

2
207



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

Estudio Geológico Efectuado para Determinar las Causas que Provocan la Inestabilidad de las Laderas del Cerro donde se Asienta la Población de Metztlán, Estado de Hidalgo.

TESIS PROFESIONAL

NOTA:
¡PLANOS!
PEDIR LOS
AL PERSONAL

para obtener el Título de:
INGENIERO GEOLOGO
INCLUYE 8 ANEXOS (PLANOS)
P r e s e n t a

SAUL ALARCON PARRA



Asesor:

M.C. ROLANDO DE LA LLATA ROMERO

207419

México, D.F.

Junio de 1998

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-057

SR. SAUL ALARCON PARRA
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor el M. C. Rolando de la Llata Romero y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo :

**ESTUDIO GEOLOGICO EFECTUADO PARA DETERMINAS LAS CAUSAS QUE PROVOCAN
LA INESTABILIDAD DE LAS LADERAS DEL CERRO DONDE SE ASIENTA LA POBLACION
DE METZTITLAN, EDO. DE HIDALGO**

	RESUMEN
I	INTRODUCCION
II	GENERALIDADES
III	METODO DE TRABAJO
IV	GEOLOGIA REGIONAL
V	GEOLOGIA LOCAL
VI	HIDROLOGIA
	CONCLUSIONES
	BIBLIOGRAFIA
	PLANOS E ILUSTRACIONES

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 4 de septiembre de 1997
EL DIRECTOR

ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS*RLR*fig.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial a la Facultad de Ingeniería por la oportunidad de brindarme una educación profesional.

A mi director de tesis M. C. Rolando de la Llata Romero, por compartir sus conocimientos y tiempo, en el desarrollo de este trabajo.

Al:

Ing. Héctor Luis Macías González

M.C. Gilberto Silva Romo

Ing. Emiliano Campos Madrigal

Ing. Javier Arellano Gil.

Sinodales y miembros del jurado por su valiosos comentarios.

Al Grupo Colinas de Buen S.A. de C.V incluyendo a su empresa filial Ingeniería Experimental S.A. de C.V., por permitirme colaborar en el proyecto que integra este trabajo y sobretodo poder hacer uso de la información requerida, en especial agradezco su apoyo a los Ingenieros José Luis Sánchez Martínez y Luis Fco. Pliego Rosique.

DEDICATORIAS.

CON EL INTENSO AMOR Y CARIÑO QUE PUEDA SENTIR UN HIJO HACIA EL SER QUERIDO, QUE LE HA BRINDADO TODO SU APOYO Y COMPRENSIÓN DESDE SUS INICIOS, TE DEDICO ESTE TRABAJO COMO PARTE DE TUS ESFUERZOS Y DESVELOS.....A TI MAMÁ **"MIL GRACIAS"**

CON TODO MI AMOR PARA TI LETY, AGRADECIENDO TU APOYO Y COMPRENSIÓN DURANTE ESTOS TIEMPOS DIFÍCILES Y POR DARME MIS DOS TESOROS QUE REPRESENTAN GRAN PARTE DE LA RAZÓN DE MI EXISTIR.

A MIS HIJAS BLANQUITA Y BERENICE PARA QUE EN UN FUTURA NAZCA EN ELLAS EL DESEO DE SUPERACIÓN Y TRIUNFO.

A MIS HERMANOS TERE, MARY, PEPE Y ALEX POR SU SOLIDARIDAD Y CARIÑO, Y EN ESPECIAL A MI HERMANO TITO, QUE SIEMPRE ME ACOMPAÑA EN ESPÍRITU Y ALMA.

A MIS SOBRINOS: MAGY, CECY, VIKY, MONSE, MARIANITA, CARLOS Y RAÚL, PARA QUE VALOREN EL ESFUERZOS DE SUS PADRES.

A MIS MAESTROS Y A LA FAMILIA MORA ALVAREZ POR SU APOYO INCONDICIONAL DURANTE MI ÉPOCA DE ESTUDIANTE.

TAMBIÉN HAGO UNA DEDICATORIA PÓSTUMA A MI MAESTRO EL ING. MARIANO RUIZ VÁZQUEZ, QUE EN DONDE QUIERA DIOS QUE SE ENCUENTRE.... **GRACIAS**POR SUS PALABRAS DE ALIENTO Y SUS ENSEÑANZAS.

CONTENIDO.

	RESUMEN.	PAG.
CAPITULO I.-	INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO II.-	GENERALIDADES	3
	2.1 Localización del sitio.	3
	2.2 Vías de comunicación.	3
	2.3 Clima y vegetación.	6
	2.4 Importancia socioeconómica e histórica.	10
CAPITULO III.-	MÉTODO DE TRABAJO	13
	3.1 Investigación bibliográfica.	13
	3.2 Fotogeología.	13
	3.3 Levantamiento geológico.	14
	3.4 Estudio geofísico.	15
	3.5 Trabajos de exploración.	18
	3.6 Instrumentación.	20
CAPITULO IV.-	GEOLOGÍA REGIONAL	21
	4.1 Fisiografía.	21
	4.2 Geomorfología.	21
	4.3 Estratigrafía Regional.	24
	4.4 Geología estructural.	36
	4.5 Geología histórica.	37

CAPITULO V.-	GEOLOGÍA LOCAL	40
	5.1 Geomorfología de la zona.	40
	5.2 Estratigrafía local.	42
	5.3 Geodinámica interna	48
	5.4 Descripción del fenómeno.	49
CAPITULO VI.-	HIDROLOGÍA	57
	6.1 Hidrología superficial.	57
	6.2 Hidrología subterránea.	58
	CONCLUSIONES.	60
	I.- Conclusiones generales	60
	II.- Discusión de aspectos geotécnicos.	62
	III.- Análisis geotécnicos.	64
	IV.- Alternativas de solución.	68
	RECOMENDACIONES.	77
	BIBLIOGRAFÍA.	81
	GLOSARIO.	84
	ANEXOS.	87

ÍNDICE DE PLANOS E ILUSTRACIONES.

Figura N°. 01	Localización del sitio.
Figura N°. 02	Vías de comunicación.
Figura N°. 03	Temperaturas medias anuales.
Figura N°. 04	Precipitaciones medias anuales.
Figura N°. 05	Estudio geofísico de sísmica de refracción.
Figura N°. 06	Provincias fisiográficas de la República Mexicana.
Figura N°. 07	Tabla de correlación estratigráfica.
Figura N°. 08	Esquema de la falla de cabalgadura "Metztitlán".
Figura N°. 09	Columna estratigráfica.
Figura N°. 10	Localización de epicentros cercanos a Metztitlán.
Figura N°. 11	Tabla de epicentros.
Figura N°. 12	Levantamiento de grietas.
Figura N°. 13	Factores que intervienen en el fenómeno.
Figura N°. 14	Esquema de solución alternativa "A".
Figura N°. 15	Esquema de solución alternativa "B".
Anexo N°. 01	Planta general y obras de exploración realizadas.
Anexo N°. 02	Geología regional.
Anexo N°. 03	Perfiles de integración geológica-geofísica.
Anexo N°. 04	Geología local.
Anexo N°. 05	Distribución de unidades estratigráficas.
Anexo N°. 06	Secciones geológicas A-A' a la K-K'.
Anexo N°. 07	Secciones geológicas E-E' y F-F'.
Anexo N°. 08	Secciones geológicas I-I' a la M-M'.

RESUMEN

A raíz de los deslizamientos de tierra que se han presentado en la población de Metztlilán, Hgo. a partir de diciembre de 1991 (Lugo, H. 1993), se elaboró el estudio geológico enfocado a determinar las causas que provocan el fenómeno de deslizamiento de tierras.

La región de Metztlilán se encuentra en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, con un relieve formado por sierras menores, que contrasta con la superficie plana del valle del río Metztlilán. Las sierras presentan una secuencia estratigráfica formada por rocas sedimentarias marinas del Cretácico con deformación producida por la orogenia Larámide, la cual creó pliegues asimétricos, recostados y chevron. Sobre la Vega se tiene el eje de un sinclinal, en cuyo núcleo afloran lutitas y calizas arcillosas de la formación Méndez; y hacia sus flancos las formaciones San Felipe, Agua Nueva y Tamaulipas. Otra importante estructura se presenta, corresponde a una falla cabalgadura, cuyo desplazamiento es aproximadamente de 20 km., con un plano de falla de rumbo NW 25° y con un echado de 32° en dirección SW.

Durante el Terciario en la fase postorogénica se presentan fallas normales, que crearon fosas tectónicas, donde se depositaron los sedimentos del Grupo El Morro.

El basamento del cerro donde se asienta la población de Metztlilán, está constituida por una secuencia de calizas arcillosas, lutitas, limolitas y margas de la Formación Méndez, depositadas durante el Cretácico Superior. Sobre yaciendo a este basamento descansan y en discordancia angular los materiales de la Formación Atotonilco El Grande, que está constituida por: conglomerados, brechas basálticas, horizontes pumíticos, arcillas y calizas lacustres.

La población de Metztlilán se asienta sobre una colina alargada flanqueada en ambos lados por dos arroyos, afluentes del Río Metztlilán.

El fenómeno de deslizamiento de tierras que se observa, se presenta principalmente en la parte Norte, conocida como Barrio El Calvario, en una superficie aproximada de 45,500 m² en donde se presentan gran cantidad de grietas y fracturas. La formación de grietas se debe principalmente al movimiento de la masa de suelo, las cuales acentúan las condiciones de inestabilidad de la ladera, tanto por la discontinuidad que representan para los mecanismos de falla, como porque son un medio fácil y rápido de infiltración de las aguas pluviales.

Otro factor vinculado directamente con el deslizamiento de tierra, es la erosión del arroyo al pie de la ladera, en donde el cauce incide directamente, que provoca el arrastre de un volumen considerable de los materiales de la base, restándole soporte y confinamiento a la ladera, y encadenando el fenómeno de deslizamientos en serie.

El desplazamiento de la ladera es hacia el Este, con desplazamientos verticales de bloques de hasta 1.44 metros anuales, aumentando su velocidad de movimiento en los meses de lluvia.

Con la presencia de agua subterránea en el contacto de las Formaciones Atotonilco El Grande y la Méndez, se tiene una saturación y en consecuencia la alteración físico-química de los materiales arcillosos, que modifican substancialmente sus propiedades mecánicas y de resistencia, provocando así el deslizamiento de la ladera por la plastificación de la arcilla lacustre.

El cálculo para determinar la estabilidad de la ladera, se efectuó considerando el movimiento de la masa como una reptación de suelo, a través de un plano de deslizamiento en el contacto de las Formaciones Atotonilco El Grande y Méndez, dando como resultado un factor de seguridad menor a la unidad.

I.- INTRODUCCIÓN

A raíz de los deslizamientos de tierra que se han intensificado en la población de Metztlán, Hidalgo a partir de Diciembre de 1991 (J. Lugo, 1993), se elaboró el estudio geológico enfocado a determinar las causas que provocan el fenómeno, el cual se manifiesta a través de un sinnúmero de grietas y fracturas, con longitudes que van de unos cuantos centímetros a decenas de metros, con direcciones diversas, provocando el derrumbe de la mayoría de la construcciones que existían en la zona en la fecha antes citada, habiéndose desalojado y demolido el total de las casas por razones de seguridad.

El fenómeno de deslizamiento de tierras se presenta principalmente en una zona acotada, que se sitúa en la ladera noreste del cerro donde se asienta la parte principal de la población, conocida como Barrio El Calvario, afectando a una superficie aproximada de 45,500 m², en donde como se citó anteriormente se presentan una gran cantidad de grietas y fracturas.

Con los estudios preliminares efectuados en julio de 1992, por la empresa Colinas de Buen S.A. de C.V., se determinó que una de las causas que originaban el problema observado, era entre otras causas, la presencia de espesores considerables de rellenos heterogéneos de consistencia poco compacta y altamente permeables, esto último permite la infiltración de aguas pluviales y de servicio, provocando la saturación y el deslizamiento de estos materiales en una topografía accidentada. Lo anterior fue verificado con los primeros trabajos de exploración del subsuelo efectuados, determinándose además, que se tiene un movimiento en masa de la ladera de los materiales subyacentes al relleno; para confirmar lo anterior fue necesario llevar a cabo

un estudio geológico, con el objetivo de emitir un dictamen que defina las causas que originan el fenómeno de la inestabilidad de la ladera y poder dar las recomendaciones pertinentes para salvaguardar la integridad de los habitantes y de los Monumentos Históricos ahí presentes. El estudio fue solicitado por el Gobierno de Estado de Hidalgo a la empresa Colinas de Buen S.A. de C.V., el cual fue entregado en Marzo de 1993 y sirvió como base para la elaboración de la presente tesis.

Debo aclarar que aunque las recomendaciones derivadas de este trabajo se presentaron al Gobierno del estado de Hidalgo en Marzo de 1993, a la fecha se han realizado sólo algunos de los trabajos recomendados. Recientemente la Compañía Colinas de Buen S.A. de C.V., elaboró un nuevo proyecto de solución con el único objetivo de resguardar la integridad estructural del Exconvento de Metztitlán y cuya solución se encuentra actualmente en proceso de construcción. Este proyecto se elaboró para la Dependencia de Monumentos Históricos de la Secretaría de Educación Pública.

El presente trabajo de tesis, está integrado básicamente de las siguientes partes:

- Los aspectos generales de la zona y método de trabajo.
- El ambiente geológico regional y local.
- Los aspectos y principios de los análisis geotécnicos del modelo idealizado.
- Algunos de los datos de hidrología superficial y subterráneas que intervienen en el fenómeno.
- Las conclusiones y recomendaciones derivadas del presente trabajo.

II.- GENERALIDADES.

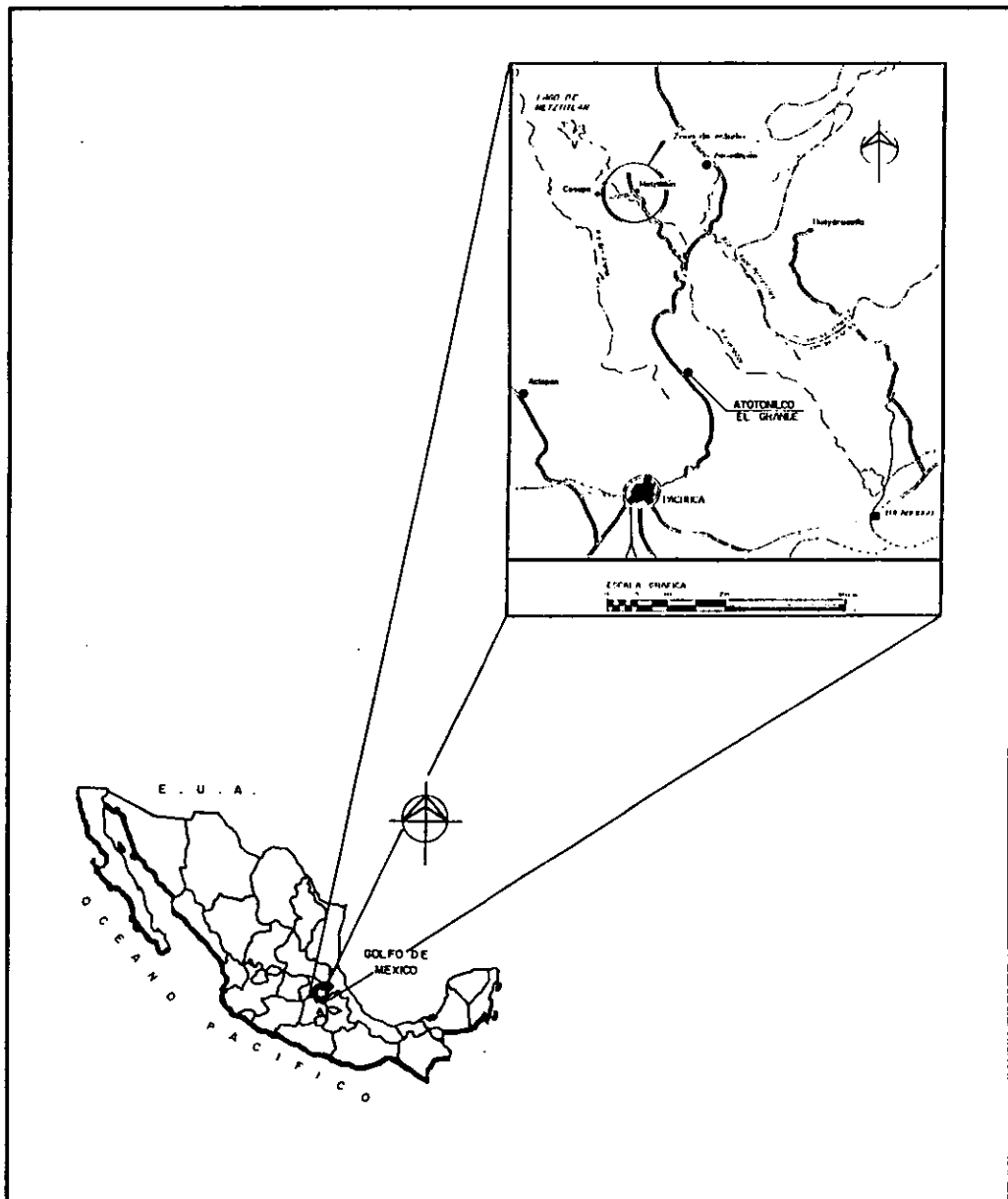
2.1 Localización del sitio.

La población y cabecera municipal de Metztlán está situada en la parte central del Estado de Hidalgo, a 79 kilómetros al Norte de la ciudad de Pachuca, en las coordenadas geográficas 20° 35' 45'' de latitud Norte y 98° 45'30'' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich (Figura N° 1) y con una altitud promedio de 1,353 metros sobre el nivel medio del mar (msnm).

