

9
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**RECONOCIMIENTO DE LOS RIESGOS
GEOLOGICOS Y DE CARACTER ANTROPICO
EN LA DELEGACION TLALPAN D. F.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A :

LAURA CRISTINA LOZANO VELAZQUEZ



CIUDAD UNIVERSITARIA.

1997.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-019

SRITA. LAURA CRISTINA LOZANO VELAZQUEZ
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Dr. Luis Miguel Mitre Salazar, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

**RECONOCIMIENTO DE LOS RIESGOS GEOLOGICOS Y DE CARACTER
ANTROPICO EN LA DELEGACION TLALFAN D.F.**

- I INTRODUCCION
- II GENERALIDADES
- III GEOLOGIA
- IV MARCO CONCEPTUAL DE LA GEOLOGIA
AMBIENTAL
- V ZONIFICACION DEL RIESGO SISMICO
- VI ZONIFICACION DEL RIESGO VOLCANICO
- VII ZONIFICACION DEL RIESGO POR
PROCESOS EXOGENOS
- VIII ZONIFICACION DEL RIESGO POR
ACTIVIDADES ANTROPICAS
- IX DISCUSION Y CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFIA
ANEXO CARTOGRAFICO

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

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

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 17 de febrero de 1995
EL DIRECTOR


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS*EGLM*tjh

La presente tesis está dedicada
con gran cariño a mis padres
a mis hermanos
y a Eric

por su apoyo invaluable e
incondicional

Febrero, 1997

Laura C. Lozano Velázquez

AGRADECIMIENTOS

Por este medio extiendo mi agradecimiento a todas aquellas personas que han hecho posible la realización y conclusión de este trabajo. De manera especial le agradezco al Dr. Luis Miguel Mitre-Salazar por la dirección y enseñanzas durante de la presente tesis. Asimismo, a los Ingenieros Jorge Nieto-Obregón, Emiliano Campos-Madrigal y Alfredo Victoria-Morales por las observaciones y comentarios sobre el trabajo efectuado.

Extiendo un cordial agradecimiento al Instituto de Geología y a la Facultad de Ingeniería de la UNAM, instituciones que me han brindado todas las facilidades durante el desarrollo del proyecto y que me han proporcionado invaluable conocimientos.

Muy especial mi agradecimiento al Dr. Gerardo Carrasco-Núñez, por su incondicional y significativo apoyo, además de sus apreciables enseñanzas, opiniones y comentarios durante la realización del trabajo.

Y en general a todos mis profesores y compañeros que ayudaron a cumplir con el objetivo final de la tesis.

RESUMEN

La Geología Ambiental, es una rama prácticamente nueva dentro de la Geología; la cual aporta valiosa información utilizable para los estudios de planeación, impacto y desarrollo en materia ambiental. Siendo una de sus aplicaciones directas, el reconocimiento del peligro potencial generado por los fenómenos geológicos, para el hombre y sus bienes, además de la evaluación del riesgo geológico y su aplicación en los estudios de prevención de desastres naturales.

La Ciudad de México, la más poblada del mundo, se encuentra edificada sobre una zona donde se conjuntan características geológicas particulares que la hacen susceptible a la generación de desastres, por estar sujeta a condiciones de riesgo geológico, tal como se ha observado en las pérdidas ocasionadas por la actividad eruptiva del volcán Xitle sobre la zona de Cuicuilco o bien por las pérdidas y daños ocasionados durante Septiembre de 1985, por un sismo de gran magnitud..

En el presente trabajo se introduce una metodología sencilla, para la evaluación del riesgo geológico en una zona específica : Tlalpan, la cual constituye una de las 16 Delegaciones Políticas que conforman al Distrito Federal y a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México; la metodología está basada en: 1) el reconocimiento de las condiciones geológicas que afectan de manera local y regional al área, así como del registro existente sobre fenómenos geológicos y su afectación en tiempos históricos, 2) la evaluación con una escala numérica y alfanumérica, de las variables : peligro y vulnerabilidad, para una clasificación y zonificación del riesgo. Con la aplicación de esta metodología, se establece un trabajo de tipo preliminar para los futuros estudios en la evaluación del riesgo geológico.

Sin embargo, es necesario, enfatizar que actualmente es de gran importancia el trabajo conjunto de diversas disciplinas para una mejor evaluación del riesgo geológico.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pág
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	3
1.2 Objetivos	4
1.3 Metodología	4
1.4 Estudios previos	5
CAPÍTULO II. GENERALIDADES	
2.1 Localización del área de estudio	7
2.2 Antecedentes históricos	7
2.3 Población	8
2.4 Distribución del área urbana y de reserva ecológica	8
2.5 Aspectos climáticos	11
2.6 Infraestructura urbana	11
CAPÍTULO III. GEOLOGÍA	
3.1 Fisiografía	14
3.2 Marco geológico regional	14
3.3 Geomorfología	16
3.4 Estratigrafía	20
3.5 Geología estructural	27
3.6 Síntesis de evolución geológica	28
3.7 Geohidrología	29
CAPÍTULO IV. MARCO CONCEPTUAL DE GEOLOGÍA AMBIENTAL	
4.1 La Geología Ambiental	31
4.2 Importancia del reconocimiento del riesgo	32
4.3 El riesgo geológico	35
CAPÍTULO V. ZONIFICACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO	
5.1 Factores del riesgo sísmico	40
5.2 El riesgo sísmico en Tlalpan	47
CAPÍTULO VI. ZONIFICACIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO	
6.1 Los peligros volcánicos	49
6.2 Factores de riesgo volcánico	54
6.3 El Riesgo volcánico en Tlalpan	58
CAPÍTULO VII. ZONIFICACIÓN DEL RIESGO POR PROCESOS EXÓGENOS	
7.1 Procesos geomorfológicos y estructurales que constituyen peligro	60
7.2 Factores de riesgo por procesos exógenos	61
7.3 El riesgo por procesos exógenos en Tlalpan	66

CONTENIDO		Pág
CAPÍTULO VIII. ZONIFICACIÓN DEL RIESGO POR PROCESOS ANTRÓPICOS		
8.1	La actividad antrópica como generadora de peligro	68
8.2	Factores del riesgo por procesos antrópicos	70
8.3	El riesgo por procesos antrópicos en Tlalpan	75
CAPÍTULO IX. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		
9.1	Discusión	76
9.2	Resultados	77
9.3	Conclusiones	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		80
ANEXO CARTOGRÁFICO		

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La Ciudad de México, denominada la ciudad más grande del mundo con 8.3 millones de habitantes (INEGI, 1990), fue edificada sobre una zona lacustre, rodeada de grandes sierras volcánicas y en un área con un tipo de subsuelo de gran susceptibilidad a los efectos sísmicos, dados estos factores es necesario tener un conocimiento sobre la Geología Ambiental, como herramienta básica e indispensable en los estudios de prevención de desastres naturales, determinando los diversos fenómenos geológicos tanto locales como regionales, potencialmente peligrosos a la población expuesta a ellos y que constituyen elementos de riesgo.

A lo largo de la historia, el hombre ha tenido que enfrentar diversas experiencias en materia tanto de desastres naturales como de aquellos provocados por la actividad antrópica. En el caso de la Ciudad de México, uno de los sucesos más lamentables recientes fue el generado por el sismo del 19 de Septiembre de 1985, el cual dejó una profunda huella sobre sus habitantes. El origen de este desastre puede ser catalogado como el producto de los procesos terrestres internos, sin dejar de notar la parte de responsabilidad del hombre al desconocer el tipo de subsuelo bajo las edificaciones o bien por el mal diseño de las construcciones, además de la gran concentración de población en áreas con estas características.

Después de éste lamentable suceso, en el cual perdieron la vida varios miles de personas, se inicia la toma de una conciencia general hacia la prevención de desastres. Se crea un Programa Nacional de Protección Civil, una Dirección General de Protección Civil dependiente directa de la Secretaría de Gobernación, además del Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED); organismos que comienzan a desarrollar medidas preventivas y de mitigación, en coordinación con entidades estatales en la República Mexicana y con las delegacionales en la Ciudad de México. Actualmente en la 'Década para la Reducción de los Desastres Naturales', decretada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), se han realizado con éxito a nivel mundial numerosos esfuerzos para la reducción de los desastres, los cuales paradójicamente parecen presentarse con mayor frecuencia aún en contra del avance de la tecnología y desarrollo científico. El estudio sobre la prevención de desastres debe ser conceptualizado de manera multidisciplinaria e interdisciplinaria, donde la Geología, y en particular la Geología Ambiental, aportan de manera importante, bases sólidas para el conocimiento de algunos de los procesos naturales peligrosos para el hombre.

El área de estudio del presente trabajo, la Delegación Política Tlalpan en el D.F., forma parte de la Ciudad de México y, aunque no está densamente poblada de acuerdo a sus dimensiones, presenta algunas particularidades geológicas, las cuales motivaron el desarrollo de este trabajo, tales como la localización dentro de una zona estructuralmente compleja, en un área de transición entre diferentes unidades geomorfológicas y litológicas, y sobre un campo volcánico considerado potencialmente activo; el cual ya ha mostrado al hombre su poder devastador, al semi-sepultar el área de Cuicuilco, con los productos eruptivos provenientes del Volcán Xitle hace 2200 años aproximadamente. Todos estos factores geológicos unidos a los diversos factores antrópicos, tales como el crecimiento desmedido de la población, la expansión de la zona urbana a sitios menos accesibles y la necesidad de satisfacer las necesidades

básicas primarias han provocado situaciones potencialmente peligrosas y de riesgo para la comunidad habitante de Tlalpan.

1.2 Objetivos

El objetivo general del presente trabajo consiste en la identificación, evaluación y zonificación de diferentes áreas de riesgo geológico potencial, dentro de los límites de la delegación Tlalpan; lo cual estará basado en el reconocimiento de los diferentes factores geológicos, generados a partir de los procesos de geodinámica interna y externa así como de los procesos derivados o inducidos por la actividad e influencia del hombre al Medio Ambiente, que constituyan fenómenos potencialmente peligrosos. Asimismo, se basa también en el reconocimiento y clasificación de las diferentes áreas urbanas dentro del área de estudio, de acuerdo a su grado de vulnerabilidad a los fenómenos peligrosos a los que se encuentran expuestas, considerando para ello diversos factores meramente antrópicos.

Con el alcance del objetivo general planteado con anterioridad, se demostrará la importancia del conocimiento geológico y geológico-ambiental, de los estudios conducentes a la prevención de desastres.

1.3 Metodología

Para el logro del objetivo general propuesto, se realizó primeramente durante el desarrollo del presente trabajo la recopilación bibliográfica y cartográfica de los estudios previos en el área de estudio, tanto de carácter geológico, urbano y socio-económico; lo que permitió caracterizar y conocer el entorno geográfico y geológico de Tlalpan.

Se generó un modelo digital de terreno, por medio del Sistema de Información Geográfica : Integrated Land and Water Information System (ILWIS), de acuerdo con los datos topográficos de las cartas E14-A39 (Ciudad de México) y E14-A49 (Milpa Alta), ambas a escala 1:50 000 de INEGI. Con el análisis de este modelo, la interpretación de fotografías aéreas, imágenes de satélite y el análisis de la información bibliográfica y cartográfica geológica se elaboró un mapa geológico del área que abarca aproximadamente las coordenadas geográficas : 19°05' a 19°19' Latitud Norte y 99°06' a 99°20' Longitud Oeste.

Posteriormente se realizó un análisis preliminar y una evaluación numérica de cada uno de los fenómenos geológicos considerados como potencialmente peligrosos, de acuerdo con el conocimiento del marco geológico local y regional del área; así como la identificación de zonas urbanas vulnerables de acuerdo a sus características sociales. Con la obtención de estos factores se realizaron, 4 mapas de zonificación del riesgo propuesto para cada capítulo : Riesgo Sísmico, Riesgo Volcánico, Riesgo por Procesos Exógenos y Riesgo por Procesos Antrópicos.

Para la evaluación del riesgo de acuerdo a estos procesos, se propone una escala de valor numérico para los niveles de peligro, (valor máximo de peligro = 1), Peligro Bajo = 0.33, Peligro Medio = 0.66 y Peligro Alto = 1.0. Asimismo se propone la siguiente escala numérica para el grado de vulnerabilidad : Baja vulnerabilidad = 0.33, Vulnerabilidad media = 0.66 y Vulnerabilidad Alta = 1.0. Con la obtención de estos factores y aplicando la ecuación para la evaluación del riesgo, se propone para la zonificación, la siguiente escala numérica : Zonas Sin Riesgo = 0, Zonas de Bajo Riesgo

0.01 - 0.33, Zonas de Riesgo Medio 0.34 - 0.66 y Zonas de Alto Riesgo 0.67 - 1.0, las cuales fueron trazadas en los mapas y coloreadas de : rosa, amarillo, anaranjado y rojo respectivamente.

Con la obtención por separado de la zonificación del riesgo por los diferentes fenómenos antes mencionados, se obtuvo finalmente como conclusión de este trabajo, un Mapa de Zonificación del Riesgo Geológico Total en Tlalpan, adecuando para tal efecto la siguiente escala numérica diferente a las anteriores : Zonas Sin Riesgo = 0, Zonas de Bajo Riesgo (0 - 3.2), Zonas de Riesgo Medio Bajo (3.2 - 6.4), Zonas de Riesgo Medio (6.4 - 9.6), Zonas de Riesgo Medio Alto (9.6 - 12.8), Zonas de Riesgo Alto (12.8 - 16) y Zonas de Muy Alto Riesgo = 16.0.

Con los datos anteriores se señalan las diferentes zonas de riesgo geológico total en el área de Tlalpan.

1.4 Estudios previos

Para llevar a cabo las metas propuestas para el trabajo, se revisó una gran lista de información bibliográfica referente a numerosos estudios previos, tanto en el área de la Cuenca de México, como en el Campo Volcánico Chichinautzin, así como en zonas aledañas. Algunos de estos trabajos de carácter geológico se mencionan a continuación :

Desde el siglo pasado, Von Humboldt (1826) inicia un estudio sobre la geología de la Cuenca de México. El geólogo Ezequiel Ordoñez (1891) realizó estudios geológicos en la Sierra de Las Cruces, en los alrededores del volcán Ajusco y en los flujos lávicos del volcán Xitle.

Waitz, (1910) realizó un trabajo en el cual describe lo que el denomina los 'tubos de explosión endogénicos', en el área del Pedregal de San Ángel y de ahí comienzan una serie de trabajos dedicados al estudio de las lavas del pedregal, tal como el de Arellano, (1948), que realiza un trabajo sobre la composición de las diferentes rocas volcánicas en la parte sur de la Cuenca de México, el de Arnold y Libby (1955), en el cual establecen una edad de 2400 ± 100 a. para las lavas del volcán Xitle, por medio de un fechamiento de ^{14}C , posteriormente el de Schmitter (1953), el de Badilla (1977), entre otros, que aportan mayores datos al respecto.

En lo referente a la cartografía geológica, Schlaepfer (1968) elabora la Hoja Ciudad de México, bajo la serie 1:100 000 del Instituto de Geología, y Mooser, desde 1957 a 1975, genera varios modelos para explicar el origen de la cuenca, publicando en 1975 un Mapa geológico de la Cuenca de México.

Los trabajos de carácter estratigráfico, también comienzan a establecerse, cuando C. Fries Jr. (1960), define a una serie de rocas volcánicas como Grupo Chichinautzin y también Bloomfield en la década de los 70's realiza numerosas aportaciones a la estratigrafía mediante diversos fechamientos realizados en las rocas volcánicas de la zona, estableciendo edades de 8 390 a 40 000 a.

De Cserna et al. (1988), contribuyen notablemente al conocimiento de la estructura geológica de la Cuenca, por medio de un análisis regional en el cual involucran y combinan una serie de datos sísmicos, gravimétricos con los rasgos geológicos.

Los estudios geomorfológicos se ven encabezados por los trabajos de Lugo-Húbp (1984), con su trabajo sobre la geomorfología del sur de la cuenca de México, y por White et al. (1990), quienes ponen un especial énfasis en los eventos de glaciación en el área del volcán Ajusco.

La información sobre la geología del subsuelo en el área, ha sido generada por los datos de C. Fries Jr. (1960), de los valiosos datos de Marsal y Mazari (1969) en su trabajo sobre El Subsuelo de la Ciudad de México; además de los datos obtenidos por medio de las diferentes perforaciones de pozos en la zona de la cuenca, principalmente en el Pozo Copilco, perforado por Petróleos Mexicanos (PEMEX) y algunos estudios realizados por la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Numerosos estudios petrológicos, petrográficos y geoquímicos fueron aportados por Negendank (1972), y Bloomfield (1975), así como amplios datos de carácter geocronológico, para establecer una posible evolución geológica.

En lo referente a estudios geohidrológicos se cuentan con un gran número de publicaciones, entre las que se pueden mencionar a Cortés, Herrera, Jaimes-Palomera, y Ortega, todos ellos publicados en el número especial sobre la Cuenca de México, de la Revista Geofísica Internacional (Vol. 28, num. 2, año 1989).

En el aspecto vulcanológico, destacan los diferentes trabajos de Martín del Pozzo, A. en los años 80's, así como los desarrollados más recientemente por Delgado y Martín del Pozzo (1993) y por Cervantes y Molinero (1995), los cuales proponen un modelo para explicar la evolución vulcanológica del área.

En el aspecto de exploración y evaluación geotérmica, recientemente ha aparecido un volumen que abarca de manera regional los valles de Puebla, México, Tlaxcala y Toluca, elaborado para la Comisión Federal de la Electricidad (1996).

Finalmente, también se han generado algunos trabajos preliminares sobre la evaluación de riesgos, entre los que destacan los efectuados por : Scandone (1979), Bellia et al. (1992) y Cervantes y Molinero (1995).

II. GENERALIDADES

2.1 Localización del Área de Estudio

El área de estudio del presente trabajo corresponde a la superficie ocupada por la Delegación Política de Tlalpan en el sur del Distrito Federal. En adelante se utilizará el nombre genérico de Tlalpan para referencia del área señalada con anterioridad. (FIG. 2.1)

El área de Tlalpan no presenta una forma geométrica regular. Tiene un área aproximada de 306.5 Km.² y es la delegación más extensa del Distrito Federal, ocupando un 20.71% del área total del mismo. Sus coordenadas extremas son: Al Norte 19° 18' 36", al Sur 19° 05' 12", al Este 99° 06' 00" y al Oeste 99° 18' 40".

Tlalpan limita al Norte con las delegaciones Coyoacán y Alvaro Obregón, al NW con la delegación Magdalena Contreras, al NE con la delegación Xochimilco, al Sur con el Estado de Morelos, al SW con el Estado de México y al SE con la delegación Milpa Alta. (FIG. 2.2)

2.2 Antecedentes Históricos.

El nombre de Tlalpan deriva del náhuatl: *Tlalli*, tierra y de *Pan*, sobre, y se le ha dado como significado "Sobre la tierra", ya que fue el primer pueblo al Sur del lago, que se establece en tierra firme.

Se cree que el primer asentamiento humano en Tlalpan, al norte del área, fue de origen Otomí. Por sus condiciones de estabilidad, ya que se ubican fuera de la zona lacustre, éste pueblo empieza a desarrollarse, alcanzando una población de aproximadamente 40 000 habitantes, los cuales inclusive construyen grandes monumentos ceremoniales, tal como la pirámide de base circular en Cuicuilco. Esta primera población en Tlalpan sufrió el primer desastre registrado en el área, debido a un fenómeno natural de carácter geológico: la erupción del volcán Xitle, alrededor del año 246 a.C.

En la época de la Conquista, en el área de Tlalpan, se ubican algunos asentamientos españoles y entonces se conoce el lugar como: San Agustín de las Cuevas. En 1536, por mandato del Virrey Antonio de Mendoza, se efectuó un reparto de tierras para cultivo entre los indígenas, mismos que se establecen en la zona. A lo largo de los siglos XVI al XVIII se registra ya una población estable, conformando las distintas haciendas conocidas como: Peña Pobre y San Nicolás Huipulco, entre otras.

En el siglo XIX, por decreto en la Constitución de 1824, la población de San Agustín de las Cuevas se anexa al Estado de México y el 25 de Septiembre de 1827, se le declara como capital de dicho estado, cargo que ocupa hasta 1830, cuando la Cd. de Toluca la sustituye como tal. Es importante señalar que durante éste tiempo, Tlalpan recobra su nombre original y se le declara formalmente ciudad.

En 1855 Tlalpan queda incluida dentro del Distrito Federal, por demanda de su población ante el presidente interino Gral. Juan N. Alvarez, lo cual ha permanecido estable hasta hoy en día. Finalmente en la década de los 60's se incluye el área de Tlalpan en la denominada Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).

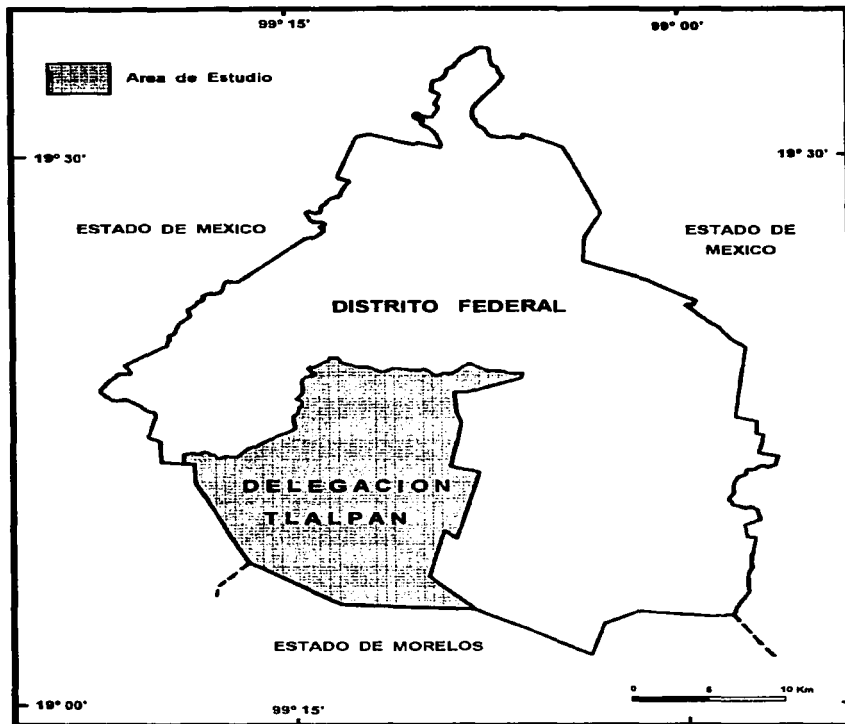


FIGURA 2.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

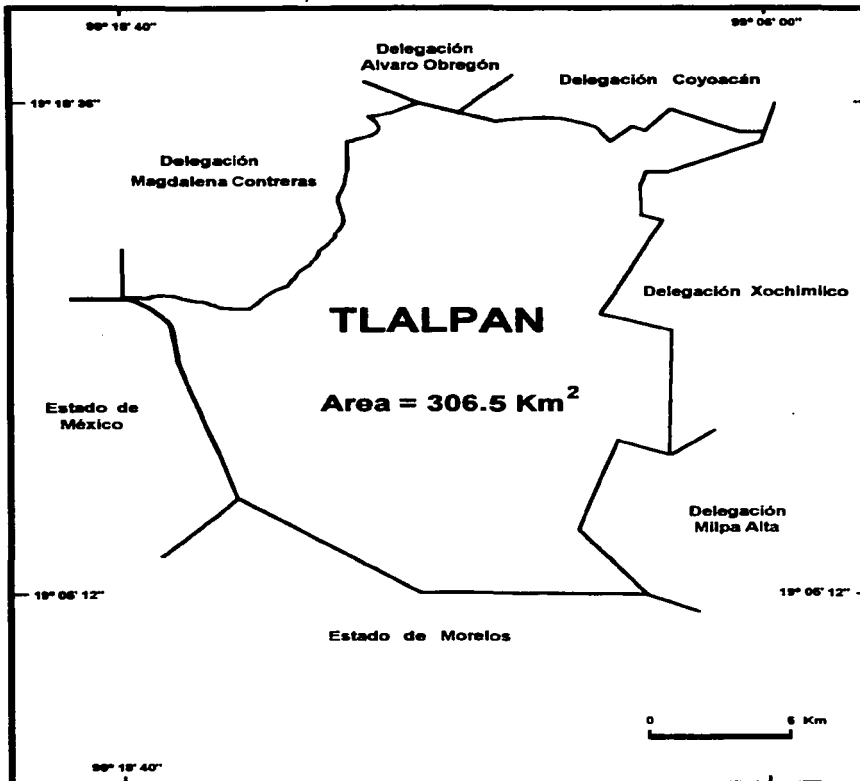


FIGURA 2.2 LÍMITES DE LA DELEGACIÓN TLALPAN, D.F.

2.3 Población.

La población de Tlalpan en 1990 fue de : 484 866 habitantes, según datos del XI Censo Gral. de Población y Vivienda INEGI. Lo cual equivalía al 5.89 % de la población total del Distrito Federal.

En la TABLA 2.1, se observa el aumento de la población por décadas a partir de 1930, de acuerdo a los datos del INEGI. Como se observa, a partir de la década de los años 40's el crecimiento demográfico rebasa el 50 % sobre la década anterior, incluso después de la inclusión del área a la ZMCM, el aumento es mayor al 100 %. Siendo notorio que de 1930 a 1990 la población tlalpense ha aumentado 32.3 veces su población.

AÑO	NUMERO DE HABITANTES
1930	15 009
1940	19 249
1950	32 767
1960	61 195
1970	130 719
1980	368 974
1990	484 866
1995	589 067
2000	609 100
2010	651 500
2020	698 600

TABLA 2.1 ANÁLISIS DEMOGRÁFICO Y ESCENARIO TENDENCIAL DE CRECIMIENTO EN TLALPAN, D.F.
(Datos del Censo de Población de 1930 a 1990 y Programa de Desarrollo Urbano 1996)

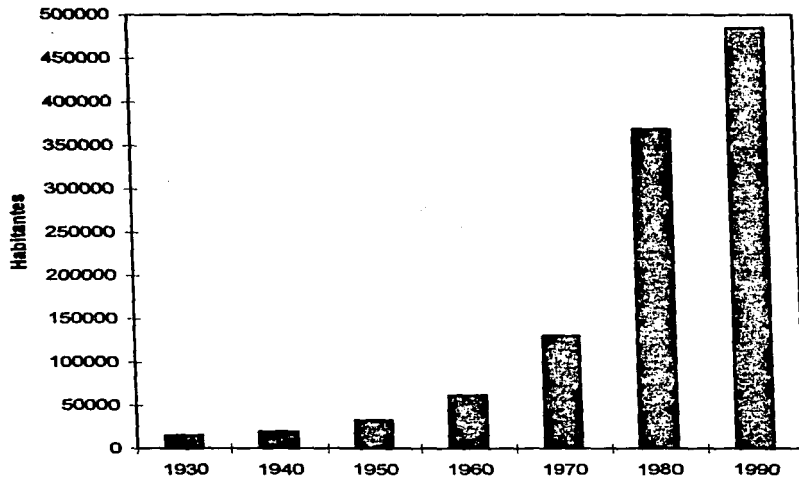
2.4 Distribución del área urbana y de reserva ecológica

Para 1980, la superficie urbana en Tlalpan era de 41.8 Km², es decir, un 13.6 % de su área total y, el uso del suelo se establecía de la siguiente manera :

Uso Habitacional	9.3 %
Uso Mixto (Servicios, industria y comercio)	1.9 %
Espacios Abiertos	2.4 %
Reserva Ecológica	86.4 %

Mientras que para 1990, la superficie urbana era de 55.7 Km², es decir, un 16.5% de su área total y, el uso del suelo se establece de la siguiente manera :

FIGURA 2.3 ANÁLISIS DEMOGRÁFICO EN TLALPAN



Uso Habitacional	12.3 %
Uso Mixto (Servicios, industria y comercio)	3.2 %
Espacios Abiertos	1.0 %
Reserva Ecológica	83.5 %

Observando las cifras anteriores es notoria la reducción de la zona de reserva ecológica y un aumento en el área de la zona urbana, y analizando los datos sobre la densidad de población, dada por el número de habitantes por hectárea (TABLA 2.2), registrada desde la década de 1950 a 1990, se observa que estos valores no han variado significativamente en todo ese periodo, lo cual demuestra que se ha generado una extensión de la zona urbana, ya que a mayor población también se cuenta con mayor área, la cual se extiende hacia el sur de Tlalpan. (FIG. 2.4)

AÑO	DENSIDAD DE POBLACIÓN (HAB/Ha)
1950	72.86
1960	81.84
1970	74.49
1980	74.60
1990	70.00
1995	117.3
2000	121.3
2010	129.7
2020	139.1

TABLA 2.2 DENSIDAD DE POBLACIÓN EN EL ÁREA URBANA Y ESCENARIO TENDENCIAL PARA LAS PRÓXIMAS DÉCADAS EN TLALPAN, D.F. (Datos de INEGI, 1995 y Programa de Desarrollo Urbano 1996, Delegación Tlalpan)

Para 1990, el uso de la denominada Zona de Reserva Ecológica se tiene distribuido de la siguiente manera :

Área Forestal	39.0 %
Área Agrícola	38.0 %
Uso Pecuario	12.5 %
Matorrales y Malpais	5.0 %

Actualmente el 83.5 % del área no urbana de Tlalpan, se considera como Zona de Reserva Ecológica, la cual presenta un relieve accidentado de origen volcánico.

La vegetación presente en el área está en función de la altitud del terreno. Hasta los 3 000 m.s.n.m., la vegetación está formada principalmente por *Quercus laurifolia*, *Alnus arbuta*, *Pinus montezumae* y *Abies religiosa*, las cuales corresponden a un ambiente de montaña (pinos, encinos y oyameles), que ha sido deforestado desde décadas atrás por el hombre, al expandirse la zona urbana. (Castillo, 1976)

Desde los 3 000 hasta los 3 600 m.s.n.m. aproximadamente se observa una predominancia de la especie *Abies religiosa*, y después de los 3 600 la predominancia es de la especie *Pinus hartwegii*. (Castillo, 1976)

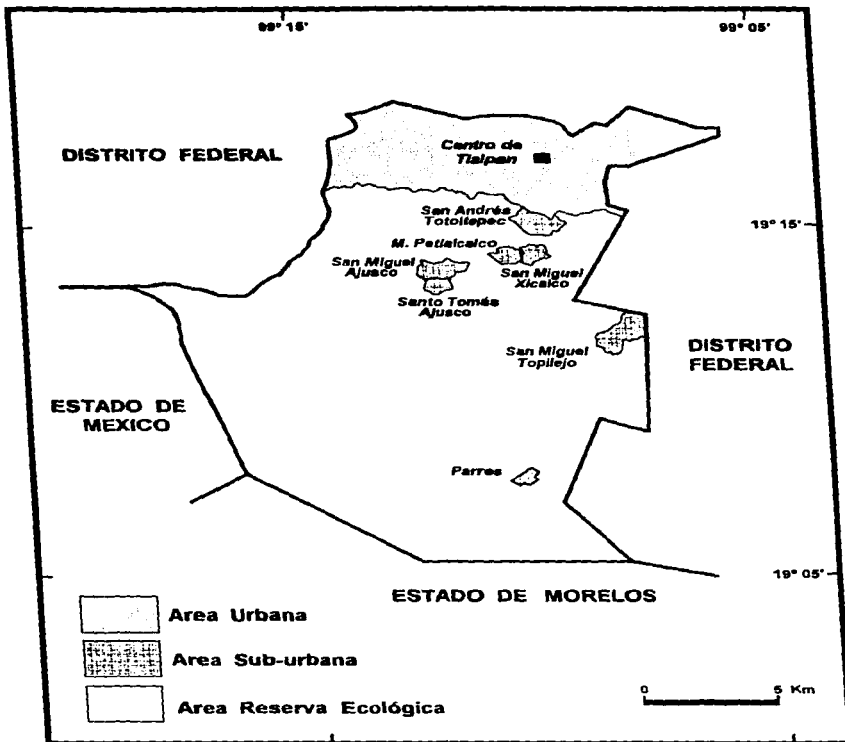


FIGURA 2.4 DISTRIBUCIÓN DE ÁREA URBANA Y RESERVA ECOLÓGICA EN TLALPAN

Además de las especies mencionadas anteriormente, se observan también :

Herbáceos :

Alchemilla procumbens
Baccharis multiflora
Brachypodium mexicanum
Didymaea mexicana
Eupatorium saltivari
Eryngium protasterum
Festuca amplissima
Pernettia ciliata
Symphoricarpos
Setaquinella sp.

Arbustos :

Arctostaphylos arguta
Argemone fructicosa
Epicampes macroura
Eupatorium mairetianum
Fuchsia microphylla
Salix paradoxa
Senecio angulifolius
Senecio barba-johannis

La fauna representativa del área está compuesta de una gran variedad de mamíferos, aves y reptiles, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes (Castillo, op. cit.) :

Cannis latrans (Coyote)
Spilogale angustifrons (Zorrillo manchado)
Mephitis macroura (Mofeta rayada)
Mustela frenata (Comadreja)
Sciurus nelsoni (Ardilla del Ajusco)
Cratogeomys merriami (Tuza)
P. difficilis (Rata del Pedregal)
Baiomys taylori (Ratón pigmeo)
Neotomodon alstoni (Rata de los Volcanes)
Peromyscus melanotis (Ratón de montaña)
Romerolagus diazi (Conejo de los Volcanes, Teporingo o Zacatuche)
Sylvilagus cunicularis (Conejo)
Myotis velifer (Murciélago)
Cryptotis sericina (Musaraña)
Didelphis marsupialis (Tlacuache)

Hylocharis leucotis (Colibrí)
Turdies migratorius (Petirrojo)
Melanerpes formicivorus (P. carpintero)
Zenaida macroura (Tórtola)

Actualmente el Conejo de los Volcanes o " Teporingo ", es una especie considerada en peligro de extinción, y existen algunas campañas ecologistas para la preservación de esta especie. Existen además otras especies animales tales como algunos insectos y reptiles, los cuales son representativos del lugar.

2.5 Aspectos climáticos

El clima en Tlalpan presenta variaciones importantes debido fundamentalmente a la presencia de sierras, las cuales están cubiertas por vegetación de tipo conífera, como se mencionó anteriormente.

En el área urbana, la cual coincide con la parte topográficamente baja, el clima se clasifica como Templado Subhúmedo, con diferentes grados de humedad. Para el resto de la superficie el clima se clasifica como Semi-frío con alto grado de humedad. (INEGI,1992)

Las principales estaciones meteorológicas dentro del área delegacional son la de Tlalpan y la del Ajusco, las cuales registran un rango de precipitación pluvial de 881.7 a 1129 mm. anuales, en promedio.

La temperatura media anual es de 11.4 a 16.2 °C. En épocas frías se registran heladas y en las zonas de mayor elevación se pueden presentar inclusive nevadas.

2.6 Infraestructura Urbana

En Tlalpan, la infraestructura urbana está compuesta de la siguiente manera, de acuerdo con los datos presentados por el INEGI (1995) :

Drenaje Los sistemas de drenaje y alcantarillado satisfacen sólo un 62 % de la demanda total del servicio, aún y cuando se cuenta con 529 Km de la red de drenaje (tanto primaria como secundaria), y se han construido descargas domiciliarias y resumideros. Es necesario señalar, que en ciertas zonas es difícil la introducción de éste servicio debido al alto costo de instalación en terreno rocoso y con pendientes pronunciadas.

Agua Potable El servicio de agua potable satisface actualmente al 93 % de la demanda. En Tlalpan, se cuentan 65 pozos y 7 manantiales (Fuentes Brotantes, Tlalpan y Peña Pobre, entre otros), además del aporte de los sistemas Lerma y Cutzamala, este último por medio del Acueducto Periférico o Acuaférico, los cuales abastecen de agua potable a la población, no sólo de Tlalpan sino del resto del Distrito Federal. Las redes de agua potable, con 634 km. de longitud, suministran aproximadamente un gasto de 2 300 l/seg , dando un servicio continuo a más del 50 % de la población tlalpense. Nuevamente los relieves abruptos son la causa de que parte de la comunidad no tenga agua entubada, pero en respuesta a esta carencia, existe una distribución de agua potable por medio de autotanques o pipas, en forma totalmente gratuita.

Electricidad El tendido de líneas conductoras de electricidad es tal que actualmente se satisface el 95 % de la demanda total.

Pavimentación El servicio de pavimentación tiene satisfecha el 85 % de la demanda total en el área, desde 1989, éste servicio se ha incrementado notablemente en el área, al pavimentar las calles en las zonas aledañas al Ajusco, sitio al cual se ha extendido la mancha urbana de manera importante en los últimos años. Actualmente se cuenta con un total de 6 243 013 m² de carpeta asfáltica pavimentada, que incluye vialidad primaria, secundaria y local.

Alumbrado Público El servicio de alumbrado ha cubierto un 70 % de la demanda total en el área, con un total de 22 650 luminarias.

Vialidad Dentro del área de Tlalpan, se cuentan con vías importantes para la circulación de vehículos, las cuales comunican en su gran mayoría las diferentes zonas de la delegación con el resto del Distrito Federal y con los Estados de México y Morelos.

Entre las principales avenidas se encuentran partes de la Avenida de los Insurgentes Sur, Anillo Periférico Sur, Viaducto Tlalpan, la Calzada de Tlalpan, el Boulevard Picacho-Ajusco, la Calzada del Hueso, la Avenida Acoxta y la Avenida San Fernando; además del Circuito del Ajusco de la Carretera Federal 95 México-Cuernavaca y la Autopista México-Cuernavaca, con un total de 31 km. de vialidad primaria. (FIG. 2.5)

La línea del ferrocarril a Cuernavaca también atraviesa el área de Tlalpan de Norte a Sur, aunque no se encuentra proporcionando servicio actualmente.

Servicios Médicos En Tlalpan se ubica una gran zona de hospitales la cual da servicio a un número importante de la población, tanto del Distrito Federal como a nivel nacional. Existen 6 Institutos Nacionales de Especialidades Médicas entre los cuales se pueden mencionar : el de Neurología y Neurocirugía, el de Cardiología y el de Cancerología, los cuales están a la vanguardia en el conocimiento médico. Existen también hospitales generales y varios centros de salud y clínicas distribuidas por toda la delegación, para sumar un total de :

6	Institutos Nacionales de Salud
6	Hospitales Oficiales
1	Hospital Privado
26	Clínicas y Centros de Salud

Espacios Abiertos, Recreativos y Culturales Existen un total de 26 deportivos de nivel delegacional repartidos a lo largo del territorio tlalpense. En el área se cuenta con algunas zonas recreativas y culturales, de las cuales destacan :

Bosque de Tlalpan o Parque Nacional del Pedregal, lugar donde se aloja la Casa de la Cultura y un Zoológico
Parque Nacional Fuentes Brotantes
Centro Histórico de Tlalpan
Parque Ecológico de Peña Pobre
Parque Nacional Ajusco
Zona Arqueológica de Cuicuilco A y B
Lienzo Charro del Pedregal
Parque de Diversiones Nuevo Reino Aventura
Sala Ollin Yolitzli, entre otras.

Entre las instalaciones educacionales y militares, dentro de sus límites se encuentran:

El Heroico Colegio Militar
El Colegio de México
Universidad Pedagógica Nacional
Universidad Intercontinental
Universidad Del Valle de México
Instituto Tecnológico de Estudios Superiores Monterrey Campus Tlalpan
Instituto Nacional de Arqueología e Historia
Sede del Colegio Ingenieros Civiles de México A.C.

