

54



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**PROGRAMA DE ESTUDIOS INGENIERILES  
BASICOS PARA CONSTRUIR UN MAPA  
DE RIESGOS DE LA CIUDAD DE  
TEZIUTLAN PUEBLA.**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO CIVIL**  
P R E S E N T A :  
**SIDONIO GARCIA ORTIZ**

293152



DIRECTOR DE TESIS: M. EN I. GABRIEL MORENO PECERO.

MEXICO, D.F.

2001



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.



LIBERTAD NACIONAL  
AVANZAMA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/095/00

Señor  
SIDONIO GARCIA ORTIZ  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. GABRIEL MORENO PECERO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"PROGRAMA DE ESTUDIOS INGENIERILES BASICOS PARA CONSTRUIR UN MAPA DE RIESGOS DE LA CIUDAD DE TEZIUTLAN PUEBLA"**

- INTRODUCCION
- I. ANTECEDENTES
  - II. RECOPIACION Y ANALISIS DE LA INFORMACION HIDROLOGICA, CARTOGRAFICA, GEOLOGICA Y GEOTECNICA
  - III. ACCIONES INMEDIATAS
  - IV. ELABORACION DE ESTUDIOS BASICOS
  - V. ELABORACION DE MAPAS
  - VI. CONCLUSIONES

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 deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria a 1º de agosto de 2000  
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GFB/GMP/astg.

**"PROGRAMA DE ESTUDIOS INGENIERILES BASICOS PARA CONSTRUIR UN MAPA  
DE RIESGOS DE LA CIUDAD DE TEZIUTLAN PUEBLA"**

<b>CONTENIDO</b>	<b>Página</b>
<b>Introducción.</b>	1
<b>Capitulo I. Antecedentes.</b>	
I.1. Generalidades.	4
I.2. Problemática.	5
I.3. Objetivos.	8
<b>Capítulo II. Recopilación y análisis de la información hidrológica, cartográfica, geológica y geotécnica.</b>	
II.1. Información hidrometeorológica	9
II.2. Información hidrológica.	25
II.3. Planos urbanos de la localidad.	32
II.4. Planos del sistema de drenaje pluvial	34
II.5. Reporte de daños en las lluvias del año pasado.	34
II.6. Cartografía.	41
II.7. Geología y Geotécnia.	42
<b>Capitulo III. Acciones inmediatas.</b>	
III.1. Identificación de zonas de riesgos geológicos.	52
III.2. Revisión de las condiciones actuales del sistema de drenaje pluvial.	69
<b>Capitulo IV. Elaboración de estudios básicos.</b>	
IV.1. Cartografía básica.	78
IV.1.1.- Levantamiento aerofotográfico.	78
IV.1.2.- Plano topográfico escala 1:5 000 de la zona de detalle.	81
IV.1.3.- Plano topográfico a escala 1:25 000 de la zona de semidetalle.	82
IV.1.4.- Fotointerpretación geológica y morfológica.	82
IV.2. Estudio hidrometeorológico.	82
IV.3. Estudio hidrológico.	83
IV.4. Estudio Geológico	85
IV.4.1.- Reconocimiento geológico superficial.	85
IV.5. Estudio geotécnico.	85
IV.5.1.- Exploración del subsuelo.	85
IV.5.1.1.-Prospección Geofísica.	86
IV.5.1.2.- Muestreo directo en cortes.	87
IV.5.1.3.- Excavación y muestreo de pozos a cielo abierto.	88
IV.5.1.4.- Perforaciones exploratorias.	88
IV.5.2.- Ensayes de laboratorio.	90
IV.5.3.- Informe final.	90

<b>Capítulo V.</b>	<b>Elaboración de mapas.</b>	
V.1.	Mapas hidrometeorológicos	104
V.2.	Mapas hidrológicos (Esc. 1:5 000).	104
V.3.	Mapas Geológicos-Geomorfológicos (Esc. 1:25 000).	104
V.4.	Mapas Geotécnicos y Geológicos.	105
	V.4.1.- Mapa de factores geológicos con incidencia constructiva.	105
	V.4.2.- Mapa de características geomecánicas y constructivas.	106
V.5.	Mapa de sitios o puntos conflictivos con riesgos importantes.	107
<b>Capítulo VI.</b>	<b>Conclusiones.</b>	<b>109</b>

*"El poder que se maneja, los favores que se mendigan, el dinero que se amasa, las dignidades que se consiguen, tienen cierto valor efímero que pueden satisfacer los apetitos del que no lleva en sí mismo, en sus virtudes intrínsecas, las fuerzas morales que embellecen y califican la vida. Por que vivir, es aprender, para ignorar menos: es amar, para vincularnos a una parte mayor de la humanidad; es admirar, para compartir las excelencias de la naturaleza y de los hombres: es un esfuerzo por mejorarse: un incesante afán de elevación hacia los ideales definidos".*

*Dedicado con mucho amor y agradecimiento a todas las personas que de manera directa e indirecta hicieron posible este gran obsequio para mí. A mis padres, hermanos, familia, maestros, amigos, a mi novia; a la Universidad Nacional Autónoma de México por su autonomía y gratuidad y en especial a Dios por estos momentos maravillosos.*

*Gracias  
Sidonio García Ortiz*

# INTRODUCCIÓN

**INTRODUCCION**

Ahora se sabe que al igual que un ser vivo nuestro planeta se transforma constantemente. Evidencias de lo anterior son los sismos, las erupciones volcánicas, los ciclones, los derrumbes de cerros, ect. En muchas ocasiones el acontecimiento de éstos, han significado un gran desastre para la vida humana al sufrir la pérdida de semejantes y graves daños en su patrimonio. Por lo que esas amargas experiencias deben conducir al hombre a plantear una política de prevención de desastres, que no vea a éstos como fenómenos "naturales", sino como resultado de la manera en que la sociedad humana se relaciona con su medio ambiente, y consigo misma. De ahí que deba reconocerse que la mayor parte de los desastres son generados por la acción del hombre durante su proceso de desarrollo social y económico.

Es necesario un plan nacional de prevención que advierta el número creciente de desastres que han azotado a nuestro país y las amenazas a las que estamos expuestos, como el sismo de 8.3 grados que podría presentarse en la llamada brecha de Acapulco, los fenómenos meteorológicos de gran intensidad, la acelerada destrucción de nuestro medio ambiente, y en muchos casos la inadecuada forma en que se ha desarrollado la infraestructura, sólo por citar algunos ejemplos.

En los últimos años, hemos sufrido entre otras tragedias, las generadas por fenómenos meteorológicos como: fuertes e intensas lluvias en ciertas regiones del país y prolongadas sequías en otras. En las primeras (de las cuales trata esta tesis), los daños materiales son incuantificables y se ha registrado la pérdida de vidas humanas; en las segundas los daños son menos trágicos sin que por ello deban soslayarse de un plan de prevención.

Durante el mes de marzo del 2000 se llevó a cabo en varias ciudades de México una serie de eventos académicos que conformaron el CONGRESO NACIONAL POR LA PREVENCIÓN DE DESASTRES (CNPS), esfuerzo convocado por las universidades Autónoma de Puebla, Madero, De las Américas Puebla, Autónoma de Guerrero, Veracruzana, Autónoma de Tlaxcala, Realística y el Colegio Americano de Puebla: el Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social; así como la Dirección de Protección Civil del Gobierno del Distrito Federal.

El propósito del Congreso fue reunir diagnósticos, evidencias, experiencias, pronósticos y propuestas que contribuyeran a comprender los fenómenos de los desastres, advertir las tendencias futuras y tratar de proponer medidas para reducir los impactos de la manera tan grave y que en forma creciente han afectado sobre todo a los países pobres. Se presentaron y analizaron cerca de 150 ponencias sobre diversos aspectos de los desastres y el acuerdo de los organizadores fue el siguiente:

"Es necesario crear en nuestro país una Política Nacional de Prevención de Desastres, la cual más que una norma gubernamental, sea una tarea de Estado, que este por encima de los vaivenes gubernamentales y partidistas y que tome en cuenta los siguientes elementos":

Que las características de las economías tienen un peso fundamental en las condiciones de vulnerabilidad frente a los fenómenos desastrosos de origen natural o antropogénico, y aún específicamente en la generación de peligros. La pobreza y marginación en la que vivimos millones de mexicanos, son por sí mismas elementos propiciadores de desastres; sin embargo, sostenemos que es posible mitigar muchas aristas de la vulnerabilidad y con ello reducir las calamidades sin esperar a que las condiciones de pobreza se resuelvan por completo. Más aún los desastres agudizan las condiciones de pobreza y por ello también es necesario reducir sus impactos;

Que el gobierno en sus tres niveles necesita una organización mucho más adecuada para el manejo de los desastres en las diferentes fases, por lo que se requiere un profundo replanteamiento del problema y encontrar soluciones adecuadas y urgentes. Si, como se puede demostrar, los desastres son un proceso derivado de la acción humana, las instancias gubernamentales para el manejo de los mismos deben integrarse a las dependencias que atienden los temas de desarrollo, sin menos cabo de las que agrupan a los cuerpos de intervención en emergencias;

Que se requiere incluir realmente dentro de una política de manejo de desastres, a las comunidades afectables como sujetos del problema y de la solución, y no considerarlos como simples "objetos", de los llamados profesionales de la protección civil. Existen para ello múltiples formas de organización social propias de las diferentes poblaciones que deben ser parte de las acciones preventivas;

Que es extraordinariamente importante conocer las situaciones precisas de las amenazas desastrosas, las condiciones de vulnerabilidad y los riesgos derivados de los anteriores elementos, por ello se requiere llevar a cabo profundas investigaciones científicas y técnicas en todos los aspectos relacionados con la posibilidad de prevenir y enfrentar desastres, así como contar con equipos de investigadores estables y debidamente financiados que puedan producir conocimientos necesarios en este campo, tanto en lo relacionado con las ciencias exactas, lo concerniente a las ciencias sociales - estas últimas tradicionalmente mucho menos apoyadas, y serios esfuerzos por conocer las situaciones de peligro mediante instrumentos multidisciplinarios. Las instituciones convocantes del Congreso mencionado están en la mejor disposición para contribuir en esta tarea;

Que el combate a la corrupción, la impunidad, la negligencia y la arbitrariedad significa avanzar contra las condiciones de vulnerabilidad en todos los aspectos;

Que todos los argumentos de la presente propuesta deberían transformarse en instrumentos que formen parte del Plan Nacional de Desarrollo y también de los planes de los estados y municipios, particularmente en lo referente a los aspectos relacionados con las actividades socioeconómicas;

Que estas consideraciones y otras complementarias deberían incorporarse en la legislación en materia de Prevención y de Protección Civil.

Hoy ante la imperiosa necesidad de evitar tragedias como las tenidas en el último año del milenio pasado por fenómenos naturales en muchos lugares del país, se ponen de manifiesto organizaciones como la anterior que pugnan por el diseño de un plan de prevención desastres y no de rescate. Dichas manifestaciones

surgen por que es obvia la incapacidad que han mostrado hasta hoy los programas que han desarrollado las autoridades correspondientes en el ámbito de prevención de desastres.

Esta tesis pretende ser un ejemplo de lo que se puede hacer en materia de prevención, plantea un programa de estudios básicos de ingeniería que permitan construir un plano de riesgos geológicos y por avenidas que delimiten las zonas de alto riesgo de La Ciudad de Teziutlán en el Estado de Puebla y con esto las autoridades correspondientes, puedan tomar las medidas de prevención y corrección necesarias para atenuar la magnitud de los desastres, como el ocurrido en la época de lluvias del año de 1999.

Los trabajos de investigación que se plantean para la ciudad de Teziutlán son: recopilación de información hidrometeorológica, geológica, topográfica, hidrológica, geotécnica y de infraestructura en el drenaje pluvial, así como las causas y efectos que provocaron las lluvias de octubre de 1999; se realiza un análisis hidrometeorológico; se calculan los gastos de los sitios donde existen problemas por un drenaje pluvial inadecuado o inexistente, se zonifica geológicamente de manera preliminar a la ciudad, planteando la problemática y posibles soluciones en cada zona y se presenta el análisis de estabilidad del talud actual en la zona donde ocurrió la mayor falla de ladera en 1999 en dicha localidad.

Finalmente y con la idea de coadyuvar en la construcción de los planos de riesgos para la citada ciudad, se plantean una serie de estudios ingenieriles básicos. De esta manera, y como ejemplo de lo que se quiere obtener como producto final, se presenta parte de un plano de riesgos que se realizó para la comunidad de Alcoy en España.

Espero que esta propuesta sea un aliciente para mejorar nuestra convivencia con el medio ambiente que nos rodea.

*Sidonio García Ortiz,  
Ciudad Universitaria, México 2001*

# CAPITULO I

## ANTECEDENTES

## I.- ANTECEDENTES

### I.1.- Generalidades.

El municipio de Teziutlán pertenece al estado de Puebla y colinda al norte con los municipios de Hueyapan y Hueytamalco; al este con los municipios de Hueytamalco y Xiutetelco; al sur con los municipios de Xiutetelco y Chignautla; al oeste con los municipios de Chignautla y Hueyapan. Este municipio ocupa el 0.32% de la superficie del estado. Ver figura I.1

De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), que ha publicado en el "Cuaderno estadístico Municipal" correspondiente al año de 1998, establece que un 37% aproximadamente de la superficie del municipio, es ocupada para la agricultura cuyos principales productos son: el maíz, al aguacate, la manzana, y la pera; el 31% aproximadamente de la superficie es zona boscosa constituida por: Ocosote, Marangola, Ocote colorado y encino negro, estos son explotados para madera; 15% de la superficie está ocupada como pastizal y el resto es utilizada para otros servicios.

Las coordenadas geográficas de la cabecera municipal (ciudad de Teziutlán), son: 19°49' de latitud norte; 97°22' de longitud oeste y su altitud en msnm es de 1940. El clima dominante es templado húmedo con lluvias todo el año y la temperatura media anual es de 15 °C.

La morfología general de la región está considerada en un 80% como zona montañosa y el 20% restante como una zona de lomeríos con llanuras.

La corriente superficial más importante que pasa por el poblado es un río conocido como "El Calvario" cuya corriente va de sur a norte. Sin embargo, debido a las fuertes y continuas precipitaciones y a la morfología del sitio, se forman una gran cantidad de arroyos pequeños sin una corriente definida.

Uno de los puntos fundamentales por los cuales es necesario hacer estudios que permitan planear un desarrollo adecuado de la localidad, es la forma en como ha sucedido el crecimiento poblacional registrado en los últimos 50 años y que de acuerdo con el INEGI, se resume en la tabla I.1.

Tabla I.1 Población total del municipio de Teziutlán desde 1950 al año 2000.

Año	Total población	Tasa Municipal	Tasa Estatal
1950	25 172		
1960	30 776	2.0	2.0
1970	40 742	3.0	2.5
1980	50 572	2.1	2.8
1990	63 245	2.3	2.2
2000	81 001	2.1	2.0

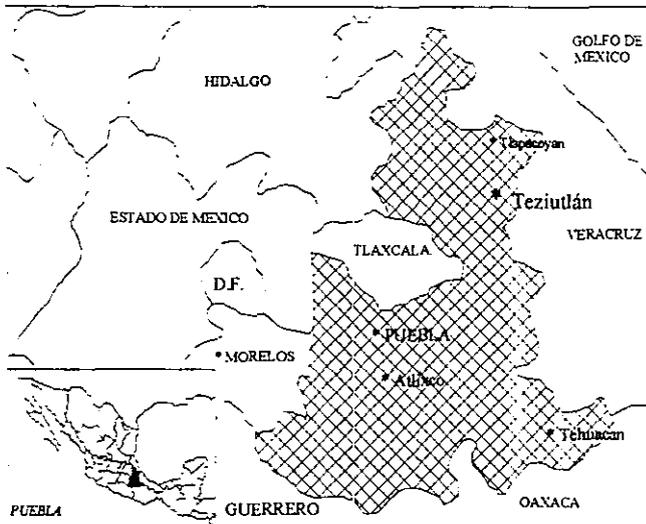


Figura L1.- Croquis de localización general de Teziutlán.

La tasa de crecimiento se calculó de acuerdo con la siguiente fórmula.

$$tasa\ de\ crecimiento\ media\ anual \equiv \left\{ \left( \frac{pob\ al\ final\ del\ periodo}{pob.\ al\ inicio\ del\ periodo} \right)^{\frac{1}{No.\ de\ años\ considerados}} - 1 \right\} * 100$$

En la tabla I.1. se observa el aumento de población del municipio en el periodo de 1950 al año 2000, se indica además que la tasa de crecimiento anual ha sido de 2% aproximadamente, la cual corresponde a una tasa similar de crecimiento presentando en el Estado.

Lo anterior no sería un dato importante si no es por que el 70% de la población del municipio, se ha concentrado en los alrededores de la ciudad de Teziutlán, trayendo consigo todo tipo de problemas por falta de servicios públicos adecuados, ya que las autoridades correspondientes se han visto superadas por este crecimiento poblacional.

### 1.2.- Problemática.

Por su ubicación geográfica la región norte del estado de Puebla esta sometida buena parte del año a lluvias de intensidad variable, que son causa de fenómenos meteorológicos provenientes del Océano Atlántico, de latitudes polares y ocasionalmente del Océano Pacífico. Sin embargo, en el año 1999 la cantidad de lluvia

que se hizo presente en los últimos días de septiembre y los primeros días del mes de octubre. fue tal, que se registraron fallas en diversos tipos de estructuras, trayendo como consecuencias: la muy lamentable pérdida de vidas humanas y cuantiosos daños materiales en amplias zonas de ocupación urbana, así como en infraestructura, principalmente en vías de comunicación como: carreteras pavimentadas y caminos rurales de terracería, también fueron apreciables fallas de taludes y movimiento de laderas que obstruyeron carreteras, y arrastraron y sepultaron un gran número de viviendas; en otros puntos la mala calidad del terreno y la topografía muy escarpada del mismo provocó que las casas sufrieran daños estructurales considerables. La magnitud de la tragedia y de los daños materiales, rebasó la incapacidad de las autoridades, de esta circunstancia se derivó la creación de la **Fundación Pro- Reconstrucción de Teziutlán**, organización civil que está constituida por vecinos de dicho poblado, quienes preocupados porque esta situación no se viva nuevamente, se han organizado y han puesto de manifiesto toda su cooperación para determinar las causas que produjeron las tragedias y a partir de ello tomar las acciones para evitar nuevos desastres.

De acuerdo con lo anterior, se hizo una visita al sitio de los hechos con la intención de reconocer de manera preliminar las causas que provocaron los problemas mencionados, y con base en esto proponer los trabajos de ingeniería que permitan por una parte, conocer a detalle las causas de los problemas; y por otro lado, construir mapas de riesgos que contengan los datos necesarios para planear el sano crecimiento de la ciudad en todos sus ámbitos. De esta primera visita se observó que: los grandes daños causados son producto de diversos factores que se asociaron y conjugaron. Es decir no son sólo por causa de los aguaceros que generó la depresión tropical N° 11 y el paso de las ondas tropicales, si no también de las condiciones geológicas y morfológicas de la zona, así como de una alteración evidente del medio ambiente como la deforestación.

En el caso de la zona urbana, se aprecia un crecimiento desordenado, sin control, incluso hay zonas donde las estructuras están desplantadas sobre materiales de relleno mal compactados y mal confinados en las laderas de barrancas.

Este crecimiento urbano también ha dado lugar a que se abran y pavimenten un gran número de calles, lo que modifica el escurrimiento de las aguas generadas durante las tormentas, ya que las calles pavimentadas producen que el agua se desplace mucho más rápido y en mayor volumen, la cual si no tiene debidamente diseñada su salida, causa grandes socavaciones en las zonas de descarga provocando la inestabilidad del terreno y afectando gravemente a lo que este alrededor de la descarga.

De acuerdo con este planteamiento y ante la llegada de la próxima temporada de lluvias, la ciudad de Teziutlán seguramente presenta sitios de riesgo inminente que deben ser identificados oportunamente con el fin de tomar las medidas preventivas que sean necesarias para evitar o por lo menos reducir consecuencias que posteriormente se puedan lamentar.

Llegar a establecer un plan de crecimiento urbano y llevarlo a su aplicación representa un gran esfuerzo que se debe realizar. Sin embargo, este tipo de planes de ordenamiento urbano se llevan tiempos demasiado largos, y en este caso sería muy riesgoso esperar para que se puedan llevar a cabo, requiriéndose mas bien el

identificar y realizar acciones inmediatas que eviten el tomar riesgos innecesarios en tiempos más cortos y que al final de cuentas serán elementos de apoyo para la definición de programas más ambiciosos que apoyen el crecimiento ordenado de la población.

Adicionalmente se revisó el "Programa de Ordenamiento Urbano, Municipal y de Centro de Población. Teziutlán Puebla", realizado por una empresa privada en el año de 1996, para el Gobierno del Estado de Puebla y la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología del Estado. Dicho estudio tiene poca información que pueda servir de apoyo para los estudios planteados en párrafos anteriores y se puede pensar que éste ha mostrado su ineficacia con las tragedias sufridas. Sin embargo, cuenta con algunos planos e información que puede ser de utilidad.

Se considera que la toma de decisiones en materia de Desarrollo Urbano debe de ir precedida de una información Básica Previa y entre las materias que esta información debe considerar están las relativas al Medio Físico, ya que éste condiciona el desarrollo y las actividades cotidianas de la ciudad con su entorno de muchas formas. El suelo, aparte de sus usos agrícolas y recreativos, es también el soporte de construcciones y como tal influye en los aspectos económicos (generalmente a mediano y largo plazo), que lleva consigo toda decisión urbanística. El sobre costo y el riesgo de desastres que suponen terrenos problemáticos sobre las construcciones e infraestructura, al final lo paga la comunidad; por lo que debe de ser considerado por quienes tienen el poder de decisión en materia urbanística.

Por otra parte, la realización racional de proyectos constructivos en los que tiene que ver el terreno (sea en cimentaciones, taludes u obras de tierra), requiere de un documento que facilite previamente al diseñador una guía sobre las características mecánicas del terreno natural, de su idoneidad para construir rellenos, de la problemática que se puede encontrar en excavaciones, etc. para que los proyectos sean más útiles, seguros y económicos.

En la República Mexicana existen planos geológicos a escalas 1:250,000 y 1:50,000 editados por el INEGI que únicamente muestran la distribución superficial de las unidades litológicas y rasgos estructurales, pero sin información geotécnica complementaria e identificación de Riesgos Naturales.

Existen también planos de Hidrología Superficial y Subterránea, pero también a una escala grande (1:250,000).

En la zona urbana y alrededores de la Ciudad de Teziutlán se tienen una serie de problemas relacionados con la expansión urbana, ya que por su morfología y los tipos de materiales que la conforman, tiene una gran cantidad de zonas con riesgos naturales por movimientos de ladera, erosión intensa y daños provocados por las avenidas, motivo por el cual es necesario realizar una Cartografía Especializada de la ciudad que identifique las zonas con riesgos potenciales y establezca recomendaciones generales para disminuir o evitar los problemas futuros.

Dentro del planteamiento que se presenta, se considera conveniente estudiar una zona amplia que abarque la población de Teziutlán y sus alrededores, a una escala 1:25,000; que considere el inicio de las cuencas

de los arroyos que atraviesan la zona urbana de Teziutlán y que ilustre claramente el marco geológico e hidrológico de la región.

Por otra parte, se considera una zona de menor dimensión para estudiarla con mayor detalle (escala 1:5,000); la cual incluye la zona urbana actual de Teziutlán y sus áreas de futuro crecimiento. En esta área se efectuará la cartografía geotécnica y Delimitación de Riesgos Naturales.

### 1.3.-Objetivos.

Los objetivos de este trabajo son:

- ⇒ Plantear la problemática que vive actualmente la ciudad de Teziutlán en materia de riesgos por avenidas y por deslizamientos o fallas de laderas.
- ⇒ Determinar las principales causas que provocaron la pérdida de un gran número de personas y ~~uti~~ sin fin de daños materiales en el mes de octubre de 1999.
- ⇒ Dar algunas recomendaciones de carácter general pero que puedan ser aplicadas de manera inmediata para evitar que lo sucedido se repita.
- ⇒ Hacer una propuesta técnica de carácter conceptual pero que de la pauta para crear una serie de mapas o planos de riesgo por avenidas que sean útiles a los urbanistas para planear de la mejor manera el desarrollo urbano de una ciudad en pleno crecimiento como lo es Teziutlán.

CAPITULO II  
RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE  
INFORMACIÓN HIDROLÓGICA,  
CARTOGRÁFICA, GEOLÓGICA  
Y GEOTÉCNICA

## II.- RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA, CARTOGRÁFICA, GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA.

Con el fin de tener un panorama claro de que factores intervinieron para que se presentaran las condiciones desastrosas en la sierra norte del estado de Puebla, en particular en la ciudad de Teziutlán y sus alrededores en los primeros días de octubre de 1999, se efectuó una recopilación de la información existente en lo que corresponde a los diferentes temas considerados, habiendo visitado diferentes Dependencias públicas y empresas privadas que han realizado trabajos en el área de interés.

Al respecto, en el área de Hidrometeorología, se acudió al Servicio Meteorológico Nacional (SMN); por la Internet se obtuvo también información del Servicio meteorológico Nacional de los Estados Unidos de América (National Weather Service), así como del Centro de Predicción Tropical de la National Oceanic Atmospheric Administration. En cuanto al concepto de Hidrología, el apoyo cartográfico para la definición de las cuencas y de las corrientes asociadas a ellas se obtuvo información del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), así como de la información disponible a este respecto en la Gerencia del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua, la cartografía de detalle, se obtuvo principalmente de la dirección de Desarrollo Urbano del Ayuntamiento de Teziutlán y del Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio; estos mapas topográficos fueron elaborados por el Instituto de Catastro del Estado de Puebla, también se dispuso de los planos que conforman el estudio denominado "Programa de Ordenamiento Urbano del Centro de Población de Teziutlán", realizado por la empresa Grupo Consultor de Diseño Urbano y Arquitectura, S. De R. L. de C. V..

Por medio de las autoridades del municipio, se obtuvieron los reportes de los daños materiales y humanos provocados por las lluvias de octubre de 1999, en particular los elaborados por el Centro Nacional de Prevención de Desastres de la Secretaría de Gobernación (CENAPRED) y el de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). Información adicional al respecto se obtuvo de visitas propias al sitio.

En cuanto a información de Geología y Geotecnia, se acudió a la Comisión Federal de Electricidad, a la Universidad Nacional Autónoma de México y al Instituto Politécnico Nacional, en donde se analizaron diversos trabajos de aplicación, de investigación y tesis que plasman los trabajos realizados al suelo de zonas próximas a la ciudad de Teziutlán.

En los siguientes párrafos se presenta un análisis más detallado de la información obtenida de acuerdo con las necesidades de este trabajo.

### II.1.- INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA.

"Observando el ciclo hidrológico, resulta bastante evidente, que dicho ciclo es denominado en esencia por los procesos atmosféricos, y quizás sea menos obvio observar que la Meteorología auxiliará a la solución

de problemas de aguas superficiales y subterráneas, para lograr un control y manejo eficiente de los recursos hidráulicos de un país. sin embargo, lo anterior es una realidad. Es entonces cuando nace una nueva ciencia encargada de estudiar los nuevos procesos atmosféricos que afectan los recursos hidráulicos de la tierra y que son de interés a la ingeniería hidrológica. ésta ciencia es la Hidrometeorología. Una definición más amplia, propuesta en 1963 por la World Meteorological Organisation indica que ésta trata del estudio de las fases atmosféricas terrestres del ciclo hidrológico y en especial de sus interrelaciones<sup>1</sup>. De acuerdo con la definición anterior se describen los conceptos necesarios para el planteamiento de algunos modelos de lluvia.

*a).- Presión Atmosférica.*

Es el peso de la columna de aire que gravita sobre una unidad de área, dividido entre dicha unidad de área. La presión atmosférica se mide normalmente con aparatos que usan el mismo principio que el de Torricelli, entre mayor sea la presión atmosférica mayor es la altura de mercurio en un tubo de vidrio graduado, cuyo líquido está expuesto a la atmósfera. Al nivel del mar, ésta columna alcanza una altura de aproximadamente 760 mm de Hg. Esta altura se usa como unidad de presión. Otras unidades de presión muy usadas son el bar (1 bar = 760 mm Hg.), la atmósfera (1 atm = 1.033 Kg/cm<sup>2</sup>), y el Kg/cm<sup>2</sup>. Un bar se define como la presión que existe en promedio a nivel del mar, con una temperatura de 0 °C. Se estipula que la presión estándar o de referencia sea la que se tiene a nivel del mar y con una temperatura de 15 °C que es de 1013.2 mb.

La presión varía con la altitud a razón aproximadamente de 1 mb por cada 10 m o más aproximadamente en la forma:

$$p = 1013.2 \left[ \frac{288 - 0.0065z}{288} \right]^{5.256}$$

Donde z es la altitud sobre el nivel del mar en m y p es la presión en mb.

*b).- Presión de vapor.*

La atmósfera está formada por una gran cantidad de elementos, como son hidrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, etc. Desde el punto de vista hidrológico, el componente más importante es el agua, en forma sólida, líquida y, especialmente, gaseosa, a pesar de que el agua líquida y el hielo juntos no pasan en promedio el 1%, del volumen de la atmósfera, y el vapor de agua no representa más del 4%.

La cantidad de vapor de agua contenida en el aire se expresa como la presión que ejercería si todos los otros gases estuvieran ausentes, esto es, como el peso de una columna de vapor por unidad de área, al cual se conoce como presión de vapor. Para una presión y temperatura dadas, siempre hay una cantidad máxima de vapor por unidad de volumen que puede existir sin condensarse, es decir, sin

<sup>1</sup> Proceso del Ciclo Hidrológico.  
D.F Campos Aranda. Universidad Autónoma de San Luis.

pasar al estado líquido. Cuando una masa de aire contiene ésta cantidad máxima de vapor, se dice que está *saturada* (figura II.1) y la temperatura existente en ese momento se denomina *punto de rocío*.

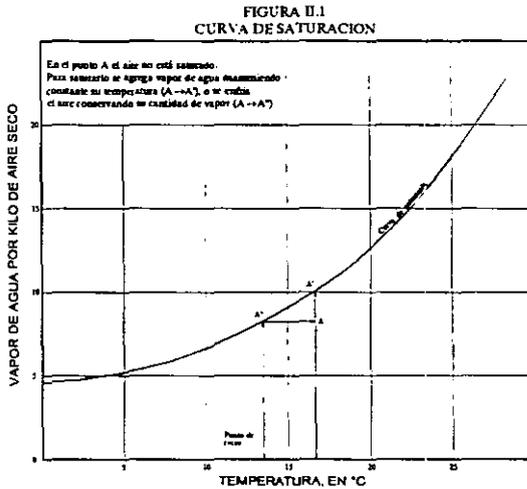


Figura II.1.- Curva de saturación.

La presión de vapor de saturación se puede relacionar con la presión de vapor que se tiene en un momento dado mediante la ecuación:

$$e_d = e_w - 0.00066 p (T_a - T_w) (1 + 0.00115 T_w)$$

Donde  $e_d$  es la presión de saturación correspondiente a un punto de rocío  $T_d$ ,  $T_a$  es la temperatura real del aire, medida con un termómetro común (temperatura de bulbo seco);  $T_w$  es la temperatura medida con un termómetro que tiene el depósito de mercurio cubierto con una franela húmeda (temperatura de bulbo húmedo), y  $e_w$  es la presión de vapor correspondiente. La temperatura se mide en °C y las presiones en cualquier unidad.

**c).- Humedad relativa.**

Es la relación entre la presión de vapor real y la de saturación, expresada en porcentaje.

$$H_r = 100 \frac{e_a}{e_s}$$

Donde  $e_a$  es la presión de vapor real,  $e_s$  es la presión de vapor de saturación y  $H_r$  es la humedad relativa en %.

La humedad relativa se mide por medio del hidrógrafo, cuyo órgano sensible está constituido por un haz de cabellos de mujer joven y rubia, la longitud de los cuales varía sensiblemente con el grado de humedad. La humedad relativa se relaciona con la presión de vapor y la temperatura con la gráfica siguiente.

*d).- Humedad absoluta.*

Es la masa de vapor de agua contenida en una unidad de volumen de aire:

$$\rho_v = \frac{\text{masa de vapor}}{\text{volumen de aire}} = \frac{M_v}{V}$$

donde  $\rho_v$  es la humedad absoluta, también llamada densidad de vapor o concentración de vapor.

*e).- Humedad específica.*

Se define como la relación entre la masa de vapor y la de aire húmedo, (aire + vapor):

$$H_s = q = \frac{M_v}{M_a + M_v} = \frac{\rho_v}{\rho_a + \rho_v} = \frac{\rho_v}{\rho}$$

Donde  $H_s$  o  $q$  es la humedad específica,  $M_a$  es la masa del aire seco,  $\rho_a$  es la densidad del aire seco y  $\rho$  es la densidad del aire húmedo.