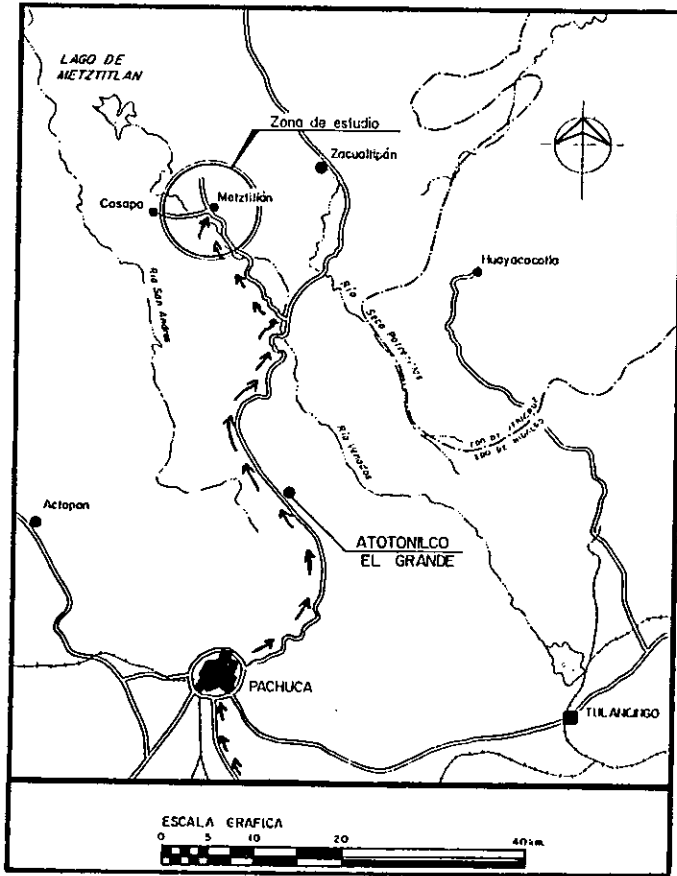
Geográficamente, el municipio de Metztlán colinda con los municipios de Eloxochitlán y Molango al Norte, al Oriente con los de Zacualtipán y Metzquitlán, al Sur con los municipios de Atotonilco El Grande, Actopan y Santiago Anaya y al Poniente con el municipio del Cardonal.

2.2 Vías de comunicación.

La vía de acceso más importante al sitio (Figura N° 2), es por la carretera federal N° 105 (México-Tampico), cuyo recorrido es el siguiente: Se parte de la ciudad de Pachuca en dirección Norte hacia la ciudad de Atotonilco El Grande, continuando por la misma carretera hasta llegar a la población de Venados con un recorrido hasta este punto de 52 kilómetros, al atravesar el puente del río Venados se toma una desviación a la izquierda que a través de 25 kilómetros de recorrido sobre una carretera estatal asfaltada, nos conduce a la entrada de la población de Metztlán.



U N A M FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERO GEÓLOGO	TITULO: LOCALIZACIÓN DEL SITIO	FIGURA N°. 01
	Tesis profesional de Saúl Alarcón Parra.	JUNIO DE 1998.



U N A M FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERO GEÓLOGO	TITULO: VÍAS DE COMUNICACIÓN	FIGURA Nº. 02 JUNIO DE 1998.
	Tesis profesional de Saúl Alarcón Parra.	

Desde la entrada de la población y para llegar a la zona en estudio (Anexo N° 1), se circula por la calle de Isaac Piña Pérez hacia el Poniente, doblando a la derecha en la calle Matamoros o también por la calle Profirio Díaz (que presenta menos pendiente de ascenso), hasta llegar a la plazuela, continuando por la calle de Correo hasta Juárez, donde se dobla a la izquierda, hasta llegar al Exconvento de Metztitlán y en cuya parte posterior se sitúa el Barrio el Calvario.

Existen otras vías de comunicación para llegar a Metztitlán de menor importancia, como es el camino de terracería que sale de la población de Ixmiquilpan con dirección a las grutas de Tolantongo, a partir de este punto, existe un camino de iguales condiciones que comunica a la ranchería de San Pablo Tetlapaya con la Vega de Metztitlán,. Otro camino existente por el rumbo de Zoquizoquipan, es la carretera estatal asfaltada que inicia en la desviación de la carretera federal N° 105 con el poblado de Alumbre, que llega a la población de Metztitlán por la parte Norte.

El poblado y en general la Vega de Metztitlán, por su geografía accidentada no cuenta con otras vías de comunicación importantes tales como líneas de ferrocarril o pistas aéreas.

2.3 Clima y vegetación.

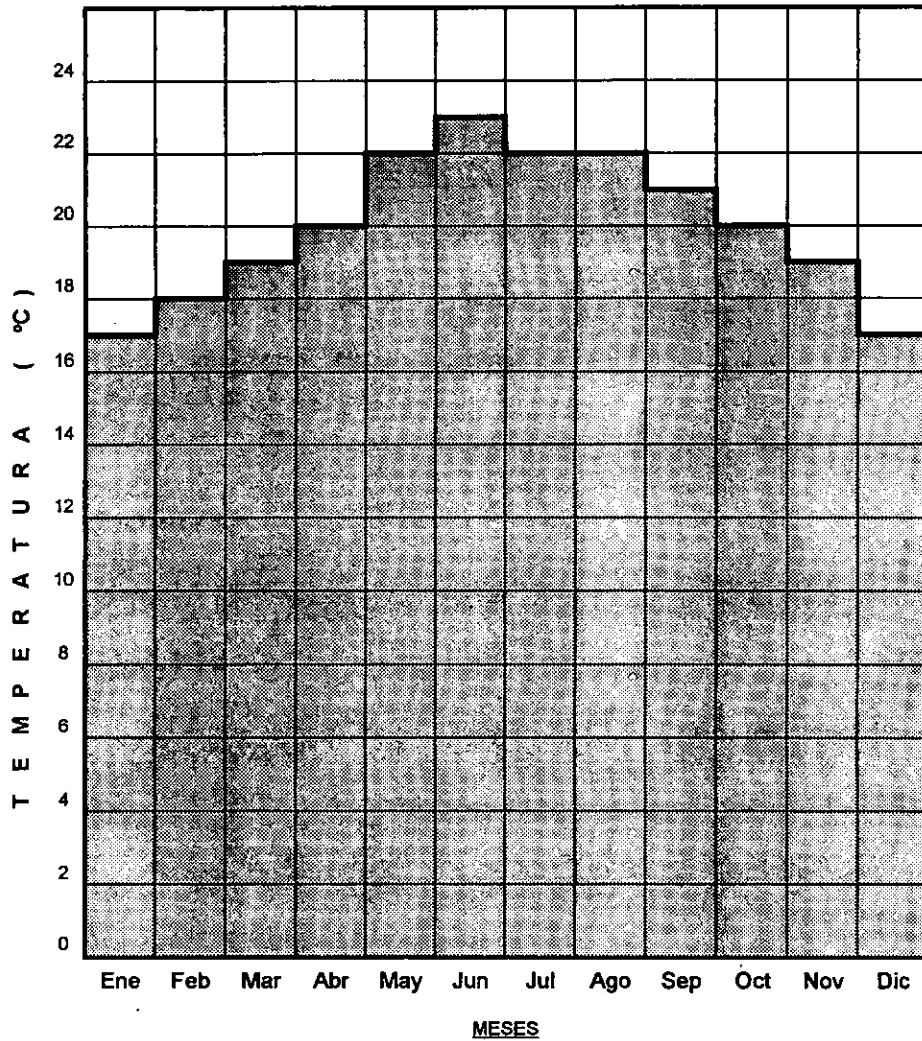
Los factores que determinan la aridez en las laderas de la barranca de Metztitlán son diversos, entre ellos se debe a la dirección de los vientos húmedos del Noreste provenientes del golfo de México, que inciden en forma

perpendicular a los principales accidente orográficos de la sierra; otras de las causas es el tipo de suelo existente en estas laderas, cuya permeabilidad provocan que no retengan la humedad, como el caso contrario a los suelos de la planicie aluvial de la vega; y finalmente otra de las causas primordiales es el extenso periodo de insolación anual que prevalece en la zona.

De acuerdo con los datos de la carta de climas 14Q-IV, editada por CETENAL, en 1970, la temperatura media anual de la vega de Metztlán varía entre 18° y 22° C en un clima considerado como seco- semicálido con inviernos frescos (Figura N° 3).

Las máximas precipitaciones de lluvias (Figura N° 4), se presentan en los meses de mayo a septiembre y en los meses de noviembre a abril predomina el estiaje. Los registros de que se dispuso, señalan para la estación de Metztlán valores de 427.4 mm de promedio anual, los extremos registrados son de 315 mm como mínimo y de 685 mm como máximo, en tanto que las láminas de evaporación anual observadas cuadruplican a las de lluvia, ya que la evaporación observada en un periodo de 21 años de 1950 a 1970 fue de 1,715 mm de promedio anual, con una dispersión muy baja entre los valores anuales reportados.

La vegetación en los alrededores del área de estudio se encuentra distribuida en relación con el clima y esencialmente a la topografía, ya que mientras en la fertilidad de la vega se cultivan los más variados arboles frutales tales como el nogal, aguacate, mangos, naranjos, limoneros, mameyes, zapote blanco, guayabos, chirimoyas y papayos entre otros, así como gran variedad de granos y legumbres como son el maíz, trigo, cacahuete, tomate, papa y chile;



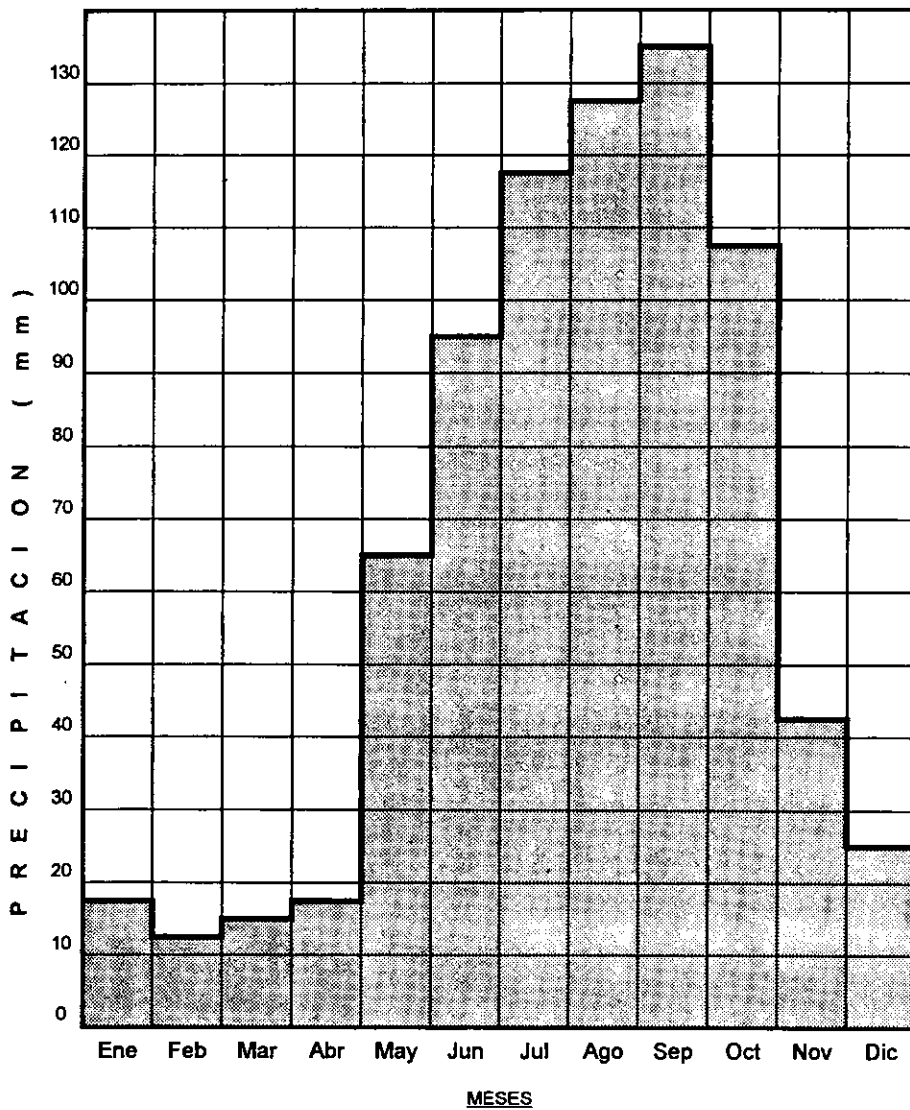
U N A M
FACULTAD DE INGENIERÍA
 INGENIERO GEÓLOGO

TITULO:
 "TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES."

Tesis profesional de Saúl Alarcón Parra.

FIGURA Nº. 03

JUNIO DE 1998.



U N A M
FACULTAD DE INGENIERÍA
 INGENIERO GEÓLOGO

TITULO:
 PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES.

Tesis profesional de Saúl Alarcón Parra.

FIGURA N°. 04

JUNIO DE 1998.

en las extensas laderas de la barranca de Metztlán se presenta en forma contrastante una gran variedad de cactus, entre los cuales se tiene el singular "viejito", originario de ésta región y que hoy es cultivado en muchas partes del mundo.

De acuerdo a la nomenclatura empleada por Rzedowski, 1968, la vegetación predominante en las laderas de la barranca de Metztlán, se caracteriza en las siguientes especies:

<i>Opuntia</i>	(nopales)
<i>Cephalocereus</i>	(viejito)
<i>Stenocereus</i>	(órgano o candelabro)
<i>Myrtillocactus</i>	(garambullo)
<i>Ferocactus</i>	(biznaga-uña de gato)
<i>Echinocactus</i>	(biznaga grande)
<i>Mammillaria</i>	(biznaga de chilitos)

Las especies antes descritas se encuentran mezcladas con matorral espinoso integrado principalmente por las especies de *Prosopis*, *Acacia*, *Mimosa* y *Fouquieria*, así también se tienen izotales donde predomina la *Yucca*, *Agave*, *Hechtia* y *Dasyliirion*.

2.4 Importancia Socioeconómica e histórica.

La región de Metztlán se conoce por su famosísima "Vega", así como por la laguna del mismo nombre, su importancia económica radica en los cultivos obtenidos de las extensas tierras que conforman a la planicie, las cuales son

tan fértiles que se levantan hasta cuatro cosechas de temporal en el año, abasteciendo no solo a la región sino también a todos los demás pueblos de la comarca.

La población de Metztlán con tan solo 4,500 habitantes (censo de 1992), es y ha sido desde épocas remotas, el centro socioeconómico más importante de la región, existiendo documentos que relatan que antes de la llegada de los primeros evangelizadores de la región, los antiguos pobladores indígenas tenían su centro de acción precisamente en este sitio, el cual continuó con la llegada de los frailes agustinos en el año de 1536, que llegaron abarcar su dominio a los estados de Hidalgo, San Luis Potosí y Querétaro.

La importancia de Metztlán y lo remoto de su origen han ocasionado que varios autores diserten sobre la interpretación del origen de su nombre, indicando en su mayoría que el petroglifo de Metztlán, debe descomponerse en: "meztli" que significa luna; "tli" que significa piedra; y "tlan", que significa lugar, por lo tanto Metztlán significa "luna sobre la piedra", lo anterior se apoya también con la leyenda de que los antiguos pobladores de aquella región tenían la preferencia de hacer sus guerras en la noches de luna.

En lo correspondiente a su relevancia histórica, ésta radica en la construcción de los monumentos históricos en el siglo XVI, iniciando en 1537 la edificación de un convento en las partes bajas de la población, el cual fue abandonado por la numerosas inundaciones que se presentaron durante esa época, constituyendo en la actualidad las ruinas conocidas con el nombre de "La Comunidad". Tras el abandono en 1539 de la comunidad, se inicia a edificar la llamada "Tercena", así como la actual iglesia y convento conocido con el

nombre de la advocación a "Los Santos Reyes", siendo erigido éste, en el año de 1541.

El "Exconvento Agustino de los Santos Reyes", es considerado actualmente como monumento Nacional Patrimonio Histórico y Arquitectónico, debido a su gran extensión, sólida construcción en bóveda, su decoración interior en altares e imágenes, alhajas de plata, numerosos ornamentos, campanas y retablos de gran relieve y belleza.

III.- MÉTODO DE TRABAJO.

3.1 Investigación Bibliográfica.

Con la finalidad de tener conocimiento más amplio de la información existente, se llevó a cabo la investigación bibliográfica, que consistió en la revisión de documentos, publicaciones y estudios tanto inéditos como publicados que tienen que ver con el fenómeno observado en la población de Metztlán.

Dentro de los estudios consultados se tiene el efectuado por Torres, 1992, para el Patronato de apoyo a la Población, Conservación y Custodia del Convento Agustino de los Santos Reyes Siglo XVI de Metztlán, Hidalgo; el artículo de Lugo, H., Zamorano J. y Gallegos G., publicado en la revista de Geofísica Internacional en 1993; las tesis para obtener el título de Ingeniero Geólogo de la Facultad de Ingeniería de la UNAM de Hernández B.y Hernández T., en 1991; y las tesis de García E., de 1977; Tejeda G., en 1978; Velarde R., en 1979; y Martínez G., en 1984 del IPN; así como diversos informes inéditos de Petróleos Mexicanos; y de publicaciones diversas de revistas científicas tales como el artículo de Segerstrom en 1961, para la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros; finalmente se consultaron las cartas de clima y topográficas publicadas por el INEGI.