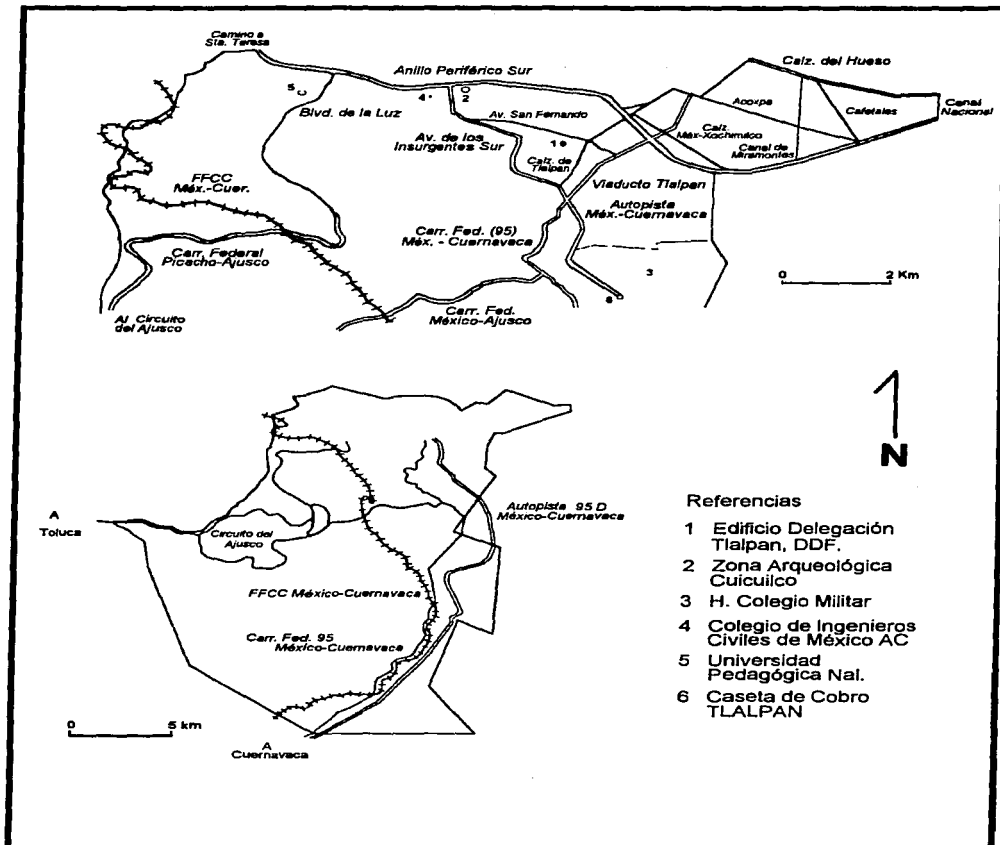


FIGURA 2.5 PRINCIPALES VÍAS DE COMUNICACIÓN EN TLALPAN

El área de Tlalpan, es considerada básicamente una zona de tipo residencial, con la presencia de comercios de tipo no contaminante y establecimientos religiosos, únicamente se registra un establecimiento industrial de tipo textil hacia la zona noreste de Tlalpan.

III . GEOLOGÍA

3.1 Fisiografía

El área de estudio se encuentra ubicada dentro de la provincia fisiográfica conocida como : Eje Neovolcánico (término impropio para definirlo) o Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM) (Raisz, 1964).

La FVTM es una provincia fisiográfica que ha sido intensamente estudiada de acuerdo a sus diferentes rasgos geológicos (geomorfológicos, estructurales, petrológicos y geoquímicos, entre otros). Geográficamente se puede describir a ésta provincia como una estructura volcánica de edad Plio-cuatemaria, de rumbo E-W, localizada entre los paralelos 19° y 21° de Latitud Norte, la cual atraviesa el país de manera transversal, del Océano Pacífico al Golfo de México.

En diversos estudios, tal como lo propone Demant en 1976, se ha dividido a la FVTM en tres zonas principalmente : Extremo Occidental, Zona Central y Extremo Oriental, aunque existen otros trabajos que la dividen en un mayor número de zonas de acuerdo a los principales focos de vulcanismo, tal como la Zona del gráben de Chapala-Tepic, la del gráben de Colima, la zona volcánica del Estado de Michoacán, la zona volcánica de los valles de México, Toluca y Puebla; y el extremo oriental de la FVTM.

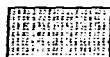
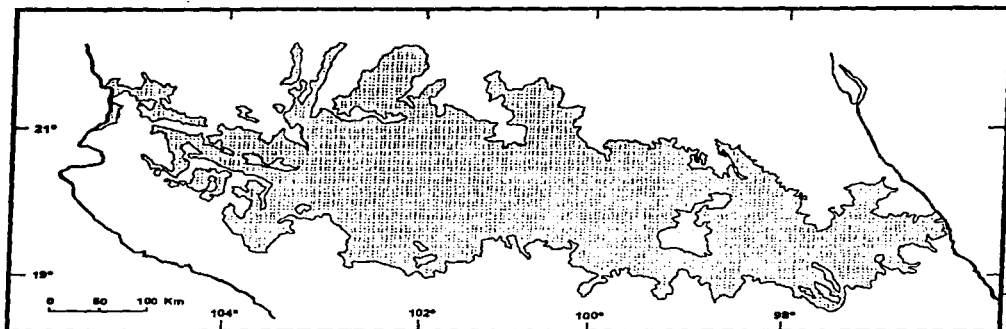
En el extremo Occidental, una de sus características es la zona de unión de tres grábenes: el de Colima, el de Tepic y el de Chapala. En el Extremo Oriental se presentan aparatos volcánicos tales como el Pico de Orizaba, el Cofre de Perote, y la Caldera de Los Humeros. En la parte Central, se presentan un gran número de estratovolcanes, tales como : El Popocatepetl, Iztaccihuatl, Nevado de Toluca y Ajusco, además de grandes campos volcánicos monogenéticos. Es en ésta parte donde se ubica el área de estudio del presente trabajo.

Dentro de la parte central de la FVTM se ubica una sub-provincia fisiográfica, conocida como la Cuenca de México (FIG. 3.1). Esta tiene con una dirección NNE - SSW y un área aproximada de 6 000 Km², se encuentra ubicada entre las coordenadas 19° y 20° Latitud Norte y 98°30' y 99°30' Longitud Oeste aproximadamente. Está limitada al Norte por la Sierra de Pachuca, al Este por la Sierra de Río Frio, Santa Catarina y Nevada, al Oeste por las Sierras de Las Cruces y el Ajusco y al Sur por la Sierra de Chichinautzin.

La Cuenca de México, que originalmente fuera denominada como un valle, es una cuenca endorreica, que por necesidades urbanas al albergar a la Ciudad de México, cuenta con un sistema de desagüe o drenaje artificial. Mooser (1975) considera que anteriormente el drenaje de la cuenca era en dirección sur, hacia el Valle de Cuernavaca, y así el Valle de México, deja de serlo cuando se forma la Sierra del Chichinautzin, la cual separa el Valle de México con el de Cuernavaca., generándose un gran lago y con ello el depósito de sedimentos lacustres. Tlalpan se ubica al sur de ésta subprovincia de la Cuenca de México.

3.2 Marco Geológico Regional.

En el área de Tlalpan, afloran principalmente rocas volcánicas plio-cuatemarias pertenecientes a la FVTM. Para establecer el marco geológico regional que explique la presencia de los materiales volcánicos en la zona, se realizó el análisis de las



Franja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM)



Cuenca de México

FIGURA 3.1 UBICACIÓN DE LA CUENCA DE MÉXICO DENTRO DE LA FVTM

diversas teorías o modelos propuestos para establecer el origen y evolución de la Franja Volcánica Trans-mexicana, haciendo especial énfasis en la zona central de la misma. Antes es necesario señalar que el objetivo del presente trabajo no pretende el postular ni emitir hipótesis al respecto.

Numerosos son los estudios en los cuales se ha tratado de establecer la edad del vulcanismo de la FVTM. Algunos autores han mencionado que es posible reconocer hasta tres fases de vulcanismo en México : una fase cretácica, una oligo-miocénica y una fase plio-cuaternaria (Demant, 1976), aunque la mayoría sólo reconoce dos fases, la fase oligo-miocénica y la fase plio-cuaternaria, en las cuales se observa una evolución espacio-química-temporal (Nixon, 1987, Cameron, 1987, Mooser, 1974, Negendank, 1972).

Para tratar de definir el origen de la FVTM, se han generado diferentes hipótesis, algunas de las cuales se mencionan a continuación de manera general y breve :

Mooser (1958), propone que la estructura se debe a una prolongación de la Falla Clarión, desde el Océano Pacífico. Mooser (1969), propone la teoría de la 'Geosutura Precámbrica', debajo de la cual se debía presentar un fenómeno de calentamiento diferencial de la corteza; posteriormente en 1972, el mismo autor, sugiere que la geosutura, pudo haber sido reactivada por la subducción a lo largo de la costa Oaxaca-Guerrero.

Gastil y colaboradores, (1973), proponen que el vulcanismo corresponde a un sistema de fallas transcurrentes dextrales de dirección casi N-S, asociado al sistema de apertura del Golfo de California.

Sin embargo, la teoría con mayor aceptación a nivel científico, es el modelo de Subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa de Norteamérica, la cual ha sido apoyada por diversas investigaciones tanto en México como en otros lugares del mundo. Actualmente es posible encontrar diversos artículos científicos tanto paleomagnéticos, estructurales, geoquímicos, sísmicos, geotérmicos, mineros; los cuales aportan datos que tratan de sustentar dicho modelo.

La FVTM, está considerada como un arco volcánico, que a diferencia de otros arcos típicos del anillo circumpacífico, presenta una gran particularidad : la disposición superficialmente oblicua con respecto a la trinchera de subducción (Contorno de la Costa Oaxaca-Guerrero-Michoacán). Por lo cual diversos investigadores ha generado teorías tratando de explicar esta particularidad, en tales teorías involucran diversos parámetros tales como la variación del ángulo y la velocidad de subducción (Urrutia y Del Castillo, 1975), o el movimiento relativo entre México y la Placa Norteamericana (Urrutia y Pal, 1977), así como el movimiento entre la Placa Norteamericana y la Placa del Caribe (Demant, 1978).

Para efectos del presente estudio se considera que la formación de la FVTM, donde se encuentra ubicada el área de estudio, debe su origen al proceso de subducción de la porción Norte de la Placa de Cocos debajo de la Placa de Norteamérica y que específicamente el material volcánico presente en Tlalpan es de edad Plio-cuaternaria, siendo éste una de las últimas etapas de vulcanismo, el cual parece haber tenido una migración de Norte a Sur, en el antiguo Valle de México. (Nixon et al., 1987), y de manera general en la parte central de la FVTM.

3.3 Geomorfología.

Para la evaluación y análisis del relieve en el área de estudio, es necesario el conocimiento de los 2 diferentes tipos de procesos que actúan sobre la superficie terrestre modelando su forma.

Los procesos Endógenos o Constructivos, relacionados con fuerzas o agentes que actúan desde el interior de la corteza, tales como : el vulcanismo y/o magmatismo, y los efectos tectónicos; además de los procesos Exógenos o también llamados Destructivos (aunque también pueden ser de carácter constructivo), los cuales se deben a la acción de distintos fenómenos que actúan directamente sobre la superficie terrestre, como ejemplo los fenómenos meteorológicos que provocan intemperismo, erosión y depósito.

En el área de Tlalpan, como ya se ha mencionado en apartados anteriores, el relieve predominante, es montañoso debido a diferentes eventos volcánicos plio-cuaternarios.

De manera regional y general, se pueden distinguir de acuerdo a su topografía y valor de sus pendientes en el terreno, principalmente dos zonas : Una zona de planicie al NE de la Delegación, en donde se encuentra asentada una gran parte del área urbana y una zona montañosa que caracteriza el relieve actual en el área del sureste de la Cd. de México, como ejemplo podemos mencionar los aparatos volcánicos Ajusco y el Xitle, que son monumentos geológicos característicos del paisaje meridional en la Cd. de México.

Lugo-Hubp (1984), menciona el término de 'Procesos Endógenos modelados', para describir a las " formas volcánicas que ya han sido transformadas sustancialmente por la erosión ". Lo anterior parece ser válido considerando que, aún cuando el vulcanismo es muy joven (plio-cuaternario), los diversos efectos erosivos han estado presentes en todo momento.

Procesos Endógenos

El vulcanismo es el proceso endógeno responsable de la formación de los diferentes aparatos volcánicos ubicados dentro y en los límites de Tlalpan. (TABLA 3.1 y FIG. 3.2). En la tabla y figura subsecuentes, se anotan y localizan algunos de estos aparatos volcánicos.

**TABLA 3.1
UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS APARATOS VOLCÁNICOS EN LA
DELEGACIÓN POLÍTICA TLALPAN, D.F.**

NOMBRE	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	LATITUD N	LONGITUD W
Cerro Cuilotepec	2 850	19° 16' 03"	99° 14' 03"
Cerro Xochitepec	2 500	19° 15' 24"	99° 08' 20"
Cerro Cuatectlán	2 400	19° 14' 49"	99° 08' 53"
Volcán Xitle	3 150	19° 14' 41"	99° 13' 19"
Volcán Xicotliltle	3 050	19° 14' 39"	99° 13' 39"
Volcán Cuatzontle	2 970	19° 14' 22"	99° 12' 44"
Cerro La Magdalena	2 940	19° 13' 38"	99° 11' 08"
Volcán Yololica	3 070	19° 13' 13"	99° 10' 44"

Volcán Mali Nai	3 170	19° 13' 20"	99° 13' 03"
Volcán Ajusco	3 930	19° 12' 23"	99° 15' 29"
Cerro Los Picachos	3 680	19° 12' 31"	99° 18' 20"
Cerro Cruz de Morillos	3 630	19° 11' 22"	99° 18' 12"
Cerro Mezontepec	3 480	19° 11' 17"	99° 13' 45"
Cerro Judío	3 400	19° 10' 50"	99° 16' 13"
Volcán Oyameyo	3 320	19° 10' 34"	99° 10' 46"
Cerro Quepil	3 580	19° 09' 49"	99° 17' 03"
Volcán Malacatepétl	3 450	19° 09' 49"	99° 15' 22"
Volcán Toxtepec	2 960	19° 09' 39"	99° 09' 00"
Volcán Texocol	3 380	19° 09' 07"	99° 13' 48"
Volcán Pelado	3 620	19° 09' 02"	99° 13' 02"
Volcán Ocopiáxco	3 310	19° 07' 06"	99° 09' 56"
Cerro La Cima	3 080	19° 06' 41"	99° 11' 37"
Cerro El Guarda	3 200	19° 06' 35"	99° 09' 34"
Cerro Tepeyahualco	3 080	19° 06' 35"	99° 14' 04"
Volcán Chichinautzin	3 470	19° 05' 20"	99° 08' 12"
Volcán Tesoyo	3 190	19° 05' 50"	99° 13' 32"
Volcán Tuxtepec	3 150	19° 07' 51"	99° 16' 47"
Volcán El Hoyo	3 170	19° 05' 19"	99° 10' 05"
Volcán Manteca	3 230	19° 05' 20"	99° 10' 40"
Volcán El Palomito	3 200	19° 05' 31"	99° 10' 59"
Volcán El Caballito	3 200	19° 05' 17"	99° 10' 53"
Volcán Cajete	3 150	19° 06' 14"	99° 14' 43"
Volcán Raíces	3 190	19° 06' 14"	99° 15' 22"
Volcán Jumento	3 850	19° 12' 33"	99° 18' 51"
Cerro Mateo	3 780	19° 11' 49"	99° 19' 25"

La actividad volcánica, en general se manifiesta de forma : Efusiva y/o Explosiva. Cada una de las volcánicas da lugar a diferentes formas constructivas del relieve. En el área de estudio se cuenta con ambas formas representativas del vulcanismo de carácter efusivo y explosivo.

El relieve volcánico de tipo efusivo, es aquel formado por el enfriamiento y solidificación de lava puesta en superficie por medio de un cráter o fisura. El enfriamiento de la lava en la superficie da origen a diversas formas, dependiendo de las características o propiedades físicas de la misma (de los valores de viscosidad, principalmente) y del relieve pre-existente. Entre las formas más comunes formadas por éste tipo de actividad podemos mencionar las mesetas y flujos, así como los lagos de lava.

Gran parte de la superficie de Tlalpan, está cubierta por extensos flujos de lava, provenientes de volcanes como el Xitle, particularmente sobre este flujo sobre el cual se asienta la población urbana de Tlalpan y además parte de los habitantes de las delegaciones vecinas Alvaro Obregón y Coyoacán, incluyendo el área en que se encuentran las instalaciones de Ciudad Universitaria ; el flujo proveniente del volcán Pelado o del Yolollica, sobre las cuales se asientan habitantes de las zonas suburbanas : Magdalena Petlalcalco y San Miguel Xicalco.

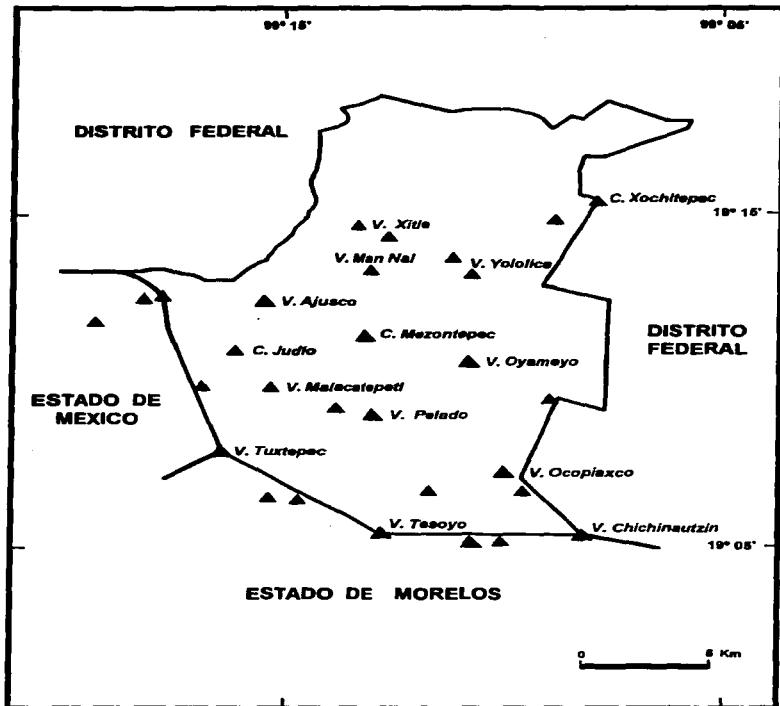


FIGURA 3.2 UBICACIÓN DE ALGUNOS APARATOS VOLCÁNICOS EN TLALPAN

TABLA 3.2 PRINCIPALES DEPÓSITOS DE FLUJO DE LAVA EN TLALPAN, D.F.

VOLCÁN	ÁREA CUBIERTA (Km ²)	DISTANCIA DESDE EL CENTRO DE EMISIÓN	MÁXIMA DE (Km)	ÁREA CUBIERTA EN TLALPAN (Km ²)
XITILE	90		13.0	44
PELADO	66		7.0	66
CHICHINAUTZIN	118		11.0	06

El relieve volcánico explosivo, se forma por la acumulación y/o depósito de material de origen volcánico que ha sido expulsado de manera violenta por medio de un cráter o conducto. Entre las formas del relieve más representativas de éste tipo de actividad se presentan las : Planicies de material Piroclástico y los Conos Cineríticos.

Las coberturas piroclásticas se forman por el depósito de tefra y ceniza, que es expulsado hasta grandes distancias del cráter. Este material cubre un relieve pre-existente, suavizando la topografía, y en muchos casos forma planicies aptas para la agricultura. Ejemplos de éstas coberturas piroclásticas son, las planicies que rodean a los volcanes : Mali Nal, Oyameyo, Ocopixco y Tesoyo.

TABLA 3.3 PRINCIPALES ÁREAS DE PLANICIES PIROCLÁSTICAS EN TLALPAN, D.F.

VOLCÁN	ÁREA CUBIERTA (Km ²)	DISTANCIA DESDE EL CENTRO DE EMISIÓN	MÁXIMA DE (Km)	ÁREA CUBIERTA EN TLALPAN (Km ²)
MALI NAL	7.5		4.5	7.5
OYAMEYO	20		3.6	20
OCOPIAXCO	21		6	21
TESOYO	7		1.6	3.4
MALACATEPETL	12.5		4.3	12.5

Los Conos Cineríticos por su parte, son aparatos volcánicos formados de manera simétrica, por arreglos de tefra principalmente y algunas lavas, lo que les proporciona laderas rectas. Estos aparatos son los más comunes en el área y como ejemplo pueden mencionarse entre otros a los volcanes Xitle, Pelado, Malacatepétl y Mali Nal, los cuales dada su edad reciente, aún conservan su topografía cónica casi intacta.

Los casos que combinan la actividad efusiva y explosiva, producto de éstos tipos de vulcanismo son las coberturas piroclásticas de espesores muy delgados que cubren parcialmente a algunos flujos de lava, en éste caso, podemos mencionar el área alrededor de los volcanes Mezontepéc, Judío, La Magdalena-Yololica y Tuxtépéc. También un ejemplo de los dos tipos de actividad combinados, lo refleja el volcán Ajusco, el cual es el único estratovolcán en el área y constituye la máxima elevación y elemento representativo en Tlalpan.

TABLA 3.4 DEPÓSITOS DE FLUJOS DE LAVA CON COBERTURA PIROCLÁSTICA

FLUJO DE LAVA DERIVADO DEL VOLCÁN	ÁREA CUBIERTA (Km ²)	DISTANCIA MÁXIMA (Km)	ÁREA CUBIERTA EN TLALPAN (Km ²)
Magdalena-Yololica	16	4	16
Mezontepc	10	4	10
Tuxtepec	12.5	2	07

Procesos Exógenos

Entre los procesos exógenos que ayudan a modelar el relieve se mencionan la Erosión y el Intemperismo.

Aún cuando los procesos exógenos pueden ser considerados como fenómenos destructivos del relieve, es necesario el aclarar que el Relieve Exógeno puede ser tanto destructivo como constructivo. Será destructivo, cuando los procesos erosivos predominen en el área y constructivo cuando se tengan las características propicias para la acumulación del material que provenga de alguna fuente pre-existente.

En Tlalpan, una ejemplo representativo de una forma de relieve destructivo es el conocido como Cerro de Xochitepec (Al costado Este del H. Colegio Militar), el cual es un aparato volcánico que presenta un alto grado de intemperismo y que ha sido erosionado hasta perder su forma original. Lugo Hubp (1984) lo denomina como " Una ruina volcánica, con forma de anfiteatro donde son especialmente intensos los procesos gravitacionales ".

Otro ejemplo corresponde al volcán Ajusco, un estratovolcán de composición dacítico-andesítico, que constituye la mayor elevación dentro de Tlalpan; el cual está constituido por un gran volúmen de diversos materiales igneos. Actualmente éste aparato volcánico, ya no está en su fase constructiva, debido a su carácter de inactividad, por lo que en él ahora se manifiestan rasgos de relieve destructivo, ya que lo afectan diversos agentes erosivos.

En el área de estudio, debido a la relativa juventud de las geoformas, no se ha desarrollado un sistema de drenaje bien delineado. Existen solamente 4 corrientes o arroyos que llevan agua de manera permanente o semi-permanente : el Río Eslava, el San Buenaventura, el de San Juan de Dios y El Zorrillo, los cuales a excepción del Zorrillo, tienen porciones que han sido canalizadas y entubadas por el Departamento del Distrito Federal (FIG. 3.3). Aunque también pueden contarse un gran número de escorrentías o corrientes perennes, los cuales sólo llevan agua en época de lluvia y en poca cantidad, son cauces incipientes y de poca extensión por donde escurre el agua, los cuales están controlados principalmente por las pendientes volcánicas y en algunas ocasiones por grietas en las coladas de lava.

Al NW-W del área, en los límites de la delegación, se observan otro tipo de geoformas : las laderas de lava. Estas laderas de lava pertenecientes al sistema de la Sierra de Las Cruces (de edad Terciaria), han adquirido su configuración actual por procesos de erosión fluvial, que forman barrancas estrechas por donde, en algunos casos, se manifiestan pequeños arroyos que desembocan al Río Eslava (Limite W de la Delegación Tlalpan).

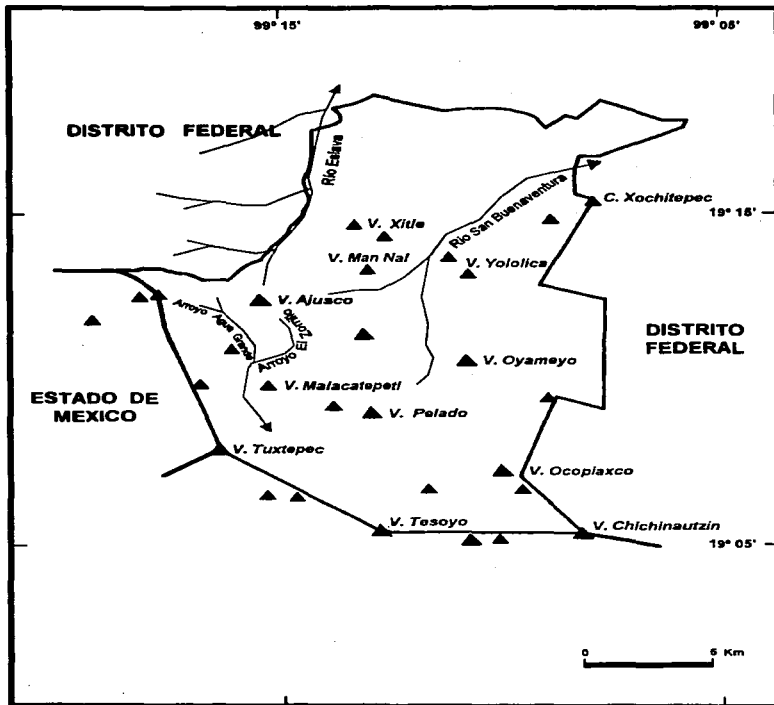


FIGURA 3.3 RÍOS Y ARROYOS PRINCIPALES EN TLALPAN

El Río Eslava corre de sur a norte, y es afluente del Río Magdalena, éste último con orientación NE y desemboca hacia el centro de la cuenca.

Son pocas las corrientes que atraviesan el límite de la delegación, entre los cuales se encuentran el arroyo El Agua Escondida, el Chicuautila que drena por la Cañada Tejocote, el Chichicasca que drena por la Cañada Tlalpuente y el Viborillas que drena hacia la zona de Los Picachos al W del Ajusco.

La erosión por acción del hielo, ha estado restringida a la cima del Ajusco, en la cual se han reportado 4 glaciaciones (White, et al. 1991) : la del Marqués, la de Santo Tomás, la del Albergue y la Neoglaciación, todas a partir del Plioceno Superior, las cuales le han dado la configuración topográfica actual. Asimismo, por medio de éste agente erosivo se tienen algunas pequeñas formas de relieve acumulativo, debidas a los depósitos de morrenas laterales, basales y frontales a lo largo de los valles por donde fluyeron los glaciares y que son representativos de cada una de las glaciaciones antes mencionadas.

En cuanto al relieve acumulativo, también podemos mencionar una pequeña porción al NE de Tlalpan, en el área urbana conocida como Villa Coapa, el cual pertenece a la zona lacustre de la Cuenca de México, específicamente a la zona del Lago de Xochimilco. Es exógeno acumulativo debido a que en ella descargan algunas corrientes provenientes de la zona montañosa de la Sierra del Chichinautzin, que traen consigo material de origen volcánico, principalmente material piroclástico.

Es necesario mencionar que gran parte de la porción norte de Tlalpan, ha sufrido una gran modificación de su relieve original, por la acción del hombre que se ha asentado en dicho lugar, cubriendo la zona con grandes construcciones y superficies de asfalto, con lo cual ha modificado de manera significativa tanto el drenaje, la flora y fauna original del lugar y de manera general el paisaje.

3.4 Estratigrafía

Existe un gran número de trabajos publicados (CAPITULO I), sobre diferentes estudios efectuados para conocer la historia, formación y evolución geológica de la Cuenca de México.

Referente a la estratigrafía, se han realizado algunos intentos por definir de manera regional algunas de las diferentes unidades litoestratigráficas, agrupando las rocas o unidades en formaciones y grupos muchos de los cuales aún deben considerarse como unidades informales, ya que en su gran mayoría, no cumplen con los requisitos señalados para la nomenclatura formal, estipulada por el Código de Nomenclatura Estratigráfica.

Dado que el objetivo de la presente tesis no es la de proponer ni establecer una secuencia estratigráfica detallada, se utilizan los datos generados por estudios previos al respecto, los cuales aún deben profundizarse, en especial para la evaluación de zonas de riesgo.

En el área de estudio afloran esencialmente : Rocas volcánicas de composiciones que varían de intermedio a básico, depósitos lacustres, aluvión y suelos, todas ellas de edades plio-cuaternarias, sin embargo, por los conocimientos de la geología del Valle de Cuernavaca (Plataforma Morelos-Guerrero) y con datos obtenidos en las perforaciones realizadas dentro de la Cd. de México (Pozos PEMEX: Tulyehualco, Mixhuca y Copilco), se infiere la presencia de materiales de naturaleza sedimentaria, tanto depósitos continentales como marinos pre-pliocénicos, los cuales constituyen la estratigrafía del subsuelo en la zona.

MESOZOICO

Cretácico

Formación Morelos (Albiano - Cenomaniano)

La formación fue propuesta por Fries Jr. (1960), consta de una sucesión de calizas y dolomías interestratificadas, con presencia de pedernal en lentes y nódulos, así como la presencia de algunos fósiles silicificados, además de anhidrita. La coloración de éstas rocas varía del gris claro a negro, y se detectan procesos de dolomitización. Esta unidad pertenece a un depósito sedimentario marino de facies de plataforma carbonatada. Esta formación aflora al sur de la Sierra Chichinautzin y en la perforación del pozo Mixhuca-1, se cortó esta unidad a 2 060 m., mientras que en el pozo Tulyehualco-1 fue a 2 160 m. (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989)

Formación Cuautla (Turoniano - Cenomaniano tardío)

La formación fue propuesta por Fries Jr. en 1960. La unidad consta de calizas con diversos tipos de estratificación, que va de gruesa a laminar y con presencia de material clástico. Esta unidad es similar en la estratificación y textura a la ya descrita formación Morelos, aunque con la peculiar característica de ausencia de dolomita. La coloración de las rocas varía entre una gama de tonos grises, siendo posible observar nódulos y lentes de pedernal. La unidad pertenece a un depósito sedimentario marino de facies de banco calcáreo. Esta formación aflora en la parte sur de la Sierra de Tepoztlán (al sur de Tlalpan), en los pozos Mixhuca-1 y Tulyehualco-1, se reporta a profundidades de 1 575 m. y 2 100 m., respectivamente. (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, op. cit.)

Formación Mexcala (Turoniano - Coniaciano temprano)

Propuesta por Fries Jr., en 1960. Esta formación consta de una secuencia interestratificada de lutitas, limolitas, areniscas y algunos lentes de caliza. La variación litológica comprende una zona basal de tipo carbonatada la cual va variando a una secuencia clástica hacia las partes más jóvenes de la formación. La coloración presente es variable entre el gris claro al rojizo. La unidad corresponde a un depósito sedimentario marino del tipo flysch. Es posible encontrar dicha formación aflorando hacia el sur de la Sierra Chichinautzin, y en el pozo Mixhuca-1, se encontró a una profundidad de 1 720 m. (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, op. cit.)

CENOZOICO

Terciario

Grupo Balsas (Eoceno tardío - Oligoceno temprano)

Propuesto por Fries Jr., en 1960 (Fries, op. cit.) En los diferentes trabajos publicados, se le ha denominado como Grupo Balsas a un conjunto de diferentes unidades litológicas, los cuales al parecer han podido ser considerados como una misma

TABLA ESTRATIGRAFICA DEL AREA DE ESTUDIO, TLALPAN, D.F.

EDAD Ma.	ERA	PERIODO	EPOCA	FORMACION	EDAD Ma.		
0.01	CENOZOICO	Cuaternario	Holoceno	Grupo Chichimeztin	0.7		
1.6			Pleistoceno	Depósitos Lacustres	1.6		
5.3		Terciario	Plioceno	Formación Ajusco	Fm. Tarango	3.4	
				Andesita Zampale	Formación Las Cruces	5.3	
			Mioceno	(Hatched area)			16.6
23.7			Oligoceno	Formación Xochitepec			30.0
36.6			Eoceno	Grupo Balsas			40.0
57.6				(Hatched area)			
66.4				Paleoceno	(Hatched area)		
97.5			MESOZOICO	Tardío	Formación Mexcala		97.6
	Formación Cuautla				91.0		
	Cretácico	Formación Morelos			113.0		
144.0		Temprano	(Hatched area)				

unidad, a pesar de su diversidad. La unidad litoestratigráfica de "Grupo", es el rango o jerarquía superior a la formación, y debe estar constituido por un conjunto de formaciones, según lo estipulado en el Código de Nomenclatura Estratigráfica propuesto para Norteamérica. Este Grupo Balsas, no cumple con los requisitos para ser denominado como grupo, sin embargo, en el actual estudio, seguirá tratándose como grupo a este conjunto de rocas.

La unidad incluye rocas tales como : calizas lacustres, capas de yeso, aglomerados, conglomerados, areniscas, limolitas, arcillitas y depósitos piroclásticos, además de algunas lavas interestratificadas. Debido a la diversidad de rocas, la coloración varía de la misma manera.

El Grupo Balsas estratigráficamente sobreyace a la Formación Mexcala en discordancia angular. Y subyace a la Riolita Tizapotla, por esta posición estratigráfica, se le ha asignado una edad no muy precisa de Terciario Inferior : Eoceno tardío a Oligoceno temprano.

Formación Xochitepec (Oligoceno tardío - Mioceno temprano)

Propuesta por Mooser en 1956, de manera completamente informal propone el nombre de Formación Xochitepec para un conjunto de depósitos piroclásticos (tobas), brechas volcánicas y lavas, de complejos volcánicos que muestran señales de erosión avanzada, los cuales se encuentran rodeados y/o cubiertos por lavas del pliocuaternario.

El afloramiento más representativo es en el Cerro de Xochitepec, dentro del área de Tlalpan, a un costado de las instalaciones del H. Colegio Militar. La composición de este conjunto de rocas varía de andesítica a riocácitica.

En un gran número de trabajos y publicaciones, el término de Formación Xochitepec, no ha sido utilizado, sino que lo refieren como un conjunto de 'Rocas Volcánicas del Mioceno' (Schalepfer, 1968; Vázquez-Sánchez, op. cit.), pero dada la presencia del Cerro Xochitepec en el área de estudio, se decidió incorporarla como una unidad representativa, aún cuando sea considerada como informal.

La edad asignada a la unidad es de Oligoceno tardío a Mioceno temprano, de acuerdo a datos de fechamientos reportados en trabajos previos. (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, op. cit.).

Andesita Zempoala (Plioceno)

Propuesta por Fries Jr. en 1960, para una secuencia de rocas volcánicas de composición andesítica. Esta secuencia forma la expresión morfológica conocida como la Sierra de Zempoala, en el Edo. de Morelos, la unidad no aflora dentro de los límites de la delegación política Tlalpan del D.F., sin embargo por su relativa cercanía al área, se decidió incluirla en la secuencia estratigráfica establecida para el área.

La unidad muestra una coloración gris y consta de andesitas y brechas volcánicas de la misma composición, y en algunos sitios se observa interestratificación con depósitos de lahar (Fries, 1960). La edad de la unidad sólo ha sido establecida por su posición estratigráfica con relación a las rocas volcánicas del campo volcánico Chichinautzin y de los depósitos que comprenden la Formación Tepoztlán del Oligoceno.

Formación Las Cruces (Plioceno tardío)

Propuesta por Schlaepfer en 1968; la unidad consta del conjunto de rocas volcánicas que forman la expresión morfológica conocida como Sierra de Las Cruces (al W de la Cd. de México), la cual proviene de centros eruptivos alineados con una dirección NW-SE (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, op. cit.). Es una secuencia de brechas volcánicas y derrames lávicos de composición andesítica y hacia la cima algunas rocas de composición riódacítica a dacítica, además de algunos depósitos de material piroclástico de composición heterogénea.

Esta formación ha sido dividida en dos miembros (Delgado y Martín del Pozzo, 1993):

a) Brecha piroclástica Cantimplora, un depósito consolidado o soldado de composición dacítica, producto de un flujo piroclástico de bloques y cenizas, intercalado con depósitos no consolidados de lahares, los cuales se encuentran rellenando canales y están compuestos de bloques angulares a subangulares de ± 30 cm. hasta 1 m. de diam.

b) Lava dacítica Apilulco, este miembro se compone de varias unidades de flujo de lava de composición dacítica, con algunos depósitos de lahar intercalados de manera irregular.

Sin embargo, en otros trabajos se reportan otro tipo de depósitos piroclásticos para esta unidad, tales como depósitos de oleadas piroclásticas y pómez de caída, con algunas coberturas de material aluvial y depósitos fluviales.

En el Pozo Copilco-I, se encontró dicha unidad a profundidades desde los 25 y hasta los 510 m. (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, op. cit.). La formación se encuentra sobreyaciendo rocas del Mioceno y subyaciendo a las rocas volcánicas del plio-cuaternario, entre ellas a la Formación Ajusco y a las rocas volcánicas del grupo Chichinautzin. De acuerdo a algunos fechamientos realizados en el área, con el método K-Ar, que han dado resultados de 1.79 ± 0.1 y 2.87 ± 0.15 Ma. (Mora et al., 1987), permite asignar a la Formación Las Cruces con una edad Plioceno - Pleistoceno temprano.

Formación Tarango (Plioceno tardío - Pleistoceno)

La unidad fué propuesta por Segerstrom en 1961. Esta formación está constituida por sedimentos arenosos poco consolidados los cuales están alternados con algunas limolitas, depósitos de flujos de lava y material piroclástico; es una unidad caótica, a la que por su posición estratigráfica se le asignó una edad de Plioceno tardío - Cuaternario (?) (Fries, op. cit.). La unidad se forma por el depósito de material fluvio-lacustre y aluvial en la zona del valle a lo cual se incorpora material ígneo procedente de la Sierra de Las Cruces.

Mooser en 1996, sugiere la presencia de esta formación en el área de Tlalpan, marcando la zona de transición entre los productos volcánicos Chichinautzin y los depósitos lacustres recientes. En otros trabajos (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, op. cit.) no se menciona dicha formación, sino solo se describe como: "depósitos piroclásticos y clásticos fluviales del Plioceno, con lentes locales de tierra diatomácea, margas y arcillas lacustres e interdigitados con unidades volcánicas de la misma edad".

Y aunque no se observó directamente aflorando dicha formación, se decidió en el presente trabajo incluiría dentro de la columna estratigráfica del área, ya que es posible su presencia en el subsuelo.

