservadas (foto 9), por su juventud (cuaternario) y constitución de rocas resistentes.



Foto 9. Lavas que coronan las formaciones cretácicas.

Y por último, sobre las elevaciones calcáreas, en la porción central-poniente de la vega, se localizan derrames fisurales, alineados y aislados entre sí, formando elevaciones de poca altura y laderas abruptas (foto 10).

Las elevaciones están sometidas a los agentes erosivos que actúan de forma diferencial sobre los puntos más débiles, estructurales y litológicos. Por ello es común encontrar valles transversales y valles profundos con fondo estrecho, asociados a fallas, fracturas y contactos litológicos, que facilitan el encajamiento de los ríos. Las vertientes están surcadas -sobre todo las constituidas por formaciones arcillosas-, por una serie de corredores de escombros y barrancos, que descienden a pequeñas rampas, conos de detritos y aluviales (foto 11).

Las laderas verticales son comunes y por lo general están controladas por la estructura de la roca (estratos verticales) o por la litología resistente en estratos gruesos (foto 12).

Por otra parte, el clima regional seco, donde las escasas precipitaciones siguen a periodos de sequías prolongadas, favorecen un régimen torrencial, con circulación violenta y de corta duración, que provoca el transporte de enormes cantidades de material en poco tiempo, que es depositado al pie de las montañas, obstruyendo caminos y en algunos casos destruyéndolos.



Foto 10. Elevación originada por un derrame fisural sobre la vega.

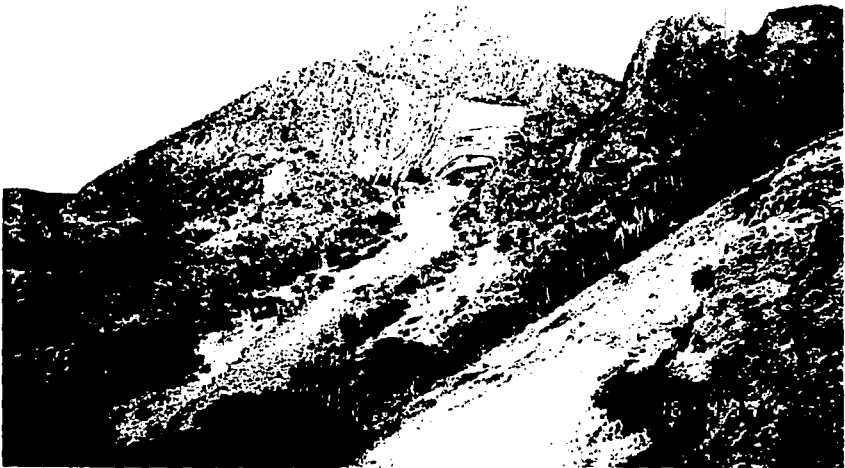


Foto 11. Debido a la gran actividad de los procesos gravitacionales, corredores de escombros como éste, son comunes en la zona.



Foto 12. Ladera vertical.

Todos los factores mencionados anteriormente, permiten explicar que en el área existe toda una variedad de procesos gravitacionales: desprendimiento de estratos en planos predispuestos, caída de rocas, formación de corredores de escombros, procesos gravitacionales aunados a procesos de remoción por agua, etc. (foto 13)

En cuanto a las formas acumulativas, lo mismo sucede, ya que a cada uno de estos procesos suele corresponder un tipo de depósito específico, con variaciones de tamaño, forma, naturaleza y composición (foto 14).

En relación con todo lo anterior, es importante mencionar que la zona además de ser excelente para conocer diferentes rasgos geológicos y botánicos, también lo es en cuanto a la geomorfología, y entre lo mucho que puede observarse, está este conjunto de procesos y formas.

En cuanto a los procesos de disolución o kársticos, se localizan en las partes altas de las montañas, con numerosas formas de disolución superficial y subterránea, aunque menores.



Foto 13. Caída de rocas en planos predispuestos.



Foto 14. Abanico aluvial sobre la carretera.

1.2 GEOLOGÍA

1.2.1 Estratigrafía

La secuencia estratigráfica de la zona consiste en rocas sedimentarias marinas del Mesozoico, originada en ambientes de cuenca y de plataforma y por unidades terciarias de origen continental e ígneo que sobreyacen a las rocas mesozoicas (Colinas de Buen, 1993).

En este apartado se explica cada una de las unidades litoestratigráficas, basándonos en datos obtenidos de diversas fuentes, entre las más importantes: Canul (1984), Martínez (1984) (tabla 2) y Facultad de Ingeniería (1990).

La estratigrafía regional determinada para la zona, comprende 10 formaciones (tabla 3):

Formación Pimienta.

Propuesta por Heim (1926) por un afloramiento en el rancho Pimienta, San Luis Potosí. En el área se localiza al noreste, en los poblados de Zoquizoquiapan y Los Alumbres.

(ERA PERIODO)	EPOCA	EDAD	SECCION GEOLOGICA DE LA ZONA DE MERIDA	HOJA PAQUENA	AREA METEOROLÓGICA SANTIAGO	AREA TAMAULIPAS (NO AMAJAS)	AREA SALTILLO-TAMPALIMÁN	AREA QUERÉTARO-TULÁ	CUENCA MEXICO	REGION COSTERA DE LA PLATAFORMA VALLES DE LOS RIOS	ESTRATIGRAFIA DE LA CORDILLERA MEXICANA	AREA DE LA CORDILLERA MEXICANA	
			FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	
CENOZOICO	PLEISTOCENO		DEPOSITOS CLASTICOS DELICUE, BICUDO	FORMACION	ALUVION	ALUVION	ALUVION	ALUVION	ALUVION			ALUVION	
		Plioceno	Superior	FORMACION	TERANCO			TARANCO ATOTONILCO					TARANCO
	Medio		GRUPO PAQUENA										ROCAS VOLCANICAS
	Inferior		GRUPO PAQUENA NO INTERCONECTADA			AUSENTE	AUSENTE						ROCAS NO INTERCONECTADAS
			GRUPO PAQUENA										
	Plioceno	Superior	GRUPO PAQUENA										
		Medio	GRUPO PAQUENA										
		Inferior	GRUPO PAQUENA										
			GRUPO PAQUENA										
	MESOZOICO	Cretácico	Superior	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION
Medio			FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	
Inferior			FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	
			FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	
Jurásico		Superior	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION
		Medio	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION
		Inferior	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION
			FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION
			FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION
			FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION	FORMACION

FIG. No. 5

Tabla 2. Tabla estratigráfica para la región, (G.Martinez, 1984).

Es la formación más antigua que aflora, arcillo-calcárea, con intercalaciones de areniscas y limolitas, que se presentan en estratos delgados de 5 a 20 cm. Las calizas son de color gris e interperizan en tonos crema. Contiene ocasionalmente pedernal negro en bandas de 5 a 12 cm. Al parecer se acumuló en una plataforma subsidente, con aporte de material arcilloso y flujos turbidíticos procedentes de la plataforma continental (Facultad de Ingeniería, 1990). Sobreyace a la Formación Tamán y subyace al Miembro Caliza La Borrega.

Tabla 3.

Cuaternario	Aluvión
Terciario	Grupo el Morro Fm. Tarango
Cretácico Superior	Fm. Agua Nueva Fm San Felipe Fm. Méndez
Cretácico Inferior	Miembro Caliza la Borrega Miembro Horizonte Otates Miembro Caliza Nacimiento Fm. El Abra
Jurascico Superior	Fm. Pimienta

Su expresión topográfica es regular, de barrancos, escarpes rocosos y drenaje no muy denso.

Formación Tamaulipas inferior

Miembro Caliza la Borrega

Muir (1936) posteriormente a Stephenson (1921) y a Belt (1925), completó la definición de la formación Tamaulipas y la subdividió en tres unidades, de acuerdo con el Código de Nomenclatura Estratigráfica: Miembro Caliza La Borrega (Fm. Tamaulipas Inferior), Miembro Caliza Otates (Horizonte Otates) y Miembro Caliza Nacimiento (Fm. Tamaulipas Superior).

Se localizan afloramientos en la margen derecha del valle de Metztlán, su mejor exposición se observa en los flancos del Cerro Partido, en el camino hacia Tepatetipa y en el Río San Juan.

Esta unidad está compuesta de calizas puras, color gris claro en muestra fresca, e interperiza en colores crema y ocre. En ocasiones presenta cierta arcillosidad y está bien consolidada. Sus estratos son de 70 cm a 1,50 m y presentan bandas y nódulos de pedernal de 2 a 8 cm de grosor. Es posible observar capas de lutitas paralelas a las capas mayores de calizas.

Su medio de depósito fue de cuenca interna. Sobreyace concordantemente con la Formación Pimienta y su límite superior es con el Horizonte Otates (Canul, 1984).

Se reconoce en laderas abruptas y en escarpes rocosos.

Horizonte Otates Miembro Caliza Otates

Como ya se mencionó, este término fue introducido por Muir (1936) quien lo tomó del cañón del mismo nombre de la Sierra de Tamaulipas. Afloramientos de este miembro se localizan en las cercanías de Zoquiyoquiapan y en el Cerro Partido.

La constituyen calizas arcillosas de color gris oscuro, en superficie fresca y alterada muestra un color gris claro. Sus estratos son en forma tabular y laminar, y su espesor es de 2 a 30 cm. Presentan escasos nódulos y lentes de pedernal, de 1 a 3 cm de grosor. Existen niveles laminares, no mayores de 2 cm, de lutitas entre las capas de calizas (Martínez, 1984).

Esta unidad, al parecer se depositó en un ambiente de plataforma abierta, con aporte de terrígenos. Su límite inferior es concordante con el Miembro Caliza la Borrega y subyace de igual forma con el Miembro Caliza Nacimiento

Debido a su susceptibilidad a la erosión, en el relieve se presenta en lomas muy suaves que contrastan con los escarpes de los Miembros Caliza la Borrega y Caliza Nacimiento.

Formación Tamaulipas Superior Miembro Caliza Nacimiento

Fue propuesta por Muir (1936), para una secuencia de calizas blancas y grises, cuya localidad tipo se ubica en la Sierra de Tamaulipas. Aflora en ambos márgenes de la Vega de Metztlán. La constituyen calizas poco arcillosas, de color gris claro o crema, sus capas son de 10 a 60 cm, de forma tabular y laminar hacia la cima; presentan bandas y nódulos de pedernal y ocasionalmente lutitas (Canul, 1984).

Su ambiente de depósito al parecer fue de plataforma de aguas profundas. La sobreyace concordantemente la Formación Otates y la subyace en forma concordante y transicional la Formación Agua Nueva (Martínez, 1984).

Los afloramientos de esta unidad, topográficamente son semejantes a la del Miembro Caliza la Borrega, de laderas empinadas y verticales.

Formación el Abra

Garfías (1915) fue el primero en utilizar el término y fue elevado al rango de formación por Kullum (1930), su localidad tipo se encuentra en el cañón del mismo nombre al oriente de Cd. Valles, S.L.P.

Se localiza en la margen izquierda de la Vega de Metztlán y en el Cerro Partido. Consiste en una secuencia de calizas de color gris claro, en estratos gruesos y masivos, con pocas bandas de pedernal. En la mayor parte de los afloramientos se encuentran en forma masiva y rara vez en capas estratificadas.

Todo parece indicar que se depositó en un ambiente de plataforma. En esta formación y en el Miembro Caliza Nacimiento existe un cambio de facies que se presenta en interdigitación de unidades (Canul, 1984).

Esta Formación es resistente a la erosión, tiende a formar cantiles o altas montañas redondeadas (Seegerstrom, 1961).

Formación Agua Nueva

El nombre fue mencionado por primera vez por Stephenson (1921) y posteriormente Muir (1936) le asignó el rango de formación. Su localidad tipo está en el Cañon de La Borrega, en la estribación occidental de la Sierra de Tamaulipas.

Aflora en ambas márgenes de la vega y su mejor exposición se localiza al suroeste de Metztlán y a lo largo de la carretera que conduce a la laguna.

Está constituida por calizas puras en la base y arcillosas en la cima, de coloración gris claro a oscuro, con lentes de pedernal negro, de 3 a 5 cm de grosor, abundantes en las base de la formación, y numerosos niveles laminares de lutitas, de 2 a 5 cm de grosor, en la cima de la formación (Martínez, 1984).

Se acumuló en una plataforma restringida. Subyace a la Formación San Felipe y sobreyace en forma concordante y transicional al Miembro Caliza Nacimiento, aunque es posible observar sobre la Formación, sedimentos del Grupo El Morro y los derrames ígneos de la Tarango.

Debido a su litología forma colinas con poca pendiente.

Formación San Felipe

Se considera a Jeffreys (1910) el primero en usar el término, pero fue Muir (1936) quien formalmente introdujo la denominación Formación San Felipe, para la alternancia de calizas y lutitas que afloran en el Poblado de San Felipe, por la carretera a Cd. Valles, S.L.P.

Aflora en la margen oriental de la Vega de Metztlán y en las orillas de la laguna. Consiste en una alternancia de calizas y lutitas de color gris verdoso, de estratificación delgada y con pequeñas capas de bentonita verde. Las calizas se presentan en estratos medianos de 15 a 40 cm de grosor, son de color gris claro e interperizan en tonos ocre. Las margas son de color gris con tonos verdosos (Facultad de Ingeniería, 1990).

Se depositó en una plataforma abierta a la cual arribaron abundantes piroclastos finos. El límite inferior corresponde a la Formación Agua Nueva y el superior a la Formación Méndez, ambos son transicionales y concordantes.

Sus afloramientos se presentan en laderas de pendiente suave, por lo que se confunde con la Formación Méndez. Al erosionarse se reconoce una morfología de cuevas pequeñas con poca vegetación y drenaje detrítico.

Formación Méndez

Se atribuye a Jeffreys (1910) haber usado por primera vez el término Méndez, sin embargo, fue formalmente definida por De Gelyer (1915). La localidad tipo se encuentra cerca de la estación Méndez, al oriente de Ciudad Valles San Luis Potosí.

Aflora a lo largo de la Vega de Metztlán, a partir del puente de Venados y en áreas restringidas en las orillas de la laguna.

Está compuesta por margas grises y azules, estratificadas en capas de distinto grosor, desde unos centímetros hasta 1 o más metros. Presenta algunas intercalaciones de margas grises y en ocasiones pueden verse capas de areniscas o lutitas en la parte superior de la formación. Las lutitas son calcáreas, fósiles, de color verde en superficie e interperizan en tonos amarillentos (Facultad de Ingeniería, 1990), mientras que las areniscas son de grano fino y de color verde olivo e interperizan en verde claro (Martínez, 1984).

Se acumuló en una plataforma abierta, con aporte constante de terrígenos, donde probablemente hubo actividad volcánica o tectónica lo que explica la fase turbida que originó la secuencia flysch.

En el relieve es muy parecida a la Formación San Felipe, origina laderas de pendientes suaves y puertos como en el Cerro Partido.

Grupo El Morro

Descrito por primera vez por Segerstrom (1957 y 1961) en el área de Zimapán, Hidalgo.

Se localiza en superficie en el arroyo San Juan, en el camino a Tepatetipa y en los alrededores de los poblados de Metztlán, San Juan y el Salitre.

Es un conglomerado de origen continental, producto de la erosión que actuó como respuesta al levantamiento de las rocas mesozoicas (Tejeda, 1978). Los cantos rodados presentan una mala clasificación, son de 2 a 20 cm, de subangulosos a redondeados, de color gris claro a café, en una matriz rojiza, arcillosa y arenosa, cementados por calcita. Al interperizarse presenta todo el grupo el color rojizo.

Fue depositado en una cuenca en el interior del continente, con una acumulación rápida de sedimentos, acompañada de subsidencia. Está limitado en su base, en

discordancia angular, por el Miembro Caliza La Borrega o por el Miembro Caliza Nacimiento y su cima se encuentra cubierta por rocas volcánicas de la Formación Tarango y por depósitos aluviales del Cuaternario (Martínez, 1984). Este grupo es muy resistente a la erosión, con un relieve de cantiles.

Formación Tarango

Fue propuesta por Bryan (1948) para designar a una secuencia de sedimentos volcánicos y debe su nombre a una localidad al suroeste de Mixcoac, D.F. La equivalente en Hidalgo aflora en las cercanías del poblado de Metztlán, en las partes altas.

Su composición es de limolitas, tobas, tobas híbridas, pedernales lacustres y calizas lacustres. Como parte de esta formación se reconocen tres miembros:

1. Miembro Basáltico, representa las secuencias lávicas que forman las mesas de Hualula.
2. Miembro Conglomerático con detritos de origen sedimentario y volcánico, acumulado en abanicos aluviales al pie de las rocas volcánicas del área de Metztlán y sobre éstas.
3. Miembro Brecha de Colapso. Cuerpos de brecha sedimentaria, formada por bloques de la Formación Tamabra, cementados por carbonatos (Facultad de Ingeniería, 1990).

Se depositó en un ambiente continental, rellenando antiguos valles y cuencas cerradas. Sobreyace discordantemente a las diferentes unidades mesozoicas y terciarias, y a su vez está cubierta de igual forma por los depósitos recientes.

En la actualidad sufre una fuerte erosión por los afluentes del Río Venados o Metztlán y constituye elevaciones con pendientes abruptas.

Unidades de depósito reciente

La constituyen el material de talud, el caliche y el aluvión.

La unidad más extensa es la aluvial, que ocupa la Vega de Metztlán y sus afluentes. Consiste en cantos de rocas sedimentarias y volcánicas, de subredondeados a subangulosos, en una matriz areno-limosa. En ocasiones presentan cementante de carbonato de calcio y frecuentemente están cubiertos por una costra de caliche.

En cuanto a los depósitos de caliche, se han desarrollado principalmente sobre la Formación el Abra.

Los depósitos de talud están formados por materiales clásticos gruesos y angulosos, poco transportados, acumulados al pie de las laderas de montañas y valles (Facultad de Ingeniería, 1990).

1.2.2 Geología Estructural

Para la región, Canul (1984) y Martínez (1984), mencionan dos fases de deformación:

- 1a. La Orogenia Laramide, representada por estructuras orientadas al NW-SE, que afectan toda la columna mesozoica. Se produjo durante el Cretácico tardío-Paleógeno.
- 2a. Originada por un efecto de distensión ocurrido durante el Neógeno, en que se crean fallas normales que afectan a toda la columna estratigráfica. Está representada por la Fm. Tarango.

La región se localiza estructuralmente en la parte Norte del Anticlinorio de Huayacocotla, una de las mayores estructuras que componen la Sierra Madre Oriental y está formada por pliegues cuya orientación preferencial es NW-SE 45°. Estas deformaciones son producto de la Orogenia Laramide ocurrida a finales del Cretácico tardío y principios del Terciario, creando plegamientos tipo asimétrico, recumbentes y de *chevron* (Colinas de Buen, 1994).

Las estructuras presentes en la región fueron originadas por deformaciones continuas (pliegues) y discontinuas (fallas).

Las estructuras producidas por la deformación continua en las unidades litológicas de la región son esencialmente anticlinales y sinclinales angostos y alargados, fuertemente asimétricos y con frecuencia recumbentes.

De acuerdo con Canul (1984) y Martínez (1984), la estructura de mayor dimensión corresponde al sinclinal Metztitlán-Laguna de Metztitlán, cuyo eje se sitúa en la margen izquierda del Río Venados, pasa a través del valle, corta al Cerro Partido y continúa por el mismo valle hasta la laguna (Fig. 7)

Es una estructura con plano axial de tipo asimétrico y recostado hacia el NE. Su eje tiene una orientación NE-SW, con rumbo aproximado de 32°.

El núcleo del eje de este sinclinal está formado por lutitas y calizas arcillosas de la Formación Méndez, su flanco oriental lo forman margas y calizas de las Formaciones San Felipe, Agua Nueva y Tamaulipas, mientras que el flanco occidental está formado por las calizas de la Formación Tamaulipas.

La deformación discontinua en el área está caracterizada por fallas inversas, dando lugar a cabalgamientos en las rocas cretácicas y por fallas normales de menor dimensión.

La estructura de mayor importancia en la zona, corresponde a un que se extiende sobre el Valle de Metztitlán, con extensión superior a los 30 km y rumbo NW-SE 25°.

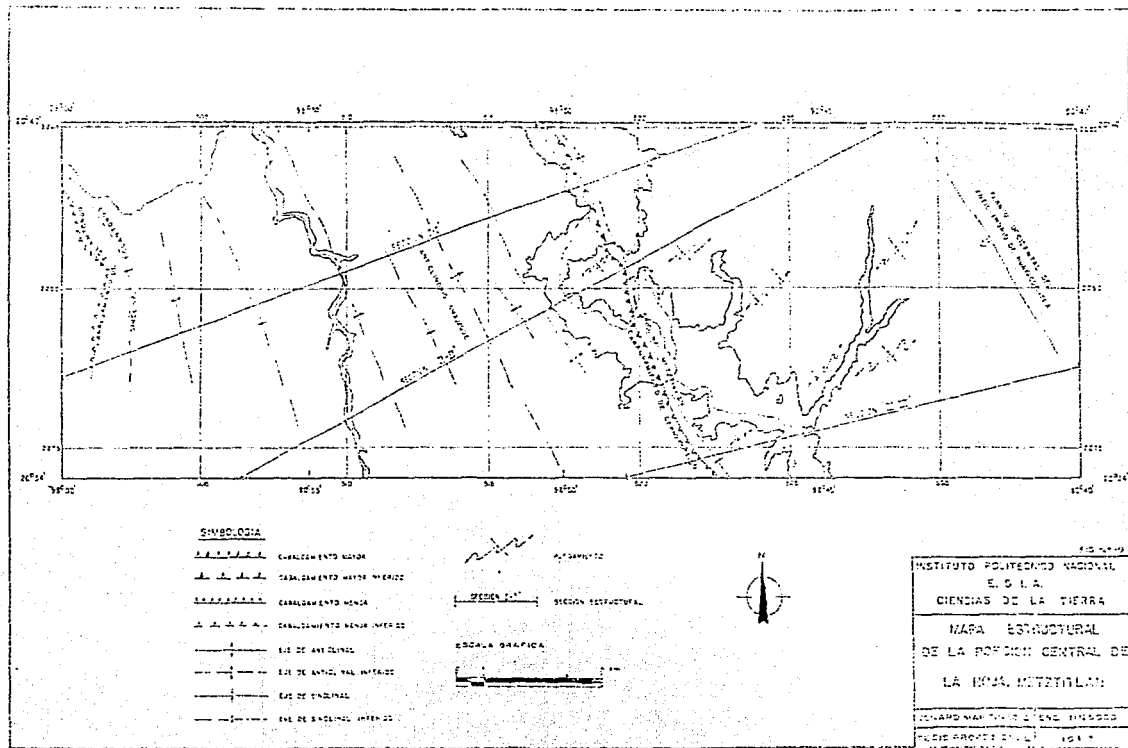


Fig. 7. Mapa estructural de la porción central de la hoja Metztlitlán (G.Martínez, 1984).

El techo del plano de falla está constituido por las calizas de la Formación Tamaulipas y el piso por las lutitas y calizas arcillosas de la Formación Méndez. Su mejor exposición se localiza en el Cerro Partido y en la orilla de la laguna (Canul, 1984).

Además de las estructuras mayores se encuentran pequeñas fallas inversas con un ligero desplazamiento lateral, incluidas en el bloque superior de la cabalgadura principal y pequeñas fallas normales que afectan a las rocas cretácicas y terciarias.

Con base en los estudios realizados por Colinas de Buen (1993), la 2a fase de deformación que se manifiesta en la región, probablemente ocurrió durante el Mioceno o Plioceno y está representada por fracturas y fallas de tipo normal, por esfuerzos distensivos, orientadas al ENE-WSW, provocando un fallamiento en bloques dislocados y escalonados.

Aunado a este fallamiento se tuvieron manifestaciones volcánicas de composición básica, cuyos productos fueron expedidos en forma de derrames basálticos a través de las fracturas y planos de fallas.

1.2.3 Geología Histórica

Durante el Jurásico tardío ocurre la primera transgresión marina de gran magnitud que marca el inicio de una subsidencia. Los sedimentos se depositan en aguas someras, al parecer en un medio cercano a la costa o en zonas emergidas. A finales del Jurásico se depositó la Fm. Pimienta que marca la fase final de este periodo, al mismo tiempo que la subsidencia persiste, acentuándose la transgresión marina temprana (Canul, 1984).

A principios del Cretácico temprano, la transgresión dio origen a una gran cuenca, mientras que la actividad tectónica de la fase de apertura del Golfo de México había finalizado, depositándose los sedimentos carbonatados del Miembro Caliza la Borrega.

A continuación, la sedimentación presenta mayor cantidad de materia orgánica y materiales arcillosos que formaron la Caliza Otates. Más adelante, la cuenca alcanza un equilibrio y los sedimentos depositados constituyen el Miembro Caliza Nacimiento. Para este momento existe una gran denudación que aporta detritos finos que constituyen la Formación El Abra.

A finales del Cretácico temprano, la línea costera se localizaba al este y noreste de la actual zona de Venados.

Para el Cretácico tardío comienza la regresión del mar por efecto de la actividad tectónica que modificó la sedimentación, ya que interrumpe el depósito de sedimentos carbonatados y arcillosos de la Formación Agua Nueva y da inicio al flysch de las Formaciones San Felipe y Méndez, que anteceden a la orogenia Laramide.

Con esta orogenia inicia en el Terciario la fase de plegamientos con dirección NW-SE y la formación de cabalgaduras en el área. Se produce erosión en las elevaciones montañosas y los sedimentos continentales de tipo molasa, ocupan las

partes bajas de los pequeños valles y cuencas. Estos sedimentos corresponden al conglomerado del Grupo El Morro (Eoceno superior), el cual se ve afectado posteriormente por la actividad tectónica de fallas normales.

Al finalizar el Plioceno comienzan las extrusiones de lavas basálticas y material piroclástico que constituyen la Formación Tarango y que cubren y coronan gran parte de las elevaciones montañosas.

Entre el Plioceno y Pleistoceno los ríos Tula y Amajac-Metzitlán son bloqueados por fallas y vulcanismo.

Durante el Pleistoceno son expulsadas por fracturas, lavas basálticas que escurren por las laderas montañosas y continúa la deposición de material aluvial y de laderas.

El vulcanismo cuaternario originó mesas amplias que coronan el relieve en varias porciones de la Sierra Alta. Es un proceso relativamente antiguo, seguramente del Pleistoceno temprano. La ausencia en la zona de rocas volcánicas jóvenes -del Pleistoceno tardío-Holoceno- y condiciones asísmicas o de sismicidad muy débil -no hay estudios al respecto- permiten suponer que las montañas plegadas presentan una tendencia a la estabilidad endógena y un predominio de la erosión. Al respecto, observaciones hechas en la zona de la Vega de Metzitlán y contiguas, hacia la divisoria de la Sierra Alta muestran relieves testigo de numerosos procesos gravitacionales (deslaves, derrumbes y deslizamientos), incluso, el desarrollo de éstos fue notable durante y después del huracán *Ger* en 1993.

De acuerdo con lo anterior, es de suponer que la erosión de las montañas de la Sierra Madre Oriental presenta dos características fundamentales:

1. Un predominio de los procesos de remoción en masa sobre los fluviales, lo que incluye gigantescos derrumbes, como los que dieron origen a la laguna y a la colina de Metzitlán.
2. Los anteriores se relacionan con fenómenos climáticos extraordinarios, como algunas tormentas y los ciclones, que provocan una remoción de material muy superior a lo que hace la erosión normal.

Derrumbes como los que formaron la laguna y la colina de Metzitlán, deben de haber sido muchos tan sólo en el Cuaternario. En el primer caso, el volumen del depósito, la litología de rocas impermeables y el relleno con material fino de las fisuras, favoreció la formación de un dique natural que no ha sido todavía erosionado. La colina permanece como se asentó, sobre una planicie aluvial. En otros casos, es de suponer que muchos valles montañosos fueron rellenados, pero la erosión fluvial se encargó de remover los depósitos para volver a las condiciones anteriores.

La Vega de Metzitlán resulta así, una anomalía geomorfológica en toda la Sierra Alta.

2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LA COLINA DE METZTITLÁN

2.1 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS

La principal población situada en la Vega de Metztlán es la villa del mismo nombre, ubicada al norte de Pachuca a unos 85 km (foto 15). Se encuentra sobre una colina alargada (Fig. 8), en la margen derecha de la vega, cuya altitud aproximada es de 1320 msnm, limitada entre los paralelos 20° 35' y 20° 36' de latitud norte y los meridianos 98° 45' y 98° 46' 15" de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 0.65 km² (Colinas de Buen, 1993).



Foto 15. Vista de la colina donde se asienta la población de Metztlán.

La colina tiene una longitud de poco más de 1 km, por 500 a 750 m de anchura y hasta 60 m de altura, inclinada de N a S, y bordeada por dos arroyos que desembocan en el río Metztlán (Lugo H. *et al.*, 1993).

2.1.1 Clima

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, el clima de la población, de acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García (1973), es el más seco de los secos, su régimen de lluvias es de verano, con por lo menos, 10 veces

mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el mes más seco, y un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% de la anual. Es semicálido con invierno fresco, poca oscilación térmica y marcha de la temperatura tipo ganges.