*f).- Agua precipitable.*

Para que se formen las nubes, el agua que se evapora de la superficie terrestre debe elevarse hasta que la presión y la temperatura sean las necesarias para que exista condensación, es decir hasta que se pueda alcanzar el punto de rocío. Cuando una masa de aire asciende, se ve sujeta a una presión gradualmente decreciente; entonces se expande y, al expandirse, en virtud de las leyes de los gases, disminuye su temperatura. Si la temperatura, disminuye lo suficiente como para quedar por debajo del punto de rocío, puede comenzar la condensación. Esta tiene lugar al unirse varias de las pequeñas gotas que forman las nubes (cuyo diámetro está entre 5 y 100 micras) para formar gotas más grandes. sin embargo, para que esta unión se verifique en cantidades significativas sin la intervención de otros elementos, es necesario que la supersaturación (temperaturas más bajas del punto de rocío), sea mayor de la que normalmente se produce en la atmósfera; en esas condiciones se tendrán núcleos de condensación (unión de varias gotitas) uniformes. En realidad, estos núcleos se forman, con las condiciones de supersaturación comunes, alrededor de corpúsculos de naturaleza mineral u orgánica presentes en la atmósfera y provenientes de la erosión orográfica. De esta manera se forman gotas más grandes que tiene ya suficiente peso para caer bajo la acción de la fuerza de gravedad.

La masa total de vapor de agua existente en una columna de aire de área unitaria y altura  $z$  se llama agua precipitable y se calcula como:

$$W = \int_0^z \rho_v dz$$

Si se acepta que la presión varía hidrostáticamente, esto es,  $dp = - \rho g dz$ , y de acuerdo con la definición de humedad específica, se tiene:

$$W = \frac{1}{g} \int_p^{p_0} q dp$$

Donde  $p$  está en mb,  $q$  en kg/kg  $W$  en mm. Con la ecuación anterior, es posible calcular el agua precipitable si se dispone de datos de humedad específica a diferentes altitudes o niveles de presión.

*g).- Vientos.*

El viento es aire en movimiento. Su velocidad se mide mediante anemómetros o anemógrafos y su dirección por medio de veletas.

Las unidades en que se expresa la velocidad del viento más comunes son km/h, m/s, o nudos. Generalmente, se le llama viento sólo al componente horizontal del movimiento del aire, pues el vertical casi siempre es muy pequeño. Las fuerzas que producen los vientos son fundamentalmente: la de presión, debida a la rotación de la Tierra (Coriolis), la centrípeta o ciclostrófica y la de fricción.

Los factores anteriores, se conjugan para crear los llamados modelos de lluvia que aíslan los elementos significativos en el proceso de precipitación y se extrapolan hasta sus extremos probables, de tal modo que se tenga una idea razonable de la máxima precipitación que puede caer en una zona dadas ciertas condiciones atmosféricas.

*h).- Tipos de precipitaciones.*

Las precipitaciones, pueden ser clasificadas de acuerdo con las condiciones que producen movimiento vertical del aire: convectivas, orográficas y de convergencia.

*Precipitaciones convectivas.*

Cuando una masa de aire próxima a la superficie del terreno aumenta su temperatura, la densidad disminuye y la masa de aire trata de ascender y de ser remplazada por otra masa de aire más densa. Este proceso es bastante lento si las masas de aire están en calma y no hay turbulencia. En cambio en regiones tropicales donde estas precipitaciones son típicas, el calentamiento desigual de la superficie terrestre, provoca el surgimiento de estratos de aire con densidades diferentes, y genera una estratificación térmica de la atmósfera en equilibrio inestable. Si ese equilibrio es roto por cualquier motivo (viento, supercalentamiento), provoca una ascensión brusca y violenta del aire menos denso, capaz de alcanzar grandes altitudes. Esas precipitaciones son de gran intensidad y corta duración, y se concentran en pequeñas áreas.

***Precipitaciones orográficas.***

Resultan de la ascensión mecánica de las corrientes de aire húmedo con movimiento horizontal cuando chocan sobre barreras naturales, tales como montañas.

***Precipitaciones por convergencia.***

Existen tres tipos: convergencia propiamente dicha, ciclones y frentes

La convergencia propiamente dicha se presenta en el caso en que dos masas de aire aproximadamente con la misma temperatura, que viajan en dirección contraria, se encuentran a un mismo nivel. El choque entre las dos masas de aire hace que ambas se eleven.

El ciclón es una masa de aire circular con baja presión que gira en el sentido contrario al de las manecillas del reloj en el hemisferio norte. Tiene en su centro el ojo del ciclón, en el cual la presión es baja comparada con la masa de aire. Funciona, entonces, como una chimenea, haciendo subir el aire de las capas inferiores. El anticiclón es una zona de alta presión circular, que gira en el sentido de las manecillas del reloj, en el hemisferio norte. Se forma un frente cuando una masa de aire en movimiento encuentra otra masa de aire de diferente temperatura. Si la masa de aire en movimiento es fría y encuentra en su camino otra de temperatura superior, el aire de ésta última, por ser menos densa, se eleva sobre la capa de aire frío formando un frente frío. Si la masa de mayor temperatura encuentra en su movimiento una masa de aire frío, se forma un frente cálido.

Las precipitaciones por convergencia en general, son de larga duración y se presentan en intensidades de bajas a moderadas, y se esparcen por grandes áreas.

**INFORMACION HIDROMETEOROLÓGICA EXISTENTE PARA TEZIUTLAN.**

De la Gerencia del Servicio Meteorológico Nacional (GSMN) se obtuvieron los boletines Meteorológicos Semanales Nos 39 y 40, correspondientes al período del 25 de septiembre al 8 de octubre de 1999, en ellos se definen algunas condiciones meteorológicas existentes en esos momentos, también se aprecia el dato de la lluvia máxima reportada en los observatorios de la GSMN. Las figuras II.2a y II.2b muestran las imágenes del satélite GOES para el periodo indicado anteriormente.

Del Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos de América (*National Weather Service: NWS*), se obtuvieron vía Internet las imágenes del satélite meteorológico GOES, tanto en la banda del Infrarrojo como la correspondiente a la imagen de Vapor de Agua para el periodo del 2 al 9 de octubre de 1999 (Figura II.3). También, vía Internet se obtuvieron las cartas del Centro de Predicción Tropical perteneciente a la NOAA (*National Oceanic Atmospheric Administration, USA*) y del Centro de Huracanes, ambos ubicados en Miami Florida, en donde se muestran los sistemas meteorológicos prevaletientes para los días 3 a 7 de octubre de 1999.

Para ejemplificar cual es tipo de cartas que emiten los mencionados Centros de Información, se presentan las figuras II.4a, II.4b y II.4c, que muestran líneas de igual presión, la dirección de frentes fríos y la

de tormentas tropicales para tres rangos de amplitud: "Zona Tropical", desde las costas de África hasta el Golfo de México; "Zona Atlántica" con cobertura del Océano Atlántico y "Zona de Norteamérica", que circunscribe a México y Estados Unidos y que prevalecieron el día 5 de octubre desde el inicio del día (00:0 hrs hasta las 12:00 hrs). Presentan además de los sistemas mencionados, el nivel de riesgo en el ámbito por donde se encuentran. Cabe mencionar que cartas como las anteriores son actualizadas cada 3 horas.

En la página WEB de la GSMN, se obtuvieron los informes de la actividad meteorológica del año 1999; donde se establece que en contraste con la baja actividad de la cuenca del Pacífico, durante la temporada de 1999 en la cuenca oceánica del Atlántico se registró una actividad arriba de la normal. Comparando, la temporada 1999 fue muy por arriba de la cifra media de 9 ciclones tropicales con nombre del promedio, a largo plazo de 1966 a 1999 (*Cinco de los ocho huracanes fueron intensos, todos de categoría IV en la escala de Saffir-Simpson*). Esta es la cifra más alta de huracanes de categoría IV en una temporada desde los registros a partir de 1886.

En México, la actividad fue significativamente más activa de lo usual, con cinco ciclones tropicales con afectación directa en el litoral del golfo de México, oriente de la mesa central y península de Yucatán. Las depresiones tropicales 2, 7 y 11, así como la tormenta tropical "Katrina" y el huracán "Bret" impactaron en el territorio nacional.



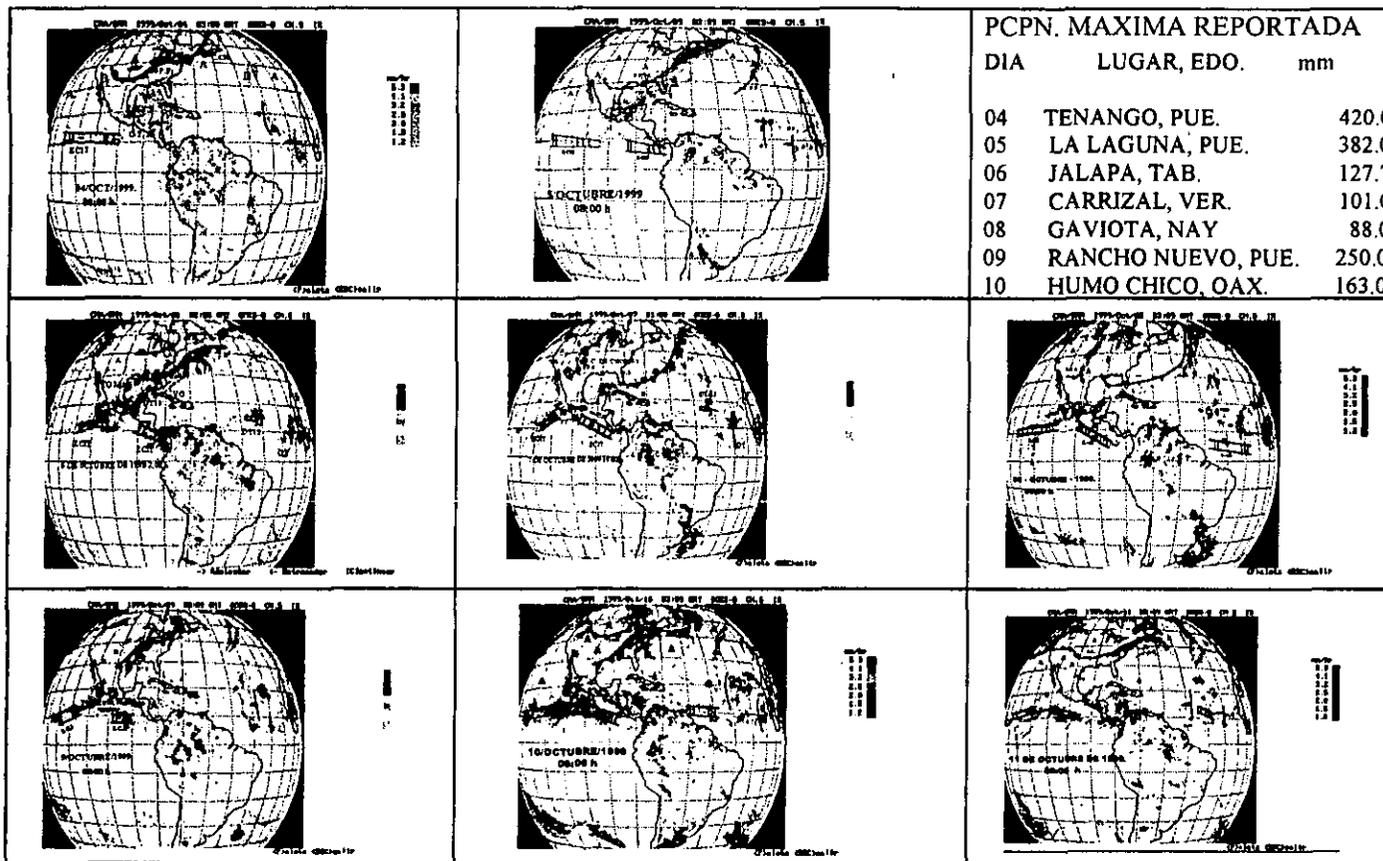
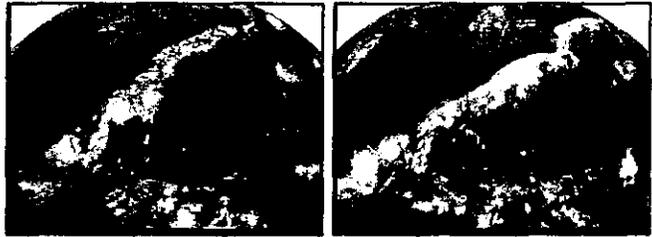
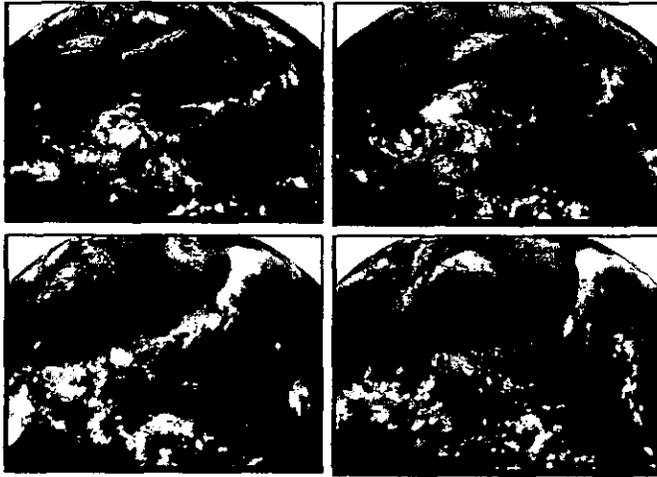


Figura II.2b. BOLETIN METEOROLOGICO SEMANAL No. 39; DEL 2 AL 08 DE OCT. DE 1999

ORGANISMO DEL SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL, OMA. OFICINA DEL SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL, OMA

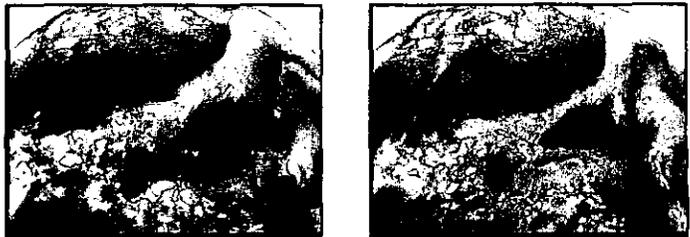
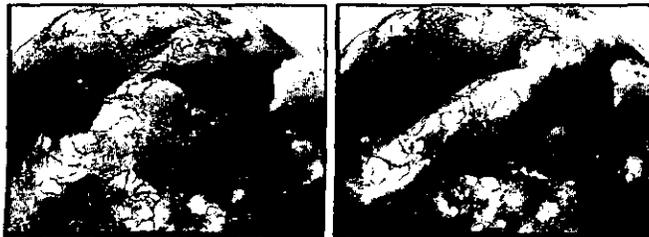


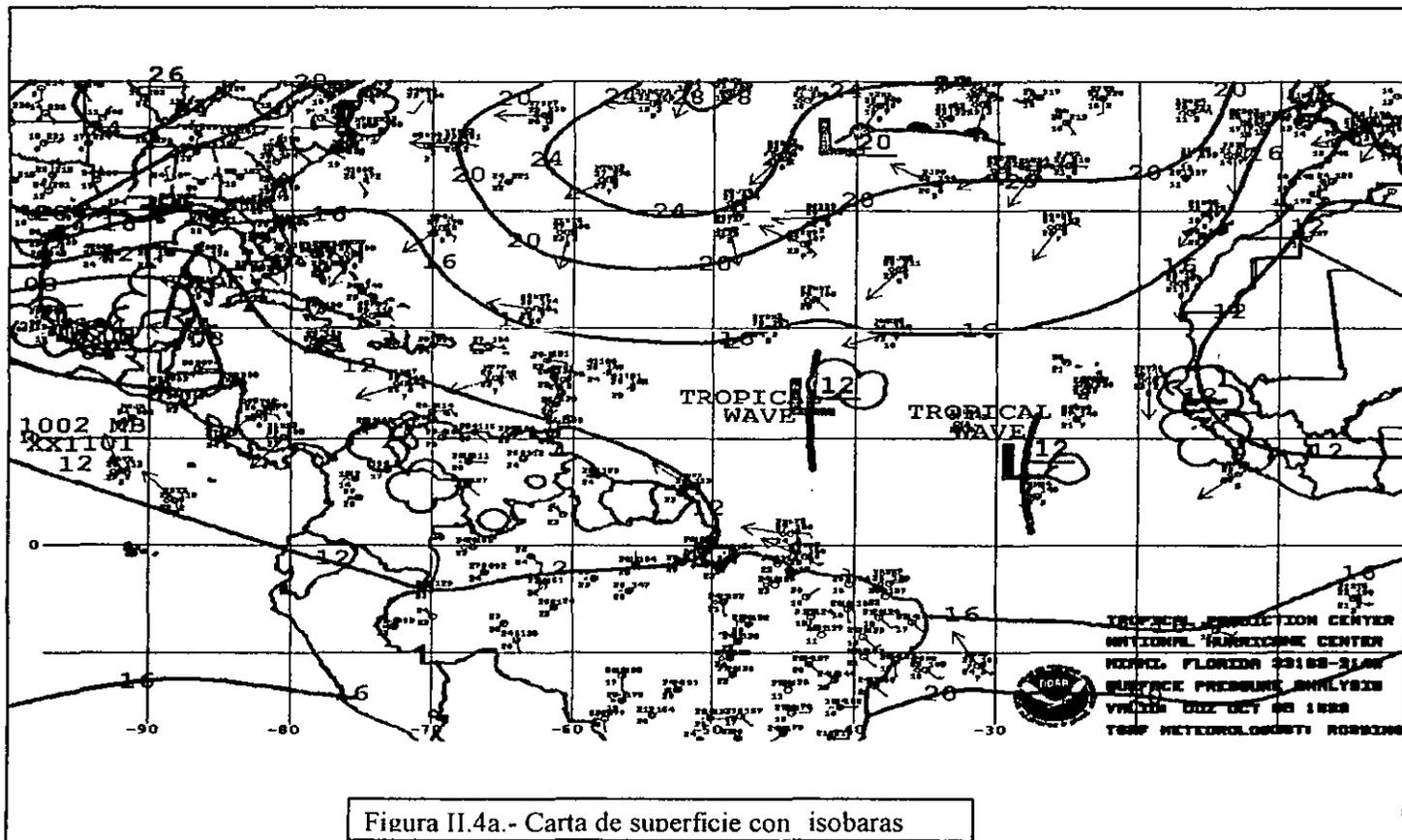
Imágenes del Satélite GOES  
Banda del espectro Infrarojo  
3 a 8 de octubre de 1999

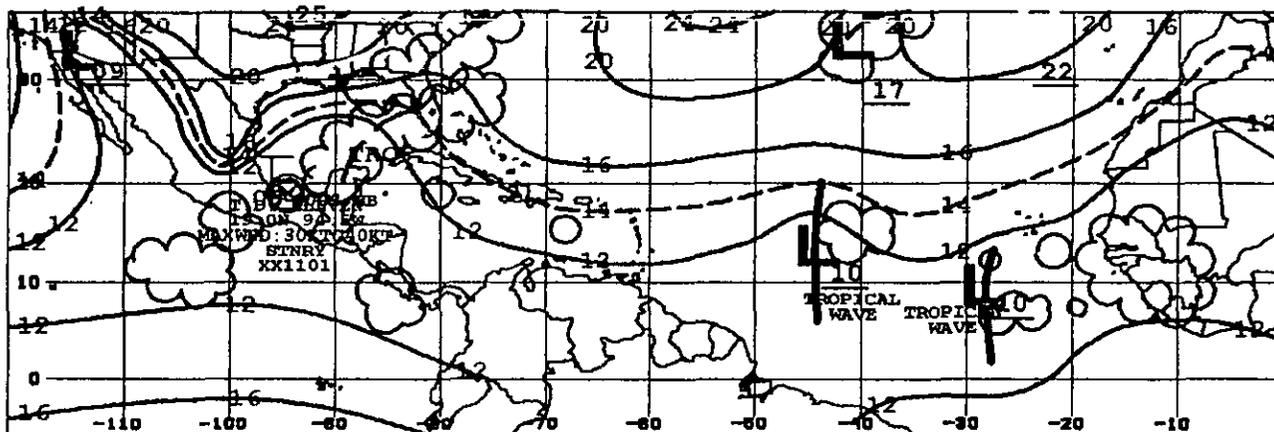
Imágenes del Satélite GOES  
Banda de espectro Vapor de agua  
3 a 8 de octubre de 1999



Figura II.3





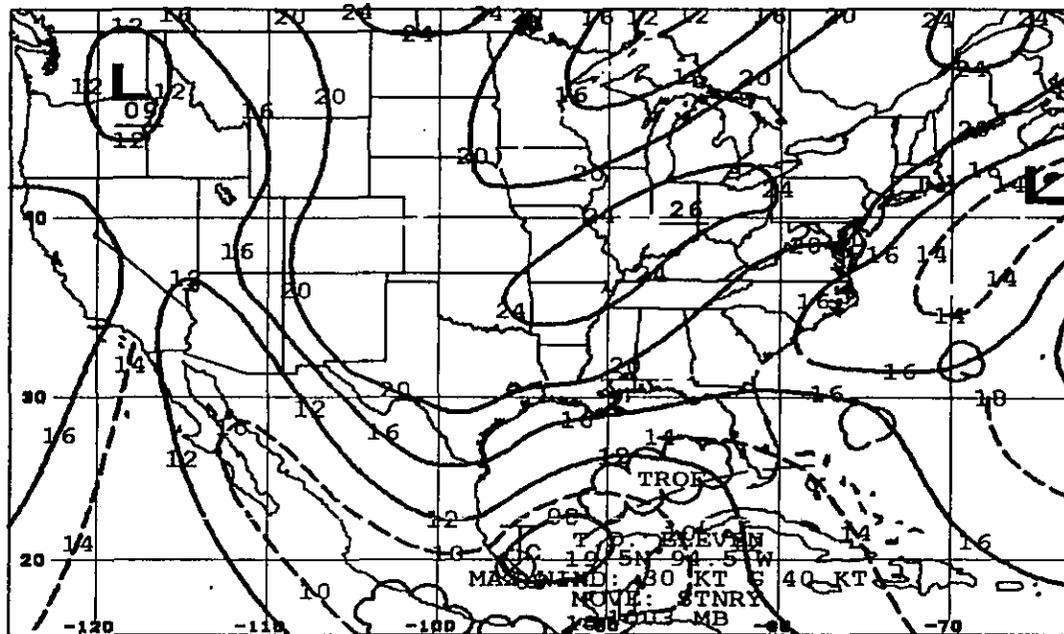


TROPICAL SURFACE ANALYSIS  
 VALID: 06Z OCT 08 1988 ANALYST: FREDERICK  
 Tropical Convection/Thunderstorms  
 ... SCALLOP LINES

TROPICAL PREDICTION CENTER / TWP  
 MIAMI, FLORIDA 33166-2149  
 305-228-4428

VIA U.S. COAST GUARD  
 NEW ORLEANS, LOUISIANA

Figura II.4b.- Carta de superficie con isobaras.



NORTH AMERICAN SURFACE ANALYSIS  
 VALID: 12Z OCT 08 1988 ANALYST: ANONE/HOL  
 Tropical Convection/Thunderstorms  
 .... SCALLOP LINES

TROPICAL PREDICTION CENTER / TRFB  
 MIAMI, FLORIDA 33166-2148  
 300-228-1429  
 VIA U.S. COAST GUARD  
 NEW ORLEANS, LOUISIANA

Figura 11.4c.- Carta de superficie con isobaras.

En los primeros días de octubre (*4 de octubre de 1999*) se generó, a partir de la muy activa onda tropical No. 35, frente a las costas del Sur de Veracruz, la depresión tropical No. 11, la cual, aun sin entrar a tierra, favoreció la entrada de humedad hacia el interior del país, debido a que interactuó con el frente frío No. 5, que la mantuvo semi-estacionaria durante los tres días que duró su trayectoria, propiciando importantes precipitaciones en los estados de Veracruz, Hidalgo, Puebla, San Luis Potosí, Tabasco y Oaxaca. Se le considera como el ciclón tropical de mayor afectación en México durante la temporada de 1999.

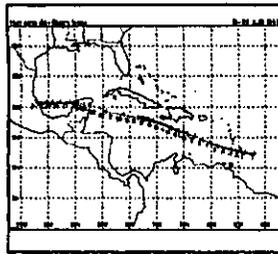
Entre las precipitaciones que generó este fenómeno se tienen con los siguientes registros de lluvia máxima puntual en 24 horas de:

- 441 mm en Tenango, Pue. (Oct. 5),
- 420 mm en Tenango, Pue. (Oct. 4),
- 382 mm en La Laguna, Pue. (Oct. 5),
- 360 mm en Teziutlan, Pue. (Oct. 5),
- 326 mm en Xicotepec, Pue. (Oct. 5),
- 305 mm en Teziutlán, Pue. (Oct. 4),
- 212 mm en Martínez de la Torre, Ver. (Oct. 5), y
- 102 mm en la Presa La Esperanza, Hidalgo (Oct. 4).

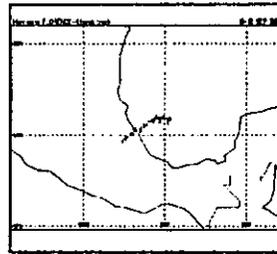
Lo anterior conlleva a establecer que las precipitaciones que se presentaron en los primeros días de octubre de 1999 en la Región de Teziutlán, corresponden a un evento extraordinario, asociado a sistemas meteorológicos cuya ocurrencia es aleatoria, por lo que se dificulta determinar la posibilidad de que en el corto plazo se pudiera repetir.

La figura II.5, muestra un resumen de los principales sistemas meteorológicos que han afectado la región de Teziutlán. Con ella es posible observar cual ha sido la frecuencia e intensidad con que históricamente se han presentado los fenómenos tropicales que inciden en la zona. También se indica la duración y trayectoria del fenómeno. La tabla II.1, correlaciona los datos disponibles de algunos de los principales Sistemas Meteorológicos que se han presentado en las costas del Golfo de México y que incidieron directamente en las precipitaciones registradas en la ciudad de Teziutlán.

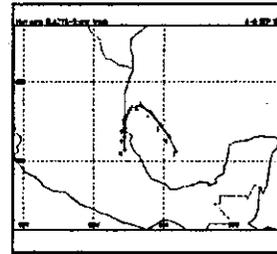
De ésta tabla se desprende, que no todos los principales sistemas que inciden en la región generan grandes precipitaciones, sin embargo, es claro que algunos de ellos son los que han provocado los máximos registros, en 1955 y 1999, respectivamente, aunque el más reciente correspondió a una Depresión Tropical.



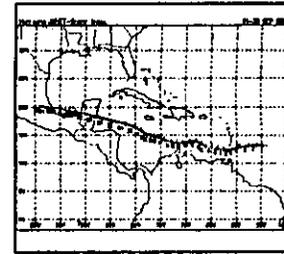
H#4-1944



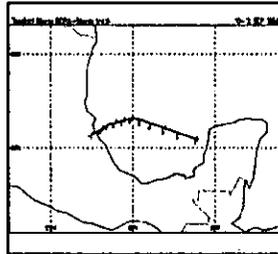
H-Florence-1954



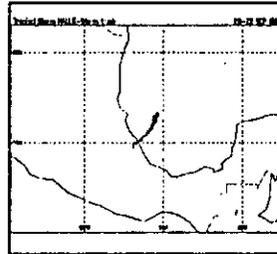
H-Gladys-1955



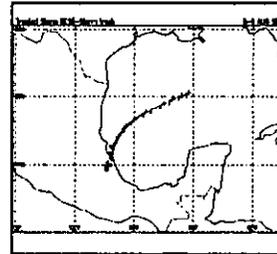
H-Janet-1955



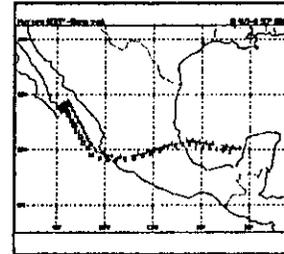
Tt-Dora-1956



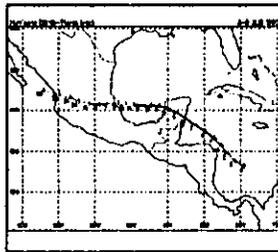
Tt-Halle-1966



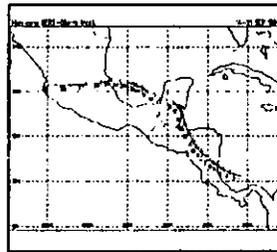
Tt-Bess-1978



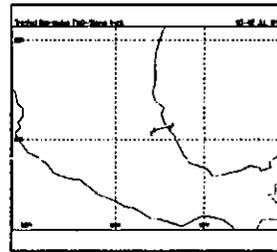
H-Debby-1988



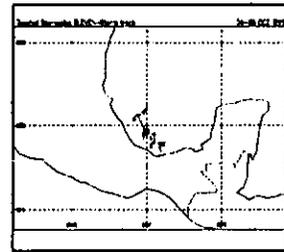
H-Diana-1990



H-Gert-1993



Dt # 2-1944



Dt # 11-1999

Figura II.5.- Principales Sistemas Meteorológicos que han afectado la zona de estudio.

En la figura anterior:

H = huracán.

Tt = Tormenta tropical.

Dt = Depresión tropical.

**TABLA II.1.- Sistemas Meteorológicos que incidieron en la región de Teziutlán y su relación con los registros de precipitación.**

Sistema Meteorológico	Fecha (período)	Lluvia registrada	
		(mm)	día
Tormenta Tropical Halle	20 -23 sep/1966	38.0	19
		110.0	20
		60.0	21
		7.5	22
Tormenta Tropical Bess	5 -9 ago/1978	20.0	6
		17.5	7
		0.0	8
		40.0	9
		7.5	10
Huracán Debby	1 -8 sep/1988	10	31-Ago
		28	1
		30	2
		24	3
		48	4
		25	5
		6	6
Huracán Diana	4 -9 ago/1990	0	3
		10	4
		11	5
		0	6
Huracán Gert	14 -21 sep/1993	0	15
		6	16
		25	17
		20	18
		17	19
		0	20
Depresión Tropical # 11	4 -6 oct/1999	14.5	1
		5	2
		26	3
		305	4
		360	5
		52	6
		0.01	7
		20	8
		17.5	9
		27	10

De acuerdo con la información anterior es posible concluir que, las precipitaciones extraordinarias que se han presentado en Teziutlán, están claramente asociadas con la presencia de fenómenos meteorológicos perfectamente distinguibles, los cuales pueden ser vigilados de manera continua desde el momento mismo de su formación gracias a la tecnología que se ha desarrollado para tales fines. La información se puede obtener de manera rápida con los modernos sistemas de comunicación y por lo tanto es posible que personal capacitado pueda tomar decisiones de seguridad en tiempo real.

La situación geográfica de Teziutlán permite que año con año esta región sea azotada por fuertes lluvias provenientes de diversos fenómenos meteorológicos, por lo que la única solución para que por esta causa no existan más desgracias, es tratar de aprender a convivir con este ecosistema.

## **II.2.-INFORMACION HIDROLOGICA**

### **Generalidades**

La Hidrología es la ciencia que trata de las aguas de la Tierra, su ocurrencia, circulación y distribución, sus propiedades físicas químicas y su influencia sobre el medio ambiente incluyendo su relación con los seres vivos, de modo que aporta elementos de gran importancia para diseñar puentes, estructuras para el control de avenidas, presas, vertedores, sistemas de drenaje para poblaciones, carreteras, aeropistas, y sistemas de abastecimiento de agua. Sin excepción, estos diseños requieren de análisis hidrológicos cuantitativos para la selección del evento de diseño. De modo que el objetivo de la hidrología aplicada es la determinación de esos eventos.

El análisis hidrológico exhaustivo es el primer paso fundamental en la planeación, diseño y operación de proyectos hidráulicos. Es así como la Hidrología trata con un aspecto importante y vital del medio ambiente, el agua, por lo que es una ciencia esencial para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos y el diseño de obras de defensa. Aun cuando esta ciencia está lejos de tener un desarrollo completo, existen varios métodos analíticos que son en mayor o menor grado aceptados en la profesión ingenieril.

Las ciencias en que se apoya la investigación hidrológica son básicamente la geografía física, la meteorología, la geología, la hidráulica, las matemáticas, y la estadística, aunque también es fácil encontrar relaciones con disciplinas como la física, química, biología, investigación de operaciones y otras.