Cuaternario

Formación Ajusco (Pleistoceno temprano - Pleistoceno Medio)

La unidad fue propuesta por Mooser en 1962, con el nombre de 'Andesita Ajusco', aunque en 1968, Schlaepfer, la define como Formación Ajusco. (Delgado y Martín Del Pozzo, 1993), y se refiere a los distintos materiales que conforman al aparato volcánico del mismo nombre. La formación consta de depósitos de flujos de lava de composición andesítica, de coloración parda gris y textura porfirítica, en la cual son observables fenocristales de plagioclasas, y con contenido de oxihomblanda asociada; además de los depósitos anteriores se encuentran intercalados depósitos piroclásticos de composición andesítica con las andesitas. Hacia las porciones más elevadas del edificio volcánico, en el domo de Santo Tomás, es factible encontrar rocas de composición más ácida, las cuales han sido reportadas por otros autores como dacitas. En un estudio reciente se ha descrito e identificado como parte de esta formación una nueva unidad constituida como un depósito de avalancha, derivado del volcán Ajusco (Cervantes y Molinero, 1995). Estos depósitos se deben al colapso estructural del edificio volcánico, aunque aparentemente no se asocia con actividad eruptiva. Dichos autores identifican tanto facies proximales como distales del depósito, aunque los afloramientos son escasos, y se estimó una extensión lineal de hasta 16 kms., un espesor máximo de 80 m. y un volumen de 1.4 km³, siendo un afloramiento de estos depósitos el conocido como Cerro Zacatépétl (al sur de Cd. Universitaria), el cual constituye un lomerío remanente que testifica ese evento (hummock) (Cervantes y Molinero, op.cit.). Otros depósitos asociados a la Formación Ajusco, son los generados por los procesos de erosión glacial en las zonas conocidas como Valle del Águila y Valle de Santo Tomás, todos ellos debidos al efecto de las diferentes glaciaciones en el área : Glaciación Marqués, Glaciación Santo Tomás, Glaciación Albergue y el periodo de Neoglaciación. Estos depósitos están constituidos por fragmentos andesítico-dacíticos, subangulosos soportados por una matriz arenosa. A estos depósitos específicamente de les ha asignado una edad de 30 000 a. (White et al., 1990). La edad inicialmente asignada a esta formación fue Mioceno-Plioceno (Schlaepfer, op. cit.), sin embargo, estudios más recientes basados en la variación en los flujos o campos magnéticos o de polaridad magnética, se han permitido asignarle una edad máxima de 0.73 Ma. (Martín del Pozzo, 1984). Mora et al. en 1987, obtiene un fechamiento en una roca basáltica en el flanco S del Ajusco de 0.394 ± 0.155 Ma., lo cual permite establecer una edad Pleistoceno temprano a medio.

Grupo Chichinautzin (Pleistoceno medio - Holoceno)

Este grupo fue propuesto por Fries en 1960; para describir una secuencia de productos volcánicos asociados a volcanes monogenéticos de edad cuaternaria, con características morfológicas bien definidas. Sin embargo, en algunos trabajos posteriores, se han tratado de diferenciar las diferentes unidades que conforman la secuencia, por lo que es ahora válido considerarlo con el rango de Grupo.

Estos depósitos afloran en más del 90 % del área de Tlalpan y conforman el rasgo geomorfológico conocido como la Sierra Chichinautzin, la cual separa al Valle de Cuemavaca de la Cuenca de México, al S de la Cd. de México, con una orientación E-W, atravesando no sólo el área de la delegación Tlalpan sino también las de Xochimilco y Milpa Alta.

**SECUENCIA ESTRATIGRAFICA PLIO-CUATERNARIA
DEL AREA DE ESTUDIO, TLALPAN, D.F.**

EDAD Ma.	ERA	PERIODO	EPOCA	FORMACION			EDAD Ma.
0.01	CENOZOICO	Cuaternario	HOLOCENO	Grupo Chichimalcázin	Unidad 6	Depósitos Lacustres	0.7
			PLEISTOCENO		Unidad 4		
Terciario	PLIOCENO	Formación Tarango		Formación Ajusco	Unidad 3		Depósitos Glaciares
			Unidad 2		Depósito de Avalancha		
1.60					Unidad 1	Depósitos Volcánicos	
					Formación Las Cruces		

De manera general el grupo está constituido por rocas volcánicas de composición dacítica, andesítico-basálticas y basaltos de olivino y oxihornblenda, producto de flujos de lava muy extensos, de apariencia masiva y vesicular, con coloraciones en tonos del gris claro a oscuro, y texturas que van desde porfirítica a afanítica de grano medio y fino, observándose cristales de olivino y piroxenos en una matriz vítrea y microcristalina. Estas rocas se encuentran intercaladas con una diversidad de depósitos piroclásticos de composición intermedia, generados por erupciones estrombolianas y surtseyanas. (Martín del Pozzo, 1980).

Con estudios de polaridad magnética, se determinó una polaridad normal (Mooser et al., 1974), con el cual se asignó una edad menor a 0.73 Ma.. Con fechamientos isotópicos de ^{14}C , se han obtenido edades que van desde $38\,590 \pm 3210$ a. hasta 8440 ± 70 a. (Bloomfield, 1975), y 2422 ± 250 a. edad obtenida en las lavas provenientes del Xitle, datos que confirman lo anterior. Por lo que el rango de edad para este grupo es del Pleistoceno medio al Holoceno.

Martín del Pozzo. (1984) realizó una diferenciación del Grupo Chichinautzin en 5 diferentes unidades, datos en los cuales se basa la estratigrafía cuatemaria para el presente trabajo, y se describe brevemente a continuación :

Unidad 1

Dicha unidad es la más antigua dentro del grupo, con una edad de 38.6 ± 3.2 Ka. (Bloomfield, 1975). Los rasgos geomorfológicos de las diferentes estructuras muestran un grado avanzado de erosión con respecto a las estructuras más recientes, además del desarrollo de suelo fértil sobre estos materiales, los que han sido utilizados con fines agrícolas. La unidad comprende las áreas ocupadas por: el volcán Mezontepec (al SE del Ajusco), volcán Ocopiaxco (en el S de Tlalpan), en el área de El Guarda, volcán Oyameyo (al SW del poblado de San Miguel Topilejo) y el volcán Quepil (en el límite SW de la delegación).

El volcán Quepil está constituido por andesitas de oxihornblenda, las cuales se encuentran sobreyaciendo directamente a la Formación Las Cruces. El volcán Oyameyo está formado por rocas andesíticas grises con textura vesicular, las cuales presentan una cobertura de depósitos piroclásticos de tamaño de ceniza a bloques. Una porción cercana al área ocupada por este volcán se encuentra parcialmente cubierta por depósitos piroclásticos y lávicos de volcanes más jóvenes. El volcán Ocopiaxco está constituido por rocas andesíticas de oxihornblenda y augita alternadas con depósitos piroclásticos, algunas zonas están cubiertas por material derivado de otros volcanes y por una capa de suelo. El volcán Mezontepec presenta rocas andesíticas de augita y oxihornblenda, de textura vesicular y coloración gris, parcialmente cubiertas por depósitos provenientes de los volcanes Pelado y Mali Nal.

Unidad 2

También pleistocénica, con una edad reportada de 30.5 ± 1.1 Ka., obtenidas por el método de ^{14}C (Bloomfield, 1975). Constituye la porción Oeste del campo volcánico Chichinautzin. Esta unidad comprende al área ubicada por: volcán Malcatepetl (al S del volcán Ajusco), el volcán Muñeco (fuera de los límites de Tlalpan al W), el volcán Mali Nal (inmediatamente al W de la población de San Miguel Ajusco), el volcán Cuautzontle (al N de la población anteriormente mencionada y al E del Xitle), y el volcán Toxtepec (en el límite E de la delegación, a un costado de la autopista México-Cuernavaca). El volcán Cuautzontle se encuentra prácticamente cubierto por depósitos más recientes provenientes del volcán Xitle; sus productos consisten de rocas volcánicas de composición basáltica, con cristales visibles de olivino. El volcán Mali Nal, debido a su

cercanía al volcán Xitle, también está parcialmente cubierto por sus productos, está compuesto de rocas de composición andesítica basáltica, de coloración gris y textura vesicular, alternada con una secuencia de depósitos piroclásticos de diversos tamaños. El volcán Malacatepétl, está constituido por andesitas de augita e hiperstena, las cuales se encuentran sobreyaciendo directamente a la Formación Las Cruces y a su vez se encuentran parcialmente cubiertas por depósitos de volcanes más jóvenes. El volcán Zorrillo, está conformado por rocas volcánicas de composición andesítico basáltica, con fenocristales de plagioclasa y exfoliación esferoidal.

Unidad 3

A esta unidad se le asignó una edad de 21.8 ± 0.3 Ka. (Bloomfield, 1976). La unidad comprende el área ubicada por lo aparatos volcánicos : el volcán Yololica (al E del poblado de San Miguel Ajusco), los volcanes Tuxtepec, Raices, Cajete y Tepeyehualco (en el límite S de la delegación Tlalpan y D.F.), los volcanes Agua Grande, Pájaros, Cadena y Jaras Verdes (fuera del límite de Tlalpan, pero muy cercano a el) y al conjunto de La Cima (al S del volcán Pelado y que es atravesado por la carretera. federal México-Cuernavaca, así como por la vía férrea al S de la Estación Parres). El volcán Tuxtepec, es un cono cinerítico compuesto por basalto de augita e hiperstena intercalado con depósitos piroclásticos de escoria y ceniza, de coloración rojo a negro. Los volcanes que se encuentran al W del límite occidental de Tlalpan están conformados por una intercalación de andesita de hiperstena, con una estructura de flujo de lava en bloques y depósitos de tefra de coloración oscura. El volcán Tepeyehualco está formado únicamente por andesitas con cristales visibles de piroxeno, los volcán Raices y Cajete son en realidad un conjunto de cinco aparatos volcánicos superpuestos y formados por una secuencia de depósitos piroclásticos de ceniza y lapilli de diferentes tonalidades sobreyaciendo algunas rocas lávicas anteriores. El volcán Yololica, está conformado por intercalaciones de material piroclástico (cenizas y lapilli), además de depósitos de flujo de lava en bloques de color gris. Este cono cinerítico y sus depósitos sobreyacen a los depósitos del volcán Mali Nal y subyacen a los depósitos pertenecientes al volcán Xitle.

Unidad 4

Esta unidad es poco observable en el área de estudio. Se le asignó una edad de 19.5 ± 0.1 Ka, con el método de ^{14}C (Bloomfield, 1975). La unidad comprende el área ubicada por los depósitos de los volcanes Cuautzin (inmediatamente al E del límite oriental de Tlalpan), y volcán Tesoyo (en el límite Sur de la delegación).

El volcán Tesoyo está constituido por una secuencia de depósitos piroclásticos de ceniza, de color amarillo ocre y basaltos de olivino (Martín del Pozzo, 1980), los depósitos del Tesoyo se encuentran sobreyaciendo depósitos de la unidad 1. El volcán Cuautzin, está conformado principalmente por depósitos de flujo de lava de composición andesítico-basáltica, con cristales de olivino y algunos depósitos de flujo de ceniza asociados. En los derrames de lava es posible observar la presencia de cuevas u oquedades naturales, formadas durante el emplazamiento y enfriamiento lávico.

Unidad 5

Esta unidad está conformada por los depósitos más recientes del Grupo volcánico Chichinautzin, de edad holocénica, los cuales no tenido tiempo suficiente para generar un suelo para cultivo. Y geomorfológicamente son estructuras bien conservadas con pocos rasgos erosivos. Se les asignó una edad de 8.4 ± 0.7 Ka (Bloomfield, 1975) a

2422 ± 250 a. (Libby, 1952 en: Demant et al., 1976), cuya edad es representativa de los productos volcánicos más recientes provenientes del volcán Xitle.

La unidad está ampliamente distribuida dentro de los límites de Tlalpan, e incluso es sobre los depósitos del Xitle donde se encuentra asentada la mayor porción de los habitantes de la delegación. La unidad está representada por las áreas ocupadas por los siguientes volcanes y sus respectivos depósitos: el volcán Xitle, un volcán con actividad histórica, el volcán Chichinautzin (límite SE de la delegación y del D.F.), los volcán Palomito y Caballito (en el límite Sur de Tlalpan, al W del volcán Chichinautzin), el volcán Tetequillo (al N del poblado de San Miguel Topilejo) y el volcán Pelado (en la zona central del área de estudio). El volcán Pelado, es un aparato volcánico de gran extensión y en general puede considerarse conformado por flujos de lava en bloques, de composición basalto de olivino y augita, los cuales se encuentran cubiertos por material piroclástico en tamaño de ceniza fina de color negro a amarillo; estos productos sobreyacen a los depósitos de volcanes menos jóvenes, tales como el Yololica y Oyameyo, entre otros. El volcán Tetequillo está compuesto de andesita de hiperstena, las cuales se encuentran formando estructuras dómicas. Los volcán Palomito y Caballito son pequeños volcanes de actividad meramente efusiva, sus depósitos son rocas de composición basáltica de olivino y sobreyacen a los depósitos del volcán Chichinautzin. El volcán Chichinautzin está formado por el depósito de flujos de lava en bloques y brechas de flujo, en los cuales es posible observar un gran número de estructuras, y cuya clasificación es de andesitas basálticas de olivino. El volcán Xitle y el asociado Xictontle, están conformados principalmente por un extenso flujo de lava con estructura de bloques, aunque es posible observar estructuras de tipo pahoehoe en algunos sitios, además de depósitos de ceniza de algunos metros de espesor, aunque linealmente no tan extensos como los flujos lávicos. La roca está clasificada como andesita basáltica de olivino, y representan las rocas volcánicas más recientes del área.

Depósitos Lacustres (Pleistoceno tardío - Holoceno)

A esta unidad se le ha asignado una edad entre 46 a 4.8 Ka con ¹⁴C y con estudios de paleomagnetismo se determinaron valores de polaridad magnética normal. La unidad es el resultado del depósito de sedimentos clásticos y material piroclástico derivado de los productos volcánicos de la Sierra de Las Cruces, Sierra Nevada y Sierra Chichinautzin en el ambiente lacustre de la Cuenca de México. En el área de estudio, estos depósitos se localizan al extremo NE y actualmente están cubiertos por capas de asfalto debido al establecimiento de zonas urbanas, tales como Villa Coapa, etc. Los sedimentos están constituidos por partículas arcillosas montmorilloníticas (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, op.cit.), en combinación con fragmentos vítreos, cristalinos y líticos con tamaño ceniza y de composición básica a intermedia, además de fragmentos de roca de dimensiones mayores, fragmentos de pómez, suelo y materia orgánica. Esta unidad se encuentra interdigitada con algunos depósitos del Grupo Chichinautzin.

3.5 Geología Estructural

De Cserna y colaboradores (1988), proponen la existencia de la serie de Fallas y Fracturas de la Sierra de Las Cruces, 8 de las cuales denominan como fallas mayores con desplazamiento lateral izquierdo, con una orientación general NE 55°; son estructuras cartografiables, con longitudes de hasta 11 kms. y se encuentran ubicadas

entre la Barranca del Río Hondo (al norte) y la Barranca del Río Magdalena (al sur), esta última dentro de los límites de la delegación política Magdalena Contreras, ambos rasgos geomorfológicos pertenecientes a la Sierra de Las Cruces, todas ellas fuera del área de Tlalpan. Ninguna de estas 8 fallas atraviesa el área de estudio, sin embargo, la llamada Falla Contreras (en la Barranca del Río Magdalena), se ubica en una zona proximal a ella. La Falla Contreras se ha observado que afecta a rocas del Mioceno tardío y del Plioceno, además tiene asociadas algunas fallas de desplazamiento vertical y fracturamientos por decompresión (De Cserna et al., op. cit.). Los mismos autores infieren otra serie de fallas, al SE del primer conjunto mencionado anteriormente, la cual es inferida con base en datos gravimétricos y algunos de estos fallamientos sí atraviesan una porción de la zona urbana de Tlalpan, comenzando en el área de contacto entre la zona volcánica y el área lacustre. (FIG. 3.4)

En el área volcánica, no afloran directamente ni fallas ni fracturas. En interpretaciones realizadas previamente para determinar estructuras en la Cuenca de México, Demant (1978), propone un sistema de fallas normales de orientación NE70°, similar a la orientación general de fallamiento en la parte central de la FVTM; Mooser (1975) por su parte sugirió una orientación general de fracturamiento E-W, asociada a lo que el denomina como 'Fracturamiento de los Grandes Volcanes' (pertenecientes a la Sierra Nevada) y en trabajos más recientes (De Cserna, et al. op. cit. y Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera op. cit.), se ha empleado el criterio propuesto por Nakamura (1977), basado en la alineación de volcanes monogenéticos para inferir fracturamientos, con lo cual se describió el efecto de un campo de cizallamiento de orientación NE-SW, al cual se asocian los productos volcánicos, principalmente el área del Campo Volcánico Chichinautzin.

Durante el desarrollo de este trabajo y siguiendo el método de Nakamura (op. cit.) se analizaron los siguientes documentos: Mosaico de fotografía aérea esc. 1: 25 000, el espacio-mapa (INEGI) E14-2, mapas topográficos y geológicos a diversas escalas. Se optó por el método de alineación de conos monogenéticos para la determinación de fracturamientos corticales antiguos en el área ocupada por la delegación Tlalpan y de un total de 32 alineamientos obtenidos en el área se generó el siguiente gráfico (FIG. 3.5). Se observa una predominancia de orientaciones E-W, y en segundo término una orientación de NE 50-54°; los alineamientos coinciden de manera general con la dirección propuesta por Mooser (1975), aunque también con la dirección propuesta por De Cserna y colaboradores (1988) para las grandes fallas.

Con los resultados obtenidos, y tomando en cuenta el movimiento lateral izquierdo propuesto para las grandes fallas que atraviesan la Cuenca de México (De Cserna, op. cit.), se concluye que los fracturamientos observados en el área de Tlalpan (Campo Volcánico Chichinautzin), son producto de un régimen de tipo extensional asociado al gran fallamiento. Este tipo de régimen permitió posiblemente el ascenso de material magmático, formándose la Sierra Chichinautzin, como consecuencia de la convergencia oblicua de la subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa de Norteamérica.

3.6 Síntesis de Evolución Geológica

Durante el Mesozoico, en la zona existió un proceso de sedimentación marina carbonatada, la cual varió de facies de plataforma (Formación Morelos) a secuencias de flysch (Formación Mexcala). A partir del Eoceno tardío-Oligoceno temprano, se depositó de una secuencia sedimentaria clástica continental (Grupo Balsas). Posterior a esta

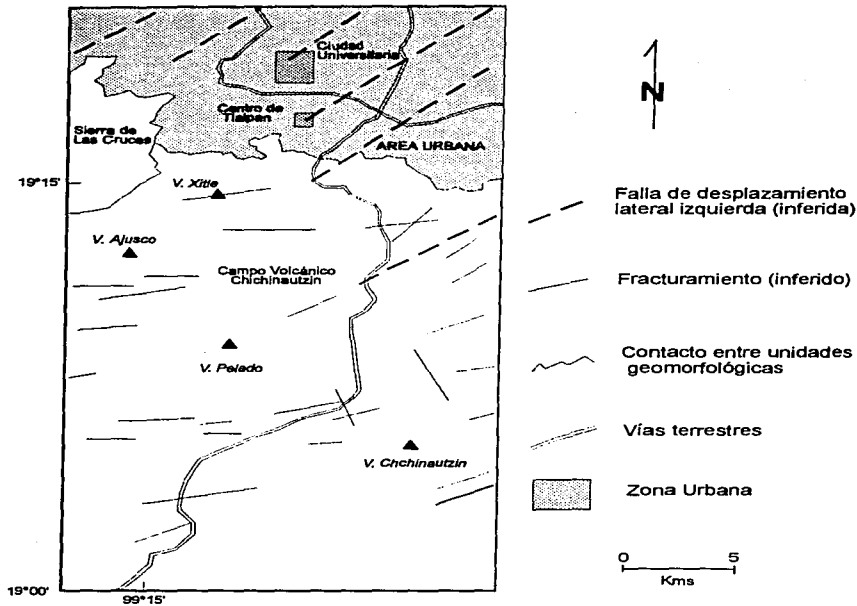
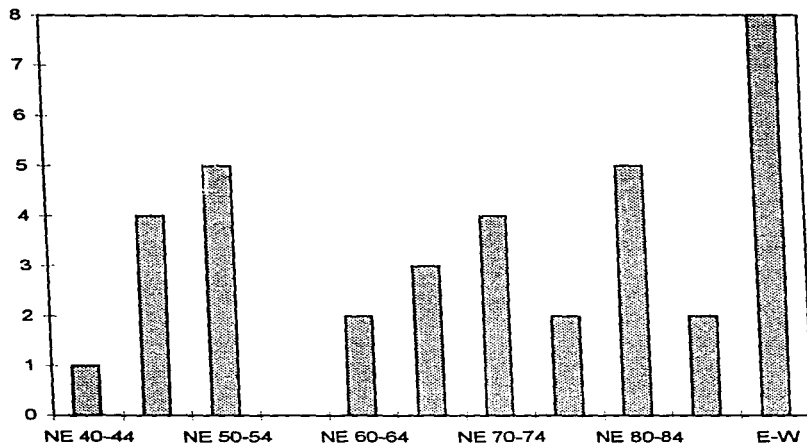


FIGURA 3.4 INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL EN EL ÁREA DE TLALPAN

FIGURA 3.5 ORIENTACIÓN DE FALLAS Y FRACTURAMIENTOS INFERIDOS EN EL ÁREA DE TLALPAN



etapa, ocurrió el emplazamiento de diversas rocas volcánicas de composición variable entre andesitas a riolitas (Formación Xochitepec) y hacia el sur y oeste por la Riolita Tizapotla, con edades que van del Oligoceno tardío al Mioceno temprano; y se cree que estas rocas forman parte del arco volcánico del Terciario medio (Vázquez-Sánchez, et al. op. cit.). En el área no se han encontrado expuestas rocas del Mioceno tardío, por lo que en trabajos previos se maneja como un hiatus magmático. Durante el Plioceno, al W de Tlalpan, se emplazan las rocas volcánicas lávicas, principalmente de carácter calcoalcalino pertenecientes tanto a la Sierra de Zempoala como a la Sierra de Las Cruces, ambas de composición andesítica, pero siendo la última de mayor extensión espacio-temporal.

Posteriormente, durante el Pleistoceno temprano a medio se registró la actividad eruptiva que construye al Volcán Ajusco, tanto de carácter explosivo como efusivo y de composición que varía de andesítica a dacítica en sus etapas eruptivas finales (incluyendo la formación de domos). Posteriormente se presentó un colapso estructural de la porción NE del edificio volcánico (Cervantes y Molinero op. cit.) así como diversos depósitos clásticos debidos a efectos de glaciación.

Durante este periodo también se presentó un efecto de cizallamiento en el área, de orientación NE-SW, que forma las grandes fallas de desplazamiento lateral izquierdo mencionadas en el apartado anterior, lo que probablemente propició el colapso estructural del volcán Ajusco, ya que aparentemente este no es asociado a actividad magmática alguna. Este fallamiento forma diversas estructuras orientadas en las rocas de la Sierra de Las Cruces, lo que provoca una mayor acumulación de sedimentos en la zona ocupada actualmente por la Cd. de México, aún cuando la descarga o dirección del drenaje natural era hacia el sur (hacia el Valle de Cuernavaca) (Mooser, 1975).

Debido a los efectos extensivos asociados al esfuerzo de cizallamiento NE-SW, se generaron fracturamientos y fallas normales, por las cuales hay un emplazamiento magmático, que formó las rocas volcánicas y piroclásticas que constituyen al Campo Volcánico Chichinautzin, formando una unidad geomorfológica conocida como la Sierra Chichinautzin, la cual obstruyó la dirección de drenaje natural en la zona, creando una cuenca cerrada (endorreica).

La actividad volcánica de carácter estromboliano se generó a partir del Pleistoceno tardío hasta el reciente, siendo la actividad del volcán Xitle la mas reciente, la cual afectó a los primeros habitantes de Tlalpan, en la zona conocida actualmente como Zona Arqueológica de Cuicuilco. Simultáneamente a esta actividad hay una intensa sedimentación en la nueva área lacustre, con abundantes productos provenientes de la Sierra de Las Cruces y de la Sierra Chichinautzin.

3.7 Geohidrología

La Cuenca de México presenta una forma irregular y está delimitada por grandes rasgos geomorfológicos que constituyen las diferentes sierras de origen volcánico. Esta cuenca es de tipo endorreica y ha sido modificada por la actividad del hombre, quien ha construido desde hace varios siglos anteriores, diferentes obras tales como canales y tajos que permiten el drenado de las aguas residuales hacia el norte de la Ciudad de México.

Con el conocimiento de las características de los diferentes tipos litológicos que conforman la Cuenca de México, la Dirección general de Construcción y Operación Hidráulica, realizó un mapa hidrológico en el cual se describen algunas características de permeabilidad y porosidad de estas rocas y su posible interacción con el sistema de

acuíferos de la Cuenca de México. A partir de este trabajo, se observa que en el área de Tlalpan, predominan principalmente 4 unidades geohidrológicas diferentes entre sí. (FIG. 3.6)

De acuerdo con el mapa antes mencionado, la unidad Tpt, corresponde a una porción de las rocas volcánicas andesíticas terciarias de la Sierra de las Cruces, además del material que forma la zona de transición entre los depósitos volcánicos y lacustres, esta unidad presenta características de permeabilidad media a alta, aunque valores de baja porosidad y alto grado de fracturamiento, esta unidad está considerada como una buena zona de recarga al sistema de acuíferos y también como acuíferos de rendimiento bajo; ahí en estos materiales se captan considerables volúmenes de agua pluvial, las cuales constituyen una gran parte de la recarga al sistema acuífero. Hacia la zona W de Tlalpan se encuentra la unidad Tm-Q, conformada por rocas volcánicas de edad terciaria, las cuales pertenecen a la porción sur de la Sierra de las Cruces y las rocas volcánicas del volcán Ajusco; esta unidad presenta un grado de permeabilidad bajo a nulo, está considerada como una parte de la frontera del sistema acuífero. La unidad más extensa en el área de Tlalpan, es la Qb, la cual corresponde a las rocas de la Formación Chichinautzin, ejemplificado por las rocas lávicas del derrame andesítico-basáltico del volcán Xitle, los cuales tienen valores altos de porosidad y permeabilidad debido a su alto fracturamiento y su carácter escoriáceo. Este material constituye un acuífero de alto rendimiento, y es considerado como una de las zonas de recarga más importante al sistema, ya que capta grandes volúmenes de escurrimientos y precipitación pluvial. La última unidad Qla, es la que constituyen los sedimentos lacustres en la zona de planicie. Esta cobertura forma un acuitardo de varios cientos de espesor, la cual actúa como capa confinante a las unidades que constituyen los verdaderos acuíferos del sistema. (FIG. 3.7)

Concluyendo, las rocas de la Sierra Chichinautzin, son consideradas el medio de recarga más importante del acuífero principal del sistema de la Cuenca de México (Vázquez-Jaimes, 1995), ya que el 50% del volumen total de agua pluvial se infiltra a través de las fracturas, y además de este volumen ya infiltrado un 40% recarga al acuífero de la Ciudad de México, (Ortega, 1989).

En el área de Tlalpan, debido a la interacción entre las diferentes unidades hidrogeológicas con sus diferentes características de transmisividad y conductividad hidráulica, se observan algunos manantiales, entre los cuales se pueden mencionar : Tlalpan, Fuentes Brotantes, Peña Pobre, los de Monte Alegre, Ajusco, San Pedro Mártir, (FIG. 3.8), de los cuales casi todos se encuentran en explotación por medio de pozos, tal como el de las Fuentes Brotantes y el de Tlalpan. En estos pozos se han podido obtener caudales de extracción en un rango entre los 85 a 140 l/seg, con agua de excelente calidad bajo las rocas volcánicas de la Formación Chichinautzin, aunque ya hacia el centro de la Cuenca de México, el agua está contaminada con aguas residuales (Vázquez-Jaimes, op. cit.). Finalmente se ha podido observar por medio de los diferentes pozos que la profundidad del nivel estático y nivel dinámico oscila entre los 40 a 90 m. (Vázquez-Jaimes, op. cit.).

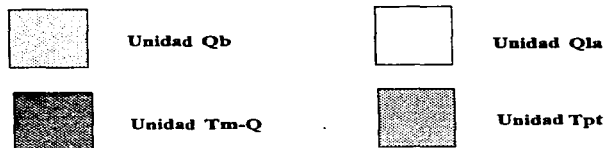
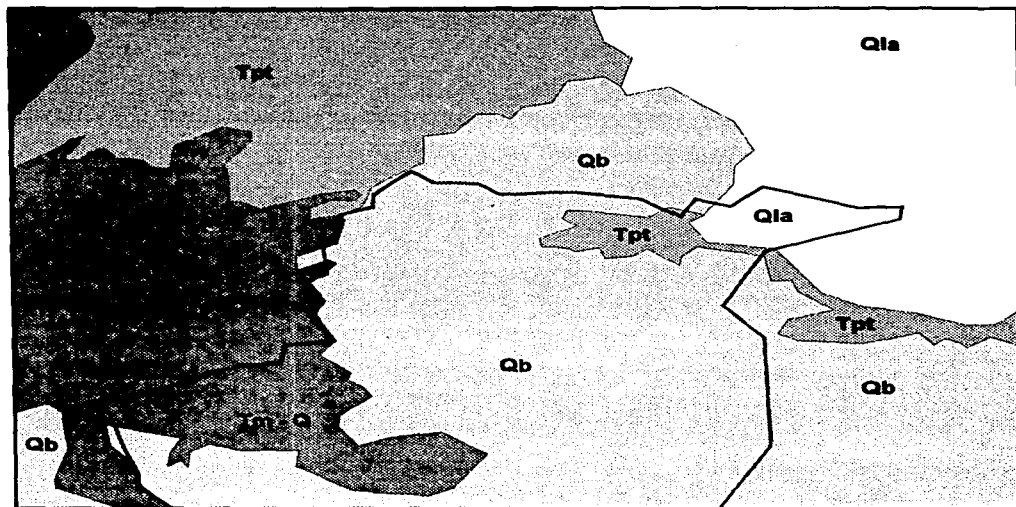


FIGURA 3.6 UNIDADES GEOHIDROLÓGICAS EN EL ÁREA DE TLALPAN
(Tomado de DGCOH, 1986)

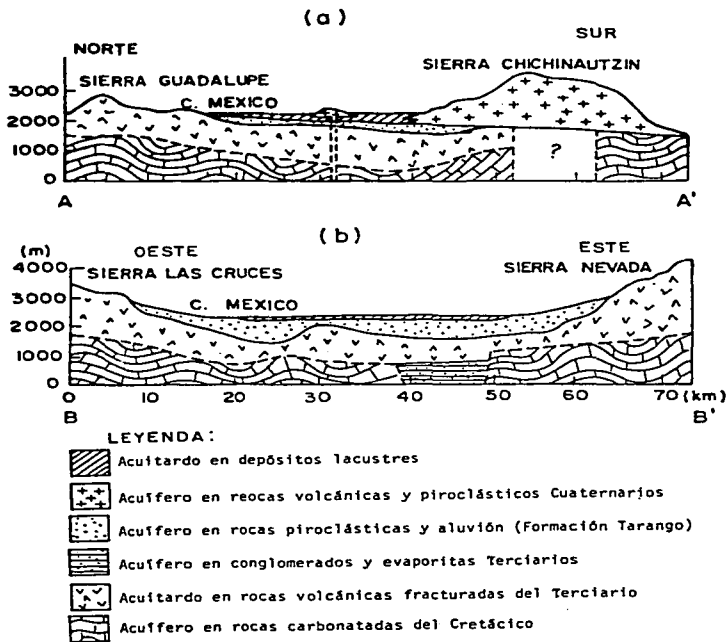
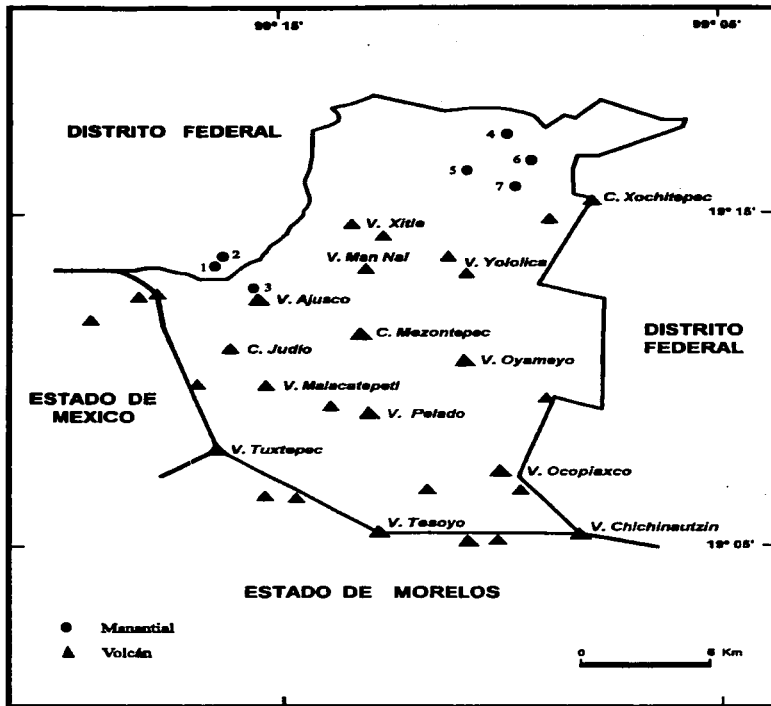


FIGURA 3.7 SECCIONES GEOLÓGICAS QUE MUESTRAN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA DE MÉXICO (Tomado de Ortega, A. 1989)



- | | |
|------------------|---------------------|
| 1 Monte Alegre | 5 Fuentes Brotantes |
| 2 Monte Alegre 2 | 6 Tlalpan |
| 3 Ajusco | 7 San Pedro Mártir |
| 4 Peña Pobre | |

FIGURA 3.8 UBICACIÓN DE ALGUNOS MANANTIALES EN EL ÁREA DE TLALPAN

IV. MARCO CONCEPTUAL DE LA GEOLOGÍA AMBIENTAL

4.1 La Geología Ambiental

Actualmente el conocimiento de la Geología tanto a nivel local como a nivel regional de un área, es una herramienta importante y, en la mayoría de los casos, indispensable para diversos estudios ambientales, los cuales reflejan la importancia y la problemática generada por la relación entre el ser humano y el Medio Ambiente.

El conocimiento de los diversos procesos geológicos y con la adecuada aplicación de ésta información geológica como base para el análisis del impacto de los fenómenos naturales sobre el hombre y, asimismo para la evaluación del impacto del hombre sobre el medio natural, dan origen a la prácticamente nueva rama de la Geología Aplicada : La Geología Ambiental.

La Geología Ambiental, estudia y trata de manera objetiva la interrelación entre el ser humano y su entorno geológico como parte del Medio Ambiente que le rodea y le proporciona los medios para que su desarrollo sea tal, que encuentre la armonía y equilibrio con el medio; ya que aplicando los diversos conocimientos geológicos es posible un mayor entendimiento y mejoramiento en la relación Medio Ambiente-Hombre.

La Geología Ambiental contribuye de manera significativa en los diversos estudios ambientales actuales, ya que con el conocimiento generado a través de esta, es posible en reconocer, prever y en ciertos casos predecir y mitigar los posibles efectos adversos generados en la interacción del hombre y el Medio Ambiente; pero también estos conocimientos contribuirán en la evaluación del potencial total de los diferentes materiales terrestres para su óptima explotación y aprovechamiento por parte del hombre; además de proveer herramientas para la planeación de desarrollos urbanos en sitios adecuados de acuerdo a sus características físicas.

De este modo por medio de la Geología Ambiental es viable el obtener diferentes objetivos, entre los cuales se mencionan de manera resumida los siguientes:

- Evaluación del potencial de los diferentes materiales terrestres (agua, suelo, roca y minerales, entre otros) para un aprovechamiento racional de estos recursos por parte del hombre.
- Análisis del relieve y terreno, para la selección de sitios para confinamiento de residuos peligrosos de acuerdo a sus características; o bien para una adecuada planeación del uso del suelo rural y urbano.
- Análisis del impacto ambiental, tanto de carácter local como global
- Evaluación de los diferentes fenómenos geológicos que por sus características son potencialmente peligrosos a la población expuesta a ellos y que son generadores de riesgo potencial; incluyendo posibles afectaciones a obras de infraestructura y comunicación, sean de uso agrícola, ganadera, forestal o industrial que incidan en la posibilidad de pérdidas económicas y sociales.

Durante el presente trabajo, de acuerdo con el objetivo general propuesto en el CAPÍTULO I, se analizan los diferentes fenómenos geológicos potencialmente peligrosos a la comunidad, por lo cual se dará énfasis al análisis de ellos como parte del entorno general de la Geología Ambiental.

4.2 Importancia del reconocimiento del riesgo.

El periodo de 1990-2000, ha sido declarado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), como la ' **Década Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales** ', por lo cual actualmente se ha dado una gran importancia al estudio de los fenómenos naturales, que potencialmente pueden ser los causantes de la pérdida de vidas humanas y daños materiales a las diferentes comunidades que habitan en el planeta Tierra.

El término *Desastre*, implica la alteración inmediata o a un corto-mediano plazo, de la vida de las personas que conforman una comunidad, ya sea con la pérdida de la vida misma o de los bienes materiales, infraestructura, medios de producción, y del Medio Ambiente, debido a los efectos de un fenómeno que puede ser de origen completamente natural o provocado por los miembros de la misma comunidad.

A lo largo de la Historia de la humanidad, se han registrado a nivel mundial diversos desastres, los cuales han originado un gran número de muertes. El siglo XX, no ha sido la excepción a éste tipo de eventos, aún cuando paradójicamente el ser humano ha desarrollado grandes recursos tecnológicos para la obtención de un mejor nivel de vida. Como ejemplos de algunos desastres ocurridos en el presente siglo se pueden mencionar los siguientes :

- En 1902, se registran 29 000 muertes entre los habitantes del poblado de St. Pierre, en la Isla de La Martinica, debida a la erupción peleana del Mt. Pelée.
- En 1923, se reportaron 143 000 muertes, entre los habitantes de Tokyo, Japón. Debido a un sismo de 8.3 grados Richter, con pérdidas económicas estimadas de \$ 2 800 millones de dls.
- En 1960, se registran 61 muertos y 282 heridos, en el área del Océano Pacífico comprendida entre Hawaii y Samoa debido a los efectos de un Tsunami, con pérdidas económicas hasta por \$ 255 000 dls.
- En 1964, se registran 122 muertos y 200 heridos, en el área comprendida entre Hawaii y Alaska, por efectos de un Tsunami, con pérdidas económicas de hasta \$ 104 millones de dls.
- En 1970, se registran 66 800 muertes en el Norte de Perú, debido a un sismo de 7.8 grados Richter, con pérdidas económicas de \$ 250 millones de dls.
- En 1970, se detectan grandes concentraciones de DDT, tanto en los habitantes, como en los animales residentes en el Lago Michigan, Estados Unidos con concentraciones de 8.09 ppm en los humanos y 19.19 ppm en las truchas de dicho lago.
- En 1972, se registran 113 muertes, por efecto de una inundación fluvial, en el Este de los Estados Unidos, con pérdidas económicas de \$ 3 000 dls.
- En 1976, se registran más de 655 000 muertos, por un sismo de 8.0 grados Richter, en Tangshan, China. Con pérdidas económicas mayores a los \$ 25 millones de dls.
- En 1980, en el área del Love Canal (N. del estado de Nueva York), en los Estados Unidos, se detectaron severos daños cromosómicos en los residentes del lugar. Estos estudios se realizaron después de detectar una gran incidencia de nacimientos con mal formaciones y abortos espontáneos, además de infecciones cutáneas en los niños y la presencia de elementos tóxicos (cancerígenos) en el aire. Todo esto debido al asentamiento urbano en un lugar donde se habían depositado aproximadamente, 21 000 ton. de desechos industriales, sin que éste fuera un confinamiento para desechos planeado con tecnología adecuada y sin un tratamiento químico de los mismos.