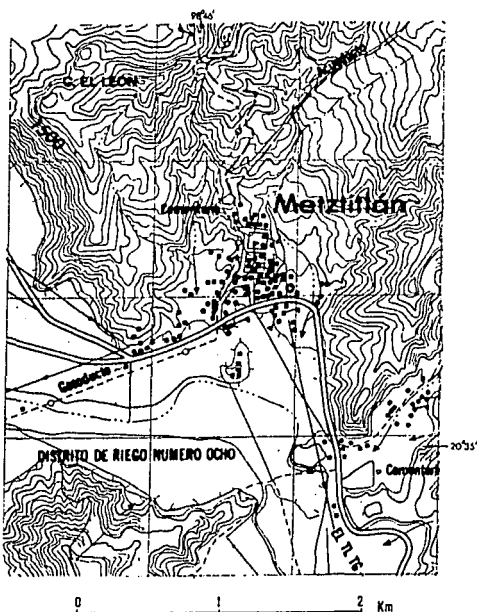


Fig. 8. Mapa de localización.

La precipitación total anual promedio es de 419.3 mm, tomando un periodo de 30 años de medición (1961-1990); habiendo ocurrido en el lapso valores tan bajos como en 1987 con solo 152 mm y en 1957, 212 mm; la máxima lámina anual observada en el periodo fue de 722 mm en 1958 (Fig. 4)

La precipitación máxima en 24 horas en el mismo periodo de años fue de 104 mm, y el mes en que se registró un total mayor fue junio (Fig. 9)

La temperatura media anual es de 17.7° C (Fig. 3), la mínima extrema de 3.5° C en enero de 1985 y la máxima extrema de 44° C en marzo de 1981.

En cuanto a la evaporación, el promedio total anual en 30 años de observaciones fue de 1 587 mm, con muy poca variación entre años.

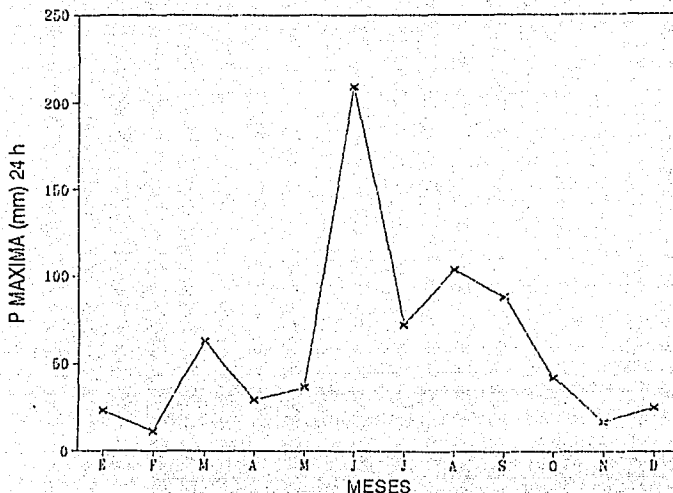


Fig. 9. Gráfica mensual de precipitación máxima en 24 hrs.

De acuerdo con datos obtenidos por Colinas de Buen (1993), el número de días despejados, en promedio asciende a unos 160 al año, siendo la insolación media anual de unas 2 100 horas. Se reportan alrededor de unos 100 días al año con nublados y unos 25 días con tormentas eléctricas. La humedad relativa media anual es de un 52% (observada a las 14 horas) y las granizadas en promedio son inferiores a un día por año.

La intensidad media de vientos en la zona oscila entre 3 y 4 m/seg, siendo las direcciones predominantes NE, SW y W, los días de calma representan alrededor del 8 %.

2.1.2 Hidrología

La colina está flanqueada por dos arroyos intermitentes, de gran actividad durante la época de lluvias. Son de régimen torrencial, con escurrimientos pluviales muy esporádicos.

En época de lluvias, los escurrimientos tienen un volumen considerable, con una velocidad aproximada de 2 m/seg, el cual en su trayecto humedece y erosiona la ladera de la colina (Colinas de Buen, 1993).

A partir de una ampliación fotomecánica del mapa topográfico 1:50 000 de INEGI, se determinó el parteaguas de las dos cuencas de los dos arroyos que bordean a la colina de Metztlán (Fig. 10).

Ambas son de forma regular, orientadas al N y al NNE, difieren en su tamaño, donde la cuenca del Tlaxómotl (A) (abundancia de aves acuáticas, en nahuatl) sobresale con una dimensión longitudinal máxima en línea recta de 2.425 km y un ancho máximo de 4.075 km, mientras que la cuenca del Cuatlán (B) (lugar de víboras) presenta 1.75 km en su longitud mayor y 1.075 km en su ancho mayor.

En la cuenca del Tlaxómotl, el cauce principal tiene su origen en la cota 1 840 msnm aproximadamente y su longitud es de 5 km, hasta la cota 1 260 msnm, en lo que es la llanura aluvial del Metztlán o Grande de Tulancingo. Es un cauce de sexto orden, con dos afluentes importantes de quinto orden, controlados estructuralmente, uno orientado al N y el segundo al NNE, además hay 4 de cuarto orden, 17 de tercero y 51 de segundo.

En cuanto a la cuenca del Cuatlán, el cauce principal tiene su origen aproximadamente en la cota 1 580 msnm y una longitud de 2 km hasta los 1 260 msnm, lo que da un gradiente de 0.16. Es un cauce de cuarto orden, también controlado estructuralmente, con 3 afluentes de tercer orden y 7 de segundo.

De acuerdo con los estudios de Colinas de Buen (1993), a pesar de las fuertes pendientes que favorecen los escurrimientos y su rápida acumulación, las condiciones de la geología superficial, el tipo de suelos y la cobertura vegetal, inciden en que las cuencas son relativamente permeables, por lo que un objetivo de estudio, señala que la mayor parte de las aportaciones pluviales seguramente se infiltran, y con ello los coeficientes de escurrimiento se estiman bajos.

En cuanto a la colina, sus laderas son de fuerte pendiente y en ella el flujo subterráneo y subsuperficial de agua es muy importante. Una vez que se infiltra fluye en el contacto de las Formaciones Atotonilco y Méndez y a través del derrame basáltico intercalado entre la arcilla lacustre, descargando gran parte de su caudal en los arroyos de ambas márgenes de la colina, y que se observan en superficie porque fluyen a lo largo de los depósitos aluviales que tienen una permeabilidad alta (Colinas de Buen, 1994).

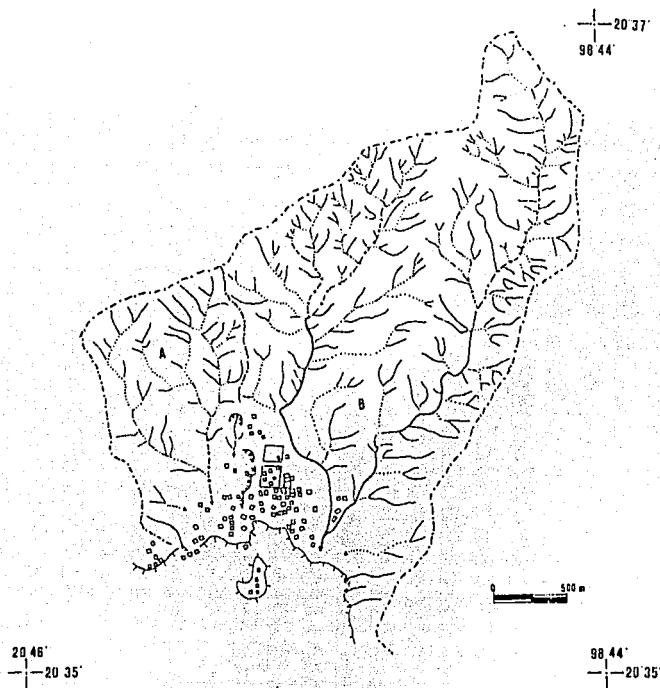


Fig. 10. Cuencas hidrológicas de los arroyos que bordean la colina de Metztlitlán: (A) Cuatlán; (B) Tlaxómotl.

2.1.3 Suelos

De acuerdo con Mooser *et al.* (1992), los suelos son principalmente limoarenosos de baja compacidad, que en estado seco presentan poca resistencia y con el incremento de agua pueden sufrir deformaciones. Son sumamente delgados.

2.1.4 Vegetación

La vegetación en la colina se presenta dispersa y en una porción muy reducida se conservan algunas especies de la región de tipo desértico, como plantas herbáceas, arbustos espinosos y cactáceas. Esta vegetación se localiza en algunas casas con fines ornamentales, también las hay funcionando como límites de propiedad y aquellas que se conservan en terrenos abandonados o en donde la urbanización no ha llegado, como son las laderas más abruptas de la colina, el norte del barrio El Calvario y las cercanías del cementerio.

No se sabe a ciencia cierta en que momento fue desmontada la gran mayoría de la vegetación de la colina, pero de acuerdo con datos históricos, esto se remonta al tiempo de la Conquista, aunque como centro religioso, desde tiempos prehispánicos, el lugar debe haber sufrido modificaciones desde entonces.

Además de la vegetación originaria se tiene otra de tipo inducido en la zona urbanizada, consiste en algunos árboles frutales y vegetación ornamental.

2.2 GEOLOGÍA

La constitución geológica de la colina de Metztlán se puede interpretar de manera general con apoyo en los afloramientos de los arroyos que la bordean por el occidente y oriente. En relación con el deslizamiento de tierras, la Compañía Colinas de Buen (1993), realizó un estudio detallado que incluyó varias perforaciones a cielo abierto, calas, lumbreras, secciones geológico-geosísmicas y otros; lo que permitió un conocimiento preciso sobre el subsuelo de la población.

2.2.1 Estratigrafía

Con base en lo anterior, la descripción estratigráfica de las diferentes formaciones presentes en la colina de Metztlán, está basada en ese trabajo (Fig. 11)

Estratigrafía:

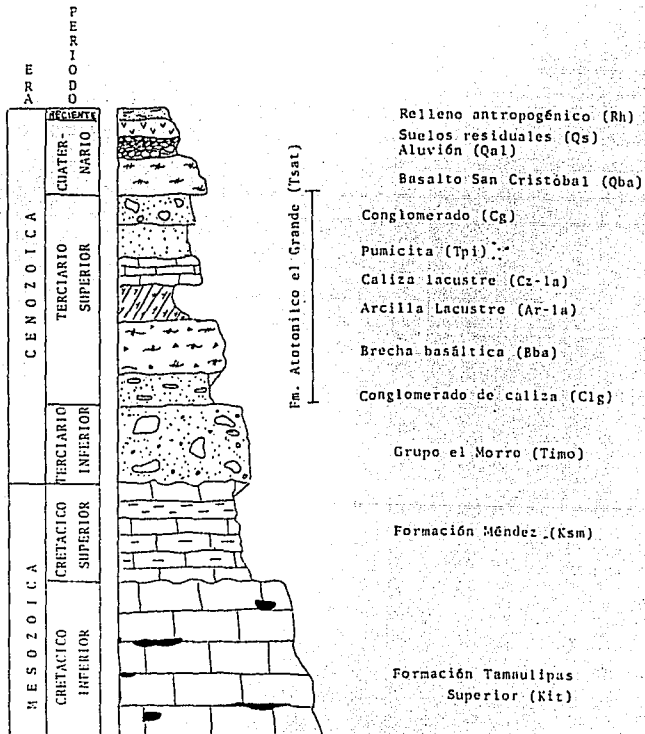


Fig. 11. Columna estratigráfica de la zona (Colinas de Buen, 1993).

Formación Tamaulipas Inferior

Esta unidad fue descrita en el capítulo anterior, por lo que sólo cabe mencionar que aflora en la porción oriental y occidental de la población de Metztlán, en la ladera oriental del Tlaxómotl y en la ladera occidental del río Cuatlán (foto 16). Aquí se presenta muy fracturada y con pliegues en *chevron*.



Foto 16. Calizas de la Fm. Tamaulipas.

Formación Méndez

Al igual que la anterior, ya ha sido descrita y aflora en la ladera derecha del barranco Tlaxómotl. Se pudo observar en diciembre de 1991 en la ladera occidental del Tlaxómotl, en donde una capa de marga deslizaba sobre arcilla, inclinada 5° hacia el

arroyo. Llegó a sobresalir en su deslizamiento hasta 85 cm, aunque el desplazamiento se calcula en unos 2 a 6 metros y después se derrumbó (foto 17).

Grupo El Morro

Se encuentra aflorando en las laderas montañosas contiguas a la población de Metztlitlán, en la ladera oriental del Tlaxomoti.



Foto 17. Capa de marga deslizando sobre arcilla, diciembre de 1991.

Formación Atotonilco el Grande

Esta formación también ha sido descrita con anterioridad, sin embargo, debido a los afloramientos que de ella se tienen en la colina, aquí se hará una descripción detallada de la misma.

1. Conglomerado de caliza

Es una unidad de color verde grisáceo, de textura clástica, constituida por gravas y boleos redondeados y alargados, de caliza, lutitas, pedernal y calcita, en una matriz arcillo-arenosa de alta plasticidad. El afloramiento se encuentra en la ladera occidental de la colina, en las dos márgenes del arroyo.

2. Brecha basáltica

Esta unidad sólo pudo ser detectada a través de sondeos realizados por la Compañía Colinas de Buen, que la describió como un derrame de composición básica, color negro con tonos amarillo óxido, muy fracturada, de estructura brechada, constituida por fragmentos de basalto de forma angulosa y subangulosa, de textura afanítica, que presenta arcilla lacustre y vetillas de yeso entre sus fracturas, en una proporción de baja a media.

Es posible que este derrame mencionado por Colinas de Buen (1993), se trate de un sill (manto) de entre 0.5 m y 7.5 m, de poca extensión que fluyó a través de fisuras o fallas, o quizá a través de contactos geológicos en forma lateral.

3. Arcilla lacustre

Es una unidad compuesta por un material de color verde olivo y café claro, con textura de grano fino, alta plasticidad, de muy compacta a dura en estado seco y muy blanda cuando se satura o humedece (foto 31). Está constituida por arcilla bentonítica con gran cantidad de vetillas de yeso; presenta horizontes de gravas y gravillas de margas, calizas y lutitas en su parte inferior y desaparece en forma gradual hacia la cima. Su origen se asocia a la erosión, transporte y depósito, en un ambiente lacustre de la Formación Méndez. De todas las unidades, es ésta, la que predomina en la colina, su espesor es variable entre 0.5 y 30 m.

De acuerdo con Colinas de Buen (1993) litológicamente esta unidad presenta condiciones propicias para ser inestable al modificarse sus propiedades mecánicas y elástico-plásticas por saturación de agua.

4. Brecha basáltica

Esta unidad está compuesta de fragmentos de roca basáltica de color variable de gris oscuro a negro, su textura es afanítica y estructura brechada, algunas están parcialmente rellenas de arcilla o cristales de yeso. Aflora al norte de la población, en el camino a Toloapa.

5. Caliza lacustre

Es de color crema y café claro, constituida por calizas microcristalinas y arcillosas con vetillas de yeso. Aflora en el área del atrio, entre la Av. Vasco de Quiroga y Porfirio Díaz, así como al norte del lugar y en el Tlaxómotl.

6. Pumicita

Horizonte de color blanco amarillento de textura vitroclástica, constituida por fragmentos de roca pumítica, subangulosa, en una matriz vítrea areno-arcillosa, de estructura masiva. Los afloramientos se localizan al norte de la población.

7. Miembro Clástico o Conglomerado de caliza

Conglomerado poligmitico compuesto de fragmentos de caliza microcristalina, caliza arcillosa, lutita, pedernal negro y pómez en una matriz areno-arcillosa, con carbonato de calcio como cementante. Además, en esta unidad se encuentran horizontes intercalados de pumicita color blanco y arenisca de grano medio bien cementada. Afloramientos de esta unidad se tienen al norte de la población y en el Cerro El León.

Basalto San Cristobal

Derrame basáltico masivo, de color gris oscuro con tonos rojizos, de textura afanítica y fractura de moderada a fuerte. Se localiza coronando las partes altas de las estructuras montañosas y está asociada a derrames de tipo fisural que se manifestaron durante el Cuaternario.

Pumicita Superior

Es una unidad blanca amarillenta de fragmentos de roca pumítica, en una matriz vítrea areno-arcillosa, de estratificación gruesa. Los principales afloramientos se localizan en la cresta del Cerro El León.

Unidades de depósito reciente

A. Aluvión

Consiste en gravas, arenas, limos y arcillas de alta plasticidad, de consistencia variable, con estratificación laminar y cruzada. Se localiza en abanicos aluviales y en el fondo de los dos barrancos que bordean a la colina.

B. Suelo

Unidad formada por arcillas, limos, arenas y materia orgánica, empacando a gravas y boleos de distinta composición que provienen de las unidades subyacentes.

C. Material de Talud

Consiste en depósitos heterogéneos de arcillas, limos, arenas y bloques de rocas sin consolidación. Este material fue producto del intemperismo, erosión e inestabilidad a que han estado expuestas las unidades que se localizan en las partes altas. Se reconoce en la base de las laderas de la colina de Metztlán y al pie de escarpes.

D. Relleno Antropogénico

Se trata de un material de desecho como basura, materiales de desplome y cascajo, depositados en forma heterogénea, cuyo espesor es variable. Se distribuye en las partes altas y laderas de la colina de Metztitlán así como en partes del Tlaxómotl.

2.2.2 Origen de la Colina de Metztitlán

De fines del Cretácico y hasta las postrimerías del Eoceno, los sedimentos marinos fueron levantados y deformados para dar origen a la Sierra Madre Oriental. La actividad tectónica continuó a lo largo del Oligoceno, Mioceno y Plioceno y a finales de este último periodo y del Cuaternario, hubo actividad volcánica en varias regiones de la Sierra Madre Oriental, entre ellas, la zona de Metztitlán, lo cual se reconoce en amplios derrames de lava como los observados en la cercanías del poblado, rellenando fracturas (foto 18).

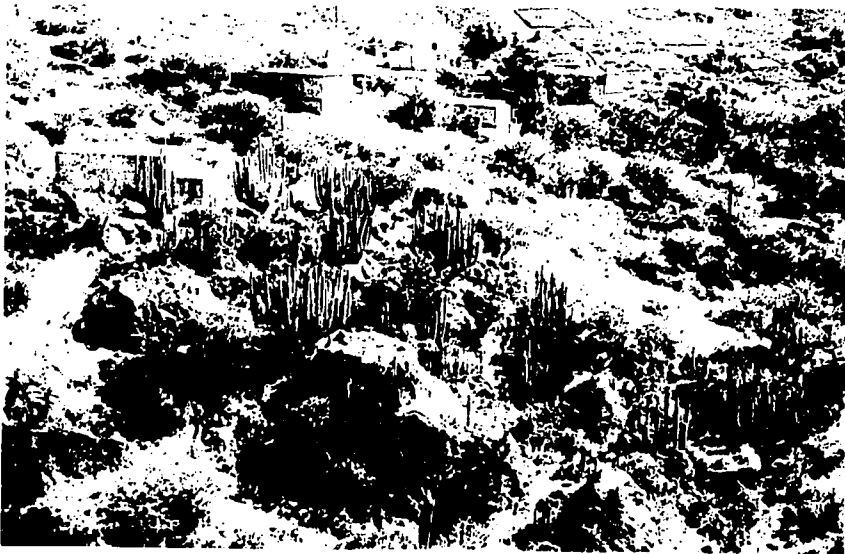


Foto 18. Derrames de lava cerca de la población de Metztitlán.

La Colina de Metztlán fue posterior a la formación de la laguna del mismo nombre, y surgió principalmente por acumulaciones de pómez y derrames basálticos.

Una explicación de su origen puede ser un derrumbe de gran magnitud, posiblemente relacionado con actividad volcánica en el Cerro El León. Lo anterior se apoya en la presencia de un gran escarpe en este cerro (foto 19), orientado al sur, que corresponde a una falla normal, que pudo ser la fuente del material depositado sobre la Vega de Metztlán o contiguo a ésta.

Los estudios de la Compañía Colinas de Buen (1993), consideran que del Cerro El León, descendiendo a la Colina de Metztlán, la estructura consiste en una serie de bloques escalonados, delimitados por fallas normales, que afectan incluso a los depósitos volcánicos cuaternarios (Fig. 12), por lo que propone que la colina de Metztlán, es resultado de la segunda fase de deformación ocurrida probablemente durante el Mioceno o Plioceno, cuando ocurrió un fallamiento en bloques dislocados y escalonados en las montañas al N de Metztlán, que se pueden observar sobre el camino a Totapa. Lo anterior dio lugar a que la colina corresponda a uno de los bloques que más desplazamiento sufrió, presentando una familia de fallas escalonadas.

Las dos explicaciones, sin embargo, no están en desacuerdo, ya que puede tratarse de un fallamiento que desplazó bloques escalonados, y el bloque inferior se relaciona con un enorme derrumbe.

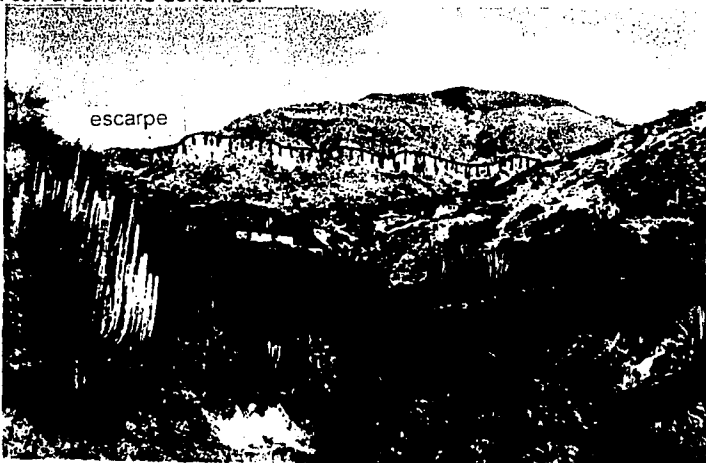


Foto 19. Elevaciones montañosas contiguas a la población, el escarpe corresponde a una falla normal.

Este derrumbe tapó lo que antiguamente era un valle montañoso, el arroyo al no encontrar salida, bordeó ambas márgenes del depósito, creando los dos arroyos que flanquean la colina (Fig. 13).

Qtd	Material de talud
Qal	Material aluvial
Qba	Basalto Sn. Cristobal
Qps	Pumicita superior
Cgs	Miembro clástico
Tpm	Pumicita intermedia
Bba	Brecha basáltica
Tpi	Pumicita inferior
Cz-la	Caliza lacustre
Ar-la	Arcilla lacustre
Clg	Conglomerado
Timo	Conglomerado El Morro
Ksm	Fm. Méndez
Kit	Fm. Tamaulipas

Fm. Atonilco (Tsm)

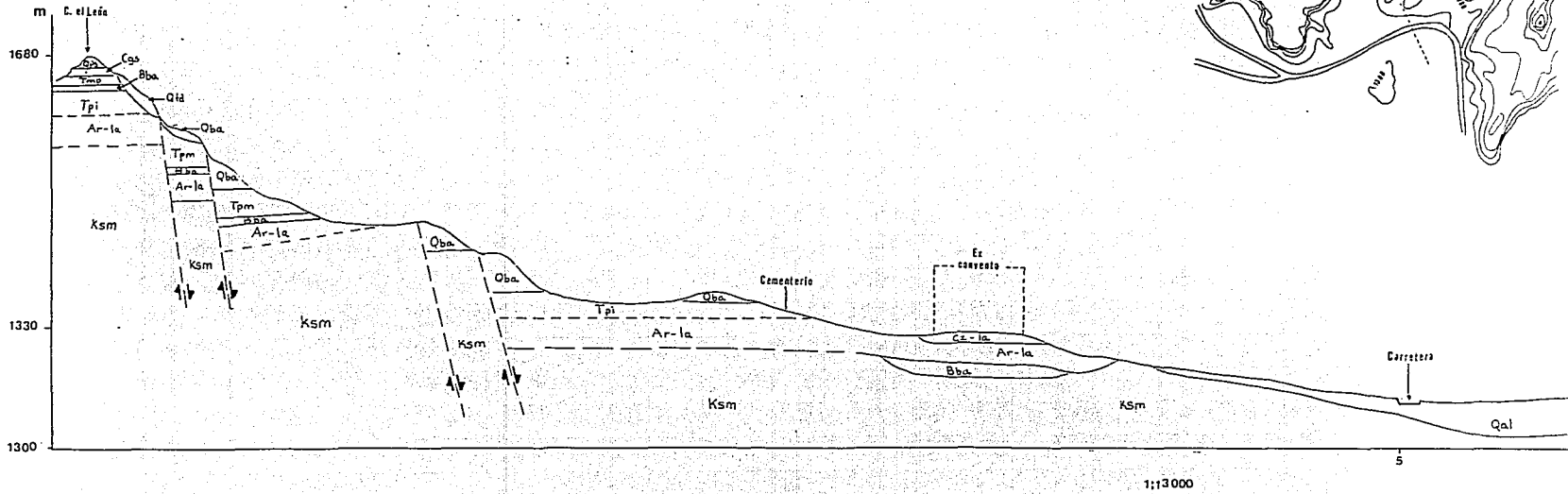
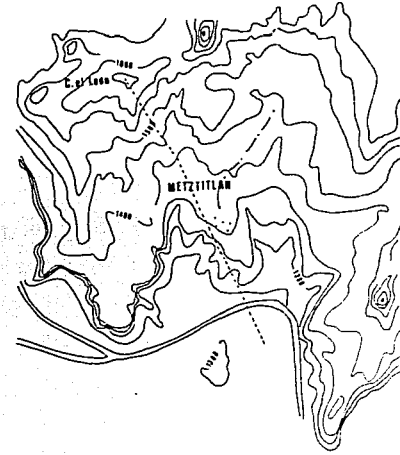


Fig. 12. Perfil topográfico realizado por la compañía Colinas de Buen. En el se observa la estructura escalonada en bloques, que descienden del cerro El León. Los bloques están deelimitados por fallas normales que afectan los depósitos volcánicos del cuaternario.

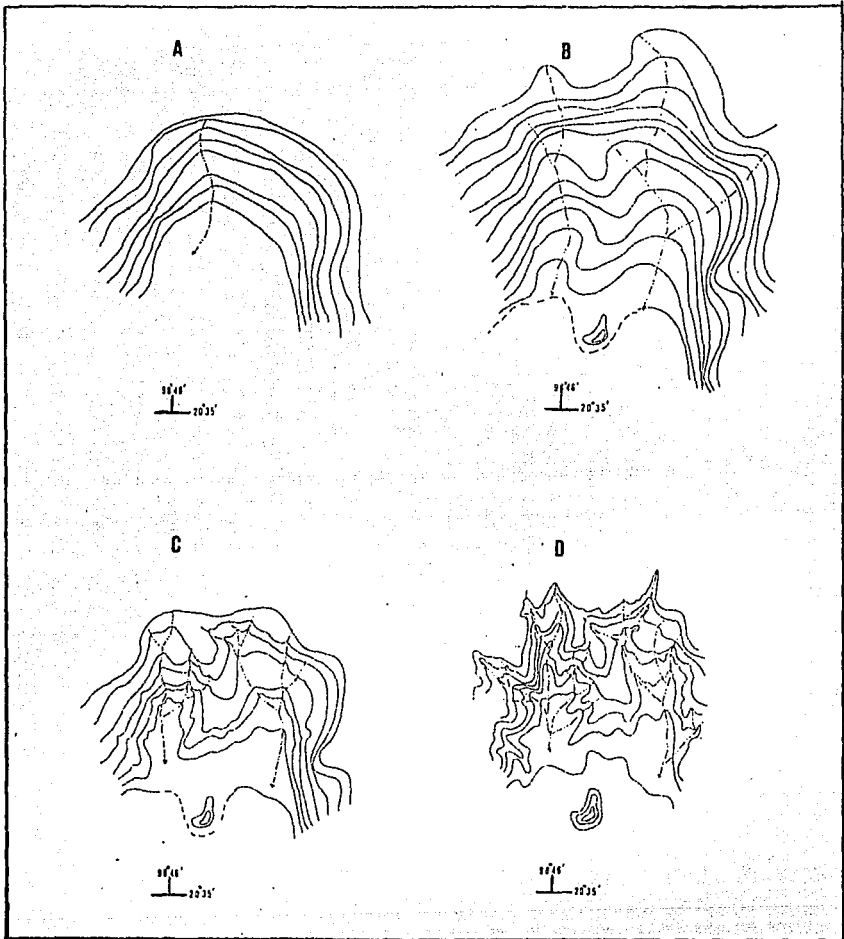


Fig. 13. Secuencia evolutiva de la formación de la colina de Metztlán, elaborada con base en el método de las morfolsohipsas, A) antiguo valle montañoso, B) después del derrumbe inició la formación de los dos barrancos, C) los barrancos en una etapa más avanzada, D) relieve actual.

La formación de la colina se vio así favorecida por la ancha llanura aluvial del río del mismo nombre (la Vega de Metztlán). En condiciones de un relieve de cañones profundos, como fue anteriormente, hubiera surgido un relieve muy distinto, de un relleno parcial y temporal del cañón profundo por el que escurría el río.