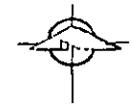
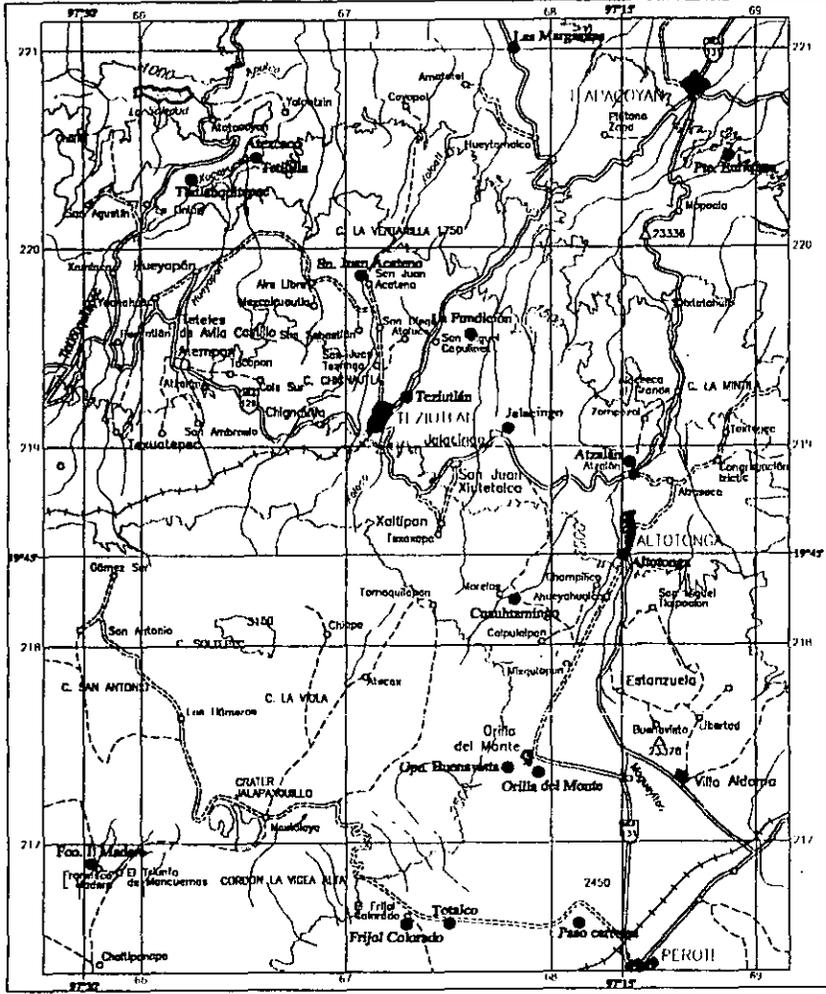
La hidrología se basa en buena parte en el análisis de información histórica, razón por la cual la mayoría de los países del mundo disponen de una o más agencias gubernamentales que tienen la responsabilidad de recolectar y difundir datos hidrológicos. En México los organismos encargados de esta recolección y de su publicación en forma de boletines hidrométricos y climatológicos son: La Comisión Nacional del Agua a través de la Agencia del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), La Comisión Federal de Electricidad (CFE), y algunos otros organismos de carácter local como el Distrito Federal. El avance tecnológico logrado en comunicaciones ha permitido que estas dependencias pongan a disposición de cualquier persona la información que le sea de interés.

La recopilación de datos de precipitación, se hace por medio de instrumentos estandarizados que ubicados en regiones específicas permiten medir la cantidad de agua precipitada. De esta manera, en nuestro país el registro de lluvias se realiza fundamentalmente empleando dos aparatos: los pluviómetros, están formados por un recipiente cilíndrico graduado de área transversal  $a$  al que descarga un embudo que capta el agua de lluvia, el área de captación del embudo es generalmente diez veces mayor que el área del recipiente cilíndrico, con el objeto de que, por cada milímetro de lluvia, se deposite un centímetro en el recipiente. De este modo, es posible hacer lecturas a simple vista hasta de una décima de milímetro de lluvia, que corresponde a un milímetro depositado en el recipiente. Los pluviógrafos son semejantes a los anteriores, con la diferencia de que tienen un mecanismo para producir un registro continuo de precipitación. Este mecanismo está formado por un tambor que gira a velocidad constante sobre el que se coloca un papel graduado especialmente. En el recipiente se coloca un flotador que se une mediante un juego de varillas a una plumilla las lecturas de precipitación en el papel. El recipiente tiene una capacidad de 10 mm de lluvia y, al alcanzarse esta capacidad, se vacía automáticamente mediante un sifón y comienza nuevamente el ciclo de llenado.

#### Recopilación de información.

La figura II.6 muestra las estaciones climatológicas que existen cerca del sitio en estudio, todas ellas cuentan con periodos de información común respecto a precipitación de 30 años (1960-1990), sin embargo, para cubrir los alcances de esta tesis sólo se emplearan los datos de las estaciones Teziutlán, Chignahuapan y Altotonga. La primera cuenta con un pluviómetro y las otras dos basan sus mediciones en pluviógrafos.

Se consultó en la Gerencia del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), los registros de precipitación diaria de las estaciones climatológicas. La estación Teziutlán cuenta solo con pluviómetro, que ha medido las precipitaciones diarias durante el periodo 1961-1997, sin embargo, ya que dicha estación sólo cuenta con un pluviómetro, se buscaron las estaciones climatológicas cercanas que pudieran tener información sobre intensidad de precipitación (registro con pluviógrafo), éstas estaciones son Altotonga y Chignahuapan, y aunque sus periodos de observación son de 1965 a 1981 y de 1975 a 1981 respectivamente, se tienen procesadas las 20 tormentas más importantes para cada año de registro.



### SIMBOLOGIA

- 2000 Curva de nivel acotada en m
- TLAPACOTAN Poblaciones
- Teziutlán Localidades con menos de 2,500 hab.
- Numeración de ruta federal
- Carretera pavimentada
- Terreno inundable todo el tiempo
- Brechas
- Ferrocarril de servicio público
- Ríos
- DIM a cada 10,000 m
- Cuacatenango, Compuquiac, ...
- Estación Climatológica
- Teziutlán - Nombre de la Estación

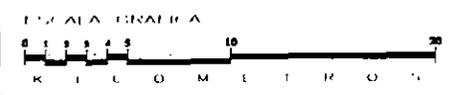


Figura No. II.6 Localización de Estaciones Climatológicas cercanas a Teziutlán

Los registros de lluvia en la estación Teziutlán, se presentan en las gráficas de la figura II.7. en ella se han representado de manera esquemática la cantidad de lluvia en mm para cada uno de los días de registro en el periodo de 1961 a 1997. En ellas se observa que solamente en una ocasión, en el periodo señalado, se tuvo una precipitación mayor a los 300 mm (20 de septiembre de 1974) y, en 23 veces se tuvieron precipitaciones mayores a 100 mm, de estas, solamente en 7 días existieron lluvias mayores a 150 mm, tal y como lo muestra la tabla II.2. En la misma figura puede apreciarse que, entre otros, hay dos grandes periodos relativamente "secos", estos son de 1987 a 1991 y de 1994 a 1997.

Tabla II.2.- Registros de lluvias diarias mayores a 100 mm, en la estación Teziutlán, de 1961 a 1997.

Fecha	Precipitación (mm)
14/10/61	160.2
20/19/66	110.0
18/06/74	130.0
21/06/74	117.0
20/09/74	310.0
29/09/74	100.0
8/09/75	165.0
28/09/78	133.0
10/06/79	138.0
05/08/79	192.5
17/09/79	100.0
24/09/80	159.0

Fecha	Precipitación (mm)
24/10/80	195.5
17/06/81	135.0
25/08/81	104.0
26/09/83	107.0
8/05/84	118.0
12/09/84	115.0
15/09/84	109.0
28/07/85	112.0
30/09/85	163.0
11/11/86	152.5
13/11/86	134.5
29/09/93	115.0

Además de lo anterior se tiene conocimiento de que el 28 de septiembre de 1955, se presentó una precipitación de 358 mm, valor que es muy parecido al presentado el 20 de septiembre de 1974(310 mm) y al del 5 de octubre de 1999 (360 mm), como más adelante se describe. Puede destacarse de lo anterior que las mayores precipitaciones se presentan durante septiembre y octubre y que el intervalo entre las mayores tormentas es de 19 y 25 años respectivamente. Lo anterior es un elemento importante para el análisis cuantitativo del evento hidrológico que debe emplearse en el diseño de estructuras hidráulicas en Teziutlán.

Para enmarcar lo acontecido en el mes de octubre de 1999, se obtuvieron los mapas de distribución de lluvia diaria a nivel nacional del 2 al 10 de octubre (figura II.8). De manera particular se consiguieron los registros de precipitación diaria del 28 de septiembre al 10 de octubre de 1999

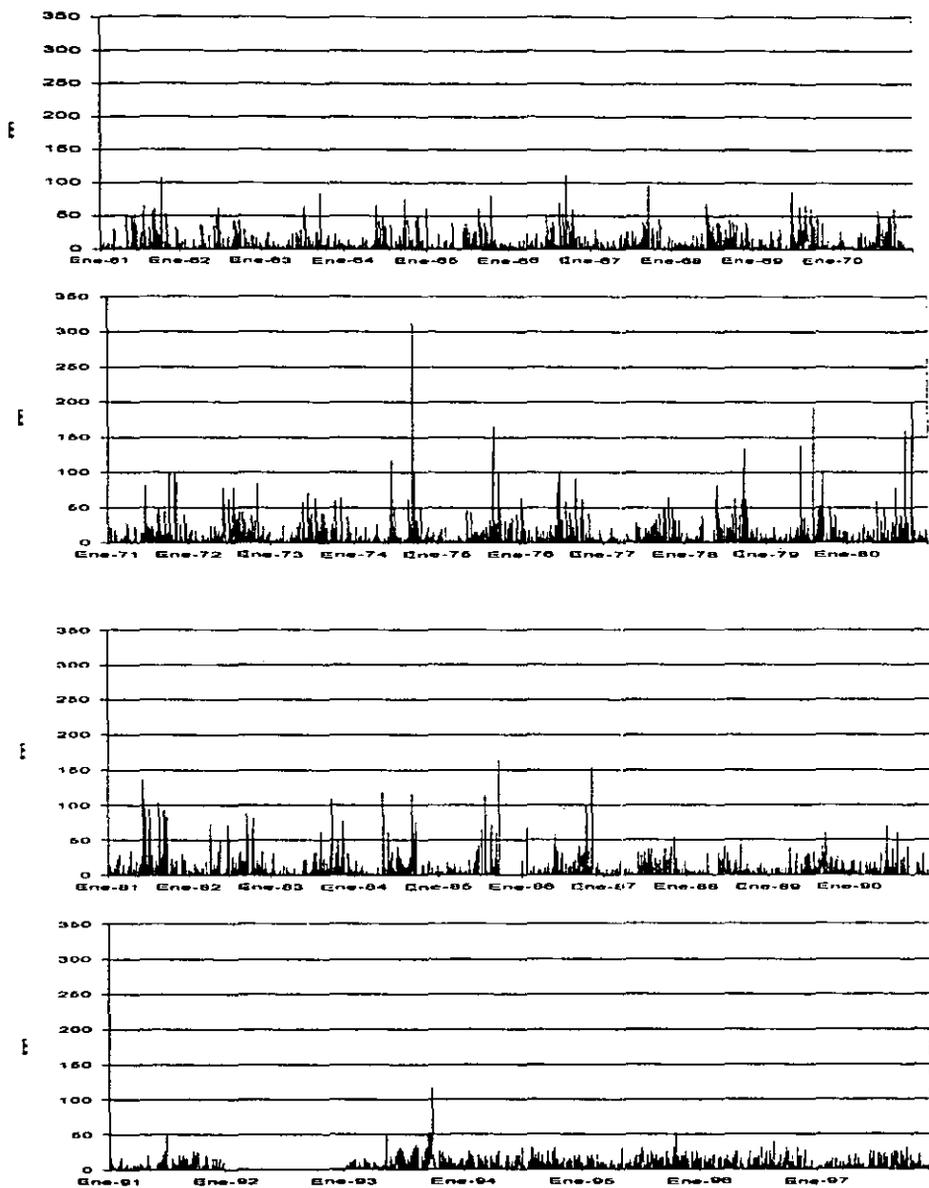


Figura II.7.- Precipitación diaria registrada en la Estación Teziutlán, Pue. (1961 - 1997)

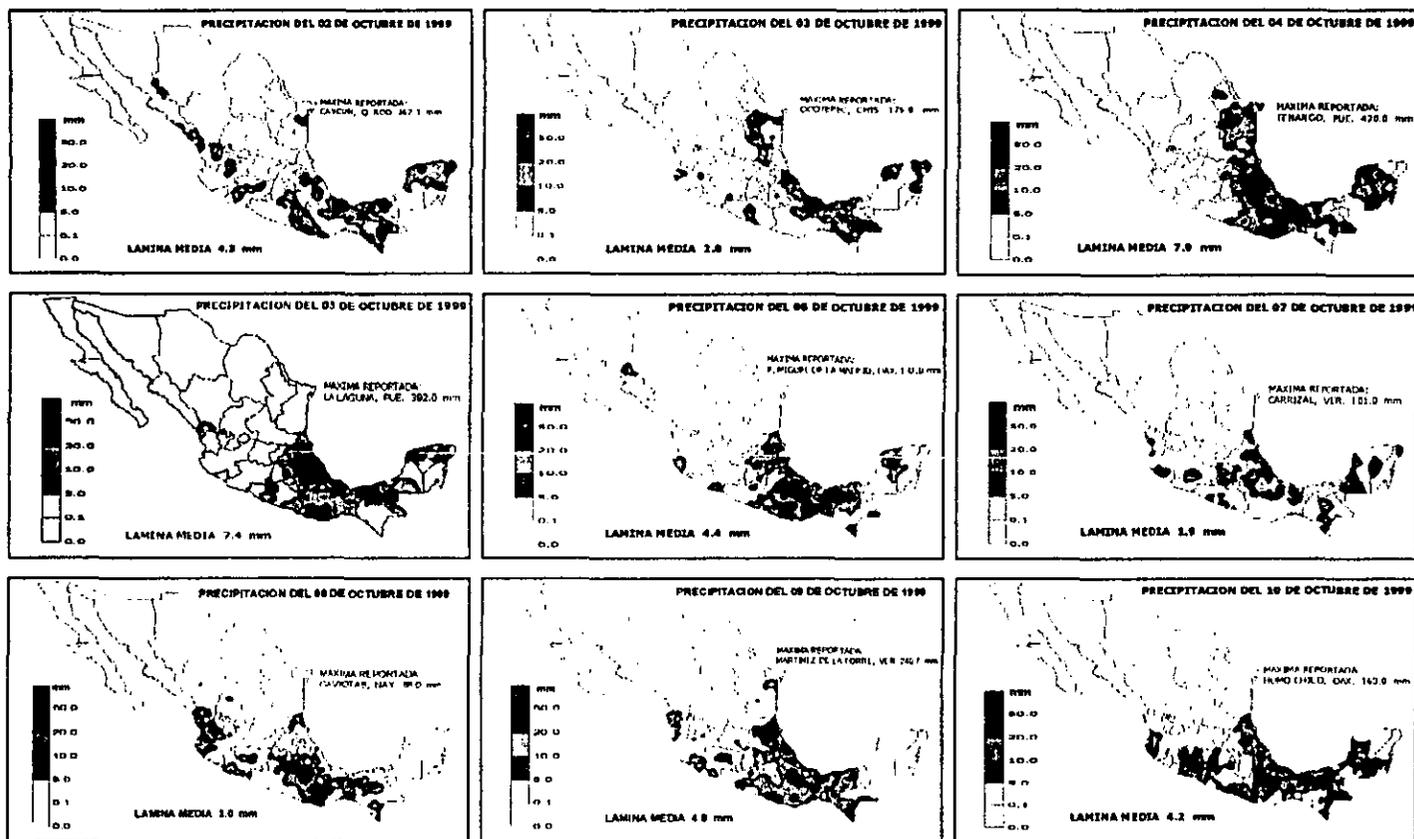


Figura II.8.- Mapas de distribución de la lluvia del 02 al 10 de octubre de 1999

Fuente: GSMN.CNA

para la estación climatológica de Teziutlán, ya que fue en estas fechas donde se presentaron las mayores precipitaciones del año. La figura II.9 muestra gráficamente dichos datos.

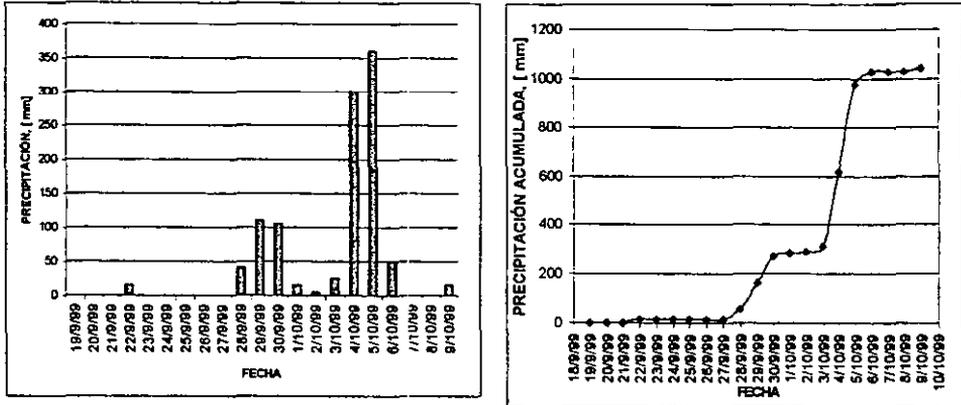


Figura II.9.- Registro de precipitación diaria y acumulada en la ciudad de Teziutlán Puebla, según datos de Comisión Nacional del Agua, (CNA).

De acuerdo con la figura anterior, las lluvias que cayeron los días 4 y 5 de octubre de 1999, alcanzaron columnas de agua equivalente a 300 y 360 mm respectivamente. Adicionalmente, puede distinguirse que en dos días consecutivos de la semana anterior, se tuvieron precipitaciones diarias de más de 100 mm. Se tiene así, como se muestra en la gráfica de precipitación acumulada, o curva masa que en el lapso de diez días, alcanzó poco más de un metro. Esta columna de agua acumulada en diez días, representa lo que llueve en esta región aproximadamente un año. Por lo que sin duda, debe considerarse que estas precipitaciones extraordinarias se ubican entre las más altas de este siglo; baste decir que las consecuencias de éstas se han considerado como el desastre del decenio para nuestro país.

La información recabada para las estaciones climatológicas de Altotonga y Chignahuapan se presenta en el capítulo IV de este trabajo.

Como la hidrología estudia la relación de la lluvia con su escurrimiento y distribución en la superficie terrestre, fue necesario determinar las características topográficas del sitio en estudio, de modo que en el INEGI, se obtuvieron las cartas topográficas escala 1:50,000 de la zona denominadas Teziutlán E14B15 y Altotonga E14B16. Estas cartas contienen información planimétrica y altimétrica; presentan curvas de nivel a cada 10 m y con ellas es posible definir el parteaguas de las cuencas de aportación a la zona urbana de Teziutlán, que representan el área de captación de las aguas de lluvias que escurren a través de los arroyos hacia la zona urbana de Teziutlán, así como de las cuencas propias de la localidad.

### **II.3.- PLANOS URBANOS DE LA LOCALIDAD**

Para plasmar la información que se genere de los estudios propuestos en este trabajo, es necesario contar con una cartografía precisa y confiable, por lo que se recurrió al H. Ayuntamiento de Teziutlán donde cuentan con los mapas topográficos elaborados por el Instituto de Catastro del Estado de Puebla, así como los planos que forman parte del "Programa de Ordenamiento Urbano del Centro de Población de Teziutlán", realizado por la empresa Grupo Consultor de Diseño Urbano y Arquitectura, S. de R.L. de C.V. en el año de 1995.

A continuación se presenta una descripción general y la posible utilidad de los planos para el desarrollo de este estudio.

#### **a).- Planos Topográficos Urbanos**

Estos planos proporcionan valiosa información sobre la morfología y relieve del terreno, así como las condiciones hidrológicas urbanas; por lo que se considera son una base muy adecuada para representar la información geológica, geotécnica e hidrológica que se generara como resultado de esta investigación.

La cartografía urbana realizada por el Instituto de Catastro fue elaborada mediante una restitución fotogramétrica apoyada en fotografías aéreas escala 1:20,000, tomadas en el año de 1981. El mapa topográfico se elaboró en junio de 1987, a una escala de 1:5,000, y fue procesado por métodos automatizados mediante el programa ARC/INFO 7.0; las curvas de nivel están espaciadas a cada 5 m, se presentan el drenaje natural superficial, así como las calles, avenidas y la lotificación existente hasta esa fecha. La figura III.1 muestra este plano, sin embargo, tal como lo ilustra la figura II.10, la superficie que abarca dicho plano corresponde sólo a una porción de la área urbana actual de Teziutlán; al sur llegan hasta la zona de San Isidro, pero al norte solamente llegan hasta la zona de San Juan Tezongo y Huehueymico; por lo que no se cubren las zonas de crecimiento reciente ni las consideradas para el futuro desarrollo habitacional, comercial e industrial de la zona.

En la misma figura se ha delimitado el área de estudio y puede compararse con la ya estudiada topográficamente a detalle.

#### **b).- Planos del Programa de Ordenamiento Urbano**

La información proporcionada por los planos del Programa de Ordenamiento Urbano es muy importante para los estudios que se realizaran, ya que en ellos se establecen las políticas de desarrollo.

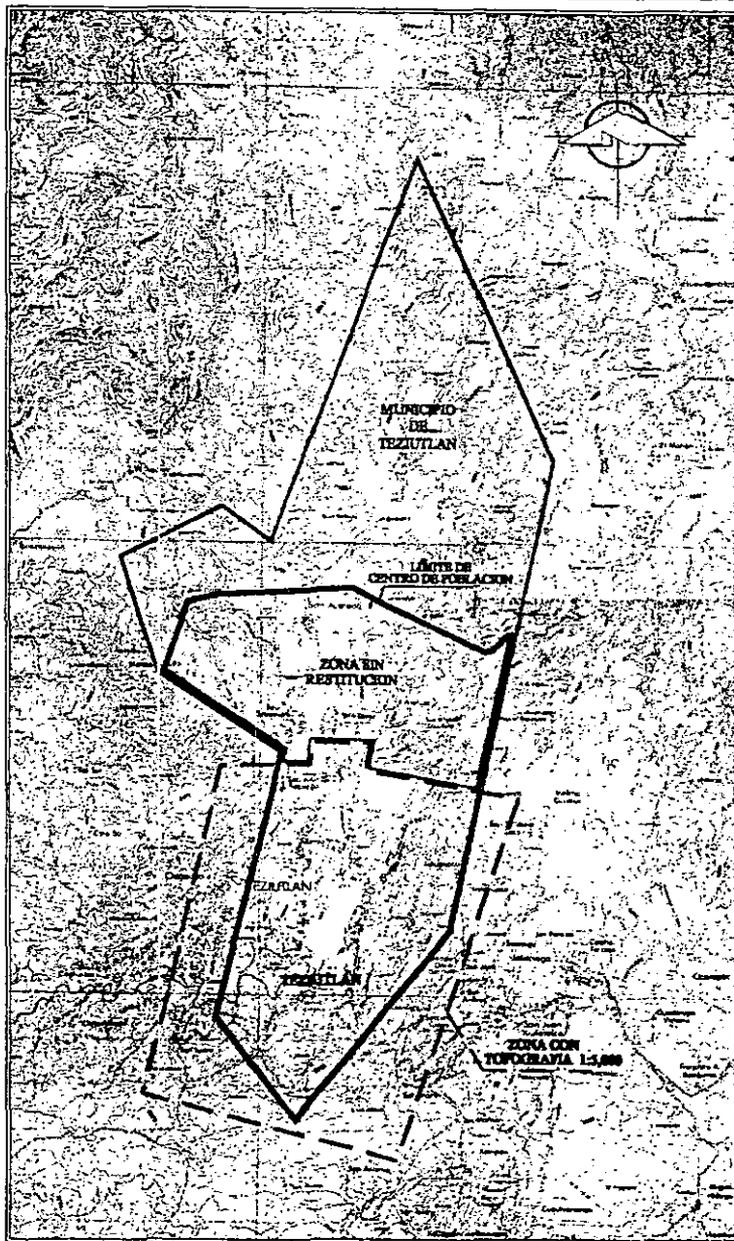


FIGURA II.10.- Delimitación del área de estudio y las zonas con cartografía urbana.

las áreas que se tienen contempladas para el futuro crecimiento habitacional, comercial e industrial, así como las áreas de preservación ecológica de la ciudad de Teziutlán.

Existen catorce planos en donde se representa el diagnóstico de las condiciones de la población, así como las Estrategias y Políticas de desarrollo futuro del Municipio de Teziutlán.

Los planos fueron elaborados sobre un mapa base escala 1:5,000, que contiene la ubicación de las principales calles, avenidas y carreteras; nombres de colonias, barrios y poblados, sin embargo ninguno de estos contiene información topográfica.

Con los planos que actualmente tiene el municipio, es posible distinguir una síntesis del medio físico, usos del suelo, densidad de población, vialidades, equipamiento y un resumen de la problemática urbana. De igual modo, existen planos realizados en 1995 que indican las políticas, acciones y propuestas de desarrollo así como una zonificación primaria y secundaria de crecimiento poblacional para Teziutlán.

Después de analizar la información plasmada en los planos, se considera que ésta es insuficiente, al no contemplar aspectos importantes como la modificación de la superficie del terreno y por lo tanto de los escurrimientos superficiales; el riesgo para construcciones ubicadas en zonas de barrancas y laderas, etc. aún cuando se considerará como válida la información edafológica, la de reservas naturales y la zonificación hecha para los próximos desarrollos urbanos.

#### **II.4.- PLANOS DEL SISTEMA ACTUAL DE DRENAJE PLUVIAL**

De acuerdo con información del H Ayuntamiento de Teziutlán, no se cuenta con un sistema de drenaje pluvial en la localidad, por lo que el agua de lluvia escurre libremente sobre las calles de la ciudad, en algunos sitios, el agua entra a las alcantarillas del drenaje municipal, sin embargo, la insuficiencia hidráulica de éste, hace que en los puntos bajos del drenaje, el agua salga nuevamente a la superficie por las mismas alcantarillas, para que este fenómeno se presente basta una lluvia de poca intensidad, lo que indica que el drenaje municipal, apenas es suficiente para desalojar el agua residual.

Una parte importante de la ciudad cuenta con calles pavimentadas con concreto hidráulico, lo que hace que la cantidad de agua que pueda infiltrarse al subsuelo sea poca y por lo tanto el agua de lluvia escurre libremente sobre las calles buscando los puntos más bajos donde finalmente desemboca sobre las laderas sin protección para llegar al fondo de las barrancas.

#### **II.5.- REPORTE DE DAÑOS EN LAS PASADAS LLUVIAS**

Como se ha mencionado antes, el 5 de octubre de 1999 en Teziutlán, ocurrieron diversos deslizamientos de tierra que cobraron la vida de muchas personas, la magnitud de la tragedia hizo necesario que dos Secretarías de Estado efectuaran un recuento de los daños casi inmediatamente después de la fecha trágica. Dichos recuentos se plasmaron en informes que realizó por una parte el Centro de Prevención de Desastres de la Secretaría de Gobernación (CENAPRED) y por la otra el presentado por la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). Enseguida se presenta un resumen de cada uno de ellos.

### **Informe del CENAPRED**

Este informe técnico fue realizado por los Ingenieros Manuel J. Mendoza L. e Ignacio Noriega R., del Área de Ingeniería Estructural y Geotecnia de la Coordinación de Investigación los días 11 y 12 de octubre y entregado el 25 del mismo mes de 1999. Resume las condiciones hidrometeorológicas que sucedieron unos días antes, durante y un poco después del 5 de octubre con registros de precipitación diaria y acumulada presentados en gráficas como las mostradas en la figura II.8 En la tabla II.3 se presenta un resumen de este informe.

### **Informe de SEMARNAP**

El reporte fue preparado por el Ing. Luis Gabriel Ramírez Montes y el Arq. Felipe Constantino Mendoza. Este presenta una descripción de los deslizamientos más importantes ocurridos en las colonias La Aurora, Campo Verde, Av. Juárez y Xoloco, Col. Francia El Fortín, Camino a Huehueymico y La Ermita. En cada sitio se mencionan brevemente las características de los deslizamientos, los materiales involucrados, así como el tipo y las posibles causas de las fallas, proporcionando recomendaciones generales para evitar o disminuir riesgos. En la tabla II.4 se presenta un resumen de los resultados de este reporte.

Adicionalmente se revisó el reporte hecho por la empresa COPIE INGENIERIA a petición de la Fundación Pro-reconstrucción de Teziutlán. La visita que se efectuó para hacer dicho reporte fue por el mes de mayo del 2000, lo que lo pone en desventaja respecto a los otros realizados en el mismo mes de octubre. Sin embargo, los resultados de este son muy parecidos a los otros, destacando que la mayor parte de los deslizamientos o fallas de ladera ocurrieron en materiales de relleno que fueron mal construidos, por lo que recomienda la pronta localización de las zonas construidas sobre estos materiales. sobre todo en las laderas y zonas con malas condiciones de drenaje.

El 28 de septiembre del 2000 auspiciado por CÔPEI y por la Fundación. hice un nuevo reconocimiento de la zona con la intención de plasmar mis propias impresiones del sitio en este trabajo. La noche de mi llegada estuvo dominada por una ligera lluvia que duró toda esa noche y los tres días siguientes, muchas personas pensaban que la historia se repetiría nuevamente, por muchas partes se escuchaban voces de angustia y de alarma, en el mismo campo donde fueron reubicadas muchas familias que había perdido todo su patrimonio el año anterior, estaban angustiadas por que el agua nuevamente pudiera acabar con lo poco que el gobierno les había dado, y no era para menos, en ese sitio donde se supone que estaban fuera de peligro el agua de lluvia de los tres días anteriores había entrado a sus casas, las calles recién hechas estaban destrozadas por la erosión del agua y en algunas laderas cercanas era apreciable la falla de taludes y los deslizamientos de laderas. Para buena suerte mía las condiciones climáticas en las cuales llegué a Teziutlán me permitieron vivir muchos de los acontecimientos que sucedieron el año de 1999 y que a continuación trato de resumir. Los principales daños ocurrieron a casas localizadas en o ladera debajo de un relleno mal construido o simplemente colocado a volteo como es el caso de las secciones en balcón de carreteras, plataformas para ganar terreno a la ladera, etc. Existen muchas construcciones colocadas dentro de la zona hidráulica de ríos y arroyos cuyo nivel aumenta de manera importante en lluvias como aquella, y en consecuencia son arrastradas por la corriente. La sección hidráulica de

los escurrimientos naturales es modificada continuamente por erosión de agua, lo que produce socavación al pie de las laderas y después estas fallan por gravedad llevándose consigo todo lo que sobre ella esté.

Otro problema que es muy frecuente ver es el mal drenaje que existe en las carreteras, por un lado la insuficiencia hidráulica de las alcantarillas ha provocado fallas de laderas muy importantes como es el caso de la alcantarilla ubicada en la carretera que va a Zaragoza muy cerca del Colegio Victoria. La falta de bordillos y otras obras de drenaje que conduzcan el agua pluvial hasta lugares donde el daño a las vitalidades no exista ha sido otro gran problema, como ejemplo está la carretera que va del centro de Teziutlán hacia el TEC de Monterrey; muy cerca de la antecada al barrio de San Juan Tezongo, la carretera carece totalmente de obras de drenaje, lo que hace que el agua reconozca un escurrimiento natural que por desfortuna desemboca sobre las laderas provocando que estas se erosionen a tal punto que los postes de teléfonos y de luz que se encuentran a tan solo un metro de la carpeta asfáltica estén a punto de caer junto con parte de la carretera.

Existen otros muchos sitios, donde sin que exista un factor externo, casas, caminos, sembradíos, etc. Se presentan fallas de laderas en forma de embudo, lo que hace pensar que los deslizamientos que han provocado tantas pérdidas humanas y económicas han existido desde siempre y que ahora nos damos cuenta de ellas por que han afectado intereses humanos.

Si esto es así, que es lo más seguro, entonces, es importante darnos cuenta que no es el medio quien se debe adaptar a nosotros sino todo lo contrario y para eso es importante tener toda la información posible de nuestro entorno y estar al pendiente de su evolución.

El anexo fotográfico muestra fotografías donde se aprecian algunas de las situaciones antes descritas.