- En 1982, se registran más de 2 000 muertes en poblados del Estado de Chiapas, en México, debido a la erupción del Volcán El Chichón.
- En 1985, se registran más de 6 500 muertos en la Cd. de México, por acción de un sismo de 8.1 grados Richter, con pérdidas económicas de hasta \$ 25 millones de dis.
- En 1985, se registran más de 22 000 muertes de los habitantes de la población de Armero, en Colombia, debidas a una erupción del Volcán Nevado del Ruiz.
- En 1986, se registran 31 muertes, 203 personas hospitalizadas por efectos de radiactividad, debidas al accidente nuclear en Chernobyl, USSR.
- En 1986, se registraron 1 200 muertes de personas y 3 000 muertes de cabezas de ganado debidas a la salida de gas tóxico (CO₂), en el Lago Nyos, en Camerún.
- En 1991, mueren más de 300 personas, en Filipinas, por efectos de la actividad volcánica del Volcán Pinatubo, combinado con los efectos de un Tifón.

Como se observa, los diferentes desastres ocurridos en las últimas décadas, se han generado por una gran diversidad de fenómenos, unos completamente naturales, como pueden ser las erupciones volcánicas y la sismicidad, y en otros casos debidos a la actividad del ser humano, como el uso indiscriminado del DDT como plaguicida o por el mal manejo de desechos tóxicos.

La presencia de un fenómeno natural, no genera por sí mismo un desastre, por lo cual es necesario aclarar que los diversos fenómenos naturales han existido y se han generado desde los orígenes del planeta mismo. La Tierra es un sistema dinámico, ya que desde su formación hace 4600 millones de años, ha evolucionado o sufrido una serie de modificaciones hasta lograr su configuración actual, y esta evolución ha estado condicionada por los diversos procesos naturales que actúan tanto internamente como de manera superficial, por lo cual dichos fenómenos naturales forman parte activa del sistema hasta el final del mismo.

De este modo, la presencia y el efecto que cause un fenómeno natural, no es por sí mismo un generador de desastre, ya que todo fenómeno natural siempre causa un efecto sobre el área sobre el cual ocurre. El desastre ocurrirá cuando los efectos de dichos eventos afecten de manera sustantiva los intereses y modo de vida de una comunidad asentada en el área, ya sea causando muertes, pérdidas materiales, enfermedades, entre otros efectos; lo cual dependerá del tipo de fenómeno de que se trate, de su magnitud y de la vulnerabilidad al daño que presente dicha comunidad.

Es aquí donde es necesario enfatizar la importancia del reconocimiento del riesgo. Para efectos de éste trabajo se entenderá por :

Riesgo Es la posibilidad o medida de la pérdida de vidas humanas, bienes materiales, capacidad productiva y económica, dentro de un área sujeta a peligro (fenómenos peligrosos).

Es pertinente entonces hacer la distinción entre los términos Riesgo y Peligro, los cuales a menudo se confunden y/o utilizan como sinónimos :

Peligro Es la probabilidad de que un área determinada sea afectada por procesos o fenómenos naturales y/o provocados, potencialmente desastrosos.

Atendiendo a las definiciones anteriores, cualquier fenómeno puede representar un peligro, cuando los efectos que cause sean capaces de modificar de manera sustancial el lugar físico donde ocurran. Para tratar de determinar el grado o nivel de

peligrosidad de un evento, es necesario conocer con la mayor exactitud, tanto el origen, mecanismos y formas, en las que se puede presentar dicho fenómeno, así como el total del área que puede ser afectada. Para el reconocimiento del riesgo es necesario reconocer si los fenómenos efectivamente son peligrosos para una población, así como determinar si la misma es capaz de resistir el efecto causado por el evento.

Entonces recapitulando un Desastre (D) está en función de la variable Riesgo (R) :

$$D (R)$$

Y el Riesgo, a su vez está en función de las variables: Fenómeno peligroso o peligro (P) y de la susceptibilidad o vulnerabilidad de la población (V), el cual puede ser expresado mediante la siguiente ecuación :

$$R = P \times V \quad (4.1)$$

El objetivo final de los diferentes estudios realizados en el campo del riesgo, es el de la Prevención de desastres, para lo cual se necesita el reconocimiento y evaluación del riesgo al cual está sujeto alguna población o comunidad. El Riesgo puede ser evaluado conociendo dos variables : el peligro que representa un fenómeno y la vulnerabilidad de la población (que tan afectada puede resultar después del evento).

Para evitar un desastre es necesario que el valor de R, en la ecuación 4.1, tienda a cero, para lo cual también es necesario, que alguna de las variables o ambas, tenga un valor cero, o tiendan a cero.

Sabemos por experiencia desde el inicio de la humanidad, que el ser humano generalmente es incapaz de controlar y evitar los diferentes fenómenos producidos por la Naturaleza, así como algunos de sus efectos. Actualmente con el desarrollo de las diversas Ciencias Naturales, se ha podido comprender algunos de los mecanismos y manifestaciones de los diferentes fenómenos, sin que esto signifique que podamos tener control sobre ellos. Aún así, sin embargo, en algunas ocasiones es posible determinar la probabilidad de que un área, donde este asentada una comunidad pueda ser afectada por algún fenómeno, conociendo el entorno físico-natural o medio ambiente que le rodea, con lo que se puede asignar un valor a la variable P.

Para determinar el valor de la vulnerabilidad, es necesario conocer y obtener datos sobre los diferentes aspectos relacionados directamente con la comunidad específica, ya que es una variable exclusivamente de carácter social. Wilches-Chaux, (1989) , a partir de una *Vulnerabilidad Global*, la divide en diferentes tipos de vulnerabilidad todas ellas relacionadas con aspectos sociales. Entre los diferentes tipos de vulnerabilidades menciona las siguientes :

Vulnerabilidad natural - Es la susceptibilidad debida a nuestras necesidades vitales, es decir, las condiciones indispensables para que haya vida.

Vulnerabilidad económica - Es la susceptibilidad debida a la carencia de recursos económicos que nos permitan obtener una mayor protección.

Vulnerabilidad Social - Es aquella susceptibilidad debida al nivel de cohesión interna que posee la comunidad.

Vulnerabilidad Política - Es debida al nivel de autonomía para la toma de decisiones y formulación de soluciones por parte de la comunidad.

Vulnerabilidad Tecnológica - Es la susceptibilidad dada por la falta de tecnología o técnicas adecuadas para la prevención.

Vulnerabilidad Ideológica, Cultural y Educativa - Es la susceptibilidad originada por el grado educacional, por la cultura y por las diferentes creencias religiosas, que nos otorgan cierta ideología respecto a los desastres.

DIAGRAMA DE RELACIÓN ENTRE PELIGRO - VULNERABILIDAD - RIESGO

PELIGRO	Fenómeno Perturbador	Identificación Monitoreo
VULNERABILIDAD	Sistema social vulnerable	Alertamiento Planificación Prevención Mitigación
RIESGO	Desastre	Preparación Atención Rescate Recuperación

Como se observa el determinar la vulnerabilidad de la sociedad al desastre es una tarea sumamente difícil, para lo cual es necesario contar con los conocimientos de las diferentes Ciencias Sociales, así como de aspectos ingenieriles.

De éste modo se observa que para el estudio tanto del riesgo como para la prevención de desastres, es necesaria la participación de diversas ciencias tanto naturales como sociales, además de la Ingeniería, lo que convierte al estudio y análisis del riesgo en un campo multi e interdisciplinario, en el que pueden participar las diferentes ramas de la Ingeniería, además de la Geología, Biología, Química, Antropología, Sociología, Ecología, Geografía, entre otras.

4.3 El riesgo geológico

La Geología como una ciencia natural, forma parte del conjunto multidisciplinario mencionado con anterioridad, que contribuye con sus conocimientos a los diferentes estudios de riesgos para la prevención de desastres.

Específicamente el geólogo es el encargado de proveer la información sobre los diferentes procesos y mecanismos geológicos, así como los posibles eventos que pueden generarse sobre la superficie terrestre mediante dichos procesos y con ello contribuir a la realización de planes y documentos para la prevención del desastre y/o disminución del riesgo, e inclusive una planificación para uso del suelo, reordenamiento territorial y la selección de sitios favorables para un desarrollo urbano equilibrado y seguro.

El planeta Tierra como un sistema dinámico ha presentado, y sigue presentando, diversos cambios en su superficie, que se generan por la ocurrencia de un gran número de procesos propios de la geodinámica tanto interna y externa, además de otro tipo de procesos que aunque suceden en el mismo Sistema Terrestre, no entran en el estudio directo de la Geología, tales como los diferentes fenómenos globales de naturaleza climática y meteorológica. Aún así todos los procesos deben considerarse como elementos activos o dinámicos capaces de modificar la Geomorfología terrestre.

En la TABLA 4.1, pueden observarse ejemplificados algunos de los eventos geológicos que son potencialmente peligrosos y pueden constituir un riesgo si ocurren en un área en que puedan afectar a alguna población localizada en ella.

TABLA 4.1 RELACIÓN ENTRE ALGUNOS EVENTOS GEOLÓGICOS (POTENCIALMENTE PELIGROSOS) Y LOS DIFERENTES ESTUDIOS GEOLÓGICOS.

EVENTO GEOLÓGICO	PARTE DE LA GEOLOGÍA QUE ESTUDIA EL FENÓMENO QUE LO CAUSA
Fallamiento Fracturamiento	Geología Estructural Geología del Subsuelo
Erosión Deslizamiento de tierra	Geomorfología
Intemperismo Alteraciones químico-mineralógico	Geoquímica
Sismicidad	Geofísica
Erupciones y fenómenos volcánicos	Vulcanología
Contaminación de Acuíferos Sobreexplotación de Acuíferos Contaminación de Suelos	Geohidrología Edafología
Inestabilidad de taludes	Geotecnia

Es por ello que los estudios sobre riesgos geológicos como parte de la Geología Ambiental son de carácter interdisciplinario, en los cuales se aplican los conocimientos aportados por las diferentes ramas geológicas, por lo que es preciso conocer los diferentes procesos terrestres, con un especial énfasis en los procesos y eventos cuaternarios, ya que es en éste periodo cuando se observa el desarrollo del hombre sobre la Tierra.

Se mencionó anteriormente la gran importancia del estudio de la Geología del Cuaternario, el cual debe presentar el mayor detalle posible, esto es, tratando de establecer un registro estratigráfico confiable, el cual debe estar basado en datos obtenidos con fechamientos tanto absolutos como relativos, para reconstruir los diferentes acontecimientos geológicos a lo largo del tiempo desde la aparición del hombre como habitante del planeta, datos que ayudarán a comprender nuestro entorno actual.

Mitre-Salazar (1992), ejemplifica claramente el por qué son de vital importancia los estudios de éste periodo, específicamente en el caso de la República Mexicana :

"- La mayoría de las ciudades de nuestro país se encuentran instaladas sobre depósitos de edad cuaternaria y desconocemos en muchos casos los recursos aprovechables (agua, suelo, etc.) y los riesgos que se pueden presentar ante la posible ocurrencia de fenómenos naturales.

- Los suelos de donde proviene toda la producción agrícola son también del cuaternario y desconocemos en muchos casos sus procesos dinámicos, que contribuyen, conjuntamente con las actividades antrópicas, al deterioro de éste recurso.

- En gran porcentaje, el agua se extrae de los depósitos cuaternarios, y se carece de información detallada del potencial de los acuíferos y del comportamiento de los fluidos para evitar su contaminación.

- Es de vital importancia, y la historia reciente de México nos lo ha demostrado, que se conozca la historia geológica del Cuaternario para entender el comportamiento de algunas estructuras geológicas (fallas activas, volcanes, formación del relieve moderno, etc.) y delinear las zonas que presentan mayor riesgo ante la posible ocurrencia de fenómenos catastróficos y, en su caso prevenir los desastres."

Como se ha mencionado en el presente capítulo, el Riesgo está en función de las variables: Peligro y Vulnerabilidad, por lo que al hacer mención del término *Riesgo Geológico*, se debe pensar en aquellos Peligros derivados de fenómenos geológicos, expresado de otra manera, son aquellos fenómenos debidos a los procesos geológicos, que son potencialmente peligrosos a una cierta comunidad.

Estos fenómenos se deben, como se mencionó anteriormente, a los diferentes procesos debidos tanto a la Geodinámica Interna como Externa (TABLA 4.2), los cuales varían en su tipo y magnitud, siendo generalmente más peligrosos los que se presentan de manera súbita e inesperada. Los diferentes procesos se originan generalmente de manera natural, aunque actualmente con la permanencia y desarrollo del hombre en el planeta, éste ha contribuido en múltiples ocasiones a acelerar algún fenómeno peligroso e incluso a provocarlos.

Con base en el criterio anterior, de manera general, se puede clasificar al Riesgo Geológico, en tres tipos principales : 1) Riesgos naturales, 2) Riesgos por actividad antrópica y 3) Riesgos mixtos. (TABLA 4.3)

TABLA 4.2 CARÁCTER DINÁMICO DE LOS PROCESOS GEOLÓGICOS

PROCESOS GEOLÓGICOS	Geodinámica Interna	- Asociado al movimiento de placas tectónicas - Asociado a actividad en el Manto
	Geodinámica Externa	- Asociado a fenómenos meteorológicos - Asociado a actividad orgánica

TABLA 4.3 CLASIFICACIÓN DE LOS RIESGOS GEOLÓGICOS DEBIDO A LOS PROCESOS CONDICIONANTES

TIPO DE RIESGO GEOLÓGICO	PROCESOS QUE LOS CONDICIONAN	FENÓMENOS PELIGROSOS
NATURAL	Geodinámica Interna Geodinámica Externa	Sismicidad Fallamiento Deformación de la Corteza Vulcanismo Erosión Deslizamientos de Tierra Sedimentación
ANTRÓPICOS	Actividad Humana, la cual activa y condiciona el desarrollo de procesos geológicos, los cuales no se manifestarían sin su ayuda.	Fracturamiento Subsidencia Agrietamiento Contaminación de Acuíferos Contaminación de Suelos Inestabilidad de taludes
MIXTOS	Actividad Humana en conjunto con procesos geológicos en desarrollo, los cuales se ven aumentados en magnitud por dicha ayuda.	Inestabilidad de Laderas Inestabilidad de Taludes Inundaciones Desertificación Erosión

El identificar los fenómenos potencialmente peligrosos a cierta comunidad es el paso inicial para la disminución del riesgo, para lo cual es necesario el conocimiento y la comprensión lo más detalladamente posible, de tales fenómenos, aún cuando sabemos de antemano que nuestra capacidad para controlar algunos de ellos es insuficiente o nula.

El geólogo debe ser capaz de identificar los Peligros Geológicos a los que está expuesta un área, reconociendo su entorno geológico, para lo cual es necesario además del conocimiento de la Geología regional y local, el análisis y la recopilación sistemática de la información que se tenga en el tiempo histórico. Con el conocimiento de las comunidades asentadas en el área y con la información geológica obtenida, el siguiente paso es el de plasmar gráficamente en un mapa de Peligros, las zonas que pueden resultar con mayores daños al efectuarse un fenómeno determinado, esto aunado a la información sobre la vulnerabilidad de las poblaciones, tendrá como resultado un Mapa de Riesgo.

Teniendo ésta información será necesario el tratar de reducir dichas situaciones riesgosas, ya sea implementando un sistema eficiente de monitoreo adecuado al tipo de peligro y/o tratando de reducir la vulnerabilidad actual al peligro.

Es necesario e importante, que el ser humano tome conciencia de los diferentes factores que han agravado el problema ambiental y que han provocado que se generen

grandes pérdidas a causa de los fenómenos naturales, siendo el factor más importante: el crecimiento desmedido de la población a nivel mundial, el cual alcanza proporciones alarmantes en las regiones de escasos recursos.

Debe ser prioridad actualmente, que el ser humano adquiera una cultura ambiental, además de una educación geológica adecuada, la cual permitiría entender las condiciones actuales que rigen al planeta, además de valorar y respetar los recursos que nos provee, los cuales son limitados, y con ello plantear soluciones y medidas para tratar de minimizar los problemas ambientales actuales y evitar a toda costa el progresivo deterioro del Medio Ambiente, parte del Sistema Terrestre.

V. ZONIFICACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO

5.1 Factores del riesgo sísmico

En el interior de la Tierra ocurren un gran número de procesos dinámicos capaces de transformar y promover la evolución de la misma; estos procesos internos se manifiestan de diversa manera en la superficie terrestre, generalmente mediante fenómenos de gran magnitud, los cuales pocas veces pueden ser controlados por el hombre. Una de las consecuencias de la acción de estos diferentes procesos de la geodinámica interna, es la sismicidad.

De manera global, se ha observado que la localización de los grandes focos sísmicos coincide con los límites de las placas litosféricas que conforman la capa externa de la Tierra. (FIG. 5.1)

La costa Pacífica de México forma parte del conocido 'Anillo Circumpacífico', el cual es un lineamiento curvo delineado por los focos de actividad sísmica frecuente, así como por las zonas de volcanismo activo. En México, se observan estos fenómenos, los cuales son causados por la interacción entre las Placas de Norteamérica, de Cocos y Pacífica, donde el límite entre las dos primeras es de tipo convergente o de subducción en el área frente a la costa de Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. Se atribuye a este proceso, la formación de la estructura de arco volcánico continental conocido como 'Faja Volcánica Trans-Mexicana' así como de la frecuente sismicidad en la zona costera del Pacífico mexicano, sismos cuya magnitud es suficiente para afectar de manera dramática la zona de la Cuenca de México, incluyendo a Tlalpan en ella. (FIG. 5.2)

De acuerdo con Bravo et al. (1988), en el área de la Ciudad de México la sismicidad puede atribuirse a tres diferentes efectos :

A) Por la subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa Norteamérica, lo cual puede desencadenar sismos por :

- desplazamiento relativo de las placas de Cocos y Norteamérica a profundidades entre 15 y 53 km.
- fracturamiento de la placa de Cocos a profundidades entre 40 y 150 km.

B) Actividad tectónica generada por el movimiento de fallas :

- deformación extensional de la corteza a profundidades entre 5 y 15 km.
- deformación de tipo compresiva de la corteza y el manto de la placa Norteamérica a profundidades entre 20 y 30 km.

C) Actividad Volcánica

- aunque el radio de acción está limitado al aparato volcánico y con magnitudes relativamente bajas.

De los diferentes fenómenos productores de sismicidad en la Cuenca de México, los dos últimos incisos se catalogan condicionantes para una sismicidad de tipo local, ya que los epicentros se ubican directamente bajo la superficie de la Cuenca de México, incluyendo a Tlalpan en ella, mientras que el efecto de subducción que genera epicentros en la costa pacífica, es una sismicidad asociada, ya que las grandes magnitudes en esas zonas tienen efectos colaterales sobre la cuenca, debido a su

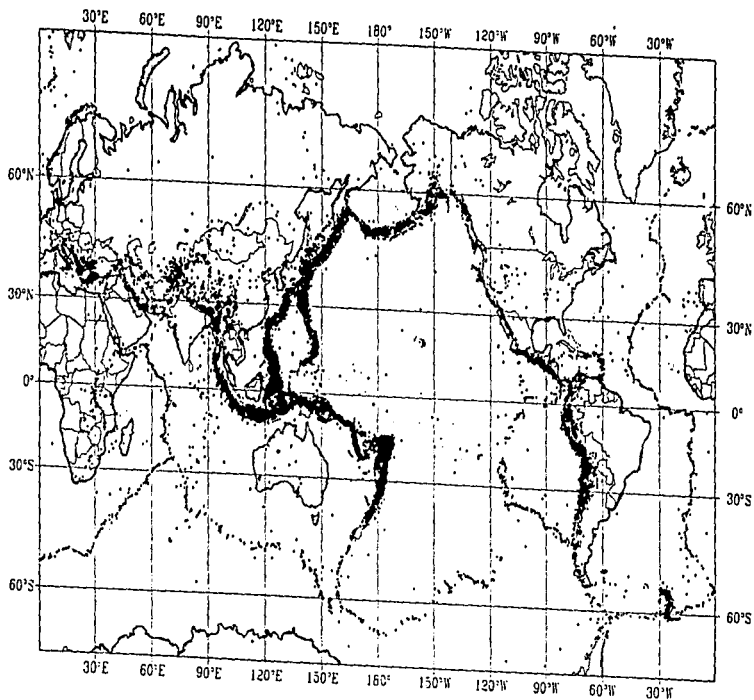


FIGURA 5.1 MAPA DE SISMICIDAD GLOBAL 1963-1988
 (Modificado de National Earthquake International Center, tomado
 de Keller, 1988)

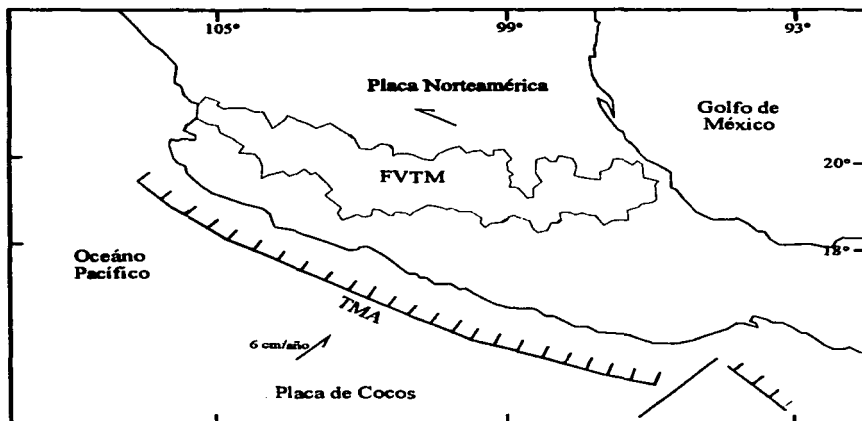


FIGURA 5.2 DIAGRAMA DE INTERACCIÓN ENTRE LA PLACA DE COCOS Y LA PLACA NORTEAMÉRICA, EN EL MARGEN PACÍFICO DE MÉXICO

estructura en el subsuelo. Es necesario señalar que la mayoría de los sismos que han afectado a la Ciudad de México corresponden con los grandes eventos sísmicos que han ocurrido en el margen Pacífico.

De acuerdo a los datos disponibles de sismicidad local, no se ha registrado en la zona un evento de magnitud mayor a 4.8, y solo se han podido estimar por método instrumental algunos movimientos con magnitudes entre 3.0 y 4.5.

Para el presente trabajo se han tomado en cuenta los estudios relacionados a toda la Ciudad de México, aunque se decidió trabajar en los ejemplos y referencias con los datos únicamente del área de Tlalpan. En Tlalpan, se puede observar la sismicidad local en la siguiente tabla :

TABLA 5.1
CATALOGO DE SISMOS EN TLALPAN

FECHA	LN	LW	PROF.	MAG.
Jun 14, 68	19.306°	99.138°	Sin dato	Sin dato
Mar 22, 77	19.33°	99.21°	Sin dato	Sin dato
Ene 16, 80	19°26.9'	99°14.5'	19.15	3.30
Ene 17, 80	19°18.4'	99°16.25'	28.49	3.22
Ago 19, 80	19°10.4'	99°32.7'	16.22	3.67
Ago 19, 80	19°11.1'	99°33.1'	10.34	3.27
Ago 19, 80	19°10.3'	99°30.6'	8.82	2.88
Ago 19, 80	19°10.46'	99°30.8'	21.31	3.09
Ago 19, 80	19°11.15'	99°31.7'	17.36	3.26
Ago 21, 80	19°10.1'	99°34.5'	31.28	3.42
Ago 23, 80	19°12.1'	99°33.8'	15.0	3.19
Ago 28, 80	19°09.1'	99°29.3'	15.26	3.84
Feb 04, 81	19°23.6'	99°13.5'	3.54	3.96
Feb 07, 81	19°24.8'	99°12.2'	7.02	3.89
Feb 07, 81	19°24.0'	99°13.5'	8.61	3.75
Feb 09, 81	19°24.2'	99°10.9'	3.77	3.80
Feb 09, 81	19°23.5'	99°09.9'	6.32	4.01
May 21, 81	19°15.4'	99°12.9'	10.97	2.88
May 21, 81	19°17.2'	99°09.9'	9.17	2.49
May 21, 81	19°15.5'	99°12.7'	11.97	2.36
May 21, 81	19°14.8'	99°09.8'	13.75	2.81
May 21, 81	19°15.2'	99°11.2'	10.79	2.72
Ene 30, 83	19°21.9'	99°14.5'	9.42	3.59
Nov 29, 83	19°17.2'	99°13.7'	12.30	2.67
Dic 04, 83	19°17.5'	99°12.3'	18.66	2.24
Oct 19, 85	19°03.6'	99°10.7'	10.85	3.94
Mar 12, 87	19°16.7'	99°11.75'	13.83	2.54

Datos obtenidos de : De Cserna et al., 1988 y D.D.F., 1988

De acuerdo con el trabajo global del DDF en 1988, es posible observar que la distribución geográfica de epicentros por sismicidad local, ocurren hacia la periferia de la

Cuenca de México y que dichos eventos sísmicos tienden a ocurrir en enjambres durante periodos cortos de tiempo, tal como parecen el área de Tlalpan, para el periodo de agosto de 1980. Estos sismos parecen estar asociados directamente con el sistema de fallas activas de la zona, las cuales tienen una dirección NE-SW señaladas en el Capítulo III del presente trabajo, ya que los epicentros se localizan en la traza de las fallas o bien muy cercanos a estas (FIG. 5.3).

La sismicidad asociada al sistema de fallas activas no rebasa el orden de magnitud 4.8 en escala Richter en el presente siglo, sin embargo los sismos de este tipo deben ser monitoreados y medidos de manera instrumental y asimismo las fallas deben ser analizadas con mayor precisión para determinar su carácter activo o potencialmente activo según los registros de movimiento durante los últimos 10 000 años. Es importante señalar que históricamente esta sismicidad no ha sido un factor de peligro para la población en Tlalpan.

Sin embargo, la sismicidad proveniente de la Costa del Pacífico sí debe ser considerada como un factor de mayor peligro, ya que los efectos se acentúan debido a las condiciones geológicas y geohidrológicas que constituyen la base y subsuelo de la Ciudad de México, ya que por su naturaleza y su contenido de agua en el lecho fangoso del sistema de Grandes Lagos de la Cuenca de México, las ondas sísmicas que arriban a esta zona quedan atrapadas y provocan amplificaciones del movimiento en el terreno. (Suárez, 1987)

El área de Tlalpan, corresponde a un área conformada superficialmente por depósitos volcánicos Chichinautzin y por otra parte un área conformada por depósitos lacustres, la cual, está totalmente ocupada por los asentamientos urbanos de Villa Coapa y Ejidos de Huipulco, entre otras.

Para conocer el grado de peligro sísmico en Tlalpan, es necesario determinar primeramente la naturaleza de la sismicidad del área, de acuerdo a las condiciones geológicas, lo cual ya ha sido mencionado en párrafos anteriores, y tratar de determinar un factor de recurrencia de los fenómenos, así como las diversas características de los eventos, para lo cual se realizó la consulta de algunas bases de datos o catálogos de actividad sísmica, aunque es necesario aclarar que existen muchas descripciones sin la adecuada medición instrumental sísmica. A continuación se mencionan algunos sismos que han provocado daños en Tlalpan :

Abril 07, 1845

Epicentro : Costa de Guerrero

Magnitud estimada : > 8.2

Ocasionó algunos daños en la zona residencial de Tlalpan

Junio 19, 1858

Epicentro : Zona central de Michoacán

Magnitud estimada : 8.0

Tipo : trepidatorio - oscilatorio

Causó daños en la Iglesia y en el convento de San Fernando

Julio 19, 1882

Epicentro : Juxtlahuaca - Huajuapán, Oaxaca

Tipo : oscilatorio

Daños en las torres de la Iglesia de Tlalpan

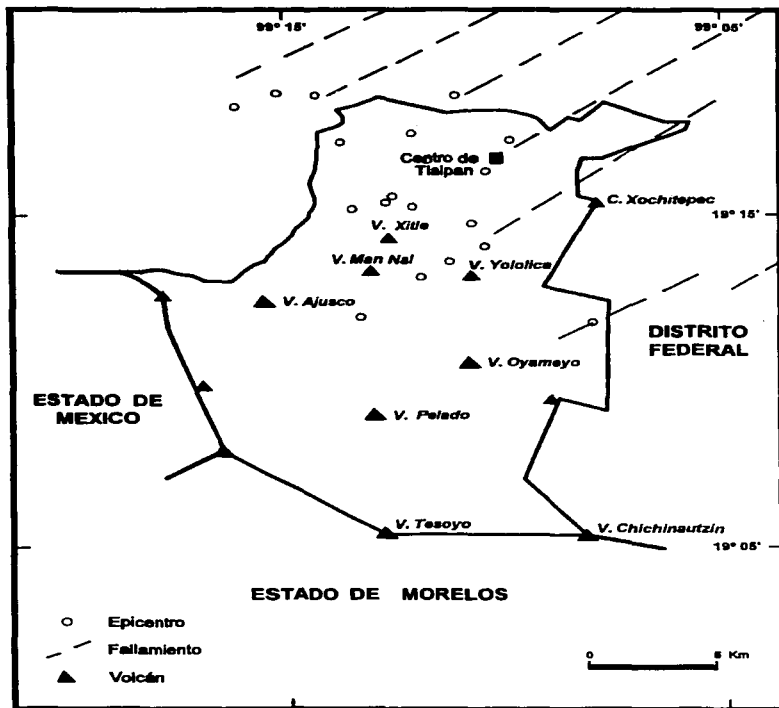


FIGURA 5.3 DISTRIBUCIÓN DE EPICENTROS EN TLALPAN
 (Datos de : DDF, 1988 ; De Cserna et al., 1988)

Noviembre 02, 1894

Tipo : oscilatorio

Ocasionó daños en la zona de la Hacienda de Coapa

Datos obtenidos de : DDF, 1988

Los datos antes mencionados no son registros completos ya que no se tenía un registro instrumental, sino que, era solo descriptivo por los habitantes del lugar. Es a partir del año de 1910 cuando comienza la instrumentación sísmica en México, con la instalación del sismógrafo de Tacubaya del Servicio Sismológico Nacional (SSN); y gracias a este y otros sismógrafos instalados se ha podido determinar que durante el siglo XX se han producido 85 sismos de magnitud mayor a 7.0, de los cuales 8 son de magnitud mayor o igual a 8.0 en escala Richter.

TABLA 5.2
SISMOS MAYORES O IGUAL A 8.0 RICHTER EN EL SIGLO XX

AÑO	MAGNITUD
1900	8.1
1903	8.3
1907	8.2
1928	8.0
1931	8.0
1932	8.4
1932	8.0
1985	8.1

A partir de 1970, comienza la instalación de 9 acelerógrafos por parte de los Institutos de Geofísica (IGF), Ingeniería (II) e Ingeniería y Matemáticas Aplicadas en Sistemas (IIMAS) de la UNAM, y posteriormente al sismo de 1985, se incrementa nuevamente la red, con 8 acelerógrafos del Instituto de Ingeniería (II) de la UNAM, 30 de Ingenieros Civiles Asociados (ICA) y 43 pertenecientes a la Fundación Javier Barros Sierra. De todos estos aparatos 4 se encuentran instalados en el área de Tlalpan :

TABLA 5.3
ACELERÓGRAFOS EN TLALPAN

ESTACIÓN	UBICACIÓN	LAT N	LONG W	PROPIETARIO
Tlalpan	Es. Prim. 1o de Mayo Calle Las Fuentes entre Calle Allende y Av. San Fernando	19.29°	99.15°	ICA A.C.
Miramontes y Periférico	Glorieta en Periférico Sur y Canal de Miramontes	19.29°	99.17°	ICA A.C.
Inst. Médico Pediátrico	Antiguo Camino a Acapulco	19.34°	99.20°	Fund. J. Barros Sierra
Fund. J. Barros Sierra 2	Carr. al Ajusco num. 203 H. de Padierna	19.30°	99.21°	Fund. J. Barros Sierra

El sismo más significativo en materia de desastres ha sido sin duda el sismo de Septiembre 1985, el cual tuvo su epicentro en la costa de Michoacán, y afectó de manera drástica la ZMCM, ocasionando una gran cantidad de muertos y cuantiosas pérdidas económicas. Dentro del perímetro de Tlalpan, por efectos de ése sismo se obtuvieron solamente daños en algunas edificaciones. (TABLA 5.4) (FIG. 5.4)

TABLA 5.4
UBICACIÓN DE EDIFICACIONES DAÑADAS EN TLALPAN
POR EL SISMO DE 1985

DIRECCIÓN	UBICACIÓN	COLONIA	NIVELES
Acoxpa	Entre Calz. Miramontes y Cafetales	Villa Coapa	1
Acoxpa 14	Entre Miramontes y Cafetales	Villa Coapa	3
Allende s/n	Entre Av. Insurgentes Sur y Av. San Fernando	Tlalpan	2
Cafetales 140	Entre Canal Nacional y Calz. Miramontes	Ex-hacienda Coapa	3
Calz. del Hueso s/n		Granjas Coapa	5
Celestún	Celestún esq. Tizimin	Lomas de Padierna	0
Edif. F 26-904	U.H. Villa Olímpica	Villa Olímpica	10
Escuela s/n	Escuela esq. Puente	Ejidos de Huipulco	4
Hidalgo y Magisterio Nacional.		Tlalpan	0
Izamal s/n	Entre Chumul y Chapab	Lomas de Padierna	2
La Garita 135	Entre Periférico Sur y Calz. del Hueso	Villa Coapa	3
México 928		Héroes de Padierna	3
Norte 74 3515	Entre Oriente 87 y Oriente 81	La Joya	1
Norte 74 3715		La Joya	2
Oaxaca 13 bis		Lomas de Padierna	4
Periférico Sur 5170		Fuentes del Pedregal	6
Plaza Coapa s/n		Villa Coapa	2
Prol. 5 de Mayo		San Pedro Mártir	1
Prol. 5 de Mayo s/n		San Pedro Mártir	0
Puente 224		Ejidos de Huipulco	0

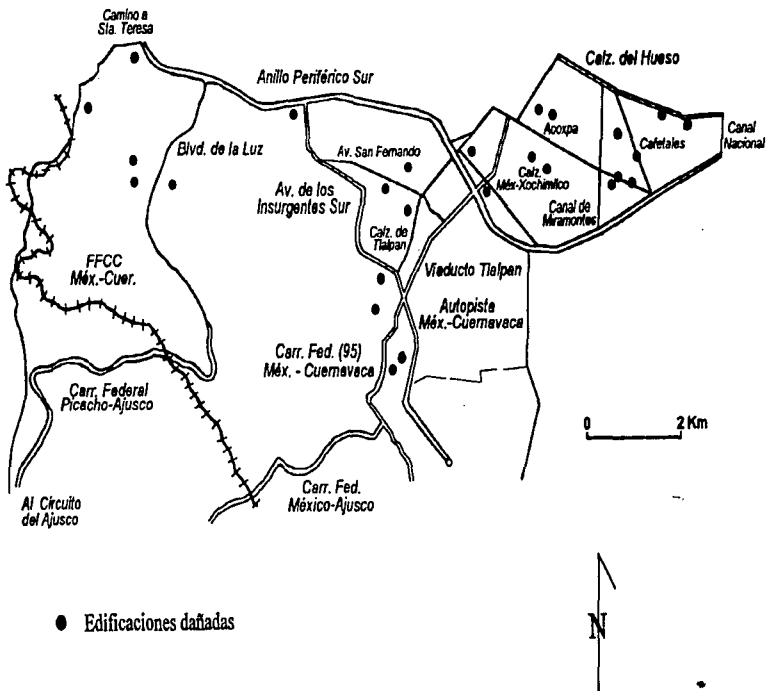


FIGURA 5.4 UBICACIÓN DE EDIFICACIONES DAÑADAS EN TLALPAN POR EL SISMO DE 1985

Tarascos s/n		Tlalcoligía	0
Tenorio 222	U.H. Tlalpan	U.H. Tlalpan	2
Tenorios 222		Ex-hacienda Coapa	0
Tepozán s/n		San Nicolás Totolapa	0
Tlalpan 4379		Toriello Guerra	4
Vasco de Quiroga 15	Entre Martín de la Cruz y Av. San Fernando	Tlalpan	5
Viaducto Tlalpan	Viaducto Tlalpan esq. con Camino a Tepepan	Tlalpan	0

Sin embargo, a pesar de este número registrado de edificaciones dañadas, comparativamente con el resto de la ciudad, especialmente con la zona del Centro Histórico, el área de Tlalpan fue una zona con menor grado de afectación.

Para determinar la vulnerabilidad en Tlalpan, para efectos de sismicidad, se decidió establecer una escala numérica subjetiva, para clasificar en zonas de vulnerabilidad baja (valor = 0.33), media (0.66) y alta (1.0), para que de esta manera, sea posible correlacionar de manera adecuada cada uno de los diferentes factores que posteriormente determinan el valor del riesgo, aunque es necesario aclarar que esta clasificación no es del todo perfecta y puede ser subjetiva. En el presente trabajo se decidió, para determinar los diferentes niveles de vulnerabilidad en el área de estudio, utilizar solamente, los siguientes parámetros :

- 1) El tipo de subsuelo
- 2) Zonas con edificaciones de mayor altura (5 niveles o más) y edificaciones inadecuadas
- 3) Áreas de mayor densidad de población

Tipo de Subsuelo

De acuerdo a las características geológicas en el área de estudio, el subsuelo presente en Tlalpan es de dos tipos principalmente, el volcánico y el lacustre. La población asentada en la zona volcánica, especialmente sobre los flujos lávicos del volcán Xitle o en la zona de los pedregales, corresponde a la mayoría de las colonias de Tlalpan, tales como : el Centro de Tlalpan, Ampliación Miguel Hidalgo, Fuentes Brotantes, Fuentes del Pedregal, Tlalcoligía y la Villa Olímpica, entre otras, además de los diferentes centros suburbanos, tal como Santo Tomás Ajusco, San Miguel Xicalco y Parres El Guarda. Estos lugares han sufrido un nivel bajo de daños por efectos sísmicos comparativamente con los daños generados en el resto de la delegación, ya que es considerado como 'terreno firme', con un coeficiente de rigidez alto en el cual las ondas sísmicas pasan sin efectos drásticos. En cambio, la población asentada en la zona lacustre, que comprende las colonias de Villa Coapa, Hacienda Coapa y Ejidos de Huipulco principalmente, han sido significativamente dañadas, ya que por la naturaleza del material constituyen una 'capa blanda', la cual al estar constituida por material limo-arcilloso y contener un elevado porcentaje volumétrico de agua en su interior es capaz de amplificar las ondas sísmicas hasta en valores de 0.2 g (Chávez-García,1995), valor

que presenta variaciones en proporciones de tres a cinco veces mayor que el valor de la aceleración en la zona volcánica. Esta amplificación se debe principalmente al bajo coeficiente de rigidez de este material y obviamente a la diferencia marcada entre la rigidez del terreno firme, ya que al pasar de un medio de menor rigidez la onda se refracta amplificándose. (Lomnitz, 1995).