La forma alargada de la Colina de Metztlitlán, permite suponer que surgió al rellenarse un antiguo valle montañoso. La estructura geológica apoya esta consideración, ya que las calizas plegadas de la formación Tamaulipas constituyen las laderas vecinas al occidente y oriente.

Los arroyos que bordean la colina son muy jóvenes y se han desarrollado en la zona de contacto del material no consolidado con el sustrato sedimentario.

2.3 GEOMORFOLOGÍA

La Vega de Metztlitlán constituye una auténtica anomalía geomorfológica en la Sierra Alta, donde todo el relieve es de laderas empinadas y valles profundos y estrechos.

La colina es de más de 1 km de longitud, en forma de una enorme lengua, inclinada de norte a sur, donde se detectan diferentes niveles o escalones que fueron modificados por el hombre. En la vega son pocas las localidades favorables para los asentamientos humanos y ésta, a lo largo de su divisoria, es una de ellas. Aquí se asienta una de las poblaciones más importantes en la Sierra Alta y la mayor de la vega.

Esta colina fue ocupada desde la época prehispánica como centro religioso del Señorío de Metztlitlán. Con la Conquista se convirtió en un eslabón de un conjunto de centros de evangelización, con la construcción en este lugar de un majestuoso monasterio que hoy se conserva. Esto significó una transformación del relieve original, donde aparentemente se ampliaron los escalones naturales.

El monasterio de Los Santos Reyes lo construyó la Orden de los Agustinos. El primero se hizo en el escalón o nivel inferior de la colina y tuvo malos resultados. Según varios autores, por la crecida del río, ésto sin embargo, no está bien documentado. El actual monasterio está construido en una parte alta que corresponde al tercer escalón (foto 25).

Entre los procesos actuales que afectan a la colina, se encuentran los siguientes (Fig. 14):

1. Los dos arroyos que flanquean la colina, cuya acción principalmente es erosiva. La entrada de ciclones y tormentas provocan lluvias torrenciales en la región y los procesos fluviales erosivos y acumulativos originan un transporte y gran acumulación de aluvión (proluviación) en abanicos o conos de eyección, como ocurrió en junio de 1992, cuando se produjo un depósito de detritos en una capa de 1-1.5 m de grosor. Un año después, en septiembre de 1993, un fenómeno semejante erosionó gran parte de este depósito (fotos 20, 21, 22, 23).

2. La erosión de las laderas que se produce por el escurrimiento del agua, desprendiendo materiales rocosos, a lo que contribuye la pendiente fuerte de más de 35° (foto 24). El proceso tiene lugar en materiales no consolidados que constituyen la colina, lo que ocurre con cierta facilidad. En las laderas rocosas, constituidas principalmente por margas y calizas, la erosión es favorecida por la inclinación de las capas y sobre todo, cuando el buzamiento es en dirección a los arroyos.



Fotos 20, 21. Acumulación de detritos producida por una lluvia torrencial, en el abanico aluvial del Tlaxómotl, que obstruyó la calle principal del pueblo.



Fotos 22 , 23. Erosión causada por las lluvias que provocó el huracán *Gert*, en septiembre de 1993.



Foto 24. Laderas de valle con fuerte inclinación.

3. La ladera oriental de la Colina de Metztlán, está en transformación por el deslizamiento de tierras, mientras que en la ladera occidental, solo se produce erosión y caída de rocas (derrumbes menores), por la erosión remontante en algunos barrancos.

4. En cuanto a las cabeceras de los barrancos, proveedores principales de detritos a las corrientes, son de dos tipos, en un caso estables, con crecimiento muy lento, en otro es rápido, generalmente en material no consolidado.

5. Los barrancos que circundan a la colina y los alrededores, son formas muy jóvenes, resultado de la erosión del material no consolidado y del sustrato sedimentario a lo largo de líneas de debilidad (grietas, diaclasas, etc). En condiciones de material no

consolidado son superficies inestables, con procesos de intensa erosión y acumulación en su lecho, cuando se producen lluvias torrenciales, además de deslaves en sus laderas (Lugo *et al.*, inédito).

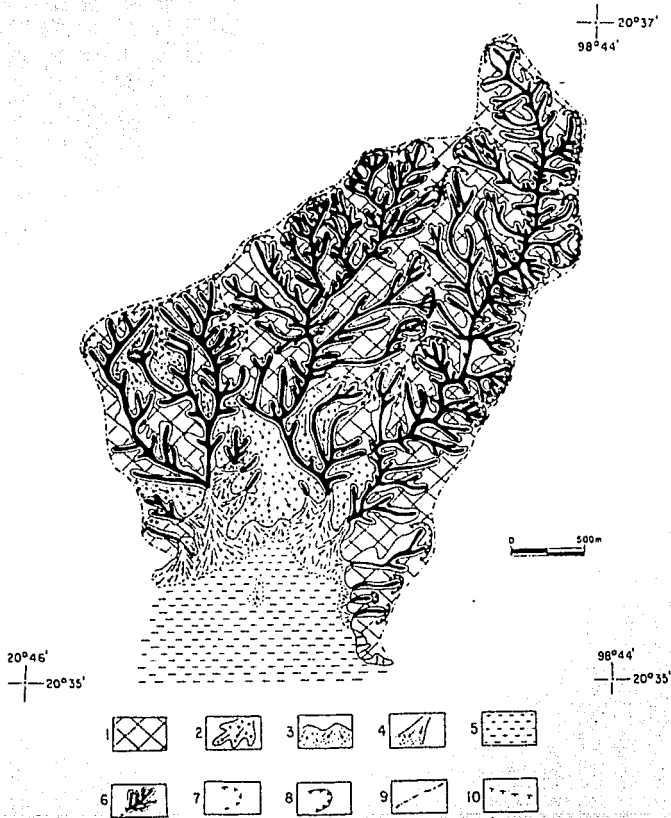


Fig. 14. Mapa geomorfológico de la zona de Metztlitlán: 1. Laderas de fuerte inclinación, constituidas principalmente por estratos cretácicos de margas y calizas; 2. Collina de material no consolidado, esencialmente volcánico, originada por un derrumbe de gran magnitud; 3. Conos de eyección yuxtapuestos, estables, constituidos por material re TRABAJADO del depósito de derrumbe; 4. Conos de eyección activos; 5. Planicie lacustre aluvial; 6. Laderas superiores de barrancos (en blanco) y fondo de los mismos (negro); 7. Circos de erosión antiguos, con actividad débil; 8. Circos de erosión jóvenes, activos; 9. Línea divisoria de aguas; 10. Cambios bruscos de pendiente en el piedemonte (mapa inédito de J.J. Zamorano, elaborado por fotointerpretación).

3. BREVES ASPECTOS HISTÓRICOS Y ACTUALES DE LA POBLACIÓN

3.1 MARCO HISTÓRICO

Metztitlán se llamó, en la época prehispánica, a una vasta región que fue encrucijada de caminos y de pueblos diversos. Con el se designa la villa, la vega, el río y la laguna así como a una extensa zona geográfica (Artigas, 1988).

Mucho se ha especulado sobre el origen del nombre "Metztitlán". Algunos autores como Cabrera (1992) mencionan que etimológicamente el nombre es un sincopa de mizquititlán (entre los mezquites), otros en cambio lo relacionan con la Luna, lo cierto es, como atinadamente menciona Gutierrez Tibón (Montes, 1994) es que la toponimia presenta a menudo dificultades, tratándose de nombres del lugar de origen indoeuropeo, ya que se enfrenta uno con problemas tanto más complejos cuanto más adelantadas estén sus culturas, porque existen etimologías, aceptables en apariencia, que se remontan a épocas anteriores a la Conquista.

En el caso de Metztitlán, sin embargo, parece ser un hecho el culto que tenían sus habitantes a la Luna, algo muy común en Mesoamérica, igual que en otras partes del mundo antiguo. Al parecer, este culto se extendía en todo el señorío, además, a varias deidades, en especial Ometoctli, Tezcatlipoca y Huey Tonantzin (Victoria, 1985).

Muchos nombres en varias lenguas indias mexicanas, como menciona Gómez Silva, incluyen un elemento que significa o connota "luna" (Montes, 1994) y este caso parece ser uno de ellos, por lo que pueda significar "metztli" luna y "teti" piedra, esto es, luna sobre la piedra.

Con base en esto, algunos cronistas mencionan que en una de las montañas que circundan la vega había una escultura que representaba a la Luna. Otros cuentan que los habitantes hacían sus guerras a la luz de la luna y por ello eran llamados "metzcas" o "Metztitlanecas" derivándose de ahí el nombre de la población Metztli "luna" y tlan "lugar"; o sea "lugar de la Luna" (Cantú, 1950).

Antiguamente, la zona correspondió al llamado Señorío de Metztitlán, que posteriormente los agustinos llamaron Sierra Alta. No se sabe con seguridad quienes fueron los primeros pobladores del lugar, sin embargo, debido a sus características geográficas, debió haber sido ocupada desde tiempos remotos.

Al parecer, la zona nunca fue habitada por un solo grupo étnico, la población era de gran heterogeneidad racial y cultural, que en parte se debía a que el valle era el paso obligatorio de los pueblos de la llanura costera que se dirigían al altiplano (Cantú, 1950).

Con respecto a esto, Alvarez (1993) menciona que es posible identificar tres etnias en el momento de la conquista: la náhuatl, la otomí y la pame-chichimeca, aunque se señala la presencia por toponimia de grupos olmecas xicalancas, de huastecos (por vecindad) y de totonacos.

"La antigüedad de Metztlán como entidad política, se remonta a la época de Xólotl (siglo X) y a su llegada a la cuenca de México tras la caída de Tula (cfr. Alva Ixtlixochitl, 1985, II:18, Muñoz, 1949). Desde este momento se reconoce la filiación otomange de la nueva alianza, sin embargo, por ser un momento histórico de reajuste de las sociedades prehispánicas es un poco confuso".

"La mayor parte de las evidencias arqueológicas atestiguan la ocupación de la zona a partir del siglo XV, sin embargo, se puede tomar el siglo XIII como límite temporal inferior, cuando el señorío de Xaltocan, de filiación otomí y ubicado al norte de la Cuenca de México, cayó en poder de Atzacotalco y el señorío de Metztlán proporcionó refugio a los personajes más importantes de Xaltocan, con los que se tenían alianzas por parentesco (Osborn, 1970: 25)".

"A partir de este momento hay menciones constantes sobre intentos de sometimiento, por parte de los mexicas, tanto de Metztlán, como de Tototepec y de la Huasteca, que de hecho representaron la periferia independiente del noreste de Mesoamérica hasta la conquista española. Estas agresiones, también se debían a que Metztlán controlaba una zona con abundancia de recursos estratégicos o que funcionaba como zona de aprovisionamiento de guerreros prisioneros para sacrificios" (Alvarez, 1993).

De acuerdo con Gerhard (1986), aun cuando no se conoce mucho sobre la estructura política de Metztlán a la llegada de los españoles, todas las fuentes concuerdan en que era un estado o probablemente, una confederación militarmente poderosa.

El reino mantuvo su independencia frente a los aztecas y nunca estuvo sujeto a otro reino, hasta la llegada de los españoles.

El territorio ocupado por el señorío en la época prehispánica, contaba con un sistema económico basado en la agricultura y con actividades subordinadas como la caza, la pesca y la recolección. En general era pobre, la vega solo era sembrada en época de lluvias, y lo único que se explotaba era el lecho del río. Las pocas riquezas con que contaba el señorío, se destinaban a las continuas guerras con los aztecas que ejercían constante presión.

La *Relación Geográfica* redactada en 1579 por Gabriel de Chavez, menciona que el dominio del señorío se extendía a las provincias de Molango, Malilla, Tlanchinoltipac, Iamatlan y Atlihuetzian, Tianguiztenco, Suchicoatlán, Guasalíngo y Yagualica (loc. cit. 1986:59, tomado de Alvarez, 1993) (Fig. 15).

Establecida la autoridad española en Metztlán, el antiguo reino es subdividido en varias provincias menores y sus corregimientos, modificándose toda la estructura con la nueva administración y encomienda. Los verdaderos amos pasaron a ser los encomenderos y la población indígena fue sometida a explotación y vejaciones (Cantú, 1950).

Con la incorporación del señorío de Metztlán al imperio español, comienza la evangelización de los pueblos por los agustinos hacia el norte, cuyo objetivo era la Sierra Alta, seguir en la Huasteca y llegar hasta la costa.

La evangelización de la región de la Sierra Alta estuvo a cargo de fray Antonio de Roa y fray Juan de Sevilla, a quienes se debe la construcción de los conventos que aún se conservan en Metztlitlán y Molango (Victoria, 1985).

Ante el trato brutal hacia los indios, algunos religiosos como Fray Nicolás de Witte, trataron de protegerlos manteniendo correspondencia con fray Bartolomé de las Casas y el Real Consejo De Indias.



Fig. 15. Plano de Metztlitlán mandado al Rey Felipe II por Gabriel de Chávez (Acuña, 1985).

El relieve abrupto de la Sierra Alta, desde la época prehispánica, como hasta ahora, fue un obstáculo para que se formara un centro de población importante en el lugar. Con la llegada de los frailes comenzó la concentración de los indígenas dispersos sobre toda la Sierra Alta, en núcleos de población que antiguamente sólo funcionaban

con fines religiosos. Este fue el caso de la colina sobre la cual hoy se localiza la población más grande de la Vega de Metztlán.

En los lugares alejados, era primordial la conversión de los indígenas al cristianismo, la enseñanza del castellano y la administración religiosa de las zonas geográficas que tenían asignadas, que podían incluir aspectos económicos como el desarrollo de cultivos y de ganado (Artigas, 1988).

Así, los religiosos enseñaron a los indígenas a cultivar con métodos de irrigación, introdujeron nuevos cultivos y mejoraron el del maíz.

A Fray Nicolas de Witte, se le atribuye la obra inconclusa de desaguar la laguna con el fin de controlar las inundaciones y los focos de infecciones.

Todo esto hizo que la zona cobrara gran importancia geográfica, económica y social, ya que fue un punto de enlace más que un centro aislado. De acuerdo con Victoria (1984), basados en su amplio conocimiento de la geografía, tuvieron la oportunidad de examinar los recursos económicos de cada sitio y decidir por su cuenta y riesgo la fundación de cada convento y la posterior planificación del pueblo.

3.2 CONSTRUCCIONES DEL SIGLO XVI EN LA VILLA.

La Comunidad, el ex convento de Los Santos Reyes y la Tercena son los tres monumentos en la población que por su arquitectura e importancia histórica merecen ser mencionados.

En la construcción de estos tres edificios la topografía del lugar jugó un papel determinante, los escalones naturales o diferentes niveles de la colina fueron aprovechados, sobre todo en el caso de la Comunidad y el Convento de los Santos Reyes (foto 25). En este último, además fue modificado el relieve nivelando el terreno, en forma de una gran explanada, lo que implicó un gran esfuerzo de la mano de obra indígena.

3.2.1 Ex Convento de la Comunidad.

Comunidad fue el primer convento que construyeron entre 1537 y 1540 los agustinos en la población, constituido por tres cuerpos principales: la iglesia, el convento y la parte noreste, ocupada actualmente por oficinas municipales y por la torre del reloj.

De acuerdo con Artigas (1988) hasta 1548 Felipe II ordenó seguir un esquema uniforme para la traza de los conventos americanos, lo que indica que el edificio de la Comunidad (que mucho tiempo antes había comenzado su construcción) fue uno de aquellos edificios, que en vez de seguir normas, pudieron haberlas implantado.



Foto 25. Vista de la colina desde el cementerio donde se aprecian los escalones naturales (A, B, C, D).

Sobre el motivo por el cual fue trasladado el convento de la Comunidad a un nivel superior en que hoy se encuentra, en general la bibliografía existente lo atribuye a los estragos sufridos por una inundación, aunque no está bien documentado. Victoria (1985) señala que este motivo de abandono no puede ser creíble si se toma en cuenta la ubicación de este antiguo convento y la falta de señas en la construcción que demuestren sus daños por inundación. El mismo autor señala la posibilidad de otro fenómeno físico. Al respecto Artigas (1988) quien igualmente descarta la posibilidad de una inundación, atribuye la construcción del convento de Los Santos Reyes a la necesidad de dotar a la villa de un edificio acorde con la importancia local y regional que llegó a adquirir en 1541, cuando fue elevado a la categoría de priorato. Su localización junto al barranco fue un impedimento para su crecimiento al igual que lo rústico de su construcción que no hubiera permitido la edificación de un segundo piso. Por ello fue trasladado a otro nivel y a diferencia de lo que se piensa, este autor indica que aún después de construido el convento de los Santos Reyes, el edificio siguió en uso, si no como convento, como locales de servicio.

En la actualidad se conservan las ruinas del edificio original del ex convento de la Comunidad (foto 26), donde todavía es posible apreciar su belleza y grandeza arquitectónica. Construcción invaluable que puede ser el edificio más antiguo del siglo XVI que quede en pie en todo el país (Artigas, 1988) sin embargo, como sucede con muchas otras construcciones, las condiciones en que se conserva no son las más apropiadas.

3.2.2 Ex Convento de Los Santos Reyes

Como acertadamente menciona. Artigas (1988) lo primero que sorprende de esta construcción es su emplazamiento y su tamaño en relación con la villa de Metztlán (foto 15). Lo anterior se debe a que durante el siglo XVI los grandes conventos tienen su razón de ser en la amplitud o riqueza de la región que tenían encomendada, en la cabecera construían los grandes edificios y a partir de ella se organizó la zona geográfica. De ahí que el convento de los Santos Reyes sea el único edificio religioso importante por su magnitud en toda la región.

La importancia arquitectónica de esta construcción "reside en su extraordinaria arquitectura renacentista singular del siglo XVI, presencia del Renacimiento italiano, a través del español, como el estilo más importante, prácticamente único de aquella época en todo el continente americano (foto 27). Combina elementos europeos de gran calidad, a los cuales suma su espacioso atrio amurallado con capillas pozas y dos capillas abiertas (foto 28); son la aportación más importante de América a la arquitectura del cristianismo, puesto que conjuntan las formas de vida indígenas americanas a las de la arquitectura europea, estableciéndose así, una síntesis cultural de los dos continentes" (Artigas, 1994):

"Además, a su extraordinaria arquitectura renacentista de equilibradas proporciones, se añan las pinturas murales del siglo XVI con que cubre sus paredes y bóvedas, y los retablos salomónicos de calidad excepcional con que cuenta el templo, que lo convierten en uno de los conventos más completos y mejor conservados del país

y el mejor edificio de la región noreste del Estado de Hidalgo, a través de los tiempos" (Artigas 1994).

Y por si todo lo anterior no fuera suficiente, "si toda obra plástica requiere de un ámbito exterior que la complemente, o, por lo menos que no la opaque, el espacio circundante del convento de Los Santos Reyes cuenta con un aire y una luz interminables y un paisaje de montañas en su derredor que complementan la arquitectónica y la realzan" (Artigas, 1988).

3.2.3 La Tercena

La Tercena se ubica en la ladera del arroyo Tlaxómotl y la fecha de su edificación pudo ser entre 1537 y 1540, lo que la hace uno de los edificios virreinales más antiguos que quedan en pie (Artigas, 1988). Algunos autores le han atribuido el destino de almacén de productos de la región, o bien ser un edificio con carácter administrativo, al respecto Artigas (1988) menciona que este edificio era el cabildo civil de Metztlán.

Su estructura es de gran belleza, como en el caso de la Comunidad y del convento de los Santos Reyes, aquí también fue necesaria la nivelación del terreno; se construyó con riesgos y fue necesario reforzar más tarde con un muro (Victoria, 1985).



Foto 26 . La Comunidad.

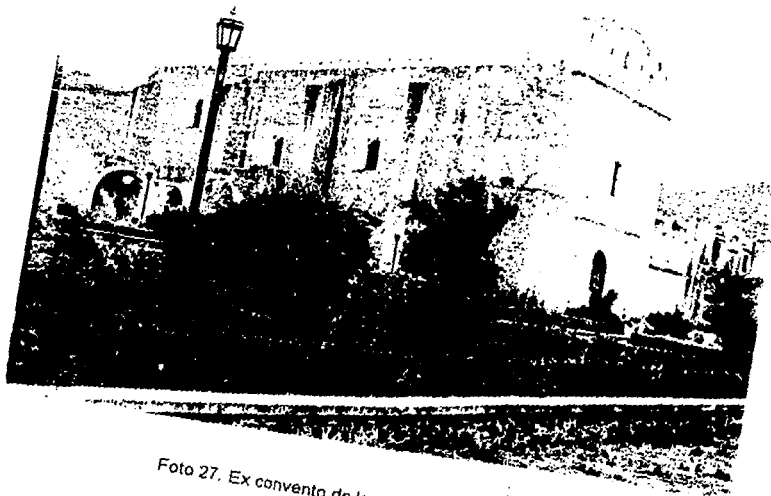


Foto 27. Ex convento de los Santos Reyes.



Foto 28. Capillas abiertas del ex convento de los Santos Reyes.

3.3 POBLACIÓN ACTUAL

Una vez concentrada la población, comenzó el crecimiento de lo que hoy día es la villa de Metztlán. Los primeros pobladores se establecieron en el centro o primer nivel del parteguas de la colina, el crecimiento continuó a lo largo del éste, y posteriormente hacia el norte del ex convento de Los Santos Reyes, hacia las laderas de los barrancos y posteriormente sobre la vega. Las calles siguen las líneas impuestas por la topografía del terreno, aunque es notable la intención de hacerlas rectas, trazadas a cordel, y la imposibilidad de mantener estos trazos en distancias largas (Artigas, 1988). Esta intención la convierte en "una ciudad trazada dentro de los principios elementales de la urbanística colonial española, aunque adaptada a la topografía del lugar"(Cantú, 1950)

Así, la villa de Metztlán presenta las características de las ciudades americanas fundadas en el siglo XVI, la ubicación de la plaza, de la iglesia y de los edificios de gobierno civil y de los destinados al comercio. Sistemáticamente aparecen próximos unos a otros, pero en posición principal la iglesia y su atrio, señalados generalmente, por un nivel más alto que el correspondiente a la plaza cívica (Artigas, 1988).

La Plaza de la Independencia, casi rectangular, obedece a los lineamientos generales establecidos en las plazas de ciudades de trazo rectangular, sirve como centro urbano y de ésta parten en distintas direcciones las principales calles de la población (foto 29). Al suroeste, sale la calle Abasolo, que al unirse con la calle Porfirio Díaz forma una pequeña plaza denominada Victoria, frente a la cual, al occidente, se localiza la iglesia de la Comunidad y al sur, la presidencia municipal.

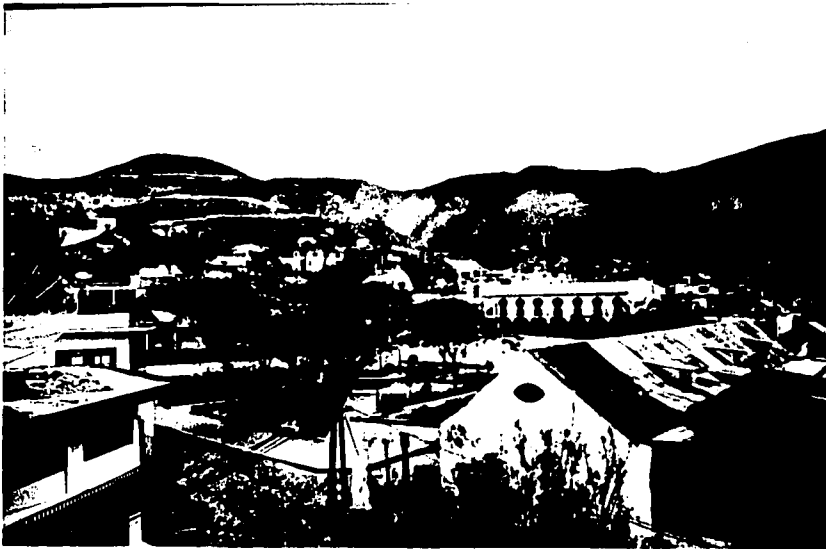


Foto 29. Plaza de la Independencia.

Como ya se mencionò, la morfología de la región hace imposible el asentamiento de grandes poblaciones. Metztitlán, es una de las más grandes e importantes desde la época prehispánica, de ahí que sea en esta villa donde se encuentra la cabecera municipal.

De acuerdo con el censo realizado por el gobierno del Estado en 1992, la población total es de 2 668 habitantes, de los cuales 1 255 son hombres y 1 413 mujeres.

La población es joven, y el grado de analfabetismo en la zona ocupa un 10%.

La población es rural, aún cuando el total de ésta es superior a los 2 500 habitantes, de los cuales son económicamente activos 735 habitantes y la población ocupada es de 683 o sea, un 27.5 % en el primer caso y 25.6% en el segundo en relación con el total. A las actividades primarias, agricultura, se dedican 299; en el sector secundario 86 y en las actividades terciarias 270 habitantes.

Los datos anteriores nos demuestran que una gran parte de la población ocupada, está relacionada con la actividad principal, la agrícola; un número menor se dedica a las actividades secundarias, es decir la transformación de las materias primas; pero en cambio, ocupa un número importante casi igual al de las actividades primarias, las terciarias, aquellas como los transportes, las comunicaciones y el comercio. Desgraciadamente, en este último sector no puede incluirse al turismo, ya que aún cuando la zona tiene un potencial muy grande, este recurso no ha sido explotado. Metztitlán, la población más grande e importante de toda la vega, sólo cuenta con un pequeño hotel y en la laguna no existe algún tipo de actividad recreativa.

En cuanto a las viviendas, son un total de 613, de las cuales 609 son particulares, habitadas, para un total de 2 637 ocupantes, lo cual da un promedio de 4.33 ocupantes por vivienda.

Entre los servicios con que cuentan las viviendas particulares están:

1. Agua entubada	472 viviendas.
2. Drenaje	367 viviendas.
3. Energía eléctrica	503 viviendas.

Es importante señalar que aun cuando se habla de drenaje, en general se refiere a la entubación que tienen algunas casas para desalojar las aguas residuales, sin embargo, no existe un entubado general en el pueblo.

Una descripción en forma general sobre las construcciones de la población, realizada por la Compañía Colinas de Buen (1993) es la siguiente "éstas son de tipo rural, de uno y dos niveles como máximo, cuya estructuración es a base de muros de carga constituidos por mampostería de roca de la región, rigidizados mediante castillos de concreto armado y losas macizas. Las edificaciones que se encuentran cerca de las laderas tienen contrafuertes de mampostería. El tipo de cimentación de las edificaciones es superficial a base de zapatas corridas de mampostería".

4. ASPECTOS TEÓRICOS SOBRE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA

4.1 PROCESOS GRAVITACIONALES

El término **deslizamiento de tierras** muchas veces crea confusión, ya que es una traducción del inglés *landslide* y en este idioma tiene un doble significado, uno general para referirse a lo que en español es preferible aplicar otros términos de uso universal: procesos gravitacionales, de remoción en masa o de laderas, y el segundo, el **deslizamiento de tierras** un tipo específico de este conjunto de procesos.

Entre los títulos comúnmente encontrados en las clasificaciones para referirse a los procesos de remoción en masa están: *mass wasting*, *mass movement*, *landslide* (Varnes, 1958) y *slope movement* (Varnes 1978), en algunos casos sólo reflejan una diferencia semántica, pero en otros indican una variación en el alcance del tratamiento (Crozier, 1986).

Estos procesos de remoción en masa o gravitacionales, son usualmente estudiados desde dos puntos de vista: por geólogos y geomorfólogos que los analizan como parte de los procesos exógenos, sus causas, comportamiento, forma resultante, etc., y por los ingenieros cuyo interés es proporcionar seguridad a las construcciones que edifican (Záruba y Mencil, 1968).

La primera clasificación amplia sobre los procesos gravitacionales se debe a Sharpe (1938). Existen los antecedentes de clasificaciones de otros autores como Howen (1909), Almajia (1910), Terzaghi (1925), Ladd (1935), Heim (1982), menos conocidos, mencionados por Záruba y Mencil (1968).

Sharpe en su clasificación (tabla 4), subdivide a los procesos de remoción en masa con base en tres elementos principales: clase de movimiento y velocidad relativa (lentos a rápidos), contenido de agua o hielo y tipo de material. Además, toma en cuenta numerosos factores, geológicos, geográficos y antrópicos. En ella reúne los elementos más importantes de las clasificaciones anteriores y los ordena sistemáticamente en grupos principales con sus respectivos subtipos, sus relaciones y algunas características.

Por considerarse en esta clasificación los hundimientos como uno de los procesos de remoción en masa, en la primera columna de la izquierda de la tabla 4, los movimientos se clasifican en dos tipos: de lado libre y confinado.

En las dos columnas contiguas, está considerado el movimiento. En la primera se incluye la diferenciación de Sharpe de los tipos de movimiento: flujos y deslizamientos que se distinguen por la presencia o ausencia de un plano de deslizamiento. En el caso de los flujos, el material viscoso o plástico no se desplaza sobre una superficie o plano predispuesto, mientras que en los deslizamientos esto ocurre. En la segunda columna, este autor los clasifica por su velocidad, de lentos a rápidos y rangos intermedios.