3.2 Fotogeología.

Con el fin de contar con una cartografía detallada de la zona, se realizó un estudio de fotogeología, mediante la interpretación de fotos aéreas a escala

1:35,000, tomadas en el año de 1976 por la empresa de CETENAL. La fotointerpretación se llevó a cabo utilizando un estereoscopio de espejos modelo ST4 marca Wild. Con la interpretación de las fotos se determinaron algunos de los contactos geológicos visibles, además de señalar otros rasgos físicos, que de alguna manera se encuentran involucrados en los aspectos geológicos regionales, particularmente en lo que concierne a la hidrología de la región, los rasgos geomorfológicos, las diferentes litologías y las estructuras geológicas mayores.

3.3 Levantamiento geológico.

El levantamiento geológico se efectuó básicamente en la población de Metztlán y sus alrededores, su objetivo era determinar con detalle la estratigrafía general tanto superficial como del subsuelo, diferenciando las diversas formaciones mesozoicas y cenozoicas, así como el levantamiento de los rasgos geológicos estructurales, que de manera directa o indirecta están íntimamente ligadas al fenómeno de deslizamiento de tierras.

Con base en los resultados obtenidos se logró determinar las diferentes estructuras geológicas y la estratigrafía del sitio, observando en ésta un alto grado de complejidad ya que cada unidad litológica presenta anisotropía en cuanto al grado de alteración, composición química y mineralógica, dureza y textura, así como la conformación de bloques dislocados por fallas normales.

Parte de los trabajos realizados en campo fue el levantamiento de la geología a detalle en un área de aproximadamente 6.5 km², cubriendo la mayoría de la zona urbana de Metztlán; también se efectuó un levantamiento geológico de

campo, de las secciones longitudinales y transversales al lomerío donde se asienta la población.

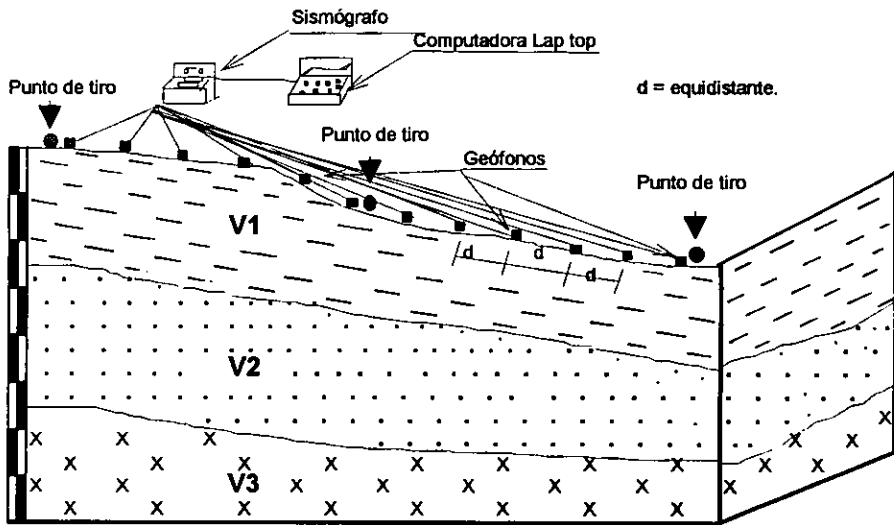
Con los datos recabados en campo y conjuntamente con los resultados de las diferentes etapas de exploración efectuadas con sondeos y pozos a cielo abierto, se elaboraron los planos de los anexos 4 y 5 en donde se muestra tanto la distribución cartográfica de las distintas unidades estratigráficas que afloran en superficie, así como una distribución de las unidades litológicas que subyacen a los rellenos y construcciones.

3.4 Estudio Geofísico.

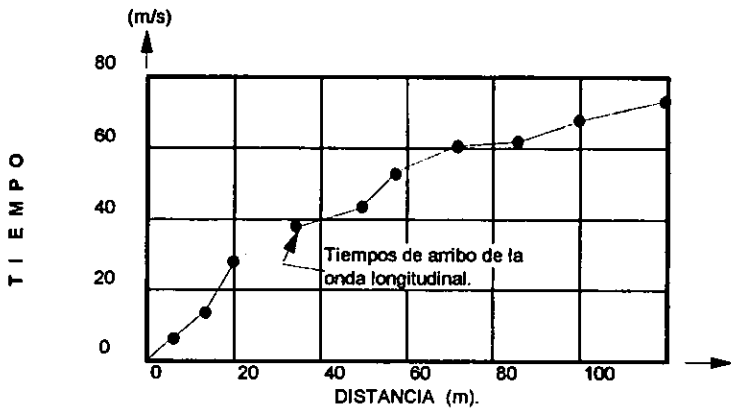
Se llevó a cabo una campaña de exploración geofísica realizada por la compañía EXYCO S.A., empleando el método de sísmica de refracción (Figura N° 5), a través de diferentes líneas distribuidas en las principales calles de la población, ejecutadas en dos etapas que se describen a continuación:

En la primera etapa se realizaron cinco tendidas de sísmica de refracción a manera de prueba, por realizarse en una zona poblada en donde existen condiciones de ruido ambiental muy fuertes, habiéndose obtenido resultados de buena calidad y consistencia, no así los resultados de algunas pruebas utilizando el método de resistividad eléctrica.

En la segunda etapa, se efectuó un total de 43 tendidas de sísmica de refracción distribuidas en la totalidad de la zona poblada. En cada una de las líneas de sísmica, se distribuyeron 12 geófonos sobre la superficie del terreno, cubriendo longitudes variables entre 40 y 60 metros y espaciamientos entre geófonos de 3 y 5 metros.



$V3 > V2 > V1$



U N A M FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERO GEÓLOGO	TÍTULO: "ESTUDIO GEOFÍSICO DE SÍSMICA DE REFRACCIÓN".	FIGURA N°. 05 JUNIO DE 1998.
	Tesis profesional de Saúl Alarcón Parra.	

El dispositivo utilizado como fuente de energía fue un martillo de 5 libras de peso, utilizándose una placa metálica como receptor. Los puntos de tiro se ubicaron en cada uno de los extremos y en el centro del arreglo de geófonos, el golpe de martillo se sincronizó con el sismógrafo, de modo que al tiempo de transmitir la energía al subsuelo se iniciara la grabación de la recepción de las ondas sísmicas transmitidas a través del terreno en cada uno de los detectores, y así poder determinar los tiempos de arribo de las ondas generadas.

El equipo utilizado fue un sismógrafo de 12 canales, modelo ES-1225 marca Geometrics, que está diseñado para visualizar en pantalla la información registrada y poder analizar en forma inmediata el tiempo de los primeros arribos, entre otras funciones presenta un puerto de salida RS-232, para grabar la información de campo en una computadora portátil (Lap-top).

Una vez obtenidos los sismogramas se continuó con la lectura de los tiempos de los primeros arribos y conocidas las ubicaciones tanto de los puntos de tiro como de los geófonos, se construyeron gráficas marcando puntos donde el eje vertical corresponde al tiempo y el horizontal a la distancia.

A través de estas gráficas se analizaron los contrastes de velocidad sísmica aparente, la cual corresponde a las condiciones naturales de los materiales del subsuelo, posteriormente se obtuvieron las velocidades reales y espesores de cada una de las capas que fueron registradas, para formar un modelo geofísico del sitio, el cual consiste en la agrupación de valores de velocidad de propagación de magnitudes similares, definiéndose así zonas con características similares.

Con base en los resultados de las tendidas sísmicas y de la exploración a través de los sondeos a cielo abierto y lumbreras, y una vez procesada e interpretada la información, se definieron los lineamientos para plantear la exploración profunda, la cual sirvió de apoyo, medio de verificación y complemento para la interpretación final de los resultados.

Con los datos obtenidos de los sondeos exploratorios y conjuntamente con los resultados del estudio geosísmico, se interpretaron un total de 14 secciones de integración geológica-geofísica que se muestran en el anexo N° 3.

3.5 Trabajos de Exploración.

De acuerdo con los datos obtenidos de los levantamientos geológicos y el estudio de geofísica, se programó una campaña de exploración consistente en la ejecución de calas, pozos a cielo abierto y sondeos profundos, tomando en cuenta los aspectos siguientes:

1. Determinar las características de las grietas a profundidad.
2. Definir las características de cimentación y materiales de apoyo de las construcciones con daños estructurales visibles.
3. Verificar y complementar la información del estudio geofísico
4. Extracción de muestras del subsuelo para definir las propiedades de las diferentes unidades estratigráficas.
5. Definir las relaciones estratigráficas de las unidades litológicas.

Considerando lo anterior, se ejecutaron un total de 11 calas; 36 pozos a cielo abierto; 2 lumbreras; 4 sondeos de muestreo mixto a 30.0 metros de profundidad cada uno y dos sondeos de penetración estándar a 26.25 y 20.0 metros de profundidad respectivamente.

Tanto en los pozos como en las calas , se llevó a cabo un levantamiento a detalle de la estratigrafía, definiéndose características tales como la compacidad o consistencia de los materiales, la clasificación macroscópica de suelos y roca, la continuidad de grietas y contactos geológicos.

En los sondeos de tipo penetración estándar además de obtener muestras del subsuelo, a través del empleo de un tubo muestreador de doble caña, se determinó la consistencia o compacidad del subsuelo, mediante la correlación del registro de número de golpes requerido para penetrar el tubo muestreador en un tramo de 60 cm dividido en tres secciones. La maquinaria empleada fue una perforadora Longyear modelo 44 equipada con bomba de lodos tipo Moyno.

En los sondeos de muestreo mixto, además de realizar la prueba dinámica de penetración estándar, se alternó esta con la extracción de muestras inalteradas mediante el empleo de tubos de pared delgada (Shelby) de 4" de diámetro, que se hincaron a presión, o rotación e inclusive con dientes en forma de sierra en los materiales de mayor consistencia. El hincado del tubo se efectuó con el sistema hidráulico de la maquina perforadora. En las profundidades en donde se detectó la presencia de roca, se empleó barril muestreador de diámetro convencional NXL y con broca de diamante, con el cual se extrajeron núcleos de roca que sirvieron para definir entre otras características, la estratigrafía general del subsuelo; el tipo de

discontinuidades; y el índice de calidad de la roca. En las profundidades donde las paredes del barreno eran inestables fue necesario el empleo de ademe metálico o la utilización de estabilización mediante el inyectado de lechadas de cemento.

3.6 Instrumentación.

Con la finalidad de conocer y evaluar con precisión la magnitud, dirección y sentido de los desplazamientos de tierra, se instaló un sistema de instrumentación en la zona del Barrio El Calvario como en algunos otros puntos de la población. La instrumentación instalada consistió en lo siguiente:

1. Colocación de testigos de yeso o placas metálicas en grietas observadas tanto en muros de las casas, como en bardas y en los monumentos históricos.
2. Colocación de 230 referencias superficiales, distribuidas a lo largo de 11 secciones topográficas.
3. Colocación de 27 niveletas o referencias en estructuras, principalmente en los monumentos históricos.
4. Medición de desplomes en estructuras visiblemente afectadas.
5. Instalación de cuatro tuberías de ranura para la medición con el instrumento conocido como inclinómetro.

El monitoreo del sistema de instrumentación se realizó durante la etapa en que se llevó a cabo el estudio, es decir hasta marzo de 1993, habiéndose en este lapso de tiempo, verificado la tendencia general del movimiento así como su magnitud; y algunos otros aspectos importantes como la presencia de agua subterránea, los cuales se discuten más adelante.

IV.- GEOLOGÍA GENERAL.

4.1 Fisiografía.

La población de Metztitlán se encuentra ubicada en la provincia denominada Sierra Madre Oriental (Figura N° 6), esta provincia está integrada por una cadena montañosa formada por sierras alargadas casi paralelas, separadas por valles intermontanos; en estas sierras afloran rocas sedimentarias marinas plegadas, fracturadas y afalladas de edades mesozoicas, que descansan sobre un basamento metamórfico del paleozoico y con intrusiones de cuerpos ígneos del terciario; en algunas partes se encuentran coronadas por derrames de lava de composición basáltica que forman mesetas.

las sierras se caracterizan por presentar un fuerte grado de disección y desarrollo de cañadas por la acción principalmente de ríos y arroyos que fluyen y van labrando la morfología actual. Los sistemas de drenaje observados se asocian al tipo de litología existente, así como a las discontinuidades y fracturas presentes.

4.2 Geomorfología.

El relieve del área en estudio corresponde a un terreno irregular por la distinta naturaleza litológica de las rocas, las cuales conforman a un conjunto de sierras menores afectadas por plegamientos y fracturamiento y que contrasta con la superficie plana del valle donde fluye el río Metztitlán y que corresponde



PROVINCIAS FISIOGRAFICAS.

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| I PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA. | II DESIERTO SONORENSE. |
| III SIERRA MADRE OCCIDENTAL. | IV SIERRAS Y LLANURAS DEL NORTE. |
| V SIERRA MADRE ORIENTAL. | VI GRAN LLANURA DE NORTEAMERICA. |
| VII LLANURA COSTERA DEL PACÍFICO. | VIII LLANURA COSTERA DEL GOLFO NORTE. |
| IX MESA DEL CENTRO. | X EJE NEOVOLCÁNICO. |
| XI PENÍNSULA DE YUCATAN. | XII SIERRA MADRE DEL SUR. |
| XIII LLANURA COSTERA DEL GOLFO | XIV SIERRAS DE CHIAPAS. |
| XV CORDILLERA CENTROAMERICANA. | |

TOMADA DE INEGI, MORAN ZENTENO, 1984

U N A M FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERO GEÓLOGO	TITULO "PROVINCIAS FISIOGRAFICAS DE LA REPÚBLICA MEXICANA".	FIGURA N°. 06
	Tesis profesional de Saúl Alarcón Parra.	JUNIO DE 1998.

a una planicie donde se acumularon sedimentos lacustres y aluviales a partir del cierre del valle, provocado por un derrumbe o deslizamiento de rocas calcáreas que cerró el drenaje y formó la laguna (Waitz, 1947).

Hacia la sierra, la geomorfología se encuentra en una etapa juvenil avanzada dentro del ciclo geomorfológico, en donde predominan los sistemas de topoformas accidentadas tales como cañones, cantiles, barrancas profundas, mesetas altas y valles intermontanos principalmente.

Los cañones y barrancas profundas presentan taludes de pendiente abrupta, que han sido labrados en rocas que fueron afectadas por plegamiento y que manifiestan fuertes ondulaciones paralelas y alargadas. La flexión o las flexiones manifestadas por estas rocas dio origen a sistemas de fracturamiento, correspondientes a planos de debilidad susceptibles a los procesos erosivos que actúan sobre los núcleos de los pliegues. Es por eso que el estado actual de desarrollo de la sierra, son comunes las estructuras constituidas por dos flancos residuales de un anticlinal con un valle al centro, por donde corría la cresta del plegamiento original entero, dando lugar a la socavación por erosión fluvial que originó estas topoformas.

Las mesetas altas corresponden a planicies formadas por derrames de lava fisural (ya que no se observan aparatos volcánicos), de composición basáltica, que coronan las partes altas de la sierra; este tipo de formas del relieve es común observarse al norte del poblado de Ixtayatla y hacia el sur del área de estudio.

El valle intermontano por donde fluye el río Venados o Metztitlán, está alineado en dirección NW-SE, relleno por depósitos aluviales y lacustres de gravas, arenas, limos y arcillas, producto de la erosión de rocas preexistentes, observando al pie de las sierras una morfología típica de abanicos de pie de monte.

Las rocas de tipo arcilloso presentan un relieve menos abrupto, con una topografía suave y con un sistema de drenaje dendrítico, a excepción de las zonas activas de la laderas inestables que conforman circos de erosión de formas cóncavas, muy comunes en la zona.

En la sierra que se observa al norte del poblado de Metztitlán, se presenta un paisaje modelado tanto por la geodinámica interna que provocaron la dislocación de bloques, mediante planos de fallas normales muy comunes en la ladera, que formaron cantiles, y que a través de estos se desplazaron emisiones de lava basáltica. También se observa el modelado de la geomorfología externa asociada al labrado de los escurrimientos superficiales que erosionan principalmente a los materiales blandos; en la mayoría el patrón de drenaje y modelado de la topografía son gobernados por discontinuidades o por la presencia de cuerpos masivos de roca calcárea o basáltica que sobresalen al resto de la topografía.

4.3 Estratigrafía regional.

La secuencia estratigráfica de la zona de Metztitlán (Figura N° 7), determinada mediante la recopilación de bibliográfica y complementada por los reconocimientos geológicos de campo, está constituida por rocas

TABLA DE CORRELACIÓN ESTRATIGRAFICA PARA LA POBLACIÓN DE METZTITLAN, HGO.