Los daños en las edificaciones asentadas en la zona lacustre son mayores que las ubicadas en la zona volcánica, sin embargo comparativamente con los daños registrados en el centro de la Ciudad de México, donde los espesores de sedimentos lacustres son mayores; en Tlalpan no se produjeron muertes por efectos del sismo.

Con los datos anteriores se dividió a Tlalpan en dos zonas de acuerdo al grado de vulnerabilidad respecto a este parámetro: La zona lacustre de vulnerabilidad media (con valor numérico = 0.66), ya que es en esta parte donde se han registrado mayores daños a edificios y la zona volcánica de vulnerabilidad baja (valor = 0.33), por las características anteriormente descritas. (FIG. 5.5)

Zonas de edificios altos, construcciones de mala calidad y áreas densamente pobladas

En el área de Tlalpan, el principal uso de suelo esta dedicado al establecimiento de casa-habitación, es una zona principalmente de tipo residencial de sólo un nivel, la cual ha crecido de norte a sur, con los primeros establecimientos urbanos en la zona del actual centro de Tlalpan, lugar donde se ubican edificaciones antiguas que datan del siglo XVIII, como algunos edificios que albergan casas, residencias, escuelas, conventos y monasterios. Hace unas décadas se estableció una zona de Hospitales, modernos edificios de varios niveles que contrastaban con la arquitectura típica de Tlalpan. Es necesario, subrayar que los edificios en donde se alojan estas instituciones no resultaron dañadas con el sismo de 1985. Con el crecimiento desmedido de la población, el área de Tlalpan fue progresivamente cubierta formando zonas residenciales como Villa Coapa, Fuentes del Pedregal Villa Olímpica, lugar que albergó a los deportistas durante la Olimpiada de México 1968, y la de los alrededores de las ex-haciendas de Coapa, Huipulco, Santa Ursula, Peña Pobre y Tlalpan principalmente; posteriormente la expansión de la mancha urbana hacia el sur y a las laderas de los volcanes, se forman las zonas de: La Joya, San Pedro Mártir, Tlalcoligia, Lomas de Padierna y Miguel Hidalgo. Actualmente la población sigue asentándose en las laderas de los volcanes en predios federales y zona de reserva ecológica, construyendo habitaciones con materiales de mala calidad y exponiéndose a los desalojos por parte de las autoridades de la delegación. Finalmente y de manera reciente se han construido modernos edificios en la zona Norte de Tlalpan, en el área frente al Centro comercial Perisur, edificios donde se ubican oficinas, establecimientos bancarios y modernos hoteles.

Entre las edificaciones de mayor número de niveles en Tlalpan, se pueden mencionar las siguientes:

- Parque Cuicuilco
- Zona de Hospitales
- Zona de oficinas en Perisur
- U.H. Villa Olímpica
- U.H. Fuentes Brotantes
- U.H. Residencial Insurgentes

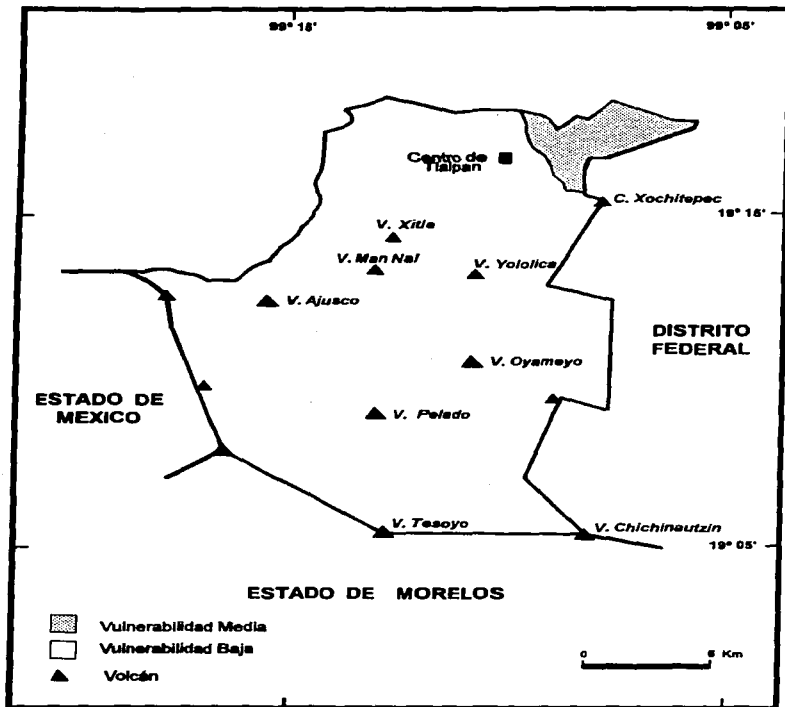


FIGURA 5.5 VULNERABILIDAD DE ACUERDO AL TIPO DE TERRENO EN TLALPAN

Las zonas de mayor densidad de población son :

U.H. Villa Coapa
U.H. Villa Olímpica
Área de Padierna-Ampl. Miguel Hidalgo
Centro de Tlalpan

Las zonas de menores recursos, con construcciones inadecuados a efectos sísmicos :

Lomas de Padierna
La Joya
Tlalcoligia

La ubicación de las zonas señaladas anteriormente puede indicarnos algunas zonas potencialmente vulnerables, a las cuales numéricamente se les ha asignado un factor numérico de 0.05 (que nos indica un valor bajo de probabilidad), el cual contribuirá el valor total de la vulnerabilidad ya señalado en párrafos anteriores, aunque es necesario aclarar que se desconoce si los edificios altos presentan estructuras de tipo antisísmicas. (FIG. 5.6)

Zonas vulnerables por efectos sísmicos secundarios

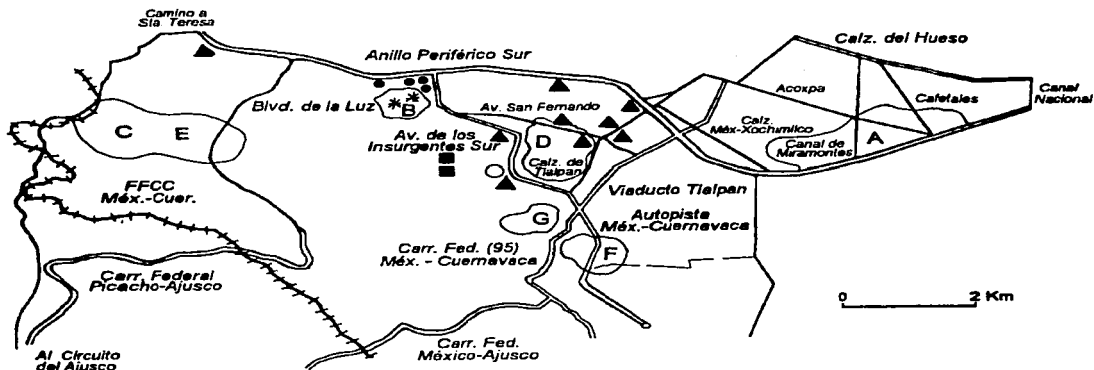
Los efectos secundarios potencialmente desastrosos debidos a sismicidad son : procesos de licuefacción, deslizamientos, caída de material, incendios entre otros.

Debido a la proximidad de algunas zonas urbanas a materiales factibles de deslizarse o desprenderse, se ha considerado como zonas vulnerables a aquellas que se encuentran en las cercanías a las barrancas formadas en la Sierra de Las Cruces comprendida por materiales diversos y con alto grado de fracturamiento al oeste de la colonia Lomas de Padierna, también a los pueblos denominados Magdalena Petlalcalco ubicada al Norte del Volcán Magdalena y el pueblo de San Miguel Ajusco, al este del Volcán Mali Nal, aparatos monogenéticos compuestos de materiales piroclásticos no consolidados.

De acuerdo con los factores anteriores se realizó un mapa de las zonas con diferente grado de vulnerabilidad en Tlalpan (FIG. 5.7)

5.2 El Riesgo Sísmico en Tlalpan

El análisis del riesgo se convierte en una tarea difícil, ya que no es posible en muchas ocasiones el cuantificar de manera absoluta la probabilidad de que un fenómeno natural ocurra, y en menor grado el obtener un factor de recurrencia de los fenómenos es impreciso, si no se cuenta con los datos necesarios para tal evaluación. En el caso de la sismicidad es evidente, por las condiciones tectónicas de la República Mexicana, que mientras se registre el proceso de subducción en la costa pacífica, que la sismicidad se producirá de manera frecuente, aún cuando la magnitud no necesariamente sobrepase o iguale los 7.0 grados Richter, por lo que la probabilidad de que se generen sismos en un futuro inmediato es alta, por lo que el valor numérico del peligro sísmico se consideró igual a 0.9, en casi la totalidad del área de Tlalpan. Y en aquellas zonas



0 2 Km

Edificios de 5 niveles o más :

Parque Cuicuilco, Oficinas Perisur y Paraíso Radisson
 Hospitales
 U.H. Villa Olímpica
 U.H. Fuentes Brotantes
 U.H. Residencial Insurgentes



Zonas de mayor densidad de población :

Villa Coapa	A
Villa Olímpica	B
Padierna	C
Centro de Tlalpan	D

Zonas de Escasos Recursos :

Padierna	E
La Joya - San P. Mártir	F
Tlalcoligía	G

FIGURA 5.6 LOCALIZACIÓN DE ÁREAS Y EDIFICIOS POTENCIALMENTE VULNERABLES EN TLALPAN

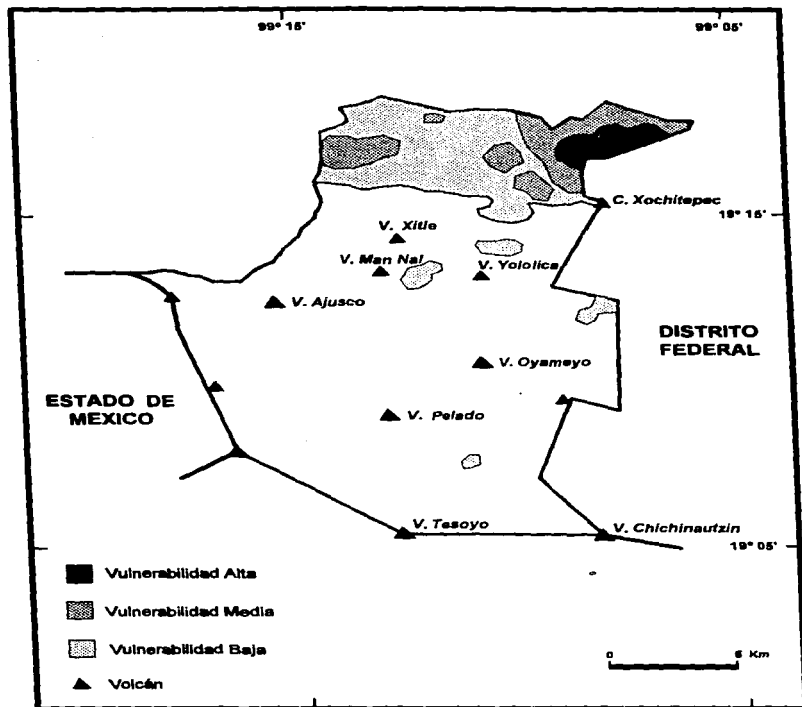


FIGURA 5.7 ZONAS VULNERABLES A LOS EFECTOS SISMICOS EN TLALPAN

cercanas o ubicadas sobre las trazas de las grandes fallas inferidas por De Cserna et al., se les asignó el valor máximo de peligro, igual a 1.0. (FIG. 5.8)

En cuanto a la vulnerabilidad, con el constante aumento en el nivel poblacional y el crecimiento o expansión de los actuales límites urbanos, cada vez es potencialmente mayor el grado de vulnerabilidad al asentarse en zonas naturalmente menos resistentes a los efectos sísmicos o construyendo con materiales de dudosa calidad y sin apego al reglamento de construcción vigente (el cual recomienda las estructuras antisísmicas); o bien poblando las ya actualmente zonas con densidad poblacional elevada.

Con base en los parámetros anteriores se realizó una zonificación preliminar en Tlalpan, donde se exponen áreas de diferentes grados de riesgo potencial: Sin Riesgo, Riesgo Bajo, Riesgo Medio y Riesgo Alto, de acuerdo a la aplicación de la ecuación 4.1 (CAPITULO IV), donde las zonas Sin Riesgo tienen valor numérico igual a 0, las zonas de Riesgo Bajo son aquellas que tienen un valor entre 0 a 0.33, Riesgo Medio varía entre 0.34 - 0.66 y Riesgo Alto con valor mayor a 0.66, estos diferentes niveles fueron representados en los siguientes colores: rosa, amarillo, anaranjado y rojo, respectivamente. (MAPA DE RIESGO SÍSMICO).

En el Mapa señalado anteriormente puede observarse que la zona de Sin Riesgo es la constituida por la reserva ecológica, en donde no hay asentamientos urbanos pero sí áreas agrícolas y ejidales además de algunas vías de comunicación, por lo cual los valores de vulnerabilidad tienden a cero pero no deben notificarse, aunque el valor de peligro es alto.

Las zonas de Riesgo Bajo, son aquellas asentadas en zonas de roca volcánica, en donde a pesar de ser muchas de ellas zonas marginales, no presentan edificaciones de un mayor número de niveles o alta densidad de población.

Las zonas de riesgo medio, son principalmente áreas densamente pobladas y de escasos recursos, como es el caso de Lomas de Padierna, Tlalcoligía, San Pedro Mártir, Magdalena Petlalcalco, a pesar de estar asentadas directamente sobre depósitos volcánicos. El centro de Tlalpan con construcciones pesadas y alta densidad de habitantes, también obtuvo el nivel de riesgo medio. Y áreas sin alta densidad de habitantes, pero asentadas sobre material lacustre también obtuvieron este nivel de riesgo tal como las colonias Toriello Guerra, Ejidos de Huipulco y Acoxta.

El área de Riesgo Alto, esta ubicada en Villa Coapa, donde además del asentamiento sobre materiales blandos (lacustre), existe una densidad habitacional alta y con edificaciones de varios niveles, lo cual le genera un alto valor de vulnerabilidad y con ello mayor exposición al riesgo por fenómenos sísmicos.

Se recomienda en esta zona reforzar cimentaciones de los edificios, en especial aquellos de más de 5 niveles y restringir su uso solamente de tipo habitacional.

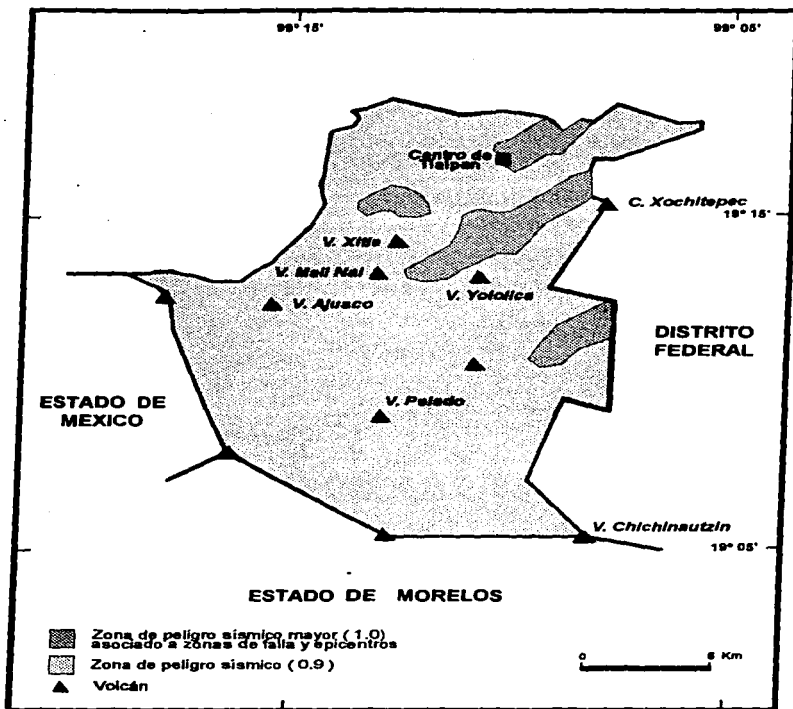


FIGURA 5.8 ZONIFICACIÓN DE ÁREAS DE PELIGRO SÍSMICO EN TLALPAN

VI. ZONIFICACIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO

6.1 Los peligros volcánicos

Desde una perspectiva global, las zonas con actividad volcánica actual pueden ser identificadas de manera similar a los centros de actividad sísmica, ya que de manera general, ambos fenómenos están asociados a los diferentes procesos de la geodinámica interna que generan y controlan el movimiento e interacción de las diferentes placas litosféricas que conforman la superficie terrestre.

De acuerdo a estas observaciones, las zonas de volcanismo activo se concentran en los siguientes ambientes tectónicos :

A) En la cercanía de límites convergentes entre placas, ya sean zonas de subducción o zonas de colisión, y que forman estructuras de arcos de islas o márgenes continentales activos.

B) Sobre los límites divergentes entre placas, que forman las dorsales oceánicas.

C) Por efecto de plumas del manto o Hot Spots

Ahora bien, es en la estructura conocida como Anillo Circumpacífico o Anillo de Fuego del Pacífico, donde es posible ubicar aproximadamente un 80% del total de volcanes activos del mundo. (FIG. 6.1) Entre los cuales se incluyen los volcanes Unzen y Sakurajima en Japón, el St. Augustine y Katmai en Alaska, el volcán Pinatubo en Filipinas, el volcán Shiveluch en la península de Kamchatka en Russia, los volcanes St. Helens y Mt. Rainier en el W de Estados Unidos, la cadena volcánica de los Andes en Sudamérica y los volcanes de Colima, Popocatépetl y Citlaltépetl, en México.

De acuerdo con los registros históricos, es posible saber que las erupciones volcánicas y algunos eventos asociados a ellas, presentan un carácter altamente destructivo, debido a la peligrosidad que representan estos fenómenos volcánicos y lo cual se agudiza cuando ocurren en un área densamente poblada. En la TABLA 6.1, se menciona algunos eventos volcánicos desastrosos en función del número de muertes generadas.

El asentamiento de centros urbanos alrededor de zonas volcánicas activas o potencialmente activas es muy común y frecuente en los países con amplia actividad volcánica y especialmente en aquellos en vías de desarrollo, en donde la pobreza y marginación orilan a la gente a ubicarse en estos sitios, debido fundamentalmente al desarrollo de suelos fértiles y aptos para la agricultura. Este tipo de asentamientos humanos constituyen un factor muy importante en el número de desastres originados por efectos volcánicos que, comparado con otro tipo de desastres originados por otros fenómenos naturales e incluso provocados por mismo el hombre, son menos frecuentes y ocasionan menor número de daños de manera global, como se muestra en la siguiente figura. (FIG. 6.2)

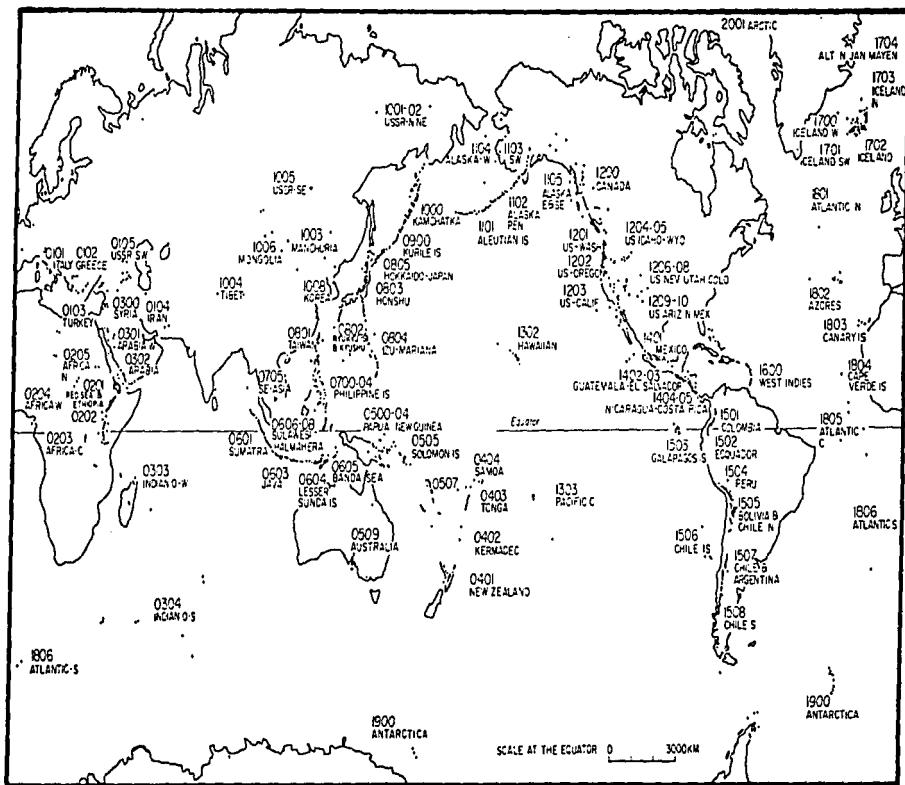


FIGURA 6.1 UBICACIÓN DEL VULCANISMO ACTIVO EN EL MUNDO
 (El número se refiere al sistema de clasificación del : Catalogue of
 Active Volcanoes of the World) (Blong, 1984)

TABLA 6.1
ALGUNOS DESASTRES GENERADOS EN EL MUNDO POR FENÓMENOS
VOLCÁNICOS Y EVENTOS ASOCIADOS

VOLCÁN	PAÍS	AÑO	EVENTO VOLCÁNICO CATASTRÓFICO	NÚMERO DE MUERTES
Vesuvio	Italia	1630	Flujos de Lava	18 000
Merapi	Indonesia	1672	Flujo Piroclástico	300
Oshima	Japón	1741	Tsunami	1 475
Cotopaxi	Ecuador	1741	Lahar	1 000
Colima	México	1806	Sismos volcánicos	2 000
Tambora	Indonesia	1815	Flujo Piroclástico Hambruna	12 000 80 000
Galunggung	Indonesia	1822	Lahar	3 600
Nevado del Ruiz	Colombia	1845	Lahar	700
Cotopaxi	Ecuador	1877	Lahar	1 000
La Soufriere	St. Vincent	1902	Flujo Piroclástico	1 680
Mt. Pelée	Martinica	1902	Flujo Piroclástico	3 800
Santa María	Guatemala	1902	Flujo Piroclástico	6 000
Taal	Filipinas	1911	Flujo de escombros	1 335
Kelut	Indonesia	1919	Lahar	5 110
Arenal	Costa Rica	1968	Flujo Piroclástico	78
Chichón	México	1982	Flujo Piroclástico	2 000
Nevado del Ruiz	Colombia	1985	Lahar	23 000

* Modificada de Tilling 1993

Pero aún así, los eventos o fenómenos volcánicos son extremadamente peligrosos, ya que por su diversidad afectan tanto directa como indirectamente la vida, la salud y los bienes materiales de las poblaciones afectadas. Algunos de estos eventos volcánicos que constituyen peligros para el ser humano se muestran en la siguiente tabla (TABLA 6.2) y posteriormente se describen de manera breve :

Flujos de Lava Este es uno de los eventos volcánicos que provocan un número mínimo de pérdida de vida en la población afectada, aunque sí son muy destructores de bienes materiales e infraestructura. Estos flujos se mueven de acuerdo a la topografía pre-existente, y su distancia de alcance a partir del centro emisor así como el área de cobertura depende de varios factores tales como la pendiente por la que fluyen, la viscosidad de la lava y la tasa de efluencia del material. El alcance de los flujos lávicos de composición basáltica puede ser mayor a los 50 km., mientras que los de composición andesítica rara vez recorren distancias mayores a 20 km. (Crandell, 1984). Las temperaturas medidas en estos tipos de flujos van de 1050 - 1130 °C en los flujos basálticos y de 880 - 1050 °C en algunos flujos andesíticos (Blong, 1984). Entre los efectos destructivos de este tipo de flujos se pueden mencionar : sepultamientos, quemaduras, generación de incendios, y en algunas ocasiones explosiones en el frente de avance, además de su gran capacidad para fundir hielo y nieve. Es posible predecir la trayectoria potencial de un

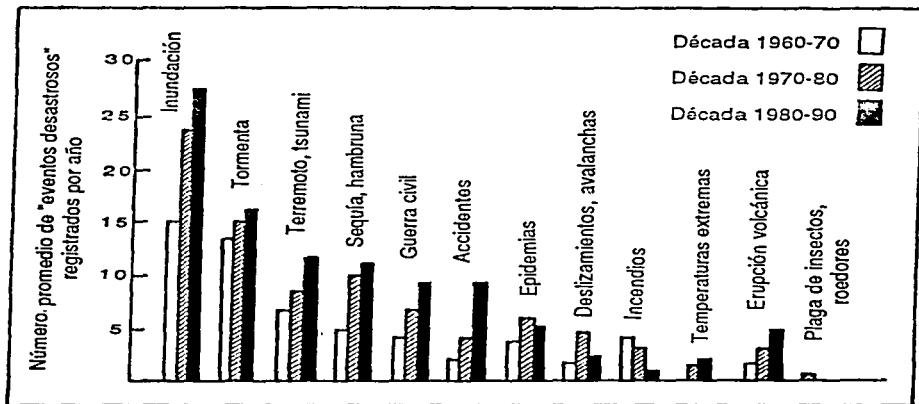


FIGURA 6.2 REGISTRO DEL NÚMERO DE EVENTOS DESASTROSOS, TANTO NATURALES COMO ANTROPICOS (Tilling, 1993)

**TABLA 6.2
EVENTOS VOLCÁNICOS Y EFECTOS SECUNDARIOS, QUE
CONSTITUYEN PELIGROS VOLCÁNICOS**

EVENTOS VOLCÁNICOS PRIMARIOS:	
Flujos de Lava	
Cajaída de Fragmentos Piroclásticos balística	Fragmentos con trayectoria Transportados por viento
Flujos Piroclásticos	
Oleadas Piroclásticas	
Avalanchas	
Lahares	
Gases Volcánicos	
EFECTOS SECUNDARIOS :	
Sismos Volcánicos	
Deformación de Terreno	
Tsunami	
Efectos Atmosféricos	

flujo analizando la topografía y determinando el posible centro eruptivo, así como los tiempos de arribo de acuerdo a sus características químicas. En algunos sitios, como Hawaii, se han construido barreras e intentado por diversos métodos detener el avance de estos flujos con resultados satisfactorios.

Caída de Fragmentos Piroclásticos La caída de este material piroclástico o tefra, ocurre cuando se genera una erupción con características explosivas, en la cual se forma una columna eruptiva capaz de expulsar hacia la atmósfera estos fragmentos. La salida de estos materiales puede ocurrir formando parte de esta columna eruptiva y ser transportada por el viento dominante en la región o bien caer por gravedad después de ser expulsada, o bien ser lanzada desde el conducto eruptivo con una trayectoria balística (trayectoria de tiro parabólico). La caída de este material constituye un evento peligroso debido a : 1) Fuerza del impacto y quemaduras provocadas al caer, 2) Efectos de sepultamiento y acumulación del material, 3) Formación de una masa en suspensión de partículas de grano fino en el aire y en depósitos de agua y 4) Transporte de gases, ácidos y sales nocivas. (Tilling, 1993). Todos estos factores anteriores pueden provocar daños diversos que van desde la pérdida de la vida por impactos directos y/o asfixia, destrucción de la

vegetación y áreas agrícolas, abrasión de materiales, contaminación y azolve de depósitos y conductos de agua; y la generación de efectos atmosféricos adversos. El área de afectación estará en estos casos en función del tamaño de la columna eruptiva, del índice de explosividad y volumen de material eyectado, de la dirección del viento y de la distancia respecto al centro de emisión de la tefra.

Flujos Piroclásticos Se refieren a flujos de alta concentración de partículas, dispersión gas-sólido, de altas temperaturas, parcialmente fluidizados y controlados por gravedad. Este tipo de flujos se pueden generar a partir de erupciones explosivas, en donde se registren : 1) Explosión dómica, 2) Colapso de la columna eruptiva, 3) Colapso estructural o 4) Desbordamiento inducido por procesos de ebullición (Boiling Over). Son flujos que desarrollan altas velocidades, que pueden ser mayores a los 100 [m/seg]. De acuerdo con su granulometría y composición se clasifican en : flujos de ceniza, flujos de pómez o ignimbritas, flujos de escoria y flujos de bloques y ceniza. Las temperaturas en estos flujos varían entre los 390 - 850°C y debido a su valor alto de resistencia crítico para iniciar la deformación (yield strength), son capaces de transportar bloques de tamaños considerables. Debido a su masa, alta temperatura, gran movilidad y velocidades pueden recorrer grandes distancias y son capaces de sepultar, quemar e impactar objetos interpuestos en su camino o bien cubrir grandes extensiones de área, además de provocar incendios y asfixia.

Oleadas piroclásticas (Surges) Son flujos expandidos, turbulentos, con baja concentración de partículas, tienden a cubrir la topografía pre-existente. Se forman a partir de erupciones freáticas y freatomagmáticas, así como por transformaciones de flujos piroclástico durante su transporte. Por su alta concentración de gases, tienden a alcanzar velocidades altas, y los fragmentos que viajan en suspensión también a gran velocidad son capaces de destruir por efecto de abrasión e impacto todo lo que se encuentre a su paso. La temperatura alta es también un factor muy importante. El alto contenido de gases tiende a dispersar más fácilmente este tipo de flujo, con lo cual puede afectar áreas muy grandes aún cuando los depósitos remanentes sean de poco espesor, es por ello que estos flujos y eventos presentan un alto potencial destructivo, tal como sucedió en el volcán Chichón, en Chiapas, en 1982, cuando el paso de una violenta oleada piroclástica destruyó diversas poblaciones asentadas en las vecindades del volcán. (Macías-Vázquez, comunicación personal).

Avalanchas de Escombros Este es un evento de gran potencial destructivo, el cual puede originarse tanto en estratovolcanes, conos de escoria, domos y en volcanes de escudo, por efectos tales como, la presencia de pendientes pronunciadas, fallas y fracturamiento, deformación interna, efecto de contrafuerte, entre otros. Son flujos en masa, que se generan de manera instantánea, aunque en algunas ocasiones se han observado actividad premonitoria, tal como eventos sísmicos previos. Pueden mostrar alcances de hasta 85 km., cubrir áreas de 1000 km² y formar depósitos con volúmenes mayores a 10 km³ (Tilling, 1993). Estos flujos tienen alto potencial destructivo, tienen gran poder erosivo, destruyen la topografía pre-existente, y por su valor alto de esfuerzo crítico (yield strength) pueden impactar y demoler todo a su paso, como se ha observado en diversos fenómenos ocurridos en el presente siglo. Esta avalanchas pueden ser generadas por medio de actividad eruptiva, sísmica o por simple colapso estructural del edificio asimismo pueden inducir otro tipo de eventos tal como la formación de lahares, tsunamis al entrar en contacto con grandes masas de agua, como ocurrió en la

erupción de Mt. St. Helens en 1982 y desencadenar grandes explosiones por efectos de despresurización e inestabilidad del sistema volcánico.

Lahares Corresponden con flujos; compuestos de material volcánico y agua, que se origina en la pendiente de un volcán, este flujo es controlado por gravedad y puede generarse durante una erupción (debido a la combinación de diversos factores) o después de la erupción volcánica (como consecuencia de una lluvia torrencial que provoca este flujo de lodo al incorporar el material no consolidado de la pendiente del volcán). Es uno de los fenómenos volcánicos más destructivos y desastrosos, ya que debido a sus características de flujo de tapón (plug flow), alto valor de densidad total (high bulk density) y alto valor de esfuerzo crítico (yield strength); es capaz de transportar grandes bloques o arrasar con objetos voluminosos. El área que puede cubrir así como el alcance de un flujo dependerán del volumen de material, del gradiente de la pendiente, de la granulometría de las partículas y de las diversas transformaciones que sufra el flujo durante el trayecto. Este flujo puede atrapar personas y ganado, destruir por efecto de sepultamiento o cobertura grandes áreas agrícolas e inclusive vías de comunicación y viviendas. La velocidad que alcanzan los lahares es de hasta 70 m/seg, y está en función de su volumen, contenido de agua y el gradiente por donde fluyen, la distancia alcanzada puede ser de hasta 100 km., también dependiendo de la relación sólido/agua y si se ha encañalado el flujo. Basta recordar el gran desastre ocurrido en la ciudad de Armero, Colombia en noviembre de 1985, en el cual perdieron la vida más de 23 000 habitantes por el efecto de un lahar originado por la interacción de un flujo piroclástico y la cobertura de nieve del volcán Nevado del Ruiz.

Gases Volcánicos El principal gas derivado de una erupción volcánica lo constituye el vapor de agua, el cual a pesar de su alta temperatura no constituye un peligro, a menos que se esté expuesto directamente a él, sin embargo, existen otro tipo de gases los cuales si presentan características tóxicas para los diferentes seres vivos expuestos a ellos, tal es el caso del dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), ácido sulfhídrico (H_2S), dióxido de azufre (SO_2), cloruro (Cl^-) y fluoruro (F⁻) principalmente. La combinación entre estos gases también es muy peligrosa ya que la combinación de algunos compuestos de azufre al combinarse con los gases de flúor y/o cloro producen ácidos muy venenosos los actúan sobre los tejidos blandos como piel y ojos con un efecto corrosivo, además de causar severas quemaduras y daños en el aparato respiratorio. El CO , es un gas altamente venenoso el cual por ser inodoro y tener una densidad mayor a la del aire, causa asfixia de manera rápida a los seres expuestos a él, tal como sucedió en las cercanías del Lago Nyos. (Keller, 1988)

Efectos Secundarios Entre los fenómenos peligrosos asociados al volcanismo se mencionan los siguientes :

Sismos volcánicos, los cuales generalmente están restringidos a las zonas proximales al aparato volcánico y generalmente no presentan magnitudes mayores a los 7 grados Richter, siendo más común el registro de microsismicidad, debida al movimiento de magma, explosiones volcánicas, fragmentación del material, ascenso de magma por el conducto y/o esfuerzos tectónicos. Generalmente esta sismicidad no es peligrosa, aunque si excede los 6 grados Richter podría ocasionar daños severos en la población, similares a los de cualquier sismo (CAPITULO V).

Deformación del Terreno, este es un efecto asociado al volcanismo, cuando en el interior se producen deformaciones por esfuerzos internos, los cuales son

capaces de provocar grandes deslizamientos, caídas de material e inclusive colapsos del edificio volcánico, que desencadenarían una avalancha.

Tsunami, se producen cuando un evento volcánico entre en contacto con un cuerpo o depósito de agua, en el cual se genera una perturbación que forma grandes olas de agua, provocando daños con ello. Estos no son comunes, sin embargo se producen tal como se observó en la erupción de 1982 en el Mt. St. Helens al interaccionar una avalancha con Spirit Lake.

6.2 Factores de riesgo volcánico

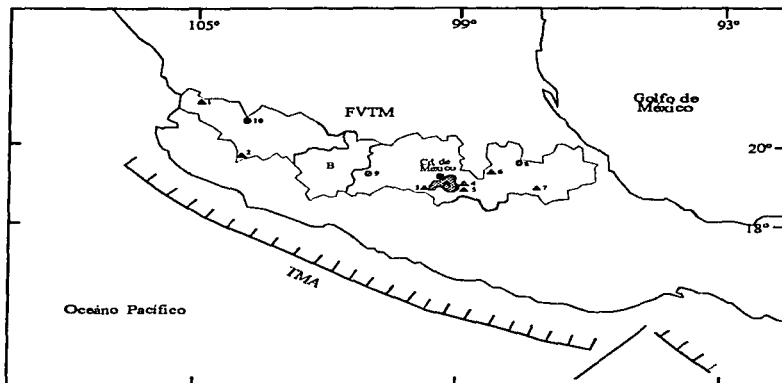
Para el análisis del riesgo volcánico, es necesario determinar las condiciones del peligro volcánico, así como la vulnerabilidad dada por la población y sus bienes expuestos a los diversos fenómenos potencialmente peligrosos.

La evaluación de los peligros volcánicos debe basarse principalmente en la identificación de aparatos o zonas volcánicas potencialmente activas, estudiando lo más detalladamente posible el registro geológico del lugar, dado por la estratigrafía de los productos volcánicos, con especial énfasis en la historia eruptiva de los últimos 10 000 años y el registro eruptivo en tiempos históricos. El adecuado conocimiento de los diferentes depósitos volcánicos unido al conocimiento del marco geológico regional, nos permitirá determinar parámetros tales como el tipo de actividad eruptiva y los alcances (espacio-temporales) de los eventos pasados, parámetros con los cuales será posible una evaluación más aproximada del tipo de fenómeno potencialmente peligroso que puede ocurrir en la zona.

Como se ha expuesto en capítulos anteriores del presente trabajo, Tlalpan se encuentra ubicada en los límites al sur de la Cuenca de México, la cual forma parte de la Porción Central de la FVTM. Esta provincia volcánica de edad plio-cuaternaria, debe su formación al efecto de subducción entre la Placa de Cocos de mayor densidad debajo de la Placa Norteamérica de tipo continental, frente a las costas de Michoacán, Guerrero y Oaxaca, dicha interacción de placas se manifiesta con un volcanismo activo, representado por medio de diversos aparatos y zonas volcánicas activas a lo largo de la provincia. (FIG. 6.3)

Tlalpan se encuentra asentada sobre un campo volcánico monogenético, conocido como el Campo Volcánico Chichinautzin (CVCh), el cual presenta una gran número de conos cineríticos o de escoria (TABLA 3.1 en CAPÍTULO III) a excepción del volcán Ajusco, el cual es un estratovolcán de edad pleistocénica, más antiguos que los productos de la formación Chichinautzin.

Actualmente en el CVCh, no se cuentan con evidencias físicas tales como actividad hidrotermal (manifestaciones de manantiales termales ni fumarólicas), deformación visible del terreno o actividad sísmica que nos indique la presencia y movimiento de magma através de conductos, o bien fragmentación de material en el subsuelo, tal vez debido a la ausencia de redes de monitoreo para conocer estas posibles situaciones. Debido a lo anterior resulta difícil evidenciar de manera precisa la actividad potencial del Campo Volcánico Chichinautzin, sin embargo dada la actividad reciente, en tiempos históricos del volcán Xitle (hace 2260 años) y de la relativa juventud de otros volcanes con edades menores a los 10 000 años (volcanes Chichinautzin, Pelado, Tetequillo, Caballito y Palomito), este campo puede ser considerado activo, ya que aún cuando los diversos aparatos existentes no renueven su actividad, debido a su



Campos Volcánicos

- A** Campo Volcánico Chichinautzin
B Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato

Aparatos Volcánicos principales ▲ ●

- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| 1 Volcán Ceboruco | 7 Volcán Citlaltépetl |
| 2 Volcán de Colima | 8 Caldera Los Humeros |
| 3 Volcán Nevado de Toluca | 9 Caldera Los Azufres |
| 4 Volcán Iztaccihuatl | 10 Caldera La Primavera |
| 5 Volcán Popocatepetl | |
| 6 Volcán La Malinche | |

FIGURA 6.3 VOLCANISMO ACTIVO EN LA FVTM, MÉXICO

carácter monogenético, ello no es prueba de que no se pueda generar un nuevo aparato volcánico en este campo.