**TABLA II.3**  
**RESUMEN DEL DIAGNOSTICO ELABORADO POR EL CENAPRED**

ZONA	TIPO DE CONSTRUCCIONES	CARACTERISITICAS DE LA FALLA O DESLIZAMIENTO	TIPOS DE MATERIALES INVOLUCRADOS	CAUSAS DEL DESLIZAMIENTO
<b>LA AURORA</b>	Casas habitación en la ladera y al pie del talud	Deslizamiento de suelos que abarca 15 m del panteón cerca del hombro del deslizamiento. El movimiento de la masa fallada tuvo componente de rotación (corona) y de traslación (pie del talud). La longitud de la zona deslizada fue de 120m y 40m de ancho.	Suelo fino, Limo de alta compresibilidad (MH), de baja consistencia. Pruebas índice a suelos en la superficie de falla indicaron que el suelo llevo a tener un contenido natural de agua muy alto que disminuyo sensiblemente su resistencia al corte	Dada la alta precipitación, el agua ingreso a la masa interna del talud, saturando al suelo y disminuyendo así la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. Adicionalmente se desarrollaron grietas, que al llenarse de agua ejercieron presión hidrostática sobre bloques potencialmente susceptibles al deslizamiento. Al producirse la falla, el suelo remoldado perdió su estructura natural, su resistencia ya en movimiento fue menor y adquirió una condición viscosa.
<b>LA GLORIA</b>	Casas habitación en la ladera contigua a la Col. La Gloria que sufrieron total destrucción o serios daños	Los taludes tenían laderas escarpadas. Las fallas fueron de talud, por disgregación del material granulo y con volúmenes de desprendimiento reducido	Rocas blandas granulares, poco cementadas y suelo interperizado poco plástico.	Los drenajes rotos propiciaron la inestabilidad el talud, al aportar localmente y a profundidad, una cantidad considerable de agua que disminuyo la resistencia del suelo.
<b>CIRCUITO SIETE SABIOS</b>	No afecto construcciones. Sin embargo, se tienen construcciones de hasta tres pisos y al borde de la barranca.	Se produjeron desprendimientos o caídos pequeños en algunas zonas de la ladera . La ladera tiene cerca de 50m de altura y taludes de 70° . Se observan zonas con antiguos deslizamientos.	Tobas de grano fino bien cementadas, suelo estratificadas con brechas volcánicas y piroclastos.	Las precipitaciones extraordinarias provocaron las inestabilidades. Se estima que pudo haber cierto agriciamiento paralelo a la cara de la ladera, a través del cual se ejerció presión hidrostática.
<b>BARRIO CAMPO VERDE</b>	Numerosas casas construidas en la barranca sufrieron su total destrucción o severos daños	Deslizamientos de tierra y destrucción directa de viviendas por el efecto de las corrientes de agua.	Suelos residuales y basaltos masivos al pie de la ladera	Acumulación de agua en el interior de la ladera que favoreció los deslizamientos
<b>COLONIA JUAREZ</b>	Zona con abundantes casa construidas sobre una ladera de fuerte pendiente (40°)	Fallas de talud que provocaron colapsos de casas o pérdidas de apoyo de la cimentación.	Capas de tobas alteradas	Acumulación de agua en el interior de la ladera que favoreció los deslizamientos
<b>XOLOCO</b>	El deslizamiento afecto unas casas que fueron totalmente removidas	Falla de talud en dos porciones de la ladera cercana a la carretera	Suelos residuales rojizos	

### **LINEAMIENTOS CORRECTIVOS GENERALES**

- *Mejorar el drenaje de la masa que constituye la ladera.*
  - 1) Desviar y conducir las aguas superficiales hasta el pie del talud, a fin de evitar que el agua se estanque en la parte superior del talud.
  - 2) Mejorar el drenaje; verificar que las tuberías de aguas servidas no tengan dislocaciones o fugas
- *Medidas estabilizadoras de los deslizamientos ocurridos (donde no abarcaron viviendas):*
  - 1) Remover el suelo en la parte superior del área deslizante, suavizando su pendiente
  - 2) De ser posible tender el talud o disminuir su altura
  - 3) Propiciar la rápida reforestación
  - 4) Tapar grietas
- *Drenaje interno de la masa de suelo para propiciar un incremento interno de la resistencia del suelo, a través de la reducción del exceso de la presión del agua (en algunos casos)*
  - 1) Perforaciones casi horizontales para introducir tubos plásticos ranurados.
- *Construcción de bermas en la parte inferior de las áreas deslizantes y mas allá del pie del talud.*

### **RECOMENDACIONES GENERALES**

- *Realizar un estudio y análisis completo de cada sitio de interés.*
- *Llevar a cabo una zonificación geotécnica de la ciudad y definir un atlas de riesgos.*

**TABLA II.4  
RESUMEN DEL DIAGNOSTICO ELABORADO POR SEMARNAP**

ZONA	TIPO DE CONSTRUCCIONES	CARACTERÍSTICAS DE LA FALLA O DESLIZAMIENTO	TIPOS DE MATERIALES INVOLUCRADOS	CAUSAS DEL DESLIZAMIENTO	RECOMENDACIONES
<b>LA AURORA</b>	Casas habitación en la ladera y al pie del talud	Deslizamiento de tierra o alud de lodo de uno de los taludes del Panteón Municipal.	Rellenos del panteón y el terreno natural	Saturación del agua que cae sobre el talud y sobre las fosas de las tumbas, infiltrándose al subsuelo y escurriendo entre el relleno y el terreno natural	Analizar con detalle si no existen rellenos a los lados que puedan deslizarse en forma similar. Realizar el reordenamiento urbano de los asentamientos de esa zona aledaña
<b>LA GLORIA</b>	Casas habitación en la parte alta de las laderas	Derrumbes por alteración del ángulo de reposo del terreno natural	Estratos arenosos fácilmente desmoronables	Descarga directa del drenaje de los propios habitantes hacia la ladera propiciando la socavación y desestabilización de los taludes.	Clausura inmediata de las descargas de los drenajes. Canalización en lavaderos hasta el pie del talud. Proyecto para la contención de taludes o desalojo de construcciones más riesgosas.
<b>CIRCUITO SIETE SABIOS</b>	No afecto construcciones. Sin embargo, se tienen construcciones de hasta tres pisos y al borde de la barranca.	Se produjeron desprendimientos o caídos pequeños en algunas zonas de la ladera. La ladera tiene cerca de 50m de altura y taludes de 70°. Se observan zonas con antiguos deslizamientos.	Tobas de grano fino bien cementadas, seudo estratificadas con brechas volcánicas y piroclastos.	Las precipitaciones extraordinarias provocaron las inestabilidades. Se estima que pudo haber cierto agrietamiento paralelo a la cara de la ladera, a través del cual se ejerció presión hidrostática.	
<b>BARRIO CAMPO VERDE</b>	Casas habitación.	Zona estable	Material natural es estable	Descargas de los drenajes directamente sobre el talud, causando erosiones que disminuyen la estabilidad de las construcciones	Clausurar cualquier drenaje que infiltre sus aguas directamente al subsuelo
<b>COLONIA JUAREZ</b>	Casas habitación	Deslaves de algunos taludes	El terreno firme no representa ningún riesgo. El material de volteo depositado es el causante de los deslaves.	Saturación de agua del terreno y la fuerte pendiente	Canalizar las aguas pluviales del talud para conducir el agua hasta la cañada. En zonas locales realizar obras de contención. Revisar y clausurar drenajes clandestinos que induzcan erosión interna del material.
<b>COLONIA FRANCIA -EL FORTIN</b>	Taller mecánico y unas casas aledañas	Deslizamiento de tierra o alud de lodo que cayo rápidamente hasta el arroyo		Descarga directa de las aguas de alcantarilla directamente sobre el talud	Canalizar las aguas de los drenes hasta el fondo del cauce. Hay casas en la zona del cauce que es necesario reubicar y su demolición posterior.

## CONCLUSIONES

- Las fallas de talud de los terrenos se debieron principalmente a la *carencia de obras adecuada de drenaje*, tanto de aguas pluviales como residuales domésticas; las aguas se infiltran al terreno debilitándolo de adentro hacia fuera o por descargas superficiales a los taludes, provocando surcos que poco a poco van profundizando y originando derrumbes.

## RECOMENDACIONES

- Encauzar todas las descargas pluviales para no erosionar los taludes.
- No permitir cortes en los taludes para la construcción de casas, sin la ejecución de obras que mantengan la estabilidad del talud (muros de contención).
- Imponer una restricción de construcciones a la orilla y sobre los taludes en función del ángulo de inclinación del talud

## IL6 CARTOGRAFIA

En este apartado se presenta una relación de la información gráfica existente para el sitio en estudio de acuerdo con lo siguiente:

Los mapas y fotografías aéreas que se lograron recopilar en esta etapa son los siguientes:

- *Mapa Topográfico, escala 1:250,000* del INEGI

Hoja Veracruz E14-3

- *Mapa Geológico, escala 1:250,000* del INEGI

Hoja Veracruz E14-3

Estos mapas editados por el INEGI tienen una base cartográfica a una escala grande que permite ubicar de manera general la zona de interés, útil para los estudios hidrometeorológicos, hidrológicos y geológicos.

- *Mapas Topográficos, escala 1:50,000* del INEGI

Hoja Teziutlán E14 B15

Hoja Altotonga E14 B16

En estos mapas se aprecia la topográfica de la zona de estudio con curvas de nivel a cada 10 m y serán de gran utilidad para enmarcar los estudios hidrológicos y geológicos regionales.

- *Mapa Topográfico de la ciudad de Teziutlán*, realizados por el Instituto de Catastro el Estado de Puebla, a escala 1:5,000.

Este plano existen sólo para una región de la localidad, esta cartografiado con el detalle y la escala adecuada ya que las curvas de nivel están espaciadas a cada 5 m.

- *Fotografías Aéreas* de la zona de *Teziutlán*, tomadas en 1990, a escala 1:10,000.

Se tiene conocimiento de que existen éstas fotografías, sin embargo, hasta el momento no se han conseguido. Estas permitirían entre otras cosas, comparar las condiciones actuales de la localidad con las de hace 10 años. Asimismo serían de utilidad para los estudios geológicos y geotécnicos de la zona.

Finalmente, es importante destacar, que la información cartográfica recopilada permitirá enmarcar de manera general las condiciones topográficas y geológicas de la zona de estudio, sin embargo, para presentar las condiciones de riesgo por avenidas en el municipio, es importante contar con cartografía que indique más detalles que las anteriores. El plano topográfico existente para una parte de la ciudad de Teziutlán con escala 1: 5 000 es un ejemplo de lo que se necesita, por lo que no deben descartarse los trabajos necesarios para llegar a tener un plano como el anterior para todo el municipio.

## IL7 GEOLOGIA Y GEOTECNIA.

El conocimiento del origen de las formaciones geológicas, su distribución en la superficie, su evolución, las diversas estructuras geológicas, así como los minerales que las componen, entre otras características, dan la pauta para explicar de manera parcial pero rotunda lo que está ocurriendo con los materiales que constituyen el suelo de una región al interactuar con elementos naturales como el agua y el hombre, por mencionar algunos. La Geología es la ciencia que nos permite conocer lo anterior, y al correlacionarla con otras ciencias (en este caso con la geotécnica), permitirán determinar las causas precisas de lo que está ocurriendo con el suelo de Teziutlán. De ahí la imperiosa necesidad de reconocer la información que exista al respecto y proponer los trabajos innecesarios para contar con la información faltante.

En cuanto a la Ingeniería Geotécnica, ésta puede definirse como la aplicación de los elementos básicos del suelo y de la ingeniería mecánica para la evaluación del comportamiento de los materiales térreos, generalmente usados en la investigación de ingeniería, diseño y construcción. Las aplicaciones comunes se tienen en obras como presas, sistemas de transporte, cimentaciones de estructuras y urbanizaciones.

La ingeniería de cimentaciones se relaciona con el apoyo de las estructuras sobre o dentro de la tierra y con la interacción suelo estructura correspondiente. Las actividades relativas al diseño de ingeniería implican la formulación de criterios para:

- 1.- Diseño de los sistemas de cimentación y movimientos de tierra asociados.
- 2.- Presión de Tierras.
- 3.- Control permanente del nivel de aguas freáticas.
- 4.- Técnicas de mejoramiento o estabilización del subsuelo.

Durante la construcción también pueden requerirse actividades que aseguren la calidad, o bien el control de calidad. Las aplicaciones de la ingeniería con relación al sitio, se asocian generalmente con la formulación de criterios de diseño y construcción para la nivelación, movimientos de tierra, control del nivel freático, caminos, zonas de estacionamiento, y drenaje superficial en áreas de desarrollo relativamente grandes. En algunos casos este trabajo involucra instalaciones en el sitio a fin de minimizar los costos de cimentaciones y de los movimientos de tierra, o bien los riesgos asociados con peligros naturales como colinas, deslizamientos de taludes y minas subterráneas.

De esta manera la geología permitirá deducir cual es el origen y la evolución que han experimentado hasta la fecha los materiales térreos en la zona de interés, en tanto que la geotécnica será fundamental para determinar el comportamiento mecánico de los mismos bajo diferentes condiciones de trabajo.

### Información recopilada

Teziutlán se encuentra ubicada muy cerca de una zona con un importante potencial energético para el país, por lo que desde los años 40' se han venido realizando trabajos de exploración geológica con fines

petroleros, mineros y para generación de energía eléctrica con proyectos geotérmicos e hidroeléctricos, así como algunas investigaciones geológicas con fines científicos.

La mayor parte de los trabajos realizados son de carácter regional y cada uno de ellos tienen enfoques diferentes según sus objetivos particulares.

#### **Estudios realizados por la Comisión Federal de Electricidad (CFE)**

La CFE es la dependencia que ha realizado la mayor cantidad de estudios en la región para el aprovechamiento de yacimientos geotérmicos e hidroeléctricos

#### **Proyectos Geotérmicos**

La exploración geológica y geofísica para detectar yacimientos geotérmicos se inició a fines de la década de los sesenta, en la zona denominada "*Caldera de los Humeros*" con el objetivo de analizar la potencialidad del yacimiento geotérmico ubicado en el subsuelo de ésta; para ello se llevaron a cabo campañas de exploración geofísica y geología que abarcaron extensas áreas alrededor de la caldera logrando presentar un panorama regional y local de la geología del lugar, así como la complejidad estructural del subsuelo de la caldera.

En la década de los ochenta, se inició la perforación de pozos profundos productores de energía geotérmica, que permitieron afinar el modelo geológico del subsuelo y actualmente se cuenta con una gran cantidad de reportes e informes técnicos que presentan los resultados de dichos trabajos.

#### **Proyectos Hidroeléctricos**

Para la CFE la cuenca del Río Apulco y cuencas adyacentes han sido atractivas para fines hidroeléctricos desde la década de los cuarentas, debido principalmente a su ubicación respecto a algunos de los principales centros de consumo del país.

Para captar y aprovechar las aguas del Río Apulco se construyó la presa La Soledad y se consideró la opción de adicionar al gasto del Río Apulco, el del Río Xiacayucan y el de algunos afluentes formadores del Alto Nautla, para lo cual se requiere todo un sistema de captaciones y conducciones al que se le denominó *Atexcaco*. Como parte de este complejo sistema hidráulico, existen algunos proyectos de obras que se localizan en las zonas del municipio de Teziutlán, como son las P.D. Xoloco y el Túnel Xoloco-Acateno.

A partir de la década de los sesentas se llevaron a cabo una serie de exploraciones geológicas y geofísicas, con barrenos, así como pruebas de campo y laboratorio en las diferentes obras del Sistema Hidroeléctrico *Atexcaco* (boquillas, rampas, túneles).

Algunos de estos estudios permiten distinguir una mayor diferenciación de unidades litológicas y su comportamiento geotécnico en una gran superficie, incluido el Municipio en estudio.

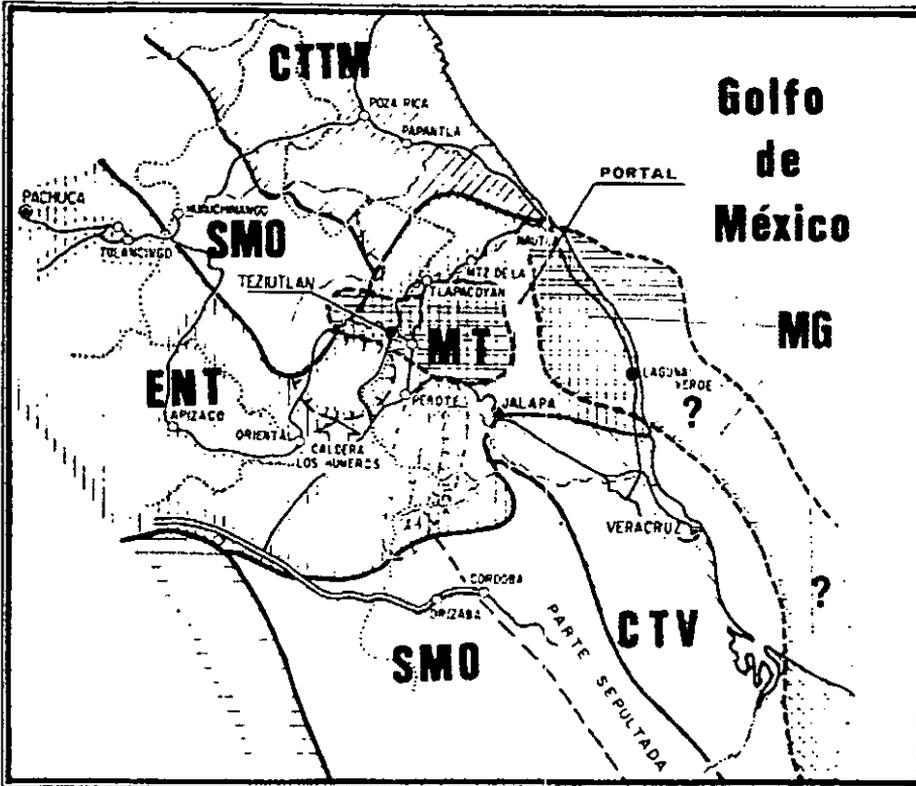


Figura II.11.- Mapa de las Provincias Fisiográficas,

ERA	PERIODO	EPOCA	EDAD	LOS NUMEROS LAS DERRUMBADAS	CUENCA DE VERACRUZ OAXACA Y PUEBLA	ZACAPOAXTLA-TLAPACOYAN AREA DEL S.ST. ATEXCACO
CENOZOICO	CUATERNARIO	PLEISTOCENO	3	ALUVION	Aluvion de Origen Volcánico	Qol - ALUVION
				Arenas, escoria y materiales de explosión		Obv - PIROCLASTOS Y ESCORIA
				Sedimentos lacustres y lacustres.		Opv - ARENAS Y CENIZAS DE COMPOSICION BASICA
				Formación Sn Antonio (Andesitas basálticas).		Qre - RIOLITA OYAMELES.
				Riolita Oyameles		Qis / Qra - IGAMBRITAS XALTIPAN TOBAS ANDESITICAS Y POMEZ.
	TERCIARIO	PLIOCENO	10	Formación Teziutlán	Productos Volcánicas	Fm TEZIUTLAN - ANDESITAS
				Andesitas Aisaseco	Fm. Filisola - Concepción - Escanto. - Depósito - Las Lajas - Horcones.	Ta - BASALTOS, BRECHAS Y TOBAS.
		Fm Cruz Blanca (Andesita)	Fm HORCONES.			
		Rocas ígneas intrusivas (Apitos y Granodioritas)	Fm. CHAPOPOTE.			
		OLIGOCENO	40		Fm Tantoyuca - Aragón. - Chicantepec.	Fm GUAYABAL
EOCENO	60		Fm Velasco	Fm ARAGÓN. Fm CHCONTEPEC.		
PALEOCENO	70					
MEZOSOICO	JURASICO	CRETACICO	82	Fm. Méndez Fm. Mezcala	Fm Necaxtla Fm Méndez	
				Fm. San Felipe Fm. Maltrata	Fm Guzmanta	Ks. Fm. San Felipe
				Fm. Agua Nueva Guzmanta	Fm. Maltrata	Fm. Agua Nueva
				Fm. Tamps. Sup Fm. Orizaba	Formación Orizaba	Km. Fm. Tamaulipas Superior.
				Fm. Tamaulipas Inferior	Fm. Copolucan Tuxpanquilla	Ki. Fm. Tamaulipas Inferior
				Fm. Pimiento	Tepezitlilla	Fm. Pimiento
				Fm. Tamán		Jb. Fm. Tamán Fm. Tepexic
				Formación Cahuasas		Jr - Jm Fm. Cahuasas (Conglomerados rocas volcánicas y diques filiticos)
166	Formación Huayacacotal	Huayacacotal, Atlixpan				
181	Formación Huixtla					
220	Rocas ígneas intrusivas y metamórficas (Macizo de Teziutlán).					
330		Esquistos		Secuencia Metamórfica Xiucoyucan (Esquistos y Pal-Met. Rocas ígneas intrusivas).		

1 - Yáñez, García (1980).

2 - Viniestra Osorio (1965).

3 - Segura, Delgado, Zamora (1987). Postulación de la columna de la zona

||||||| Hiarus o No depósito

— Discordancia

Figura II.11.- Nomenclatura y Correlación de las Unidades presentes en la Región

Hacia la porción sur y central, donde se ubica la ciudad de Teziutlán corresponde a la Provincia del Eje Neovolcánico Transmexicano; la estructura predominante en el área es una extensa meseta ligeramente inclinada al NNE que se formó por los sucesivos derrames de lava y material vulcanoclástico expulsado por la Caldera de Los Humeros. El drenaje tiene la característica de ser casi recto, con rumbo preferencial al norte, donde la acción erosiva es la predominante.

### **Estratigrafía**

En la región afloran diversos tipos de rocas, las más antiguas corresponden a la Era Paleozoica representada por una secuencia metamórfica y de rocas ígneas intrusivas; mientras que en la Era Mesozoica y principios del Terciario se encuentran predominantemente rocas de origen sedimentario; el Terciario Superior y Cuaternario está formado por derrames y materiales piroclásticos de diversas composiciones; durante el reciente se tienen básicamente depósitos aluviales y suelos residuales.

En la Figura II.12 se presenta un mapa geológico regional donde está incluido Teziutlán. Se aprecia la nomenclatura y correlación de las unidades litológicas a sí como la distribución superficial de las formaciones geológicas en las inmediaciones de la zona de estudio.

A continuación se presenta una breve descripción de las unidades litológicas que se presentan en la zona de este estudio:

### **Sistema Metamórfico**

#### **Serie Metamórfica Xiacyucan (Pal-met)**

Con este nombre se ha considerado a un grueso paquete de rocas metamórficas, que están formadas principalmente por esquistos de color verdoso, compactos y con textura esquistosa; están afectadas por una serie de diques de composición granítica y riolítica.

Esta unidad se presenta en la porción norte del área de estudio, encontrándose bien expuesta en el Cañón de Xiacyucan. Constituye por lo tanto la base estratigráfica de la región y la cubren discordantemente la mayor parte de las rocas jóvenes mesozoicas y cenozoicas.



## Sistema Jurásico

### Formación *Cahuazas (Ji-Jm)*

Esta formación es de origen vulcano-sedimentario y posee una litología compleja: esta constituida por derrames de riolitas y traquitas, separadas por gruesos cuerpos de conglomerados polimícticos, tobas líticas y porfidos andesíticos.

La formación Cahuazas descansa en forma discordante sobre el complejo metamórfico. Se encuentra ampliamente distribuida en la zona de estudio, principalmente hacia la porción occidental y norte de Teziutlán, en la Sierra de Chignautla; con espesores variables, generalmente del orden de 400 m.

### Formaciones Tepexic, Tamán y Pimienta (Js)

Estas tres formaciones pertenecen al Jurásico Superior, están constituidas principalmente por rocas sedimentarias clásticas y calcáreas.

La Formación Tepexic esta compuesta por estratos potentes de areniscas y calizas, muy compactas, y hacia la parte superior lutitas apizarradas con calizas lenticulares y lutitas fósiles negras.

La Formación Tamán consta de una fase arcillosa de 500 m de espesor formada por lutitas negras y lutitas carbonosas interestratificadas con capas delgadas de caliza negra. También presenta una facie calcárea de 30 m de espesor formada por calizas grises de textura uniforme con nódulos de pedernal negro

La Formación Pimienta esta constituida por calizas y dolomías de color gris oscuro, con bandas de pedernal negro, calizas arcillosas, alternado con cuerpos de lutitas arenosas grises a pardo oscuro

Estas tres formaciones tienen afloramientos reducidos en el área de estudio, encontrándose principalmente en la parte central de la Sierra de Chignautla.

## Sistema Terciario

### Formación Teziutlán (Tat)

Esta formación esta constituida por una serie de derrames volcánicos de tipo andesítico, sobre los cuales está edificada en parte la ciudad de Teziutlán; conformada por intercalaciones de andesitas, andesitas basálticas, aglomerados volcánicos, tobas andesíticas y tobas andesíticas soldadas.

La Formación Teziutlán tiene una amplia distribución en la zona de estudio, principalmente al oriente de la ciudad, donde comienzan sus afloramientos hasta llegar al borde con el Río Xiacayucan. Estas rocas descansan discordantemente sobre las diferentes rocas Jurásicas, y están a su vez cubiertas por las Tobas Andesíticas y las Ignimbritas Xaltípan.

## Sistema Cuaternario

### Ignimbrita Xaltipan (Qix)

Esta unidad litológica incluye una serie de derrames ignimbriticos localizados en la periferia norte de la Caldera de Los Humeros. Constituye Ignimbritas en sus tres estados de piroconsolidación: uno de piroconsolidación densa, otro de piroconsolidación mediana y el tercero sin piroconsolidación.

La Ignimbrita de piroconsolidación densa aflora principalmente hacia la zona de Altotonga y Tlapacoyan, y consiste de una toba vítrea, compacta, con diaclasamiento columnar, pseudo-fluidal, con fragmentos de pómez y textura piroclástica.

La Ignimbrita de consolidación mediana es una roca completamente vítrea, en parte vesicular, de forma lenticular, con diaclasamiento columnar. Este material se usa en la región como cantera, existiendo bancos potentes al noreste de Chignautla.

La Ignimbrita sin piroconsolidación es la que se encuentra mas ampliamente distribuida en el área de estudio y esta compuesta por una toba arenosa de color blanco, deleznable, con piroclastos esencialmente de vidrio.

### Toba andesítica (Ta)

Encima de los derrames de la Formación Teziutlán y de la Ignimbrita Xaltipan se encuentran tobas andesíticas de color anaranjado, deleznales, de textura piroclástica, con fragmentos de roca de composición andesítica, que son el resultado de la actividad de algunos aparatos volcánicos de la zona, como son el de la Ventanilla y Petronatpetl.

En esta secuencia se encuentran interdigitaciones con las tobas arenosas sin consolidar de la Ignimbrita Xaltipan.

#### Tectónica

La zona de estudio es complicada, ya que están presentes varios elementos geológicos, algunos parcialmente cubiertos, ya que existen varias provincias tectónicas que confluyen (figura 11.12).

En la zona de estudio la provincia tectónica de mayor importancia es el Macizo de Teziutlán: el cual esta constituido por rocas graníticas y metamórficas, con una gruesa cubierta de sedimentos rojos del Triasico; la estructura es un gran domo alargado E -W y su parte mas alta se encuentra al N y NW de Teziutlán.

Este macizo en su evolución geológica ha tenido gran importancia en la sedimentación jurásica, cretácica y más aún, ha servido de línea divisoria entre las cuencas de Tampico - Misantla y Veracruz.

#### Geología Estructural

La principal estructura geológica del área de estudio es el Homoclinal de Teziutlán, el cual presenta una orientación NW - SE y la conforma el paquete de rocas sedimentarias del Mesozoico Superior. Estas

rocas conservan un echado constante, inclinado ligeramente hacia el N-NE, sin accidentes estructurales de gran importancia que lo interrumpan.

El fracturamiento que se observa en las rocas sedimentarias es el resultado de los diversos fenómenos tectónicos a que ha estado sujeta el área, predominando el rumbo NNW-SSE de tipo tensional.

Las estructura volcánica más importante es La Caldera de Los Humeros, ubicada a 10km al sur de Teziutlán y que dio origen a la Ignimbrita Xaltipan, con sus fases piróclásticas pumiciticas, emisiones que cubrieron y enmascararon las estructuras y rellenaron los valles en una gran extensión. Existen también pequeños aparatos volcánicos diseminados, generalmente cineríticos; los más cercanos al proyecto son el Petronatepétl y el Ventanilla, formados por tobas de composición andesítica. Durante el reciente el área ha quedado expuesta a la constante denudación, que ha modelado el relieve actual.

En cuanto a información sobre los parámetros mecánicos de los materiales que constituyen el suelo de Teziutlán, no se ha encontrado nada al respecto, como ya se mencionó se tiene conocimiento de que algunas maquiladoras que se han construido en la zona han realizado estudios de Mecánica de Suelos, sin embargo, hasta el momento el Municipio no ha podido facilitar dicha información.

### **Conclusiones**

El cúmulo de información existente respecto a las características geológicas de la región, es abundante, sin embargo, sólo permite ubicar a Teziutlán en un marco geológico muy general, por lo que será necesario hacer trabajos que permitan caracterizar de manera local el tipo de formaciones geológicas existente en el área de estudio, así como los parámetros mecánicos de los materiales que las conforman.

### III-ACCIONES INMEDIATAS.

#### III.1.- IDENTIFICACION DE ZONAS CON RIESGOS GEOLÓGICOS-GEOTECNICOS.

##### Antecedentes.

En el capítulo anterior se mencionó cuales fueron algunos de los lugares con más daños y el tipo de los mismos. Con la idea de describir las condiciones actuales de esos y otros sitios, así como de explicar en la medida de lo posible los diferentes mecanismos de falla, se realizó una nueva visita por casi todo el municipio de acuerdo con lo siguiente:

Se logró una entrevista con el Regidor de obras públicas del H. Ayuntamiento de Teziutlán, el cual comentó sobre la problemática general en torno a los deslizamientos y los diagnósticos que efectuaron las dos Dependencias Oficiales. Indicó que en base a esos reportes y a una revisión continua a la localidad, se han identificado los sitios con los mayores riesgos y problemas por deslizamientos o desprendimientos de materiales. Lo anterior ha conducido a una reubicación total de las familias cuyas casas fueron destruidas por los deslizamientos, sin embargo, aún existe una gran preocupación por que se piensa que existen otros lugares con un alto riesgo de que las laderas fallen en las próximas temporadas de lluvias, ya que hasta el momento no se han realizado en ningún caso estudios técnicos de detalle que permitan evaluar de algún modo el riesgo en el que viven muchas familias. Dentro de los planes de protección a la ciudadanía, personal del H. Ayuntamiento efectúan inspecciones continuas a las colonias más afectadas para detectar zonas aparentemente inestables, recomendando en muchos casos el desalojo de las casas. Sin embargo esto ha representado un problema complejo para el Municipio, ya que la reubicación de personas implica proporcionar nuevos sitios para nuevos asentamientos humanos e incluso el apoyo económico a los afectados, además de un arduo trabajo para informar a la población y hacerla comprender que viven en una zona compleja, donde se debe estar alerta a las indicaciones de las autoridades en caso de precipitaciones excesivas.

##### Reconocimiento de los sitios con riesgos potenciales de deslizamientos.

Con la información del Capítulo II de este trabajo, con lo descrito en el párrafo anterior y con la finalidad de observar y analizar las características de las fallas, los materiales involucrados, y las causas más probables que las originaron, se realizó una nueva visita a los sitios que han sufrido algún deslizamiento y a los que se supone, incluso hoy día, existe un riesgo potencial de deslizamientos. Como resultado se preparó el siguiente dictamen técnico en donde se plantean primeramente las causas inferidas de las fallas más importantes que ocurrieron en diversas colonias de Teziutlán, para enseguida proponer recomendaciones y los estudios técnicos que deben realizarse en cada sitio. Se indican algunas medidas inmediatas para disminuir o atenuar los riesgos y los daños que pueden causar nuevos deslizamientos.

### Colonia la Aurora.

Esta colonia está ubicada al oriente de la Ciudad. El desarrollo urbano de ésta colonia se ha realizado en una ladera cuya cima casi plana está ocupada por el cementerio Municipal y la parte más baja la limita el río el Calvario, ver la figura III.1.

El deslizamiento que se presentó en esta colonia fue el más impresionante de todos y el que más daños materiales y humanos produjo.

#### Descripción del deslizamiento.

La falla principal se presentó en el cementerio que colinda con el hombro del talud, en donde se había colocado un relleno artificial contenido por un muro, el cual seguramente no cumplía con los requerimientos mínimos de drenaje y estabilidad, se especula que su cimentación quedó incluso en el material de relleno, como se esquematiza en la figura III.2 y las fotos 1 a 4.

La masa fallada tuvo un movimiento con componentes de rotación y traslación. La superficie de deslizamiento tiene una forma que corresponde a la de una mitad de embudo, la que es característica de las fallas en las que se fluidifica el suelo, reduciéndose pendiente abajo el área transversal por donde se vació la masa fallada. Con ello dejó totalmente el descubierto la superficie de falla, la que en su extremo superior cuenta con un ancho de unos 40 m, reduciéndose a la mitad en el pie. La forma de la traza de la superficie de falla en una sección transversal típica corresponde a una semielipse; a su vez, la forma de ésta en una sección longitudinal por el centro es la de una espiral logarítmica, con menor radio de curvatura en la corona y creciendo este hacia el pie del talud. La superficie de falla corta al terreno del pantón con un ángulo de 75°. Se estima que la longitud del deslizamiento es de unos 120 m, del hombro al pie de la falla.

Más allá del pie de esta ladera y después de una ligera pendiente se tiene un cantil vertical, al fondo del cual corre el río Calvario, así el flujo lodoso corrió por este escalón y cayó finalmente al río.

Se tuvo la oportunidad de hacer un muestreo de los suelos justo en la superficie de falla para la realización de pruebas índice que permitan identificar y clasificar a esos materiales, así como para estimar sus propiedades mecánicas. Los datos que se indican enseguida fueron obtenidos en el laboratorio de Dinámica de suelos del CENAPRED. Los límites de plasticidad son los siguientes:

Propiedad índice	A partir de su wn	Con secado previo al horno
Límite líquido	WL = 97 %	WL = 61.1 %
Límite plástico	WP = 59.1 %	WP = 49.3 %
Índice plástico	IP = 37.9 %	IP = 11.8 %

El contenido natural de agua alcanzó un valor medio de un 97.8 %. Con esta información resultado de ensayos muy simples, pudo constatarse que el suelo del talud tenía un contenido natural de agua ligeramente superior al límite líquido, lo que definiría que en condición remoldeada éste suelo se encontraría

con una consistencia propia del estado semilíquido, esto es, con una resistencia al esfuerzo cortante muy baja. Sin embargo, en su condición natural inalterada, guardaba desde luego cierta consistencia, dada la estructura adquirida durante su vida geológica. Tal estructura al parecer es muy sensible al remoldeo, lo que provocó el flujo.