En las cinco columnas siguientes, los diferentes movimientos de remoción en masa se dividen de acuerdo con la proporción de agua o hielo contenido en el material en movimiento.

		MOVEMENT		EARTH or ROCK			WATER		
		ICE	ICE	ICE	ICE	ICE	ICE	ICE	
		ICE	EARTH OR ROCK PLUS ICE	EARTH OR ROCK, DRY OR WITH MINOR AMOUNTS OF ICE OR WATER	EARTH OR ROCK PLUS WATER	ICE	ICE	ICE	
FREE SIDE	S L I P	USUALLY IMPERCEPTIBLE	R O C K - C R E E P						FLUMINAL TRANSPORTATION
			T A L U S - C R E E P						
			S O I L - C R E E P		S O I L - C R E E P		S O I L - C R E E P		
			S O L I F L U C T I O N		S O L I F L U C T I O N		S O L I F L U C T I O N		
			EARTHFLOW		EARTHFLOW		EARTHFLOW		
			MUDFLOW		MUDFLOW		MUDFLOW		
			DEBRIS-AVALANCHE		DEBRIS-AVALANCHE		DEBRIS-AVALANCHE		
			S L U M P		S L U M P		S L U M P		
			DEBRIS-SLIDE		DEBRIS-SLIDE		DEBRIS-SLIDE		
			DEBRIS-FALL		DEBRIS-FALL		DEBRIS-FALL		
WITH SIDE	S L I P	RECEPTIBLE	R O C K S L I D E						
			R O C K F A L L						
			S U B S I D E N C E						
FREE SIDE	S L I P	USUALLY IMPERCEPTIBLE	G L A C I A L T R A N S P O R T A T I O N						
			S O C I O - G L A C I A L C R E E P						
			S O L I F L U C T I O N						
			EARTHFLOW						
			MUDFLOW						
			DEBRIS-AVALANCHE						
			S L U M P						
			DEBRIS-SLIDE						
			DEBRIS-FALL						
			R O C K S L I D E						
R O C K F A L L									
S U B S I D E N C E									

Tabla 4. Clasificación de procesos gravitacionales (Sharpe, 1938).

En la clasificación de Sharpe se mencionan dos clases de movimientos: flujo (*flow*) y resbalamiento (*slip*). Las caídas (*falls*) son incorporadas como una subdivisión de resbalamiento (*slip*) muy rápido. En general, su atención se concentra en la velocidad del movimiento, más que en el tipo de material, aunque en la sección de movimientos de flujo imperceptibles, tres tipos de reptación (*creep*) son reconocidos con base en el tipo de material en movimiento (Hansen, 1984). La clasificación de Sharpe es considerada por Hansen (1984) y otros especialistas como un buen ejemplo de subdivisiones de movimientos que consideran las condiciones climáticas y ambientales.

Otra contribución importante que realizó Sharpe fue el listado de los distintos factores, tanto pasivos como activos, que originan la remoción en masa.

Posteriormente, los estudios de otros autores han enriquecido la obra de Sharpe, aunque las numerosas clasificaciones que han surgido a la fecha, han mostrado la necesidad de una cuidadosa unificación de términos y clases de movimientos con definiciones explícitas.

Veinte años después de la publicación del trabajo de Sharpe, uno de los más relevantes sobre el tema fue elaborado por Varnes (1958), en cuya clasificación utilizó como criterio principal, el tipo de movimiento, y en segundo, la clase de material (tabla 5).

TYPE OF MOVEMENT			TYPE OF MATERIAL		
			BEDROCK	ENGINEERING SOILS	
				Predominantly coarse	Predominantly fine
FALLS			Rock fall	Debris fall	Earth fall
TOPPLES			Rock topple	Debris topple	Earth topple
SLIDES	ROTATIONAL	FEW UNITS	Rock slump	Debris slump	Earth slump
	TRANSLATIONAL	MANY UNITS	Rock block slide	Debris block slide	Earth block slide
			Rock slide	Debris slide	Earth slide
LATERAL SPREADS			Rock spread	Debris spread	Earth spread
FLOWS			Rock flow (deep creep)	Debris flow (soil creep)	Earth flow creep
COMPLEX			Combination of two or more principal types of movement		

Tabla 5. Clasificación simplificada de procesos gravitacionales (Varnes, 1978).

Este autor cambió el término *landslide* utilizado por Sharpe, a una categoría más amplia, *slope movements*, justificando con éste la incorporación de movimientos de material que involucren o no, componentes de deslizamiento. Además, dio una escala aproximada de las velocidades de los procesos de remoción en masa, después de criticar los trabajos basados en parámetros subjetivos.

En 1978, Varnes volvió a tratar el tema, utilizando los mismos criterios anteriores, pero con mayor atención en las características del material en desplazamiento (tipo, tamaño, etc.) y aclara que el movimiento y material puede variar en tiempo y espacio, por lo que rechaza que una clasificación rígida sea práctica y deseable.

En su clasificación, los diferentes movimientos son agrupados en tres distintos tipos de material y en cuanto al movimiento, utiliza 5 divisiones: caídas (*falls*), (*topples*), deslizamientos (*slides*), (*lateral spreads*), flujos (*flows*) y movimientos complejos.

Además, en este segundo trabajo, Varnes (1978) resumió los distintos criterios usados en las clasificaciones existentes hasta el momento, en la siguiente lista:

1. Tipo de movimiento
2. Clase de material
3. Cualidades del material
4. Características morfométricas

5. Clase de desplazamiento del material, a partir de su posición original (*in situ*)
6. Tipo de ruptura de la masa en desplazamiento
7. Orientación de la ladera (de deslizamiento), estructura geológica y forma
8. Edad, actividad e historia del movimiento.
9. Localización geográfica o zonificación climática de los ejemplos tipo.
10. Composición geológica
11. Velocidad del movimiento
12. Contenido de agua, aire y hielo: efecto en la cohesión, fricción interna y presión ejercida sobre la superficie de ruptura.
13. Grado del riesgo potencial.
14. Causas.

Rechaza a los procesos de hundimiento como parte de la remoción en masa, por ello no aceptó el término *mass movement* utilizado por Hutchinson (1968), ya que en él se incluían éstos.

A diferencia de Varnes, Záruba y Mencl (1968) dedican cerca de una página de discusión a este proceso. Estos dos autores utilizan como elemento de clasificación, la cohesión del material, cosa que Sharpe no tomó en cuenta, ya que en general, en su clasificación el material tuvo poca importancia.

Así, la separación inicial que proponen Záruba y Mencl (1968), está basada en el material superficial y en el tipo de depósito geológico. Además, estudiaron los procesos gravitacionales a partir de su edad, clasificándolos en contemporáneos y fósiles.

Otro especialista que ha aportado mucho al estudio de los procesos gravitacionales es Crozier (1984, 1986). En sus trabajos, sobre todo en el segundo, discute el problema de la proliferación de clasificaciones en los últimos años, por autores que realizan con objetivos y para regiones específicos, sin tomar en cuenta, generalmente, su subsecuente aplicación y cuya consecuencia es la frustración de uno de los principales objetivos, que es proporcionar una terminología clara y precisa, así como su fácil aplicación. Con respecto a la terminología sucede algo parecido y aunque algunas clasificaciones convergen en la misma, las diferencias persisten.

Para este autor, el uso de un criterio específico o de una clasificación, depende mucho de: costo/beneficio, escala de investigación, tecnología y fuentes de financiamiento posibles. En su trabajo de 1984 da algunos parámetros de reconocimiento de procesos gravitacionales y menciona 3 métodos para valorar la estabilidad de las laderas: reconocimiento aéreo, en campo e investigaciones subsuperficiales. Tomando en cuenta que los tres pueden ser métodos complementarios más que alternativos.

A diferencia de otros autores que se basan en criterios como el movimiento, la velocidad, el material, etc., Crozier (1973) aplica índices morfométricos para distinguir distintos tipos de movimientos, en su etapa inicial (Hansen, 1984).

Para este autor, los procesos de remoción en masa o gravitacionales (*landslides*), son producto de las condiciones ambientales, por lo que las soluciones que puedan darse, requieren del conocimiento de las características de la ladera y sus relaciones

funcionales con el medio, así como del entendimiento de la dinámica del sistema en general.

Entre los especialistas que han escrito sobre la necesidad de usar una rigurosa terminología sobre el tema, para evitar confusiones ante la multiplicidad de significados y que han analizado las diferentes clasificaciones, los criterios usados en ellas y sus diferencias, ha sido Hansen (1984).

Este autor al igual que Varnes (1982) y otros, han discutido varios métodos y técnicas para preparar, interpretar y utilizar diferentes tipos de mapas en el estudio de estos procesos.

Otros especialistas como Alexander (1989) han estudiado estos procesos desde el punto de vista de los riesgos, daños, impactos económicos, costos, etc. y su incidencia en zonas urbanas.

Entre los autores que han profundizado en las causas internas y externas de los procesos gravitacionales, se encuentra Brunsden (1979), quien también es uno de los autores que ha proporcionado a partir del aumento del monitoreo de estos fenómenos en campo, nuevas características morfológicas que permiten ser usadas como factores de clasificación, divididos en dos grupos: la morfología del material del depósito y la de la superficie de falla (Hansen, 1984).

Además, ha señalado el exitoso desarrollo que ha tenido la cooperación interdisciplinaria entre ingenieros, geólogos y geomorfólogos, en el estudio de los procesos de remoción en masa. Ya que las disciplinas de estos profesionistas han proporcionado una visión complementaria sobre la estabilidad de las laderas, y cada una se ha beneficiado conceptual y metodológicamente de las experiencias que han compartido (Brunsden 1984).

4.2 DESLIZAMIENTOS DE TIERRA

Este tipo de procesos podemos decir que son bien conocidos por los estudios que se han hecho de los mismos a lo largo de este siglo; su conocimiento ha tenido un interés científico que trata de explicar el origen del proceso, el mecanismo de su desarrollo y su evolución en general; al mismo tiempo, esto tiene un interés práctico por el hecho que estos fenómenos frecuentemente afectan poblaciones, tierras de cultivo, vías de comunicación y otras obras de ingeniería de lo que resulta necesario su conocimiento para evitarlos, frenarlos y pronosticarlos, temas en los que se ha avanzado mucho en los últimos años.

Los deslizamientos (*landslide*) fueron definidos por Sharpe como una masa de roca, tierra o mezcla de las dos, relativamente seca, deslizándose ladera abajo en un movimiento perceptible.

La característica principal que los distingue de los movimientos lentos y rápidos, es la cantidad de agua, que funciona como lubricante. En el inicio de un deslizamiento, su velocidad puede ser apenas perceptible y posteriormente aumentar, o viceversa.

Por lo general, la ladera en que se produce el deslizamiento es de fuerte pendiente y el movimiento es de rápido a moderadamente rápido, aunque dependiendo de las condiciones en que ocurra es posible encontrar excepciones.

La subdivisión que hace Sharpe de los deslizamientos, depende de las características del movimiento y el tipo de material que se desliza. Sin embargo, al modificar el contenido de agua, sus características pueden cambiar y transformarse en otro tipo de proceso de remoción en masa, con diferente velocidad y características, como una corriente de lodo o un flujo de tierra.

Los diferentes tipos de deslizamientos, de acuerdo con la clasificación de Sharpe, pueden observarse en la figura 16 y son los siguientes:

A. Deslizamiento rotacional en bloques (*slump*)

Es el desplazamiento de una masa de roca o material no consolidado, ladera abajo, como una sola unidad o un conjunto de subunidades o bloques basculados en sentido contrario a la pendiente.

B1. Deslizamiento de detritos (*debris-slide*)

Es el movimiento descendente de tierra o detritos no consolidados y a diferencia del anterior, los bloques no presentan basculamiento. En la base de la ladera, al descender, se forma un depósito irregular.

B2. Caída de detritos (*debris-fall*)

Es un proceso distinto de los anteriores, de caída de material suelto no consolidado, lo que tiene lugar en escarpes, acantilados o laderas de fuerte pendiente. Por lo general son de pequeña magnitud y comunes en laderas cortadas por ríos.

C. Deslizamiento de rocas (*rockslides*)

En este caso se trata de paquetes o estratos de roca deslizándose en un movimiento generalmente rápido, a través de planos de estratificación, planos de falla u otro tipo de superficies de separación.

D. Caída de rocas (*rockfall*)

Este es un proceso gravitacional rápido que se produce al desprenderse rocas de laderas empinadas o escarpes, cavidades o bóvedas. A diferencia del anterior, en éste no se presenta un plano de deslizamiento.

Además de su descripción, en el caso de los deslizamientos (*landslide*), Sharpe proporcionó una lista muy completa de causas que originan estos procesos, divididas en una extensa variedad de condiciones favorables o *pasivas* para la ocurrencia de estos

fenómenos y desencadenadoras o *activas* que pueden iniciarlos, incluyendo factores geológicos, físico-geográficos, químicos, biológicos y antrópicos.

En el caso particular de los deslizamientos rotacionales en bloques o *slumps*, como los llama Sharpe, nos detendremos a caracterizarlos un poco más, debido a que el caso a tratar en este trabajo es un proceso de este tipo.

De acuerdo con Sharpe (1938), las condiciones topográficas favorables para que se presenten deslizamientos rotacionales con formación de terrazas, son laderas de fuerte pendiente constituidas de material no consolidado, cortes artificiales y acantilados, erosionados en su base por ríos u olas.

La erosión, crea inestabilidad en la ladera y la formación de bloques por despiome o terrazas (*terraccetelike steps*) que crecen y se mueven ladera abajo (Fig. 17), además, la constante erosión no permite observar el flujo de material (flujo de tierra) en la base.

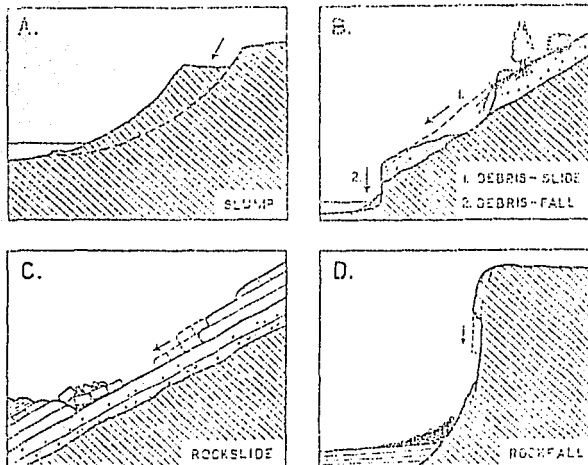


Fig. 16. Distintos tipos de deslizamientos (*landslides*) (Sharpe, 1938).

Sharpe menciona algunos ejemplos en que la asociación de terrazas se da con el crecimiento de escarpes, fenómeno típico en los *slumps* en material no consolidado o en laderas escarpadas.

El desplazamiento, en general, se relaciona con el tamaño del bloque, y las características que lo distinguen de otros movimientos, son el crecimiento de grietas en la superficie en desplazamiento descendente y la inclinación de sus bloques hacia atrás (Fig. 18). También señala que en estos procesos los periodos de desecación y lluvias fuertes son un factor importante en su evolución, sobre todo si el deslizamiento se produce en arcillas.

Varnes (1958), al igual que Sharpe (1938) y Crozier (1973) han escrito sobre las características de los diferentes tipos de deslizamientos, las cuales pueden ser de utilidad para su identificación y diagnóstico.

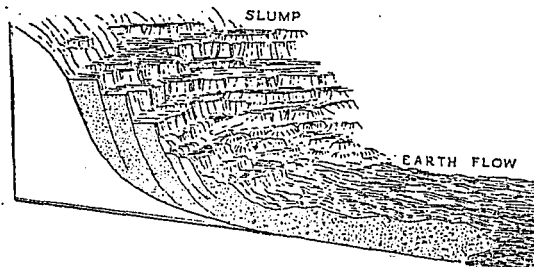


Fig. 17. Deslizamiento de tierras con formación de terrazas (Lobeck, 1939).

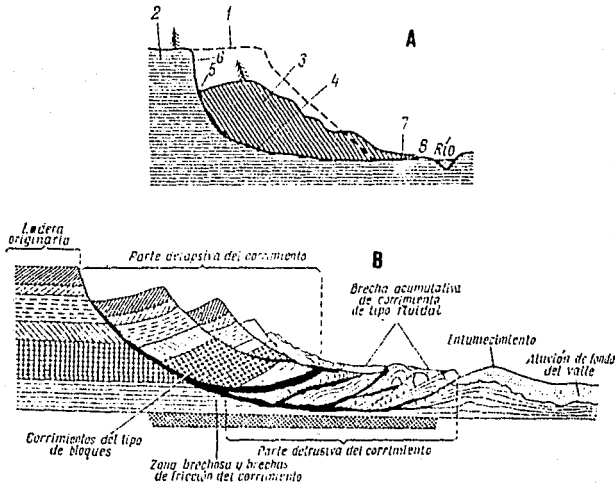


Fig. 18. A. Esquema de una ladera de deslizamiento: 1. Posición primitiva de la ladera; 2. Ladera inalterada; 3. Masa deslizante; 4. Superficie de resbalamiento; 5. Fisura de separación; 6. Escarpe; 7. Base del corrimiento; 8. Río. B. Esquema de un deslizamiento complejo (Gorshkov y Yakushova, 1977).

Sobre estos deslizamientos a los cuales Varnes en su clasificación llama *slides*, los subdivide en dos grupos: deslizamientos rotacionales (Fig. 19) y planares. La diferencia principal entre éstos es:

1. La superficie de deslizamiento, que en el primer caso tiene forma de cuchara mientras que en el segundo es plano, poco curvo.
2. Las unidades en que se divide la superficie en deslizamiento.

Varnes (1978) también clasificó algunos deslizamientos con base en su dinámica como inactivos, activos y dormidos, con el fin de definirlos por la capacidad de algunos antiguos procesos de reactivarse (Alexander, 1992).

Záruba y Mencl (1968), clasifican a los deslizamientos de tipo rotacional como *slides in pelitic on predetermined surfaces* y en general no aportan algo importante sobre este tipo específico de proceso.

En cuanto a Crozier (1984), proporciona evidencias valiosas para detectar deslizamientos por medio de características anómalas en la morfología, drenaje, vegetación y características subsuperficiales, como la textura del material y la estratigrafía. Todo esto lo menciona como un detallado tratamiento de métodos y criterios para valorar la inestabilidad en observaciones de campo.

Como se recordará, este autor ha trabajado con índices morfométricos simples y en los estudios que realizó con deslizamientos de tierra, comprobó que la distancia que alcanza el material del flujo, puede estar en función de la pendiente de la ladera, del volumen del material y del contenido de agua (Crozier, 1973).

Brunsdén (1973), profundizó el método utilizado por Skempton (1953), que consistía en encontrar la relación entre las propiedades geométricas de la ladera y las características de la masa en movimiento. Además de publicar una lista de definiciones morfométricas, discutió los problemas en conexión con las relaciones estadísticas entre las distintas variables que controlan los sistemas del movimiento en masa (Hansen, 1984).

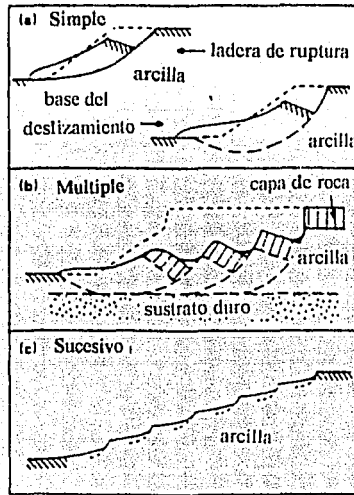


Fig. 19. Principales tipos de deslizamientos rotacionales (Varnes, 1978).

Finalmente, sólo queda concluir que entre las razones por las cuales este tipo de fenómenos son poco conocidos, es por su ocurrencia en zonas montañosas donde es limitado el impacto que tienen en el hombre. Además, su apreciación y significado es aminorado por ser generalmente productos secundarios de otros fenómenos violentos, como temblores, erupciones, huracanes o intensas tormentas. Estos los opacan y sólo se ven como efectos menores de eventos más dramáticos (Jones, 1992).

Un deslizamiento es el resultado de una compleja interacción de numerosos factores o causas, que pueden variar significativamente en tiempo y espacio, por ello, el conocimiento de todos los factores que intervienen en su surgimiento, son necesarios de conocer y comprender, para con ésto evitar riesgos y diferentes daños, sobre todo si consideramos que los costos de los impactos que causan estos fenómenos son muy

elevados. Por lo tanto, también es importante la realización de estudios de susceptibilidad de procesos de remoción en masa.

En la actualidad, aun cuando hay numerosos ejemplos de deslizamientos causados por la actividad humana, queda todavía mucho por investigar sobre este tema.

La información derivada de estudios previos de deslizamientos es muy importante, sobre todo para prevenir y hacer predicciones, por lo que todo lo que pueda contribuir a su conocimiento es de gran ayuda.

Es urgente la estandarización de una terminología sobre el tema, así como el control en el surgimiento de nuevas clasificaciones que aparecen a partir de determinados casos, en zonas específicas y cumpliendo objetivos precisos, por lo que su aplicación resulta muy difícil. Por ésto, la utilización de una u otra clasificación depende mucho de la facilidad de su aplicación y de la experiencia en su uso, así como los criterios utilizados dependen del objetivo del estudio.

5. ORIGEN Y EVOLUCION DE UN DESLIZAMIENTO DE TIERRAS

5.1 ORIGEN

El problema comenzó en noviembre de 1991 con la aparición de pequeñas fisuras de 1 a 2 mm de ancho en la ladera oriental de la colina de Metztlán. Tanto la población como las autoridades del lugar, no le dieron importancia. Un mes más tarde, esas fisuras se habían transformado en grietas, y casas situadas al oriente y noreste del convento, así como este último en su porción nororiental, sufrieron daños (Fig. 21).

En este mismo mes fue posible observar en la ladera occidental del barranco Tlaxómotl, a un lado del cauce, una capa de margas de la formación Méndez, muy alterada, inclinada 5° hacia el arroyo, sobresalía en su deslizamiento unos 35 cm sobre una capa arcillosa. "Este movimiento en su deslizamiento arrastraba un paquete de sedimentos, que originaba grietas transversales a la dirección del desplazamiento" (Lugo et al., 1993).

Tomando en cuenta las características que se presentaron en ese momento y las observaciones que se hicieron en los meses siguientes, fue posible catalogarlo como un proceso exógeno de remoción en masa, y en particular, como un deslizamiento rotacional en bloques (*landslide o slump*), de acuerdo con Sharpe (1938).

En la región de la vega, son comunes procesos de remoción en masa como caída de rocas, caída de detritos, deslizamiento de rocas etc.

En Metztlán no existen antecedentes sobre un proceso semejante al que se presenta en la actualidad, aunque algunos pobladores relatan que ya algo similar había ocurrido varios años atrás, en el mismo sitio, pero, con el paso de los años la población lo olvidó y volvió a construir en el lugar, lo cual no parece imposible.

La aparición de este tipo de fenómenos, como se vio en el capítulo anterior, no es producto del azar, para ello deben presentarse las condiciones necesarias (pasivas y activas) y en el caso de Metztlán se combinaron una serie de factores para que este proceso apareciera. Las observaciones que se han hecho durante los tres años de estudio, han aclarado las causas principales:

1. La erosión vertical del arroyo Tlaxómotl.

A lo largo de los años, la erosión ha creado el actual valle y es probable que durante este siglo se haya incrementado por un caudal mayor del arroyo, producto del desmonte general de la cuenca.

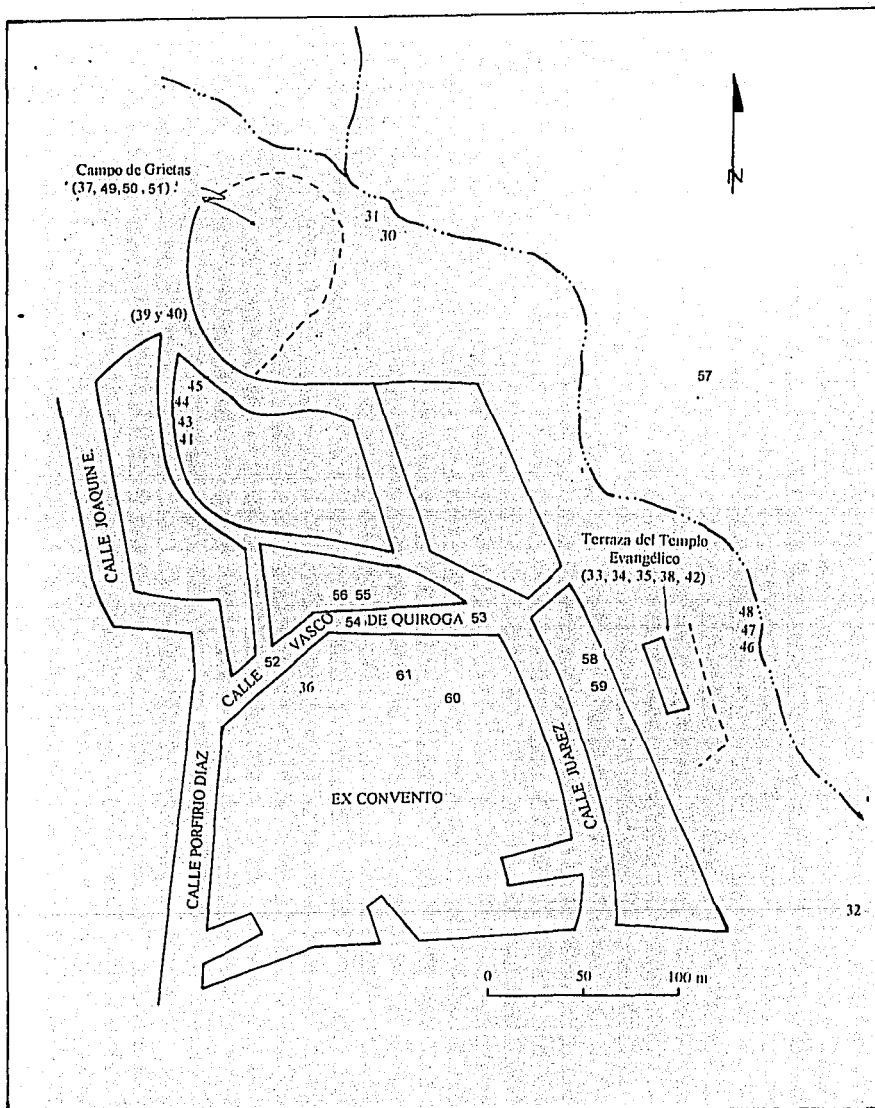


Fig. 20. Mapa de localización de fotografías de los capítulos 5 y 6, en el área afectada por el deslizamiento.

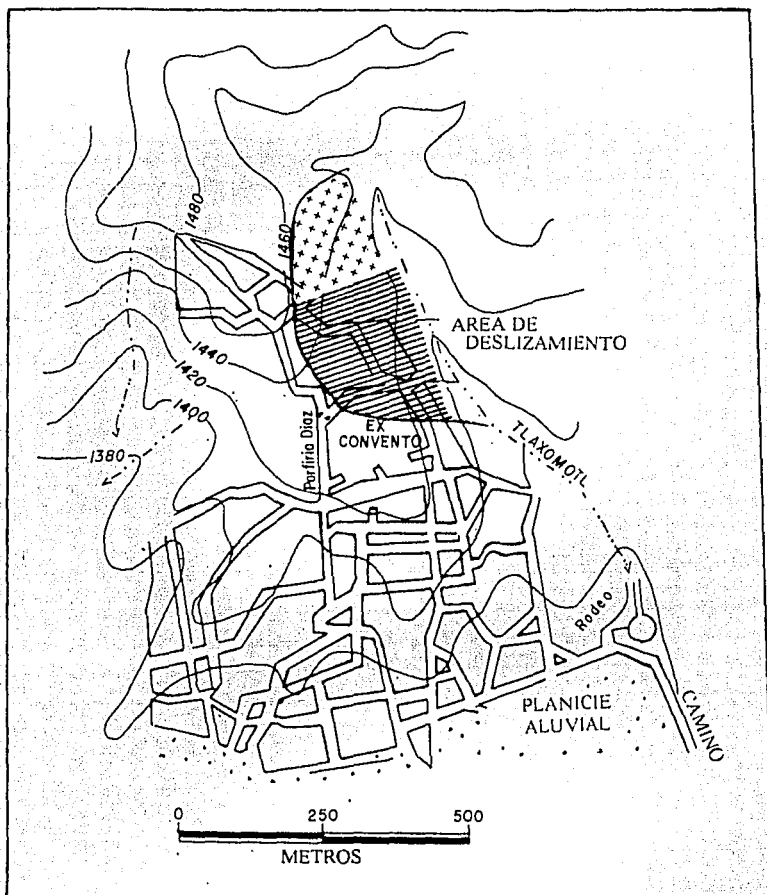


Fig.21. Mapa topográfico de la población, con rayas se muestra el área del deslizamiento en 1992, con cruces el área afectada a la fecha (1995).