Uno de los criterios para la identificación de volcanes de alto riesgo, se basa en un sistema de calificación de factores que combinan algunos datos sobre la actividad eruptiva pasada y los daños en cuanto a pérdidas en vidas humanas en el registro histórico, además del número de personas actualmente expuestas a los efectos volcánicos. Este criterio propuesto por Yokoyama en 1984, se aplica aquí para la evaluación del CVCh, de acuerdo con los datos ya expuestos en el CAPÍTULO III del presente trabajo para un evento similar al de la erupción del volcán Xitle. El criterio se basa en un cuestionario de 17 reactivos, a los cuales debe aplicarse un valor numérico de 1 si es aplicable y de 0 si no lo es, por lo que a mayor cantidad de puntos (máximo 15), mayor es el grado de riesgo. (TABLA 6.3).

TABLA 6.3

APLICACIÓN DEL CRITERIO DE YOKOYAMA, EN LA IDENTIFICACIÓN DE VOLCANES DE ALTO RIESGO

GRADO DE PELIGRO	VALOR
1) Alto contenido de sílice en productos eruptivos	0
2) Actividad explosiva de importancia en los últimos 500 años	0
3) Actividad explosiva de importancia en los últimos 5 000 años	1
4) Flujos Piroclásticos en los últimos 500 años	0
5) Flujos de lodo en los últimos 500 años	0
6) Tsunami destructivo en los últimos 500 años	0
7) Área afectada por destrucción en los últimos 5 000 años es > 10 km ²	1
8) Área afectada por destrucción en los últimos 5 000 años es > 100 km ²	1
9) Ocurrencia frecuente de enjambres sísmicos de origen volcánico	0
10) Ocurrencia de deformación significativa del suelo en los últimos 50 años	0
GRADO DE PELIGRO	VALOR
11) Población bajo riesgo > 100	1
12) Población bajo riesgo > 1 000	1
13) Población bajo riesgo > 10 000	1
14) Población bajo riesgo > 100 000	1
15) Población bajo riesgo > 1 000 000	0
16) Hubo víctimas en tiempos históricos	1
17) Se ha evacuado la zona debido a erupciones en tiempos históricos	0
PUNTAJE TOTAL	8

El valor obtenido al utilizar este criterio no es determinante de alto riesgo si se compara con los valores obtenidos para volcanes tales como el Popocatepetl con 12 puntos (Carrasco-Núñez, comunicación personal.), el cual está en actividad eruptiva actualmente y es considerado de alto riesgo. Es necesario aclarar que el anterior criterio ha sido creado para identificar aparatos volcánicos de alto riesgo y que no existe un criterio específico para la evaluación de actividad en campos monogenéticos, sin embargo se aplicó en caso de una erupción volcánica similar a la del Xitle, en la cercanía de la actual zona urbana.

La construcción y formación de los diversos conos cineríticos o de escoria del CVCh, es debida a actividad eruptiva de tipo estromboliana. Este tipo de erupciones está caracterizada por la eyección de bombas volcánicas parcialmente fundidas, así como de ceniza, la cual construye los conos y forma coberturas piroclásticas o de tefra, este material varía desde pequeños fragmentos en tamaño de ceniza a grandes bloques, y dependerá fundamentalmente de la fuerza de la erupción. El depósito de estos materiales, algunos con trayectorias balísticas, de acuerdo a un ángulo de reposo, seguido en muchas ocasiones por pequeños deslizamientos (slumping) es el mecanismo que construye los volcanes, siendo sólo la ceniza fina y muy fina, transportada mayores distancias por el viento. (Heiken, 1992)

Además de la etapa explosiva de un cono cinerítico, su actividad puede consistir en la emisión de extensos flujos de lava, tal como puede observarse en los flujos lávicos del volcán Xitle, que tuvo un alcance de 13 km. y cubrió un área de 118 km² (TABLA 3.2, en CAPÍTULO III), dada su gran movilidad y debido a su baja viscosidad proporcional a su bajo contenido de sílice.

Con respecto al volcán Ajusco, sin actividad eruptiva desde el Pleistoceno temprano, es considerado como un volcán inactivo. Aunque debido a lo anterior no debe ser descartado como un potencial generador de peligros volcánicos, ya que según las observaciones realizadas por Cervantes y Molinero (1995), durante el Pleistoceno medio y no debido a actividad eruptiva, se generó un colapso del edificio o avalancha, de tipo Bandai con un volumen de 1.4 km³ (Cervantes y Molinero, op. cit.), la cual tuvo un alcance estimado de 17 km. hacia la actual zona urbana de Tlalpan, de acuerdo con los depósitos reportados por los mismos autores. Recordando las descripciones dadas con anterioridad, este tipo de eventos volcánicos son muy destructivos por su gran efecto erosivo y características de movimiento. Aún y cuando no se ha generado una nueva actividad volcánica que construya nuevamente el edificio volcánico, este no presenta la 'cicatriz' o forma de herradura característica dejada por este tipo de eventos, tal vez como consecuencia de los efectos erosivos y por la cobertura de depósitos de tipo glacial. Dado el carácter poligenético del Ajusco, está constituido por una diversidad de materiales, los cuales pueden no estar debidamente consolidados y sucumbir ante otro evento que genere un colapso de material, para lo cual es necesario recordar que en el área de Tlalpan se presentan una serie de fallas activas, que afectan zonas próximas al volcán.

Otro de los eventos que pueden ser generados en Tlalpan son lahares, por la poca compactación del material del material piroclástico y aún cuando no se presenta un drenaje bien desarrollado, existen una diversidad de pequeños arroyos incipientes los cuales debido al tipo de material y por la presencia de una lluvia torrencial pueden generar flujos de materiales volcánicos, los cuales podrían llegar a ser muy destructivos. Sin embargo, a pesar de que los valores de precipitación pluvial son del orden de 881.7 a 1129 mm. anuales, los cuales son relativamente bajos (CAPÍTULO II), ocasionalmente se registran fuertes tormentas e incluso

trombas en la Cd. de México e inclusive se forman cubiertas de nieve en lo alto de algunos volcanes entre ellos el Ajusco, tal como se observó durante el invierno de 1995.

De acuerdo con la información anterior, el peligro de una actividad eruptiva está latente, considerando que el CVCh es potencialmente activo, de acuerdo con la edad reciente de sus productos. Si se genera una nueva actividad similar a las anteriores, dado que los aparatos volcánicos existentes no tendrán erupciones nuevamente, por sus naturaleza monogenética, los fenómenos peligrosos corresponderían a: a) Flujos de Lava y b) Caída de Tefra, aunque esto dependerá fundamentalmente de la ubicación de un nuevo volcán, cercana a o no a la zona urbana, por lo cual es difícil zonificar las zonas de mayor peligro y debe considerarse toda el área como zona de peligro. Entre los eventos peligrosos que pueden generarse sin que haya actividad eruptiva, se pueden contar en el área de Tlalpan: c) Caída de bloques, d) Avalancha y e) Lahares. (FIG. 6.4)

Para la evaluación de la vulnerabilidad en Tlalpan, respecto a los diferentes peligros volcánicos, se estableció una escala para clasificar las zonas de vulnerabilidad en: baja, media y alta, como se ha establecido en el anterior capítulo, tomando como referencia los siguientes parámetros:

- 1) Las áreas ocupadas por asentamientos urbanos dentro de Tlalpan
- 2) Las áreas sin población, pero con infraestructura y vías de comunicación
- 3) Las áreas agrícolas y de Reserva Ecológica

Áreas Urbanas

En Tlalpan el 16.5 % del área total es de tipo urbana, donde la gran mayoría se encuentra hacia la porción norte de la delegación, además de algunas áreas menores dispersas (FIG. 2.4 en CAPÍTULO II). Tomando en cuenta, que la mayoría de la población se encuentra concentrada en una misma área, una posible erupción con las características similares a las del volcán Xitle podría afectar de manera significativa a la población, tal vez no con una gran cantidad de pérdida de vidas, ya que los peligros asociados a actividad eruptiva estromboliiana, no constituyen un gran peligro a la vida, sino a la destrucción de bienes materiales e infraestructura. Pero aunque Tlalpan se encuentre dentro de un campo volcánico considerado activo, no hay una actividad actual, razones por lo cual se le asignó a toda el área urbana una vulnerabilidad baja. Sin embargo, para aquellos zonas expuestas a un evento de tipo avalancha o lahares se ha decidido marcarlas con un grado de vulnerabilidad media. (FIG. 6.5).

Áreas con Infraestructura

Tlalpan cuenta con numerosas e importantes vías de comunicación, muchas de las cuales se encuentran formando parte del área urbana, sólo fuera de ésta zona se ubican las carreteras federales número 95, la carretera panorámica al Ajusco y la Autopista México-Cuernavaca, las cuales al ser posiblemente afectadas por cualquier evento podrían ocasionar múltiples daños ya que afectaría la comunicación entre las ciudades de México y las del sur y suroeste del país, factor por lo cual a estas zonas por esta razón, se les asignó un valor de vulnerabilidad baja.

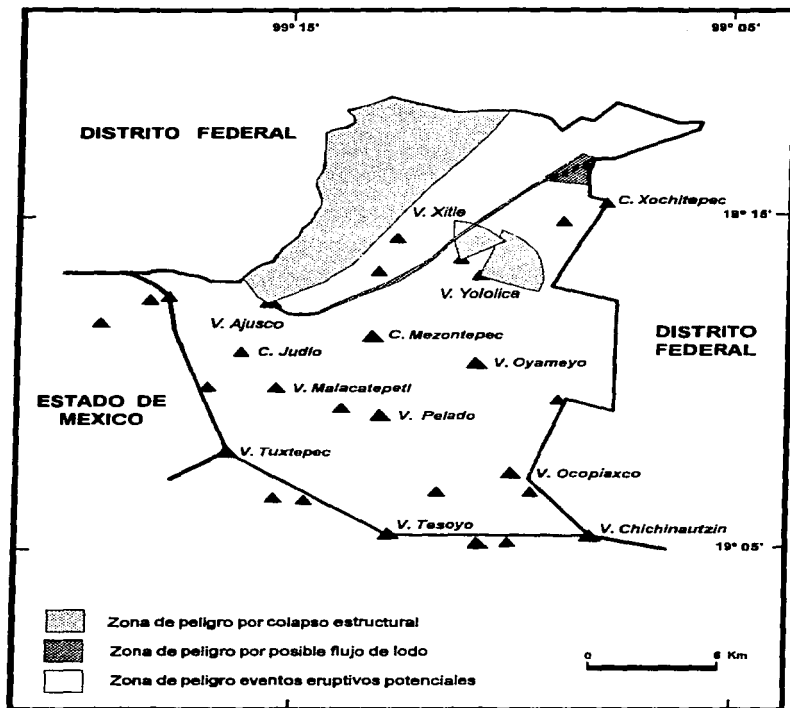


FIGURA 6.4 ZONIFICACIÓN DE PELIGROS VOLCÁNICOS EN TLALPAN

Áreas Agrícolas y de Reserva Ecológica

Constituyen más del 80 % de área total de Tlalpan. En el caso de las zonas agrícolas y ejidales estas constituyen un área económicamente rentable y fuente de trabajo para muchos pobladores tlalpenses, que al ser afectadas por algún fenómeno volcánico ocasionaría problemas, aún y cuando no hay asentamiento poblacional en ella, se le asignó una vulnerabilidad baja.

El caso de las zonas de reserva ecológica, son áreas boscosas, montañosas, áreas verdes, en las cuales está prohibido por las autoridades la instalación o construcción de viviendas, ya que están protegidas por constituir una fuente de oxígeno a la Cd. de México, es un área natural que al ser afectada por fenómenos naturales, no debería ser considerada vulnerable, sino parte del proceso de evolución del Medio Ambiente.

6.3 El riesgo volcánico en Tlalpan

Para la evaluación del riesgo volcánico en Tlalpan, se tomaron en cuenta los parámetros señalados con anterioridad, los cuales fueron definidos como eventos peligrosos y determinados los grados de vulnerabilidad.

La actividad volcánica, tal como una erupción o actividad premonitoria, no se observa dentro área de Tlalpan, sin embargo por el asentamiento de su población en un Campo volcánico considerado activo, en este trabajo se consideró asignarle un valor numérico de 0.02 a la probabilidad de que ocurra una erupción que afecte el área de estudio (lo cual nos indica una muy baja probabilidad). Conociendo el entorno geológico del área, la cual está sometida a esfuerzos tectónicos y sismicidad asociada, la probabilidad de que se generen algunos colapsos de material, caída de bloques y avalanchas, fue asignada un valor numérico de 0.05. Finalmente el área por donde puede fluir un lahar o flujo de lodo también tiene un valor de 0.05. Por lo que el área donde confluyen estos tres factores tendrán una probabilidad de peligro máximo de 0.12, mientras que en zonas donde sólo se presenta un factor de afectación tendrán valores de 0.05 a 0.02. Estos valores de 0.05 a 0.12 representan en sí, valores bajos de probabilidad de ocurrencia de eventos volcánicos, pero serán aplicados en la evaluación del riesgo de acuerdo con la ecuación 4.1 (CAPÍTULO IV).

Respecto a la vulnerabilidad, también se ha clasificado en tres niveles : Vulnerabilidad alta, media y baja, asignándoseles proporcionalmente valores numéricos de 1.0, 0.66 y 0.33 respectivamente, para la evaluación del riesgo.

De acuerdo con los datos anteriores las zonas de riesgo se clasifican en cuatro niveles de por su valor numérico tras aplicar la ecuación 4.1, en : Zonas de Riesgo Alto (> 0.66), zonas de riesgo medio (0.34-0.66) y zonas de riesgo bajo (0.33-0.01) y Zonas Sin Riesgo (= 0), coloreándose en rojo, anaranjado, amarillo y rosa, respectivamente. (MAPA DE RIESGO VOLCÁNICO EN TLALPAN)

Aplicando la ecuación para la evaluación del riesgo, Tlalpan se consideró de manera general una zona de bajo riesgo, debido a la no actividad eruptiva presente, aunque la posibilidad de que se genere un evento peligroso que afecte a la población existe y es latente.

Es recomendable un estudio de mayor detalle respecto a la estratigrafía volcánica de los productos de la Formación Chichinautzin, con un mayor número de

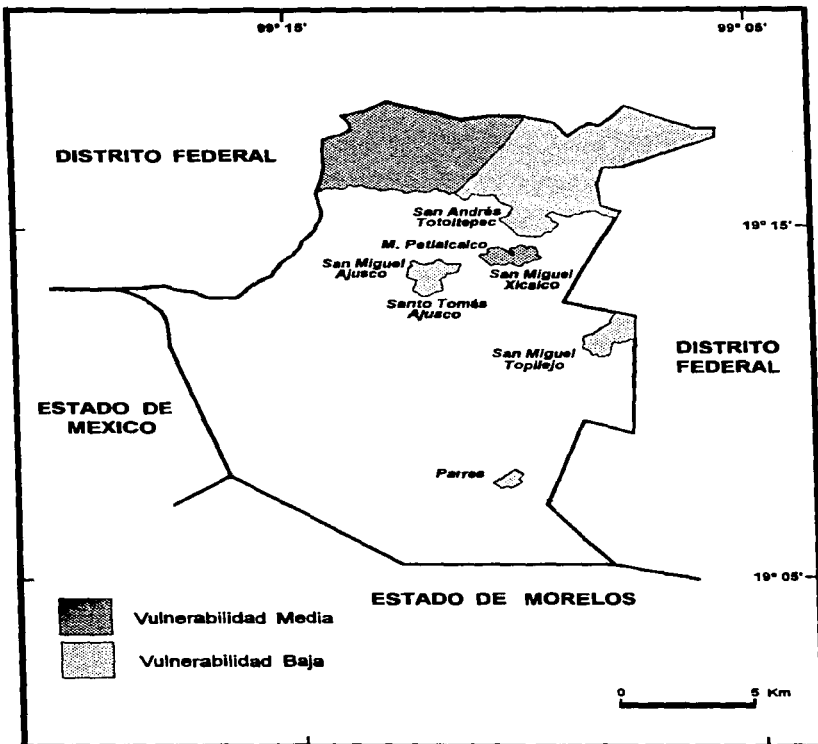


FIGURA 6.5 ZONAS VULNERABLES A LOS PELIGROS VOLCANICOS EN TLALPAN

fechamientos, además de una serie de estudios geofísicos que ayuden a determinar la presencia o movimiento de magma en el subsuelo.

VII. ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR PROCESOS EXÓGENOS

7.1 Procesos geomorfológicos y estructurales que constituyen peligro

Los factores geomorfológicos y estructurales son producto de los diferentes procesos tanto de geodinámica interna (que origina fallas y fracturas), como de procesos de geodinámica externa (erosión e intemperismo que provoca deslizamientos y deformación de terreno y laderas); y en muchas ocasiones ambas están asociados estrechamente a diversos fenómenos meteorológicos e inclusive a la actividad orgánica, incluyendo la influencia humana, razón por la cual algunos de estos eventos se clasifican como riesgos mixtos (TABLA 4.3 en CAPÍTULO IV).

Los fenómenos debido a procesos exógenos potencialmente peligrosos que se analizarán para el área de Tlalpan son los siguientes :

- Fallamiento y Fracturamiento
- Erosión
- Deslizamiento e Inestabilidad de laderas

Considerando que estos tipos de procesos son capaces de generar o crear situaciones de morfología inestable con el medio ambiente y por lo que tienden a alcanzar el equilibrio modificándose y con esto constituyen un peligro geomorfológico. (Panizza, 1993)

El efecto potencial que pueden producir los fallamientos y fracturamientos activos dependerá de la magnitud, tipo y frecuencia del movimiento, además es importante mencionar que este tipo de procesos puede actuar como disparador de otro tipo de procesos tales como : agrietamientos, sacudidas de terreno (o sismicidad local), deformación de terreno, caída de material y deslizamientos, los cuales pueden ocasionar graves daños y pérdidas a la población y a los bienes expuestos a ellos.

La erosión de los diferentes materiales geológicos posterior o no a los procesos de intemperismo, a su vez pueden también ser disparadores de otros efectos potencialmente peligrosos tales como: deslizamientos, inestabilidad de laderas, pérdidas de suelo útil para la agricultura, sedimentación y azolve.

Es difícil hablar separadamente de estos diferentes factores potencialmente peligrosos, ya que la interrelación entre ellos es muy estrecha y generalmente la ocurrencia de uno puede actuar como el detonante de otro fenómeno y así sucesivamente.

La erosión es un factor que debe ser considerado en la evaluación de los peligros geomorfológicos, ya que debido a este proceso se pueden perder grandes volúmenes de material, principalmente de suelo útil a la agricultura, así como del transporte y depósito de éste material removido en áreas en las que pudiera causar azolve en los drenajes. Los agentes erosivos más efectivos en el área de estudio, son principalmente el agua, ya sea en forma de corrientes superficiales, precipitación o como mantos de hielo y nieve, y el viento, aunque en menor escala que el anterior. Estos agentes dependen de las condiciones climatológicas que imperan en el lugar a los que se está expuesto y a las condiciones geológicas tales como el tipo de litología, fracturamiento y grado de intemperismo; además de otros efectos tales como fuerza de gravedad, sobrecarga o la interacción de organismos propios del medio ambiente.

Aún sin estos procesos de intemperismo y erosión, el material que conforman algunas laderas se encuentra en continuo movimiento pendiente abajo, los cuales en

muchas ocasiones se ve incrementado su movimiento por efecto de otros fenómenos tal como los sismos y movimientos de fallas, entre otros.

Es posible clasificar los deslizamientos como se resume en la siguiente tabla :
(TABLA 7.1)

TABLA 7.1 CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE DESLIZAMIENTOS Y MOVIMIENTOS PENDIENTE ABAJO

TIPO DE MOVIMIENTO	ROCA	SUELO
Deslizamientos (Contenido y Tasa de movimiento variable)	Slump de bloques movimientos de translación	Slump de bloques Movimiento rotacional Corrimiento de Suelo
Caída por gravedad	Caídas por desprendimiento	Caída por desprendimiento
Flujos	Movimientos lentos : Reptación Movimientos rápidos, en material poco consolidado : Por efecto sísmico Flujo de lodo Flujos de escombros Avalancha de escombros	Reptación
Movimientos Complejos	Combinación de deslizamientos y flujos	Combinación de deslizamientos y flujos

tomado de Keller, 1992

El tipo de deslizamiento estará en función de varias variables entre las que se mencionan : la pendiente de la ladera, el clima, la vegetación, la cantidad de agua presente en el sistema, el grado de intemperismo al cual está sometido el suelo o roca además de la composición y tipo litológico o edafológico. Es importante señalar estos factores de manera especial, ya que el analizarlos lo más detalladamente posible será fundamental para la evaluación del grado de peligrosidad.

7.2 Factores de riesgo por procesos exógenos

De acuerdo con los datos expuestos en el capítulo III del presente trabajo, en la Cuenca de México, se observa un conjunto de 8 grandes fallas de desplazamiento lateral izquierdo orientadas en dirección NE45°, además de otros lineamientos inferidos como tal, (De Cserna et al. 1988) que cortan la cuenca y a lo cual está asociado un campo de fracturamiento o zona de cizallamiento, representado por una distribución alineada de los diferentes conos cineríticos, específicamente en Tlalpan donde tienen orientación E-W (FIGS. 3.4 y 3.5). De las grandes fallas, la denominada Falla Contreras es la más cercana al área de Tlalpan, aunque se infieren otras fallas alineadas en la misma dirección a partir de datos gravimétricos (De Cserna et al. op. cit.), las cuales aparentemente están cubiertas por los materiales recientes de la Formación Chichinautzin y los depósitos lacustres.

El marco tectónico es el resultado de la subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa de Norteamérica, como lo propone De Cserna et al., (1988) al mostrar factores estructurales coincidentes entre la Zona tectónica de Zihuatanejo y la Zona de Cizallamiento Tenochtitlán, además esta subducción sería la responsable de los efectos de sismicidad local por la reactivación de algunas fallas.

Los datos de sismicidad local en la Cuenca de México, parecen reducidos debido a los registros instrumentales, por lo cual no se ha podido interpretar de manera precisa la cinemática de las fallas y fracturas presentes en esta zona.

En enero de 1973, se registraron una serie de sismos donde la magnitud mayor fue de 3.7 y que fueron sentidos particularmente en la parte norte de la Cd. de México y Texcoco. En Febrero de 1981, se registró nuevamente una serie de sismos (58 sismos), que fueron sentidos principalmente en la zona poniente de la Cd. de México y la magnitud mayor fue de 3.5, suficiente para formación de fracturas en escalón orientadas NE60° (De Cserna et al. op.cit.). Posterior a estos sismos hubieron nuevos registros sísmicos, los cuales no han sido totalmente interpretados en relación al sistema de fallas y fracturas; sin embargo dada la actividad de la zona de cizalla sobre la cual se ubica parte de la Cd. de México, incluida Tlalpan, es posible suponer una sismicidad continua que, aunque de magnitudes menores a 4.0, pueda ser el factor generador que dispare los procesos geomorfológicos en forma de deslizamientos con movimientos rápidos o lentos, caída y desprendimientos de material por gravedad, agrietamientos y colapsos; además de que no es posible descartar movimientos sísmicos de gran magnitud tal como el registrado en 1912 en Acambay, con magnitud de 7.8 y los sismos de carácter local.

Por otra parte, para evaluar el factor erosivo como generador de peligro en Tlalpan, es necesario recordar la litología expuesta en el área. La mayor parte del área de Tlalpan está conformada por material volcánico, consistente en flujos de lava y/o coberturas de fragmentos piroclásticos (tefra) principalmente; así como una porción menor representada por una acumulación de sedimentos lacustres (MAPA GEOLÓGICO DE TLALPAN), sin embargo la zona urbana de Tlalpan se ubica sobre los flujos de lava y cenizas provenientes del volcán Xitle, y sobre los depósitos lacustres.

Considerando la edad reciente de los productos volcánicos y sus características físicas (granularidad, fracturamiento y baja consolidación de los productos piroclásticos derivados de erupciones estrombolianas) que conforman la Formación Chichinautzin, así como las condiciones climáticas a las que están expuestos dicho material, estos aún no han sido intensamente intemperizados, lo cual no ha propiciado una erosión efectiva en el área, a excepción de la zona más alta del volcán Ajusco, lo cual se analizará más adelante.

El desarrollo de la red de drenaje es aún incipiente, ya que sólo en la temporada de lluvia se observan arroyos, evidentemente intermitentes y de bajo caudal, por capaces de transportar material volcánico debido al poco grado de consolidamiento y al gradiente de la pendiente sobre la cual fluyen además de la fuerza de la precipitación pluvial.

Solamente el Arroyo San Buenaventura presenta un caudal semi-permanente y actualmente se encuentra parcialmente entubado, por medio de un acueducto. Este arroyo en la década anterior debido a un excesivo transporte de sedimento por medio de dos ramales uno proveniente del volcán Ajusco y otro del volcán Mezontepec, depositó sedimentos en la zona del poblado de San Andrés Totoltepec y en el Club de Golf México (Al NE de Tlalpan) causando graves daños en este último (comunicación personal, Departamento de Protección Civil de la Delegación Tlalpan). Los Arroyos Zorrillo y Llano Grande, también presentan un caudal semi-permanente, sin embargo, estos arroyos drenan hacia zonas no urbanizadas, lo cual no constituye un peligro a la

población ni para los bienes materiales. El Arroyo Chicuatitla deriva directamente del volcán Ajusco hacia el Norte, este presenta también un caudal semi-permanente pero es canalizado por un acueducto que delimita la delegación en su parte occidental, en esta parte en la zona de contacto entre la Formación Chichinautzin y la Formación Las Cruces, existen varios arroyos que se canalizan a lo largo de grandes barrancas de orientación SW-NE y que desembocan hacia el área de Tlalpan, al poblado de San Nicolás Totolapan y Lomas de Padierna, sin embargo, estos también son canalizados a través de un acueducto con orientación N-S.

La erosión por efecto fluvial no es muy efectiva a lo largo de estos cauces, salvo para el arroyo San Buenaventura, en cuyo caso, una precipitación de gran magnitud podría eventualmente transportar grandes cantidades de sedimentos que provocaban un flujo de detritos (CAPÍTULO VI).

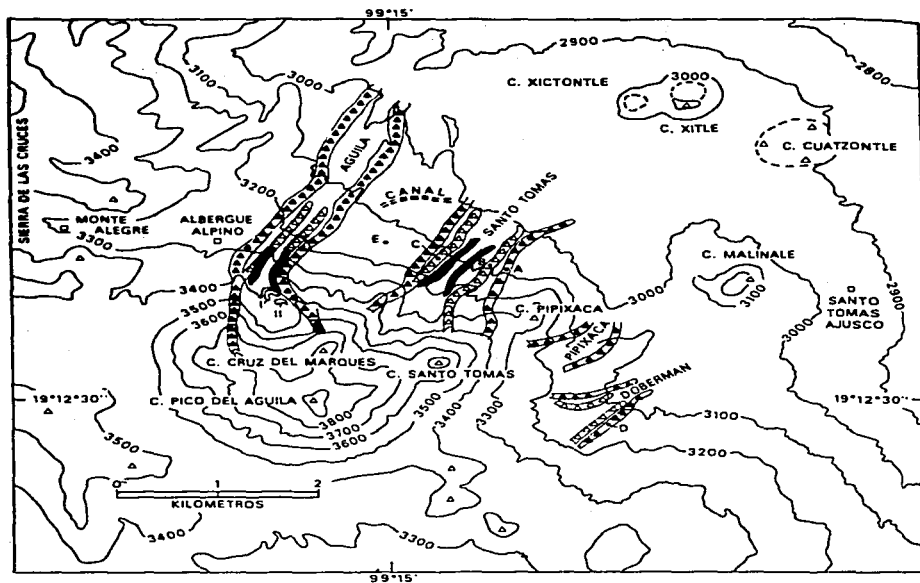
La precipitación pluvial es de hasta 1129 mm. anuales (CAPÍTULO II), y como en el resto de la cuenca, ocasionalmente se presentan grandes volúmenes de precipitación en episodios unitarios, lo que eventualmente por el impacto de la lluvia producido sobre material poco consolidado y en pendientes inestables o potencialmente inestables, de acuerdo con el valor del ángulo de reposo para conos cineríticos recientes 33° (Cas and Wright, 1987), es posible la ocurrencia de algunos deslaves y deslizamientos, además de provocar un aumento del peso por humedad; lo cual puede ocurrir prácticamente en cualquier ladera de conos cineríticos y demás volcanes formados por material poco consolidado o con baja cobertura vegetal, lo que aunado a la generación de pequeñas líneas de arroyos incipientes es potencialmente peligrosos.

Respecto a la erosión de tipo glacial, esta fue efectiva durante las últimas cuatro glaciaciones en el área del volcán Ajusco. La glaciación más antigua, conocida como Glaciación Marqués generó depósitos voluminosos de morrenas laterales en los valles al norte y este del volcán, la Glaciación Santo Tomás también generó este tipo de depósitos con crestas muy marcadas en la misma dirección que los depósitos anteriores dejando principalmente sus depósitos en los valles al norte. La Glaciación Albergue produjo depósitos de morrenas laterales también en los valles del norte y la Neoglaciación generó morrenas de menor tamaño en el piso de grandes circos en el lado norte del volcán Ajusco (White, et al. 1990) (FIG. 7.1)

Es importante señalar que estos depósitos en el flanco norte del volcán Ajusco, se ubican por encima de los 3000 m.s.n.m., y dado que su actividad volcánica fue posterior a los diversos aparatos volcánicos Chichinautzin, aquellos depósitos se encuentran parcialmente cubiertos por capas de ceniza oscura (gris oscura-negra) y que han desarrollado ligeros horizontes de suelo incipiente. Actualmente no existe ningún glaciér que actúe como agente erosivo en el área de Tlalpan.

Respecto al suelo desarrollado en el área de Tlalpan, de acuerdo con INEGI se presentan 3 tipos principalmente (FIG. 7.2), donde el tipo de suelo más abundante es el Andosol de característica húmica-mólica, el cual se ha desarrollado a partir de los materiales volcánicos más antiguos, tanto del Terciario (Formaciones Las Cruces y Zempoala) como del cuaternario (subunidades 1 y 2 de la Formación Chichinautzin). Al NE se desarrolló un suelo de tipo Feozem, mientras que del material más reciente su desarrolla suelo de tipo Litosol, el cual constituye solo una delgada capa de suelo mezclado con cenizas volcánicas más recientes.

Estos suelos están constituidos por horizontes delgados de espesores variables, hasta de 2 m., aunque predominan los espesores menores a ese rango. Son suelos capaces de soportar una cobertura vegetal sobre ellos, consistente de bosques de pino-encino-oyamel, zonas de pastizales y matorrales, además de grandes áreas utilizadas por el hombre con fines agrícolas con cultivos de temporal (FIG. 7.3). El desarrollo de



- | | | | |
|---|------------------------|---|---------------------|
| ▲ | Glaciación Marqués | ■ | Glaciación Albergue |
| △ | Glaciación Santo Tomás | □ | Neoglaciación |

FIGURA 7.1 DEPÓSITOS GLACIALES EN EL VOLCÁN AJUSCO
(Tomado de White et al. 1990)

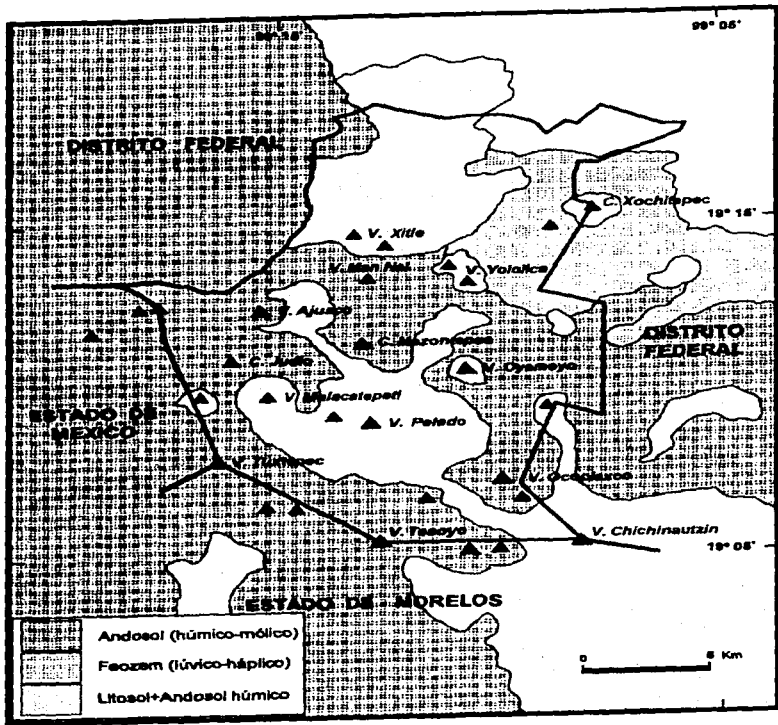


FIGURA 7.2 MAPA EDAFOLÓGICO, TLALPAN, D.F.
(Condensado de INEGI Carta Edafológica
E14-2, E 1:250 000)

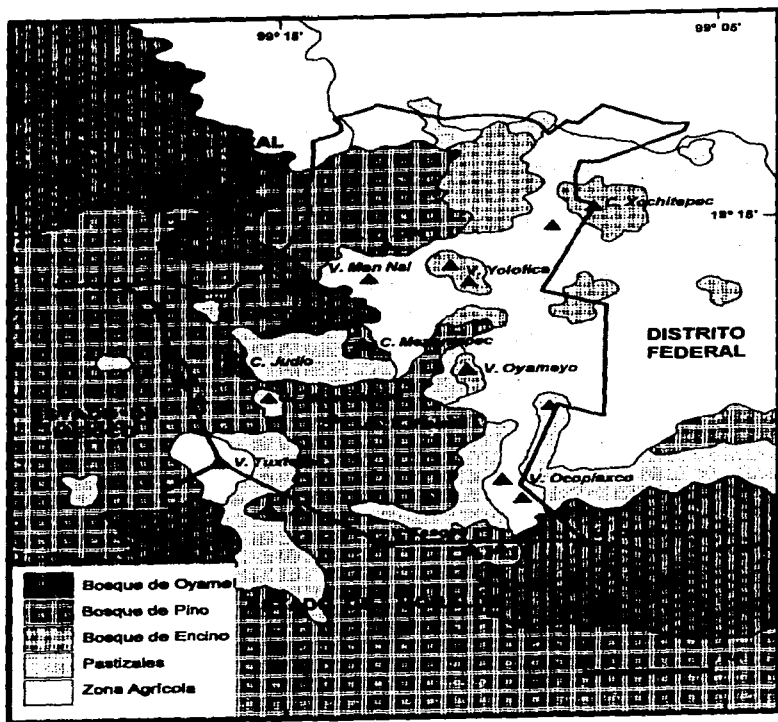


FIGURA 7.3 MAPA DE TIPOS DE VEGETACIÓN EN TLALPAN
 (Condensado de INEGI Carta de Vegetación y uso del
 Suelo E14-2 , E 1:250 000)

esta cobertura vegetal es de gran importancia, ya que gracias a esta, la erosión de la capa de suelo incipiente es menor, aunque no por ello no susceptible a deslaves, licuefacción y efectos expansivos, entre otros.

En Tlalpan, dado el material que compone el suelo, es posible pensar en los diferentes peligros geomorfológicos derivados de éste, tal como un efecto expansivo en el suelo compuesto por sedimentos lacustres, los cuales por estar directamente en contacto con el material volcánico y en donde comienza la planicie lacustre, estén constituidos por un porcentaje considerable de fracción gruesa (arenas-gravas) además de un importante porcentaje de una fracción fina (limo-arcillosa), la cual al captar agua que escurre por gravedad y por efectos de precipitación pluvial sea almacenada entre los poros de las partículas y con ello expanda su volumen; mientras que en temporadas de estiaje, en las cuales no hay captación de agua sino expulsión por efectos térmicos esta tienda a expulsar el agua por evaporación a la atmósfera o por infiltración a capas más profundas lo que puede ocasionar agrietamientos en la superficie, o bien si los niveles freáticos permitan que almacene el agua entre sus poros pudiera ocurrir un desequilibrio entre las fuerzas y ocasionar licuefacción en un área prácticamente en equilibrio, desestabilizando el terreno sobre el cual se encuentren asentadas edificaciones, las cuales pueden añadir un efecto de sobrecarga.

En la zona de suelo derivado de productos volcánicos, el peligro consiste en los diversos efectos que provoca la erosión, tal como deslaves, pérdida de suelo útil a la agricultura, transporte excesivo de sedimentos que se depositen en el área urbana obstruyendo drenajes naturales y artificiales o bien rellenando las fracturas que permiten la infiltración de agua para la recarga del acuífero bajo la Cd. de México.

Derivado de los efectos erosivos y tectónicos, pueden designarse los diferentes tipos de deslizamientos de tierra, masas o laderas, tal como: la reptación (Creep) el cual es un movimiento lento causado por los efectos de congelamiento-descongelamiento, enfriamiento-calentamiento, expansión-contracción, entre otros, tanto en suelos como en roca; la caída de material por acción de la gravedad en sitios que reúnan condiciones que propicien el desprendimiento o rodamiento del material; los deslizamientos (*sensu strictu*) los cuales generalmente se deben a fallas y fracturas y pueden presentar movimientos de translación y/o rotación; los flujos y avalanchas de escombros que representan movimientos rápidos debido a los grandes volúmenes de material y el agua involucrados en el proceso.

Los factores que propician los deslizamientos y movimientos de masa son principalmente la generación del desequilibrio entre fuerzas que actúan en una ladera (FIG. 7.4)

Algunos de los factores externos que propician estos efectos son :

- variación en el gradiente de la pendiente
- carga excesiva
- remoción de la cobertura vegetal
- sacudidas y vibración

Mientras que algunos de los factores internos son :

- cambio en el contenido de agua
- efectos del agua subterránea

Es importante conocer con el debido detalle estos factores en la evaluación de la estabilidad de laderas.

Resumiendo, las características de los productos volcánicos recientes, con bajo grado de compactación y consolidación, además del incipiente desarrollo de delgados

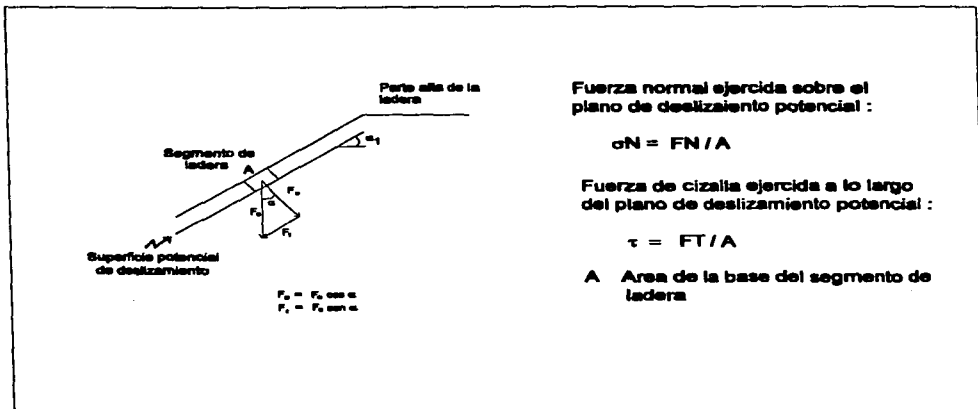


FIGURA 7.4 FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE UNA LADERA

horizontes de suelo unido a los diversos efectos tectónicos a los que está sujeta el área de Tlalpan y a la actividad antrópica que ha modificado el paisaje natural, crean condiciones peligrosas a la población tlalpanense, debido al gradiente existente entre la zona volcánica y la zona relativamente plana donde se encuentra el área urbana, además de la proximidad de algunos poblados con conos de escoria de pendientes potencialmente peligrosas o inestables donde pueden ocurrir deslizamientos de material. No hay evidencias de deslizamientos en conos cineríticos reconocibles por medio de fotografías aéreas en Tlalpan, pero el episodio de la generación de una avalancha de escombros derivada del flanco norte del volcán Ajusco hacia la zona urbana de Tlalpan sienta un precedente de la ocurrencia de este tipo de fenómenos en el área, además que la distancia y volumen han sido lo suficientemente potentes para afectar una porción del área actualmente urbanizada.