Una muestra de este suelo se sometió a tamizado por vía húmeda, encontrándose que el 94% del total en peso pasa la malla No. 200 (0.074 mm), y que el 100 % de sus partículas es de dimensiones menores a 1 mm. Atendiendo estos datos, puede señalarse que el material de la ladera es un suelo fino que se clasifica según SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), como un Limo de alta compresibilidad (MH). adviértase que si se seca el suelo antes de realizar los ensayos de plasticidad, se reduce considerablemente el índice plástico debido principalmente a la drástica caída del límite líquido. La densidad de sólidos en la muestra es  $G_s = 2.71$  y su peso volumétrico total natural es  $\rho_n = 1.32 \text{ gr/cm}^3$ .

Es claro que la falla del talud se explica sólo por la baja resistencia al esfuerzo cortante de su suelo, aunque sin duda la sola identificación de estos materiales y los antecedentes de inestabilidad de la región, debieron ser motivo de alerta y deben ser motivos de preocupación para el futuro. En efecto, el fenómeno disipador de la inestabilidad fue el agua. Dada la alta precipitación, el agua ingresó a la masa interna del talud, con ello aumentó el grado de saturación (cociente entre el volumen de agua y volumen de vacíos) del suelo que inicialmente se encontraba parcialmente saturado. Así en la porción cercana a la futura superficie de deslizamiento, o al menos en parte de ella, no sólo perdió la succión (presión de poro negativa), si no que se generó presión de poro positiva, con lo que se redujo la magnitud de los esfuerzos efectivos. Por ello la resistencia al esfuerzo cortante se vio disminuida, dada su proporcionalidad con los esfuerzos efectivos (normales). Adicionalmente puede presumirse que en este proceso, y debido al mal diseño del muro de contención. Se desarrollaron algunas grietas en la corona del talud, las que al llenarse con agua, se ejerció presión hidrostática sobre bloques potencialmente susceptibles al deslizamiento que coadyuvaron a la inestabilidad del talud. La falla sobre vino cuando los esfuerzos cortantes generados en la cercanía del talud no los pudo contrarrestar la resistencia disminuida del suelo, según el mecanismo antes descrito. Al producirse la falla el suelo remoldeado perdió su estructura natural, su resistencia ya en movimiento fue menor, y así adquirió una consistencia viscosa, ello provocó el flujo ladera abajo, dejando al descubierto la superficie curva de falla" y derribando todo lo que a su paso encontró.

#### **Situación actual del talud.**

Actualmente en la zona deslizada se han realizado obras para asegurar la estabilidad de la ladera que quedó; éstas consisten en muros de mampostería localizados a la mitad y al pie de la ladera y los construyó personal de la SEMARNAP. Aprovechando el levantamiento topográfico que proporcionó personal de la misma Secretaría, y los trabajos de exploración que el que escribe realizó, se elaboró un análisis de estabilidad

de salud para la ladera que quedó y los resultados se presentan en el Capítulo IV de este trabajo, donde además se concluye sobre la utilidad de las obras que se han construido para estabilizar la ladera.

Es importante destacar que hacia el sur de la zona fallada se encuentra otro conjunto de casas habitación desplantadas aparentemente sobre los mismos suelos donde ocurrió la falla, y en la parte superior de la ladera existe una torre de alta tensión y fosas del cementerio abiertas que pueden almacenar agua, poniendo en riesgo a los habitantes de la zona.

#### **Colonia Juárez.**

Esta colonia se encuentra ubicada el sureste de la ciudad, en la margen izquierda del río Calvario (figura III.1). La ladera tiene taludes del orden de 45° y hasta prácticamente verticales, donde se observa un gran hacinamiento de casas con una distribución irregular, las que con el objeto de ganarle espacio a la ladera han construido rellenos para definir los niveles de piso terminado, cuya formación se observa sin ningún orden, como se ve en la foto No. 5.

En ésta colonia se presentaron múltiples daños a las casas ubicadas sobre todo en el cuerpo de la ladera; algunas fueron totalmente destruidas al moverse junto con la masa fallada y otras sufrieron graves daños en su cimentación y/o estructura, al quedar sin apoyo suficiente en el 100 % de su desplante (foto 6).

Por otra parte, existen casas en condiciones muy rudimentarias o construidas con materiales de baja calidad, sobre rellenos inadecuados, lo que ha provocado que casi todas las estructuras de este tipo hayan sido dañadas (foto 7).





### **Descripción del deslizamiento.**

En esta región el suelo predominante es una toba arenosa de color café negruzco. Los cortes casi verticales que existen en la zona muestran buen comportamiento incluso en épocas de lluvia. sin embargo. se presentaron fallas de talud o deslaves de dimensiones locales. básicamente en las zonas donde se había colocado material de relleno para la construcción de las casas el cual no tuvo un control de calidad adecuado que garantizara su estabilidad (figura III.3).

Los deslaves ocurrieron donde existió flujo superficial de agua proveniente de las partes altas de la colonia y en donde el drenaje de aguas residuales está construido de tal manera que vierte sobre el cuerpo de la ladera. en muchas zonas sobre material de relleno que al saturarse, se fluidificaron y fallaron (foto 8).

Subyaciendo a la toba arenosa pueden distinguirse unas brechas volcánicas muy compactas. en general las construcciones ubicadas en estos materiales. no presentan problemas por deslizamientos.

De lo anterior se concluye que la causa que propició la inestabilidad de las laderas en este sitio fue fundamentalmente la saturación de los rellenos mal colocados. La saturación como se dijo. fue producto de las lluvias excesivas y de un mal encauzamiento de las aguas residuales y pluviales.

### **Situación actual del talud.**

En la colonia se tienen identificados varios sitios donde las casas están apoyadas sobre los rellenos artificiales y están expuestos al flujo del agua superficial. por lo que cada uno de ellos presenta un riesgo potencial de futuros deslizamientos del terreno.

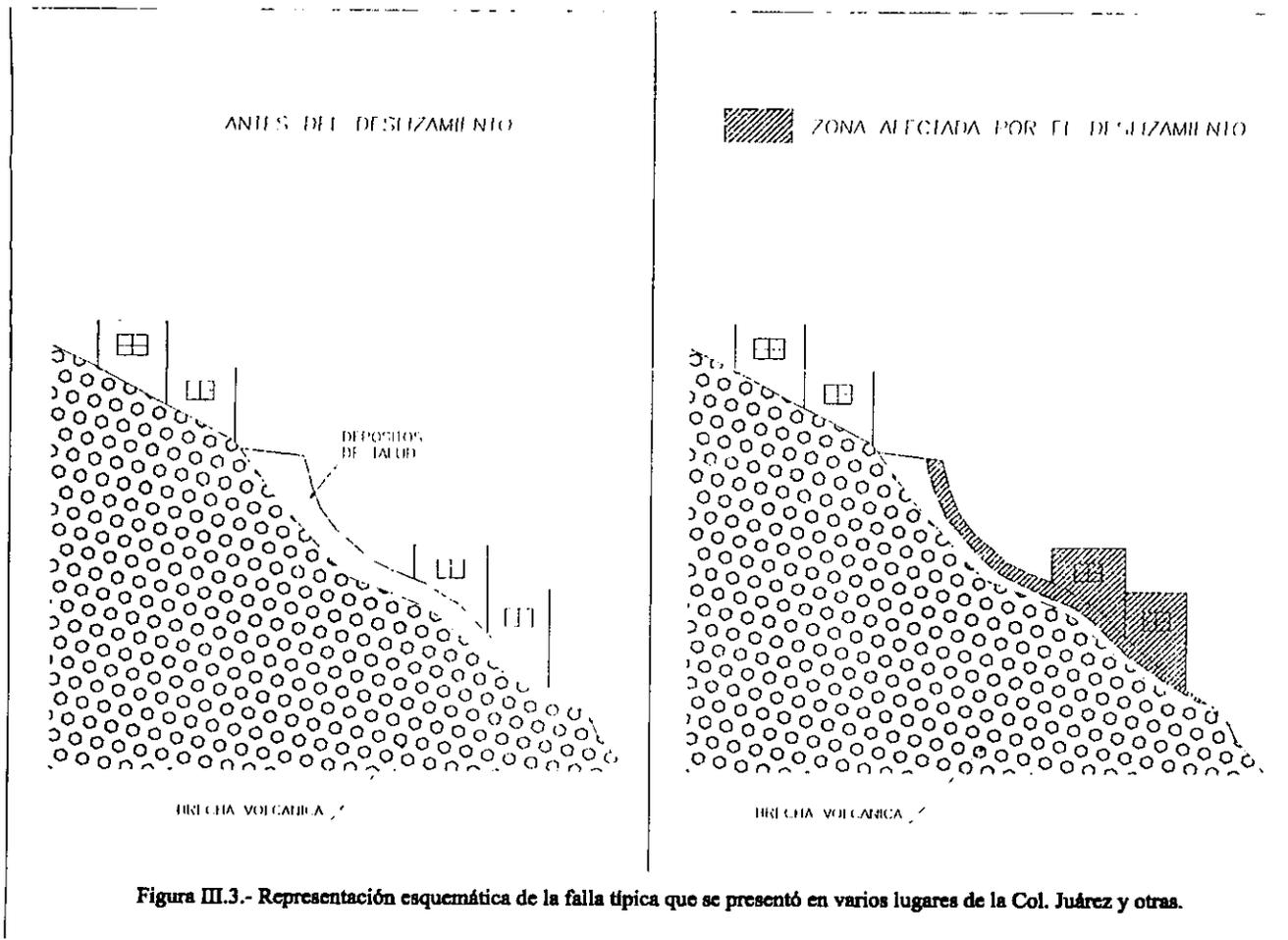
Algunas de estas casas ya han sido deshabitadas por sus moradores. sin embargo. la mayoría todavía se encuentran ocupadas.

### **Colonia la Gloria.**

Se localiza al poniente del centro de la ciudad. en la margen derecha de un arroyo. ver la figura III.1: En este lugar algunas casas construidas en la ladera contigua a la colonia la Gloria. en la parte superior de la calle Prolongación Constitución. fueron destruidas totalmente al fallar la ladera que ocuparon como cimentación (foto 9). otras quedaron prácticamente sin cimiento. en un 50% de su apoyo al existir el mismo problema. ver la foto 10. La estratigrafía del suelo apreciable en los taludes casi verticales con alturas de 30 m aproximadamente se describe como:

Para la ladera ubicada en la margen derecha del arroyo.

Superficialmente se aprecia una toba limosa color café rojizo con espesor máximo de 2.0 m.



subyaciendo a la anterior, se encuentra una toba arenosa color café negruzco.

Para la ladera de la margen izquierda del arroyo.

Existe superficialmente arcilla limosa de color café rojizo con espesor de unos 10 m. debajo de la anterior se observa una toba arenosa café negruzco.

#### **Descripción del deslizamiento.**

El espesor del material limoso o arcilloso, es muy importante para caracterizar el tipo de falla que se presenta de acuerdo con lo siguiente:

Los deslizamientos ocurridos en la ladera de la margen derecha, fueron fallas de talud producto de una erosión intensiva de las tobas arenosas por un inadecuado sistema de drenaje pluvial y municipal cuyas descargas cayeron directamente sobre la ladera no protegida iniciando de esta forma la falla, como lo muestra la figura III.4.

El efecto de socavación de las descargas del drenaje pluvial es posible observarlo aún hoy en algunos sitios de la colonia, por ejemplo, al final de la calle de Constitución existe, en la parte superior del talud, una descarga libre del agua pluvial sobre las tobas arenosas, en donde se observa el efecto de erosión remontante y la formación de bloques de terreno natural labrados que tienden a desplomarse (foto 11). El tipo de falla que se presenta en la margen izquierda del río es diferente a la anterior, debido fundamentalmente al importante espesor de la toba arcillosa, por un lado la inclinación de estas laderas es mucho menor que las de las opuestas, en éstas se presenta el crecimiento de pasto que no permite que esta ladera se erosione fácilmente, sin embargo, se aprecia un deslizamiento lento cuya superficie de falla debe estar en el contacto de la toba arcillosa y la arenosa, éste movimiento es visible por la inclinación que tienen los árboles prácticamente en toda la ladera.

#### **Situación actual del talud.**

Los taludes de esta zona se mantienen en las mismas condiciones que quedaron después del desastre, únicamente se removieron parte de los escombros.

Se observa que las principales descargas de agua pluvial siguen llegando hasta al hombro de los taludes y erosionando el material (foto 9 a 11).

Las casas habitación ubicadas en la parte superior del talud de la calle Revolución se encuentran muy cercanas al borde del corte y muestran evidencias de erosión y pequeños desprendimientos de los materiales en la base de la cimentación, poniendo en riesgo la estabilidad de la casa (foto 10).

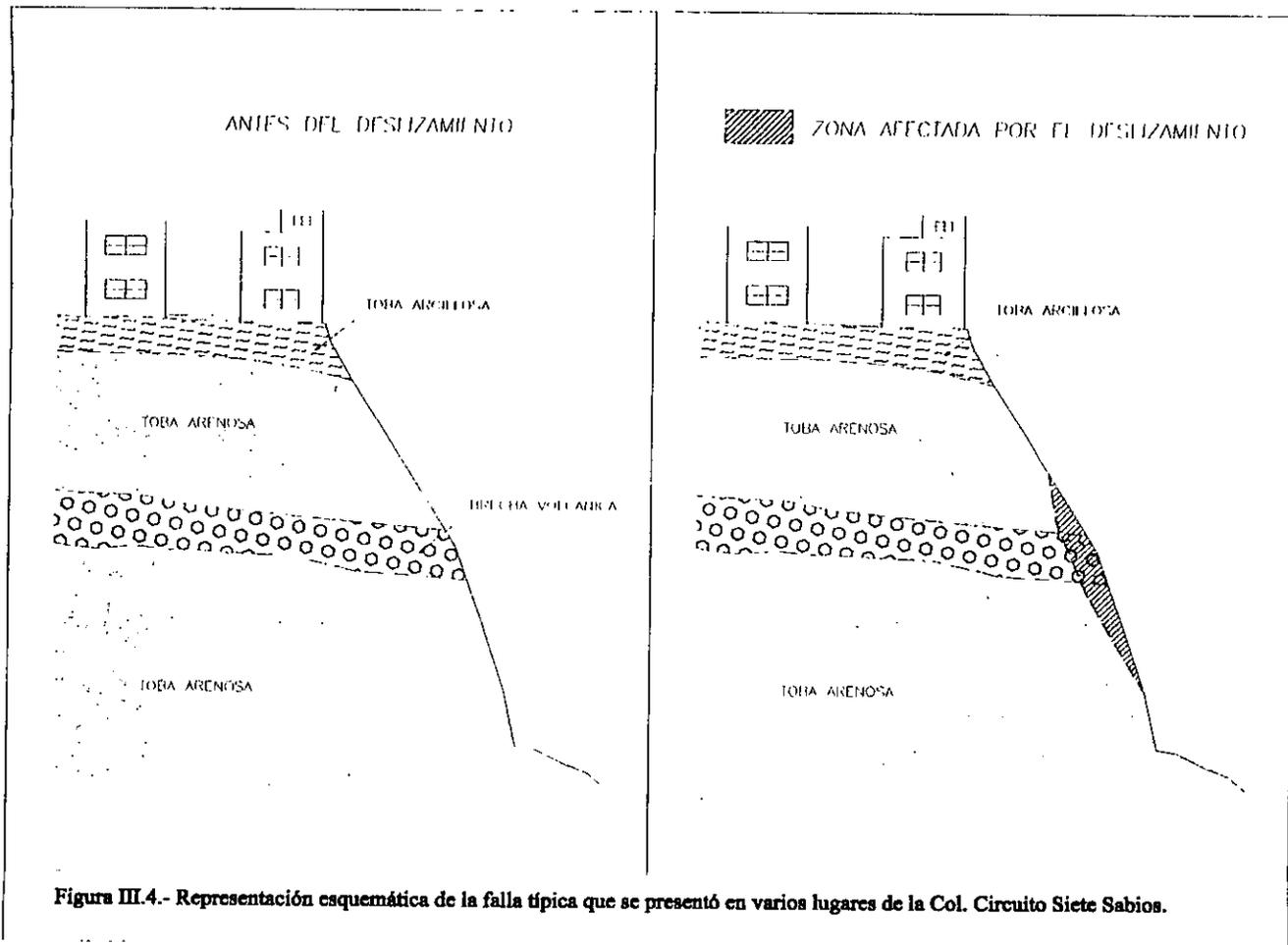


Figura III.4.- Representación esquemática de la falla típica que se presentó en varios lugares de la Col. Circuito Siete Sabios.

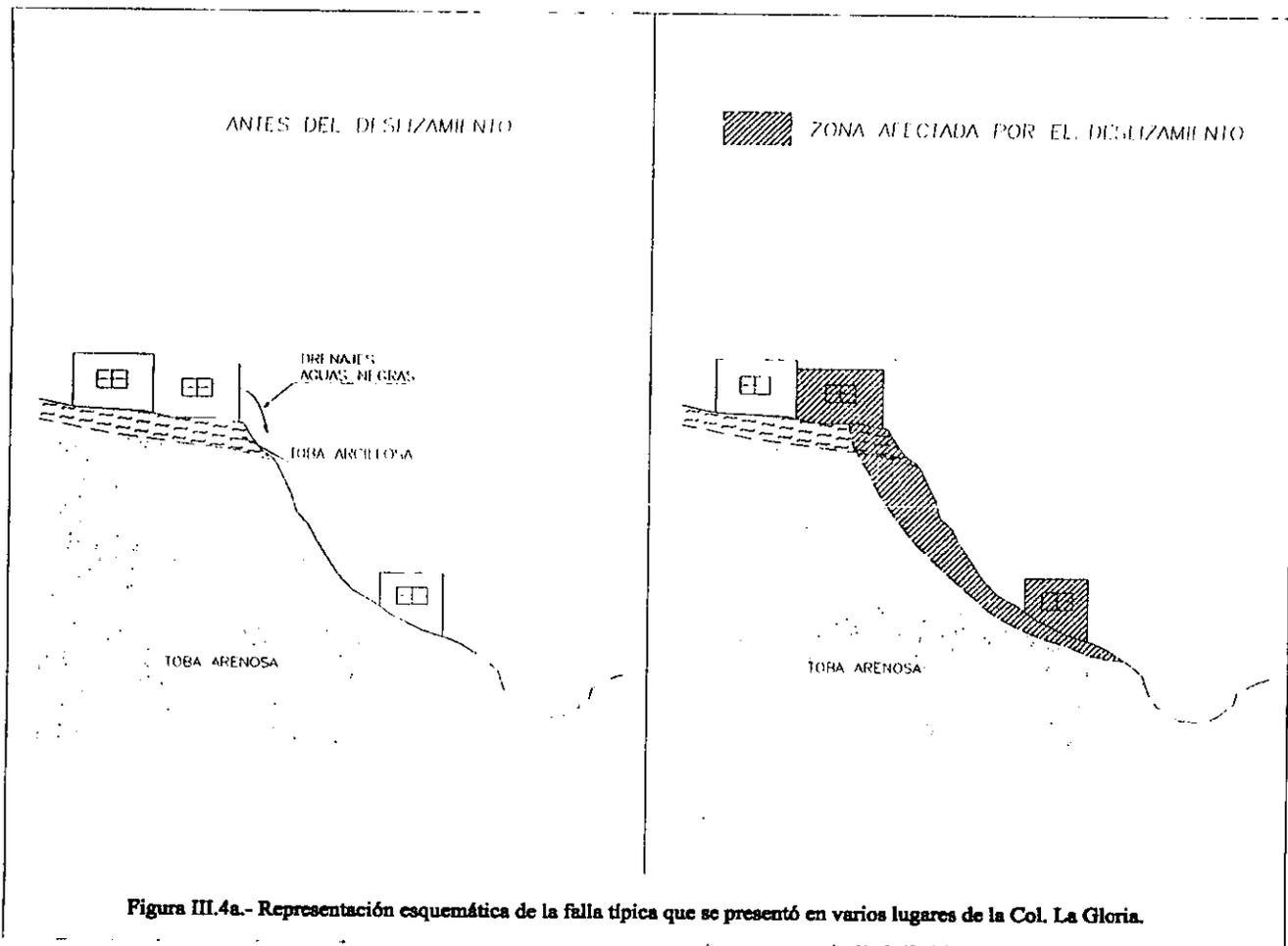


Figura III.4a.- Representación esquemática de la falla típica que se presentó en varios lugares de la Col. La Gloria.

### **Circuito Siete Sabios.**

Esta colonia se ubica inmediatamente al norte de la colonia la Gloria, muy cerca también del centro de la ciudad (figura III.1). Este sitio está formado por una serie de cortes que forman una especie de anfiteatro los cuales en su mayor parte tienen una fuerte pendiente, entre 70 y 80°, con alturas entre 40 y 60 m. que dan la idea de que ahí fue un antiguo banco de materiales. En la corona de los cortes y prácticamente desde el hombro del mismo, se localizan construcciones de hasta tres niveles (foto 12). El tipo de suelo que predomina en esta zona es una toba arenosa color café negruzco prácticamente desde la superficie y hasta el pie del talud.

#### **Descripción del deslizamiento.**

En esta zona se presentaron pequeños desprendimientos o caídos en la parte media de la ladera, que al parecer afectaron únicamente la parte superficial del terreno, formado por la capa vegetal y las tobas arenosas alteradas. Existen también evidencias de que en el pasado ya se habían presentado desprendimientos similares en el talud.

Se considera que estos ataludes fallaron debido a un proceso natural de erosión que se intensifica en época de lluvias. En la parte norte del circuito existe un escurrimiento que incide sobre la superficie de la ladera, producto del drenaje de aguas negras y pluviales, que con el paso del tiempo han creado canales naturales desgranando la porción fina del material tobacco arenoso que conforma los taludes, creando posibles superficies de falla, con la susceptibilidad de que se desprendan grandes bloques de terreno en cualquier momento.

#### **Situación actual del talud.**

Los taludes de esta zona se mantienen en las mismas condiciones que quedaron después de los deslizamientos ocurridos, así mismo se observa que las descargas de agua pluvial continúan llegando hasta el hombro de los taludes y erosionando el material (fotos 13 y 14).

#### **Barrio campo verde.**

En general las laderas de esta colonia se encuentran en tobas sanas, que hasta el momento no han presentado fallas y aparentemente no tienen riesgos.

#### **Colonia Francia el Fortín.**

Esta se localiza al poniente de la ciudad, muy próxima a la colonia la Gloria. En la zona se aprecia que el tipo de suelo predominante es una toba arenosa color café grisáceo a oscuro, que en condiciones naturales, no presenta problemas de estabilidad. Sin embargo, si éste material es remoldeado y colocado como relleno sin un control de calidad adecuado y sin estructuras de drenaje que eviten que éste se sature o que tenga escurrimientos en su superficie, fallará seguramente. Tal es el caso de la falla de talud que se presentó colapsando un taller mecánico y que dañó seriamente un par de casa vecinas.

El deslizamiento fue un alud de lodo constituido por los materiales de corte que se colocaron a volteo después de realizar los cortes necesarios para alcanzar el nivel de rasante de la carretera que va a Zaragoza. El alud cayó rápidamente hasta el arroyo y disipó su energía en la opuesta derribando algunos árboles. Las causas principales de la falla fueron una colocación inadecuada del terraplén sobre la ladera, la falta total de estructuras de drenaje que permitan conducir el agua pluvial hacia alcantarillas de drenaje carretero adecuadas, y a la insuficiencia hidráulica de la única alcantarilla que conduce el agua hacia el fondo del arroyo.

#### **Deslizamientos en la carretera.**

En varios caminos y carreteras de los alrededores de Teziutlán se presentaron diversos deslizamientos de los cortes, producto de uno o varios de los siguientes factores.

La incidencia directa y la acumulación del agua de lluvia en el interior de los materiales que forman el terreno.

La inadecuada canalización de las aguas pluviales en las cunetas de la carretera y su descarga hasta el pie del talud (foto 14).

La falta de una compactación adecuada en los materiales de relleno (foto 15).

La facilidad e erosión de las tobas arenosas (foto 16 y 17).

#### **ZONIFICACIÓN GEOLÓGICA PRELIMAR DE LA ZONA VISITADA EN LA CIUDAD.**

Gracias a la información anterior, se han distinguido principalmente tres tipos de fallas "rápidas" (movimientos de tierra repentinos), en las laderas que conforman la topografía de Teziutlán, por un lado, están las fallas de tipo circular que se presentan sobre todo en materiales finos (arcilla y limo), que están claramente asociadas con la época de lluvias; el segundo tipo de falla está caracterizada por el desprendimiento y volteo de bloques de tierra (tobas arenosas), que se presentan fundamentalmente cuando existen escurrimientos de agua sobre sus laderas o al pie de las mismas; y finalmente, el tercer tipo de falla observada, ocurre en material de rellenos construidos sin control de calidad y en los que además se han edificado estructuras diversas. Cabe destacar que en algunas zonas se observó una falla de ladera considerada como "lenta" debido a que es posible distinguir el movimiento relativo del suelo por que los árboles que han crecido sobre ésta, se han ido inclinando.

Tomando en cuenta lo anterior, se hizo una zonificación geológica de la ciudad, con el fin de plasmar gráficamente las zonas con características semejantes, y sea posible distinguir de forma preliminar y sea posible distinguir de forma previa diversas regiones geológicas según se describa a continuación y como se muestra en la figura III.5.

**Zona A.-** Está localizada al norte del centro de la ciudad (figura III.5) existe una formación rocosa identificada como una Andesita de color oscuro, que pertenece probablemente a la formación

Teziutlán. En ésta zona como es de esperarse, no se presentan fallas de deslizamiento, aún cuando existen escurrimientos superficiales de agua, éstos sólo han erosionado la superficie de la roca sin tener por ello problemas de estabilidad en sus laderas.

**Zona B.-** Esta incluye a una parte de la región más poblada de la ciudad y está localizada al norte de la formación anterior, el tipo de suelo predominante está conformado por una toba arenosa color gris oscuro, que se mantiene estable en cortes casi verticales y de gran altura, a menos que se presente la siguiente situación.

Los taludes formados en este material fallarán, si sobre estos se tienen escurrimientos superficiales de agua, que van erosionando el material hasta generar un bloque que falla por gravedad, como ocurre en los casos donde el drenaje municipal descarga sobre las paredes de los taludes y en donde por falta de drenaje pluvial, las descargas se hacen por las banquetas que dirigen al agua hacia las paredes de los taludes para finalmente llegar al fondo del cause. Este tipo de falla es perfectamente apreciable en la colonia la Gloria, la colonia Juárez el Fortín, etc.

**Zona C.-** La siguiente zona geológica detectada pasa por el centro y se extiende hacia el norte de Teziutlán, (figura III.5), ésta conformada por un par de estratos, que se definen de la siguiente manera:

El primer estrato es un material que puede clasificarse como fino ya que más del 50% de sus partículas pasan la malla No 200 (pruebas del CENAPRED) y de acuerdo con los resultados de algunas pruebas índice realizadas a éste, puede identificarse como una arcilla o limo de alta plasticidad. La consistencia de éste aumenta con la profundidad, contienen arena fina en poca cantidad y su color característico es café rojizo, su espesor es muy variable, sin embargo va disminuyendo en las zonas bajas y hacia el norte de la ciudad.

El segundo estrato está compuesto por una toba arenosa color café grisáceo a oscuro, intercalado por pequeñas lentes de material piroclástico (pomex, arena, etc). La profundidad de éste se desconoce, pero hacia el norte de la ciudad, existen cortes sobre estos materiales con alturas superiores a los 50 m.

Las fallas de talud en esta zona, se presentan principalmente en el primer estrato y en los lugares donde existen rellenos, las fallas están asociadas a dos factores; el primero es la saturación del estrato superficial, sobre todo en la época de lluvias, el segundo, son pendientes excesivas en espesores importantes del primer estrato, de modo que la falla de talud se dará por una disminución de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos finos al saturarse y por pendientes excesivas, tal y como lo indica el análisis realizado anteriormente para la falla de la colonia la Aurora.

**Zona D.-** Esta conformada por todas las regiones donde existen rellenos. Estas zonas son importantes porque aún cuando don del mismo tipo de suelo que ha permanecido estable hasta el momento, su remodelo y su mala colocación han sido factores determinantes para que las estructuras construidas sobre ellos fallen. Los rellenos se encuentran principalmente a los lados de carreteras donde se hicieron cortes y en laderas para tener mayor superficie horizontal de construcción. La figura III.5 muestra algunos lugares donde existen rellenos. Al observar varias fallas en estos materiales, es posible distinguir que el material que se movió fue sólo el relleno, de modo que la superficie de falla es el contacto entre el terreno natural y el relleno, lo que conduce a pensar que fueron mal construidos al dejar que la componente del peso del relleno actuara como fuerza provocadora del deslizamiento si a lo anterior se agrega la saturación del relleno debido a la inexistencia o insuficiencia de drenaje pluvial y municipal, el resultado es un movimiento prácticamente en estado líquido que no se detiene con nada.

#### **RECOMENDACIONES PRELIMINARES PARA ACCIONES INMEDIATAS.-**

Con la idea de que se mejoren las condiciones de seguridad en los puntos de alto riesgo y se prevengan posibles deslizamientos de tierra en otras zonas, en seguida se dan algunas recomendaciones generales que responden a la forma y causas de las fallas antes descritas. Dichas recomendaciones abarcan de manera general cada una de las zonas geológicas distinguidas en párrafos anteriores y permitirán que las autoridades distinguan que tipo de problemas pueden enfrentar en cada caso ante precipitaciones importantes.

**Zona A.-** En esta región, aún cuando, no se aprecian fallas de laderas y aparentemente es segura para edificar sobre ella, no debe descartarse la necesidad de realizar los estudios correspondientes al subsuelo antes de construir sobre el, de modo que estos permitan eliminar cualquier incertidumbre al respecto.

**Zona B.-** De acuerdo con la forma y las causas de las fallas descritas en párrafos anteriores, es necesario efectuar de inmediato una canalización de las aguas pluviales para que estas no escurran directamente sobre las paredes de las laderas, así como clausurar y adecuar cualquier drenaje de agua residual que se encuentre infiltrando las aguas directamente al subsuelo, deben realizarse estudios de Mecánica de Suelos, Geología, hidrología y topografía, de manera que se cuente con información suficiente y adecuada para definir las condiciones de seguridad de muchas laderas que se encuentran ubicadas en ésta zona y sobre las cuales se han edificado una amplia gama de estructuras necesarias para los habitantes.

**Zona C.-** El describir las causas de la falla en el talud ubicado en la parte Este del panteón Municipal, en la colonia la Aurora, conduce a asegurar que el problema fue originado en gran

medida por que la permeabilidad del suelo no fue suficiente para evitar que este se saturara y en consecuencia su resistencia disminuyera. Del razonamiento anterior se concluye que cualquier tipo de solución que se de manera inmediata y a largo plazo, para asegurar la estabilidad de los taludes en esta región, debe incluir elementos que impidan la saturación del subsuelo y de esta forma evitar que la resistencia al esfuerzo cortante de los materiales no disminuya por esta causa. La conducción adecuada del agua residual y pluvial hasta el pie de los taludes puede ser el principio atenuante al problema. Será indispensable realizar estudios de mecánica de suelos, Topografía, Geología e Hidrología de manera que sea posible determinar con detalle las riesgos que representa la construcción de infraestructura en esta zona.

**Zona D.-** Zona de rellenos. De acuerdo con la hipótesis que trata de explicar las fallas sucedidas en ésta unidad geológica, los trabajos inmediatos deben estar encausados a localizar todas y cada una de estas zonas, de modo que sea posible identificar las estructuras que pudieran sufrir daños si alguno de estos rellenos falla, de ésta manera será posible alertar a los probables afectados, mientras se realizan los estudios necesarios par evaluar la estabilidad de los rellenos y en consecuencia hacer los trabajos que mejoren la calidad de los mismos. Al igual que en otras regiones debe procurarse hacer la conducción del agua pluvial para evitar un factor adicional desfavorable a la estabilidad.

Existen algunas casas sobre las laderas que pertenecen a la colonia Juárez, que fueron construidas sobre estos materiales y que ahora muestran una serie de grietas diagonales que indican asentamientos diferenciales muy fuertes en su cimentación, lo que puede ser claro indicio de que estas estructuras las que se encuentran ladera abajo están en evidente peligro, por lo que es importante el hacer una evaluación de las grietas por parte de especialistas que den la pauta para desalojar o que indiquen cual es el riesgo de vivir en estos lugares.

Hasta el momento se ha hablado de algunas soluciones técnicas que pueden realizarse para atenuar los daños que ha sufrido año con año la ciudad, sin embargo, no debe olvidarse que una sociedad informada puede evitar tragedias como las vividas. De manera, de manera que es importante concientizar a toda la comunidad para que tome en cuenta los riesgos de vivir en zonas geológicas, montañosas y con precipitaciones de lluvia como la de Teziutlán.

Además de inculcarles una cultura de prevención que implique el saber donde y como van a construir sus casas. En éste proyecto las autoridades, las organizaciones civiles como la de Pro Reconstrucción de Teziutlán y la comunidad misma jugaran un papel muy importante.