La corriente al erosionar verticalmente los materiales arcillosos lacustres de la Formación Atotonilco, dejó al descubierto las capas del sustrato sedimentario de la Formación Méndez, que se levantan sobre el piso del cauce menos de 5 m (Fig. 22 y foto 30). La actividad fluvial socavó la base de la ladera, que a la larga, tuvo que debilitarla, provocar derrumbes y el inicio del proceso. Esto es, cuando el nivel del cauce estaba 1.5-2 m más alto, cubría las capas que deslizaron, de manera que el proceso no pudo presentarse en esas condiciones. No hay información sobre los cambios del cauce, pero los estudios hechos a partir de diciembre de 1991 permitieron reconocer que la erosión y acumulación son en ocasiones, de magnitud considerable, por lo que es muy probable que en este siglo se haya producido un corte vertical de más de un metro. Hay que agregar que el arroyo Tlaxómotl erosiona con mayor intensidad la ladera derecha, la correspondiente a la población.

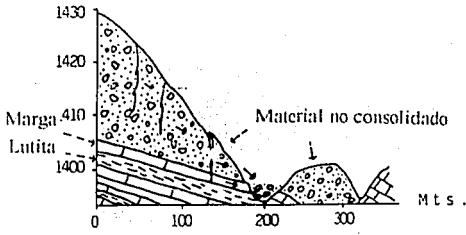


Fig.22 La corriente al erosionar verticalmente los materiales arcillosos de la Fm. Alotoniico dejó al descubierto las capas de la Fm. Méndez deebilitó la ladera, originándose el surgimiento de grietas ladera arriba y el derrumbe de material hacia el arroyo.



Foto 30. Estratos de rocas sedimentarias de la Fm. Méndez (A) en la base de la ladera, sobre ésta la Fm. Alotoniico (B).

2. Topografía o morfología.

Generalmente, este tipo de fenómenos se presentan en zonas cuya topografía es de laderas abruptas o escarpadas y como señala Sharpe (1938) y otros autores, en las riberas de lagos, mares, ríos y arroyos.

En el caso estudiado, la ladera erosiva superior de la colina tenía una pendiente de 10-15° que pasaba a vertical en los lados del cauce, por lo que el incremento de la incisión contribuye a aumentar la tensión y consecuentemente, la inestabilidad.

3. Disposición de los estratos y rocas subyacentes.

La deformación intensa de los estratos de la Formación Méndez, permite reconocer inclinaciones desde unos pocos grados, a la vertical y con buzamiento prácticamente en cualquier dirección. Colinas de Buen (1994a) menciona al respecto, que el contacto entre la Formación Atotonilco y los derrames subyacentes de roca basáltica fracturada, mantienen una inclinación hacia el arroyo Tlaxómotl, lo que favorece el deslizamiento (Fig.22 y foto 30).

En diciembre de 1991 se apreció la capa de marga inclinada hacia el arroyo 5°, resbalando sobre arcilla. Este es uno de los casos más comunes en los deslizamientos de tierras, como ha sido indicado por Sharpe y autores posteriores.

El movimiento de estratos fue algo fortuito, puesto que el buzamiento se produce en una pequeña localidad (en el afloramiento tenía menos de 10 m de anchura). Era poco probable que esto provocara la desestabilización en una superficie de más de 300 m de longitud. Pero, los estudios de geología del subsuelo (Colinas de Buen, 1993), demostraron que la capa arcillosa se distribuye ampliamente en el subsuelo, lo que se explica más adelante.

4. El papel del agua subterránea como lubricante.

Aun cuando el clima en la zona es seco, ésta tiene una buena alimentación subterránea, proveniente de porciones elevadas de la Sierra Madre Oriental. Tomemos el caso de Zacualtipán (Fig. 23) que se encuentra a sólo 12 km al noreste y a 1800 msnm, en donde como ya se ha señalado, su precipitación anual es de 1764 mm.

Tanto esta agua, como la pluvial y la proveniente del desagüe de los asentamientos humanos en la zona, favorece la lubricación de la capa que se desliza. "El agua al infiltrarse fluye en el contacto de la Formación Méndez y por el derrame basáltico que se encuentra intercalado entre la arcilla lacustre, gran parte de su caudal es descargado en los arroyos que bordean a la población. El agua restante se acumula formando mantos subterráneos que saturan y fluyen a través de la roca basáltica fracturada y asciende hasta alcanzar la arcilla lacustre de la Formación Atotonilco, produciendo la alteración de sus propiedades mecánicas" (Colinas de Buen, 1994a).

Prueba de lo anterior es una arcilla verde de la Formación Méndez, que puede observarse en la ladera occidental del Tlaxómotl y a lo largo del año siempre se encuentra húmeda (foto 31).

5. Ciclones y lluvias torrenciales.

Este tipo de fenómenos han sido muy importantes porque han acelerado el proceso (crecimiento de grietas, escarpes, etc.).

Las lluvias extraordinarias que causan los ciclones y algunas tormentas, en pocos días provocan una sorprendente erosión, remoción de material y su consecuente depósito al pie de las laderas y en las desembocaduras de los arroyos.

Perfil topográfico Metztlitlán-Zacualtipán

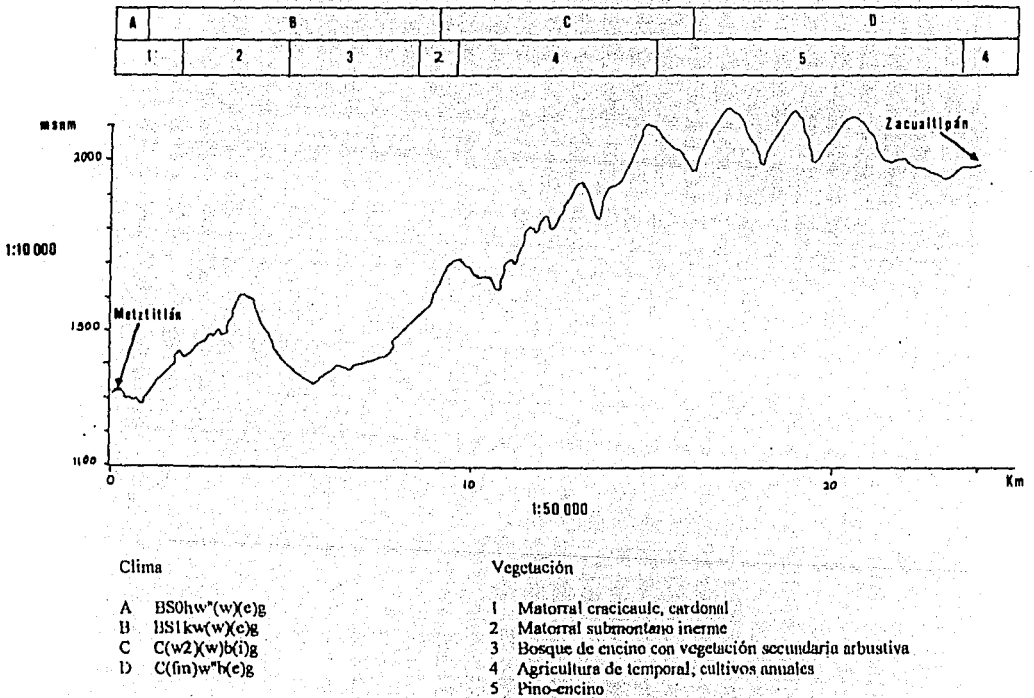


Fig. 23. Perfil topográfico Metztlitlán-Zacualtipán.

Durante 1990 la región fue afectada por el ciclón *Diana*, éste causó erosión y una gran acumulación excepcional; 15 meses más tarde se manifestó el deslizamiento en la ladera occidental del Tlaxómotl. Es posible, como suponen algunos habitantes, que *Diana* jugó un papel importante en el desencadenamiento del deslizamiento.

En 1992, una tormenta dejó a su paso más de un metro de aluvi6n en el fondo del Tlax6motl (fotos 20, 21), 14 meses despu6s, el 15 de septiembre durante el cicl6n *Gert*, lluvias torrenciales provocaron la crecida del arroyo y con ello la remoci6n del aluvi6n depositado un a6o antes. Los cortes naturales fueron de hasta 1.60 m (fotos 22 y 23). Los cambios del nivel de base se producen de manera brusca cuando se presentan ciclones, por lo que resultan importantes por la relaci6n que guardan con los procesos de remoci6n en masa.

Durante el *Gert*, se produjo principalmente erosi6n, ya que no s6lo se llev6 el material aluvial superficial, sino que excav6. Aguas abajo de la zona afectada, erosion6 la base de la ladera de la colina provocando derrumbes de 6rboles y la caida de una parte de la barda de la granja avic6la (foto 32), situada en el lecho del arroyo.



Foto 31. Arcilla lacustre de la Fm. Méndez en la ladera oriental de la colina.

6. Arcillas lacustres de las Formaciones Atotonilco y Méndez.

Las arcillas lacustres de la Formación Atotonilco son muy sensibles al entrar en contacto con el agua subterránea, ya sea directamente o por ascensión capilar; al saturarse se expanden, originando una pérdida de resistencia y una mayor deformabilidad ante los esfuerzos.

El estudio del subsuelo de Metztlitlán por la Compañía Colinas de Buen (1992, 1993) estableció que las propiedades mecánicas de la capa arcillosa en estado seco son excelentes para el apoyo de estructuras, ya que presentan una alta resistencia al esfuerzo cortante y una baja deformabilidad, sin embargo, en el mismo material pero en condiciones saturadas, las propiedades mecánicas se ven drásticamente afectadas, reduciéndose en forma considerable la resistencia al esfuerzo cortante y aumentando significativamente la deformabilidad.

Además, el problema se acentúa debido a la gran cantidad de vetillas de yeso que contienen las arcillas. Al humedecerse la arcilla y plastificarse, el agua que la satura reacciona con el yeso, convirtiéndose en un material plástico y viscoso que se desliza ladera abajo, sobre el basamento de roca basáltica o de la secuencia sedimentaria marina de la Fm. Méndez. En este proceso se originan las grietas.



Foto 32. Daños ocasionados en septiembre del 93 en la barda de una granja avícola.

7. Actividad antrópica.

Este factor ha influido de varias formas en la ladera oriental donde se presenta el deslizamiento:

7.1 La tala de árboles, cactáceas y arbustos que protegen al suelo de la infiltración a profundidad. Lo anterior se observa en el límite meridional del deslizamiento, que coincide con una zona arbolada (nogales, aguacates, carrizos etc.) plantada hace aproximadamente 30 años (foto 33). Durante los tres años de estudio, esta propiedad se ha mantenido sin ser afectada, en contacto con la superficie afectada, aunque no es seguro que se mantenga la estabilidad, sobre todo si el movimiento continúa como hasta ahora. Como en otros casos no hay información fiel sobre los cambios de uso del suelo en Metztlitlán. Al respecto, sólo se encontraron fotografías aéreas de un vuelo de 1976, de INEGI en escala 1:50 000. Por lo que el estudio se ha apoyado en consulta con personas

conocedoras. La ladera oriental de Metztlitlán fue deforestada lo que se reconoce por comparación con la porción arbolada en la misma y las modificaciones al relieve (veredas y terrazas).

7.2 La modificación del relieve original, con la creación de terrazas, cuyas dimensiones llegan a ser de 10 a 70 m de longitud y de 5 a 15 m de ancho. Estas favorecen la formación de grietas, sobre todo las mayores, a lo largo de la línea de sutura. La explicación que damos a este fenómeno, es que la superficie horizontal acumula y permite mayor infiltración del agua de lluvia que llega al estrato arcilloso. Por ésto, prácticamente todas las terrazas artificiales se convirtieron en superficies inestables y el plano de unión con la ladera, la porción más debil, se transformó en grieta o escarpe.

7.3 La urbanización en la ladera de la colina agudiza los problemas, sobre todo si las construcciones que se realizan son de gran magnitud. Si consideramos la constitución de la colina, de depósitos de derrumbe y como mencionan Mooser *et.al.* (1992) "Aun cuando sean antiguos y ya por eso bastante compactados siempre sufren subsecuentes asentamientos diminutos". Señalan también que éstos materiales "siempre son muy sensibles a cambios en el régimen hidrológico; cualquier cambio en los volúmenes de agua infiltrada, conduce a nuevos movimientos y renovados asentamientos" (*op. cit.*).

Las construcciones han influido en el deslizamiento cuando se construyen en terrazas artificiales, a lo que se agregan las obras pesadas y voluminosas. Un caso notable fue una casa en la calle Vasco de Quiroga (foto 36) una obra solida de ingeniería, con contrafuertes que la protegían de un deslizamiento en dirección de la pendiente, que si bien cumplieron su función, la casa entonces fue desplazada lateralmente, rotando, lo que provocó su deformación y posteriormente el colapso.

7.4 Aunada a la presencia del agua subterránea proveniente de la sierra, en época de lluvias, hay que agregar el desagüe de la población por fosas sépticas, las fugas de la red fluvial, el riego en patios y jardines, etc., como otro factor que contribuye al humedecimiento de las arcillas todo el año.

Además, el rompimiento de tuberías que ha provocado el deslizamiento, incrementa la fuente de agua.



Foto 33. Vista de la ladera en deslizamiento. 1) área del ex convento afectada; 2) bloque estable de densa vegetación; 3) escarpe principal; 4) escarpe contiguo a la terraza artificial; 5) grieta que derrumbó el templo; 6) templo evangélico destruido.

5.2 EVOLUCION

Durante los tres años de estudio del deslizamiento de tierras en Metztitlán, las observaciones y mediciones realizadas, no sólo nos permitieron comprender sus causas, sino también la evolución en bloques de tipo rotacional.

Posiblemente un evento extraordinario como el ciclón *Diana* en 1990, haya sido el factor desencadenante. Las lluvias causadas en dos días (7 y 8 de agosto con registro de 71 y 104 mm en la estación de Metztitlán) pudieron provocar la crecida del Tlaxómotl, erosionando y socavando la base de la ladera oriental de la colina, dejando al descubierto los estratos de margas de la Formación Méndez.

La ladera se fue debilitando, ocurrieron pequeños derrumbes e inició el deslizamiento de un estrato de margas de la Formación Méndez, sobre arcillas humedecidas.

Este estrato de margas que se deslizaba en la margen derecha del arroyo, se observó hasta el 22 de febrero de 1992. El movimiento fue lento pero constante, a

medida que crecía se iba rompiendo. Habitantes del lugar como Graciano Gallegos, afirman que llegó a sobresalir hasta 85 cm antes desplomarse, aunque en total se deslizó varios metros. En febrero se produjo el derrumbe de un paquete, que cubrió el estrato que se deslizaba y semicerró el arroyo.

Inicialmente surgieron fisuras y en diciembre de 1991, grietas en la ladera oriental de la colina, con una longitud aproximada de 25 m (Echavarría, *et al.* 1992).

Para esta fecha los daños eran diversos: ruptura de tubos de agua y agrietamiento en el patio del convento, la destrucción de 2 casas en la ladera occidental del Tlaxómotl y distintos daños en otro gran número de construcciones.

El deslizamiento había comenzado y la primera forma en aparecer en la ladera afectada fueron las fisuras que más tarde se convertirían en grietas.

Desde el punto de vista geomorfológico, el deslizamiento ha sido de gran interés por la modificación que ha sufrido el relieve y la velocidad (variable en el tiempo) con que se produce. Esto ha sido fundamental para valorar el peligro que representa e inferir su evolución en el futuro.

5.2.1 Formas del relieve

A continuación se explican las formas principales del relieve surgidas: grietas, escarpes, terraza de flujo de tierra y fosas.

5.2.1.1 Grietas

De las grietas que aparecieron en la ladera, algunas se desarrollaron paralelas al arroyo variando en orientación de N-S a NW 30° con aberturas de 1-10 cm. Estas son las principales, maestras o longitudinales, que definen los límites de grandes bloques.

En diciembre de 1991 el total de grietas, maestras y menores, sumó aproximadamente 60 m de longitud; algunas medían 30 cm de ancho, aunque se reconoció una de 80 cm y la mayor fue de 12 m con 50 cm de ancho y 1 m de profundidad (foto 34). El área dañada fue de 150 por 80 m (Echavarría y Gutiérrez, 1991).

Las grietas maestras al crecer son cada vez más evidentes, alcanzan longitudes de 30 a 75 m y aberturas superiores a los 15 cm, aunque se han encontrado con aberturas entre los 100 y 130 cm. Aparecen por lo general, a lo largo de la línea de sutura de terrazas artificiales.

El desarrollo de las grietas maestras que delimitan bloques en movimiento, se produce en forma progresiva, del cauce hacia la divisoria de aguas. En julio de 1992 en la ladera se habían reconocido tres grietas maestras que habían causado daños a construcciones, una cuarta en desarrollo activo en la calle que limita al convento por el oriente; una quinta, a unos 20 m al norte, paralela, y otras dos todavía no bien definidas (Fig. 24).



Foto 34. Grieta longitudinal que derrumbó el templo evangélico en julio de 1992.

Paralelas a las grietas maestras aparecen otras menores, cuya actividad es inferior o bien tienen un crecimiento rápido que repentinamente cesa.

Posteriormente se forman grietas perpendiculares a las maestras, fragmentando los bloques grandes en menores (Fig. 26).

La grafica de la Fig. 25 muestra la abertura horizontal de 7 de las grietas más activas que se han monitoreado. Se aprecia el aumento de la velocidad de crecimiento, relacionado con el *Gert*.

El movimiento de los bloques mayores no se presenta en toda su extensión a un mismo tiempo, sino en los bloques menores, de 10 a 30 m de ancho, delimitados por grietas transversales (Fig. 26). Se desplazan en distintas direcciones y las velocidades no son constantes, lo cual se comprueba por la deformación que sufren las estructuras asentadas en éstos (foto 35).

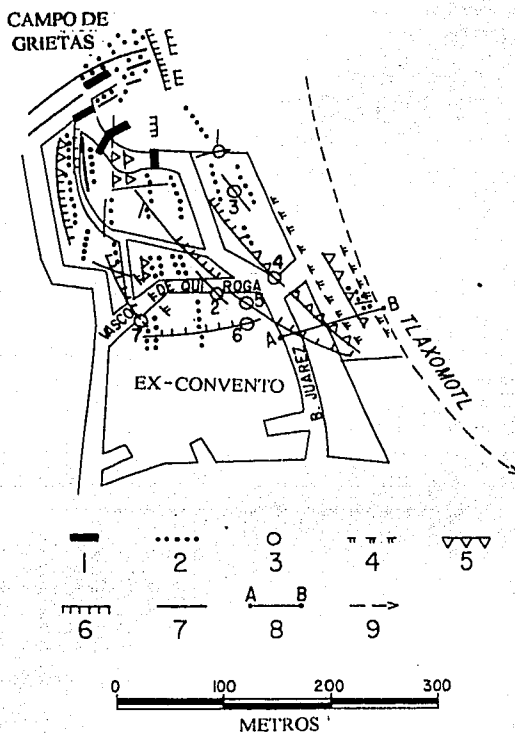


Fig. 24. Mapa del área del deslizamiento en la ladera oriental de la colina. 1) Fosas; 2) terrazas artificiales; 3) puntos de control para medir la abertura de grietas; 4) escarpes formados durante el primer semestre de 1992; 5) formados durante el segundo semestre de 1992; 6) durante 1993; 7) grietas principales; 8) línea del perfil de la Fig. 30; 9) arroyo.

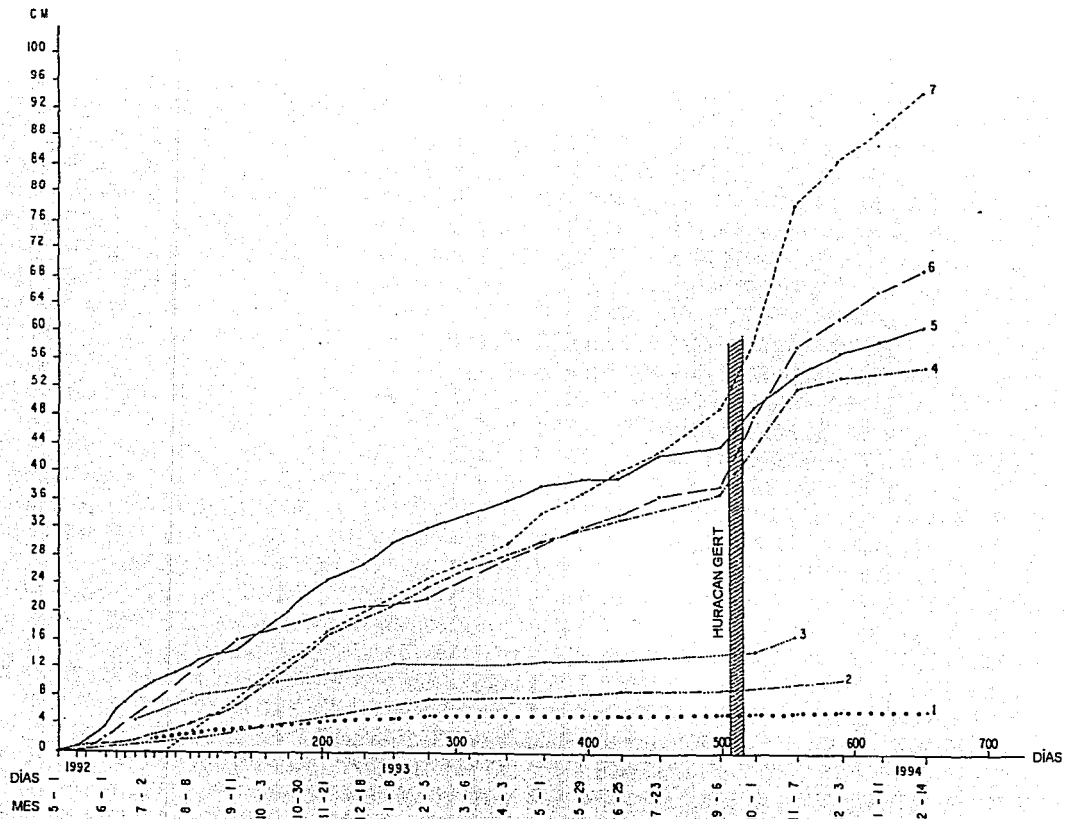


Fig. 25 Grafica de abertura horizontal de las grietas más activas.

En ocasiones el desplazamiento desigual de los bloques se ve frenado por estructuras como cimientos, contrafuertes, etc., pero la energía al ser liberada, causa daños en otra dirección, donde encuentra menor resistencia (foto 36).

En algunas localidades, las grietas se presentan en verdaderas redes (foto 37). Esto se registró en la calle Vasco de Quiroga, una de las áreas más activas. En siete ocasiones se hizo una cuantificación de grietas (Fig. 27), lo que contribuyó a la comprensión del proceso y a pronosticar el surgimiento de nuevos escarpes en esta superficie.

El crecimiento de algunas grietas ha sido permanente, en otros casos, después de un crecimiento rápido se estabilizan y el movimiento se desplaza a una grieta paralela en posición más elevada.

Para la segunda mitad de 1992 las grietas habían crecido y se extendían hasta la divisoria.

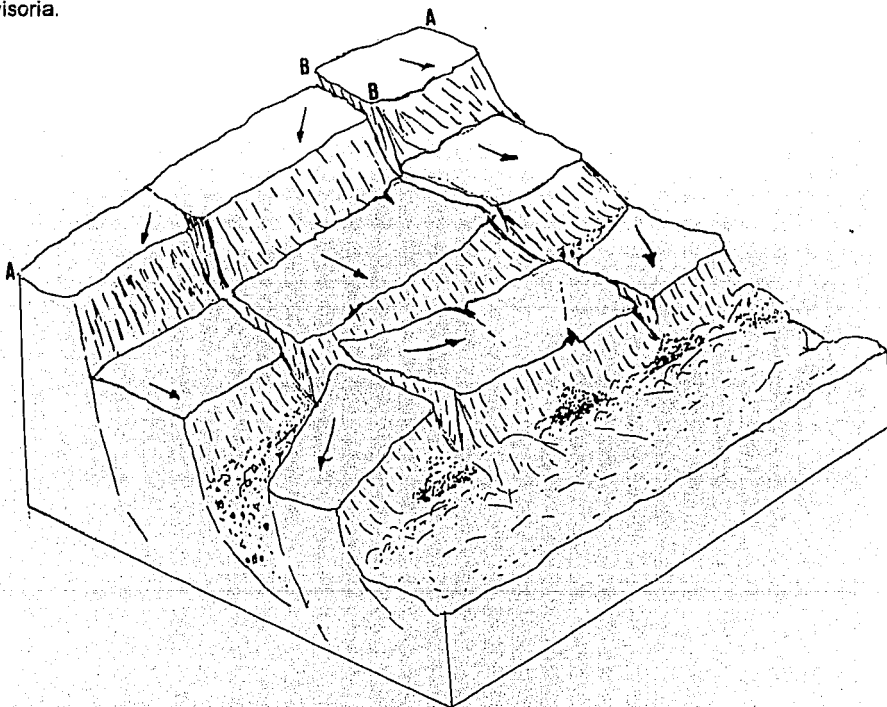


Fig. 26. Diagrama que muestra las diferentes terrazas y bloques en que se fragmenta la ladera en deslizamiento. La velocidad y dirección son variables. A-A', grieta principal o maestra, B-B', grieta perpendicular que fragmenta al bloque mayor.



Foto 35. Deformación en una construcción causada por el movimiento diferencial de dos bloques. La casa se encuentra entre la zona estable (1) y uno de los bloques más activos (2). La flecha indica la dirección del movimiento del bloque (2). La esquina trasera (3) se apoya en el bloque estable, por lo que permanece en un nivel más alto.



Foto 36. Grieta en la base de la construcción y desplazamiento de los contrafuertes, producto del cambio de dirección del movimiento (flecha) del bloque sobre el que se encuentra



Foto 37. Formación de grietas en terrazas artificiales.

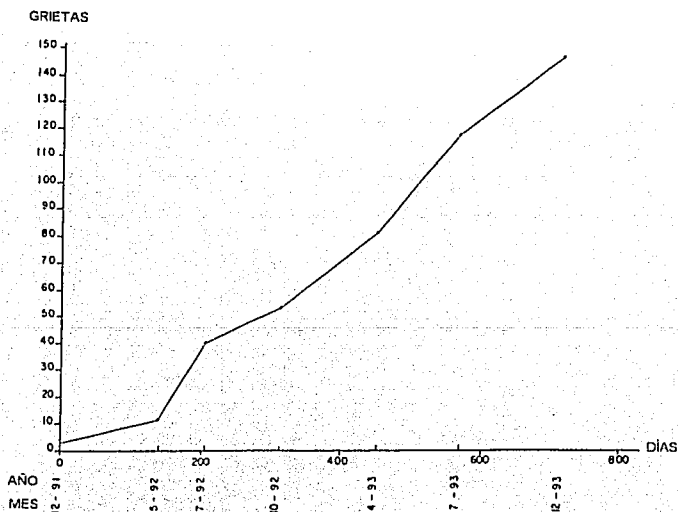


Fig. 27. Total de grietas en la calle Vasco de Quiroga y en construcciones de la misma, en siete fechas distintas.

La velocidad de abertura depende fundamentalmente de la presencia de agua, por ejemplo, de mayo a agosto de 1993 fue de 0.3 a 3.3 mm por día y la precipitación de mayo a julio sumo 171 mm (en agosto no funcionó la estación meteorológica). Sin embargo, posteriormente al ciclón *Gert* se registró una abertura de 5 a 6 mm por día.

También ésto pudo observarse el 22 de julio de 1992, cuando después de un aguacero, terminó de colapsarse el templo evangélico, mismo que se ubicaba en la parte baja de la ladera del arroyo, en una terraza artificial que sufrió daños considerables desde diciembre de 1991 (fotos 60 y 61), donde apareció la primera grieta maestra (foto 34). Durante los meses en que se observó su desarrollo, la construcción fue sufriendo deformaciones y un recostamiento hacia la ladera, provocado por el mismo movimiento rotacional del bloque inferior.

El recostamiento hacia la ladera de construcciones, árboles y de los mismos bloques, también se ha podido observar (foto 38).

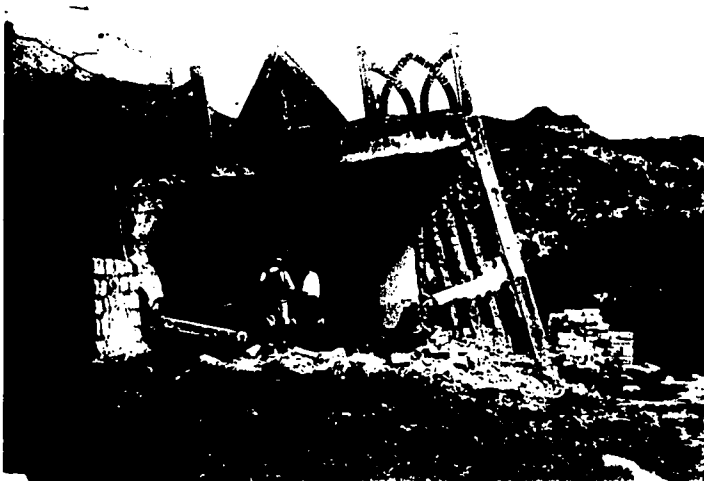


Foto 38. Las construcciones inclinadas hacia la ladera, demuestran el proceso de deslizamiento de tipo rotacional.