Otro de los factores a considerar en la evaluación del peligro es la zona donde se observa el contacto entre dos unidades litológicas muy diferentes entre sí, la zona volcánica y la de sedimentos lacustres que poseen diferentes características texturales y físicas, además de mostrar una gran variación en el contenido de agua, siendo susceptible la zona lacustre a efectos de licuefacción y agrietamientos. En la FIG. 7.5, se muestran zonas consideradas de peligro geomorfológico, principalmente por estos eventos de deslizamientos, licuefacción y caída de materiales por gravedad.

Para evaluar la vulnerabilidad en Tlalpan de acuerdo a estos procesos, de acuerdo con los criterios antes empleados de vulnerabilidad baja, media y alta (valores numéricos de 0.33, 0.66 y 1.0), se utilizó el análisis de los siguientes factores :

- Tipo de subsuelo
- Ubicación respecto a laderas o pendientes potencialmente peligrosas
- Zonas de descarga de ríos y acueductos
- Zonas de sobrecarga urbana

Tipo de subsuelo

La diferencia entre las características físicas de los tipos de subsuelo sobre los cuales se asienta la población, sugiere que la zona de mayor vulnerabilidad al efecto de licuefacción es aquel conformado por sedimentos de tipo areno-arcillosos, los cuales pueden retener agua entre sus poros, además de que por la topografía existente, en esta zona se obtiene un volumen considerable de agua de origen pluvial por efectos del escurrimiento por gravedad, al igual que en la zona con asentamientos en roca volcánica, pero este material no es susceptible a efectos de licuefacción. El peligro de agrietamientos por efectos de expansión-contracción es así más factible en la zona lacustre, aunque por el marco tectónico al que está sujeta el área de Tlalpan toda el área es vulnerable a los agrietamientos y fracturamientos. Debido a este factor del tipo de subsuelo, el área de Villa Coapa, San Nicolás Huipulco y la Granjas Coapa son las más vulnerables a la licuefacción y agrietamiento, mientras que el resto de la población es solo vulnerable a los efectos de fracturamiento y agrietamiento.

Ubicación respecto a laderas o pendientes potencialmente peligrosas

Las zonas vulnerables por este factor, son aquellas porciones urbanas asentadas en lugares próximos a conos cineríticos recientes con material poco consolidado, además del área que ya ha sido previamente afectada por el gran deslizamiento o avalancha de escombros proveniente del volcán Ajusco. Entre estas áreas vulnerables

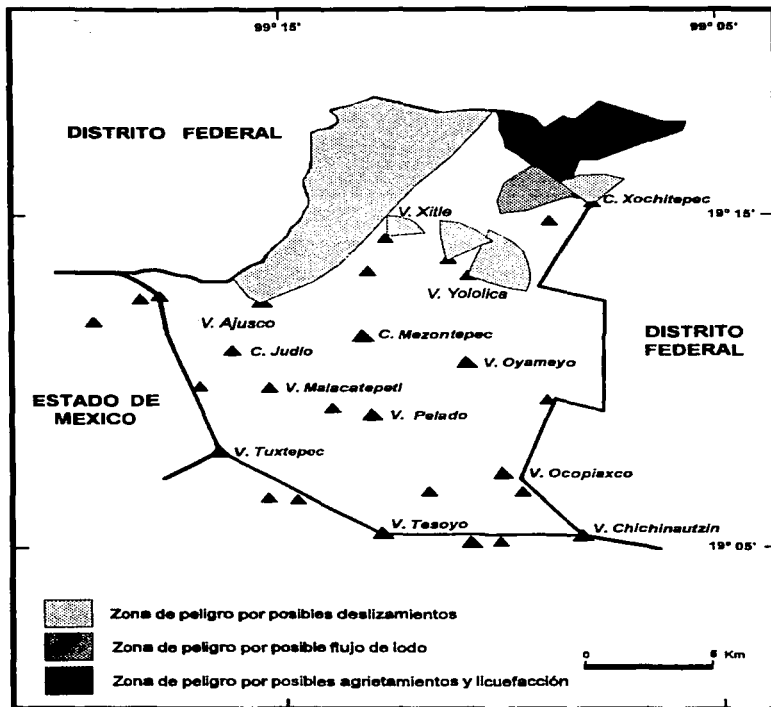


FIGURA 7.5 ZONIFICACIÓN DE PELIGROS GEOMORFOLÓGICOS EN TLALPAN, D.F.

se han identificado las siguientes : Lomás de Padierna, Ampliación Miguel Hidalgo, la Colonia Mil Novecientos diez y los pueblos de Magdalena Petlalcalco y Santo Tomás Ajusco, entre otras, ya que no es posible descartar a toda el área urbana de estos efectos si ocurriese un deslizamiento de grandes volúmenes de material.

Zonas de descarga de ríos y acueductos

Para estos efectos las zonas vulnerables de acuerdo con su posición relativa respecto a las trayectorias de los arroyos y acueductos son principalmente : los poblados de San Andrés Totoltepec y San Pedro Mártir, por efecto del arroyo San Buenaventura, la población de Colonia Mil Novecientos diez, por efecto del arroyo Chicuatitla y la zona de Lomas de Padierna y San Nicolás Totolapa por los arroyos provenientes de la Sierra de Las Cruces.

Zonas de sobrecarga urbana

Las principales áreas de mayor densidad urbana de acuerdo con la clasificación efectuada en el Capítulo V, es aplicable en este tipo de peligros. Las zonas de mayor densidad de población son : el área de Villa Coapa, la U.H. Villa Olímpica, Padierna y el Centro de Tlalpan (FIG. 5.7). El efecto de sobrecarga por gran densidad de población asentada es un factor de gran importancia, ya que esta fuerza que imprimen los asentamientos pueden causar que al originarse un movimiento o vibración del terreno causado por sismicidad asociada o local contribuya a originar un desequilibrio en el subsuelo y propicie una licuefacción en el área lacustre. Otro factor a considerar (no analizado en el presente trabajo, por falta de información pertinente) es el peligro de colapsos de áreas de casa-habitación por sobrecarga en lugares inestables, por formaciones cavernosas o sobre huecos debidos a estructuras formadas durante el emplazamiento de los flujos de lava, tales como túneles o tubos lávicos.

Analizando los diversos factores expuestos anteriormente, podemos observar que las zonas de mayor vulnerabilidad son : el área de Villa Coapa, que presenta un gran asentamiento urbano sobre un subsuelo de carácter inestable, a esta zona por presentar la confluencia de dos factores se la ha asignado un valor de vulnerabilidad media con valor numérico aplicable de 0.66. Mientras que al resto de área vulnerable sólo se clasificó dentro del rango de vulnerabilidad baja (valor 0.33), incluyendo al área densamente poblada de Padierna, asentada sobre material volcánico. (FIG. 7.6)

7.3 El riesgo por procesos exógenos en Tlalpan

Como se ha mencionado, en Tlalpan ya se han registrado algunos fenómenos asociados a procesos morfo-estructurales, tal como la generación del deslizamiento de tierra o avalancha de escombros derivada del volcán Ajusco hacia la actual zona urbana, durante el Pleistoceno tardío; otro fenómeno derivado de este tipo de procesos es el registrado en años anteriores en la zona del Campo de Golf México debido al transporte y depósito de sedimentos por el Arroyo San Buenaventura, a partir de lo cual, las autoridades decidieron canalizarlo por medio de un acueducto, al igual que los demás arroyos de caudal semi-permanente que se ubican dentro de los límites de Tlalpan.

Aún y cuando las laderas no son peligrosas a los deslizamientos por efectos gravitacionales, dado que la acumulación de material es en laderas con pendientes

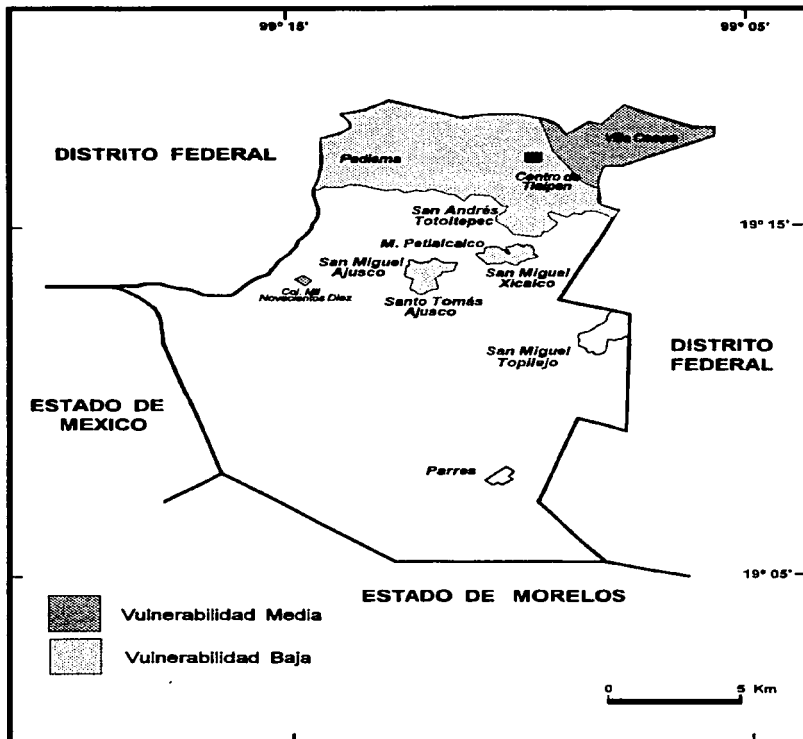


FIGURA 7.6 ZONAS VULNERABLES A LOS PELIGROS GEOMORFOLÓGICOS EN TLALPAN

menores a los 30°, pero considerando el contexto tectónico y sísmico, además del poco grado de consolidación del material es lógico pensar que a causa de un movimiento fuerte o vibración sísmica, algunos de estas laderas de los aparatos volcánicos podría generar un deslizamiento de material pendiente abajo. En la FIG. 7.5 se delimitaron algunas zonas de deslizamientos potenciales, dado lo cual se decidió asignarles un valor numérico de probabilidad de ocurrencia de 0.33, lo que representa un grado de peligro bajo, de acuerdo a las escalas ya utilizadas con anterioridad en los capítulos V y VI.

El área de peligro por la generación de un flujo de lodo, con antecedentes en la zona, también fue considerada de peligro bajo (con valor numérico de 0.33). El área urbana asentada sobre el subsuelo lacustre, no está expuesta a los peligros anteriores, pero es aquí donde se asignó un valor de peligro medio ($P = 0.66$), debido a las características de este material lacustre, el cual presenta una mayor probabilidad de sufrir desestabilización y cambiar sus actuales propiedades.

A la vulnerabilidad, al igual que en apartados anteriores se les asignó un valor numérico de 0.33, 0.66 y 1.0 a las zonas clasificadas como vulnerabilidad baja, media y alta respectivamente, de acuerdo con la FIG. 7.6

De acuerdo con las consideraciones anteriores, se aplicó la ecuación 4.1 para obtener una evaluación numérica del riesgo en las diferentes zonas de Tlalpan, a continuación se presentan algunos resultados que se muestran en el MAPA DE RIESGO POR PROCESOS EXÓGENOS, de acuerdo con la escala numérica propuesta en capítulos anteriores :

En el área de Padierna, señalada de baja vulnerabilidad al encontrarse sobre material volcánico entre otros factores, está expuesta a un deslizamiento y al arrastre de materiales, debido a los eventos previos ocurridos en la zona, sin embargo, la probabilidad de que estos ocurran es baja, por lo cual el riesgo en la zona es bajo, con valor numérico de 0.11. Las zonas de los poblados de Magdalena Petlalcalco, San Miguel Xicalco y San Miguel Ajusco, las cuales son zonas de bajos recursos económicos, se ubican al pie de conos cineríticos que, aunque con pendientes menores a los 30°, también constituyen zonas de bajo riesgo.

La zona de San Pedro Mártir, lugar cercano y próximo al Club de Golf, también dio un valor de zona de bajo riesgo (valor numérico = 0.11), con el precedente de la construcción de un canal colector de descargas para prevención de este tipo de eventos.

El área de mayor riesgo lo constituye la zona de Villa Coapa, Huipulco, etc, las cuales están ubicadas sobre el subsuelo lacustre y que presentan una gran densidad poblacional, con gran número de habitantes y pesadas construcciones, al aplicar la ecuación para evaluación del riesgo, se obtuvo un valor numérico de 0.44, lo que la ubica como una zona de riesgo medio por efecto de fenómenos debidos a procesos exógenos. (MAPA DE RIESGO POR PROCESOS EXÓGENOS EN TLALPAN)

VIII. ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR ACTIVIDADES ANTRÓPICAS

8.1 Actividad antrópica como generadora de peligro

En los capítulos anteriores al presente, se han descrito y analizado la peligrosidad de diferentes fenómenos geológicos y la vulnerabilidad de la población expuesta a ellos. Los fenómenos analizados, ocurren de manera natural y espontánea como parte de los diversos procesos de la dinámica terrestre, tal como los eventos sísmicos y volcánicos debidos al movimiento y al tipo de límites entre placas litosféricas; o bien los procesos erosivos que actúan sobre la superficie del planeta modelándola. Existen sin embargo, otros fenómenos geológicos también potencialmente peligrosos a la población expuesta, los cuales ocurren no de manera natural, sino inducidos directa e indirectamente por la actividad del hombre. En el Capítulo IV del presente trabajo, se clasificó este tipo de riesgo como de origen antrópico, el cual no ocurriría de no ser por el efecto negativo de la población sobre el entorno geológico-ambiental de un área. Este tipo de fenómenos productores de riesgo se tratan a continuación.

El riesgo generado por efectos antrópicos es muy variable, ya que el principal depredador del hombre es el hombre mismo, capaz de provocar grandes masacres en la lucha por el poder político y económico, entre otros; y también capaz de inventar poderosas armas químicas, bacteriológicas y nucleares con la finalidad destructiva; en otros casos los fenómenos potencialmente peligrosos se llevan a cabo sin una conciencia clara del perjuicio, hasta que el peligro es latente e inminente, tal como la destrucción de la capa de ozono por el uso de fluorclorocarbonos o los efectos de deforestación irracional que conducen a la desertificación.

Las actividades antrópicas capaces de inducir procesos geológicos potencialmente peligrosos se mencionan en la TABLA 4.3 (CAPÍTULO IV). De estos, en el presente capítulo se analizan los siguientes:

- Contaminación de Agua
- Contaminación de Suelo
- Subsistencia

Estos riesgos geológicos provocados por la acción humana, se han generado en muchos sitios alrededor del mundo tanto en países industrializados como en aquellos de escasos recursos, siendo de mayor alcance los desastres ocurridos en las zonas urbanas con alta densidad de población. Siendo este factor, (los altos índices demográficos), fundamental en la generación de peligros geológicos, ya que el constante crecimiento poblacional es, en repetidas ocasiones, el causante de mayores demandas de servicios lo cual crea una mala planeación en la expansión de la zona urbana y la disposición de recursos naturales.

Entre los riesgos geológicos debidos a los procesos antrópicos, quizás sin duda el más grave es la contaminación ambiental, la cual incluye la contaminación de agua, suelo y aire. La contaminación atmosférica no será tratada en el presente trabajo.

La contaminación de agua tanto superficial como subterránea, es un problema que debe ser analizado y prevenido sobre todo cuando está destinada para el consumo humano.

Debe entenderse como contaminación del agua, a la degradación de la calidad del agua de acuerdo a un criterio o normas biológicas, químicas y físicas (Keller, 1992), correspondientes a un uso específico del agua. De la misma forma la contaminación del

suelo se refiere a la degradación del mismo, con referencia en su contenido de nutrientes específicos para una zona cultivable.

Entre los tipos de contaminantes principales a estos medios (agua y suelo) se mencionan :

- **Microorganismos patógenos** Su presencia en el agua y suelo causan enfermedades a la población expuesta a ellos, algunas de las cuales pueden ocasionar hasta la muerte, tal como el cólera, tifoidea y hepatitis, entre otras.

- **Químicos Inorgánicos** Se refiere a compuestos y componentes inorgánicos, los cuales no estaban presentes en la composición original del medio y sobrepasa los patrones de concentraciones normales de acuerdo a la legislación; su presencia significa un efecto adverso sobre los organismos expuestos. Un claro ejemplo de este tipo contaminantes son los metales pesados (Pb, Hg, Cd, Cr, Ni) y los nutrientes fosforados (PO_4^{3-} , NO_3^-).

- **Químicos Orgánicos** Se refiere a las diversas sustancias de tipo orgánico usadas en procesos industriales, agrícolas, aditivos alimenticios y drogas, además de hidrocarburos. En diversos experimentos se ha comprobado que la exposición a estos compuestos causan cáncer y originan trastornos reproductivos (abortos).

- **Núclidos Radiactivos** Son elementos contaminantes muy peligrosos, ya que los efectos radiactivos causan graves trastornos genéticos (daños cromosómicos y afectación al DNA).

- **Material Particulado** Referidos a todo material sólido en suspensión, dentro del medio.

Es importante señalar que tanto el agua y suelo pueden ser contaminados de manera aérea además de acuosa, con elementos hechos por el hombre y como consecuencia del aprovechamiento de otros recursos. La contaminación se lleva a cabo por medio de una fuente de origen la cual debe ser plenamente identificada, así como el tipo de contaminante dispuesto.

Algunas de las más comunes fuentes de contaminación son : (FIG. 8.1)

1. Drenajes y desechos domésticos
2. Drenajes industriales
3. Zonas ganaderas
4. Zonas agrícolas
5. Zonas de generación de energía
6. Rellenos sanitarios
7. Confinamientos de residuos peligrosos
8. Zonas mineras
9. Areas urbanas
10. Perforación de pozos
11. Zonas con contaminación aérea

La contaminación del suelo y del agua son procesos lentos y se generan de manera gradual y se detectan generalmente cuando ya es un proceso avanzado. La velocidad con la que ocurren los procesos de contaminación varía de acuerdo con diversos factores. Por una parte se debe considerar el contacto del medio con el contaminante es gradual o súbito, además de la naturaleza de contaminante, las características físicas del medio que está siendo contaminado, el comportamiento de la sustancia dentro del medio, la estabilidad del contaminante, la interacción de este con otros compuestos dentro del medio, entre otros factores que pueden disminuir o acelerar el proceso de contaminación.

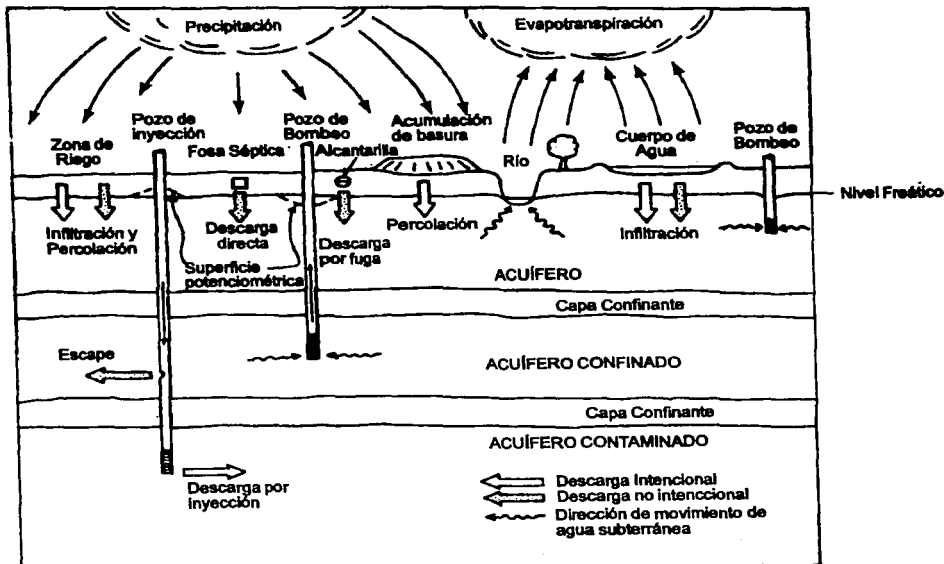


FIGURA 8.1 SECCIÓN ESQUEMÁTICA QUE MUESTRA LAS PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS (Modificado de Griggs, 1986)

La contaminación del agua superficial ocurre cuando hay una entrada de una sustancia indeseable o dañina dentro de un cuerpo de agua, esta adición excede la habilidad natural del ecosistema a utilizar, remover o convertir esta sustancia contaminante para lograr una concentración menos dañina (Keller, 1992). La principal fuente de contaminación del agua superficial es la descarga directa de agua residuales tanto domésticas como industriales a los cauces de ríos y lagos principalmente.

La contaminación del agua subterránea, se origina de muchas formas, entre las que destacan las fugas de tanques de almacenamiento de materiales o sustancias contaminantes tales como gasolina e hidrocarburos en general, desechos industriales, aguas negras, derrames accidentales sobre el drenaje o suelos, zonas donde se utilizan productos agrícolas (fertilizantes y pesticidas), intrusiones salinas, zonas de perforación del subsuelo, operación inadecuada de pozos de extracción y recarga; los cuales dependen, como ya se mencionó anteriormente, de otros factores además del volumen de contaminante, concentración de la toxicidad y del grado de exposición de la gente a la contaminación.

Es necesario considerar que hay diferencias significativas en las características físicas, químicas y biológicas de los medios de aguas superficiales y subterráneas, que permiten una evolución diferente de la contaminación, ya que la mecánica del flujo, la infiltración por un medio poroso y permeable, la disponibilidad de oxígeno y la cantidad de luz solar, crean sistemas diferentes al efecto de contaminación.

Otro importante fenómeno generado e inducido por el hombre es la subsidencia, nombre que se le da al hundimiento del nivel superficial, que puede ser gradual y lento o bien súbito, de dimensiones locales (desde algunos metros) a regionales (grandes áreas). Este proceso puede originarse de manera completamente natural, cuando las condiciones en el subsuelo sufren alguna modificación y causan este desequilibrio, pero generalmente es inducido por la actividad del hombre tal como esta ocurriendo en grandes ciudades del país, como la Ciudad de México, Celaya y Aguascalientes.

Entre las causas que originan subsidencia en un área se pueden señalar las siguientes : (Griggs, 1986)

- Extracción de grandes volúmenes de fluidos en sedimentos poco consolidados
- Drenaje y oxidación de algún material susceptible, como la turba
- Almacenamientos de fluidos en depósitos en depósitos permeables, localizados sobre el nivel del agua
- Actividad tectónica
- Disolución de material superficial por circulación de agua subterránea
- Remoción de material del subsuelo, sin la colocación de soportes adecuados
- Por consolidación del material de un relleno mal aplicado

La subsidencia inducida por la actividad antrópica, en México se debe principalmente a la extracción del agua del subsuelo. Esta subsidencia se caracteriza por el hundimiento gradual de la superficie y se reconoce cuando el efecto es muy avanzado. Además del hundimiento progresivo, la subsidencia puede originar agrietamientos y la formación de fracturas.

8.2 Factores de riesgo por procesos antrópicos

Tlalpan cuenta actualmente con 589.1 mil habitantes (Diario Oficial de la Federación, 1996), lo cual muestra una tasa de crecimiento que varía entre los 8.96 a 3.97 de la década de 1970 a 1980 y de 1980 a 1995 respectivamente, sin embargo

aunque es menor la tasa de crecimiento para la última década es necesario remarcar que desde 1940, en Tlalpan ha duplicado su número de habitantes década a década (TABLA 2.1). Este índice de crecimiento es análogo al crecimiento del resto de la población en la Ciudad de México, sin embargo, Tlalpan, al constituir una delegación periférica ha mostrado al mismo tiempo una expansión de su zona urbana original con dicho crecimiento poblacional.

Actualmente el área urbana de Tlalpan es de 41.8 km², la cual se concentra principalmente al norte del área total, con una densidad de población de 117.3 Hab/Ha (Diario Oficial de la Federación, 1996), siendo un área urbana principalmente de tipo residencial con algunos establecimientos comerciales, educativos, religiosos, arqueológicos y recreativos, destacando el hecho de no contar con ninguna instalación industrial dentro de sus límites.

Dadas las condiciones topográficas de Tlalpan, la expansión del área urbana ha sido moderada y no tan drástica como hacia otros sitios de la Ciudad de México, debido a la creciente demanda, algunos habitantes se han aventurado cada vez más a lugares de difícil acceso hacia las pedregosas pendientes volcánicas, causando con ello; un deterioro a las condiciones naturales de flora, fauna y drenajes.

En la FIG. 8.2, se observa como se ha expandido la zona urbana en Tlalpan, cada vez acercándose a las pendientes volcánicas.

Aún así, Tlalpan es una delegación con grandes extensiones no urbanizadas, las cuales tienen objetivos forestales, agrícolas y ejidales; y una extensa área de reserva ecológica. Tlalpan, era anteriormente casi en su totalidad una comunidad agrícola y ejidal, prueba de ello eran los ejidos de Huipulco, Padierna y Tlalpan, de los cuales sólo el de Huipulco conserva su nombre, pero ninguno desarrolla actividades ni agrícolas ni agropecuarias. Los ejidos y comunidades agrarias actuales en Tlalpan, son las siguientes : Ejido Parres-El Guarda, Ejido Magdalena Petlalcalco, Ejido y Comunidad agrícola San Andrés Totoltepec, Ejido y Comunidad agrícola San Miguel Topilejo, la Comunidad agrícola San Miguel Ajusco, Ejido San Miguel Xicalco y el Ejido de San Pedro Mártir. (FIG. 8.3)

El uso agrícola en estas áreas ejidales, son los cultivos de temporal de: Maíz, avena , forrajes y pastizales, principalmente, siendo cultivadas 11 270 Ha. del total de 23 273 Ha de terrenos ejidales, 9 874 Ha son bosques, 1 881 Ha son pastos naturales y 248 Ha tienen otros usos. Como ya se mencionó las áreas agrícolas son de temporal y la producción es generalmente suficiente para el autoconsumo de los agricultores y ocasionalmente para la venta en mercados de la Ciudad de México.

De acuerdo con los datos del INEGI (1988); en 8 de los 9 ejidos de Tlalpan, se utilizan sustancias herbicidas y plaguicidas, y en los 9 ejidos se utilizan fertilizantes para un mejor rendimiento de las cosechas y cultivos; la utilización de este tipo de sustancias químicas se realiza con la supervisión técnica de personal autorizado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural.

La actividad ganadera dentro de las áreas ejidales es restringida, sin la ocurrencia de grandes granjas, rastros ni establos, siendo el mayor desarrollo, el ganado de tipo bovino en el poblado de San Miguel Topilejo, en otros desarrollos a menor escala se presentan además de ganado bovino, el porcino y ovino.

La capa de suelo cultivable deriva del material volcánico de las rocas de la Formación Chichinautzin, y principalmente el suelo desarrollado sobre los depósitos de flujo de lava provenientes del volcán Xitle son de poco espesor, por lo que el carácter temporal de los cultivos y el uso dosificado de sustancias químicas, constituyen un grado de peligrosidad baja a la contaminación del suelo incipiente, aunque al ser tan delgado este horizonte edáfico y estar sobre un material rocoso de alta permeabilidad, puede

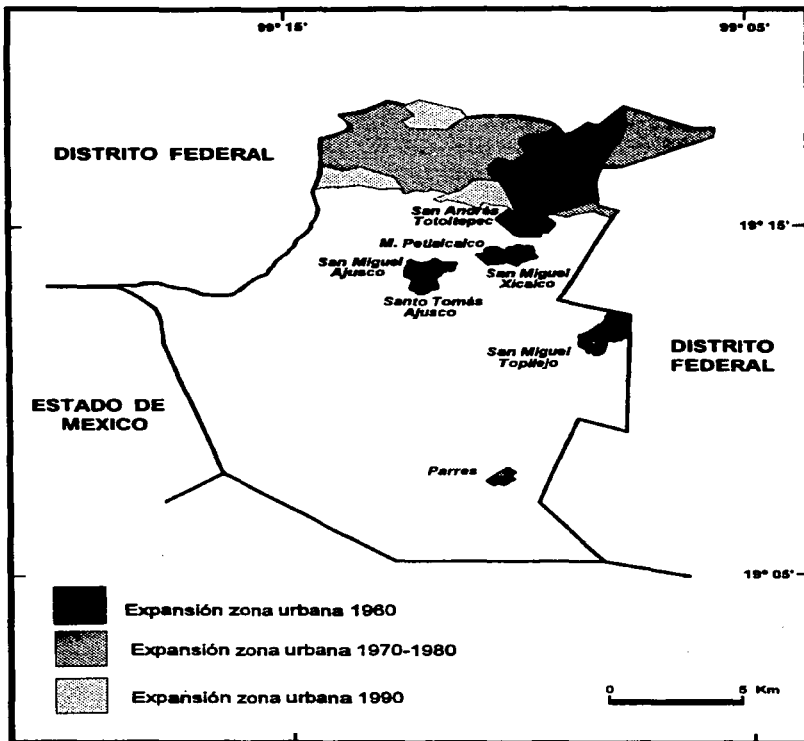


FIGURA 8.2 ETAPAS DE CRECIMIENTO DE LA ZONA URBANA EN TLALPÁN (Tomado de Instituto de Geografía, 1990)

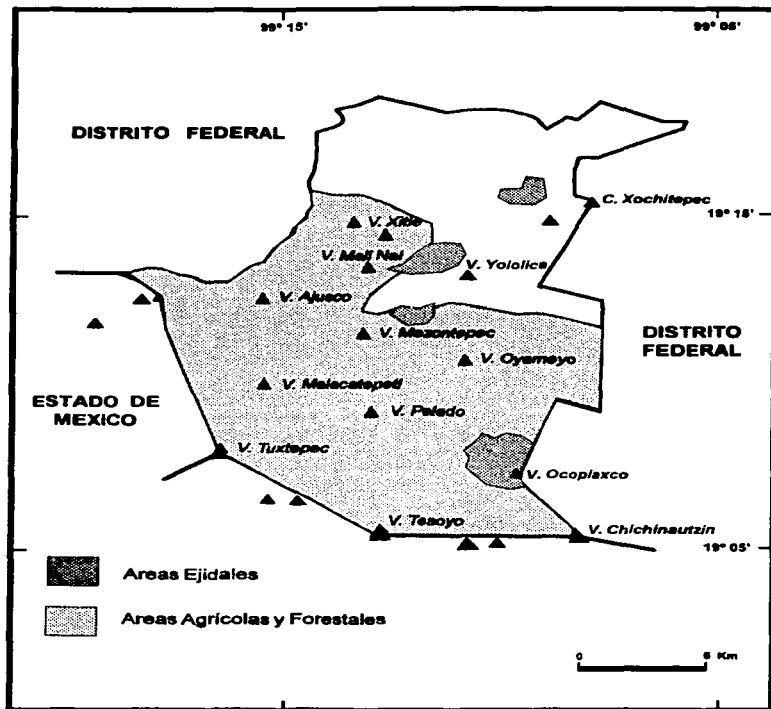


FIGURA 8.3 LOCALIZACIÓN DE ÁREAS EJIDALES, AGRÍCOLAS Y FORESTALES EN TLALPAN, D.F.

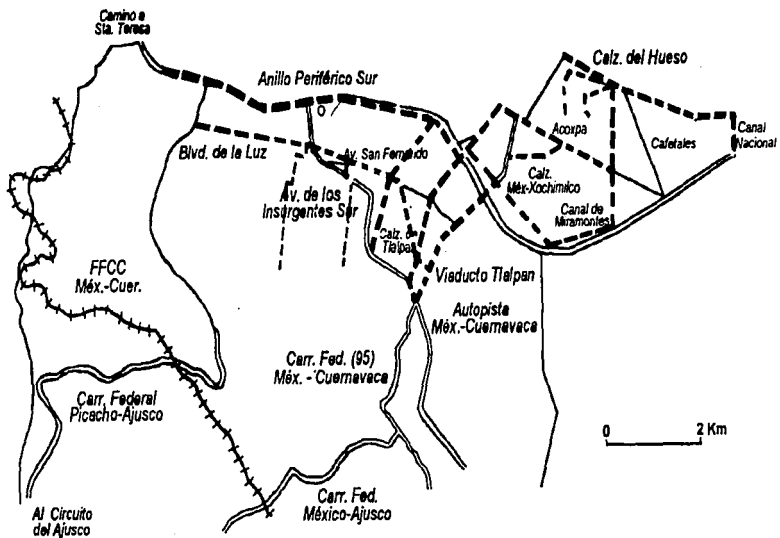
también constituir un factor de peligro a la contaminación del sistema acuífero debajo de la Ciudad de México.

Respecto a la contaminación del agua, en Tlalpan no existen cuerpos de agua superficiales naturales tales como lagos ni artificiales como presas de almacenamiento. Hay algunos arroyos con caudales semi-permanentes (Capítulo III), además de un canal que antiguamente comunicaba al Lago de Xochimilco con el Lago de Texcoco, este canal ahora conocido como Canal Nacional, corresponde al sistema del Antiguo Canal de Cuernavaca, utilizado como descarga de aguas residuales. Este canal constituye uno de los límites al oriente de la delegación y en el desembocan algunos drenajes derivados de viveros e invernaderos, la superficie del agua se encuentra parcialmente cubierta por lodo acuático y en algunos sitios su cauce está limitado por paredes de concreto, es posible observar algunas aves, tales como patos en este canal.

Respecto al agua subterránea, la zona debajo de la Ciudad de México presenta un sistema acuífero complejo (FIG. 3.7), en el cual intervienen varios horizontes de distintos materiales que actúan como acuíferos y acuitardos. En el área de Tlalpan, la ubicación de la zona urbana es principalmente sobre los depósitos de flujo de lava del volcán Xitle y debido a la dificultad que presenta la excavación en este tipo de roca, desde el inicio de la construcción de los asentamientos humanos, se optó por un sistema de fosas sépticas para la descarga de aguas residuales. Actualmente el 55% de la demanda de este servicio (red de drenaje) está cubierta (aún en terreno pedregoso); esta cobertura abarca principalmente las áreas de Villa Coapa (en subsuelo lacustre), Huipulco (en la zona de transición lacustre-volcánica) y Centro de Tlalpan (roca volcánica). (FIG. 8.4) Siendo aún común la construcción de fosas sépticas o bien la utilización de las fracturas para la descarga de aguas residuales domésticas en las demás zonas de Tlalpan.

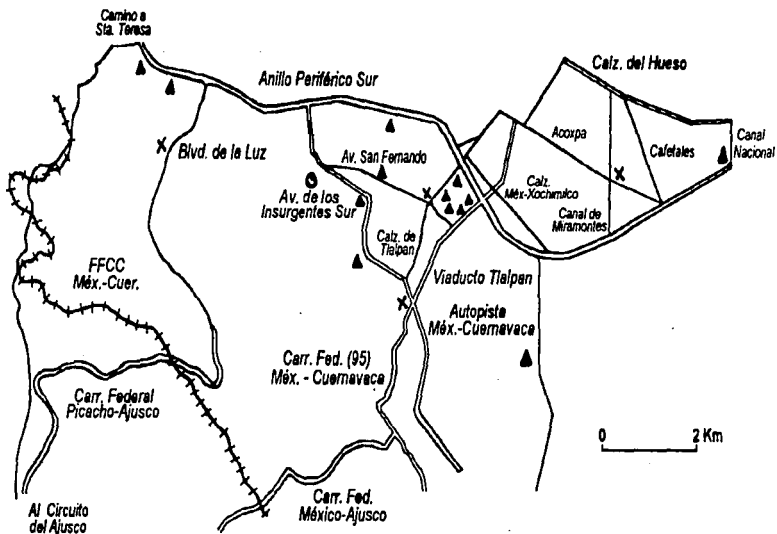
Aún cuando estas zonas cuentan con redes de drenaje, es importante señalar que existen otros sitios o lugares que pueden ser considerados como fuentes de contaminación potencial, sitios tales como las descargas al drenaje de los desechos clínicos y farmacéuticos derivados de los diversos centros hospitalarios en Tlalpan (Capítulo I), las gasolineras, las zonas de transbordo de basura y los oleoductos. (FIG. 8.5); los cuales se incorporan debido a fugas en las tuberías, através del medio permeable y fracturado, cualquier fuga podría causar una contaminación grave al acuífero de la Ciudad de México, considerando la dirección del flujo subterráneo (hacia el centro de la cuenca) y que el tiempo de residencia de los contaminantes en las rocas de la Sierra Chichinautzin es de $\pm 20-30$ años (Comunicación personal, Ortega-Guerrero), aunque básicamente la fuente principal y actual de contaminación la constituyen la descarga directa de aguas negras domésticas a las rocas lávicas de alta permeabilidad, que aunque el material del subsuelo de tipo granular presenta valores de transmisividad media que actúan como filtro natural lo que unido al proceso de dilución con el volumen de agua del acuífero, en esencia disminuye los problemas de concentración de contaminantes, sin embargo la presencia de estos agentes contaminantes ya comienza a ser notoria en la calidad del agua de pozos más alejados.

Respecto al peligro por efectos de subsidencia en el área de Tlalpan, de acuerdo con los datos de Ortiz, et al. (1992) , en la zona urbana asentada sobre los sedimentos lacustres presenta algunos ligeros hundimientos del orden de aproximadamente 0.1 metros mientras que, el Departamento del Distrito Federal en un estudio reciente para la Ciudad de México, registra hundimientos de hasta 2.0 m.; específicamente en el área de Villa Coapa, además de la presencia de agrietamientos y ligeras fracturas (FIG. 8.6), señales y efectos causados por la extracción de agua de esta zona del acuífero por medio posiblemente de las batería de pozos a lo largo del Periférico Sur. No hay



Línea de Drenaje

FIGURA 8.4 RED DE DRENAJE EN TLALPAN
 (Datos de DDF - CGCOH)



- ▲ Clínica u Hospital
- Centro de Transbordo de Basura
- X Gasolineras

FIGURA 8.5 FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN EN TLALPAN

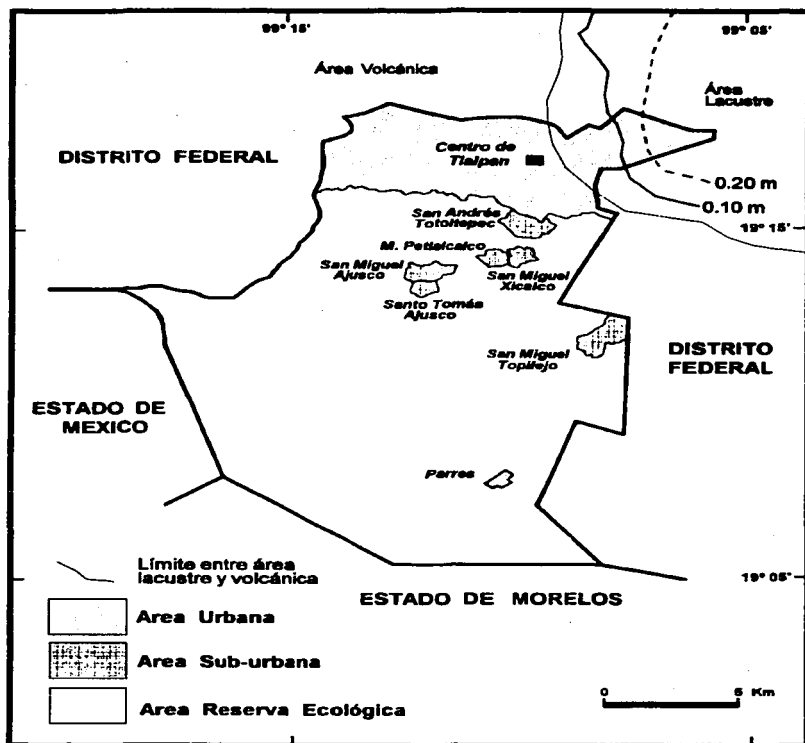


FIGURA 8.6 ISOLINEAS DE HUNDIMIENTO EN EL ÁREA DEL SUSBSUELO LACUSTRE EN TLALPAN D.F. (Instituto de Geografía, 1990)

registros de colapsos de edificaciones en ningún sitio del área de Tlalpan y menos aún en asentamientos sobre rocas lávicas y se desconoce en gran parte la existencia de estructuras cavernosas o huecas que podrían generar peligros, como los tubos o túneles de lava.