### III.2.-REVISIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL DRENAJE PLUVIAL.

#### Visita al sitio

Se realizaron recorridos por la localidad para identificar los sitios donde las lluvias de octubre de 1999 causaron daños intensos dentro de la zona urbana. Se visitaron las colonias siguientes:

Colonia Juárez  
 Siete Sabios  
 La Gloria  
 La Aurora

En esos lugares se observaron los problemas que ocasiona el escurrimiento incontrolado de las aguas de lluvia, al no existir estructuras de drenaje pluvial que las conduzcan de manera adecuada hasta el fondo de las barrancas. En todo caso, el planteamiento actual del drenaje previene la canalización superficial de las aguas, utilizando las vialidades como elementos para conducir las, sin embargo, su capacidad hidráulica es limitada y en una lluvia extraordinaria, los escurrimientos toman cursos no previstos, descargando lateralmente en algunos puntos con el consiguiente deterioro de laderas, terraplenes y la sobrecarga hidráulica del drenaje municipal que en algunos puntos se reventó

Por lo anterior y con la idea de dar recomendaciones que permitan a las autoridades correspondientes tomar acciones a corto y largo plazo, se procedió a identificar los sitios en la zona urbana de Teziutlán que presentaron un problema por insuficiencia hidráulica, por la falta de obras de drenaje o la descarga sobre taludes y laderas, de acuerdo con lo siguiente.

#### Identificación de descargas conflictivas.

De recorridos por la zona, de la consulta con vecinos de la ciudad y con la ayuda de las autoridades municipales, se localizaron 22 zonas como conflictivas, es decir, zonas urbanas que se encuentran cerca de una barranca y en las que el agua pluvial no tienen un camino de desalojo definido a través de alguna estructura hidráulica que las desahogue; estas zonas se marcaron en la figura III.6, con letras que van de la A – U, incluyendo la zona llamada Carretera Federal a Perote No 3. Cabe señalar que previamente se identificaron 6 zonas conflictivas identificadas como:

La Aurora, La Gloria, Siete sabios y dos puntos que se encuentran sobre la carretera a Perote, que les llamaremos Carretera Federal a Perote 1 y 2 respectivamente.

Con la información anterior el siguiente paso fue hacer un análisis hidrológico que permitió calcular de manera preliminar cual es el gasto que debe emplearse para el diseño de las estructuras hidráulicas necesarias para cada una de las zonas. En dicho análisis se consideró la información que proporciona la

Estación Climatológica de "Altotonga", ya que registra la precipitación con la ayuda de un pluviógrafo que permite registros continuos de la lluvia y consecuentemente la determinación de intensidades para diferentes duraciones de tormenta; lo cual no puede realizarse con la información que tiene la estación Teziutlán, por que ésta cuenta con un pluviómetro en que se hacen registros de altura de lluvia sólo cada 24 hrs.

El cuadro III.1 muestra por año y para el periodo de registro, las tormentas con intensidades máximas que se usaron para determinar las curvas i-d-Tr. Dichos datos fueron seleccionados de los registros de "lluvias con intensidades máximas maximorum", proporcionados por la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, a través de la Dirección General de Control de rios e Ingeniería de Seguridad Hidráulica para la estación Altotonga.

Cuadro III.1.

T (años)	Intensidades máximas en mm/hr. para duración en min.									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1965	95	84	72	71	61	48	39	30	24	20
1966	112	67	52	40	29	25	18	15	14	12
1967	90	72	66	65	50	39	30	23	18	16
1968	97	58	52	50	44	40	36	35	35	32
1969	77	52	44	37	33	31	30	23	13	11
1970	95	60	47	42	33	22	20	17	14	14
1971	120	68	55	45	36	30	27	23	19	17
1972	119	89	62	48	37	30	24	22	20	17
1973	113	69	56	53	46	23	28	21	17	15
1974	91	62	56	52	43	32	29	23	46	16
1975	136	86	74	68	54	42	33	25	20	17
1976	126	83	70	63	48	37	31	28	27	24
1977	114	67	56	46	39	33	27	22	18	16
1978	120	81	68	58	52	43	37	32	29	26
1979	140	87	70	60	48	44	35	56	30	29
1980	120	80	74	64	54	46	45	42	36	66
1981	144	113	68	76	69	55	45	35	28	24
1982	156	111	91	78	62	48	45	38	39	35

Existen básicamente dos métodos con los que se puede determinar la relación entre las variables i,d,T. El primero llamado de *intensidad - periodo de retorno*, relaciona estas variables para cada duración por separado mediante alguna de las funciones de probabilidad usadas en hidrología. El segundo método relaciona simultáneamente las tres variables en una familia de curvas cuya ecuación es:

$$i = \frac{kT^m}{d^n}$$

Donde k, m y n son constantes que se calculan mediante un análisis de correlación lineal múltiple. Es posible demostrar que de simplificar la ecuación anterior se obtiene:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2$$

$$y = \log i, \quad a_0 = \log k, \quad a_1 = m, \quad x_1 = \log T, \quad a_2 = -n, \quad x_2 = \log d$$

La ecuación  $i, d, T$ , representa una familia de rectas de pendiente  $a_2$ , ordena al origen  $a_0$  y espaciamiento  $a_1$ . Si los datos registrados de  $i, d$ , y  $T$  se dibujan en papel logaritmico, usualmente se agrupan en torno a líneas rectas. A veces las líneas resultan ligeramente curvas, lo que se puede corregir agregando a las duraciones un valor constante  $c$ , o bien, en algunos casos, cuando la pendiente varía mucho, dividiendo la línea para cada periodo de retorno en dos rectas. Si los datos se agrupan lo suficiente en torno a líneas rectas, el valor de  $c$  puede tomarse como cero.

Al hacer un ajuste de correlación lineal múltiple de una serie de tres tipos de datos, se obtiene un sistema de ecuaciones como el siguiente:

$$\sum y = Na_0 + a_1 \sum x_1 + a_2 \sum x_2$$

$$\sum (x_1 y) = a_0 \sum x_1 + a_1 \sum (x_1^2) + a_2 \sum (x_1 x_2)$$

$$\sum (x_2 y) = a_0 \sum x_2 + a_1 \sum (x_1 x_2) + a_2 \sum (x_2^2)$$

donde  $n$  es el número de datos y las incógnitas son  $a_0, a_1$ , y  $a_2$ ;  $x_1, x_2$ , y  $y$  son respectivamente, los logaritmos del periodo de retorno, la duración y la intensidad, obtenidos de un registro de precipitación. Una vez calculados los coeficientes  $a_0, a_1$ , y  $a_2$  es posible valuar los parámetros  $k, m$ , y  $n$ . Como a continuación se muestra.

En el cuadro III.2.- se han ordenado los datos del cuadro III.1. para cada duración de mayor a menor y se les ha asignado un periodo de retorno de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$Tr = \frac{n+1}{m}$$

Donde:

Tr = periodo de retorn.

$n$  = número de años de registro.

$m$  = número de orden del evento, arreglados en forma decreciente.

Cuadro III.2.

No. de orden	T (años)	intensidades máximas en mm/hr. para duración en minutos									
		5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1	19.00	156	113	91	78	69	55	45	36	28	22
2	9.50	144	111	74	76	62	48	45	42	42	42
3	6.33	140	89	74	71	61	48	45	38	38	38
4	4.75	136	87	72	68	54	46	39	35	35	35
5	3.80	126	86	70	65	54	44	37	35	35	35
6	3.17	120	84	70	64	52	43	36	32	32	32
7	2.71	120	83	68	63	50	42	35	30	30	30
8	2.38	120	81	68	60	48	40	33	28	28	28
9	2.11	119	80	66	58	48	39	31	25	25	25
10	1.90	114	72	62	53	46	37	30	23	23	23
11	1.73	113	69	56	52	44	33	30	23	23	23
12	1.58	112	68	56	50	43	32	29	23	23	23
13	1.46	97	67	56	48	39	31	28	23	23	23
14	1.36	95	67	55	46	37	30	27	22	22	22
15	1.27	95	62	52	45	36	30	27	22	22	22
16	1.19	91	60	52	42	33	25	24	21	21	21
17	1.12	90	58	47	40	33	23	20	17	17	17
18	1.06	77	52	44	37	29	22	18	15	15	15

De modo que utilizando los datos del cuadro III.2 y haciendo una regresión lineal, se obtuvo el siguiente sistema:

$$\begin{aligned}
 180a_0 + 72a_1 + 271a_2 &= 296.1 \\
 72.1a_0 + 49.5a_1 + 107.8a_2 &= 124.8 \\
 271.2a_0 + 107.8a_1 + 442.5a_2 &= 430.2
 \end{aligned}$$

Resolviendo el sistema anterior:

$$a_0 = 2.2296, \quad a_1 = 0.2818, \quad a_2 = -0.4629$$

y los valores de los parámetros k, m, y n son:

$$k = 10^{2.2296}, \quad m = 0.2818, \quad n = 0.4629$$

Por lo que la ecuación de las curvas i-d-T es:

$$i = \frac{169.673 T^{0.2818}}{d^{0.4629}}$$

Se deben utilizar d en minutos, T en años e i en mm/hr.

Ahora para conocer cual es la intensidad que se debe utilizar en el cálculo del gasto, es necesario conocer, por un lado el periodo de retorno y por el otro la duración de la tormenta.

Por el tipo de estructuras que se construirán (pequeñas) y la ocurrencia de fenómenos meteorológicos que producen problemas (cada 25 años de acuerdo a lo descrito en el Capítulo II de este Trabajo), se plantea un periodo de retorno de 25 años.

En cuanto a la duración (d), se determinará de acuerdo con el tiempo de concentración de cada una de las cuencas detectadas.

El tiempo de concentración se define como el tiempo que requiere una partícula de agua en recorrer la distancia más alejada del partearguas a la salida de la cuenca.

Para evaluar dicho tiempo de concentración distintos investigadores han desarrollado diferentes formulas. En este caso se usará la desarrollada por Kirpich que establece:

$$t_c = 0.0003245 \left[ \frac{L^{0.77}}{s^{0.385}} \right]$$

Donde:

L es la distancia en m del punto más alejado de la cuenca al punto de salida.

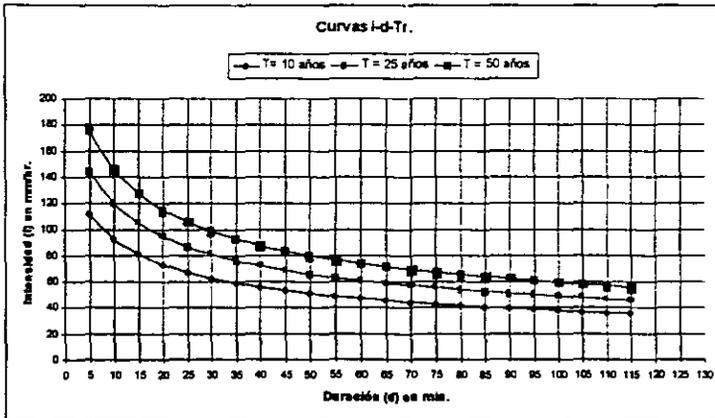
t<sub>c</sub> es el tiempo de concentración en hr.

s es la pendiente media del cauce (decimal), calculada con la fórmula propuesta por Taylor - Schwarz:

$$s = \left[ \frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{s_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{s_2}} + \dots + \frac{l_n}{\sqrt{s_n}}} \right]^2$$

Con la información anterior se generó la figura No. III.7 que muestra las curvas i-d-T y con las cuales es posible calcular la intensidad de lluvia (i) para una duración determinada y para el periodo de retorno seleccionado.

Figura III.7.- Curvas i-d-tr.



En el plano topográfico escala 1:5000 "Líneas de conducción de agua potable" con sellos del Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Teziutlán, Puebla, se delimitaron las cuencas principales, y posteriormente se obtuvieron sus respectivas áreas. El cuadro III.3, contiene el resultado de tales cálculos.

Al conjugar la información anterior es posible determinar las cantidades de agua que desalojan los puntos identificados como conflictivos durante la tormenta de diseño y para un periodo de retorno dado.

En este trabajo se hace uso de la fórmula conocida como racional, que permite determinar el gasto a partir de datos que ya se han calculado hasta ahora. La fórmula Racional que establece:

$$Q = 0.278 C i A$$

En donde:

Q = Gasto ( $m^3/s$ )

C = Coeficiente de escurrimiento, que depende del tipo de terreno, en este caso se considera igual a 0.8 que corresponde a calles pavimentadas.

i = Intensidad media de la lluvia para una duración determinada en minutos

A = Área de la cuenca en  $km^2$

0.278 = factor de conversión de unidades.

Para ejemplificar la obtención de los gastos, se presenta al cálculo del gasto de la zona A:

$$Q = 0.278 * 0.80 * 199.52 * 0.02258 = 1.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

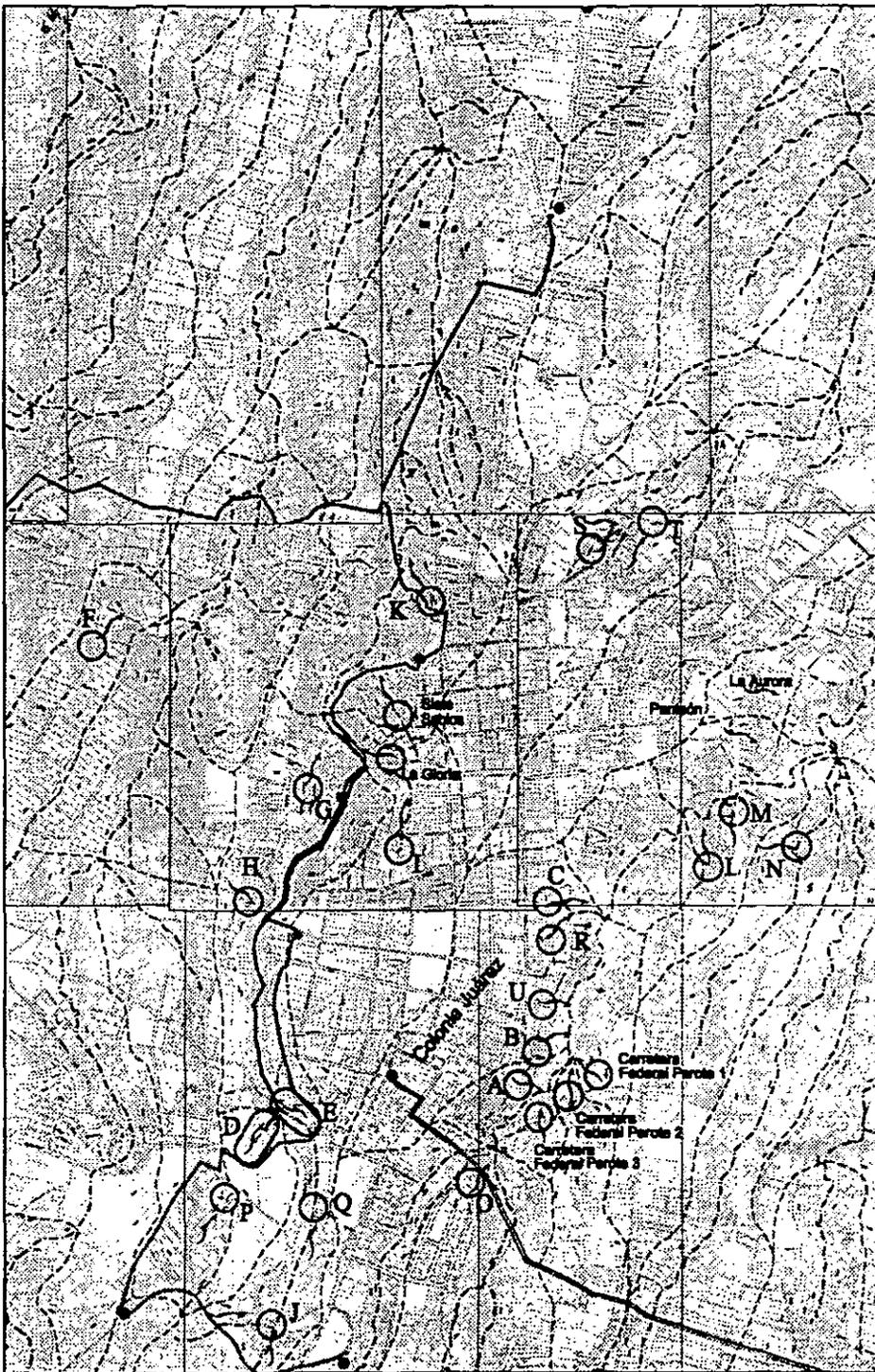
Las áreas de aportación y gasto correspondiente a cada zona se presentan en el siguiente cuadro, y se observan gráficamente en la figura III.6.

Cuadro III.3.- Gastos estimados en las descargas potencialmente conflictivas.

Nombre de la Descarga	Areas de aportación (km <sup>2</sup> )	i (mm/h)	Q (m <sup>3</sup> /s)
Carretera Fed. a Perote 1	0.031	199.52	1.39
Carretera Fed. a Perote 2	0.017	199.52	0.73
Carretera Fed. a Perote 3	0.015	199.52	0.67
A	0.023	199.52	1.00
B	0.039	199.52	1.74
C	0.060	180.33	2.41
D	0.026	192.38	1.13
E	0.017	199.52	0.75
Panteón - La Aurora	0.027	144.75	0.87
F	0.886	135.99	26.78
G	0.009	199.52	0.40
H	0.018	209.32	0.84
I	0.142	157.41	4.97
La Gloria	0.034	199.80	1.51
Siete Sabios	0.039	183.37	1.60
J	0.013	indeter.	indeter.
K	0.020	160.51	0.70
L	0.033	192.16	1.39
M	0.018	199.52	0.80
N	0.017	199.52	0.76
O	0.018	210.31	0.86
P	0.031	199.80	1.36
Q	0.013	183.37	0.54
R	0.020	199.52	0.87
S	0.041	199.52	1.82
T	0.037	162.61	1.35
U	0.126	129.14	3.62

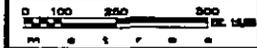
Estos sitios identificados con la ayuda de la cartografía existente se muestran en la figura III.6.

Es importante destacar que estos, son sólo los sitios que presentaron problemas en el mes de octubre de 1999, y que no debe olvidarse hacer un análisis hidrológico complementario que ubique a todas y cada una de las salidas de agua y a partir de ello proponer acciones para controlar el escurrimiento que produce el agua de lluvia.- Sin embargo, estos datos pueden servir perfectamente para tomar decisiones inmediatas respecto a que hacer en los puntos más importantes y conflictivos que requieran de una solución pronta.



**SIMBOLOGIA:**

- Parqueguas
- Escurrimiento
- Sentido de escurrimiento
- Zona conflictiva



**FIGURA III.6.- IDENTIFICACION DE PUNTOS CONFLICTIVOS Y SUS CUENCAS DE APORTACION.**

**Acciones recomendadas.**

Según se pudo observar en los recorridos, la situación que presentan las descargas, propicia el mecanismo de erosión de las laderas, ya que el agua pluvial se canaliza hacia ellas y no se tienen estructuras de protección en las laderas ni para reducir la energía que lleva el agua antes de su descarga al arroyo.

Se recomienda construir estructuras de descarga que canalicen el agua en forma controlada hasta la parte baja de las laderas y en ese sitio colocar tanques amortiguadores que reduzcan la energía que lleva el flujo y se incorporen a la corriente sin causar mayores daños. Estas estructuras pueden ser cuando la topografía lo permita, lavaderos que se pueden colocar en pendientes de hasta 60%, en caso de que la pendiente sea demasiado vertical deberá estudiarse, la posibilidad de realizar una estructura de caída vertical que requiere de una perforación vertical y una estructura de disipación de energía subterránea.

Para gastos pequeños, se puede reducir el problema de erosión mediante la construcción de una gárgola que separe el flujo del talud por proteger siempre que el sitio donde se vierta el agua presente condiciones de resistencia adecuada para recibir el flujo de caída.

**CAPITULO IV**  
**ELABORACIÓN DE ESTUDIOS BÁSICOS**

#### IV.-ELABORACIÓN DE ESTUDIOS BÁSICOS.

Con la finalidad de contar con información, Hidrometeorológica, Hidrológica, cartográfica, Geológica, y Geotécnica, adecuada y suficiente del área de trabajo, en este capítulo se presenta una propuesta conceptual de los estudios necesarios para cumplir ese objetivo.

Estos estudios se justifican por que la información que se ha recabado hasta el momento es insuficiente e inapropiada en algunos casos para definir el grado de seguridad de muchas regiones habitadas de Teziutlán, y de las próximas zonas de desarrollo.

Adicionalmente se presenta el estudio de mecánica de suelos realizado para la ladera fallada en la colonia La Aurora.

##### IV.1.- Cartografía Básica.

Para crear los mapas y planos necesarios que señalen con el detalle requerido las condiciones morfológicas, geológicas, topográficas, etc., de todo el municipio de Teziutlán. Se propone realizar los siguientes trabajos.

##### IV.1.1.-Levantamiento Aerofotográfico.

Este es el principio de los trabajos que deben realizarse para crear la cartografía básica en la zona donde no se cuenta con ella para efectuar los estudios indicados.

La fotogrametría es el arte y a la vez la ciencia de obtener mediciones confiables por medio de la fotografía (fotogrametría métrica) y evaluación cualitativa de datos gráficos (fotointerpretación). Incluye el uso e interpretación de fotografías terrestres, de acercamiento, aéreas, verticales, oblicuas, de franja y espaciales. Incluye también el uso de sensores remotos y radar de visión lateral. Algunas ventajas del mapeo por fotografía aérea, son la rápida cobertura de grandes áreas accesibles o no, y la certeza de captar todos los detalles visibles. Nótese que una foto aérea no es un mapa, una proyección ortográfica, si no más bien una proyección en perspectiva que puede contener detalles innecesarios que devalúan a los verdaderamente importantes. Sin embargo, se pueden preparar ortofotos a partir de un par de fotos traslapadas para eliminar el factor de perspectiva. Estas ortofotos, sirven como mapas topográficos.

Cuatro marcas impresas en cada fotografía localizan los ejes geométricos y el punto principal. Las fotografías se toman en tiras con un margen lateral de 25% y uno frontal de 60%, aproximadamente, para garantizar que las imágenes de puntos en el terreno aparezcan por lo menos en dos y, de preferencia, en tres fotografías. Puesto que las fotografías verticales representan vistas en perspectiva, la escala no es uniforme. Líneas en el terreno de igual longitud, a mayores elevaciones y cerca de los bordes de la fotografía aparecen de mayor longitud que aquellas a menor elevación y cerca del centro. Las formulas básicas de la fotogrametría, se aplican a grandes y complicados aparatos operados por personal especializado encargado de

realizar mediciones y elaborar mapas. Algunos tipos de equipo disponible usan sistemas de proyección óptico-directo, mecánico u óptico-mecánico. Ciertos modelos son: Multiplex, Balpex, Kelsh, etc.

Las formulas de escala son como sigue:

$$\frac{\text{Escala de la foto}}{\text{Escala del mapa}} = \frac{\text{distancia en la foto}}{\text{distancia en el mapa}}$$

$$\text{Escala de la foto} = \frac{ab}{AB} = \frac{f}{H - h_1}$$

Donde:

$f$  = Distancia focal de la lente, en pulgadas.

$H$  = Altura del vuelo del avión sobre el plano de referencia (usualmente el nivel medio del mar).

$h_1$  = Elevación de un punto, línea o área, respecto al plano de referencia

Las distancias en tierra pueden encontrarse a partir de mediciones hechas sobre las fotografías usando coordenadas fotográficas  $x$ ,  $y$ , y coordenadas terrestres  $X$ ,  $Y$ . Para una línea  $AB$  con elevaciones desiguales en  $A$  y en  $B$ , la longitud se determina a través de:

$$AB = \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2}$$

Donde:

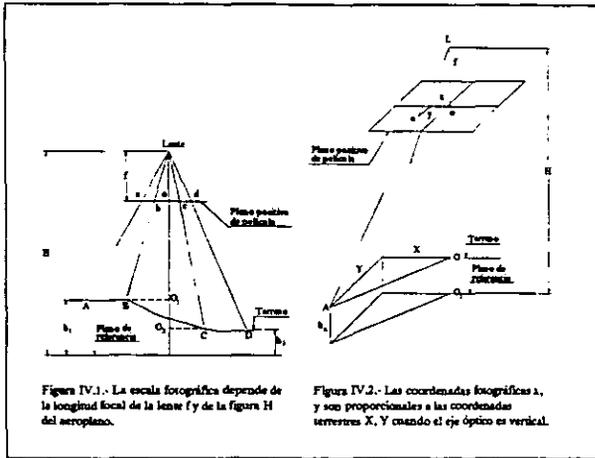
$$X_A = x_a(H-h_A)/f$$

$$Y_A = y_a(H-h_A)/f$$

$$X_B = x_b(H-h_B)/f$$

$$Y_B = y_b(H-h_B)/f$$

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA



Los desplazamientos promedio por el relieve topográfico en fotografías aéreas verticales siempre radian a partir de un principal o. que está directamente arriba del punto nadir  $O$  en el terreno cuando el eje óptico es vertical. El desplazamiento  $d$  es la distancia en una fotografía a partir de la imagen de un punto en el terreno hasta su imagen ficticia proyectada en el plano de referencia.

$$d = r - r_1 \quad r = \frac{Rf}{H - h_1} \quad r_1 = \frac{Rf}{H}$$

Sustituyendo  $r$  y  $r_1$  en la primera ecuación, queda

$$d = \frac{Rf}{H - h_1} - \frac{Rf}{H} = \frac{Rfh_1}{H(H - h_1)} = \frac{rh_1}{H} = \frac{r_1 h_1}{H - h_1}$$

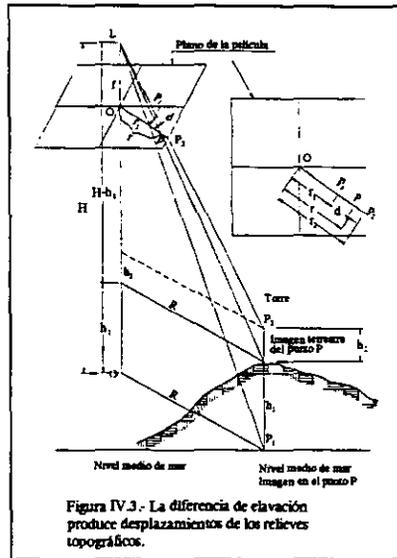
Donde:

$r$  = distancia radial en la fotografía a partir del punto principal hasta la imagen en la tierra de un punto  $P$ , en mm.

$r_1$  = distancia radial en la fotografía desde un punto principal hasta  $P_1$ , la posición de la imagen ficticia del punto  $P$  proyectada en el plano de referencia en mm.

$h_1$  = altura del punto  $P$  sobre el plano de referencia.

$H$  = altura del avión sobre el plano de referencia.



Con la técnica anterior, se plantea la posibilidad de caracterizar con más detalle la zona de estudio, obteniendo fotografías aéreas a dos diferentes escalas:

Fotografías con escala 1:25,000: abarcarán una superficie de 10 X 10 km. y permitirán efectuar estudios de semidetalle, sobre todo de tipo geológico, geomorfológico e hidrológico.

Las fotografías 1:10,000 se utilizarán para los estudios de detalle en la zona urbana de Teziutlán y permitirán elaborar un plano base topográfico a escala adecuada para representar la información obtenida, principalmente para identificar los estudios de delimitación de zonas con riesgos geológicos - geotécnicos por avenidas.

#### IV.1.2.-Plano topográfico escala 1:5,000 de la zona de detalle.

El plano topográfico escala 1:5 000 mostrado en el capítulo anterior para indicar el comportamiento hidrológico que tiene actualmente una parte de la zona urbana de Teziutlán es un ejemplo del detalle morfológico que se quiere obtener de la restitución fotogramétrica.

Con el fin de obtener planos topográficos semejantes al anterior, que incluyan a la zona urbana actual y a la de futuro crecimiento de Teziutlán, será necesario que de las fotografías aéreas, se haga una restitución fotogramétrica.

Para que los planos obtenidos en la etapa anterior, puedan corresponderse con las coordenadas ajustadas y ligadas de la red Nacional Geodésica será necesario un apoyo topográfico terrestre, el cual se efectuara por medio de un levantamiento con posicionador geográfico digital (G.P.S.).

#### **IV.1.3.-Plano topográfico escala 1:25,000 de la zona de semidetalle.**

Dentro del planteamiento se considera conveniente estudiar una zona amplia que abarque la población de Teziutlán y sus alrededores, por lo que es conveniente tener planos topográfico con escala 1:25000, que podrán obtenerse mediante la digitalización de los rasgos topográficos y toponimicos más importantes plasmados en las cartas topográficas del INEGI y cuya escala es 1:50000, en este plano se incluirá el inicio de las cuencas de los arroyos que atraviesan la zona urbana de estudio e ilustrará claramente el marco hidrológico y geológico de la región.

#### **IV.1.4.-Fotointerpretación Geológica y Geomorfológica.**

Para entender el comportamiento actual de las formaciones geológicas existentes en la zona, es importante conocer su origen y evolución. No debe olvidarse que la descripción geológica de la región que se tiene hasta el momento es producto de información recabada en estudios que se han hecho en zonas próximas a Teziutlán, por lo que es muy general y no es suficiente para los objetivos que se persiguen. De modo tal que la fotointerpretación de pares estereoscópicos de las aerofotografías y reconocimientos del sitio por parte de especialistas, ayudaran a definir con mucho detalle cuales son las formaciones geológicas que se tienen en el sitio. Adicionalmente, las fotografías áreas permitirán auxiliar en la determinación de la:

- Distribución superficial de las formaciones geológicas
- Zonas con presencia de rellenos artificiales y tiraderos actuales.
- Identificación de rasgos estructurales importantes (fallas, fracturas, contactos).
- Zonas con deslizamientos antiguos y lugares dañados en 1999.
- Zonas potencialmente inestables
- Formas del relieve
- Morfología de las cuencas y del drenaje
- Delimitación de la zona urbana, así como de los edificios importantes y las líneas de vida (energía eléctrica, abastecimiento y almacenamientos de agua, vías principales de circulación, puentes, etc.).

#### **IV.2.-Estudio hidrometeorológico**

Este estudio pretende hacer un análisis de toda la información hidrometeorológica disponible en las fuentes indicadas en el capítulo II para caracterizar fenómenos meteorológicos que inciden en la zona de

Teziutlán y que provocan precipitaciones extraordinarias como las de octubre de 1999. De tal manera que sea posible establecer un sistema de seguimiento de nuevos fenómenos y se tenga vigilado el comportamiento de los mismos a tiempo real, con el fin de que las autoridades tengan los elementos para tomar decisiones y acciones preventivas para la protección de la población fundamentalmente. Los avances tecnológicos permiten una comunicación de larga distancia casi instantánea a un costo relativamente bajo, se pretende con esto, que una vez caracterizadas las condiciones hidrometeorológicas que dieron origen a las lluvias de 1974 y 1999, se puedan registrar los fenómenos meteorológicos con características semejantes a las anteriores y en ese momento tomar las medidas pertinentes.

Dado que las condiciones atmosféricas cambian todo y el tiempo, es importante que este estudio hidrometeorológico este cubierto constantemente por un equipo de profesionales, cuyo centro de trabajo esté en la propia comunidad, sin que por ello se pierda el contacto con las dependencias que hasta el momento se han encargado de esta tarea. La creación de este equipo de trabajo permitiría

- ⇒ Establecer en forma permanente la vigilancia de las condiciones meteorológicas que pueden ocasionar escurrimientos extraordinarios y mantener informadas a las autoridades de Protección Civil de cualquier contingencia probable.
- ⇒ Formular procedimientos para transmitir alertas e implantar en los municipios los programas logísticos de evacuación, abastecimiento y protección de damnificados.
- ⇒ Formular junto con otros Municipios un plan estatal integral de prevención y protección contra fenómenos meteorológicos extraordinarios.
- ⇒ Formular y mantener actualizado un catálogo de proyectos derivados de la formulación y actualización del plan.
- ⇒ Formular y actualizar planos de riesgo de inundaciones y de fallas potenciales del terreno con el detalle suficiente para apoyar las acciones de prevención de las autoridades municipales.

#### IV.3.-Estudio Hidrológico.

La finalidad de éste estudio es corroborar, corregir y /o complementar el análisis realizado en el capítulo III. Para lograr lo anterior será necesario utilizar la nueva información cartográfica que se obtenga de los estudios indicados anteriormente. Además los registros de lluvia actualizados.

Para identificar daños físicos importantes de todo tipo de estructuras, se llevaran a cabo recorridos de campo en los barrancos de importancia, atendiendo de forma especial a las condiciones de: cauces, puentes, construcciones cercanas a taludes, etc.

En los planos topográficos y los urbanos obtenidos, se definirán las áreas de aportación a cada una de las estructuras principales del sistema de drenaje pluvial, así como la pendiente de escurrimiento, y los tiempos de concentración esperados.

El estudio hidrológico pretende abarcar los siguientes análisis y actividades:

- ⇒ Análisis del comportamiento del sistema hidrológico regional.
- ⇒ Análisis del sistema hidrográfico regional.
- ⇒ Análisis del sistema hidrográfico original de Teziutlán.
- ⇒ Análisis de las condiciones actuales de escurrimiento pluvial urbano.
- ⇒ Efecto de las salidas actuales sobre las barrancas.
- ⇒ Determinación de volúmenes de escurrimiento generados por las lluvias máximas extraordinarias para diferentes periodos de retorno.
- ⇒ Diseño Hidráulico y tipo de obras complementarias del drenaje pluvial actual.