La importancia de las grietas es que son las formas primarias de expresión del movimiento. El estudio de las velocidades de abertura y otros parámetros, fue de utilidad para interpretar el comportamiento del deslizamiento, en el sentido de incremento, disminución o extinción del mismo en algunas localidades. La influencia del agua quedó demostrada por el aumento de la velocidad de abertura durante las lluvias del verano de 1992 y más aún, en septiembre de 1993 al paso del huracán *Gert*.

De numerosas grietas que se estudiaron, sólo tres, maestras, dispuestas de manera escalonada (Fig. 24) han estado activas de manera permanente. En enero de

1994 fueron derribadas las casas dañadas, se nivelaron calles y rellenaron grietas, por lo que fue imposible continuar con el estudio cuantitativo.

5.2.1.2 Escarpes

Los escarpes representan una etapa más avanzada del desarrollo de las grietas. Una vez que aparecen y crecen verticalmente, en longitud y anchura, pueden transformarse en escarpes al deslizarse uno de los bloques que delimitan, a manera de fallas normales. Recién formados son difíciles de reconocer, ya que se presentan como una deformación del suelo. Se distinguen cuando alcanzan más de 20 cm (Fig. 28).

Durante los primeros seis meses de 1992, aparecieron dos escarpes paralelos ladera arriba del Tlaxómotl. Para agosto de ese año, las tres primeras grietas longitudinales o maestras, habían formado escarpes, el cuarto estaba en gestación y el quinto bien definido.

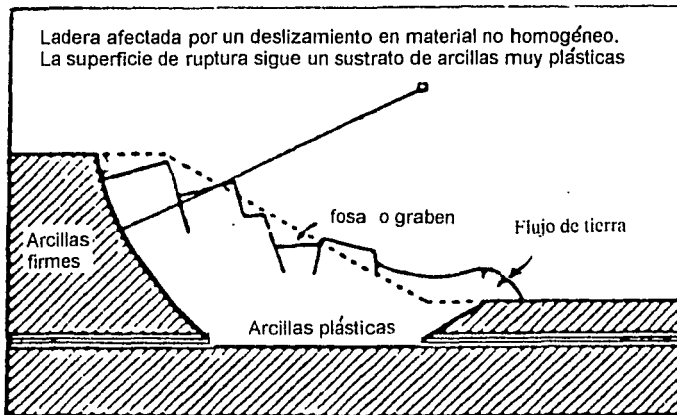


Fig. 28. Se muestra la inclinación de los bloques hacia la ladera, la formación de fosas entre bloques y el flujo de tierras en la base (modificado de Varnes, 1978).

Generalmente, el crecimiento vertical de los escarpes es rápido, alcanzando hasta 6 cm por día, una vez que miden de 1 a 2.5 m, su crecimiento se vuelve lento (fotos 39 y 40).

En algunos casos, el crecimiento se da por la fusión de dos escarpes paralelos de poca altura (cerca de 1 m). También ocurre que repentinamente dejan de crecer verticalmente, lo que se acompaña de un avance longitudinal, una mayor actividad en otra zona, o bien, la aparición de grietas paralelas que posteriormente se transforman en un nuevo escarpe en un nivel superior (Fig. 29).

El retroceso que se ha observado de algunos escarpes principales, se da cuando pasan a una etapa de estabilidad, a lo que sigue la formación de grietas en la terraza de la base y una erosión favorecida por el recostamiento del bloque (foto 41). Este proceso ha sido común a lo largo de 1994 (Figs. 30, 31 y foto 42, 43 y 44). El crecimiento de los escarpes más activos se observa en las graficas de las Figs. 32 y 33.



Foto 39. Escarpe en formación, agosto de 1992.

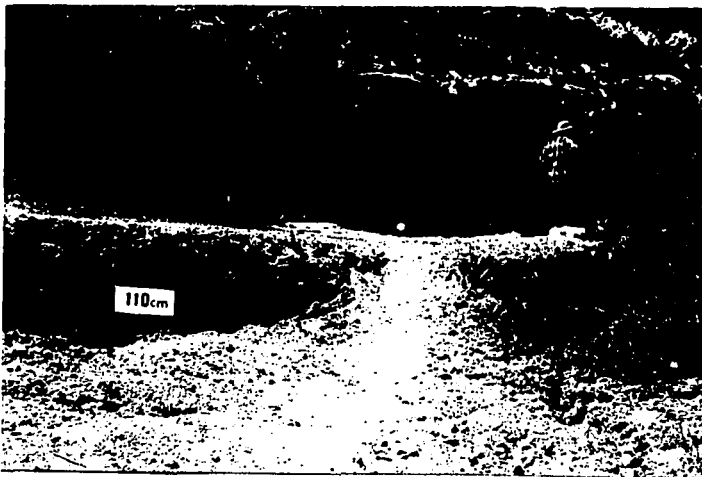


Foto 40. El escarpe de la foto anterior, nueve meses después.

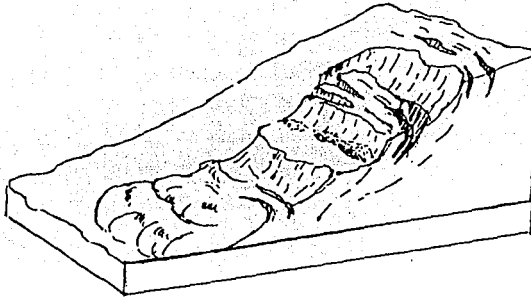


Fig. 29. Esquema tomado de Záruba y Mencl (1969), donde se muestran los diferentes bloques o escalones y el retroceso de escarpes por medio de grietas entre un bloque y otro superior.



Foto 41. Retroceso por erosión en uno de los escarpes más activos.

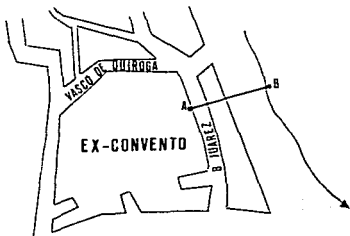


Fig.30 Perfil topográfico realizado el 8 de octubre de 1994, que muestra el tamaño del escarpe principal que a la fecha se ha formado y su crecimiento a través de taludes escalonados aprovechando terrazas artificiales.

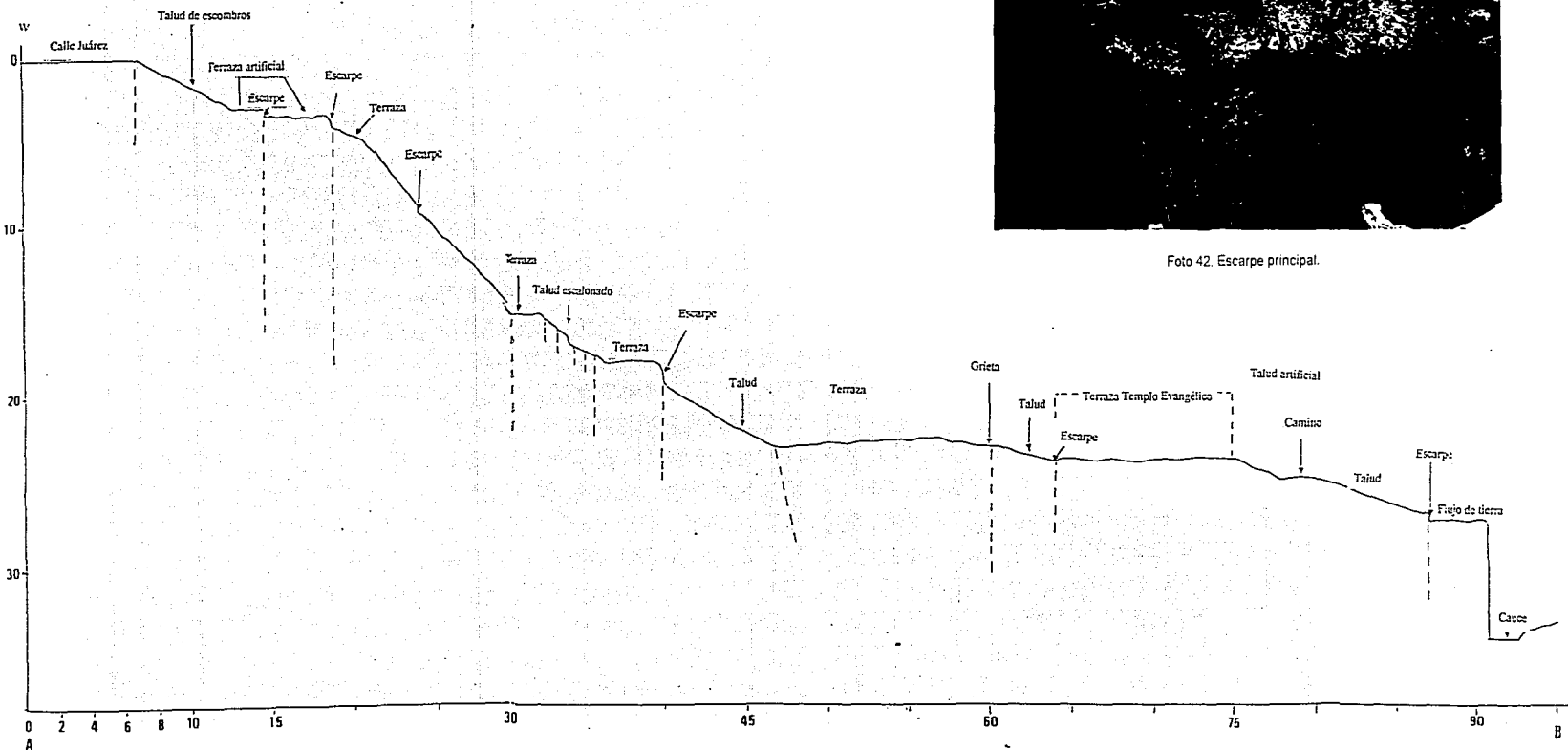
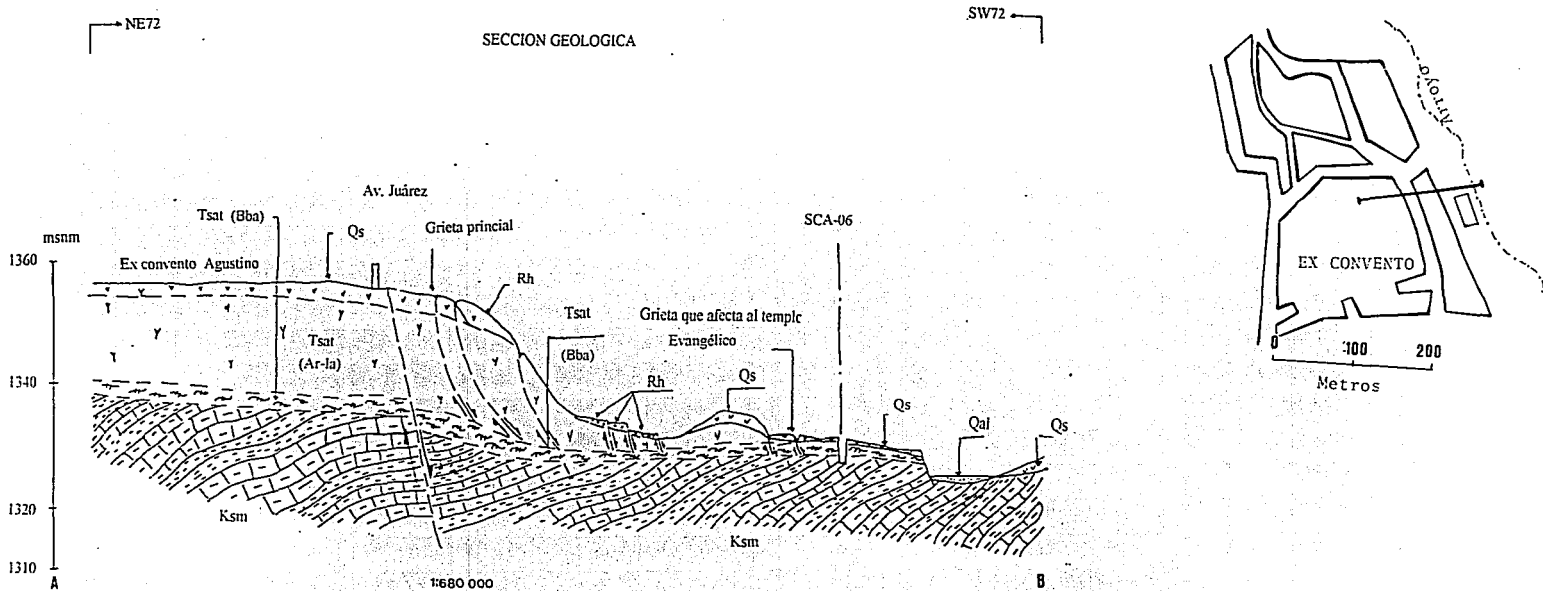


Foto 42. Escarpe principal.



Elaboró Colinas de Buen 1994.

Fig.31 Sección geológica y cuadro de unidades geológico-geosísmicas elaborado por Colinas de Buen (1994a). Se observan los bloques en deslizamiento sobre la Fm Méndez (Ksm) y la brecha basáltica Tsat(Bba).

Unidad	Velocidad de las ondas sísmicas	Espesor	Tipo de material
Suelo (Qs)	285-420m/s	0.5-5 m	Material en estado suelto, construido por material residual fino y fragmentos de roca
Relleño heterogéneo (Rh)	300m/s	0.5-1.5 m	Unidad de consistencia suelta formada por basura, mezclada con cascote y arcilla
Aluvión (Qal)	325-750m/s	1-14 m	Horizonte de capacidad baja formado por arenas, gravas, limes y arcillas
Basalto Sn. Cristobal (Qba)	595-815m/s	1-5 m	Derrame de composición basáltica muy fracturado y con interperismo leve a moderado
Pumicita Tsat (Tpi)	620m/s	1-3m	Toba pumicítica de baja compacidad, con alteración baja
Caliza lacustre Tsat (Cz-Ia)	350-370m/s	1-3 m	Unidad de estratificación delgada muy fracturada
Arcilla lacustre Tsat (Ar-Ia)	320-725m/s 725-1245m/s 1245-2440m/s	1-20 m	Material de consistencia blanda a muy dura, por ello presenta variaciones en sus velocidades
Brecha basáltica Tsat (Bba)	1040m/s	1-3 m	Unidad muy fracturada, de alteración moderada, con relleno arcilloso entre sus fracturas
Conglomerado de caliza Tsat (alterado) (Clg)	410-910m/s (alterado) 1030-2246m/s	2-9 m 12-27 m	Horizonte de compacidad baja a muy alta, dependiendo de su alteración
Fm Méndez (Ksm) a) arcilla b) margas c) caliza arcillosa	525-640m/s 1320-1420m/s 1030-1670m/s 1800-2545m/s	indefinido indefinido indefinido	Unidad formada por arcilla bentonítica de consistencia compacta; margas muy fracturadas con alteración moderada; y calizas arcillosas de estratificación delgada, con alteración moderada a nula a mayor profundidad.



Fotos 43 y 44. El mismo escarpe de la foto 41 en dos distintas fechas. La primera en septiembre de 1992, cuando medía 170 cm de altura, la segunda ocho meses después en que medía 313 cm.

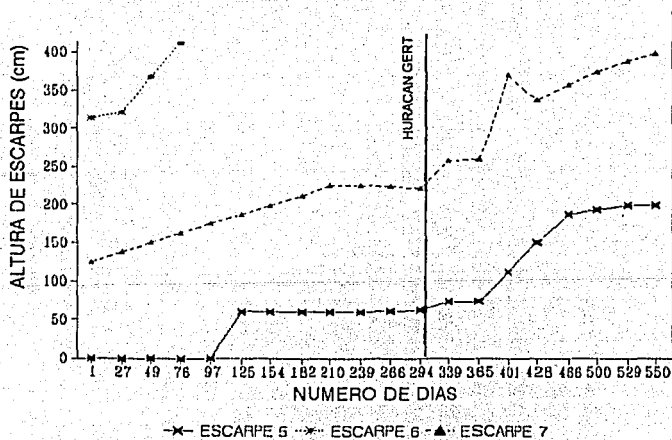
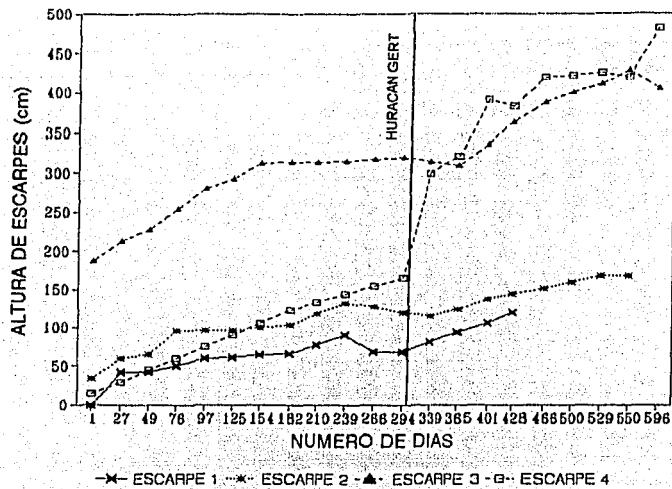


Fig. 32 y 33. Crecimiento vertical de 7 de los escarpes más activos.



Foto 45. Uno de los escarpes de mayor tamaño.

Para el primer semestre de 1993, se apreciaban perfectamente 6 escarpes principales paralelos, a distancias semejantes y de diferente longitud. En los siguientes meses de ese año y los primeros de 1994, crecieron tanto en altura como en longitud (foto 45).

En la actualidad, además de los 6 escarpes ya bien definidos, existe uno en gestación, en una posición altitudinal mayor. Han alcanzado poco más de 10 m de altura y de 175 a 300 m de longitud.

Estas formas del relieve se originaron en periodos breves y aunque, en general la actividad fue intensa en el verano de 1992, ha sido continua. Las lluvias del huracán *Gert* también demostraron un mayor crecimiento de los escarpes, pero no en una relación tan estrecha con el agua como ha sido el de las grietas (Fig. 32 y 33).

Se trata de las formas que han causado la mayor modificación al relieve de la zona estudiada, originando un escalonamiento. El proceso se ha registrado principalmente en la ladera del Tlaxómotl, donde se encuentra el escarpe más alto y todavía activo a la fecha (Figs. 30 y 31) y aunque varios escarpes han alcanzado una etapa de estabilidad, otros nuevos aparecen a otro nivel altitudinal o como una continuación longitudinal de los mismos.

5.2.1.3 Terraza de flujo de tierra

Todo deslizamiento de tierra, como parte de su evolución presenta en su base el material que los diferentes bloques al deslizarse arrastran en el subsuelo (Fig. 28 y foto 46), a esta parte del deslizamiento se le ha nombrado de diversas formas: lengua del

deslizamiento (Varnes, 1978), flujo de tierra (Lobeck, 1939), brecha acumulativa de corrimiento o base de corrimiento (Gorshkov y Yakushova, 1977), etc. en este trabajo por su morfología y origen la llamaremos terraza de flujo de tierra.

En septiembre de 1992, a casi un año de inicio del proceso, el movimiento de deslizamiento por bloques modificó el cauce, con la formación de una terraza de flujo de tierra, al pie de la ladera en deslizamiento, sobre el cauce.

El flujo de tierra es de forma semejante a una terraza aluvial pero ligeramente inclinada hacia la ladera, midió de 1.5 a 1.8 m de altura y su crecimiento frontal antes de septiembre de 1993 fue de 15 a 25 cm al mes. El movimiento era diferencial y llegó a alcanzar un máximo de 6.25 m en la zona de mayor actividad.

A lo largo del arroyo en donde se presentaba el flujo, se fijaron varios puntos para hacer mediciones: la distancia hacia el escarpe de la terraza (ancho del cauce, foto 47). No todos los puntos presentaban igual crecimiento, los que se encontraban debajo de localidades de mayor actividad, tuvieron un crecimiento frontal mayor y viceversa. La grafica de la Fig. 34 muestra el crecimiento de la terraza en dos de los puntos monitoreados y la fecha en que la corriente que ocasionó el huracán *Gert* la erosionó. El estudio del crecimiento del flujo de tierra, permitió reconocer donde se concentra la mayor actividad en la margen del cauce y es expresión directa de la dinámica del subsuelo.

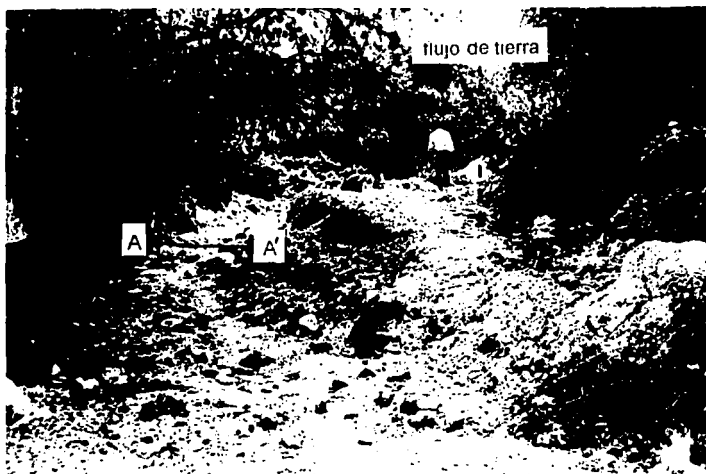


Foto 46. Terraza de flujo de tierra en la base de la ladera del Tlaxómotl. La línea A - A' muestra el punto más angosto del cauce.

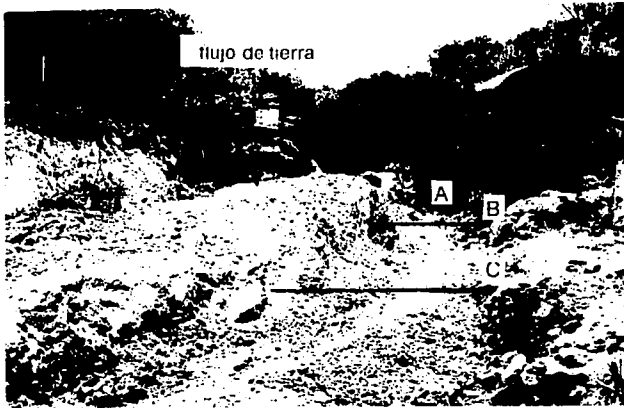


Foto 47. La terraza de flujo de tierra y algunos de los puntos que se fijaron (A, B, C) para hacer las mediciones, del punto hacia el escarpe de la terraza (ancho del cauce).

En julio de 1993 se detectó una pequeña terraza en formación, cauce arriba de la anterior, exactamente ladera abajo de una de las localidades del deslizamiento que habían mostrado gran actividad y que en la actualidad es la de mayor riesgo (campo de grietas). Su altura era de 1.20 m.

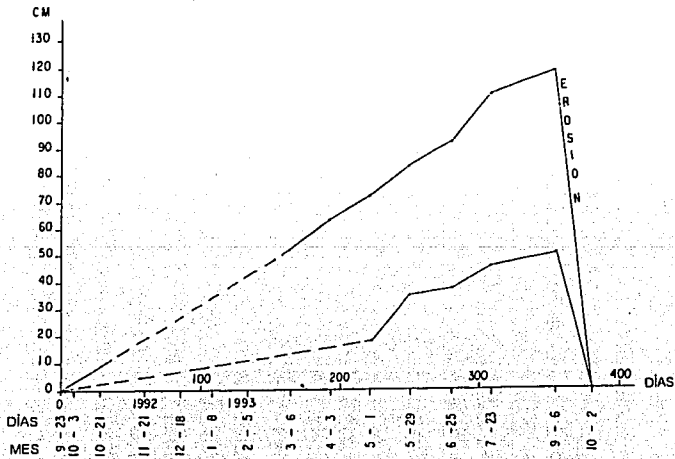


Fig. 34 Crecimiento de la terraza de flujo de tierra antes de ser erosionada en septiembre de 1993.

En septiembre de 1993 su crecimiento fue interrumpido por las lluvias ocasionadas por el ciclón *Gert*, que erosionó la terraza y desestabilizó aún más la ladera (foto 48). Si por un lado este fenómeno impidió que se siguieran haciendo observaciones sobre el proceso de crecimiento del flujo de tierra, por otro, representó una contribución para entender los procesos de erosión y acumulación en la comunidad y la influencia de las lluvias voluminosas en el deslizamiento.

Para enero de 1994, la desestabilización de la ladera provocó seguramente mayor actividad hacia arriba e inició una nueva formación de la terraza del flujo de tierras.

A partir de marzo de 1994, iniciaron obras en el arroyo y entraron camiones de carga que modificaron la terraza o flujo de tierras. Sin embargo, en los últimos meses de 1994, ha continuado su formación.



Foto 48. Vista de la terraza de flujo de tierra después de ser erosionada en septiembre de 1993 por las lluvias que causó el huracán *Gert*.

5.2.1.4 Fosas

Este termino fue tomado de Varnes (1978), para referirnos a las depresiones de forma rectangular, delimitadas a ambos lados por escarpes, que se han formado en algunas terrazas artificiales donde el movimiento ha sido muy activo.

Son otras de las formas que han aparecido en el desarrollo del deslizamiento de tierras en Metztlitlán, en una etapa avanzada de la evolución del proceso, en localidades muy activas. Durante el segundo semestre de 1993 se formaron dos fosas, orientadas al N y NE 20°. A la fecha tienen hasta 150 m de longitud y más de 15 m de ancho.

Su formación se produce de la siguiente manera: surgen grietas paralelas que crecen rápidamente, posteriormente la velocidad cesa y sufren un asentamiento por gravedad, formando un escarpe. Frente a éste se forma uno similar en una grieta paralela. El material del interior no es compacto y con el tiempo, aparecen grietas, un pequeño hundimiento y el crecimiento vertical de ambos escarpes (fotos 49).

Estas fosas también crecen en anchura por la aparición de grietas paralelas a ambos lados fuera de la fosa, hacia donde los escarpes retroceden. En este crecimiento puede influir la presencia de escarpes cercanos, hacia los cuales se desplazan los que forman la fosa, por medio de grietas intermedias que aparecen gradualmente.



Foto 49. Vista de una de las fosas con mayor actividad.

Durante mayo de 1994, las dos fosas formadas unos meses antes, comenzaron a crecer en anchura. En septiembre de ese mismo año inició un proceso de fusión de dos fosas en una sola, misma que posiblemente se unirá con otra también muy activa, cercana, en un nivel inferior, lo cual representa una nueva etapa en el desarrollo general de la ladera en deslizamiento, ya que toda una localidad se vería afectada.

5.2.2 Localidades de interés especial dentro del área del deslizamiento

El comportamiento del deslizamiento de tierras no ha sido igual para toda la zona afectada, se han observado localidades de mayor y menor actividad, y porciones muy activas pasan a una aparente estabilidad y viceversa. A continuación se tratan tres zonas importantes.

5.2.2.1 Campo de grietas

Se trata de una terraza artificial, ubicada en el extremo norte de la zona en deslizamiento, a unos 20 m sobre el Tlaxómotl, que la flanquea al este. Al noreste limita con un afluente del anterior (Fig. 24 y foto 50).

Durante varios meses de observaciones y mediciones, se ha seguido la evolución del lugar, muy activo, debido a su localización entre los dos arroyos, ya que parte de la terraza se desliza hacia el Tlaxómotl y otra hacia el afluente (Fig. 35).

La actividad, como en otros lugares, comenzó con la aparición de numerosas grietas, pero en este caso, las grietas maestras no sólo se presentaron paralelas al Tlaxómotl, sino también al afluente, por lo que se formó toda una malla de gran actividad (Fig. 35).

La zona ha sufrido grandes deformaciones, se han formado escarpes, fosas y en la ladera del arroyo se observan terrazas o bloques escalonados del deslizamiento (foto 51). Las laderas de los arroyos son de fuerte pendiente y en ambos, los derrumbes son frecuentes, incluso llegando a cerrar parte del arroyo. Uno de los seguimientos más importantes en la zona, ha sido el desarrollo de fosas.

En la actualidad (1995), esta zona es la más activa y una de las más peligrosas, ya que es muy posible que se remueva una parte del material no consolidado por medio de derrumbes pequeños, creando inestabilidad en las localidades vecinas (reactivación de grietas y escarpes, formación de nuevos, etc.).

La actividad, como en otros lugares, comenzó con la aparición de numerosas grietas, pero en este caso, las grietas maestras no sólo se presentaron paralelas al Tlaxómotl, sino también al afluente, por lo que se formó toda una malla de gran actividad (Fig. 35).

La zona ha sufrido grandes deformaciones, se han formado escarpes, fosas y en la ladera del arroyo se observan terrazas o bloques escalonados del deslizamiento (foto 51). Las laderas de los arroyos son de fuerte pendiente y en ambos, los derrumbes son frecuentes, incluso llegando a cerrar parte del arroyo. Uno de los seguimientos más importantes en la zona, ha sido el desarrollo de fosas.

En la actualidad (1995), esta zona es la más activa y una de las más peligrosas, ya que es muy posible que se remueva una parte del material no consolidado por medio de derrumbes pequeños, creando inestabilidad en las localidades vecinas (reactivación de grietas y escarpes, formación de nuevos, etc.).