ERA	PERIODO	EPOCA	m.a.	EDAD	AREA DE METZTITLAN HGO.	AREA DE HUAYACOCOTLA	PLATAFORMA		
							VALLES-SAN LUIS POTOSÍ		
							P. CENTRO	P. ORIENTAL	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	0.01		SUELOS Y ALUVIONES	SUELOS Y ALUVIONES	SUELOS Y ALUVIONES	SUELOS Y ALUVIONES	
		PLEISTOCENO	1.80		BASALTO SAN CRISTOBAL		LA BONREGUITA STO DOMINGO		
	TERCIARIO	PLIOCENO	6.00	ASTIANO	ATOTONILCO				
				PLAISANCIANO	EL GRANDE				
				PONTIANO-SARMANTIANO					
		MIOCENO		TORTONIANO-HELVETIANO					
				BURDIGALIANO-AQUITATIANO					
				CHATTIANO					
		OLIGOCENO		RUPELIANO	GRUPO EL MORRO				
				TONGRIANO					
				LUDIANO-BATANIANO					
		EOCENO		AUVERSIANO-LUTETIANO					
				CUISIANO-YPRESIANO					
		PALEOCENO	53	THANETIANO					
				MONTIANO					
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	94	MAESTRICHTIANO	FM. MENDEZ	FM. MENDEZ	FM. CARDENAS	FM. MENDEZ	
				CAMPANIANO	SE	FM.			
				SANTONIANO	NO	SAN FELIPE	FM. SAN FELIPE	FM. TAMASOPO	FM. SAN FELIPE
				COMACIANO	NO	FM. AGUA NUEVA		????	
				TURONIANO		FM. AGUA NUEVA		FM. AGUA NUEVA	
	CRETACEO	MEDIO	106	CENOMIANO					
				SUPERIOR	AL	FM. EL ABRA	FM. CUESTA DEL CURA	FM. EL ABRA (Postarrecifal)	FM. EL ABRA (arrecifal y Postarrecifal)
				MEDIO	B				
				INFERIOR	I	FM. TAMAULIPAS		????	????
					N				
	CRETACEO	INFERIOR	112	GARGASIANO	AP	SUPERIOR	FM. TAMAULIPAS SUPERIOR		
				BEDULIANO	TI	OTATES	FM. OTATES		
				BARREMIANO	NO			FM. GUAXCAMA	
				HAUTERVIANO	NE	FM. TAMAULIPAS INFERIOR	FM. TAMAULIPAS INFERIOR	FM. TAMAULIPAS INFERIOR	
				VALANGINIANO	CO				
JURASICO		138	BERRUASIANO	MI					
				ANO		FM. PIMIENTA	FM. PIMIENTA(2)		

FIGURA No. 07

COMPILADA POR : SAUL ALARCON PARRA
 TESIS PROFESIONAL
 FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM

sedimentarias marinas del cretácico y por unidades de origen continental y volcánico del terciario.

Antes de iniciar la descripción estratigráfica, se debe mencionar que las primeras tres unidades que se describen, se encuentran en una etapa de revisión en cuanto a su nomenclatura estratigráfica, por lo cual para fines prácticos de este estudio, se utilizan los nombres normalmente conocidos.

Formación Tamaulipas Inferior (Muir, 1936).

Esta unidad está formada por calizas de color gris claro de textura micrítica con estratos que van de 0.70 a 1.50 metros de espesor, presenta estructuras estilolíticas y escaso nódulos de pedernal negro.

De acuerdo a sus características y contenido de fósiles constituidos por foraminíferos planctónicos (García, 1977), se considera que se depositó en un ambiente de cuenca. Se le asigna una edad correspondiente al Hauteriviano-Barremiano (García, 1977), correlacionable con la Formación Cupido o Taraises y se encuentran subyaciendo en forma concordante y transicional al horizonte Otates.

Esta unidad aflora en las márgenes derecha e izquierda del río Metztlán, teniendo su mejor exposición sobre el camino que lleva al poblado de Tepatetipa, en los flancos del cerro Partido y en el arroyo San Juan. Se le estima un espesor de 556 metros (Carrasco, 1969).

Horizontes Otates (Muir, 1936).

Está representado por calizas arcillosas de color gris claro y oscuro, de estratificación delgada, con capas delgadas de 0.20 a 0.50 metros de espesor, presenta intercalaciones de escasos 2 cm de lutitas laminares. Es de edad Aptiano y se correlaciona con la Formación La Peña y San Juan Raya. Su ambiente de depósito es de cuenca, con aporte de terrígenos.

Sus límites inferior y superior son transicionales y concordantes con las formaciones Tamaulipas Inferior y Superior respectivamente.

En la región solo aflora al NW, en las cercanías del poblado de Zoquizoquipan, Hgo., y se le estima un espesor de 8.0 metros (Martínez, 1984).

Formación Tamaulipas Superior (Muir, 1936).

Está constituida por calizas de color gris claro de textura micrítica, de estratificación mediana con lentes y horizontes de pedernal negro, de hasta 5 cm de espesor, ocasionalmente presenta estructuras de deformación en forma de "arrosamiento".

De acuerdo con su contenido de fósiles se le asigna una edad del Aptiano Superior al Albiano Inferior y se correlaciona con la Formación el Abra y El Doctor. Su ambiente de depósito es de cuenca.

Sus límites inferior y superior son concordantes y transicionales con el Horizonte Otates y Formación Agua Nueva respectivamente, en tanto que lateralmente presenta un cambio de facies con la Formación El Abra.

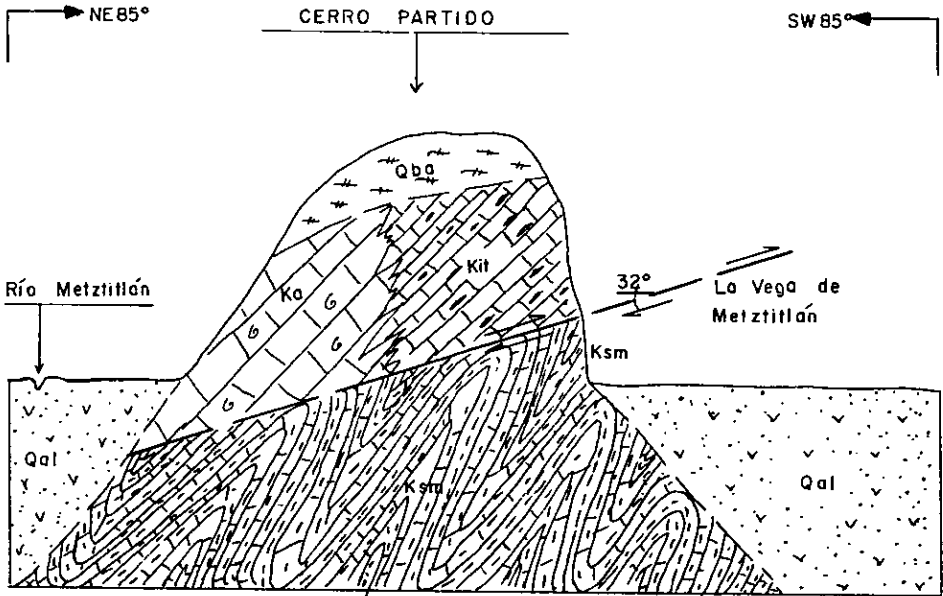
Esta unidad aflora en ambas márgenes del río Metztlán, así como en la carretera que va a los poblados de Amajatlán y Pedregal de Zaragoza. Se le estima un espesor de 472 metros (Carrasco, 1969).

Formación El Abra (Garfias, 1915; Kellum, 1930).

Está conformada por calizas arrecifales y calizas dolomíticas de color café claro a oscuro y gris claro en superficie fresca, tiene una textura micrítica y biomicrítica recristalizada, su estratificación es de gruesa a masiva con bandas de pedernal negro.

Por su contenido de fósiles se le asigna una edad del Albiano Medio al Cenomaniano Inferior y se correlaciona con las Formaciones Tamaulipas Superior, El Doctor y Cuesta del Cura. Su ambiente de depósito es de plataforma de facies pre-arrecifal y arrecifal.

Esta unidad aflora principalmente en el Cerro Partido (Figura N° 8), donde se encuentra en contacto por cabalgadura sobre la Formación Méndez del Cretácico Superior. Se le estima un espesor de 820 metros (Carrasco, 1969).



LEYENDA

	Qal	Aluvión.	Cuaternario.
	Qba	Basalto San Cristobal	Cuaternario.
	Ksm	Formación Méndez.	Cretácico Superior.
	Ka	Formación El Abra.	Cretácico Inferior.
	Kit	Formación Tamaulipas.	Cretácico Inferior.

U N A M

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERO GEÓLOGO

TITULO: "ESQUEMA DE LA FALLA DE CABALGADURA METZTITLÁN".

Tesis profesional de Saúl Alarcón Parra.

FIGURA N°. 08

JUNIO DE 1998.

Formación Agua Nueva (Stephenson, 1901).

Está compuesta por calizas de color gris claro a gris oscuro, con tonos que van de crema a ocre e inclusive verde pálido, presenta una textura micrítica muy arcillosa, de estratificación delgada con estratos intercalados de lutitas calcáreas de textura fina.

Se le asigna una edad del Turoniano-Santoniano Inferior y se correlaciona con la Formación Cuautla. Su ambiente de depósito es de cuenca, de acuerdo a su contenido faunístico de foraminíferos planctónicos.

Los límites inferior y superior de la formación Agua Nueva son concordantes y transicionales con las Formaciones Tamaulipas Superior y San Felipe respectivamente.

Esta unidad aflora en la margen derecha del río Metztlán, así como en los poblados de Amajatlán, Pedregal de Zaragoza y en las cercanías de San Juan. Se le estima un espesor de 476 metros (Martínez, 1984).

Formación San Felipe (Muir, 1936).

Está constituida por calizas arcillosas y margas de color gris claro y verde olivo que altera a un color verde a café ocre, presenta una estratificación mediana

con horizontes laminares de calcilutitas o bentonita de color verde olivo de hasta 5 cm de espesor.

De acuerdo a su contenido de fósiles principalmente foraminíferos planctónicos, se le asigna una edad del Santoniano Superior al Campaniano Inferior. Se correlaciona con la Formación Guzmantla de la porción Centro del Estado de Veracruz. Su ambiente de depósito es marino de aguas poco profundas con abundante aportación de terrígenos.

La Formación San Felipe presenta una morfología de pendientes suaves, formando puertos de erosión debido a su composición litológica, la cual es muy deleznable y fácil de erosionar, con un sistema de drenaje dendrítico bien desarrollado.

Sus límites inferior y superior son concordantes y transicionales con las formaciones Agua Nueva y Méndez respectivamente.

Esta unidad aflora en ambos márgenes del Río Metztlán, así como en los alrededores de los poblados de El Salitre, Pueblo Nuevo y Amajatlán. Se le estima un espesor de 294 metros (Martínez, 1984).

Formación Méndez (Jeffreys, 1910).

Está formada por una secuencia estratificada de margas de color café claro amarillento y verdoso; con lutitas y limolitas de color verde claro a oscuro;

calizas arcillosas de color gris y café claro; y limolitas bentoníticas de color verde olivo. Las margas presentan una estratificación delgada con fracturamiento concoidal, mientras que las lutitas y limolitas se presentan en capas delgadas y laminares, con fracturamiento intenso.

La Formación Méndez al igual que la San Felipe, presenta una morfología de pendientes suaves, formando puertos de erosión debido a su composición litológica, la cual es muy deleznable y fácil de erosionar, con un sistema de drenaje dendrítico bien desarrollado.

Esta formación se depositó en un ambiente de aguas poco profundas con un constante aporte de terrígenos, probablemente durante la época de su depósito, prevaleció una intensa actividad volcánica al Occidente de la zona. Con base en su contenido de fósiles se le asigna una edad del Campaniano-Maestrichtiano y se correlaciona con la Formación Mexcala.

El límite inferior de la Formación Méndez es concordante y transicional con la Formación San Felipe; en tanto que su límite superior es discordante y erosional con los sedimentos Terciarios del Grupo El Morro.

Aflora en los alrededores del Cerro Partido y en las montañas de Amajac, en las cercanías de los poblados Venados y Pueblo Viejo; en el área en estudio aflora en el cauce del arroyo Tlaxomoti. Se le estima un espesor variable de 120 a 300 metros (García, 1977).

Grupo El Morro (Segerstrom, 1961).

Lo constituye un grupo de conglomerados calizos, de color variable de gris claro y rojo oxido, están formados por fragmentos del tamaño de las gravas y boleos entre 3 y 20 cm, de composición calcárea, de forma subredondeada a redondeada , empacados en una matriz arenosa, cementada con carbonato de calcio que dan como resultado su alta resistencia a la erosión, conformando en algunos sitios cantiles de paredes verticales.

Su ambiente de depósito es continental en cuencas endorreicas formadas por la actividad postorogénica del Terciario Inferior.

De acuerdo con Segerstrom (1961), las características de esta unidad y su relación con las rocas que le subyacen, sugieren que la edad del grupo puede correlacionarse con el "Conglomerado Rojo" de Guanajuato (Edwards, J.D.), asignándole por lo tanto, una edad Eoceno -Oligoceno Superior.

Los sedimentos del Grupo El Morro descansan en discordancia angular y erosiva sobre las calizas de las Formaciones Tamaulipas y Méndez, y lo sobreyacen los sedimentos lacustres de la Formación Atotonilco El Grande, en forma discordante y erosional.

Aflora en ambas márgenes del río Metztlán y en las montañas de Amajac sobre la Formación Méndez. Se le estima un espesor variable entre 60 y 200 metros.

Formación Atotonilco El Grande (Segerstrom, 1961).

Está constituida por sedimentos arcillosos lacustres de estratificación horizontal, de colores que varían del amarillo ocre a oscuro, con tonos verdosos, violáceos y blanquecinos, se intercala con capas de tobas arenosas, areniscas, lutitas calcáreas, margas y calizas lacustres recristalizadas, además presenta abundantes cristales de yeso dispersos y en pequeñas bandas, comúnmente se presenta con intrusiones de roca basáltica en forma de diques y dique-estratos, mostrando un metamorfismo de contacto a pequeña escala.

Los límites inferior y superior son discordantes y erosionales con las unidades litológicas del Cretácico Superior que la subyacen y los depósitos aluviales del Cuaternario que la sobreyacen. El depósito de los sedimentos de esta formación tuvo lugar en un ambiente lacustre, que representa las cuencas endorreicas o grabens que se formaron a partir de la etapa postorogénica del Terciario. Se le asigna una edad del Plioceno al Pleistoceno (Segerstrom, 1961), correlacionable con la Formación Tarango. Aflora en los alrededores de las poblaciones de Santa María Amajac y Metztlán.

Formación San Cristóbal (Segerstrom, 1956).

Está constituido por derrames de lava de composición basáltica, de color pardo amarillento en superficie de intemperismo y gris oscuro al fresco, de textura afanítica, ocasionalmente pueden observarse escasos fenocristales de anfíboles y olivino en una matriz microcristalina.

Se trata de una roca con fracturamiento moderado a alto, de estructura masiva, superficialmente presenta intemperismo esferoidal y escasamente exfoliación. Se le estima una edad del Pleistoceno en función de sus relaciones estratigráficas.

Esta unidad aflora principalmente en las partes altas de las sierras formando mesetas, en algunos sitios esta roca se encuentra relleno de cañones o sobre una paleotopografía existente; también se observa formando cuerpos irregulares en forma de diques y dique-estratos, por tal motivo y dado que no se observan en la zona aparatos volcánicos, el origen de esta unidad se asocia a derrames fisurales a través de fallas y fracturas. Su espesor varía de 3 a 120 metros.

Suelos y Aluvión.

Unidad de depósitos clásticos de edad reciente, producto de la erosión y depósito de sedimentos provenientes de rocas preexistentes, está constituida principalmente por gravas, arenas, limos y arcillas de alta plasticidad, de consistencias variables de blanda o suelta y de muy dura y compacta. Presenta en algunos sitios estratificación cruzada.

Estos materiales conforman el relleno de la planicie aluvial de la vega y los abanicos aluviales al pie de los cerros y montañas, por tal motivo su espesor varía de unos cuantos centímetros a decenas de metros.

4.4 Geología Estructural.

A partir de las deformaciones ocurridas durante la orogenia Larámide a finales del Cretácico Superior y principios del Terciario, se crearon pliegues asimétricos, recostados y en chevron, cuya orientación burda de sus ejes es en dirección NW-SE.

Regionalmente el área de Metztlán, se localiza en el flanco Occidental del anticlinorio de Huayacocotla, conformado por pequeños pliegues asimétricos con convergencia hacia el Noreste y cuyos ejes se encuentran orientados en dirección NE-SW, mostrando el plegamiento cierto paralelismo entre sí.

Una de las estructuras importantes en la zona corresponde al sinclinal Metztlán, su eje se sitúa en la margen izquierda del río Venados , cortando al cerro Partido y continuando con la misma dirección del valle. El núcleo de este sinclinal está formado por lutitas y calizas arcillosas pertenecientes a la Formación Méndez. Esta estructura es asimétrica , recostado hacia el Noreste, cuyo eje está orientado burdamente en dirección NW-SE, con flancos inclinados hacia el SW.

Otra de las estructuras relevantes en la zona, es la presencia de una falla inversa o de cabalgadura , teniendo su mejor exposición en el Cerro Partido, en donde puede observarse con claridad el plano de falla con rumbo NW25° y echado de 32° en dirección SW (Figura N° 8), el bloque de techo está constituido por las rocas de la Formación Tamaulipas Superior y El Abra; y el bloque de piso por las rocas de la Formación Méndez.

Asociado a los esfuerzos distensivos postorogénicos Larámides, se tiene a un sistema de fallas normales orientadas ENE-WSW que provocaron el desplazamiento de bloques en forma escalonada y con ello la creación de grabens o fosas tectónicas.

4.5 Geología Histórica.

La historia geológica de la región de Metztlán está íntimamente ligada con los sucesos que dieron lugar a la creación de la Sierra Madre Oriental, teniendo en particular una correlación directa con la presencia del elemento morfoestructural situado al Noreste de la zona, conocido como Plataforma de Valles-San Luis Potosí, cuyo basamento está constituido por un complejo de rocas metamórficas de edad Paleozoico y que rigió el comportamiento de la sedimentación ocurrida durante el Mesozoico, así como al proceso de deformación de las orogénias ocurridas en el Paleozoico y durante el Cretácico Superior (Orogenia Larámide).

Para fines prácticos, en este estudio solo se describen los eventos geológicos más relevantes acontecidos en la región a partir del Jurásico Superior, con la formación del antiguo Golfo de México, durante la disgregación del supercontinente Pangea, que provocó que en el Norte y Noreste del país se diera una transgresión marina generalizada (Tardy, 1980).