#### **Revisión hidráulica de las estructuras.**

De acuerdo a la información recopilada sobre el sistema, a los gastos generados con el análisis anterior, y a lo observado en las visitas de campo:

- ⇒ Se realizará un análisis hidráulico de las estructuras primarias que conforman el sistema de drenaje pluvial, como son colectores, captaciones, interceptores, y estructuras de descarga, si es que existen.
- ⇒ Se definirán las condiciones de riesgo que presentan muchas laderas de barrancos, en presencia de un evento hidrometeorológico extraordinario, por socavación, erosión, etc., y las consecuencias que su falla puede acarrear.

#### **Propuesta de reforzamiento de estructuras.**

En el caso de detectar estructuras de drenaje deficiente, se listaran las acciones que deberán tomarse para el mejoramiento de las mismas. Se espera que se puedan definir proyectos de carácter ejecutivo con el fin de que se inicie la elaboración de los proyectos necesarios, como se muestra en el ejemplo del capítulo III, de este trabajo.

#### **Propuesta de obras de protección adicionales.**

Para aquellos problemas que las posibilidades de mejoramiento de las estructuras existentes no resulten suficientes se plantearán soluciones mediante la construcción de obras de protección nuevas que contemplen: el aumento de la capacidad de drenaje, la reducción de caudales de aportación a estructuras existentes, la regulación de volúmenes de avenidas y reducción de gastos extremos en el sistema de drenaje, estructuras retenedoras de azolves, medidas de reducción en la generación de azolves en las cuencas de aportación, muros de contención, aumento de curvatura en los cambios de dirección del flujo, etc.

#### **IV.4.-Estudio geológico.**

##### **IV.4.1.-Reconocimiento geológico superficial.**

En esta etapa se realizará una verificación de campo de los trabajos de fotointerpretación previamente realizados, que permitirá identificar, describir y caracterizar con mayor claridad a cada una de las unidades litológicas diferenciadas en toda la zona de estudio.

Es importante destacar que una buena descripción geológica del sitio permitirá entre otras muchas cosas definir cuales son las mejores herramientas para la exploración del mismo.

##### **IV.5.-Estudio Geotécnico**

Es bien reconocida la heterogeneidad del suelo, y más aún cuando en una misma zona un material con ciertas características falla y otro aparentemente igual no lo hace. de tal manera que un estudio geotécnico debe guardar una profunda relación entre el tipo de estructura que se quiere estudiar y la cantidad y tipo de exploración necesaria para conocer las propiedades mecánicas del subsuelo, de esta manera se establece el siguiente procedimiento para realizar un estudio geotécnico en cada uno de los sitios donde hoy es prioridad saber las mejores alternativas de solución que disminuyan o eliminen el riesgo de falla inminente que se piensa existe.

Inicialmente se visitarán los sitios donde hubo y existen problemas geotécnicos derivados de las lluvias de 1999.

En función de estos reconocimientos se programaran de manera independiente cada uno de los sitios donde sea conveniente realizar exploraciones superficiales y/o profundas del subsuelo, con las cuales se obtendrán muestras representativas del mismo, estas muestras empacadas y clasificadas de manera adecuada serán enviadas al laboratorio donde se les practicarán ensayos que permitan conocer a detalle las propiedades mecánicas de dichos materiales.

Los trabajos anteriores consentirán identificar sitios con problemas geotécnicos potenciales, sobre todo de inestabilidad de taludes o movimiento de laderas, de tal manera, que sea posible analizar su geometría, pendientes, tipos de materiales y consecuentemente el grado de riesgo.

##### **IV.5.1.-Exploración del subsuelo.**

Para determinar cual es mejor tipo de exploración y el equipo mas adecuado, es importante contar con un buen reconocimiento geológico, ya que éste indicará la pauta para elegir la mejor herramienta de exploración

De acuerdo con los alcances de este proyecto, la exploración del subsuelo tendrá prioridad en los lugares donde hoy se cree existe una inminente falla, pero estará también encaminada a caracterizar el tipo de materiales que se localizan en la zona programada para posterior crecimiento de Teziutlán.

Una vez identificados los sitios y el tipo de exploración necesaria en cada uno de ellos, se llevarán al lugar los recursos materiales y humanos necesarios para realizar la etapa de exploración. De acuerdo con el primer recorrido y a la información geológica recabada hasta el momento se ha establecido que los métodos de exploración geotécnica más apropiados serán los siguientes.

#### IV.5.1.1.-Prospección Geofísica.

La experiencia en el uso de la Geofísica, ha demostrado que es una gran herramienta en el estudio del suelo, sea con fines de exploración o en la solución de problemas geotécnicos. Los métodos geofísicos son técnicas indirectas para la caracterización de cuerpos y estructuras geológicas, en términos de propiedades físicas: velocidad de propagación de las ondas sísmicas, parámetros sismoelásticos, resistividad eléctrica, cargabilidad eléctrica, densidad, susceptibilidad magnética, radiactividad, etc., Estas técnicas han sido empleadas como auxiliares en la planeación, construcción y supervisión de obras civiles.

En geotécnica los métodos más comúnmente utilizados son el sísmico y el eléctrico.

Es importante tener presente que los resultados obtenidos de estas investigaciones deben calibrarse con los de un sondeo convencional con obtención de muestras para darles mayor confiabilidad.

En este proyecto se sugiere la utilización del método sísmico de refracción, ya que es uno de los menos costosos y los parámetros que se obtendrán serán útiles para definir las condiciones estratigráficas del subsuelo de Teziutlán. En los siguientes párrafos se presentan los principios generales del método sísmico que se propone para este trabajo. Una descripción detallada de los otros métodos se puede consultar en la referencia: "Geofísica Aplicada a la Geotecnia".

El grupo de los métodos sísmicos es de los más empleados tanto en la geotecnia como en la exploración geológica. Al igual que los otros se basa en una característica específica del medio: en este caso son las propiedades elásticas de los materiales, a partir de perturbaciones naturales (sismos), o creadas artificialmente en la superficie del terreno. Las propiedades elásticas estudiadas a partir de sismos se emplean en la investigación de la tierra como un globo y en el estudio sobre fenómenos de movimientos naturales del terreno, importantes para el emplazamiento de obras civiles relevantes. Para el caso de que la fuente de ondas sismoelásticas sea artificial, ésta puede originarse de diferentes formas: caída de pesos, explosivos, vibradores, etc., generalmente emplazados en la superficie o a muy poca profundidad y en agujeros de diámetros pequeños (barrenos). La energía generada se propaga por todo el subsuelo y en el aire y es recibida por sismodetectores o geófonos que transforman la vibración mecánica en señales eléctricas, que son amplificadas, filtradas y registradas en los sismógrafos. La perturbación se propaga por todo el medio por frentes de onda que sufren modificaciones: reflexiones, refracciones, difracciones, dispersiones, etc., que son detectadas en la superficie del terreno por sismógrafos; el parámetro experimental es el tiempo de arribo de las distintas ondas en que se transforma la perturbación mecánico-elástica en las reflexiones y refracciones de

contacto entre capas en el subsuelo. Las ondas normalmente estudiadas son las ondas longitudinales P, las ondas transversales S, y las ondas superficiales Love y Raylei. El método sísmico de Refracción permite analizar un tiempo de registro cuando más del orden el segundo y las ondas grabadas (analógica digital) son producto de refracciones de discontinuidades del medio y los geófonos deben tener características distintivas según la dirección medida y el tipo de onda deseada. Una condición importante para la aplicación del método, es que la velocidad de propagación de las ondas aumente con la profundidad (Dobrin 1975). El punto donde se produce la perturbación y la ubicación de los geófonos se define en función del objetivo estudiado. Cuando el estudio es en la superficie, es común efectuar perfiles continuos con puntos de tiro a ambos lados de la línea de geófonos. En ocasiones es necesario corregir los datos por altitud, para así referirlos a un nivel base y eliminar la capa más superficial cuando es de muy baja velocidad. De los análisis de los sismogramas es posible construir una gráfica tiempo-distancia. El estudio de las gráficas permite definir la distribución de las velocidades de propagación de la onda en el subsuelo; para esto existen técnicas gráficas, analíticas y numéricas. La combinación de dos de ellas parece ser lo más adecuado. Cuando lo que se desea es cuantificar parámetros elásticos, tales como la Relación de Poisson y el Módulo de Young, es necesario conocer las velocidades de propagación de las ondas longitudinales y transversales; para esto es necesario elegir adecuadamente la fuente y los sismodetectores. El módulo de refracción es de los más utilizados en trabajos de geotecnia para definir la calidad de la roca y los parámetros elásticos en obras civiles sujetas a vibraciones.

El resultado de estos trabajos permitirá corroborar o corregir la interpretación geológica que se realizó a partir de los recorridos de campo y de la fotointerpretación (fotogeología), al definir entre otras cosas las estructuras sepultadas; en el caso de la exploración geotécnica, ayudará a definir el tipo de herramienta de perforación y permitirá extender las conclusiones obtenidas de la calidad de los materiales del subsuelo determinadas de manera local con los barrenos.

Este tipo de exploración debe realizarse principalmente en las zonas con riesgos potenciales de inestabilidad o con algún problema geológico - geotécnico, los cuales se detectarán en etapas anteriores como la fotointerpretación y el estudio geológico. Por lo que se conoce hasta el momento, es posible proponer realizar 20 sondeos de este tipo.

#### **IV.5.1.2.-Muestreo directo en cortes.**

Esta actividad consiste en obtener muestras representativas de los diferentes estratos de materiales que conforman las laderas o cortes identificados como potencialmente inestables. Las muestras se obtendrán de las paredes o del fondo de pozos realizados en diferentes lugares del cuerpo del talud. Las técnicas de muestreo y conservación de muestras se definen más adelante.

Las muestras se llevarán al laboratorio donde se programaran y ensayarán para determinar los parámetros mecánicos del suelo.

Los resultados del laboratorio en combinación con la topografía de los sitios, la exploración geológica y la geotécnica, permitirán realizar análisis más completos de estabilidad de las laderas. Los sitios de muestreo quedarán ubicados en los planos geológicos. Es posible decir que por cada talud será necesario efectuar de 3 a 10 muestreos, dependiendo de su superficie y de la heterogeneidad en cuanto a materiales se refiere.

#### **IV.5.1.3.-Excavación y Muestreo de Pozos a Cielo Abierto.**

Ésta es una técnica manual de exploración conocida como pozo a cielo abierto, suele ser la mejor para definir el perfil estratigráfico del sitio que se está explorando, sin embargo, el hecho de que su ejecución en la mayoría de veces es mediante pico y pala, y con la colaboración de un hombre, su uso se reduce a suelos donde es posible efectuar el sondeo sin ningún riesgo por derrumbe, por la presencia del nivel de agua freática, o por la dureza del material. El pozo a cielo abierto tiene dimensiones de 1.0 \*1.0 m en planta y su profundidad depende de los factores antes indicados pero difícilmente llega a ser mayor de 4.0 m. Al ser un sondeo amplio, permite que el ingeniero responsable puede ver y palpar todos y cada uno de los cambios estratigráficos del subsuelo, mejorando de esta manera sus decisiones respecto a que tipo de muestra obtener de cada estrato; que tipo de pruebas de laboratorio simulan mejor la conducta del subsuelo y le da una idea más clara de cual debe ser el comportamiento del sitio en estudio.

Los pozos a cielo abierto se realizarán en los sitios previamente identificados en el reconocimiento geológico y en las visitas técnicas hechas por especialistas. Su profundidad será de hasta 3.0 m, se elaborará un perfil estratigráfico de cada uno de ellos, se obtendrán de sus paredes muestras alteradas e inalteradas representativas del material que conforma cada uno de los estratos de suelo y serán localizados en los planos geológicos. De manera preliminar se estima realizar del orden de 20 pozos.

Las muestras obtenidas de estos serán empacadas e identificadas de manera adecuada para su traslado y análisis en un laboratorio de Mecánica de Suelos.

#### **IV.5.1.4.-Perforaciones exploratorias.**

En los sitios donde se considere necesario realizar exploraciones más profundas se efectuarán sondeos directos utilizando máquinas perforadoras que permitan obtener muestras alteradas e inalteradas de los materiales del subsuelo para definir las condiciones estratigráficas del mismo y sea posible mediante pruebas a éstas muestras definir los parámetros mecánicos más importantes del subsuelo.

Existen varios tipos de herramientas para exploración con perforación, de forma lógica se establece que por la dureza del material a explorar se empleará un equipo diferente. Por la información geológica del sitio en cuestión recabada hasta el momento, se establece que la exploración profunda será posible efectuarla con Sondeos de tipo Míxto y pruebas de Penetración Estándar (SPT).

La SPT es una técnica de exploración que consiste en la hincada de un tubo muestreador a percusión. El tubo rescata muestras alteradas de los diferentes estratos atravesados del suelo permitiendo de esta forma una identificación estratigráfica visual de campo; a las muestras recuperadas de esta manera son empacadas y enviadas al laboratorio donde se les realizan pruebas índice. El número de golpes necesario para hincar el muestreador se correlaciona con la resistencia al corte del suelo. Aun que el campo de aplicación de éste penetrómetro, es en materiales granulares finos, se ha empleado en materiales cohesivos con buenos resultados. EL penetrómetro estándar está compuesto por tres partes: su punta conocida como zapata, debe ser de acero endurecido, el diámetro interior debe ser el mismo que el del tubo intermedio (muestreador), el exterior se reduce hacia la punta de tal manera que esta tenga filo, como esta es la parte que ataca, debe sustituirse cada que el filo se termine; el tubo intermedio, puede ser partido o entero, en cuyo caso se identifica como tubo liso, es en esta parte del tubo donde se recoge la muestra de suelo; la válvula permite la salida del azolve durante el proceso de hincado y evita que la muestra salga del suelo durante la extracción. La longitud total del tubo es de 685.8 mm, el diámetro exterior es de 50.8 mm y el interior es de 34.9mm.

El equipo de hincado consta de una masa golpeadora de acero de 64 kg, guiada con una barra de 19 mm de diámetro. El diámetro de la masa golpeadora es de 15 cm. La energía se transmite al penetrómetro mediante una cabeza de golpeo y tubos de diámetro mínimo AW (4.44 cm). Para evitar flambéo excesivo de la columna de tubos de perforación en sondeos que llegan a profundidades mayores de 15 m, es recomendable utilizar barras de mayor diámetro BW (5.40 cm ) y NW (6.67 cm).

El penetrómetro se hincada en el fondo de la perforación hecha con el procedimiento y equipo que aseguren el mínimo de azolves en el fondo y la estabilidad de la de las paredes de la perforación. Se puede emplear ademe metálico en suelos poco estables o bien recurrir al uso de lodos de perforación. El diámetro mínimo de la perforación es de 7.5 cm.

Finalmente la prueba consiste en hincar el penetrómetro de 45 cm empleando la masa de golpeo de 64 kg con caída libre de 75 +/- 1 cm contando el número de golpes para tres segmentos de 15 cm. Se define la resistencia a la penetración con el número N de golpes en los últimos 30 cm. Si el penetrómetro no se puede hincar los 45 cm la prueba se suspende cuando se han alcanzado 100 golpes y por extrapolación se deduce el número de golpes N.

La intención de no considerar los primeros 15 cm es evitar la zona de alteración que se produce por la perforación. El control de la profundidad de hincado se hace marcando señales en las barras de perforación con referencia a un punto fijo. La masa metálica de 64 kg se eleva con un cable de manila de 19 mm y un malacate de fricción(cabeza de gato), cuidando que el cable sólo de una vuelta en el malacate para evitar que frene la caída de la masa. Una vez hincado el penetrómetro, los 45 cm, se sube a la superficie, y se extrae la muestra de él. La muestra se clasifica cuidadosamente empleando el criterio SUCS, y finalmente se protegen adecuadamente las muestras y clasifican con etiquetas para su identificación en laboratorio.

Los sondeos mixtos emplean la técnica anterior (SPT). combinada con la obtención de muestras inalteradas usando el mismo equipo pero diferente herramienta de muestreo, de manera muy general se puede decir que para el caso de suelo finos plásticos el tubo muestreador que se emplea es el Tubo Shelby, y a diferencia del tubo partido, éste debe hincarse a presión de manera que se altere lo menos posible el estrato muestreado. Si se trata de material duro como las tobas o rocas se emplean barriles de diamante con brocas de diamante.

La ubicación final y profundidad de las perforaciones se realizará como resultado de los reconocimientos geológicos previos.

#### **IV.5.2.-Ensayes de Laboratorio.**

Las muestras de suelo obtenidas en campo se someterán a diferentes ensayos de laboratorio para determinar sus propiedades índice y mecánicas, las cuales se mencionan a continuación:

- Límites de Atterberg
- Clasificación y Contenido de agua
- Granulometría por mallas
- Porcentaje de finos
- Densidad de Sólidos
- Compresión simple
- Compresión triaxial rápida

#### **IV.5.3.-Informe final.**

Este documento debe contener todas y cada una de las actividades efectuadas en cada sitio determinado para realizar el estudio de mecánica de suelos correspondiente. De modo que al final de los trabajos de campo, laboratorio y gabinete sea posible integrar un documento como el siguiente.

Para enmarcar la importancia que tiene realizar estudios Geotécnicos de detalle, se presenta el siguiente análisis de estabilidad para un talud.

#### **Antecedentes.**

La ladera que se estudia, está ubicada en la Colonia la Aurora de la Ciudad de Teziutlán, al este del centro de la misma, su topografía la caracteriza como una loma, en la parte más alta tiene una forma más o menos plana y sus laderas tienen pendientes fuertes. Aprovechando las condiciones topográficas y de crecimiento poblacional, en la cima de ésta, se construyó el panteón municipal, y sus laderas (como es caso corriente en este sitio), se ocuparon con la construcción de casas habitación que se cimentaron siguiendo la

pendiente del talud, de tal manera que estas quedaron escalonadas; la estructura de éstas es básicamente de concreto armado y mampostería.

Como se indicó en el capítulo dos de este trabajo, las fuertes lluvias del año pasado, provocaron una falla en la ladera este de la loma, la forma de la falla y las causas de la misma, están bien descritas en el mencionado capítulo.

Aprovechando que en el sitio, se efectuó un sondeo de penetración estándar, y que se hizo un levantamiento topográfico de la zona de la falla<sup>2</sup>, se decidió que era un buen sitio para efectuar el análisis de estabilidad.

#### Exploración del subsuelo.

Aproximadamente a unos 12 metros abajo del hombro del talud actual y a la mitad de la superficie de la anterior falla, se efectuó un sondeo de penetración estándar a 20 m de profundidad, medidos a partir del brocal del mismo,

La tabla IV.1, muestra el registro de campo obtenido para el sondeo de penetración estándar realizado en el talud en cuestión.

---

<sup>2</sup> Es muy importante señalar que estos trabajos fueron efectuados por SEMARNAP, y que sólo fue posible conseguir los registros de campo y el levantamiento topográfico, los análisis de laboratorio efectuados a las muestras alteradas no se consiguieron.



TABLA IV.2.- Registro de campo del Pozo a Cielo Abierto (PCA-1) efectuado en el mismo talud que el SPT.

Sondeo	Profundidad, m.	Muestra	Descripción de campo.
PCA-1	0.00-0.20	Alterada	Limo color café claro amarillento, con arcilla y arena fina del mismo color.
PCA-1	0.20-0.40	Cúbica	Limo color café claro amarillento, con arcilla y arena fina del mismo color.
PCA-1	0.50-0.70	Alterada	Limo color café claro a blanco, con arena color negro y grumos blancos.
PCA-1	0.70-1.50	alterada	Limo color café claro amarillento, con arcilla y arena fina del mismo color.

A un lado del sitio donde se realizó el PCA-1; se encuentra un material de relleno compuesto por desperdicios de construcción, basura y mucha materia orgánica (flores en descomposición), empacados en un material limoso color café negruzco. dicho relleno fue el principal elemento deslizado durante la falla de talud. De este material se obtuvo una muestra alterada. Para finalizar la exploración, se efectuó un segundo pozo a cielo abierto con la idea de descubrir cual es el material sobre el cual están cimentadas las criptas del panteón localizadas en la corona del talud, se descubrió que el terreno de apoyo es un material limoso color café negruzco muy parecido al material de relleno descrito antes.

#### Ensayes de laboratorio.

Las muestras recuperadas en el pozo a cielo abierto, se programaron en el laboratorio con las siguientes pruebas:

- Contenido natural de agua.
- Por ciento de finos.
- Limites de plasticidad y
- Una prueba triaxial rápida.

La elección del tipo de prueba mecánica (triaxial rápida), corresponde al hecho de que la falla se presentó de forma repentina, como ocurre en la prueba cuando no se permite que la probeta drene o se consolide.

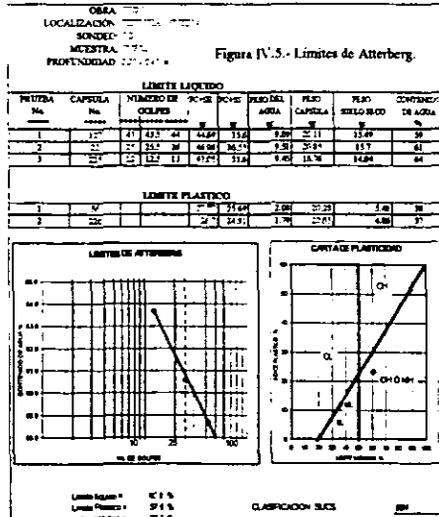
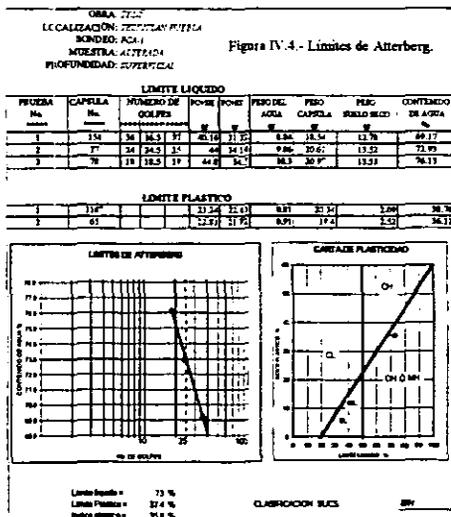
Los resultados de las pruebas efectuadas se muestran en la tabla IV.3 y en las figuras IV.4 a IV.6.

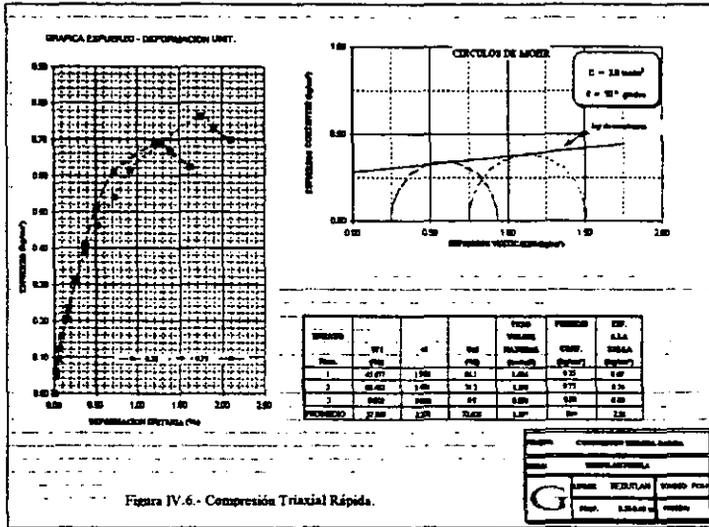
TABLA IV.3.- Contenido natural de agua y cantidad de finos para las muestras obtenidas en el PCA-1.

CONTENIDOS DE AGUA										
OBRA: <u>TALUD, TEZUTLAN PUEBLA</u> SONDEO: <u>PCA-1</u> CALCULO: <u>SIDONIO GARCIA</u>										
SONDEO	PROF.	MUESTRA	W <sub>1</sub> -L <sub>1</sub> (g)	W <sub>2</sub> (g)	W <sub>3</sub> (g)	W <sub>4</sub> (g)	W <sub>5</sub> (g)	W <sub>6</sub> (g)	w contenido de agua en porcentaje	DESCRIPCIÓN
PCA-1	EN BELLIDO	BOL. M1	113.2	75.4	12.7	37.8	62.7	60.29		Materia de relleno, la parte gruesa está conformada por traves de taboques, macanpones y berrera. La parte fina es limo arcilloso color café oscuro y arena.
PCA-1	0.00-0.20	BOL. M2	110.07	66	12.1	44.07	33.9	81.74		Limo arcilloso color café claro macanpones con arena fina a medía y alto contenido de carbonato de calcio.
PCA-1	0.20-0.40	CUB.	97.3	63.6	11.9	33.7	51.7	65.18		Limo arcilloso color café claro macanpones con arena fina a medía y alto contenido de carbonato de calcio.
PCA-1	0.50-0.70	BOL.M3	138	104	11.7	34	92.3	36.84		Limo color café claro a blanquecino con arena color negro y grumos blancos. No contiene carbonatos de calcio.
PCA-1	0.70-1.50	BOL. M4	129.2	78.9	11.7	50.3	67.2	74.85		Limo arcilloso color café claro macanpones con arena fina a medía y alto contenido de carbonato de calcio.

POR CIENTO DE FINOS

SONDEO	PROF.	MUESTRA	P TARA	PESO INICIAL	PESO FINAL	FINOS	% DE FINOS	OBSERVACIONES
PCA-1	EN BELLIDO	BOL. M1	12.7	84.8	22.57	62.23	86	
PCA-1	0.00-0.20	BOL. M2	12.1	66	13.2	52.8	98	
PCA-1	0.20-0.40	CUBICA	R-21	255.8	33.2	222.60	87	
PCA-1	0.50-0.70	BOL. M3	11.7	104	52.8	51.2	58	
PCA-1	0.70-1.50	BOL. M4	12.2	91.9	22.68	69.22	67	

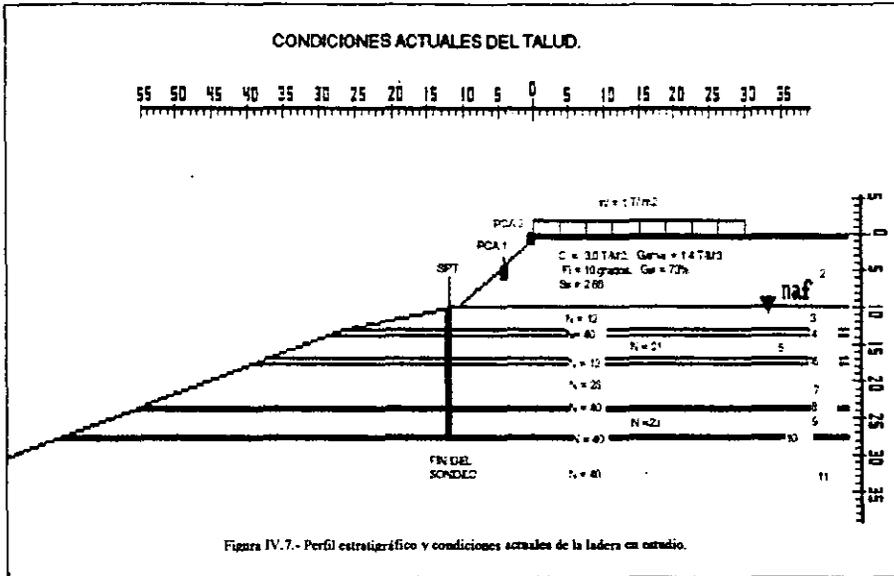




Es importante recordar que los datos adicionales al SPT, así como los resultados de laboratorio, no fue posible conseguirlos con la SEMARNAP quien fue la que los hizo.

**Análisis Geotécnicos.**

Con los trabajos de campo y los resultados de las pruebas de laboratorio, así como con la topografía del sitio, se obtuvo el siguiente perfil estratigráfico de la ladera, figura IV.4.



En la anterior figura:

SPT = Sondeo de penetración estándar.

PCA 1 = Pozo a cielo abierto No. 1.

W = Sobre carga en la corona igual a 1.0 t/m, ésta debida a la construcción de criptas.

C = Cohesión [t/m<sup>2</sup>], obtenida en la prueba triaxial rápida. (TUU).

Fi = Ángulo de fricción interna del material, en grados, obtenido en una TUU.

Gama = Peso volumétrico del material, [t/m<sup>3</sup>].

Gw = Grado de saturación del material, obtenido como: peso del agua en el suelo entre el peso del suelo seco por cien.

Ss = Densidad de sólidos del material.

N = número de golpes en la prueba de penetración estándar.

Z = Número de estrato.

Con lo anterior la estratigrafía de la ladera se puede describir de la siguiente forma.

Estrato No 1, de 0.0 a 0.50 m

Se clasifica como un relleno; está conformado por desperdicio de construcción, basura, y materia orgánica (flores en descomposición), empacados en un limo de alta plasticidad, (MH), de manera visual se puede asegurar que el material fino es el que predomina en este estrato. El peso volumétrico estimado es de  $1.20 \text{ ton/m}^3$  y para el análisis de supondrá que tiene una cohesión de  $1 \text{ t/m}^2$ . De acuerdo con el laboratorio, el grado de saturación es de 60%.

Estrato No. 2, de 0.50 11.50.

El criterio para determinar el principio y el fin de este estrato es el cambio de pendiente respecto a estratos más profundos. De tal manera que considerando que todo el estrato es homogéneo, éste puede definirse como un limo de color café claro a rojizo. Su contenido de agua es de 80 % en promedio, la cantidad de finos que pasan la malla No.200 es superior a 86 %, su peso volumétrico es de  $1.4 \text{ t/m}^3$ , su densidad de sólidos es de 2.88 y su grado de saturación es aproximadamente de 73%. En cuanto a sus parámetros mecánicos, su cohesión es de  $3.0 \text{ t/m}^2$  y su ángulo de fricción interna es igual a 10 grados. Cabe destacar que en este estrato, se detectó una pequeña lente de material piroclástico cuya cantidad de finos es apenas 55 %, sin embargo, la posición de ésta (muy arriba), nos hace suponer que no fue una superficie de falla.

Estratos 3,4,5,6,7,8,9,10,y 11.

Los nueve estratos restantes, se consideran conformados por un material predominante fino, cuya única diferencia es el número de golpes en la prueba de penetración estándar, esto debido nuevamente, a la falta de resultados de laboratorio que permitan detallar más la estratigrafía.

El nivel de aguas freáticas según los datos de exploración, el día 2 09 00 se encontró a 12.60 m aproximadamente, medidos a partir de la corona del talud.

Para definir los parámetros de resistencia en los últimos nueve estratos, se consideró la información de la tabla IV.4, que correlaciona el número de golpes obtenidos en la prueba de penetración estándar con la resistencia a la compresión simple de un material fino (comportamiento cohesivo).

**TABLA IV.4.-Correlación del Número de golpes en la SPT y la resistencia a la compresión simple de los materiales.**

Consistencia	Muy blanda	Blanda	Media	Dura	Muy dura	Durísima
N	Menor a 2	De 2 a 4	De 4 a 8	De 8 a 15	De 15 a 30	Mayor a 30
$q_u$	Menor a 0.25	0.25 – 0.50	0.50 – 1.0	1.0 – 2.0	2.0 – 4.0	Mayor a 4.0

N, número de golpes en la prueba de penetración estándar.  
 $q_u$ , Resistencia a la compresión simple en  $\text{kg/cm}^2$ .

De ésta manera la cohesión del material se obtiene de la relación:

$$C = q / 2.$$

Donde:

C = es la cohesión del material.

q = resistencia a la compresión simple determinada con la tabla.

Correlaciones como la anterior, se han establecido también para materiales puramente friccionantes, sin embargo no se han incluido en este trabajo.

#### **Análisis de estabilidad del talud.**

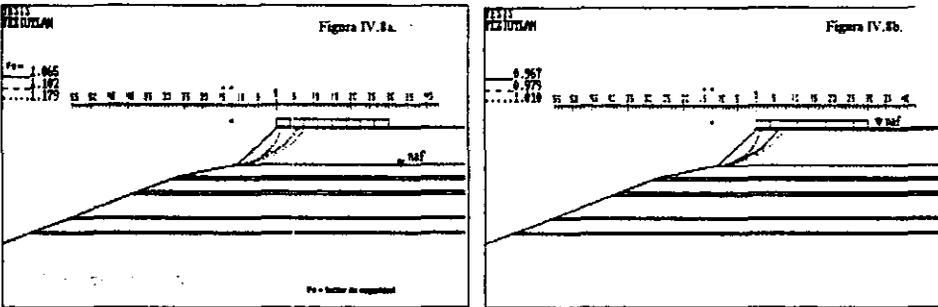
Con la topografía y las características mecánicas del suelo que conforman al talud, fue posible hacer diferentes análisis de estabilidad, que indique cual es el factor de seguridad que tiene la ladera bajo éstas y otras condiciones.