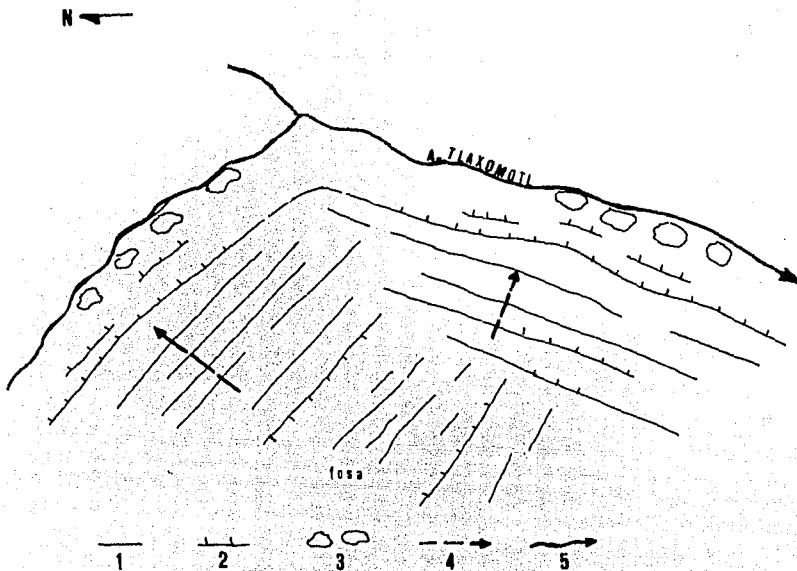


Fig. 35. Esquema del campo de grietas (ver Fig. 24). 1, Grietas; 2, escarpes; 3, material de derrumbe; 4, dirección del movimiento; 5, arroyo y afluente.

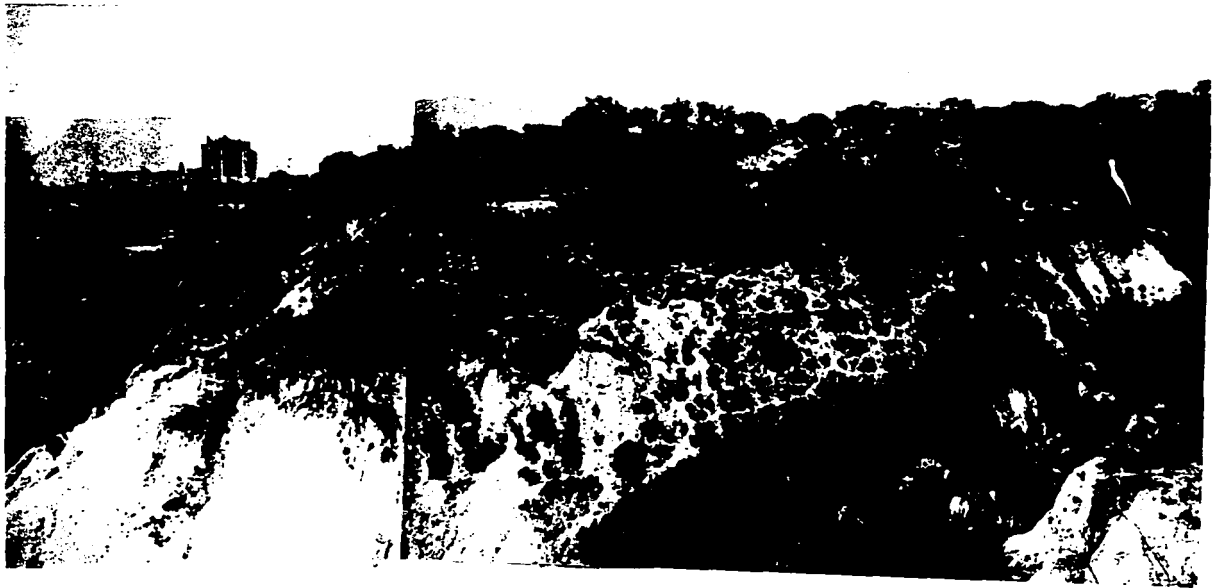


Foto 50. Vista del área que comprende el campo de grietas delimitado por escarpes producto del deslizamiento.



Foto 51. Terrazas o bloques escalonados ladera abajo del campo de grietas. Los derrumbes son frecuentes, se señala el escarpe principal y con línea punteada los diferentes bloques.

5.2.2.2. Calle Vasco de Quiroga.

Es la calle que limita por el norte al ex convento, atraviesa parte de la colina, del borde de la ladera del arroyo Tlaxómotl a la divisoria de aguas, de este a oeste (Fig. 24). La calle cruza perpendicularmente parte del área del deslizamiento, por lo cual las observaciones en ésta, han sido de gran interés.

Desde diciembre de 1991, se observaron a lo largo de la calle, grietas, sobre todo en su unión con la calle Juárez. A lo largo del siguiente año, nuevas grietas aparecieron y muchas de las existentes se ampliaron varios cm (Fig. 27) y correspondieron a dos de las grietas maestras, que en pocos meses se convirtieron en escarpes.

Sobre esta calle se han reconocido dos localidades con movimientos considerables y otra con menor velocidad, que corresponden a bloques distintos. En las dos primeras se tiene un movimiento de distensión, en el segundo de compresión (Fig. 36 y fotos 52, 53 y 54).

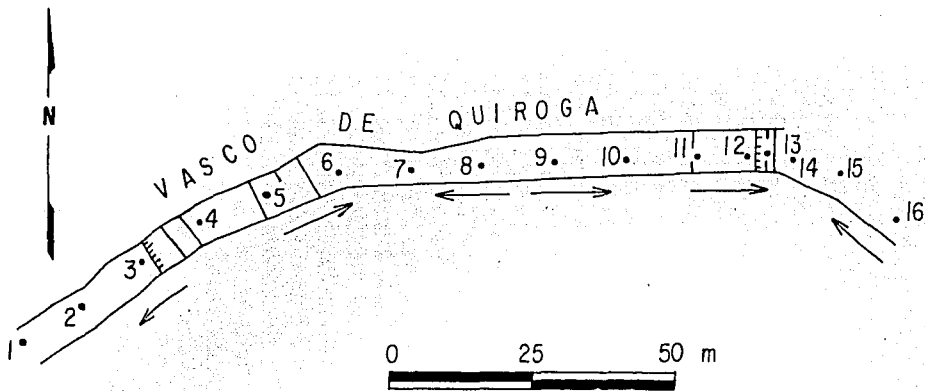


Fig. 36. Esquema de la calle Vasco de Quiroga. Con un punto se señalan los sitios de medición; las líneas que cruzan la calle son las grietas mayores; las líneas dentadas muestran los escarpes que cruzan la calle y las flechas la dirección del desplazamiento.

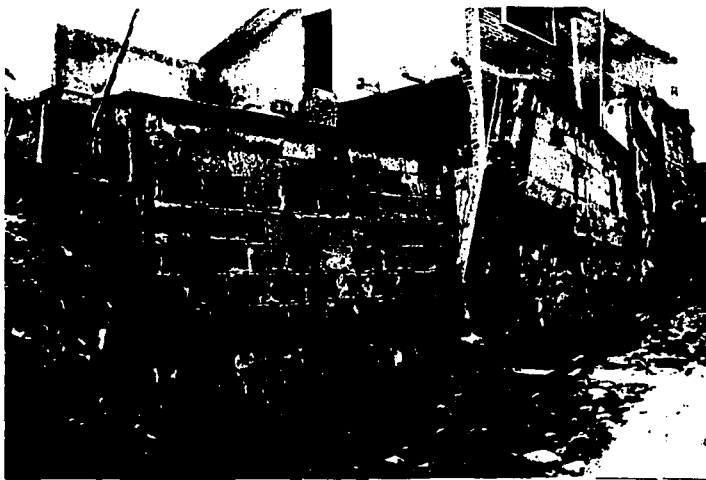


Foto 52. Área de distensión sobre la calle Vasco de Quiroga.



Foto 53. Escarpe que cruza la calle en la parte interior.



Foto 54. Area de compresión donde se produjo el levantamiento del piso y la sobreposición de las puertas.

De los estudios realizados a lo largo de esta calle, resultaron numerosos datos interesantes, como las concentraciones mayores de grietas y velocidad de crecimiento en las zonas límites de bloques; movimientos de éstos de distensión, de compresión y rotación (en planta). La graficas de la Fig. 37 muestra el movimiento total de la calle en aproximadamente dos años de monitoreo y el incremento que sufrió por las lluvias que ocasionó el huracán Gert.

La calle Vasco de Quiroga fue una localidad que permitió una serie de observaciones que no fueron posibles en otras zonas, porque fueron las construcciones donde se manifestó de manera clara la actividad en el subsuelo. Si bien el movimiento continúa, desde enero de 1994 ha sido imposible su seguimiento por las obras que se realizan (demolición total, nivelación, etc.).

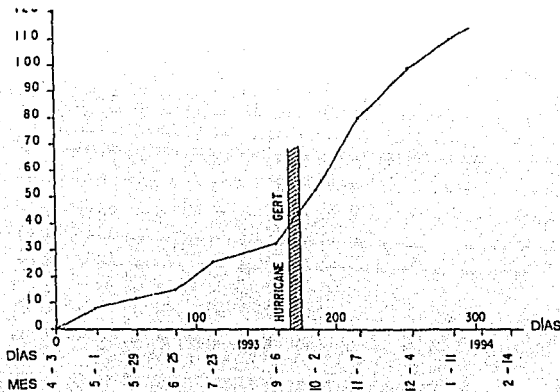


Fig 37. Velocidad de movimiento en la calle Vasco de Quiroga. Se aprecia el aumento que sufrió a partir de septiembre de 1993 con el huracan Gert.

5.2.2.3. Bóvedas del convento.

A partir de octubre de 1992, se pudo apreciar en la parte exterior de las bóvedas del ex convento, el desarrollo de fisuras. Muchas ya existían, pero a partir de esta fecha sufrieron una activación.

Se midió la longitud total de las grietas periódicamente y se continuó la medición de otras nuevas que fueron surgiendo y su crecimiento (Fig. 38). De todas las grietas, 10

de las primeras en formarse, que siguen una dirección norte-sur y corresponden en su posición con una de las más activas, se eligieron para medir su anchura (Fig. 39).

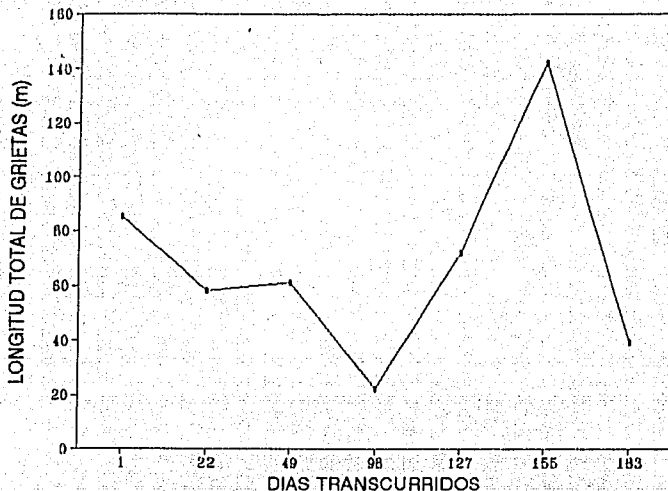


Fig. 38. Longitud total de grietas medidas en las bóvedas del convento, en 7 fechas distintas.

Los datos mostraron una continuidad y sólo en febrero de 1993 se reconoció una disminución en el crecimiento de las mismas, el cierre de algunas y abertura de las primeras en formarse.

En agosto de 1993, cesaron su actividad. Las grietas principales tenían una orientación norte-sur, que corresponde a la orientación de las grietas maestras principales, una de ellas llegó a abrir en menos de un mes, 4 mm, y antes de dejar de crecer tenía 9 cm de profundidad.

Un mes más tarde, las lluvias ocasionadas por el *Gert*, penetraron al ex convento, lo que un año antes no ocurrió.

Con la aparición y desarrollo de estas grietas puede ser posible que se haya iniciado un daño serio en la estructura. Hasta el momento en las cúpulas superiores de la iglesia no se han reconocido fisuras, pero en una parte del piso hay rasgos de deformación.

Como en otras áreas, la actividad cesó repentinamente, lo cual sin embargo, no significa una estabilidad a un plazo largo o definitivo, ésto es difícil de predecir. Posiblemente se produjo un crecimiento que en unos meses alcanzó un equilibrio.

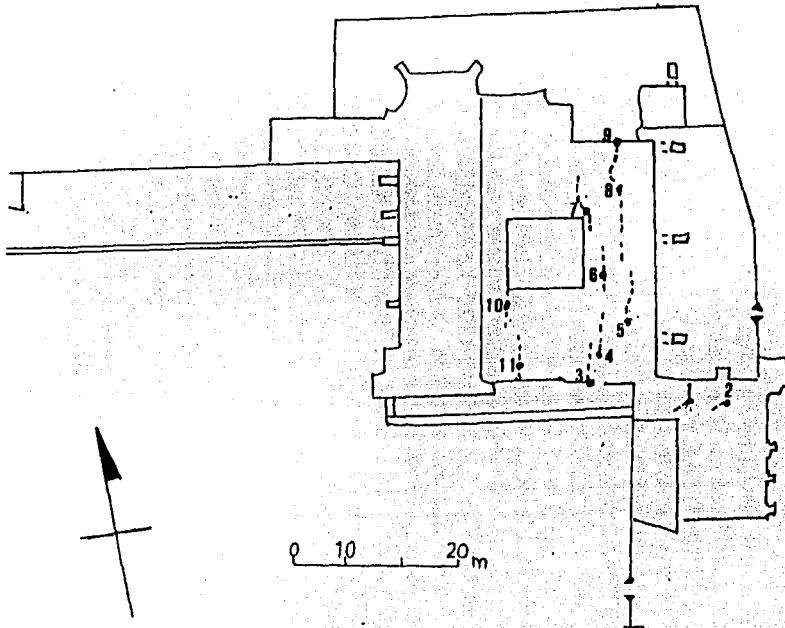


Fig. 39. Croquis del ex convento en donde se aprecian las bóvedas, las grietas principales (norte-sur) y los puntos utilizados para hacer las mediciones.

Finalmente, sólo queda agregar que el deslizamiento que comenzó a finales de 1991, presentó gran actividad durante los dos primeros años, los cambios fueron constantes en el desarrollo de grietas, escarpes y fosas, por lo cual, en un año el área afectada se duplicó, extendiéndose hacia el norte y oriente. Esta fase parece haber finalizado en los primeros meses de 1994, año en que con excepción de los escarpes principales y de la porción norte del área (campo de grietas), el proceso pasó a una etapa de disminución de la actividad, que ha continuado hasta la fecha, por lo cual, es posible que esté en una fase de estabilidad.

Por otra parte, se ha iniciado un proyecto de salvación para el ex convento de Los Santos Reyes por medio de pilotes, que si bien puede estabilizar esta construcción, al

mismo tiempo puede provocar la reactivación en los alrededores y al occidente, donde no ha habido daños.

A la fecha (1995), el relieve de la zona afectada se ha transformado sustancialmente: caminos por donde la población podía transitar, han quedado inutilizables, la ladera se ha vuelto abrupta en algunos sectores y el arroyo constantemente recibe material de la ladera; se han demolido todas las construcciones, las terrazas artificiales se han ido deformando y se encuentran cubiertas de escombros y escasa vegetación.

6. ACTITUD Y MEDIDAS TOMADAS POR LA POBLACIÓN Y EL GOBIERNO MUNICIPAL Y ESTATAL, ANTE LA PROBLEMÁTICA DE UN DESLIZAMIENTO DE TIERRAS

En general, todos los fenómenos naturales causan un impacto y reacciones diversas en los pobladores de los lugares afectados. La percepción humana varía, dependiendo tanto de factores socio-culturales, como de la frecuencia y magnitud de eventos peligrosos, ya que sólo los que han ocurrido en áreas de gran extensión, se recuerdan e influyen en la percepción y significado del riesgo. Y más aún, si ha existido un lapso breve entre un evento y otro (Jones, 1992).

De acuerdo con Griggs y Gilchrist (1983), las personas que viven en zonas de riesgo lo perciben de distinta forma y se tienen los siguientes casos:

1. Generalmente se encuentran totalmente desinformados del riesgo y sólo toman conciencia una vez ocurrido el desastre.
2. Están conscientes del riesgo, pero no consideran que éste sea de magnitud significativa como para hacer cambios en sus vidas.
3. O bien, están conscientes y toman medidas por sí mismos o a través de sus representantes para convivir con los procesos peligrosos (inundaciones, deslaves, sismos, etc.).

En la mayoría de los casos resulta complicado explicar el fenómeno a la población, sobre todo si involucra miles o millones de años, ya que pensar más allá de un tiempo histórico del cual tengan referencias por sus antepasados, es difícil.

De lo anterior resulta que la población basa su confianza en el conocimiento y experiencia propia, y en casos de riesgo puede convertirse en todo un obstáculo para tomar medidas preventivas.

Ante el ambiente de ignorancia e incertidumbre surgen mitos: nacimiento de volcanes -los más comunes-, túneles que comunican con el océano, castigos divinos, etc. Y el temor ante lo que pueda ocurrir: destrucción total de sus viviendas, desalojo y pérdida de sus pertenencias, etc., los lleva a negar lo que sucede.

Todo lo anterior ocurrió en Metztlán: inicialmente la población al no comprender lo que ocurría y teniendo en cuenta la rapidez del fenómeno, tenía el temor de que el pueblo desapareciera "tragado por la tierra", que un volcán surgiera, etc; por otra parte, a unos meses del comienzo del fenómeno, negaba el efecto del proceso en sus propiedades y los daños que iban sufriendo eran reparados inmediatamente. Las grietas en sus viviendas habían existido siempre (fotos 55 y 56). Los daños causados por el menor desplazamiento en sus propiedades, generalmente se atribuía a otras causas, como asentamientos, defectos de cimientos, falta de mantenimiento, etc.



Fotos 55 y 56. Casa afectada sobre la calle Vasco de Quiroga, en dos fechas distintas, la primera en mayo del 92, la segunda en marzo del 93.

Antes de julio de 1992, la mayoría de la población en la zona afectada, continuaba habitando casas con y sin daños. Asimismo, las obras de construcción de dos casas en el área prosiguieron, una de ellas hasta mediados de julio, cuando fueron suspendidas por ser mayores los efectos del deslizamiento que las obras de reparación, la otra, a la fecha se ha concluido, pero a diferencia de la anterior, no ha sufrido daños por ubicarse al sur del bloque estable, en el terreno arbolado (foto 35).

Entre las medidas tomadas por parte de la población, está la creación del **Patronato de apoyo a la población, conservación y custodia del convento Agustino de los Santos Reyes, siglo XVI, de Metztitlán, Hgo.**, quien solicitó a un geólogo del lugar la realización de un informe sobre el fenómeno, con algunas recomendaciones.

El problema de Metztitlán favoreció la organización de algunos sectores de la población, como su división, ya que fue aprovechado con fines políticos por algunas personas y grupos.

En cuanto al gobierno municipal, estuvo enterado desde su inicio y siempre mostró preocupación y disposición por ayudar. Se encargó de dar a conocer el caso ante las autoridades del gobierno del estado en diciembre de 1991.

El gobierno estatal igualmente mostró su preocupación y personal de Protección Civil del estado, de SEDESOL, del Centro Nacional de Prevención de Desastres, entre otros, se trasladaron al lugar y dieron su opinión sobre el problema y algunas recomendaciones.

Los informes de Echavarría y Gutiérrez (1991), Mooser *et al.* (1992), Lugo (1992) y Colinas de Buen (1992), en general, coincidieron sobre las causas que estaban originando el agrietamiento. Sólo un trabajo tuvo otra opinión (Torres, 1992), mismo que culpaba a la extracción de agua como el origen del problema. Es decir, una supuesta desecación progresiva provocó un desequilibrio litológico y desestabilización.

Algunas de las recomendaciones fueron las siguientes:

1. CENAPRED, Alonso Echavarría y Carlos Gutiérrez, diciembre de 1991.

- A) Colocación de peso muerto al pie del talud
- B) No emplear el sector afectado con fines habitacionales.
- C) Observar de manera continua el área para establecer un patrón de comportamiento del terreno.

CENAPRED, mayo de 1992.

A las recomendaciones anteriores agrega:

- D) Simultáneamente a la colocación del peso muerto, estudios específicos a fin de contrarrestar los deslizamientos, previéndose el alto costo de los estudios y de las medidas de protección, debido a las dimensiones del problema y sus características progresivas

E) Evacuación total de la población afectada

F) Efectuar estudios geotécnicos y topográficos para evaluar la estabilidad de la parte alta del cerro y determinar posibles medidas de estabilización mediante obras de ingeniería, pensando en el futuro de los asentamientos ubicados en la zona.

G) Colocación de un dren en el lecho que permita la circulación libre del agua y la colocación de un relleno hasta alcanzar el nivel del piso del ex convento, evitando el taponamiento del cauce del arroyo.

2. SEDESOL, F. Mooser, E. Santoyo y J. Segovia. junio de 1992.

Propone entre las soluciones, estabilizar la ladera con un relleno revestido y eliminar las fuentes de humedecimiento (redes de abastecimiento y drenaje, fosas sépticas, jardines, huertas).

3. "Patronato de apoyo a la población, conserva y custodia del convento agustino de Los Santos Reyes siglo XVI, de Metzítlán Hidalgo", V. Torres. julio de 1992.

A) Construcción de un muro de 330 m mínimo, al margen del río Tlaxórnol de 10 x 1 x 25 m en lugares estratégicos.

B) Relleno de grietas con bentonita o caolín.

4. UNAM, J. Lugo Hubp. Instituto de Geografía, junio de 1992.

A) Evacuación de casas dañadas y no dañadas localizadas en la zona afectada.

B) Evacuación del convento y rescate de su riqueza material.

C) Suspender las obras de construcción de casas por lo menos durante la época de lluvias.

D) Suspender las actividades en la iglesia por algunos meses, mientras los especialistas deciden si los habitantes corren riesgo.

Hasta julio de 1992 las acciones emprendidas por el gobierno eran las siguientes:

- La Presidencia Municipal designó personal encargado de tenerla al tanto de los cambios que se registraban en la zona afectada y del peligro que representaba para la población.
- Por medio del sistema estatal y municipal de Protección Civil, se habilitó un albergue en el Centro de Salud, provisto de los elementos necesarios para recibir a las familias expuestas al riesgo de derrumbe de sus casas.
- Comenzó la construcción de viviendas provisionales para la reubicación de la población afectada (foto 57).

- Se estableció que la construcción de viviendas permanentes se realizaría una vez obtenidos los estudios que indicaran el lugar seguro y confiable para la construcción de un centro de población.
- Se acordonaron las zonas de mayor riesgo y colocaron letreros para informar del peligro a la población que transita por éstas, además de que se evitó la circulación de vehículos pesados en al área más dañada (fotos 58 y 59).
- Con respecto al ex convento y la tercera, organismos especializados, instituciones federales, estatales y de enseñanza superior, comenzaron estudios geológicos, geotécnicos y de mecánica de suelos para conocer el estado y alternativas de solución para la conservación de los inmuebles.
- En la tercera, funcionarios de la Secretaría de Desarrollo Social determinaron la realización de obras para su conservación, que se iniciaron el 13 de julio de 1992.
- Se elaboró un boletín informativo dirigido a la población con el objeto de mantenerla al tanto de la situación prevaleciente en ese momento y las acciones que el gobierno había emprendido, así como algunas recomendaciones.
- El 14 de julio de 1992, el gobierno del estado encomienda un estudio geotécnico, a la Compañía Colinas de Buen S.A. de C.V., del cual resultaron dos informes; un tercero se culminó a finales de 1993.



Foto 57. Casas provisionales



Fotos 58 y 59. Vista de uno de los letreros colocados en la zona afectada. La construcción fue un templo evangélico. La primera foto se tomó en junio del 92, la segunda un mes después.

El primer informe de la empresa contratada fue elaborado en 15 días, presentaba recomendaciones preliminares de emergencia encaminadas a controlar desde un principio el deslizamiento y reducir significativamente el problema (Colinas de Buen, 1993), por medio de un estudio preliminar se delimitó una zona de alto riesgo (Fig. 40) y obtuvo los siguientes datos:

Total de inmuebles	39
Viviendas habitadas	3
Viviendas abandonadas	2
Viviendas semidestruídas	20
Inmuebles destruidos	1 (templo evangélico)
Viviendas evacuadas	11
Viviendas en proceso de construcción	2

En agosto de 1992, el sistema Estatal de Protección Civil suspendió las actividades en la iglesia de los Santos Reyes (por algunos meses) y realizó un censo en la cabecera municipal con el objeto de conocer el grado de afectación en las estructuras de las casas-habitación, cuyos resultados fueron los siguientes:

Riesgo	Alto	Medio	Bajo	Nulo	Total
Número de viviendas	54	74	151	436	715
%	7.55	10.35	21.12	60.98	

Hasta este mes, las medidas emprendidas por el gobierno eran evidentes y la actitud de la población cambió. La construcción de viviendas para los damnificados en gran parte provocó este efecto. Mostraban los daños en sus viviendas, detalladamente explicaron su evolución, y como también suele ocurrir, no faltó la persona que exageró e inventó daños, con el fin de recibir casa.

Otra de las acciones emprendidas fue la reparación de daños a la tercera que comenzó en agosto de 1992. El gobierno erogó \$6,829,750.00 en la restauración del inmueble (Colinas de Buen, 1993), y en enero del año siguiente, SEDESOL inició los trabajos de estabilización de éste.

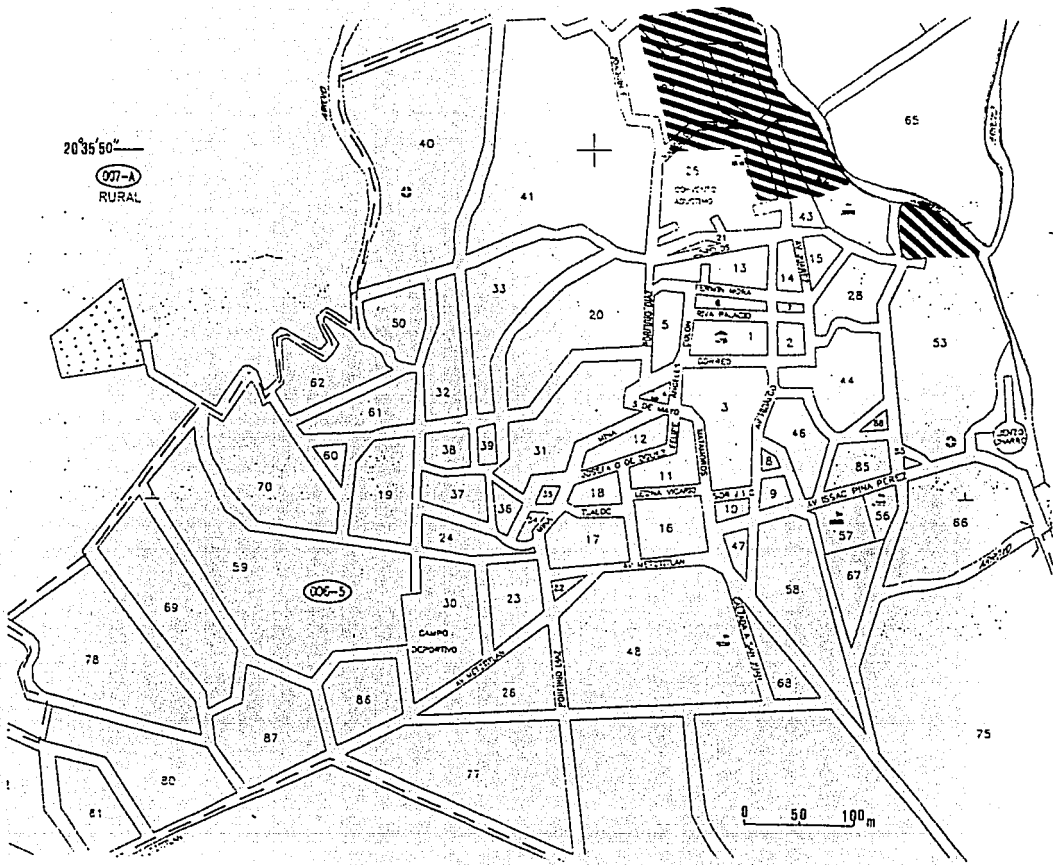
Durante los meses de septiembre y octubre de 1992, el gobierno del estado, por conducto del Instituto de la Vivienda y Desarrollo Urbano del Estado de Hidalgo (INVIDUEH), terminó la construcción de 36 viviendas provisionales para la reubicación de las familias damnificadas. La inversión fue de \$1,246,301,863.99 (viejos pesos) (Colinas de Buen, 1993).

Entre las medidas y recomendaciones indicadas en el informe que Colinas de Buen dio a Protección Civil, hasta 1994 sólo se había realizado el desalojo de las zonas de alto riesgo.

Sin embargo, para la elaboración de un proyecto ejecutivo definitivo, se requirió la realización de la segunda parte del estudio que permitió definir con detalle el problema y los alcances de las obras civiles necesarias para controlarlo (Colinas de Buen, 1993).