La zona de Metztlán se sitúa entre los límites de la Cuenca Mesozoica de México y la porción Sureste de la Plataforma de Valles-San Luis Potosí, en donde durante el Cretácico Inferior (Neocomiano), con la transgresión marina

se inicia el depósito de los sedimentos calcáreos de la Formación Tamaulipas Inferior en un ambiente de cuenca, prosiguiendo en el Aptiano con la sedimentación del Horizonte Otates, periodo muy breve en el que prevaleció el aporte de terrígenos, quizá provocado por el vulcanismo que se daba en el Arco Magmático Occidental de México.

Durante el Albiano se totaliza la transgresión marina en la región, que cubre los últimos elementos morfológicos positivos, desarrollándose en el perímetro de la plataforma Valles-San Luis Potosí una franja arrecifal flanqueada por depósitos post-arrecifales y pre-arrecifales en un conjunto denominado Formación El Abra (Carrillo Bravo, 1971), teniendo su representación contemporánea en un ambiente de cuenca con la Formación Tamaulipas Superior.

Al inicio del Cretácico Superior cambia de manera drástica el régimen de sedimentación en el Oriente de México, con el aporte de sedimentos terrígenos provenientes del Occidente, que como ya se mencionó tenía lugar una intensa actividad volcánica. Durante esta época los mares se retiran paulatinamente hacia el Oriente en el actual Golfo de México, con la generación de deltas progradantes asociados.

En la cuenca Mesozoica de México, se deposita durante el cretácico Superior, los sedimentos calcáreos y arcillosos de las Formaciones Agua Nueva, San Felipe y Méndez, asociados a los eventos orogénicos Larámides que provocaron un levantamiento en la región y la consecuente regresión marina a principios del Terciario.

A partir del Terciario Inferior inicia el depósito de los sedimentos continentales pertenecientes al Grupo el Morro en cuencas endorreicas originadas a partir de la dislocación de bloque a través de fallas normales, producto de los esfuerzos distensivos postorogénicos que crearon fosas tectónicas y que sirvieron posteriormente, como receptáculo para el depósito de sedimentos lacustres durante el Terciario Superior, representados por las Formaciones Tarango y Atotonilco El Grande.

A finales de Terciario y principios del Cuaternario se origina una intensa actividad volcánica en la zona, con la emisión de derrames de basaltos fisurales, a través de fallas y fracturas, lo que actualmente se manifiesta mediante las mesetas de basalto que coronan las partes altas de las sierras y que constituyen a la Formación San Cristóbal.

V.- GEOLOGÍA LOCAL.

5.1 Geomorfología de la zona.

El sistema orográfico dominante está constituido por las estribaciones de la vertiente interior de la Sierra Madre Oriental, conocida localmente como Sierra de Zacualtilpán, con elevaciones entre los 2,000 y 3,000 msnm. En la parte baja de ésta Sierra y confinada por cadenas montañosas, se localiza la "Vega de Metztlitlán, en donde se asienta el Distrito de Riego del mismo nombre, con 4,100 hectáreas de terrenos fértiles, sensiblemente planos y con una elevación de alrededor de 1300 msnm.

La población de Metztlitlán se asienta sobre una colina alargada flanqueada en ambos lados por dos arroyos que drenan sus aguas hacia el cauce del río Metztlitlán, es decir con rumbo Norte a Sur, uno de estos arroyos se le conoce como "Tlaxómotl" y pasa al Nororiente de la colina donde se asienta la población antes citada; a lo largo de la cima de ésta colina, se presentan terrenos escalonados o planicies intermedias, cuyas pendientes del terreno son sensiblemente suaves en la dirección Sur, mientras que hacia sus extremos oriente y poniente, las laderas presentan pendientes de mayor inclinación, bordeadas por los arroyos antes citados.

De acuerdo con los resultados del estudio fotogeológico efectuado, así como a los reconocimientos geológicos de campo, se puede definir, que las laderas del lomerío en donde se asienta la población de Metztlitlán y algunas de las

laderas de la sierra circundante a ella, han sufrido deslizamientos de tierra desde tiempos geológicos remotos, similares al observado actualmente y que han dejado rasgos geomorfológicos muy comunes, como son las formas en forma de conchas cóncavas o escarpes de fallas normales visibles en la zona norte de la población.

Debido a estos deslizamientos de tierra se presenta en la actualidad un cuadro geológico complejo, conformado en gran parte por bloques dislocados, que ponen en contacto geológico por falla a diferentes litologías tales como bloques de roca basáltica, arena pumítica, calizas lacustres, margas y arcillas lacustres entre otras.

Hacia la planicie aluvial conocida como la "Vega de Metztlán" se presentan espesores importantes de materiales tanto aluviales como lacustres, que son el producto de la erosión de las laderas de las Sierras circundantes, que han ido rellenando el valle, posteriormente a la obstrucción natural del drenaje de la cuenca, provocado por un deslizamiento de tierras de gran proporción, que creó una cortina natural y que dio lugar a la formación de la laguna.

El drenaje de la zona está constituido por arroyos y afluentes del río Venados o Metztlán, el cual nace en las inmediaciones de la meseta de Tulancingo y desemboca sus aguas en la laguna Metztlán. Uno de sus afluentes es el arroyo Tlaxómotl que presenta un régimen de aportación de aguas temporales en épocas de lluvias, con un caudal que arrastra gran cantidad de sedimentos que deposita en las inmediaciones de la vega al pie de la sierra.

5.2 Estratigrafía local.

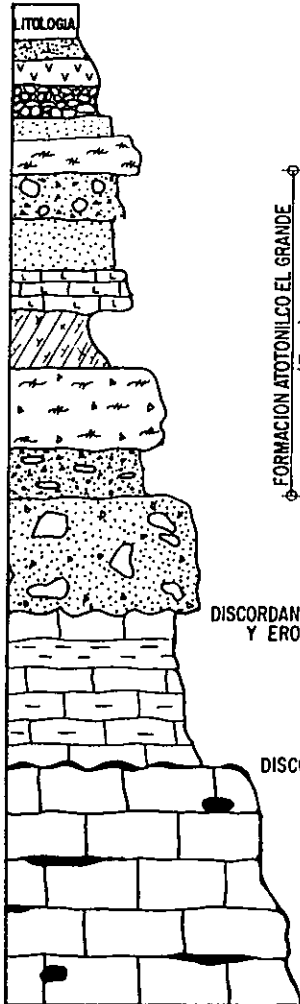
La unidad litológica que sirve como basamento en el cerro de Metztlán (figura N° 9), es la formación Méndez (Ksm), constituida por una secuencia de calizas arcillosas de color café y gris claro, lutitas de color café y verde olivo, lutitas calcáreas y margas de color blanquecino y crema; rocas depositadas en un ambiente marino durante el Cretácico Superior; esta formación se encuentra muy fracturada y plegada, producto de la deformación ocurrida durante la Orogenia Larámide, posterior a este evento se dieron lugar a esfuerzos distensivos en la región, que ocasionaron fallamientos normales que provocaron la creación de fosas tectónicas o grabens, los que sirvieron como receptáculos para la captación de sedimentos continentales que dieron lugar inicialmente a los depósitos del Grupo El Morro durante el Terciario Medio y posteriormente a los depósitos lacustres de la formación Atotonilco El Grande a finales del Terciario.

Debido a que el fenómeno de deslizamiento de tierras, se presenta particularmente en los materiales recientes que sobreyacen a la Formación Méndez, a continuación se describe las características estratigráficas que conforman a esta cubierta:

FORMACIÓN ATOTONILCO EL GRANDE (Tsat):

Esta formación está constituida por materiales producto de la erosión de unidades litológicas del cretácico, intercaladas con horizontes de origen volcánico, ambos depositados en un ambiente lacustre, las unidades que la conforman de la base hacia la cima son las siguientes:

ERA	PERIODO
C E N O Z O I C A	RECIENTE
	CUATERNARIO
	TERCIARIO SUPERIOR
M E S O Z O I C A	TERCIARIO INFERIOR
	CRETACICO SUPERIOR
	CRETACICO INFERIOR



- RELLENO ANTROPOGENO (Rh)
- SUELOS RESIDUALES (Qs)
- ALUVION (Qal)
- PUMICITA (Qps)
- BASALTO SAN CRISTOBAL (Qba)
- FORMACION ATONILCO EL GRANDE (Ts et)
- CONGLOMERADO (Cg)
- PUMICITA (Tpi)
- CALIZA LACUSTRE (Cz-la)
- ARCILLA LACUSTRE (Ar-la)
- BRECHA BASALTICA (Bba)
- CONGLOMERADO DE CALIZA (Clg)
- GRUPO EL MORRO (Timo)
- DISCORDANCIA ANGULAR Y EROSIONAL
- FORMACION MENDEZ (Ksm)
- DISCORDANCIA
- FORMACION TAMAULIPAS (Kit)

U N A M FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERO GEÓLOGO	TITULO: COLUMNA ESTRATIGRÁFICA"	FIGURA N°. 09 JUNIO DE 1998.
	Tesis profesional de Saúl Alarcón Parra.	

a).- Conglomerado de caliza (Clg): Corresponde a una unidad de color verde grisáceo y verde olivo, de textura clástica, constituida por fragmentos del tamaño de gravas y escasos boleos de forma subredondeada y alargada, de rocas calizas microcristalinas, calizas arcillosas, lutitas, pedernal y de calcita, empaçados en una arcilla arenosa de color verde amarillento de alta plasticidad. Esta unidad aflora en la ladera Poniente de Metztlán, en ambas márgenes del arroyo Tlaxómotl; sobreyace a la Formación Méndez en discordancia angular y erosional, presentando en algunos sitios estratificación cruzada; se le estima un espesor variable entre 10 y 50 metros.

b).- Brecha Basáltica (Bba): Cuerpo ígneo de composición básica de color negro con tonos amarillo óxido, correspondiente a una estructura brechada muy fracturada de fragmentos angulosos de basalto de textura afanítica, presenta arcilla lacustre y vetillas de yeso entre sus fracturas; en el área de estudio, se detectó a través de sondeos exploratorios, en el contacto con la Formación Méndez y se define un espesor variable entre 0.5 y 7.50 metros.

c).- Arcilla Lacustre (Ar-la): Unidad de color verde oliva y café claro, de alta plasticidad y consistencia variable de compacta a dura en estado seco y de blanda a muy blanda en estado saturado; está constituida por arcilla de origen bentonítico con la presencia de abundantes cristales de yeso, llegando en ocasiones a formar vetillas e inclusive horizontes continuos en varios metros; ocasionalmente presenta en su parte inferior un paquete de margas de color blanco con fracturamiento intenso; el origen de este material se asocia a la erosión, transporte y depósito en un ambiente lacustre de los horizontes arcillosos de la Formación Méndez. Debido probablemente a que el sitio de depósito se encontraba muy cercano a la fuente de aportación, es decir, al

centro del sinclinal donde afloraba esta unidad litológica que entre otros materiales, presenta arcilla bentonítica de color verde olivo.

Esta unidad de arcilla lacustre se encuentra distribuida ampliamente en el área en estudio, y es la que predomina en la loma donde se asienta la población de Metztlán, presenta un espesor variable de 5.0 a 30.0 metros. Litológicamente esta unidad tiene condiciones de inestabilidad al humedecerse, ya que se modifican sus propiedades mecánicas considerablemente, alcanzando un grado de plastificación tal, que en algunos cortes muestra signos de reptación del suelo o deslizamientos mediante fallas de talud.

d).- Caliza Lacustre (Cz-la): Horizonte de color crema y café claro, formado por calizas microcristalinas y arcillosas con vetillas de yeso y escasos lentes de limolitas de estratificación gruesa a delgada, con fracturamiento moderado y en algunos sitios se presenta silicificada, lo cual le da una resistencia muy alta. Esta unidad aflora en sitios aislados, formando comúnmente promontorios, por su alta resistencia a la erosión, entre los cuales se tiene al que aflora en Atrio del convento, el cual se extiende hacia la calle Juárez y a la esquina de Vasco de Quiroga y Profirió Díaz; aflora en la parte Norte del convento sobre el Arroyo Tlaxómotl y sobre el camino a Tolapa. Se le estima un espesor variable de 2.0 a 8.0 metros.

e).- Pumicita (Tpi; Tpm): Corresponde a dos horizontes de tobas pumíticas de color blanco amarillento y gris claro, con textura vitroclástica, constituidas por fragmentos de forma angulosa de vidrio volcánico o piedra pómez, empaquetados en una matriz también vítrea de arena-arcillosa de estructura masiva, con fracturamiento de bajo a moderado, de espaciamiento amplio y en algunos sitios presenta trazas de hidrotermalismo. Estas unidades afloran hacia la

porción Norte de la población y su espesor oscila entre 2.0 y 3.5 metros cada horizonte. El origen de este material se asocia a un volcanismo explosivo de composición ácida que se manifestó en la zona a través de fracturas o fallas, depositándose estos materiales en un ambiente Subacuoso.

f).- Miembro Clástico o Conglomerado de Caliza (Cgs): Conglomerado polimíctico formado por fragmentos de caliza microcristalina, caliza arcillosa, lutita, pedernal negro y gravas pumíticas, empacados en una matriz areno-arcillosa con cementante de carbonato de calcio, presenta intercalaciones de horizontes de arena pumítica de color blanco y arenisca de grano medio de materiales calcáreos bien cementados. Se le estima un espesor promedio de 18.0 metros y aflora en la parte Norte de Metztlitlán, teniendo sus mejores exposiciones en el cerro El León.

BASALTO SAN CRISTÓBAL (Qba):

Derrame de composición básica de color pardo amarillento en superficie de intemperismo y gris oscuro al fresco, de textura afanítica, ocasionalmente pueden observarse escasos fenocristales de anfíboles y olivino en una matriz microcristalina. Se trata de una roca con fracturamiento moderado a alto, de estructura masiva, superficialmente puede presentar intemperismo esferoidal y escasamente exfoliación. Esta unidad se encuentra comúnmente formando mesetas en las partes altas de las sierras y debido a la falta de aparatos volcánicos visibles en la zona, se considera que el magma salió a la superficie a través de planos de falla y fracturas, desplazándose hacia las partes bajas de los cerros rellenando así la paleotopografía existente antes de las emisiones de lava.

PUMICITA SUPERIOR (Qps):

En el cerro más alto situado al Norte de la población de Metztlán, conocido como cerro El León, se presenta coronando a los basaltos, una unidad de color blanco amarillento, de textura vitroclástica, formada por fragmentos de roca pumítica de forma subangulosa, empacados en matriz igualmente vítrea de arena-arcillosa, con estratificación gruesa a masiva, presenta un espesor superior a los 10.0 metros.

ALUVIÓN (Qal):

Unidad clástica producto del acarreo pluvial, está constituida por gravas, arenas, limos y arcillas de alta plasticidad y de consistencia variable de blanda a dura, esta unidad presenta estratificación cruzada. Se le estima un espesor mayor de 40.0 metros, situándole primordialmente como material de relleno de valles intermontanos y en los cauces de ríos y arroyos.

SUELO (Qs):

Corresponde a una unidad de color café y gris oscuro, formado por materiales producto de intemperismo físico-químico y con materia orgánica, distribuido principalmente en la vega de Metztlán y escasamente en las laderas de las barrancas. está constituido por arcillas, limos y arenas, con gravas y escasos boleos de roca caliza y basáltica, provenientes de las unidades estratigráficas existentes en la zona.

MATERIAL DE TALUD (Qtd):

Al pie de las laderas de cerros y montañas, es común observar la presencia de abanicos aluviales de gravas y boleos de rocas calcáreas y basálticas, de forma subangulosa a subredondeada, empacados en una matriz de arena limosa de color café claro y de compactidad suelta a muy compacta debido a la presencia de carbonato de calcio.

RELLENO ANTROPÓGENO (Rh):

Desde los inicios de la población de Metztitlán, se considera que se han efectuados algunos trabajos de nivelación del terreno, principalmente en la zona del atrio del convento, desplazando los materiales producto de las excavaciones a las barrancas y laderas. Estos rellenos formados en un principio solo de materiales de excavación, posteriormente se mezclaron con cascajo, basura y otros materiales de diversa índole, formando así una unidad de baja compactidad y de alta permeabilidad que permite la fácil infiltración de las aguas pluviales.

5.3 Geodinámica interna

En este trabajo, se presenta un listado de 59 epicentros con sus valores en la escala de Richter, ocurridos en el Estado de Hidalgo entre 1976 a 1991, recopilados por el Servicio Sismológico Nacional (SSN). La ubicación geográfica de los epicentros se muestran en la figura N° 10, en tanto que en la

figura N° 11, se listan los temblores que se registraron para la zona cercana a Metztitlán, Hidalgo y en un radio aproximado de 70 Km.

De acuerdo a la distribución de los epicentros (Figura N° 10), la máxima concentración de focos sísmicos se presentan al poniente de la población de Metztitlán, Hgo., en un radio mayor de 30 Km., por lo tanto se determinó que no se presenta actividad sísmica en la zona en estudio.

La mayor concentración de eventos sísmicos se presentan a distancias mayores de 30 Km., con intensidades menores a 3° Richter y a profundidades variables de 1 a 33 Km., en menor frecuencia se presentan sismos de 3° a 5° en la escala de Richter, con profundidades variables de 0 a 30 Km., considerados como eventos sísmicos someros de componente "p".

Adicionalmente y de acuerdo con la carta Sísmica de la República Mexicana (Figueroa A. J., 1971), el área de estudio se ubica dentro de una zona denominada "PENISÍSMICA", debido a que durante un periodo no menor de 25 años, no se han tenido eventos sísmicos de magnitudes superiores a 5.5° en la escala de Richter.