Los análisis de estabilidad se efectuaron recurriendo a un programa de computadora cuyo procedimiento está basado en el método sueco de análisis, originalmente ideado por Fellenius; consistente en suponer una potencial superficie de falla cilíndrica y determinar por un parte la magnitud del momento que produce el peso de la masa de suelo que se encuentra arriba de la superficie de falla supuesta y compararla con la cohesión total desarrollada a lo largo de la misma superficie de falla. Al primero se le conoce como momento motor y al segundo como momentos resistente, de este modo se caracterizan la tendencia al deslizamiento de la masa de suelo, y las fuerzas que se oponen a tal movimiento, alrededor del centro del círculo que define la potencial superficie de falla cilíndrica que se analiza; este procedimiento se repite una gran cantidad de veces hasta encontrar la menor relación de momento resistente entre momento motor ya que éste será el factor de seguridad mínimo (F.S.) contra deslizamiento del material que forma el talud. Es importante mencionar que la bibliografía especializada no recomiendan trabajar con factores de seguridad menores a 1.5.

Ya que se ha especificado como trabaja el programa, el siguiente paso es determinar que seguridad presenta la ladera en estudio, con sus características topográficas y geotécnicas actuales.

**1er. Análisis: Condiciones actuales de la ladera.**

Las figuras IV.8a y IV.8b, muestran el resultado gráfico de la corrida del programa de computadora, para dos condiciones, la primera con su nivel de aguas freáticas a nivel actual y la segunda suponiendo que el talud pueda saturarse completamente.



La escala horizontal es igual a la vertical para todos los casos que se analicen

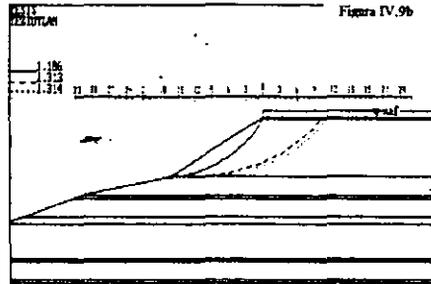
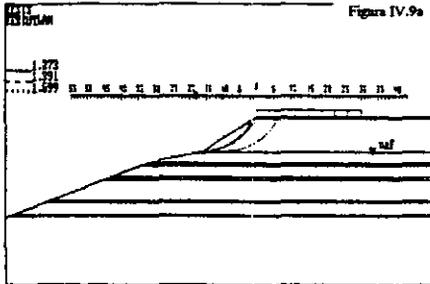
**Resultado:**

Las gráficas muestran tres superficies potenciales de falla que representan las zonas donde el factor de seguridad es el menor para todos los círculos de falla analizados. De esta manera, el talud tal y como está ahora, presenta una superficie potencial de falla por el cuerpo del talud que sale tangente a un estrato de suelo más resistente que aquel donde puede presentarse la falla, el factor de seguridad mínimo es de 1.06, lo que significa que el momento resistente es casi igual al momento motor, y por lo tanto el talud está en un estado de inminente falla. Ahora pensando que debido a la actual temporada de lluvias el nivel de agua freática pueda elevarse hasta saturar completamente la masa del suelo, el factor de seguridad para el caso más crítico llega a ser menor que uno, lo que indica que el momento motor supera al momento resistente y por lo tanto se presentará la falla del talud por la superficie cuyo FS es mínimo.

**2do análisis:**

Con la idea de mejorar las condiciones de estabilidad del talud sobre todo en el estrato superior donde se presenta la falla, se propone suavizar la pendiente del talud en su parte superficial, de manera que si

ahora la inclinación esta dada por la relación 1:1(horizontal : vertical), el nuevo talud tendrá una pendiente 1.50:1, como lo indican las figuras IV.9a y IV.9b.

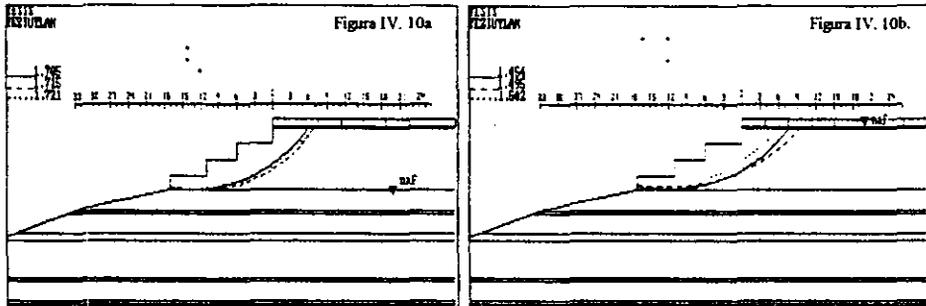


Con el mismo razonamiento que para el primer análisis, se observa que la ladera es estable aún en la condición de saturación completa, bajo esta situación el momento resistente es 20% mayor que el momento motor, de manera que se establece que esta forma de tratar el talud puede mejorar su estabilidad y proponerse como solución al problema, más aún si se construyen obras de drenaje que mantengan el NAF por lo menos en su nivel actual.

### 3er análisis.

Al examinar la estabilidad del cuerpo del talud en suelos puramente cohesivos, y homogéneos con el terreno de cimentación, se aprecia que la estabilidad depende más bien de la altura del talud. (de hecho para inclinaciones menores de  $53^\circ$  y falla de base, la estabilidad es independiente del ángulo de inclinación del talud, y para inclinaciones de los  $53^\circ$  hasta  $90^\circ$ , las condiciones de estabilidad sí varían con la inclinación, pero relativamente poco<sup>3</sup>). De acuerdo con lo anterior es posible plantear un nuevo análisis en el cual en lugar de plantear una pendiente continua del nuevo talud, se aproveche el comportamiento cohesivo que exhibe el material bajo condiciones saturadas y se construyan tres bermas (escalones), sobre las cuales sería posible colocar una carga de  $1 \text{ ton/m}^2$  sin que ésta provoque una falla, según lo mostrado en las siguientes figuras.

<sup>3</sup> "Mecánica de suelos en la ingeniería práctica.  
Karl Terzaghi y Ralph B. Peck.  
Editorial steneo, pp 230 a 250.



Los resultados de estas gráficas indican, que si el talud actual se arregla de la forma que se muestra en ellas, el factor de seguridad que se logra contra una posible falla es de 1.70 en condiciones de naf abatido y 1.45 en condiciones saturas. Siendo ésta la condición más segura, y la más funcional al permitir una sobrecarga sobre las bermas, se establece como mejor alternativa de solución para los tres casos analizados. Sin embargo, la practica demuestra que un talud vertical hecho en suelos cohesivos, con propiedades como el que se analiza, sólo permanecerá en esa posición por un determinado tiempo si éste no se protege. De modo que, aprovechando la idea de construir estructuras sobre las bermas, la protección al talud puede darse con un muro que mande los empujes de suelo hacia la estructura y éstos bajen a la losa de cimentación desplantada sobre la berma. Es decir, las sobrecarga que se aplique a las bermas, debe ser una uniforme y menor de 1.0 ton/m<sup>2</sup> para garantizar que el factor de seguridad sea el que se obtuvo en el análisis. La figura IV.11 muestra en forma esquemática la posición de las estructuras sobre las bermas.

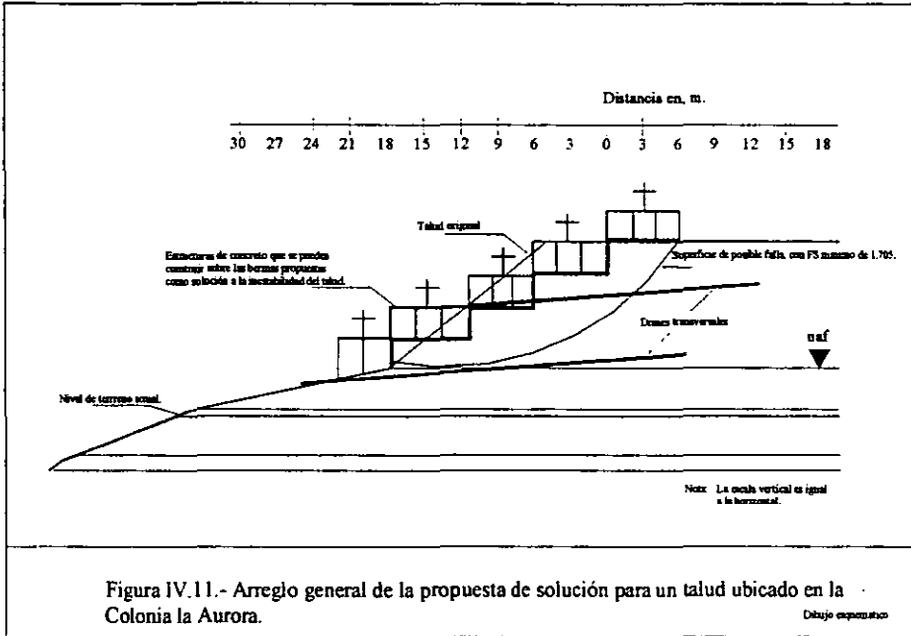


Figura IV.11.- Arreglo general de la propuesta de solución para un talud ubicado en la Colonia la Aurora.

Hasta el momento se ha dado ya una solución para evitar que el talud localizado al este del panteón, en la colonia La Aurora, pueda presentar una nueva falla. sin embargo, debe reconocerse que cualquier talud o ladera de la región permanece estable durante la época de estiaje, pero no así en la temporada de lluvias, de modo que resulta lógico pensar que el factor fundamental externo al suelo para que éste falle es el agua, los otros factores propios del sitio son las formaciones geológicas existentes y la topografía de cada una de las laderas. En la ingeniería de caminos se han desarrollado técnicas para estabilizar taludes o cortes que presentan tendencias de fallas por saturación del material que los forman. La técnica reside en colocar drenes transversales, que consisten sencillamente en tubos galvanizados de 5 cm de diámetro perforados en toda su periferia que penetran en el terreno natural por la cara del talud para captar las aguas internas y abatir las presiones neutrales, lo que evita la saturación del material y en consecuencia la disminución de su resistencia al esfuerzo cortante. Para el caso de La Aurora; de acuerdo con las superficies de falla, y a la bibliografía especializada, los tubos drenantes se colocaran al pie del talud tratado (figura IV.11), su longitud debe ser por lo menos de 30 m y su espaciamiento entre cada tubo debe ser de 10 m, de esta manera el nivel de aguas

freáticas se mantendrá en la posición más favorable para el factor de seguridad, según el análisis de talud realizado.

#### **Comentario Final.**

Los trabajos anteriores y la forma de presentar el análisis, se deben realizar en cada uno de los sitios donde actualmente se tienen riesgos inminentes de falla de laderas. De esta manera se tienen parámetros para determinar el riesgo de las personas y sus bienes, en caso de que éste sea muy alto, se deben buscar las soluciones apropiadas, antes de vivir una tragedia semejante a la de 1999.

# CAPITULO V

## ELABORACIÓN DE MAPAS

## V.-ELABORACION DE MAPAS.

En estos gráficos se mostrará el producto final de los análisis hechos en el capítulo anterior, indicarán de manera sencilla los aspectos más relevantes de la hidrometeorología, de la hidrología, de la topografía, de la geología y de la geotécnica. En ellos se identificarán zonas con problemas de estabilidad por avenidas, guiando con un ello un desarrollo urbano e industrial de Teziutlán más seguro. Se identificarán también los problemas hidráulicos existentes en los cauces indicando de manera general las posibles alternativas de solución.

La idea original de ésta Tesis era presentar los mapas terminados, sin embargo, la falta de recursos económicos de la Fundación que originó ésta propuesta ha limitado los objetivos, por lo que sólo se presenta una descripción de las características que se espera tendrán estos mapas al final de los trabajos.

Para ejemplificar lo que se desea como producto terminado de este trabajo, se presenta parte de un plano de riesgos por avenidas de la Ciudad de Alcoy España.

### V.1. Mapas Hidrometeorológicos.

Estos mapas reflejan el comportamiento y tendencias que muestren los factores climatológicos que inciden sobre la formación de fenómenos hidrometeorológicos, tal y como se muestran el capítulo II de este trabajo. Permitiendo la oportuna identificación de aquellos que puedan afectar desfavorablemente las actividades socioeconómicas de la región y la creación de fallas en las laderas debido a la saturación del subsuelo. Es claro que estos mapas no son únicos y que prácticamente deben ser verificados todos y cada uno de los días, sobre todo en el periodo de julio a noviembre, que es cuando se han presentado las mayores precipitaciones por fenómenos hidrometeorológicos como frentes fríos y ciclones. Actualmente dichas gráficas pueden consultarse muy fácilmente en las páginas Web del Servicio Meteorológico Nacional y Estadounidense, las cuales son actualizadas cada tres horas.

### V.2. Mapas Hidrológicos (Esc. 1: 5,000).

En los planos de la localidad escala 1:5 000 generados con la restitución fotogramétrica se configurará el estado que presenta la red hidrográfica tanto a nivel regional como local y del análisis del comportamiento de las corrientes, se identificarán aquellos sitios en que los escurrimientos pueden causar daños, ya sea por socavación de taludes, arrastre de sedimentos o efectos de inundación, mismos que en forma conjunta con los planos geológico - geotécnicos, permitirán identificar las zonas de riesgo.

### V.3.-Mapas Geológicos - Geomorfológicos (Esc. 1:25,000).

#### V.3.1.-Mapa Geológico.

Este mapa mostrara la distribución superficial de los tipos de suelos y rocas que afloran en la zona de Teziutlán y sus alrededores (ejemplo de esto es el plano presentado en el capítulo III), agrupados en función de su posición estratigráfica y con una sencilla descripción de sus características físicas. Se presentaran los rasgos estructurales de mayor importancia, como fallas, fracturas, aparatos volcánicos, puntos de verificación geológica y medición de columnas estratigráficas.

#### V.3.2.-Mapa Geomorfológico.

Como resultado de la restitución fotogramétrica y de las visitas de campo, se elaborarán dos planos a diferentes escalas dependiendo de las zonas de análisis; se debe recordar que se plantea una zona de estudio de detalle y otra de semidetalle. la primera será representada en un plano escala 1:5000 y la segunda en un plano escala 1:20 000. Ambos esquemas representarán las diferentes características del relieve de la zona, destacando las planicies, laderas, cauces, depresiones, escarpes, zonas de desprendimiento y socavación.

### V.4.-Mapas Geotécnicos y Riesgos Geológicos (Esc 1:5,000).

#### V.4.1.-Mapas de Factores Geológicos con Incidencia Constructiva.

Una vez conocido el ámbito geográfico y geológico de la zona se procederá a efectuar una separación en el territorio de determinadas *Zonas Geotécnicas* para iniciar su estudio detallado y concreto.

El criterio para dividir la superficie estudiada en *Zonas Geotécnicas* se basa fundamentalmente en la geología, entendido como síntesis de los aspectos litológicos, tectónicos y geomorfológicos que, conjuntamente, dan a cada Zona una entidad bien marcada y condicionan cierta homogeneidad en sus características geotécnicas. En ocasiones puede dividirse en Subzonas basándose en criterios litológicos (tipo de materiales, compacidad, potencia, etc)

En el *Mapa de Factores Geológicos con Incidencia Constructiva* se caracteriza cartográficamente a cada una de las Zonas Geotécnicas y se incluyen algunos cortes orientativos de su distribución en el subsuelo. En estos planos se pretende dar al usuario información de los siguientes aspectos:

#### Litología.

- a) Descripción de los principales materiales presentes, su naturaleza, su abundancia relativa y disposición mutua.
- b) Grado de homogeneidad o heterogeneidad de la formación.
- c) Espesor y sus variaciones (cuando es posible).

#### Geomorfología.

- a) Pendientes del terreno.

b) Formas topográficas del terreno.

**Hidrología superficial**

- a) Idea de la posición del nivel freático.
- c) Tipo y calidad del drenaje principal.

**Riesgos Geológicos**

- a) Tipos de Riesgos Geológicos que puede presentar cada zona.

**V.4.2.-Mapa de Características Geomecánicas y Condiciones Constructivas .**

En este mapa se da una idea de las características geomecánicas de los materiales de cada Zona Geotécnica, que incluyen los parámetros que los caracterizan o identifican. Estas características se obtendrán de los ensayos de campo y de laboratorio realizados en las muestras de los pozos, cortes y perforaciones efectuadas. Algunos de estos parámetros serán reflejados en forma puntual en el Mapa referido.

En este mapa se pretende dar información que permita advertir ciertas condiciones constructivas de las obras, especialmente útil en las etapas de Planeación y Anteproyecto de una obra. Esta información incluye lo siguiente:

**Condiciones de Cimentación.**

**a) Presiones admisibles.**

Se presentará el rango de presiones admisibles del suelo para una cimentación con diferentes profundidades de desplante y diversas características geométricas, de tal manera que los asentamientos que estas produzcan no sean superiores a 2.5 cm en suelos granulares y 5 cm en suelos cohesivos.

**b) Tipo de Cimentación más probable.**

A manera de solución preliminar se dará una propuesta del tipo de cimentación más probable a utilizarse en cada Zona Geotécnica.

**c) Problemas de Cimentación.**

Se indican los principales problemas con que puede enfrentarse cada cimentación concreta. Su conocimiento ayudará en el planteamiento de investigaciones geotécnicas complementarias, así como en el diseño y construcción de la cimentación.

**Estabilidad de Taludes.**

Se presentará una clasificación general del grado de estabilidad que pueden presentar los taludes naturales que caracterizan a cada Zona Geotécnica, mencionando si son Estables o Inestables y los problemas

que la generan. Esta información es de carácter cualitativo y será preciso el análisis detallado de los factores de estabilidad cuando se trate de taludes importantes por sus dimensiones y condiciones de seguridad.

**Excavabilidad.**

Se presenta una clasificación del terreno en cuanto a su facilidad de ataque, en tres grupos: Duro, Medio y Blando.

**Empujes sobre Contenciones.**

Se hacen referencia al tipo de empujes sobre contenciones del terreno natural de cada zona y la conveniencia de utilizarse.

**V.5.-Mapa de Sitios o Puntos Conflictivos con Riesgos Importantes (Esc 1: 5,000).**

En este mapa se presentaran los Sitios o Puntos Conflictivos que se identificaron en las diferentes etapas del estudio con algún Riesgo Natural o Inducido Importante.

En cada uno de los sitios se mencionara su grado de importancia, nivel de estudios con que cuenta y las recomendaciones para la mitigación de daños a corto, mediano y largo plazo.

En el caso de los *Riesgos por Avenidas* se delimitaran las zonas de inundación para los diferentes periodos de retorno analizados, así como los sitios en donde las avenidas pueden producir una mayor erosión sobre o en el pie de los taludes.

En el caso de los *Riesgos por Inestabilidad de Taludes* se delimitaran las zonas potencialmente inestables, mencionando los mecanismos de falla y las condiciones por la que podría fallar, proporcionando recomendaciones generales o concretas de cada sitio, de acuerdo al nivel de información con que se cuente. Como puede apreciarse este es un mapa que resume todos los trabajos que se han realizado en las etapas anteriores. A manera de ejemplo de lo que se quiere obtener al final de los trabajos propuestos en esta tesis se presenta parte del plano de riesgos Geológicos geotécnicos que se realizó para la ciudad de Alcoy España.



## CAPITULO VI

## CONCLUSIONES

## VI.- CONCLUSIONES.

En los últimos 50 años, el Municipio de Teziutlán triplicó su población al pasar de un poco más de 25,000 habitantes en 1950 a más de 80,000 en el año 2000, según información del INEGI. Dicho crecimiento corresponde a una tasa variable entre 2.0 y 2.8, siendo muy semejante a la del estado de Puebla. Un poco más del 70% de la población total del Municipio, se concentra en la Ciudad de Teziutlán, lo que ha provocado un crecimiento desmedido y sin un orden aparente de la ciudad, teniendo como consecuencia la invasión de laderas como zonas de construcción para viviendas. El desarrollo urbano en zonas de barrancas y laderas corresponde al simple hecho de que la morfología de la región está conformada en un 80% por montañas y el restante 20% por lomeríos con llanuras.

La región en estudio se ubica en la Sierra Norte de Puebla, muy cerca del estado de Veracruz, su localización geográfica, permite que año con año en el periodo julio noviembre se presenten lluvias intensas sobre todo por la formación de fenómenos meteorológicos como los frentes fríos y los ciclones. En ocasiones la intensidad de las lluvias ha sido extraordinaria, es decir, mayor a la que comúnmente se presenta; al analizar la información existente se ha encontrado que estas precipitaciones extraordinarias ocurren una vez en el intervalo de 20 a 30 años. En octubre de 1999 la cantidad de lluvia que cayó sobre la región en 7 días aproximadamente, fue de un poco más de 1000 mm lo que representa una cantidad parecida a lo que llueve durante todo un año en la misma zona; la causa principal de esta precipitación, fue la depresión tropical No. 11, que se formó al sureste del Golfo de México, muy cerca de las costas de Veracruz, donde se mantuvo durante toda su trayectoria, favoreciendo la entrada de humedad con importantes precipitaciones hacia las costas e interior de país. La gran cantidad de agua que cayó en esa fecha, aunada a la morfología del terreno, a la inadecuada cimentación de muchas estructuras, a la falta de obras de drenaje pluvial, a la mala construcción de algunas obras de drenaje municipal, a la invasión de los causes naturales con viviendas, a las propiedades mismas de los suelos que existen en la zona, y a la falta de información de los habitantes respecto de la zona de riesgo en que muchos de ellos viven, se produjeron deslizamientos de tierra, que provocaron la pérdida irreparable de vidas humanas y cuantiosos daños materiales. Es importante destacar que estas fallas sobre todo en laderas ocurren en toda la región, sin que aparentemente exista un factor externo adicional al exceso de lluvia, es decir, durante la época de estiaje las laderas permanecen estables.

Con el propósito de evitar nuevos desastres, La fundación Pro Reconstrucción de Teziutlán, patrocina y apoya el surgimiento de esta propuesta. La cual sin pretender ser la panacea de la prevención, sí aspira a recopilar e investigar toda la información que sea de utilidad para crear un proyecto de prevención de desastres para el Municipio, en el que participen no sólo las autoridades sino también la población.

De ésta manera se ha avanzado la propuesta hasta el capítulo III y se plantean de manera conceptual, debido a falta de recursos económicos, los trabajos que se deben hacer para llegar al objetivo final: la

construcción de mapas de riesgos por avenidas, en los que se indiquen los aspectos más importantes de la zona desde el punto de vista geológico, morfológico, geotécnico, e hidrológico.

Con los trabajos indicados en el capítulo IV se espera que se tengan los elementos suficientes para poder crear todo un programa de prevención de desastres para Teziutlán. Al concluirlos, El Gobierno Municipal contará con los elementos técnicos necesarios para proponer áreas de desarrollo urbano seguras y tomar las decisiones pertinentes para los sitios que actualmente se encuentran en zonas de alto riesgo, inestables sobre todo en época de lluvias. Se tendrá todos los elementos para revisar si las estructuras hidráulicas diseñadas para el drenaje pluvial existentes son suficientes o es necesario su rediseño y en consecuencia su reconstrucción.

Se proyectarán nuevas obras de captación y conducción de aguas tanto municipales como pluviales.

Los planos de riesgos serán fáciles de usar, sencillos y permitirán al usuario una rápida detección de los puntos conflictivos identificados como zonas de riesgo

Este trabajo permitirá orientar las acciones que deban ser necesarias para evitar nuevas tragedias en el actual periodo de lluvias, además de programar acciones a largo plazo de tal manera que al final pueda tenerse la certidumbre de que se vive en armonía con la naturaleza. Después de la amarga experiencia vivida en octubre de 1999, es tiempo de entender que más vale prevenir que lamentar.

Yo estoy seguro que los trabajos aquí propuestos permitirán formar parte de una estrategia no para luchar contra fenómenos naturales, sino para convivir con ellos, sin lamentar daños a personas, infraestructura, edificaciones y al medio ambiente.

Finalmente es importante que las autoridades correspondientes pongan manos a la obra y sobre todo destinen recursos a la investigación para contar con planes serios de prevención y no de rescate como lo han hecho hasta el momento. Este programa ha sido aceptado por la Organización civil Pro reconstrucción de Teziutlán, sin embargo, no se cuenta aún con los recursos económicos para desarrollar el proyecto completo.

- 15) Meneses López, S. 1965 "Estratigrafía y Tectónica de la porción oriental del Macizo de Teziutlán, Pue." Tesis profesional, ESIA-IPN
- 16) Viniestra Osorio, F. 1965 "Geología del Macizo de Teziutlán y la Cuenca Cenozoica de Veracruz". Bol. Asoc. Mex. Geólogos Petroleros V. XII
- 17) Viniestra Osorio, F. 1966 "Paleogeografía y Tectónica del Mesozoico en la Provincia de la Sierra Madre y Macizo de Teziutlán". Bol. Asoc. Mex. Geólogos Petroleros V. XIII
- 18) Tarango Ontiveros, G. 1967 "Estudio Geológico Petrolero del área del Río Laxaxalpa - Teziutlán, Edo. de Puebla." Tesis profesional, ESIA-IPN
- 19) Comisión Nacional del Agua. 1988 "Estudio Geológico Estructural y Censo de manantiales en la zona de Perote - Vega de Alatorre, Ver.
- 20) Programa de Ordenamiento Urbano del Centro de Población de Teziutlán", realizado por la empresa Grupo Consultor de Diseño Urbano y Arquitectura, S. de R.L. de C.V. en el año de 1995
- 21) Mapa Topográfico, escala 1:250,000 del INEGI  
Hoja Veracruz E14-3
- 22) Mapa Geológico, escala 1:250,000 del INEGI  
Hoja Veracruz E14-3
- 23) Mapas Topográficos, escala 1:50,000 del INEGI  
Hoja Teziutlán E14 B15  
Hoja Altotonga E14 B16
- 24) Mapas Cartográficos del Censo Económico de Teziutlán de 1999, realizado por el INEGI, en donde se tiene la planimetría de las zonas construidas a ese año.
- 25) T. William Lambe y Robert V. Whitman. "Mecánica de Suelos". Instituto Tecnológico de Massachusetts. Editorial Limusa, México 1976.
- 26) Karl Terzaghi and Ralph B. Peck. "Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica", Segunda Edición. Editorial El Ateneo. Buenos Aires Argentina 1973.
- 27) Frederick S. Merritt. "Manual del Ingeniero Civil". Tomos II, III, y IV. Tercera Edición. Editorial McGraw Hill, México 1994.
- 28) Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. "La Geofísica Aplicada a la Geotécnica". México D.F.
- 29) Richard M. Pearl. "Geología". Editorial CECSA, México 1974.
- 30) Petróleos Mexicanos, Departamento General de Normas y Especificaciones. "Especificaciones Generales para Proyecto de Obras, Exploración y muestreo de suelos para proyecto de cimentaciones". Primera Edición, México 1975.

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- 1) Cuaderno estadístico Municipal, Teziutlán Estado de Puebla.  
Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.  
Gobierno del Estado de Puebla y H. Ayuntamiento de Teziutlán.  
Edición 1998.
- 2) Hernández Unzón Alberto, Bravo Lujano Cirilo. "Resumen 1999 de la actividad de Ciclones Tropicales". Grupo de Información Meteorológica para la Protección Civil, GSMN, CNA.
- 3) Hernández Unzón Alberto, Bravo Lujano Cirilo. "Depresión Tropical No. 11". Grupo de Información Meteorológica para la Protección Civil, GSMN, CNA.
- 4) Hernández Unzón Alberto, Bravo Lujano Cirilo. "Boletines Meteorológicos Nos. 39 y 40 correspondientes al periodo: 25 de septiembre al 08 de octubre de 1999". Grupo de Información Meteorológica para la Protección Civil, GSMN, CNA.
- 5) Página WEB de la Comisión Nacional del Agua, (CNA).
- 6) Página WEB del Servicio Meteorológico de los Estados Unidos de América.
- 7) D.F. Campos Aranda, 1987. "Proceso del Ciclo Hidrológico". Volumen I/2, primera reimpresión. Universidad Autónoma de San Luis.
- 8) Aparicio, 1993. "Hidrología de Superficie". Universidad Autónoma de México.
- 9) Yáñez-García Camilo, García Durán, Salvador, 1982. "Exploración de la Región Geotérmica Los Húmeros - Las Derrumbadas, Estados de Puebla y Veracruz". CFE.
- 10) Cedillo, R.F., 1984 "Estudio Geohidrológico de los Húmeros - Las Derrumbadas, Estados de Puebla y Veracruz". CFE, Informe 17/84.
- 11) De la Cruz, M.V. , 1983 "Estudio Geológico de detalle de la Zona Geotérmica de Los Húmeros, Puebla". CFE, GF 1/85
- 12) Estudios y Proyectos Moro, S.A. de C.V., 1994 "Recopilación y Análisis de la Información Geohidrológica de Los Húmeros, Pue." Contrato para CFE.
- 13) Hindú Robles, A., Segura Calderón, H. y Delgado Patiño, J., 1984 "Estudio Geológico del Proyecto Xoloco-Acateno y P.H. Talconapan". CFE.
- 14) Segura Calderón, H. , 1990 "Estudio Geológico de Prefactibilidad del Sistema Hidroeléctrico Atexcaco, Estado de Puebla, México." CFE.

# MEMORIA FOTOGRAFICA

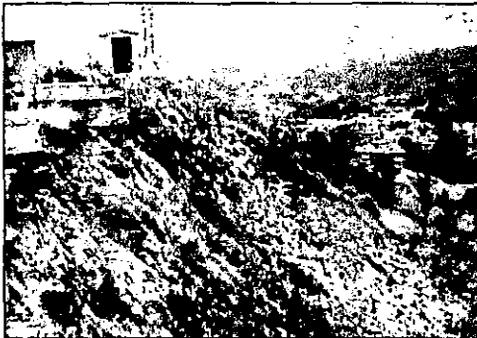


FOTO No. 1



FOTO No.2



FOTO No. 3



FOTO No.4

*Estas cuatro fotos muestran la falla de talud más importante que se presentó dentro de la ciudad de Teziutlán en la colonia La Aurora.*

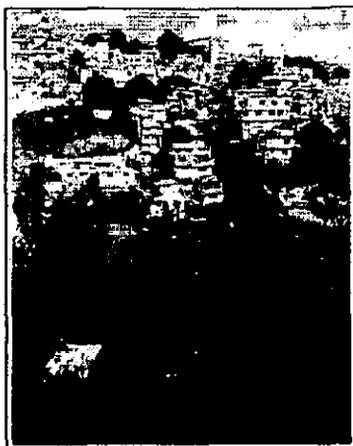


FOTO No. 5

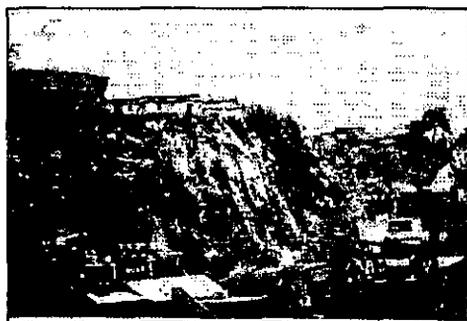


FOTO No. 6.

*En estas fotos es apreciable el tipo de construcciones hechas en las laderas, de la colonia Juárez.*



Fotografías 7 y 8, en las que se aprecia la topografía del sitio, y el tipo de construcciones en la zona, (colonia Juárez de la ciudad de Teziutlán en el Edo. de Puebla).

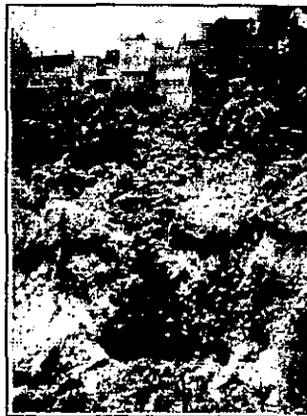


Fotografía 9 y 10, Construcción de casas en la corona de taludes casi verticales, muchas construcciones cayeron cuando el talud falló, otras quedaron sin apoyo como lo muestra la foto 10. Colonia la Gloria.



Foto No. 11, Taludes casi verticales y la falla en ellos, por un escurrimiento superficial producto del drenaje de la colonia la Gloria.

Foto No. 12. La socavación en el pie del talud, ha sido y es producto de escurrimientos superficiales, como drenajes mal conducidos.

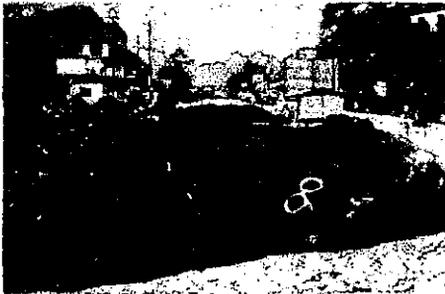




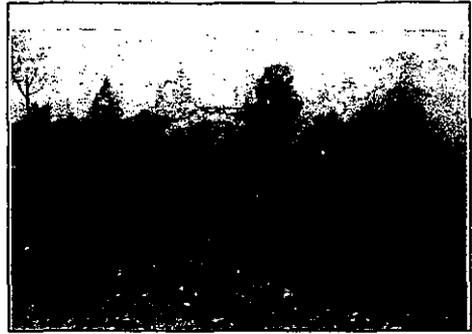
*Fotos 13 y 17, Socavación en taludes por escurrimientos superficiales, Colonia, Circuito Siete Sabios.*



*Fotos 14 y 19, Fallas sobre taludes naturales y contruidos en la carretera a Aire Libre.*



*Fotos 15 y 16, Fallas en terraplenes contruidos para la carretera que de Teziutlán a Tlapacoyan.*



*Fotos 18 y 20, Fallas en el cuerpo de terraplén de la carretera que va ha Aire libre.*



*Foto No. 21.-Falla de un corte en la carretera que va a Aire libre.*