9845'51"

20°35'50"
037-A
RURAL



Zona de riesgo.

Fig.40 Zona de alto riesgo delimitada por Colinas de Buen, julio de 1992.

"Este segundo estudio y proyecto realizado a finales de 1992 y principios de 1993 se enfocó, de acuerdo a los lineamientos establecidos por el Gobierno del Estado de Hidalgo, al cumplimiento de los siguientes objetivos:

- A) Evitar que los movimientos de la ladera pusieran en riesgo a la población.
- B) Estabilizar la ladera en movimiento.
- C) Recuperar áreas urbanas útiles para asentamientos humanos.
- D) Impedir que los movimientos de la ladera provoquen la obstrucción de los escurrimientos superficiales naturales y los consecuentes problemas hidrológicos y de inundación de áreas habitadas y de cultivo.
- E) Establecer condiciones de seguridad suficientes para las estructuras que integran al ex convento Agustino de los Santos Reyes, emplazado en la parte alta de la población a muy pocos metros del talud natural en movimiento.
- F) Establecer condiciones de seguridad y comportamiento admisibles para el edificio conocido como La Tercena", (Colinas de Buen, 1994a).

En marzo de 1993, Colinas de Buen concluyó y entregó el segundo informe geológico y geotécnico completo, en el cual se incluían dos alternativas con proyecto ejecutivo correspondiente para solucionar los problemas de inestabilidad de la ladera (Colinas de Buen, 1994a).

Las alternativas de solución propuestas por Colinas de Buen para la estabilización consistían en:

Opción 1

La estabilización de la ladera y la construcción de una estructura de reacción constituida por los siguientes elementos: prisma de suelo-cemento, terraplén, pedraplén, impermeabilización, subdrenaje y entubamiento parcial del arroyo Tlaxómotl. El costo estimado de la obra es del orden de los N \$30'141,445.00.

Opción 2

Comprende lo descrito en la opción 1, sólo que para la parte dañada de la ladera donde se encuentra el ex convento agustino y el costo estimado de la obra es de N\$21'879,327.00.

Paralelamente deberán llevarse a cabo las siguientes actividades que significan un gasto adicional:

1. Instalación de un sistema de drenaje superficial que canalice las descargas de agua producidas por la población.
2. Instalación de un sistema superficial de agua potable.

3. Cancelación de letrinas y fosas sépticas y reparación de fugas de agua potable.

4. Para la estabilización del ex convento agustino se proponen dos opciones:

Opción 1

Construcción de una pantalla en su perímetro con pilas empotradas en la Formación Méndez. Estas serían en su parte inferior de concreto armado, mientras que en la parte superior se sustituirá el concreto por lodo fraguante o grava cementada.

Opción 2

Recimentación del inmueble a base de pilotes de punta.

Colinas de Buen agrega que "las opciones anteriores no resolverían el problema de estabilidad de la ladera ni aun el de la propia edificación por sí sola, siendo indispensable complementarse con las obras propuestas para la estabilización total o parcial de la ladera" (presentado en la reunión de trabajo para la integración de la Comisión de Preservación y Consolidación del Patrimonio Histórico-Arquitectónico, Urbano y Ecológico del Municipio de Metztlán, Pachuca de Soto, Hidalgo, 1994a).

El 25 de julio de 1993 se realizó un "foro sobre deslizamiento de suelos", en el cual Colinas de Buen presentó los resultados del trabajo realizado y los costos de las obras. Estuvo presente el nuevo gobernador Jesús Murillo Caram y diversos representantes de SEDESOL, del INAH y de dependencias e instituciones que han trabajado y estudiado la zona y el ex convento.

Aquí fueron tratados los resultados y todas sus desventajas. Primero, el alto costo de la obra y algunos puntos importantes como la solución que tendría que darse a los jardines y terrenos baldíos ante la infiltración, el costo del mantenimiento que debe tener la obra, que la construcción propuesta no contemple el crecimiento que puede sufrir la zona dañada, extendiéndose a una área mayor para el momento en que se decida el inicio de la obra, etc.

El objetivo principal de este foro era mostrar el trabajo que realizó la compañía Colinas de Buen, la solución que propone y su costo y el problema del gobierno correspondiente de no poder solventar los gastos.

Desgraciadamente, el costo de la solución, congruente con la magnitud del problema en ese momento, se consideró muy elevado y fuera de los alcances de los recursos con que se contaban, por lo que a finales de 1993, la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), solicitó a la compañía Colinas de Buen un estudio geológico y geotécnico complementario (el tercero), como una nueva etapa del proyecto que debería atender exclusivamente a la seguridad del ex convento agustino de los Santos Reyes. El objetivo de este estudio fue la generación de alternativas para evitar que los movimientos de ladera provoquen la inestabilidad del ex convento, asimismo, que se atendiera el desarrollo del proyecto ejecutivo de la solución más conveniente. Por tal motivo, se programó una campaña de exploración, muestreo y laboratorio, que se complementaría con los trabajos realizados anteriormente, para cumplir con el particular objetivo planteado por SEDESOL. El tercer trabajo fue entregado en los primeros meses de agosto de 1994 (Colinas de Buen, 1994a).



Foto 60. Grieta rellenada en uno de los contrafuertes del ex convento.

El 24 de febrero se realizó una junta en Colinas de Buen para resolver dudas que tenía el Patronato, unos días antes, el 16 hubo una reunión en Pachuca con el gobernador. Colinas de Buen actualizó la zona de riesgo (Fig. 41) y entregó a SEDESOL el informe.

Durante marzo, abril y parte de mayo, a petición de Colinas de Buen, se demolieron las casas ubicadas en la zona afectada y se sacó gran parte del escombros, al

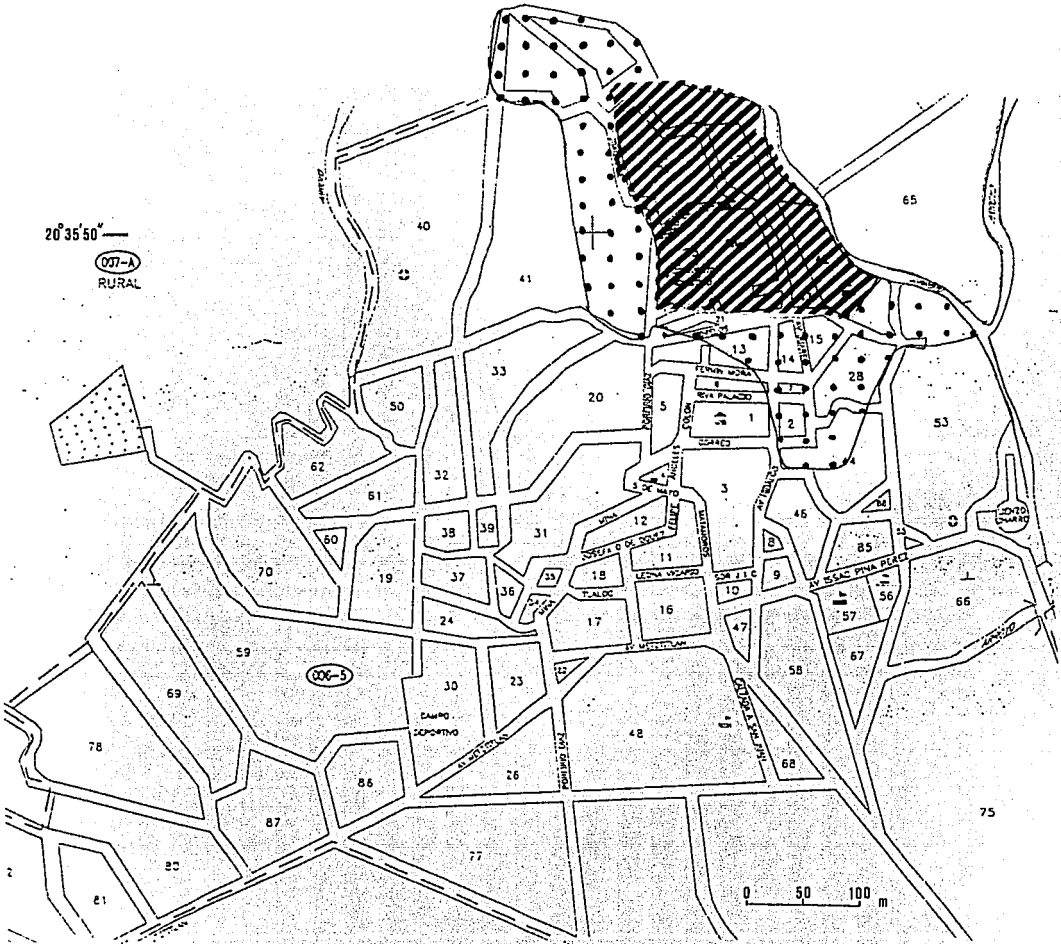
mismo tiempo que fueron rellenadas con concreto, grietas en muros del ex convento (foto 60) y en el suelo con tierra y polietileno (foto 61)


Todo lo anterior es importante porque se trata de las medidas propuestas para frenar el deslizamiento de tierras, y el objetivo de esta amplia explicación es registrar en esta tesis las diversas propuestas que se han hecho desde el punto de vista ingenieril y de protección civil. Esto será fundamental en el futuro en la valoración del desarrollo del deslizamiento.



Foto 61. Relleno de grieta en el suelo con tierra y polietileno.

98° 45' 51"



 Zona de alto riesgo de deslizamiento. Se incluyen nuevas áreas que ya han sido alcanzadas por el fenómeno.


 Zona de riesgo medio. Corresponde a un área donde se detectaron grietas que han tenido cierto desplazamiento lento.

Fig. 41 Zona de riesgo actualizada por Colinas de Buen, marzo de 1994.

Los proyectos de obras de protección mencionados, son todos razonables para la época en que fueron propuestos. Esto es, entre diciembre de 1991 y marzo de 1992, el problema era menor que en junio de 1992 o un año después.

El último informe de la Compañía Colinas de Buen es una información valiosa sobre la geología superficial y del subsuelo así como de la geohidrología y mecánica de suelos, sobre todo, considerando que el conocimiento de la región se limitaba prácticamente a la estratigrafía general de la Vega de Metztlán.

La obra propuesta es de confiar, dada la experiencia de los numerosos profesionistas que participaron en el estudio, con antecedentes en grandes construcciones en condiciones difíciles en la ciudad de México. Sin embargo, si en esta hay gigantescas inversiones, por ejemplo, la actual a la catedral por la misma compañía, es muy difícil que se apruebe para una población aislada, de menos de 5 000 habitantes.

Del estudio complementario realizado por Colinas de Buen a petición de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) para atender exclusivamente la seguridad del Ex convento, se decidió proteger el mismo por medio de pilotes fijos en el sustrato sedimentario, el trabajo se comenzó a finales de 1994 y es aparentemente, una buena solución para salvarlo, pero es casi seguro que el deslizamiento continúe e incluso se acelere en otras localidades. Esto es el inicio de una nueva etapa de este proceso.

CONCLUSIONES

Las conclusiones que resultan de este trabajo son las siguientes:

En el contexto regional, Metztlitlán se localiza en un área donde los procesos gravitacionales predominan sobre los fluviales. Su variedad es muy grande: deslizamientos, caída de rocas, libre y en planos predispuestos, etc., al igual que los depósitos correspondientes. La población de la región depende principalmente de las actividades agrícolas, sin embargo, pocas zonas existen en sus alrededores apropiadas para su asentamiento, por lo que algunas casas se construyen en zonas de riesgo por procesos gravitacionales, corrientes de lodo o inundaciones; un estudio a detalle en el futuro sobre todo esto sería de gran interés.

Metztlitlán es la población principal, y a pesar de ser muy antigua, no ha sufrido un crecimiento acelerado como ha ocurrido en otras en el país. Sin embargo, durante los últimos años se construyeron casas voluminosas con alberca y jardines, distintas de la arquitectura tradicional de la población.

En la vega y en general en el país, no se ha hecho un estudio detallado de un deslizamiento de tierras en bloques de tipo rotacional, semejante al de Metztlitlán. Es muy posible que los derrumbes que originaron la laguna y la colina de Metztlitlán iniciaron con un deslizamiento de gran magnitud.

La colina de Metztlitlán simplemente por su origen, es una zona propensa a presentar problemas cuando se rompe el frágil equilibrio que la mantiene, ya sea por causa natural o antrópica. No se conocen antecedentes de un fenómeno similar, aunque algunos autores indican que un fenómeno parecido pudo ocasionar el abandono de la Comunidad y algunos habitantes han mencionado que en la misma área en que hoy día se presenta el deslizamiento, tuvo lugar otro en el pasado; la población dejó el lugar, luego olvidó y volvió a construir.

El proceso es un fenómeno completamente natural, debido a la estructura geológica, la topografía, la erosión vertical y las aguas subterráneas; sin embargo, otros factores han intervenido, principalmente antrópicos. La actividad fluvial socavó la base de la ladera que a la larga la debilitó, dejando al descubierto estratos inclinados hacia el arroyo, la litología arcillosa del subsuelo, la actividad humana transformando el relieve original por medio de construcción de terrazas, tala, obras pesadas y sin drenaje, facilitaron el surgimiento del deslizamiento de tierras, mismo que fue causado por factores naturales, acelerados por la actividad humana.

Las lluvias provocadas por huracanes influyen substancialmente en el desarrollo de procesos gravitacionales en la vega. Las observaciones de los últimos tres años demuestran que la mayor actividad se produce en época de lluvias -y más aún si son causadas por algún huracán-.

Los arroyos que bordean a la población de Metztlitlán, producen grandes acumulaciones en el cauce y abanico aluvial cuando se producen lluvias torrenciales en la localidad, mientras que las precipitaciones, que dejan los ciclones en grandes superficies y lapsos de 3 a 7 días, provocan erosión.

Con base en el desarrollo que ha tenido el deslizamiento y las medidas que se han tomado a la fecha mayo de 1995 se considera lo siguiente:

- En unos años alcance un estado de equilibrio.
- En el caso de realizarse la obra de ingeniería programada, se frene o suspenda el movimiento actual.
- De realizarse una obra de ingeniería sólo para salvar el ex convento, ésta puede acelerar el proceso en la zona contigua que seguirá desprotegida e incluso hay la posibilidad de que se desestabilice la ladera occidental de la colina.

El estudio no ha terminado, el proceso continúa en una nueva etapa y en el futuro se conocerá la reacción del fenómeno ante las medidas tomadas.

En los últimos tres años hemos conocido otros tres casos de deslizamientos de tierras en la Sierra Alta. Todo parece indicar que estos fenómenos son comunes en la Sierra Madre Oriental, y puede ser que se vuelvan más frecuentes en un futuro por la alteración que el hombre está causando (deforestación, transformación del relieve, etcétera), lo que en parte se relaciona con la rapidez e irregularidad con que crecen las poblaciones. Estos estudios han permitido una mejor comprensión del deslizamiento de tierras en Metztlán, así como el proceso en sí en la región, por lo cual, estudios similares podrán ayudar a comprenderlos mejor y evitar daños como los sufridos en Metztlán o aún más graves.

La participación de la población es importante cuando se presentan estos fenómenos. La organización social creada en Metztlán para salvar al ex convento es un ejemplo, sin embargo, la acción ciudadana debe ser permanente y no sólo en el caso de un problema grave. Es también lamentable que los problemas ecológicos se aprovechen en beneficio de grupos o partidos políticos, porque se excluye a otros, se crea división y puede resultar que lo esencial -el riesgo o la protección del ambiente- pasen a segundo término. Es tarea fundamental de la sociedad, conservar áreas verdes, controlar la infiltración de agua, los basureros, etc. Las enseñanzas que deja un proceso así, pueden ser útiles. La población, no debe olvidar lo ocurrido y tratar de evitar que vuelva a suceder algo similar en la colina y en el nuevo asentamiento para damnificados que de sufrir un crecimiento acelerado, en algunos años puede presentar un problema similar al ocurrido en la ladera oriental de Metztlán.

El convento de los Santos Reyes es una obra de gran valor, como bien menciona Artigas (1994), éste no es el único edificio de la región y del país afectados, es necesario evitar que construcciones como ésta sean dañadas antes de llegar a presentar las condiciones del ex convento de los Santos Reyes y encontrar sistemas más económicos y por tanto más viables para restaurar todas aquellas que ya lo están.

Las experiencias de grupos interdisciplinarios (ingenieros, geólogos, geomorfólogos, etc.) en la investigación de estos procesos en otros países del mundo, son un buen ejemplo del trabajo que podría realizarse en nuestro país y comenzar investigaciones en conjunto entre dependencias del gobierno e institutos de investigación.

Los estudios sobre los deslizamientos de tierra son comunes en diversas partes del mundo y en conjunto, han portado mucho a su conocimiento, en cuanto a características, causas, consecuencias, medidas preventivas y soluciones ingenieriles. Sin embargo, todavía

existe mucho por hacer, sobre todo en algunos países como el nuestro, donde los trabajos al respecto son escasos.

Finalmente, sólo queda mencionar que en cuanto al método empleado en este estudio, los resultados han sido muy satisfactorios. Con mediciones simples y mucho tiempo invertido en observaciones, se comprendió el comportamiento del proceso, se determinaron las distintas velocidades de crecimiento de escarpes, grietas, y los factores que las incrementan, lo que permitió detectar las causas que le dieron origen.

BIBLIOGRAFIA

- Acuña, R., 1985. **Relaciones Geográficas del siglo XVI**, México, tomo 2, vol. 7, UNAM, 316 pp.
- Alexander, D., 1989. Urban landslides. **Progress in Physycal Geography**, 13(2): 157-191pp.
- Alexander, D., 1992. On the causes of landslides: human activities, perception, and natural processes, **Enviromental Geology and Water Sciences**. New York, 20(3):165-179.
- Alvarez Palma, A. M. y Cassiano, G., 1986, Proyecto arqueológico Vega de Metztitlan. Especialidad de Arqueología. ENAH-INAH. Ms.
- Alvarez Palma, A.M., 1993. Definición del sistema regional del señorío y provincia de Metztitlán. Epoca prehispánica y colonial (s. XVI-XVII). La evolución del patrón de asentamiento y uso del suelo. México D.F. (inédito).
- Artigas, J., 1988. **Metztitlán Hgo., Arquitectura siglo XVI**. Tesis de Doctorado en Arquitectura. Facultad de Arquitectura, UNAM, México D.F., 2 tomos, 212 p.
- Artigas, J., 1994. Inminente derrumbe del Convento de los Santos Reyes de Metztitlán, México. (informe interno) 3 pp.
- Bloom, A. L., 1974. **La superficie de la Tierra**. Omega, Barcelona, 151 pp.
- Bloom, A.L., 1978. **Geomorphology**. Englenwood Cliffs, N.Y. Prentice-Hal, 510 p.
- Bonnard C. (Ed.) 1988. Landslides glissements de terrain. **Proceedings of the fifth international symposium on landslides**. A.A. Balkema/Rotterdam, 3 vol.
- Brand, E.W., 1988. *Special lecture: landslides risk assesment in Hong Kong*. En: Ch. Bonnard (Ed.), **Landslides, Glissements de Terrain**. Proceedings of the fifth international symposium on landslides A.A. Balkema/Rotterdam, 3 vol.
- Bravo, H., 1990. **Las cactáceas de México**, UNAM, México D.F., 2 vol.
- Brunsdén, D., 1993. Mass movement; the research frontier and beyond: a geomorphological approach. **Geomorphology**, 7: 85-128 Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam.
- Brunsdén, D. and Prior, D., 1984. **Slope Inestability**. John Wiley and Sons, New York.
- Cabrera, L., 1992. **Diccionario de aztequismos**. Colofón., México, 166 pp.
- Cantú Treviño, Sara., 1953. **La Vega de Metztitlán en el Estado de Hidalgo**. Tesis de Maestría en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 277pp. Publicada en: Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística LXXV: (1-3).

Canul Rodríguez, G., 1984. **Análisis estratigráfico y estructural de la porción norte de Metztlán, Hgo.** Tesis Profesional. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. Instituto Politécnico Nacional, 86 pp.

Colinas de Buen S.A. de C.V., 1992. **Informe Geotécnico correspondiente al estudio preliminar de estabilidad de la ladera oriente del convento de Los Santos Reyes, y de la Tercena, en la población de Metztlán en el Edo. de Hgo., México (informe interno).**

Colinas de Buen S.A. de C.V., 1993. **Informe final del estudio Geológico-Geotécnico efectuado para determinar, las causas de inestabilidad de taludes que se presentan en la población de Metztlán, Hgo., (anexos fotográficos), México (informe interno).**

Colinas de Buen S.A. de C.V., 1994a. **Estudio geotécnico para mejorar las condiciones de estabilidad y comportamiento del ex-convento Agustino, en Metztlán Edo. de Hgo. México (informe interno).**

Colinas de Buen S.A. de C.V., 1994b. **Catalogo de conceptos y costos para la construcción del sistema de confinamiento del subsuelo que sustentará al exconvento Agustino de los Santos Reyes, localizado en el poblado de Metztlán, en el Edo. de Hgo., México (informe interno).**

Coque, R., 1984. **Geomorfología**, Alianza Editorial, Madrid, 475 pp.

Crozier, M., 1986. **Landslides: causes, consequences and environment.** Croom Helm, Londres, 252 pp.

Demek, E., 1978. **Guide to medium-scale geomorphology mapping.** Verlagsbuchung, Stuttgart, 348 p.

Derbyshire, E. (Ed), 1976. **Geomorphology and Climate.** John Wiley and Sons, Londres, 512 p.

Derrau, J. 1970. **Geomorfología**, Ariel, España, 449 p.

Echavarría, A.L., C. Gutiérrez, 1991. **Reconocimiento geotécnico del barrio El Calvario, municipio de Metztlán, Hgo.,** diciembre. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México (informe interno), 3pp.

Einstein, H.H., 1988. *Special lecture: landslides risk assessment procedure.*, En: Ch. Bonnard (Ed.) **Landslides, Glissements de Terrain.** Proceedings of the fifth international symposium on landslides, pp. 1075-1090.

Fitz Patrick E.A., 1984. **Suelos su formación, clasificación y distribución.** CECSA, México, 430 pp.

García, Amaro E., 1988. **Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen.** Edición privada, México. 217 pp.

Gerhard, P., 1986, **Geografía Histórica de la Nueva España**. Espacio y Tiempo 1. Instituto de Investigaciones Históricas-Instituto de Geografía. UNAM. 493 p.

Gerrard, A.J., 1988. **Rocks and Landforms**. Unwin Hyman, Londres, 311 pp.

Gorshkov, G. y Yakushova, A., 1977. **Geología General**. Editorial Mir. Moscú, 574 pp.

Griggs, G. y Gilchrist, J., 1983. **Geologic hazards, resources and enviromental planning**. Wadworth, Belmont Ca. E.U., 502 p.

Hansen, A., 1984. Landslide hazard analysis. En: D. Brunsten (Ed.): **Slope inestability**, 523-602 pp. John Wiley and sons.

Hartlén J., Viberg L. 1988. General report: Evaluation of landslides hazard. En :Ch. Bonnard (Ed.) **Landslides, Glissements de Terrain**. Proceeding of fifth international symposium on landslides, pp. 1037-1057

Hutchinson, J.N., 1988. General report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrology. En: Ch. Bonnard (Ed.) **Landslides, Glissements de Terrain**. Proceedings of the fifth international symposium on landslides, pp. 3-29.

Jauregui, O.E., 1967. Las ondas del este y los ciclones tropicales en México. **Ingeniería Hidráulica en México**, México D.F., 21 (3), pp 197-206.

Jauregui, O.E., 1975 Los sistemas del tiempo en el Golfo de México y su vecindad. **Boletín del Instituto de Geografía**, Vol 4, pp 7-36.

Jauregui, O.E., 1989. Los huracanes prefieren a México. **Información Científica y Tecnológica**, México D.F., 2 (155), pp 32-39.

Jones, D.K.C., 1992. Landslide hazard assessment in the context of development. En: Mc. Call G.J.H et al. (Ed.) **Geohazards natural and man-mad**. 227 p.,

Krauter E. 1988. Special lecture: Applicability and usefulness of field measurements on unstable slopes. En: Ch. Bonnard (Ed.) **Landslides, Glissements de Terrain**. Proceeding of fifth international symposium on landslides pp. 367-373.

Lahee F., 1962. **Geología Práctica**. Omega, Barcelona, 895 p.

Lobeck, A.K., 1939. **Geomorphology, an introduction to the study of landscapes**. Mc Graw-Hill Book Company, Inc., E.U.A, 731 pp.

Lugo, H.J., 1989. **Diccionario geomorfológico**, UNAM, México, 337 p.

Lugo, H.J., García, A. M. Zamorano, O.J., 1993. Estudio de un deslizamiento de tierras en Metztlitlán, Hgo. **GEOUNAM**, Boletín Informativo del Area de Ciencias de la Tierra, UNAM, México., 2 (1) pp 15-16.

Lugo, H. J., Zamorano, O.J., Gallegos, G., 1993. Deslizamiento de tierras activo en Metztlitlán, Hgo. **Geofísica Internacional**, México, 32 (1):153-166.

Lugo H.J., García A.M., Zamorano, O.J., Salas G.O., Gallegos G. 1995. Deslizamiento de tierras en Metztlitlán, Hidalgo, **Ciencia y Desarrollo**, 121: 151-158.

Lugo, H.J., Zamorano, O.J., García, A.M., Mapa Geomorfológico de Metztlitlán, Hgo., Aplicado a Riesgos Naturales. México D.F. (inedito).

Manzano, T., 1927. **Anales del Estado de Hidalgo, desde los tiempos más remotos hasta nuestros días**. Gobierno del Estado de Hidalgo, Pachuca, Hgo. 3 Vol.

Martínez Gutierrez, G., 1984. **Análisis estratigráfico y estructural de la porción central de la hoja Metztlitlán, Hgo.** Tesis profesional. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. Instituto Politécnico Nacional, 111 pp.

Minkov, M. et al., 1988. Geological conditions, slope instability and methods of its study in Bulgaria. En: Ch. Bonnard (Ed.) **Landslides, Glissements de Terrain**. Proceedings of fifth international symposium on landslides, pp.231--238.

Miró de, M. y Domingo, M. 1985. **Breviario de Geomorfología**, Oikos-tau, Barcelona, 141 pp.

Mooser, F., Santoyo, E. y Segovia, J. 1992. **Reconocimiento del ex convento y terrena de Metztlitlán, Hgo.** Informe de TGC Geotécnica para la Secretaría de Desarrollo Social, junio, México (informe interno), 12 pp.

Ortiz Calderon, G., 1980. **La Vegetación Xerófila de la Barranca de Metztlitlán, Hgo.**, Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM.

Pomerol, C., y Fouet, R., 1964, **Las rocas sedimentarias**. EUDEBA, Buenos Aires, 126 pp.

Rivas Paniagua, E., 1982. **Hidalgo entre selva, milpas... la niebla**. Monografía Estatal, SEP, edición experimental, México.

Rubian García A. 1989. **El convento agustino y la sociedad novohispana (1533-1630)**, UNAM, 343 pp.

Sanchez Mejorada, H., 1978. Manual de Campo de las Cactáceas y Suculentas de la Barranca de Metztlitlán. **Publicación de difusión cultural 2**. Sociedad Mexicana de Cactología, 131 pp.

Schuster, R.L., Krizek R.J. (Eds.), 1978. **Landslides analysis and control**, National Academy of Sciences Washington, D.C., 234 pp.

Seegerstrom, Kenneth, 1962. Geología del suroeste del Estado de Hidalgo y del noroeste 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, 135 pp.

Tejada Galicia, C. M., 1978. **Estudio Geológico de Reconocimiento en la parte Central y Sur del Estado de Hidalgo**. Tesis profesional. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. Instituto Politécnico Nacional, 90 pp.

Torres, V., 1992. **Informe del estudio geológico estructural y topográfico del barrio El Calvario, del pueblo de Metztlán, Hgo.**, junio, México (informe interno), 34 pp.

Varnes, D.J. 1958. Landslides types and processes. En: **Landslides and Engineering Practice.**, E.B. Eckel, Highway Res. Board Special Rep. 29.

Varnes, D.J. 1978. Slope Movement types and process. En: Schuster R. y Krizek R (Eds.), pp. 11-33.

Victoria, José G. 1985. **Arte y Arquitectura en la Sierra Alta siglo XVI**. Instituto de Investigaciones Estéticas. UNAM, 183 pp.

Viers Georges., 1983. **Geomorfología**. Oikos-tau, Barcelona, 320 pp.

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

Walter Heinrich., 1977. **Zonas de vegetación y clima**. Omega, Barcelona .242 p.

Záruba, Q., Menci N. 1969. **Landslides and their control**, Elsevier, Nueva York/Academia, Praga, 205 pp.

CARTOGRAFÍA

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática

Carta topográfica, escala 1:50 000

- F14D61 Metztlán
- F14D62 Zacualtipán
- F14D71 Actopan
- F14D72 Carbonero Jacales

Carta topográfica, escala 1:250 000

- F14-11

Dirección General de Estadística, Censos Nacionales 1990.

Plano urbano, Estado de Hidalgo, Localidad de Metztlán, escala 1:5 000

Universidad Autónoma de México

Carta de Climas, escala 1:500 000

- 14Q-(IV) Pachuca