5.4 Descripción de fenómeno.

Gran parte de la población de Metztitlán, Hidalgo, se encuentra asentada sobre un lomerío alargado cuyas laderas presentan condiciones críticas de inestabilidad, manifestado a través de grietas que se observan en pisos y en estructuras, cuya extensión y profundidad se han ido incrementando con el tiempo a partir de diciembre de 1991, éstas grietas están ocasionando daños a

NO.	FECHA	PROF (km)	MAGNITUD (RICHTER)
1	9 MAR 1976	15	< 3.0
2	11 MAR 1976	15	< 3.0
3	25 MAR 1976	15	5.1
4	26 MAR 1976	15	< 3.0
5	26 MAR 1976	15	< 3.0
6	27 MAR 1976	15	< 3.0
7	27 MAR 1976	15	< 3.0
8	30 MAR 1976	15	< 3.0
9	2 ABR 1976	8	< 3.0
10	4 ABR 1976	4	< 3.0
11	4 ABR 1976	8	< 3.0
12	5 ABR 1976	0	3.7
13	5 ABR 1976	0	3.6
14	7 ABR 1976	8	< 3.0
15	9 ABR 1976	4	< 3.0
16	9 ABR 1976	0	< 3.0
17	9 ABR 1976	26	< 3.0
18	9 ABR 1976	9	< 3.0
19	3 MAY 1976	4	< 3.0
20	6 MAY 1976	8	< 3.0
21	11 JUN 1976	4	< 3.0
22	5 SEP 1976	33	< 3.0
23	4 OCT 1976	5	< 3.0
24	4 OCT 1976	5	4.5
25	4 OCT 1976	5	< 3.0
26	7 OCT 1976	5	< 3.0
27	8 FEB 1977	33	< 3.0
28	25 ABR 1977	33	< 3.0
29	20 AGO 1980	1	3.0
30	21 AGO 1980	8	< 3.0
31	24 AGO 1980	5	3.0
32	21 NOV 1980	5	4.8
33	3 FEB 1981	2	3.4
34	6 FEB 1981	9	< 3.0
35	22 FEB 1981	33	< 3.0
36	22 FEB 1981	33	< 3.0
37	17 SEP 1981	15	< 3.0
38	21 JUL 1982	3	< 3.0
39	27 JUL 1983	4	< 3.0
40	8 OCT 1984	1	< 3.0
41	21 DIC 1984	9	< 3.0
42	11 MAR 1985	15	< 3.0
43	30 ABR 1985	5	< 3.0
44	8 MAY 1986	33	< 3.0
45	8 MAY 1986	33	< 3.0
46	9 MAY 1986	33	< 3.0
47	11 MAY 1986	33	< 3.0
48	14 MAY 1986	5	< 3.0
49	19 MAY 1986	33	< 3.0
50	25 MAY 1986	33	< 3.0
51	15 SEP 1986	5	< 3.0
52	27 ENE 1987	15	4.1
53	27 ENE 1987	15	< 3.0
54	2 FEB 1987	33	< 3.0
55	10 FEB 1987	5	< 3.0
56	8 DIC 1987	33	< 3.0
57	27 MAY 1988	10	3.7
58	3 JUL 1988	14	3.5
59	1 OCT 1990	30	3.4

RECOPILADA POR EL SERVICIO
GISMOLÓGICO NACIONAL (SSN).

U N A M

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERO GEÓLOGO

TÍTULO:

TABLA DE EPICENTROS*

Tesis profesional de Saúl Alarcón Parra.

FIGURA N°. 11

JUNIO DE 1998.

las edificaciones de la población, a tal grado que algunas se han colapsado y otras mas tienen fallas estructurales serias.

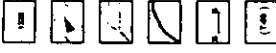
El origen de la grietas se deben a varias causas, entre las cuales se pueden citar a tres de las más importantes: a) a las características geológicas y de fracturamiento de las unidades litológicas; b) a las generadas por contracción de los materiales, debido a la saturación durante la época de lluvias y su consecuente secado; y c) a las grietas generadas con el deslizamiento de masa del suelo inestable.

De acuerdo con el levantamiento topográfico de las grietas, efectuado con brújula y cinta en diciembre de 1993 (la Figura N° 12), así como al reconocimiento geológico de campo, se observa que las grietas se presentan relativamente semiparalelas al curso de los arroyos, lo cual indica que la masa de suelo en movimiento, se desliza en dirección hacia los cauces, asociando lo anterior a la falta de confinamiento al pie de la ladera y al fenómeno de erosión que se genera en la base de estas.

Adicionalmente y durante los recorridos de campo efectuados en la totalidad de la zona, se pudo observar que algunas de las construcciones que no se encuentran en el Barrio "El Calvario", también presentan grietas, las cuales se asocian a hundimientos diferenciales, lo anterior se determinó con base en los trabajos de exploración efectuados, en donde se pudo apreciar que las cimentaciones de éstas estructuras, están apoyadas sobre diferentes estratos, es decir que mientras parte de la cimentación está apoyada sobre un material consistente como pueden ser rocas calizas o basálticas, la otra parte de la cimentación queda apoyada sobre materiales de menor resistencia como arcillas lacustres o bien sobre rellenos heterogéneos.

SIMBOLOGÍA

- CURVA DE NIVEL TOPOGRÁFICA.
- RIO O ARROYO.
- TRAZA DE GRIETA SECUNDARIA
- TRAZA DE GRIETA PRINCIPAL
- LINEA DE SECCIÓN GEOLOGICA.
- TENDIDA SISMICA 08



NOTAS

- 1.- Equidistancia entre curvas de nivel 10.0 metros
- 2.- El levantamiento de grietas se realizó con brújula y cinta.

FACULTAD DE INGENIERÍA

Tesis profesional Ingeniero Geólogo.
SAÚL ALARCÓN PARRA.

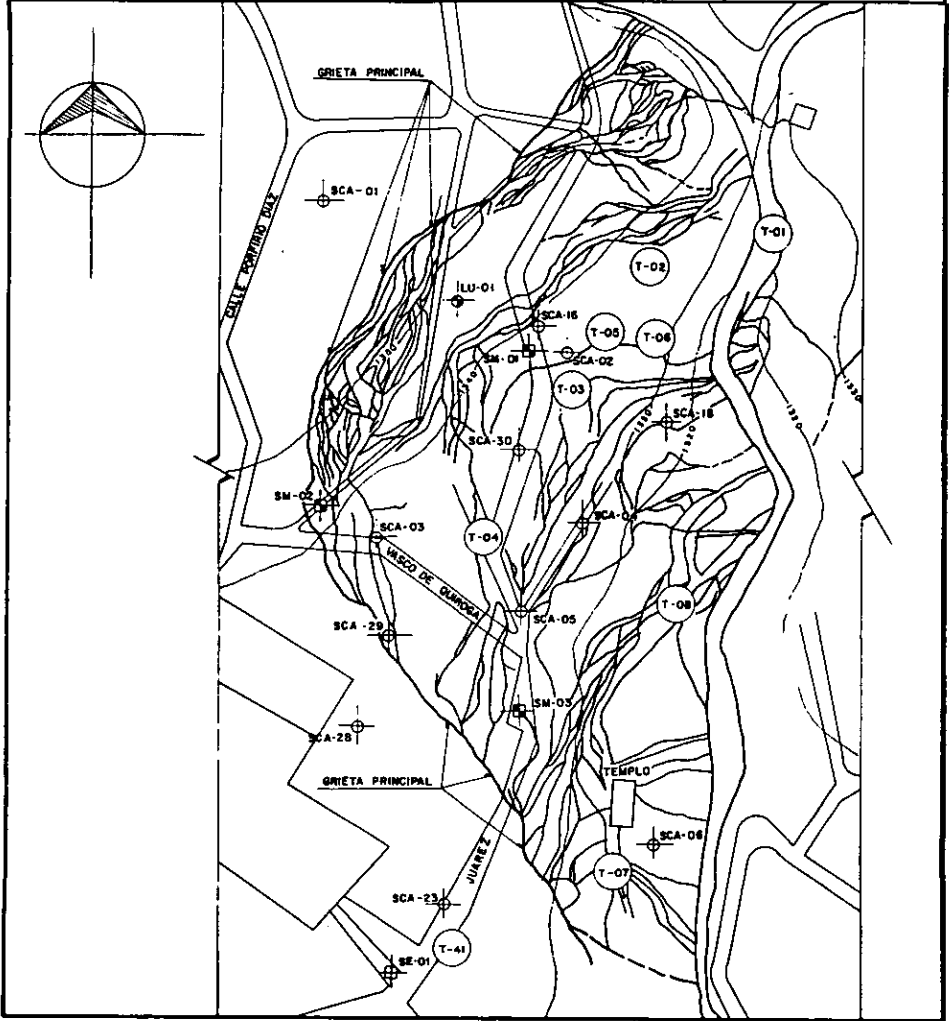
TITULO: LEVANTAMIENTO DE GRIETAS.
DE DICIEMBRE DE 1993.

FIGURA Nº. 12

ESCALA 1:1.000

JUNIO DE 1998.

U N A M



Considerando los aspectos anteriores, se concluye que la parte noroeste de la población de Metztlán en donde se ubica el Barrio "El Calvario", es la zona de mayor afectación, ya que presenta un mayor número de grietas que dañaron las construcciones; algunas sufrieron colapso y otras tienen fallas estructurales muy serias.

La zona que delimita la masa en movimiento está acotada al oriente por el arroyo Tlaxomoti; al poniente por una línea curva que representa a una grieta denominada "principal" (Figura N° 12), que en su parte extrema pasa a escasos 10.0 metros de la calle Profirio Díaz; hacia el norte está limitada por un pequeño arroyo; y hacia el sur, su límite pasa en las inmediaciones de la estructura del exconvento. La zona de afectación en diciembre de 1993, cubría una extensión de aproximadamente 45,500 m², con la tendencia de aumentar su área, sobre todo hacia la parte poniente.

Como se ilustra en la figura N° 12, las grietas que se observan en el Barrio "El Calvario", son de primero y segundo orden, con un patrón de fracturamiento irregular e indefinido, sin embargo puede apreciarse que se encuentran concéntricas a la grieta principal, con una tendencia generalizada en dirección NE y con inclinaciones variables entre 70° y 85° hacia el Este. Las grietas o fracturas presentan una gran variedad de aberturas que oscilan de 1 a 45 centímetros, teniendo una media de 7 cm. Las fallas locales o fracturas presentan saltos o escalones que oscilan entre 0.01 y 2.50 metros.

Con base en los resultados obtenidos del sistema de instrumentación instalado en el Barrio "El Calvario" considerado como parte de la zona crítica, se pudo determinar lo siguiente:

1.- La dirección de desplazamiento de la ladera tiene un sentido horizontal hacia el Este con dislocamientos de bloques en sentido vertical de hasta 1.44 metros en promedio anual, es decir con una velocidad media de 12 cm. mensuales y con incrementos en su velocidad de movimiento en los meses de lluvia.

2.- El mayor número de grietas, así como los mayores desplazamientos se registran cerca del arroyo, con una disminución hacia las partes altas de la ladera.

3.- La superficie de afectación de la ladera ha ido extendiéndose hacia sus partes altas, encontrándose actualmente muy cerca a los límites de la calle Profirió Díaz y del exconvento, en donde actualmente se realizan trabajos de protección mediante la construcción de pilas, por parte de la Dependencia de Monumentos Históricos de la Secretaría de Educación.

4.- Se determinó que la superficie de deslizamiento principal de la masa, corresponde al plano de contacto de la formación Atotonilco El Grande y la formación Méndez, lo anterior verificado con la instalación de tres inclinómetros en la zona crítica, en los cuales registraron las mayores deformaciones en las profundidades correspondientes o muy cercanas al contacto antes citado.

5.- Se determinó la presencia de agua subterránea en el contacto de la formación Atotonilco y la formación Méndez, particularmente en donde se tienen las unidades litológicas con mayor permeabilidad, tales como las

brechas basálticas. Lo anterior fue ratificado recientemente con los trabajos de protección del exconvento, en donde en un par de pilas que se construyeron, se encontró un volumen considerable de agua, coincidentemente con el límite de una unidad de basalto, a través de la cual fluye el agua subterránea.

6.- Con la piezometría instalada se determinó que la presencia de agua subterránea se limita a las épocas de lluvia, en donde se llega a registrar hasta 1.30 metros de tirante de agua, mientras que en época de estiaje disminuye considerablemente al grado de no registrar agua en los piezómetros.

VI.- HIDROLOGÍA.

6.1 Hidrología superficial.

Dada la importancia que representa el agua en el fenómeno tratado, se consideró conveniente incluir en éste trabajo algunos aspectos hidrológicos, con la finalidad de tener una mejor idea del comportamiento de las corrientes superficiales, las cuales fueron analizadas a partir de observaciones de campo y de datos recopilados en los mapas regionales que existen de la zona en estudio y sus alrededores.

El arroyo que se sitúa al oriente de la ladera de Metztlán, se le conoce con el nombre de "Tlaxomotl", el cual confluye al río Metztlán o Venados por su margen derecha. Se trata de un arroyo con escurrimientos pluviales escasos durante gran parte del año, pero en época de lluvias es de carácter torrencial, llevando una gran cantidad de agua, que acarrea volúmenes extraordinarios de sedimentos y vegetación, ocasionando que se incremente la erosión de laderas y superficie.

Este arroyo tiene una cuenca de captación de aproximadamente 4.6 Km² en la parte Noreste de la población, teniendo desde sus parteaguas en las partes altas de la sierra (cota 1750 msnm.), hasta su confluencia con el río Metztlán (cota 1250 msnm.), un desarrollo de 3.2 Km., y un desnivel de alrededor de los 500 metros, que se traduce en una pendiente media cercana al 16%.

Como ya se ha señalado, la influencia que tiene en el comportamiento de la ladera inestable del Barrio El Calvario, es de suma importancia, ya que erosiona la base del talud natural, debido a que su dirección del cauce en ese tramo, incide en forma directa sobre la base de la ladera, haciéndose conveniente la rectificación o entubamiento de dicho cauce en el tramo antes citado.

En tanto que el arroyo situado al poniente de la población, presenta características diferentes, las cuales no se determinaron principalmente por que el cauce de éste arroyo pasa muy alejado de la ladera Oeste, además de que la cuenca de captación y el desarrollo que tiene es de menor tamaño

6.2 Hidrología subterránea.

Los escurrimientos que se observan en el valle de Metztlán y en las montañas circundante se ven regidos e influenciados tanto por las diferentes litologías existentes como por las estructuras geológicas; igualmente el agua que se infiltra en el subsuelo tiene su comportamiento en función de los tipos de materiales y estructuras que se tienen por donde escurren las aguas, ya que el agua se infiltra a través de las fracturas o planos de falla. El volumen infiltrado está en función de la permeabilidad de los materiales, por ejemplo, en las rocas basálticas en donde su naturaleza es de fracturamiento intenso y por lo tanto muy permeable, el agua se infiltra fácilmente, no así cuando el basalto es estructuralmente masivo y se encuentra poco fracturado, originando que las aguas pluviales fluyan superficialmente y se tenga bajos volúmenes de infiltración. Lo mismo pasa en las rocas carbonatadas, en donde el fenómeno de disolución o carsticidad no es muy avanzado, pues la topografía cárstica es poco evidente, teniendo por lo tanto una baja infiltración de las aguas pluviales. Para caso de los materiales arcillosos que son impermeables, el

agua solo se infiltra a través de las discontinuidades como son grietas o fracturas; igualmente pasa con la Formación Méndez que constituye una barrera impermeable para la infiltración.

Finalmente se tiene el caso de la abundante infiltración de aguas a través de los planos de fractura verticales de los horizontes de arena pumítica altamente permeable, ya que se tiene el conocimiento de la presencia de por lo menos dos manantiales en estos horizontes, ubicados al Noroeste del sitio y que algunos de ellos suministran agua a algunas casas de la población.

CONCLUSIONES

1.- Conclusiones generales.

1.1.- El fenómeno de deslizamiento de tierras que se observa en la población de Metztlán, se presenta principalmente en la zona situada al norte de la ladera conocida como barrio El Calvario, en una superficie aproximada de 45,500 m² donde se presentan gran cantidad de grietas y fracturas.

1.2.- La mayor parte de la población se asienta sobre un lomerío alargado, que se encuentra situado en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, cuyo relieve contrasta con la superficie plana del valle o Vega en donde fluye el río Metztlán.

1.3.- En la zona aflora una secuencia estratigráfica de rocas sedimentarias marinas del Cretácico Superior, así como materiales de origen continental de edad Terciaria y Cuaternaria entre los cuales se tienen a los depósitos lacustres y volcánicos de la formación Atotonilco.

1.4.- La formación Atotonilco está constituida por varios miembros litológicos que conforman un paquete complejo entremezclado, de estratos de conglomerados de calizas; cuerpos erráticos de rocas basálticas; horizontes de material pumítico; cuerpos lenticulares de calizas lacustres; y estratos de arcilla lacustre de alta plasticidad con intercalaciones de margas.

1.5.- En las laderas que circundan a la población de Metztlán se observan taludes que han sufrido deslizamientos de tierra desde épocas geológicas antiguas, dejando rasgos geomorfológicos muy marcados en forma de escarpes o de conchas cóncavas.

1.6.- Actualmente las laderas que limitan al lomerío donde se asienta la población de Metztlán, presentan condiciones críticas de estabilidad, manifestándose a través de un sin número de grietas y fracturas, cuyas dimensiones y frecuencia se han ido incrementando con el tiempo.

1.7.- La formación de las grietas en la zona del Barrio El Calvario, obedecen un patrón de fracturamiento asociado al movimiento de la masa en forma circular semiparalelo al curso de arroyo Tlaxomoti. La presencia de este sistema de grietas acentúa aún más las condiciones de inestabilidad de la ladera, por la discontinuidad que representa para los mecanismos de falla y también porque son un medio fácil y rápido de infiltración de las aguas pluviales.

1.8.- Otro factor relevante que se vincula directamente con el deslizamiento de tierra, es causado por la erosión en la base de la ladera, por efectos de los escurrimientos superficiales particularmente durante los días de máxima precipitación. El cauce del arroyo tiene una orientación que incide directamente sobre el pie de la ladera, provocando que arrastre un gran volumen de materiales y por lo tanto, le reste soporte y confinamiento a los materiales, y se encadene el fenómeno de fallas locales en serie.

1.9.- El mecanismo de falla que está provocando el deslizamiento de la ladera se debe principalmente al cambio de las propiedades mecánicas y de resistencia de los materiales arcillosos presentes en la base de la masa en movimiento, debido a su alteración físico-química de estas arcillas, que sumado al contenido de minerales de yeso, sufren una disolución en contacto con el agua subterránea.





II.- Discusión de aspectos geotécnicos.

De acuerdo con los resultados obtenidos de los trabajos efectuados, se puede enunciar que los factores más importantes (figura N° 13), que intervienen en el mecanismo de falla y que dan origen al deslizamiento de la ladera son:

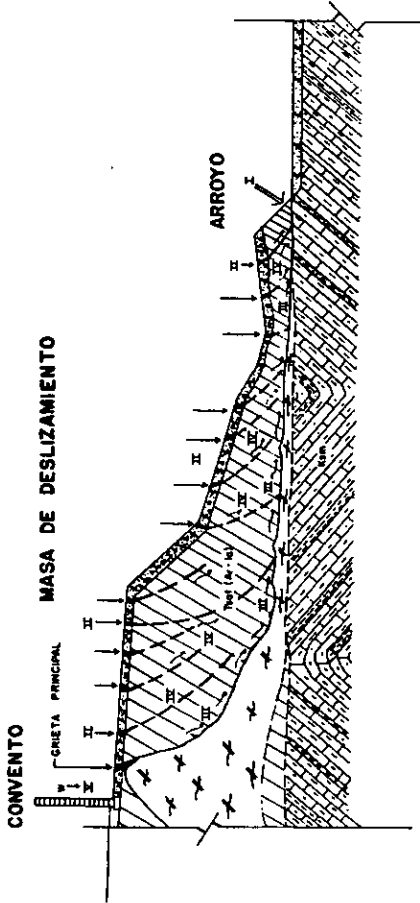
2.1.- La intensa erosión de los materiales que se tienen al pie de la ladera, causado primordialmente por la acción mecánica de las corrientes pluviales en épocas torrenciales del arroyo Tlaxomtl, socava el pie de la ladera, restándole soporte y confinamiento a los materiales sobreyacentes e iniciando mecanismos locales de deslizamiento, que se encadenan hacia las partes altas.

2.2.- La infiltración de aguas pluviales o de servicio, a través de las grietas generadas con el mismo deslizamiento y de los materiales permeables que afloran en superficie, tales como rellenos heterogéneos y rocas basálticas. Lo anterior se vio incrementado con la tala de arboles, construcción de letrinas y excavaciones de cortes o taludes para nivelar terrenos en construcción.

LEYENDA

-  RELLENO HETEROGENEO
-  ROCA BASALTICA
-  ARCILLA LACUSTRE
-  FORMACIÓN MENDEZ (BASAMENTO)

MASA DE DESLIZAMIENTO



FACTORES

- I.- La intensa erosión de los materiales que se llenan al pie de la ladera, causado primordialmente por la acción mecánica de las corrientes pluviales en épocas tormentosas del arroyo Tuxtomol.
- II.- La infiltración de aguas pluviales o de servicio, través de las grietas generadas con el mismo deslizamiento y de los materiales permeables que afloran en superficie.
- III.- La presencia de aguas subterráneas en el contacto de la formación Autoceno con la formación Mendez, que además de servir como un lubricante entre las dos unidades, provoca la saturación y plastificación de los materiales arcillosos.
- IV.- La alteración físico-química de los materiales arcillosos de la formación Autoceno por saturación, ya que contienen gran cantidad de cristales de yeso que son solubles al agua modificando substancialmente sus propiedades mecánicas y de resistencia.
- V.- La magnitud de las cargas y la pendiente con dirección Sureste que muestra el contacto entre las formaciones Autoceno y Mendez.

U	FACULTAD DE INGENIERIA
N	Tesis profesional Ingeniero Geólogo. SAÚL ALARCÓN PARRA.
A	TÍTULO: FACTORES QUE INTERVIENEN EN FENÓMENO DE DESLIZAMIENTO.
M	FIGURA N°. 13
	SIN ESCALAS JUNIO DE 1968.

2.3.- La presencia de agua subterránea en el contacto de la formación Atotonilco con la formación Méndez, además de servir como un lubricante entre las dos unidades, provoca la saturación y plastificación de los materiales arcillosos de la formación Atotonilco.

2.4.- La alteración físico-química de los materiales arcillosos de la formación Atotonilco por saturación, ya que contienen gran cantidad de cristales de yeso que son solubles al agua, modificando substancialmente sus propiedades mecánicas y de resistencia.

2.5.- La magnitud de las cargas y la pendiente con dirección Sureste que muestra el contacto entre las formaciones Atotonilco y Méndez (Anexo N° 07).

III.- Análisis geotécnicos.

Con base en los resultados obtenidos del presente estudio, así como a los datos del monitoreo de la instrumentación instalada, el fenómeno observado en la zona del barrio El Calvario, de la población de Metztlán, Hidalgo, es el resultado de un deslizamiento relativo entre una masa y otra, semejándose a un fenómeno de reptación de suelo, que se ve incrementado durante la época de lluvias, por tal motivo, el análisis de la estabilidad de la ladera se realizó utilizando el método de dovelas, considerando que la masa se desliza sobre un plano.

Expresando la estabilidad de la ladera mediante un factor de seguridad (F_s) que es el resultado de la relación entre las fuerzas que tienden a favorecer el deslizamiento de la masa, denominadas fuerzas motoras y las fuerzas que tienden a resistir el deslizamiento, es decir:

$$F_s = \frac{\text{Suma de fuerzas resistentes.}}{\text{Suma de fuerzas motoras.}}$$

La estabilidad de la ladera expresada en términos del factor de seguridad, adquiere distintos valores: cuando $F_s = 1.0$ se establece el estado de equilibrio límite, es decir cuando las fuerzas motoras están exactamente balanceadas con las fuerzas resistentes; cuando $F_s > 1.0$ no existe movimiento de la ladera; y cuando el $F_s < 1.0$, existe un estado de desequilibrio de la masa que produce el movimiento de la ladera.

Para el análisis de la estabilidad la ladera, se tomaron en cuenta las tres condiciones siguientes:

3.a) CONDICIÓN ESTÁTICA.- Con base en el modelo del mecanismo de falla, definido para este caso, se llevó a cabo el análisis de la estabilidad de la ladera, determinando para esta condición las componentes horizontal y vertical del peso de la masa, en cada una de las dovelas definidas en las secciones analizadas.

3.b) CONDICIÓN DINÁMICA.- A pesar de que el sitio en estudio, se sitúa en un zona asísmica, aún así se realizó el análisis de las fuerzas actuantes bajo excitación sísmica, empleando para ello el coeficiente sísmico que le corresponde a ésta zona.

3.c) CONDICIÓN CON GRIETAS DE TENSIÓN.- Debido a la presencia de grietas en la superficie de la masa en movimiento, por las cuales se infiltran un gran porcentaje del volumen de las aguas pluviales, se analizó la estabilidad de la ladera, considerando que las grietas de tensión le restan resistencia al suelo en estos planos de discontinuidad.

Para llevar a cabo el cálculo de las fuerzas resistentes, se empleó la expresión matemática: $S = c + \sigma \tan \phi$, para lo cual se utilizaron los valores de cohesión, ángulo de fricción y densidad, definidos a partir de pruebas realizadas en el laboratorio de mecánica de suelo de la empresa Ingeniería Experimental S.A. de C.V., para los materiales arcillosos bajo condiciones de saturación, las cuales dieron los siguientes resultados:

$$c = 0.5 \text{ T/m}^2$$

$$\phi = 3^\circ$$

$$\gamma = 1.4 \text{ T/m}^3.$$

Para el análisis geotécnico por el método de dovelas, se utilizó cuatro de las secciones estratigráficas más representativas (Anexo N° 06), en donde se aplicaron las expresiones matemáticas siguientes:

$$\text{En condiciones est\u00e1ticas.- } F.s.e = \frac{\sum \Delta L_i S_i}{\sum T_i}$$

$$\text{En condiciones din\u00e1micas.- } F.s.d = \frac{\sum \Delta L_i S_i}{\sum T_i (1+C_s)}$$

$$\text{En condiciones con grietas de tensi\u00f3n.- } F.s.cgt = \frac{\sum \Delta L_i S_i - (\sum \Delta L_i S_i)G}{\sum T_i (1+C_s)}$$

En donde:

ΔL_i	Longitud de la base de la dovela i, (m).
S_i	Resistencia al esfuerzo de la dovela i, (ton/m ²).
T_i	Componente motora sobre el plano de deslizamiento, (ton).
C_s	Coefficiente s\u00edsmico, (adimensional).
$(\sum \Delta L_i S_i)G$	Componente de las dovelas que no contribuyen, debido a las grietas de tensi\u00f3n, (ton/m ²).

Con base en los resultados de los an\u00e1lisis efectuados, se determin\u00f3 que la ladera se encuentra en un estado de inestabilidad o disequilibrio, dado que el factor de seguridad para todos los casos, siempre fue menor a la unidad ($F_s < 1.0$), como se ilustra en la tabla siguiente:

Sección	F.s.e.	F.s.d.	F.s.cgt.
Geológica	Condición estática	Condición dinámica	Con grietas de tensión
A-A'	0.38	0.28	0.25
B-B'	0.79	0.58	0.52
C-C'	0.52	0.38	0.34
D-D'	0.25	0.18	0.10

Como se observa en la tabla anterior, la sección D-D' (Anexo N° 06), es la que presenta mayor inestabilidad, corresponde a una sección que se localiza muy cercano al sitio en donde se colapsaron dos estructuras importantes como son las Cloacas del Exconvento y el Templo Evangélico que se encontraba cerca del arroyo (Anexo N° 05).

Los factores que mayor impactan al modelo de análisis anterior son:

- 3.1.- La inercia de la masa de suelo en movimiento.
- 3.2.- Las propiedades mecánicas de los materiales arcillosos en condiciones saturadas.
- 3.3.- La presencia de grietas superficiales por las que se tienen infiltraciones de aguas pluviales.

IV.- Alternativas de solución.

Para determinar la solución al problema fue necesario definir algunos puntos importantes como son:

4.1) La importancia del Exconvento construidos en el siglo XVI y que históricamente ha tenido remodelaciones debido a los hundimientos diferenciales que lo han puesto en riesgo de un colapso estructural.

4.2) El tipo de uso de suelo que se le quiera dar a los terrenos de la zona inestable, situados al Noreste del exconvento, y que anteriormente correspondía al Barrio El Calvario, con una densidad de población mediana.

4.3) La factibilidad de rectificar y encausar al arroyo Tlaxómotl, con la consecuente reubicación de viviendas situadas en la margen izquierda de dicho arroyo.

4.4) En el caso de se quiera eliminar en su totalidad los asentamientos del subsuelo y por lo tanto resguardar la estructura del monumento histórico del exconvento, así como urbanizar la zona, se recomienda que el valor del factor de seguridad a emplear, sea mayor de 1.8, ya que comúnmente en los análisis de estabilidad de taludes, sin contar que se trata de una zona activa, se emplea un factor de 1.3 para excavaciones temporales y de 1.5 para excavaciones permanentes.

Tomando en cuenta los aspectos antes citados, se procedió al calculo de la fuerza necesaria para estabilizar la ladera, empleando la ecuación siguiente:

$$F_e = F.s.cgt [\Sigma T_i (1+C_s)] + (\Sigma \Delta L_i S_i)G - \Sigma \Delta L_i S_i$$

En donde:

- F.e Fuerza estabilizadora necesaria, (ton/ml).
 F.s.cgt Factor de seguridad considerando grietas de tensión, (adim.).
 ΔL_i Longitud de la base de la dovela i, (m).
 S_i Resistencia al esfuerzo de la dovela i, (ton/m²).
 T_i Componente motora sobre el plano de deslizamiento, (ton).
 C_s Coeficiente sísmico, (adimensional).
 $(\Sigma \Delta L_i S_i)G$ Componente de las dovelas que no contribuyen, debido a las grietas de tensión, (ton/m²).

Aplicando la ecuación anterior para cada sección geológica analizada, los resultados obtenidos fueron:

Sección Geológica	F.e. = Fuerza estabilizadora necesaria, (Ton/ml).
A-A'	726
B-B'	361
C-C'	503
D-D'	590

Alternativa "A"

Esta alternativa se planteó al Gobierno del Estado de Hidalgo en febrero de 1993, la cual consiste en contener la masa en movimiento con un prisma resistente de suelo-cemento, colocado en la base de la ladera como se ilustran

en la figura No 14, además de aplicar las recomendaciones generales, enfocadas a impermeabilizar la zona para evitar al máximo las infiltraciones de aguas pluviales.

La masa de contención planteada consiste en un prisma de suelo-cemento, colocado en la base de la ladera, sobre el entubamiento previo del arroyo, y cubierto por un terraplén de protección. El prisma o corazón de suelo-cemento capaz de absorber las fuerzas generadas por el deslizamiento, se consideró que deberá reunir con lo siguiente:

- Contener un 8% de cemento en peso.
- Se colocará en capas de 20 cm compactadas al 95% proctor.
- Deberá tener como mínimo las propiedades mecánicas siguientes:

$$c = 10.0 \text{ T/m}^2.$$

$$\phi = 36^\circ.$$

$$\gamma = 1.7 \text{ T/m}^3.$$

Tomando en cuentas las propiedades antes citadas, se calculó las dimensiones requeridas para el prisma de suelo-cemento, mediante la siguiente ecuación:

$$L = \frac{Fe.}{S.c.}$$

En donde:

- L** Ancho requerido del prisma de suelo-cemento, (m).
- F.e.** Fuerza estabilizadora necesaria, (ton/ml).
- S.c.** Resistencia al esfuerzo cortante del prisma de suelo-cemento, (Ton/m²).

Los resultados obtenidos del calculo anterior dio los anchos mínimos requeridos del prisma de suelo-cemento para contener la masa en movimiento que se resumen en la tabla siguiente:

Sección Geológica	Ancho requerido del prisma, (m).
A-A'	27
B-B'	13
C-C'	16
D-D'	22

El costo de la alternativa anterior fue calculado en diciembre de 1993, en aproximadamente 20 millones de pesos, por lo cual se consideró que era una alternativa demasiado costosa y que por lo tanto no era económicamente viable.

Alternativa "B"

Si se considera la disminución de los factores que mayor impactan al modelo de análisis y que se puedan llegar a tener algunos asentamientos en la zona, la solución para la alternativa "B", podrá reducirse a los siguientes trabajos:

1.- Colocación de drenes laterales en ambas laderas para el alivio de la presión hidrostática en particular en el contacto de las formaciones Méndez y Atotonilco.

2.- Construcción de un campo de pozos de bombeo en una retícula de 20 x 20 metros, perforados a una profundidad mínima de 30.0 metros.

3.- Rectificación de cauce del Arroyo Tlaxomtl y su entubamiento en la zona aledaña al deslizamiento.

4.- Construcción de un sistema de terrazas en la zona marcada como inestable, sobre todo hacia las partes altas de la ladera, considerando una impermeabilización de la superficie del terreno, que evite las infiltraciones de agua pluvial al subsuelo.







5.- Colocación de un pedraplén de protección al pie de la ladera de aproximadamente 15.0 metros de altura, la cual deberá diseñarse en función de la topografía actual y resultante después del terraceo.

6.. Diseño hidráulico de la zona para canalizar las aguas pluviales y de servicio, fuera de la influencia de la zona crítica.

Los trabajos antes descritos, se esquematizan en la figura N° 15.

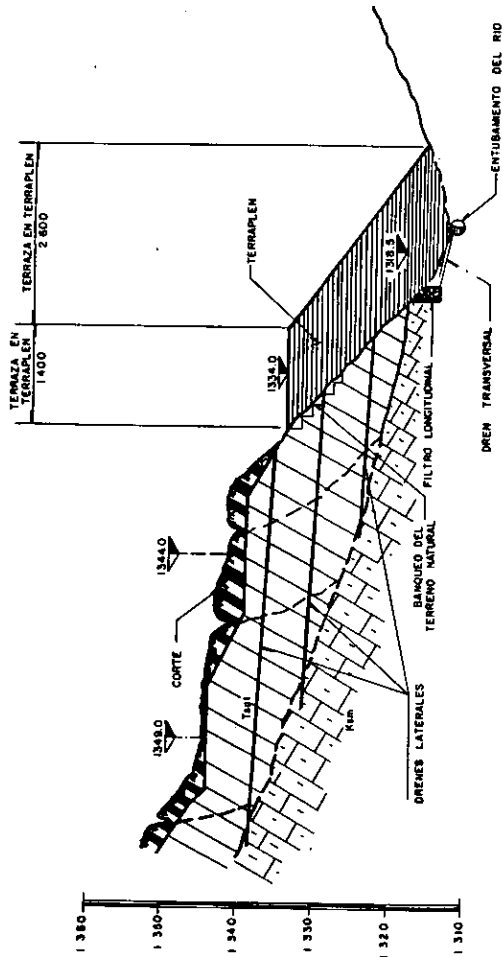
El costo de esta alternativa no fue calculada, sin embargo se considera que es más económica que la alternativa "A", debido a que el movimiento de tierras es menor y no se tiene un corazón de suelo-cemento. y por lo tanto su construcción es la más viable y adecuada.

SIMBOLOGÍA

-  CORTE EN TERRAZAS
-  PEDRAPLEN
-  TERRAPLEN
-  TERRENO NATURAL
-  CONTACTO GEOLÓGICO
-  CONTACTO GEOLÓGICO INFERIOR

NOTAS

- Esta alternativa contempla los siguientes Trabajos:
- 1.- Colocación de aleros laterales en ambas laderas.
 - 2.- Construcción de un campo de pozos de bombeo en una retícula de 20 x 20 metros, perforados a una profundidad mínima de 30.0 metros
 - 3.- Rectificación de cauce del Arroyo Tlacuacoci y su entubamiento en la zona aledaña al deslizamiento.
 - 4.- Construcción de un sistema de terrazas en la zona marcada como inestable, sobre todo hacia las partes altas de la ladera, considerando una impermeabilización de la superficie del terreno, que evite las infiltraciones de agua phreática al subsuelo.
 - 5.- Colocación de un pedregón de protección al pie de la ladera de aproximadamente 15.0 metros de altura.
 - 6.- Diseño hidráulico de la zona para canalizar las aguas pluviales y de servicio, fuera de la influencia de la zona.



SECCION TIPO

U N A M	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	Tesis profesional	Ingeniero Geólogo.
	SAÚL ALARCÓN PARRA.	
	TÍTULO: ALTERNATIVA "B" DE SOLUCIÓN.	
FIGURA N°. 15		JUNIO DE 1988
SIN ESCALAS		

RECOMENDACIONES.

Generales:

1.- Se deberá evitar al máximo las infiltraciones al subsuelo de aguas pluviales y de servicio de la población, para lo cual se deberá implementar un sistema de impermeabilización del terreno, así como el sellado de grietas y fisuras por las que se pueda infiltrarse cualquier tipo de agua.

2.- Se deberá diseñar un sistema de drenaje superficial que capte las aguas de lluvia y las canalice a través de lavaderos fuera del área de afectación. Lo anterior contempla tanto la sustitución de las letrinas por un sistema de drenaje apropiado para la población, como la eliminación de las fugas del sistema de alcantarillado y agua potable.

3.- Reforestación de la zona con árboles de enraizamiento vertical y colocación de césped en zonas jardinadas.

4.- Se instalará un sistema de medición que nos de información en cuanto a la evolución y magnitud de los movimientos durante y después de los trabajos de contención de la ladera.

Además de las recomendaciones generales antes descritas, se propone dos alternativas con las siguientes características:

Para la Alternativa "A".

a.1) Entubamiento del cauce del arroyo en el tramo en donde se colocará el prisma de suelo-cemento, el cual deberá diseñarse para la máxima avenida con recurrencia de 70 años, además de considerar obras secundarias de contención de basura y sedimentos aguas arriba del cauce, así como un mantenimiento del canal para el desalojo de asolves.

a.2) Colocación de un corazón de suelo-cemento al 8% de cemento en peso, compactado al 100% cuyas propiedades mecánicas deberán ser iguales o mayores de los siguientes parámetros: $c=10.0 \text{ T/m}^2$; $\phi= 36^\circ$; y $\gamma= 1.7 \text{ T/m}^3$.

a.3) Sobre el corazón de suelo-cemento se deberá colocar un prisma de terraplén cuyas dimensiones estarán en función de la topografía resultante después de la colocación del suelo-cemento.

a.4) Para contrarrestar los efectos de la erosión, el prisma antes citado podrá protegerse mediante la colocación de un pedraplén con pendientes que favorezcan los escurrimientos superficiales de las aguas pluviales o también podrá colocarse césped u otro material impermeable.

a.5) Se deberá elaborar un proyecto geométrico de los conceptos antes citados en donde se considere un proyecto hidráulico con la consideración de suaves pendientes y cunetas que canalicen las aguas pluviales.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

79

Para la Alternativa "B":

b.1) Colocación de drenes laterales en ambos lados de la ladera que alivien la presión hidrostática y eviten la saturación de las arcillas.

b.2) Entubamiento del cauce del arroyo en el tramo en donde se colocará el prisma de suelo-cemento, el cual deberá diseñarse para la máxima avenida con recurrencia de 70 años, además de considerar obras secundarias de contención de basura y sedimentos aguas arriba del cauce, así como un mantenimiento del canal para el desalojo de asolves.

b.3) Construcción de un campo de pozos de bombeo en la zona noreste del Exconvento, para la extracción de las aguas subterráneas que se tienen en el contacto de la formación Méndez y Atotonilco El Grande, perforados a una profundidad mínima de 30.0 metros en una retícula de 20 x 20 metros.

b.4) Construcción de un sistema de terrazas en la zona marcada como inestable, sobre todo hacia las partes altas de la ladera, considerando una impermeabilización de la superficie del terreno, que evite las infiltraciones de agua pluvial al subsuelo.

b.5) Colocación de un pedraplén de protección al pie de la ladera de aproximadamente 15.0 metros de altura, la cual deberá diseñarse en función de la topografía actual y resultante después del terraceo.

b.6) Diseño hidráulico de la zona para canalizar las aguas pluviales y de servicio, fuera de la influencia de la zona crítica.

De las dos alternativas antes citadas, la más adecuada es la alternativa "A", debido a que garantiza en su totalidad la estabilización de la ladera, con hundimientos diferenciales mínimos, sin embargo no es económicamente construible, por lo tanto la alternativa "B", presenta mejores perspectivas de construirse.

BIBLIOGRAFÍA

Bates R.L. and Jackson J.A., 1976, "Dictionary Geological", American Geological Inst.

Bolt, B.A., Lomnitz, C and Mc Kevilly, T.V. 1968 "Sismological Evidence on the Tectonics of Central and Northern California And The Mendocino Escarpment", Seismol. Soc. Amer. Bull., V.58. Pp. 1725-1767.

Carrasco, B.V., 1969 " Petrografía y Facies de la Secuencia Transgresiva-Regresiva de las Formaciones del Cretácico Inferior y Medio en Metztlitlán, Hidalgo", Inf. Sem. Expl. Petr., Mesa Redonda No. 6, Inst. Mex. del Petr. (Original No consultado, citado en Martínez, 1984)

Carrasco, B.V., 1969 " Posible Importancia Económica-Petrolera de la Brecha Litoclástica de la Base de la Formación El Doctor, en Metztlitlán, Hidalgo", Rev. del Inst. Mex. del Petr. (Original No consultado, citado en Martínez, 1984)

Carrasco, B.V., 1970 " La Formación El Abra (Formación El Doctor), en la Plataforma de Valles-San Luis Potosí", Rev. del Inst. Mex. del Petr. (Original No consultado, citado en Martínez, 1984)

Carrillo Bravo, J., 1965, "Estudio de una Parte del Anticlinorio de Huayacocotla", Boletín Asoc. Mex. de Geólogos Petroleros, Pag. 73-96.

Carrillo Bravo, J., 1971, "La Plataforma Valles San Luis Potosí", Boletín Asoc. Mex. de Geólogos Petroleros, Vol. 23, N°. 1-6, Pag. 1-112.

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 Metztlitlán en el Estado de Hidalgo", (inédito).

Colinas de Buen S.A. de C.V., 1993, "Informe final del estudio Geológico y Geotécnico efectuado para determinar las causas de inestabilidad de taludes que se presentan en la población de Metztlitlán en el Estado de Hidalgo", (inédito).

Chambers, 1979, "Diccionario Científico y Tecnológico", Editorial Omega.

Detenal, 1970, Carta de Climas, Hoja N° 14Q-IV.

Figueroa, J.A., 1971, " Catalogo de Sismos ocurridos en la República Mexicana (1900-1970)", Instituto de Ingeniería, UNAM.

García E. J., 1977, "Geología del Área de Metztlán, Estado de Hidalgo", Tesis Profesional de Ingeniero Geólogo, IPN-ESIA.

Hernández Bernal, Hernández Treviño, 1991, "Evolución Geológica de la Región de Metztlán-Zacualtipán, Estado de Hidalgo y Veracruz", México D. F., Tesis Profesional de Ingeniero Geólogo, F.I., UNAM.

INEGI, 1982, Carta Topográfica "Metztlán", Hoja N°. F14-D61, Escala 1:50,000, 1ª Edición.

INEGI, 1992, Carta Topográfica "Pachuca", Hoja N°. F14-11, Escala 1:250,000, 6ª Edición.

INEGI, 1992, "Síntesis geográfica del Estado de Hidalgo", 1ª Edición.

Jeffreys, 1910, Original no consultado, citado en Martínez, 1984.

Kellum L.B., 1930, "Similarity of Surface Geology in Front Range of Sierra Madre Oriental to Subsurface in Mexican South Fields", Amer. Assoc. Petr. Geol., Bull XVI (original no consultado).

López Ramos, E., 1979, "Geología de México", 3ª Edición, Tomo II, Edición Escolar.

Lugo Hubp J., Zamorano J.J., Gallegos G., 1993, "Deslizamientos de Tierras Activo en Metztlán, Hgo.", Revista de Geofísica Internacional Vol. 32, NUM. 1, Pp. 153-166.

Lugo Hubp J., García Arizaga M.T., Zamorano Orozco J.J., 1993, "Estudio de un Deslizamientos de Tierras en Metztlán, Hgo.", Revista GEO UNAM Vol. 2, NUM. 1, Instituto de Geografía, UNAM.

Martínez Gutiérrez, G., 1984, "Análisis Estratigráfico y Estructural de la Porción Central de la hoja Metztlán, Hidalgo", Tesis profesional Ing. Geólogo, IPN-ESIA.

Morán Zenteno, D.J., 1984, "Geología de la República Mexicana", 2ª Edición, INEGI-Facultad de Ingeniería, UNAM.

Muir, J.M., 1936, "Geology of the Tampico Región México", American Assoc. Petroleum Geologists, vol. 1, (original no consultado).

Segerstrom K., 1961, "Geología del Suroeste del Estado de Hidalgo y Noreste del Estado de México", Bol. Asoc. Mex. Geol. Petr., Vol. XIII. (original no consultado).

Segerstrom K., 1962, "Geology of South-Central Hidalgo and North eastern México, México", U.S. Geol. Sur. Bull 1104 C. (original no consultado).

Segerstrom K., 1961, "Estratigrafía del Área de Bernal-Jalpan, Estado de Querétaro", Bol. Asoc. Mex. Petr., Vol. XIII. (original no consultado).

Segerstrom K., 1956, Original no consultado, citado en Martínez, 1984.

Stepheson, 1901, Original no consultado, citado en Martínez, 1984.

Tardy M., 1975, "Observaciones Generales sobre la Estructura de la Sierra Madre Oriental: Aloctonia del Conjunto Cadena Alta-Altiplano Central, entre Torreón, Coah. y San Luis Potosí, S.L.P., México", Rev. Inst. de Geol., UNAM.

Tardy M., 1980, Original no consultado, citado en Martínez, 1984.

Raisz E., 1964, "Landforms of México", Prepared for the Geography Branch of Office of Naval Research, 2ª Edición.

Rzedowski, Jerzy, 1968, "Las Principales Zonas Áridas de México y su Vegetación", Blos, 1(1):4, México.

Sánchez Mejorada, 1973, "Manual de Campo de las Cactáceas y Suculentas de la barranca del Metztlitlán", Difusión Cultural del Gobierno del Estado de Hidalgo.

Santiago A.J., Carrillo Bravo J., Martel A., 1987, "Geología Petrolera de México", PEMEX.

Tejeda Galicia, C.M., 1978, "Estudio Geológico de Reconocimiento en la Parte Central y Sur del Estado de Hidalgo", Tesis Profesional de Ingeniero Geólogo, IPN-ESIA.

Torres, D.V. 1992, "Informe del Estudio Geológico-Estructural y Topográfico del Barrio El Calvario del Pueblo de Metztlitlán, Municipio de Metztlitlán, Hgo", Patronato de Apoyo a la Conservación y Custodia del Convento Agustino de los Santos Reyes Siglo XVI, Metztlitlán, Hgo.

Velarde Ramírez J., 1979, "Estudio Geológico Minero de la unidad Minera "La Rica", Real del Monte, Hidalgo", Tesis Profesional de Ingeniero Geólogo, IPN-ESIA.

Waits, 1947, Original no consultado, citado en Martínez, 1984.

Whitten D.G.A. y Brooks J.R.V., 1972 "Diccionario de Geología", Alianza Editorial., Madrid España.

GLOSARIO

Anticlinal.- Pliegue o sistema de pliegues en forma de arco, en que los estratos se inclinan hacia el exterior, en dirección descendente a uno y otro lado del eje de plegamiento.

Arrosamiento (Boudinage-francés).- Estructura menor debida a esfuerzos tensionales, se desarrolla por alargamiento de una capa competente, a lo largo de los planos de estratificación, dando lugar a estructuras de separación, que forman grietas de tensión y que pueden rellenarse con material incompetente adyacentes. El aspecto normal en una sección transversal es el de una tira de salchichas

Bentonita.- Asociación especial de minerales de arcilla parecida sus propiedades a la galactita, formada por la descomposición de vidrio volcánico bajo el agua, está constituida principalmente por los minerales del grupo de la Montmorillonita.

Chevrón.- Corresponde a un tipo de pliegue de forma enroscada, en donde los flancos de cada pliegue son de igual largo.

Cimentación.- Base natural o artificial sobre la que se desplanta un edificio o construcción.

Cloacas.- El término proviene de las cloacas de la Roma antigua y que se refiere al sitio o construcción destinada a decantar o purificar los desechos, producto de las necesidades fisiológicas del humano.

Coefficiente sísmico.- Valor definido para el análisis de las condiciones dinámicas en que se comporta una estructura o construcción, según su ubicación en la provincias sísmológicas de la República Mexicana.

Dovelas.- Prismas en la que se divide el suelo para su análisis, a los cuales se les asigna propiedades similares, según consideraciones de homogeneidad e isotropía unitaria para un medio continuo.

Epicentros.- Proyección en superficie de un punto geográfico, correspondiente a un foco de emisión de ondas sísmicas de un temblor o terremoto.

Esféroidal.- Tipo de alteración física o meteorización de las rocas o minerales en forma esférica.

Estiaje.- Período del año en donde son escasas las precipitaciones pluviales.

Estilolítica.- Superficie limitante e irregular, en forma de sutura, desarrollada en algunas calizas, generalmente independiente de los planos de estratificación.

Exfoliación.- El proceso de resquebrajamiento en hojas delgadas de las rocas expuestas superficialmente a la atmósfera, particularmente en regiones que sufren cambios bruscos de temperatura.

Facies.- Suma total de caracteres, tales como tipo de roca, contenido mineral, estructuras primarias de depósito, rasgos de estratificación, contenido fósil, etc., que caracterizan a las rocas como depositadas o formadas en medio determinado.

Factor de Seguridad.- En el análisis de estabilidad de taludes, es el resultado de la relación entre las fuerzas que tienden a favorecer el deslizamiento de la masa y las fuerzas que tienden a resistir el deslizamiento.

Falla de Cabalgadura.- Rotura a lo largo de la cual se puede observar un desplazamiento de una masa sobre otra, a través de un plano casi horizontal, en donde la superficie de desplazamiento, reemplaza al plano invertido del plegamiento.

Flysch.- Término de origen Suizo, aplicado de manera estricta a sedimentos relacionados con la orogenia Alpina. Se utiliza para describir sedimentos procedentes de la erosión de estructuras en proceso de plegamiento. Este tipo de sedimentos son de ambiente marino y están constituidas por una alternancia de rocas arcillosas, areniscas impuras, brechas y conglomerados.

Geófonos.- Pequeño instrumento portátil usado en la prospección sísmica, que sirve para registrar la llegada de las ondas sísmicas generadas por cualquier fuente de energía.

Grabens.- Bloque hundido entre dos o más fallas normales (fosa tectónica).

Grietas de Tensión.- Grietas que se forman debido a las fuerzas tensionales que actúan durante la deformación (en nuestro caso por los deslizamientos de tierra).

Hidrotermalismo.- Proceso de alteración químico-mineralógico de las rocas, resultado de la exposición directa con vapores de agua mineralizados o fluidos residuales de un magma que sale a superficie a través de planos de fallas o fractura.

Molasa.- Término que se utiliza para describir los sedimentos producidos por la erosión de cadenas montañosas, en las etapas finales de una orogenia.

Pangea.- Un supercontinente hipotético que según Wegener, debió existir antes de la ruptura provocada por la última deriva continental.

Pedraplén.- Dique o relleno de piedras lanzadas a granel.

Pelágica.- Término utilizado para designar a la forma de vida de aquellos organismos que viven en alta mar, pero no en el fondo del mar, comprende a las formas nectónicas (que nadan), y las planctónicas (que flotan).

Piezómetro.- Instrumento de medición de la presión de poro o hidrostática del subsuelo.

Pila de Cimentación.- Término utilizado en ingeniería civil para definir el tipo de cimentación, para soportar cargas verticales o resistir presiones laterales, que se construye con concreto y acero de refuerzo, colocado en una perforación del subsuelo, previamente excavada mediante métodos manuales o con maquinaria de perforación de gran diámetro.

Planctónico.- Término utilizado para designar a la forma de vida de aquellos organismos que viven flotando en las aguas marinas.

Pumítico.- Material muy ligero y poroso, de origen piroclástico, proveniente de erupciones volcánicas violentas.

Reptación.- Movimiento lento de masas de suelo, en laderas inestables.

Sinclinal.- Pliegue o sistema de pliegues en forma de cuenca, en que los estratos se inclinan hacia el interior de una concavidad, en dirección descendente hacia el eje de plegamiento

Sismógrafo.- Instrumento con que se registran los movimientos telúricos o temblores de tierra, naturales y generados por una onda sísmica.

Terraplén.- Cuerpo de tierra compactada, con que se rellena depresiones o renivefa el terreno.

PLANOS.