Reconsiderando los factores anteriores, el peligro de contaminación del suelo en Tlalpan, por el uso de sustancias químicas orgánicas es bajo, ya que la aplicación de fertilizantes y pesticidas se realiza bajo supervisión técnica, además de que los cultivos son temporales y de bajo rendimiento.

La contaminación del agua subterránea, ahora ya detectada en algunos pozos, es un peligro actual para toda la Ciudad de México y aunque aparentemente las condiciones del subsuelo actúen como filtros y atenúen en alguna medida la contaminación, el factor peligro debe ser considerado de grado medio a alto, además deben ser considerados otros factores potencialmente peligrosos, como fugas en la red del drenaje actual que lleva desechos clínicos, orgánicos y de hidrocarburos.

Respecto a la subsidencia, dado el ligero registro de hundimientos en algunas zonas de Villa Coapa, el peligro existe con un valor de grado medio, mientras que en otras zonas, dado el desconocimiento de estructuras huecas debajo de las edificaciones, se infiere un grado de peligro bajo a muy bajo.

Para determinar la vulnerabilidad en Tlalpan, a los efectos antrópicos, se decidió utilizar nuevamente la escala numérica para clasificar en zonas de vulnerabilidad baja (valor = 0.33), media (0.66) y alta (1.0), de manera que sea posible correlacionar de manera adecuada cada uno de los diferentes factores que posteriormente determinan el valor del riesgo, aunque es necesario aclarar que esta clasificación no es del todo perfecta y puede ser subjetiva. En el presente trabajo, para determinar los diferentes niveles de vulnerabilidad en el área de estudio, se decidió utilizar los siguientes parámetros:

- 1) El tipo de subsuelo
- 2) Zonas con redes de drenaje establecido
- 3) Áreas de mayor densidad de población
- 4) Sitios de contaminación potencial

Tipo de Subsuelo

La diferencia entre las características de los materiales sobre los cuales se ubican los asentamientos humanos en Tlalpan es el principal factor para determinar la vulnerabilidad en función de los factores peligrosos ya mencionados anteriormente. En Tlalpan, se presentan dos tipos de materiales sobre los cuales se desarrollan las actividades antrópicas: el material lacustre y el material volcánico, los cuales en muchas ocasiones se encuentran parcialmente cubiertas por una plancha de asfalto con la intención de urbanizar y proveer del servicio de pavimentación a la población.

El material de tipo lacustre presenta un mayor grado de vulnerabilidad a los efectos de subsidencia por extracción de agua del acuífero del sistema, mientras que no es tan susceptible a los efectos de contaminación de suelo, debido a que no se realizan prácticas agrícolas ni ganaderas sobre este material, además que es una de las zonas de mayor desarrollo urbano dentro de Tlalpan.

El material de tipo volcánico, por sus características de permeabilidad y fracturamiento, son el medio ideal para permitir el paso de agentes contaminantes a través de estas rocas, por lo que aún cuando es menos vulnerable a los efectos de subsidencia es altamente vulnerable al efecto de la contaminación.

Dado que ambos fenómenos peligrosos, la contaminación y la subsidencia, son procesos ya detectados en el área de estudio, los dos tipos de terreno sobre los que descansan los asentamientos urbanos son vulnerables, sin embargo, los efectos aún son incipientes, de acuerdo a lo cual aún sería posible aplicar medidas de remediación. Aún así el grado de vulnerabilidad de ambos tipos de materiales se clasificó en vulnerabilidad media, las cuales serán mayormente afectadas algunas zonas por los factores siguientes.

Zonas con redes de drenaje establecido

El área de Tlalpan, es una zona principalmente de tipo residencial de sólo un nivel, la cual ha crecido de norte a sur, con los primeros establecimientos urbanos en la zona del actual Centro de Tlalpan, lugar donde se ubican edificaciones antiguas que datan del siglo XVIII, como algunos edificios que albergan casas, residencias, escuelas, conventos y monasterios. Hace unas décadas se estableció una zona de Hospitales, modernos edificios de varios niveles que contrastaban con la arquitectura típica de Tlalpan. Con el crecimiento desmedido de la población, el área de Tlalpan fue progresivamente cubierta formando zonas residenciales como Villa Coapa, Fuentes del Pedregal Villa Olímpica, lugar que albergó a los deportistas durante la Olimpiada de México 1968, y la de los alrededores de las ex-haciendas de Coapa, Huipulco, Santa Ursula, Peña Pobre y Tlalpan principalmente; posteriormente la expansión de la mancha urbana hacia el sur y a las laderas de los volcanes, se forman las zonas de : La Joya, San Pedro Mártir, Tlalcoligía, Lomas de Padierna y Miguel Hidalgo. Actualmente la población sigue asentándose en las laderas de los volcanes en predios federales y zona de reserva ecológica, construyendo habitaciones con materiales de mala calidad y exponiéndose a los desalojos por parte de las autoridades de la delegación.

En la zona urbana de Tlalpan, no se han podido cubrir todos los servicios en su totalidad, y uno de ellos es la carencia de redes de drenaje adecuadas para canalizar las aguas negras provenientes de uso doméstico de toda la población. Las zonas que actualmente cuentan con este servicio, se encuentran en la zona en el extremo norte de la delegación, ejemplo de ello, es el Centro de Tlalpan, la zona de Villa Olímpica, Villa Coapa, Huipulco y actualmente se están construyendo algunas redes secundarias en el área de Padierna y Ampliación Miguel Hidalgo.

El resto de la población Tlalpense cuenta con fosas sépticas para la captación de aguas residuales y pluviales y están asentadas sobre materiales volcánicos de alta permeabilidad y fracturamiento, lo que le aumenta el grado de contaminación y con ello la vulnerabilidad a esta zonas.

Áreas de mayor densidad de población

Las zonas de mayor densidad de población son :

U.H. Villa Coapa

U.H. Villa Olímpica

Área de Padierna-Ampl. Miguel Hidalgo

Centro de Tlalpan

Sitios de contaminación potencial

Los sitios de contaminación potencial, se han considerado como aquellos lugares en donde la aparición de una fuga en los conductos por donde fluyen aguas residuales

domésticas, de uso clínico y farmacéutico, además de hidrocarburos o bien donde se almacenan estos, tales como los tanques subterráneos que alimentan las gasolineras, ocasionarían una contaminación a los acuíferos de la Cuenca de México. Estos conductos se encuentran principalmente bajo el área urbana, formando un complicado sistema de redes, lo que añade un factor extra a considerar para la evaluación de la vulnerabilidad al total del área de Tlalpan.

Analizando todos los factores anteriormente expuestos, se clasificó al área de Tlalpan, de acuerdo a diferentes grados de vulnerabilidad, lo cual se resume en la FIG. 8.7, siendo el área más vulnerable una porción de Villa Coapa.

8.3 El riesgo por procesos antrópicos en Tlalpan

De acuerdo con los factores del riesgo señalados anteriormente, se realizó una zonificación del riesgo geológico por procesos o efectos antrópicos en el área de Tlalpan.

Respecto a los fenómenos peligrosos, es notorio, que los efectos de contaminación del agua superficial y subterránea, así como la subsidencia por efecto de extracción de agua del acuífero en la zona urbana asentada sobre el subsuelo lacustre son hechos actuales ya documentados, de acuerdo a lo anterior, la probabilidad de que se presenten estos fenómenos peligrosos es máxima, así que numéricamente se les asignó un valor numérico de 1.0.

Respecto a la vulnerabilidad, de acuerdo con la zonificación realizada (FIG. 8.7), se asignó un valor numérico de 0.33, 0.66 y 1.0, a los diferentes grados de vulnerabilidad baja, media y alta respectivamente.

Con los valores numéricos anteriores, se aplicó la ecuación 4.1, para la evaluación del riesgo, categorizado en zonas de riesgo alto (valor numérico > 0.66), riesgo medio (valor numérico $0.34 - 0.66$) y riesgo bajo (valor numérico ≤ 0.33), coloreándose las zonas en un mapa en los tonos rojo, anaranjado y amarillo respectivamente (MAPA DE RIESGO POR PROCESOS ANTRÓPICOS).

El área de Villa Coapa, la cual está asentada sobre subsuelo lacustre, con alta densidad de población y edificaciones pesadas, ya registra niveles de hundimiento de hasta 0.20 m, por efectos de extracción de agua, se consideró la zona de alto riesgo, con valor numérico de 1.0. Para las áreas también densamente pobladas de Padierna, Centro de Tlalpan y San Pedro Mártir (La Joya-Tlalcoligia), se obtuvo un valor numérico de 0.66, de acuerdo al análisis de los diversos factores entre los que se mencionan la falta de drenaje, el asentamiento sobre material volcánico fracturado y permeable y la ubicación de sitios de contaminación potencial, se clasificó como zonas de riesgo medio, para el resto de la población se obtuvo un valor de 0.33, con lo que se le clasificó como zona de bajo riesgo.

En Tlalpan, los efectos de contaminación al acuífero ya han sido detectados en análisis al agua de diversos pozos, por lo cual ahora son necesarias la toma de medidas de mitigación de esta contaminación al igual que los efectos que provocan hundimientos en el área; antes de que originen mayores problemas a la población afectada.

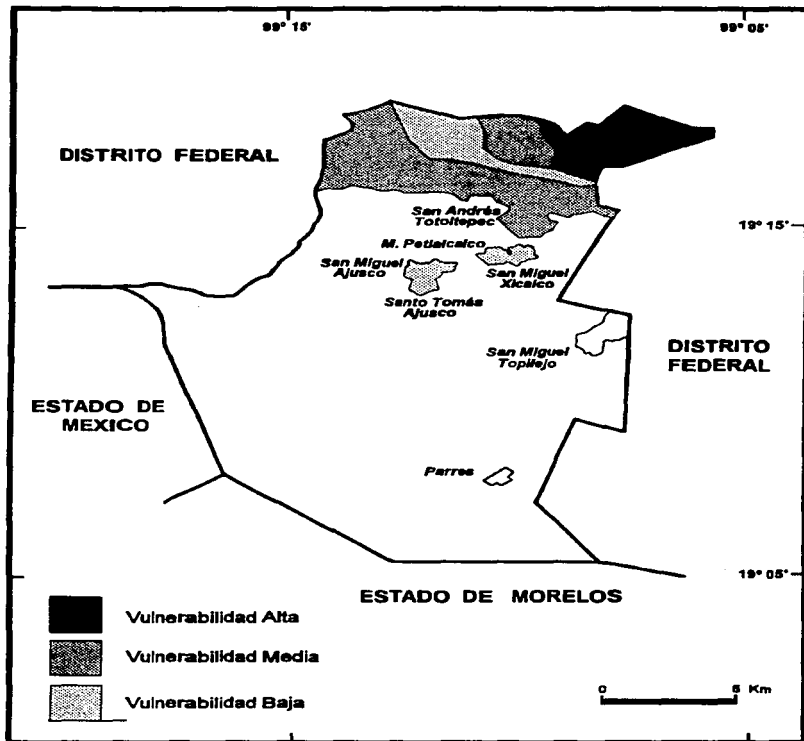


FIGURA 8.7 ZONAS VULNERABLES A LOS PELIGROS POR EFECTOS ANTRÓPICOS EN TLALPÁN

IX. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

9.1 Discusión

La contribución del geólogo en los estudios ambientales y particularmente en el análisis del riesgo es de gran importancia, ya que este profesionalista es capaz de identificar todos aquellos fenómenos derivados de los diversos procesos geológicos, que constituyan un factor de amenaza o peligro al ser humano expuesto a ellos; ya sea por el tipo, mecanismos de formación y/o emplazamiento (según el caso), magnitud y recurrencia . Un estudio detallado de estos parámetros, contribuye a una mejor y mas detallada evaluación del riesgo, al tener una mejor aproximación del valor de la variable Peligro en la ecuación del riesgo. Durante este trabajo, se realizó una evaluación de los peligros potenciales en el área de Tlalpan, asignándoseles un valor numérico de cero a uno, de acuerdo a una escala propuesta en capítulos anteriores, tratando siempre de ser lo más objetivo posible y justificando los valores propuestos.

Respecto a la vulnerabilidad, en el presente trabajo se realizó un intento por cuantificar esta variable, considerando algunos factores sociales, aunque siempre desde un punto de vista técnico y en ocasiones geológico, entre estos factores se menciona principalmente el tipo de terreno sobre el cual se encuentra asentada el área urbana de Tlalpan, ya que de acuerdo a sus características físicas, el comportamiento ante ciertos procesos será diferente. Otros de los factores a considerar fué la densidad de población y las condiciones económicas generales en distintas áreas, datos que han sido importantes para clasificar los distintos grados de vulnerabilidad dentro de una escala numérica. Es necesario señalar, que este análisis de la vulnerabilidad debe ser considerado de tipo preliminar, el cual debería ser complementado con estudios de carácter socio-económico, realizados por profesionistas adecuados a ello; ya que el análisis del riesgo debe entenderse como una tarea multidisciplinaria, con la participación de especialistas en el campo de la Biología, Sociología e Ingeniería, entre otros.

Para la evaluación del Riesgo, se optó por utilizar la ecuación del riesgo más sencilla, en la cual se involucran sólo dos variables : el Peligro y la Vulnerabilidad; aunque no por ello se desconocen algunas otras ecuaciones que involucran más factores :

$$R = C \times V \times P$$

donde se incorpora la variable C (costo), se define como el número de vidas humanas, propiedades, obras de infraestructura y capacidad productiva amenazada. (Tilling, 1990)

O bien la ecuación :

$$R = \frac{P \times V \times S}{Q}$$

donde S es el valor de los bienes sujetos a pérdidas (similar a la variable C de la ecuación anterior) y Q, es grado de preparación de la sociedad para disminuir la vulnerabilidad. (De la Cruz, 1995)

En ambas ecuaciones, se incorporan nuevas variables de carácter puramente técnicos y socio-económicos, los cuales no son de la competencia del Ingeniero Geólogo en su totalidad, pero el conocimiento de ellos con la ayuda de profesionistas indicados, contribuirá a una mejor evaluación del riesgo.

Para el análisis del riesgo realizado en el presente trabajo, se propuso una escala numérica para agrupar zonas riesgo en cuatro niveles en el análisis del riesgo individual y siete niveles para el análisis del riesgo total, tratando de establecer una mayor precisión en la terminología y entendimiento del riesgo, como base para la elaboración de mapas de

zonificación de riesgo, en los cuales se presentan estos niveles en términos de alto, medio, bajo y sin riesgo, diferenciados por medio de colores. Esta zonificación es un estudio de carácter preliminar, al cual un mayor conocimiento geológico y social, podrá perfeccionar, aunque es recomendable el considerar las zonificaciones aquí expuestas, mismas que podrían servir de base a estudios posteriores sobre planeación y desarrollo urbano, reordenamiento territorial y planeación de uso del suelo, ya que aunque hay zonas delimitadas sin riesgo, ello no implica en todos los casos que no sean peligrosas si comienzan a ser habitadas.

Es necesario que la comunidad tome conciencia de los diversos problemas que genera el desmedido crecimiento de la población, motivo por el cual tienden a crecer las ciudades sin control alguno y a explotar los recursos naturales irracionalmente tratando de satisfacer las necesidades de servicio de la población. Asimismo es conveniente dotar del conocimiento geológico básico a la población en general, ya que con ello podría reducirse la vulnerabilidad ante los fenómenos naturales potencialmente peligrosos y con ello los posibles desastres.

Asimismo es necesario que los representantes gubernamentales y las autoridades competentes, tomen en cuenta el conocimiento generado y aportado por la comunidad técnica y científica, para establecer o generar un plan de desarrollo y/o crecimiento adecuado a las posibilidades de un área habitable.

9.2 Resultados

En los capítulos V, VI, VII y VIII, del presente trabajo se realizó una zonificación de acuerdo al tipo de proceso o fenómeno productor del riesgo potencial. Esta zonificación fué plasmada en los cuatro mapas respectivos. (Ver ANEXO CARTOGRAFICO)

De acuerdo con la información de estos mapas, se obtuvo la siguiente tabla que muestra de manera simplificada, las diversas zonas de Tlalpan y su grado de riesgo por cada tipo de fenómeno, el cual ya fue analizado previamente en los capítulos correspondientes :

TABLA 9.1 NÍVELES DE RIESGO EN TLALPAN

ÁREA	RIESGO SÍSMICO	RIESGO VOLCÁNICO	RIESGO POR PROCESOS EXÓGENOS	RIESGO POR PROCESOS ANTRÓPICOS
Villa Coapa	Alto a Medio	Bajo	Medio	Alto
Centro de Tlalpan	Medio	Bajo	Bajo	Medio
Padierna	Medio	Bajo	Bajo	Medio
San Pedro Mártir	Medio	Bajo	Bajo	Medio
Joya-Tlalcoligía	Medio	Bajo	Bajo	Medio
Miguel Hidalgo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
San Andrés Totoltepec	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Sn Miguel Ajusco/ Sto Tomás Ajusco	Bajo	Bajo	Bajo	Sin Riesgo
Magdalena Petalcalco/ Sn Miguel Xicalco	Bajo	Bajo	Bajo	Sin Riesgo
Sn Miguel Topilejo	Bajo	Bajo	Bajo	Sin Riesgo
Parres El Guarda	Bajo	Bajo	Bajo	Sin Riesgo
Reserva Ecológica	Sin Riesgo	Sin Riesgo	Sin Riesgo	Sin Riesgo

Se observa que el área de Villa Coapa es la que registra los grados mayores de riesgo; mientras que las demás áreas dentro de la delegación y de la zona urbana registran niveles menores de riesgo. Las zonas de los poblados o áreas suburbanas, tienen los valores más bajos de riesgo y el área de reserva ecológica es una zona sin riesgo.

De acuerdo con estos resultados, además las zonificaciones del peligro y vulnerabilidad realizados en cada capítulo (V al VIII), se realizó un análisis conjunto para determinar y zonificar las áreas de Tlalpan de acuerdo a su grado de peligro geológico total, vulnerabilidad total y del riesgo geológico total, los cuales se muestran por medio de tres mapas : MAPA DE PELIGRO TOTAL EN TLALPAN, MAPA DE VULNERABILIDAD TOTAL EN TLALPAN y MAPA DE RIESGO GEOLÓGICO TOTAL EN TLALPAN. En estos mapas, se implementó una nueva escala alfanumérica que abarca siete diferentes rangos de peligro, vulnerabilidad y riesgo.

Los resultados obtenidos durante el presente trabajo, se resumen en la siguiente columna :

ÁREA	GRADO DE RIESGO GEOLÓGICO TOTAL
Villa Coapa	Medio
Centro de Tlalpan	Medio Bajo
Padierna	Medio Bajo
San Pedro Mártir	Medio Bajo
Joya-Tlalcoligía	Medio Bajo
Miguel Hidalgo	Medio Bajo
San Andrés Totoltepec	Medio Bajo
Sn Miguel Ajusco/Sto Tomás Ajusco	Bajo
Magdalena Petlalcalco/Sn Miguel Xicalco	Bajo
Sn Miguel Topilejo	Bajo
Parres-El Guarda	Bajo
Reserva Ecológica	Sin Riesgo

9.3 Conclusiones

El conocimiento de las condiciones geológicas de un área, tanto local como a nivel regional, donde se encuentre ubicado un asentamiento o desarrollo de tipo urbano; permitirá al hombre un mayor entendimiento en su relación con el medio natural que le rodea; para el aprovechamiento racional y adecuado de los diversos recursos naturales necesarios para su desarrollo, así como para comprender los diferentes fenómenos debidos a procesos geológicos que pueden poner en riesgo la vida misma y los bienes poseidos además de los efectos negativos que la actividad del hombre ocasionan al medio natural. La Geología Ambiental, es así una de las ramas de la Geología Aplicada, muy útil en diversos estudios tanto para la evaluación de impacto ambiental, estudios de prevención de desastres, estudios de planeación de polos de desarrollo y centros urbanos, estudios de planeación de uso del suelo y reordenamiento territorial, entre otros.

Específicamente, en los estudios del análisis del riesgo producido por fenómenos naturales, es de vital importancia, la participación del geólogo para la identificación y

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

evaluación de los fenómenos potencialmente peligrosos derivados de procesos geológicos, aunque es necesario mencionar que también es de gran importancia la participación de profesionistas de otras áreas del conocimiento, para una adecuada y completa evaluación del riesgo en un área, ya que estos estudios son de carácter inter y multidisciplinarios. En el presente trabajo queda establecido que con el conocimiento geológico básico del área aporta datos suficientes para un futuro estudio de prevención de desastres.

La evaluación del riesgo, efectuada para la Delegación Tlalpan durante este trabajo, es de tipo preliminar, el cual debe ser ampliado y mejorado. En el se identificaron los fenómenos potencialmente peligrosos para la población asentada en el área y se realizó un análisis preliminar del grado de vulnerabilidad de la zona urbana considerando principalmente aspectos técnicos.

Actualmente en México, son pocos los trabajos enfocados al análisis del riesgo, por lo que no existe aún una metodología para la evaluación de ello. La metodología empleada durante el presente trabajo es muy sencilla, consistente en la evaluación de tipo numérica tratando de ser lo más objetivo posible en el análisis de los factores peligro y vulnerabilidad, para la aplicación de la ecuación del riesgo.

Los procesos geológicos capaces de generar peligros geológicos y antrópicos están presentes en el área, siendo la interacción entre las placas litosféricas de Cocos bajo Norteamérica, los responsables de la mayoría de ellos (sismicidad, vulcanismo y efectos tectónicos) además de la actividad del hombre, por las diversas modificaciones al medio.

Para Tlalpan de acuerdo a los resultados obtenidos, el área de mayor riesgo geológico es la de Villa Coapa, debido a las características y condiciones geológicas sobre las que se encuentra asentada. Es en esta área donde se registra la mayor densidad de población, además de construcciones pesadas. Se recomiendan estudios detallados sobre los posibles abatimientos en los niveles estáticos y dinámicos, así como una extracción racional del agua del acuífero en los pozos del lugar. Es importante efectuar monitoreos y estudios sobre contaminación antrópica por fugas de la red de drenaje. Asimismo el reforzamiento de estructuras y adecuarlas para resistir sismos.

En las zonas del Centro de Tlalpan, Padierna, Joya-Tlalcoligia, San Pedro Mártir y San Andrés Totoltepec, ubicadas sobre materiales volcánicos, el grado de riesgo es medianamente bajo, debido a que el subsuelo se comporta diferente a los sedimentos lacustres, sin amplificar y acelerar las ondas sísmicas. Sin embargo, es recomendable reforzar las construcciones antiguas y dotar de redes de drenaje las zonas que carecen de este servicio, siendo oportuno un análisis sobre movilidad de contaminantes hacia el centro de la Ciudad de México. Es conveniente monitorear, las zonas con red de drenaje establecido para evitar fugas y contaminación directa al acuífero de la zona de hospitales, con desechos clínicos. Por otra parte se recomiendan algunos estudios geofísicos que permitan detectar estructuras como tubos o túneles de lava bajo construcciones. Asimismo se recomienda no extender el área urbana mas allá de los límites actuales.

Las zonas suburbanas o poblados fueron clasificados como zonas de bajo riesgo, alrededor de las cuales deben ser prohibidos zonas de tiraderos de basura para evitar contaminación directa al acuífero o bien al suelo utilizado con fines agrícolas.

Finalmente el área de Reserva Ecológica, se consideró una zona sin riesgo, debido a la ausencia de población asentada en ella. Recomendándose no habitar el área, ya que el peligro es latente en toda el área de Tlalpan.

Debido a esto, se recomienda un estudio detallado que permita conocer la potencial actividad volcánica en el área.

Este trabajo constituye un primer aporte para el estudio y análisis del riesgo geológico general para la Delegación Tlalpan, mismo que debe servir de base en estudios similares posteriores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arellano, A.R.V., 1948,** LA COMPOSICION DE LAS ROCAS VOLCANICAS EN LA PARTE SUR DE LA CUENCA DE MEXICO: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana T XIII, México, D.F. p. 81 - 82
- Arnold J.R. and W.F. Libby, 1951,** RADIOCARBON DATES : Science, v. 113 (2927), p. 11-120
- Badilla Cruz, Ramón, 1977,** ESTUDIO PETROLOGICO DE LA LAVA DE LA PARTE NE DEL PEDREGAL DE SAN ANGEL: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana T. XXXVIII, México D.F., p. 40 - 57
- Bellia, S., 1992,** EL VALLE DE MEXICO : CONSIDERACIONES PRELIMINARES SOBRE LOS RIESGOS GEOLOGICOS Y ANALISIS HIDROGEOLOGICO DE LA CUENCA DE CHALCO: Quaderni IILA, Serie Scienza 3, Roma, Italia, 96 p.
- Blong, R. J., 1984,** VOLCANIC HAZARDS : Academic Press Australia, Sidney, Australia, 389 p.
- Bloom, A.L., 1991,** GEOMORPHOLOGY, A SYSTEMATIC ANALYSIS OF LATE CENOZOIC LANDFORMS: Prentice Hall Inc. Second Edition, New Jersey, U.S.A.
- Bloomfield Keith, 1975,** A LATE QUATERNARY MONOGENETIC VOLCANO FIELD IN CENTRAL MEXICO: Geologische Rundschau, v. 64 (2), p. 476-497
- Bravo Hugo, Ponce L., Suárez G. y R. Zúñiga, 1988,** POTENCIAL SÍSMICO DE MEXICO, en : ESTUDIOS SOBRE LA SISMICIDAD EN ELVALLE DE MEXICO : Reporte DDF - Sría de Gobernación, 1988.
- Cameron, M., K. Spaulding and K.L. Cameron, 1987,** A SYNTHESIS AND COMPARISON OF THE GEOCHEMISTRY OF VOLCANIC ROCKS OF THE SIERRA MADRE OCCIDENTAL AND MEXICAN VOLCANIC BELT Revista Geofisica Internacional vol. 26, Num. 01, México D.F. pp. 29 - 78
- Cardona, Omar D., 1992,** EVALUACION DE LA AMENAZA, LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO : Elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo, en : LOS DESASTRES NO SON NATURALES, LARED : Red de Estudios de Desastres en América Latina, Colombia, 1993
- Cardona, Omar D., 1992 a,** MANEJO AMBIENTAL Y PREVENCION DE DESASTRES: DOS TEMAS ASOCIADOS en : LOS DESASTRES NO SON NATURALES LARED : Red de Estudios de Desastres en América Latina, Colombia, 1993
- Cas Ray A.F. and John V. Wright, 1987,** VOLCANIC SUCESSIONS, MODERNA AND ANCIENT: London, Chapman &Hall, 528 p.
- Castillo Torres, Z. I., 1976,** ALGUNOS ASPECTOS DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL PARQUE NACIONAL CUMBRES DEL AJUSCO, MEXICO : Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México D.F. (inédita)
- Cervantes Pablo y R. Molinero, 1995,** EVENTOS VOLCÁNICOS AL SUR DE LA CIUDAD DE MEXICO: (Tesis Profesional), Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 68 p. (inédita)
- Chávez-García, F.J., 1995,** DISPERSIÓN DE ONDAS SUPERFICIALES Y ATENUACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA DE LAGO EN SEPTIEMBRE DE 1985, en : LA SISMOLOGÍA EN MÉXICO: 10 AÑOS DEL TEMBLOR DE MICHOACÁN DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 1985 Monografía No. 2, Unión Geofísica Mexicana, p. 143-156

- Cortés R., Alejandra, R.D. Arizabalo y R. Rocha, 1989** ESTUDIO HIDROGEOQUIMICO ISOTOPICO DE MANANTIALES EN LA CUENCA DE MEXICO: Revista Geofísica Internacional Vol. 28 Num. 2, México. p. 265 - 281
- de Cserna, Zoltan, M. De la Fuente, M. Palacios-Nieto, L. Triay, L.M. Mitre-Salazar y R. Mota-Palomino, 1988**, ESTRUCTURA GEOLOGICA, GRAVIMETRICA, SISMICIDAD Y RELACIONES NEOTECTONICAS REGIONALES DE LA CUENCA DE MEXICO: Boletín 104 Instituto de Geología UNAM, México D.F. 71 p.
- de Cserna, Zoltan , 1989**, AN OUTLINE OF THE GEOLOGY OF MEXICO (CHAPTER 9) IN: THE GEOLOGY OF NORTH AMERICA The Geological Society of America, USA. pp. 233 - 264
- De la Cruz Servando, 1995**, PROPUESTA DE UN CODIGO DE ALERTA PARA POTENCIALES ERUPCIONES DEL VOLCÁN POPOCATÉPETL: Revista Prevención, num. 11, CENAPRED, México, p. 8 - 10
- De Terra, Helmut, 1948**, HISTORIA DEL VALLE DE MEXICO EN LAS POSTRIMERIAS DEL CUATERNARIO EN RELACION CON EL HOMBRE PREHISTORICO: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana T XIII, México D.F., p. 77 - 79
- Delgado, Hugo y Ana Lillian Martin del Pozzo, 1993**, Pliocene to Holocene Volcanic Geology at the Junction of Las Cruces, Chichinautzin and Ajusco Ranges, Southwest of Mexico City: Revista Geofísica Internacional, Vol. 32 Num. 3, México D.F., p. 511 - 522
- Demant, Alain y L. Silva-Mora, 1976**, EL EJE NEOVOLCANICO TRANSMEXICANO: III Congreso Latinoamericano de Geología, Excursión Num. 4, 30 p.
- Demant, Alain, 1978**, CARACTERÍSTICAS DEL EJE NEOVOLCÁNICO TRANSMEXICANO Y SUS PROBLEMAS DE INTERPRETACIÓN : Revista del Instituto de Geología, UNAM, vol. 2, p. 172-188, México.
- Departamento del Distrito Federal, 1981**, ATLAS DE LA CIUDAD DE MEXICO DDF- El colegio de México. México, D.F. p. 11 - 235
- Departamento del Distrito Federal, 1988**, ESTUDIOS SOBRE SISMICIDAD EN EL VALLE DE MÉXICO: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, México D.F., 541 p.
- Espíndola, Juan M., 1990**, LAS CATASTROFES GEOLOGICAS: Cuadernos del Instituto de Geofísica Num. 3, Inst. de Geofísica UNAM, México DF, 72 p.
- Fries Jr., Carl, 1960**, GEOLOGIA DEL ESTADO DE MORELOS Y DE PARTES ADYACENTES DE MEXICO Y GUERRERO, REGION CENTRAL MERIDIONAL DE MEXICO: Instituto de Geología, UNAM. Boletín 60, México, D.F. 229 p.
- García Acosta, Virginia, 1992**, ENFOQUES TEORICOS PARA EL ESTUDIO HISTORICO DE LOS DESASTRES NATURALES en : LOS DESASTRES NO SON NATURALES LARED : Red de Estudios de Desastres en América Latina, Colombia, 1993
- Gastil G.R. and Jensky W., 1973**, EVIDENCE FOR STRIKESLIP DISPLACEMENT BENEATH THE TRANS-MEXICAN VOLCANIC BELT: Stanford Univ. Publ. Geol. Sci., v. 13, p. 171-180
- Herrera , Ismael, 1989**, EL SISTEMA ACUIFERO DE LA CIUDAD DE MEXICO (INTRODUCCION): Revista Geofísica Internacional Vol. 28 Num. 2, México, D.F.
- Herrera, Ismael, 1989**, CONTRIBUCION PARA LA ADMINISTRACION CIENTIFICA DEL AGUA SUBTERRANEA EN LA CUENCA DE MEXICO: Revista Geofísica Internacional, Vol. 28 Num. 2, México D.F. p. 297 - 334

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1988**, ATLAS EJIDAL DEL DISTRITO FEDERAL : ENCUESTA NACIONAL AGROPECUARIA Y EJIDAL: Edición 1988, S.P.P., México, D.F. 33 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática , 1990**, TLALPAN, CUADERNO DE INFORMACION BASICA DELEGACIONAL Edición 1992, S.P.P., México, D.F. 92 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática , 1992**, TLALPAN, CUADERNO DE INFORMACION BASICA DELEGACIONAL Edición 1992, S.P.P., México, D.F. 92 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática , 1995**, TLALPAN, CUADERNO DE INFORMACION BASICA DELEGACIONAL Edición 1992, S.P.P., México, D.F. 98 p.
- Jaimes Palomera, R., 1989**, GEOQUIMICA ISOTOPICA DEL SISTEMA HIDROGEOLOGICO DEL VALLE DE CUERNAVACA, EDO. DE MORELOS, MEXICO: Revista Geofísica Internacional, Vol. 28 Num. 2, México D.F. p. 219 - 244
- Keller Edward, 1988**, ENVIRONMENTAL GEOLOGY (Second Edition)
- Keller, Edward, 1990**, ENVIRONMENTAL GEOLOGY (Third Edition)
- Lomnitz, Cinna, 1995**, DIEZ AÑOS DESPUÉS: UNA REINTERPRETACIÓN DE LA CATÁSTROFE DE 1985 , en : LA SISMOLOGÍA EN MÉXICO: 10 AÑOS DEL TEMBLOR DE MICHOACÁN DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 1985 Monografía No. 2, Unión Geofísica Mexicana, p. 61-67
- Lozano-García, S., 1989** PALINOLOGIA Y PALEOAMBIENTES PLEISTOCENICOS DE LA CUENCA DE MEXICO: Revista Geofísica Internacional, Vol. 28 Num. 2, México D. F. p. 335 - 361
- Lugo-Hubp, José, 1984**, GEOMORFOLOGIA DEL SUR DE LA CUENCA DE MEXICO: Serie Varía T.1, Num. 8, Instituto de Geografía UNAM, México, D.F. 95 p.
- Lugo Hubp, José y J.L. Palacios, 1985**, LAS ZONAS MAS ACTIVAS EN EL CINTURON VOLCANICO MEXICANO (ENTRE MICH. Y TLAX.): Revista Geofísica Internacional, Vol. 24 Num. 1, México, p. 83 - 96
- Macías, J. M., 1992**, PERSPECTIVAS DE LOS DESASTRES EN MEXICO en: LOS DESASTRES NO SON NATURALES LARED : Red de Estudios de Desastres en América Latina, Colombia, 1993
- Maciel, F.R., 1986**, COMENTARIOS SOBRE LA ESTIMACION DEL RIESGO VOLCANICO: Geotermia, Revista Mexicana de Geoenergía, Vol. 2 Num. 2, México, p. 87.- 93
- Marsal, Raúl y Marcos Mazari, 1969**, EL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO: Instituto de Ingeniería, UNAM, México D.F:
- Martín del Pozzo, Ana Lillian, 1984**, VULCANOLOGÍA DE LA SIERRA CHICHINAUTZIN: (Tesis de Maestría) Facultad de Ciencias, UNAM, México. 131 p. (inédita)
- Martín del Pozzo, Ana Lillian y V.H. Romero, 1989**, EL VOLCAN DE COLIMA : UN ESTUDIO DEL RIESGO Revista Litósfera vol. 2 Num. 1, México. p. 43 - 55
- Maskrey, Andrew, 1993**, LOS DESASTRES NO SON NATURALES LA RED : Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en America Latina, Ed. Tercer Mundo, Colombia, 166 p.
- Mitre-Salazar, Luis Miguel, 1992**, LA GEOLOGIA Y EL CAMBIO GLOBAL: Revista Ciencia, vol. 43, Número Especial, p. 73 - 75, México, D.F.

- Mooser, Federico, 1958**, CATALOGUE OF ACTIVE VOLCANOES AND SOLFATARA FIELDS OF CENTRAL AMERICA, PART IV: International Volcanological Association, Napoli, Italia.
- Mooser, Federico, 1969**, THE MEXICAN VOLCANIC BELT STRUCTURE AND DEVELOPMENT; FORMATION OF FRACTURES BY DIFFERENTIAL CRUST HEATING: México, D.F., Simposio Panamericano del Manto Superior, grupo 2, v. 2, p. 15-22
- Mooser, Freddie; Alain E.M. Nairn and Jörg F.W. Negendank, 1974**, PALAEOMAGNETIC INVESTIGATIONS OF THE TERTIARY AND QUATERNARY IGNEOUS ROCKS : VIII A Palaeomagnetic and Petrologic study of volcanics of the Valley of Mexico: Geologische Rundschau v.63 (2); p. 451-483
- Mooser, Federico, 1975**, THE MEXICAN VOLCANIC BELT; INTERPRETATION DERIVED FROM FRACTURES AND FORM: Trans. Amer. Geophys. Union V. 56, p. 1066 (abstract)
- Mooser, Federico, 1975 a**, HISTORIA GEOLOGICA DE LA CUENCA DE MEXICO: Memoria de las Obras del Drenaje Profundo del Distrito Federal, D.D.F., Tomo I, p. 7 - 38.
- Mora A.G, Caballero-Miranda C., Urrutia J., y S.H. Uchiumi, 1992**, SOUTHWARD MIGRATION OF VOLCANIC ACTIVITY IN THE SIERRA DE LAS CRUCES, BASIN OF MEXICO? - A PRELIMINARY K-Ar DATING AND PALAEOMAGNETIC STUDY : Geofísica Internacional v. 30, num. 2 ; p. 61-70
- Negendank, Jörg F.W., 1973**, GEOCHEMICAL ASPECTS OF VOLCANIC ROCKS OF THE VALLEY OF MEXICO: Geofísica Internacional, v. 13; p. 267-278
- Negendank, Jörg F.W., 1973a**, SOME ASPECTS OF VOLCANIC ROCKS OF THE VALLEY OF MEXICO: Bull. Volcanologique, v. 37 (3); p. 292-303
- Nixon, G. T., Alain Demant, Armstrong, R.L. and J.E. Harakal, 1987**, K - Ar AND GEOLOGIC DATA BEARING ON THE AGE AND EVOLUTION OF THE TRANS-MEXICAN VOLCANIC BELT: Revista Geofísica Internacional Vol. 26 Num. 01, México D.F., pp. 109 - 158
- Ordoñez, Ezequiel, 1891**, EL PEDREGAL DE SAN ANGEL: Apuntes para la petrografía del Valle de México, Memorias (1890-91) T.IV.15
- Ortega, M. Adrián, 1989**, LAS CONDICIONES DE FRONTERA HIDRAULICA NATURALES EN LA CUENCA DE MEXICO, USANDO UN MODELO MATEMATICO: Revista Geofísica Internacional, Vol. 28 Num. 2, México D.F., p. 283 - 296
- Pannizza Mario, 1988**, GEOMORFOLOGIA APPLICATA, La Nuova Italia Scientifica, Sardegna, 342 p.
- Raisz, Erwin, 1959**, LANDFORMS OF MEXICO : Cambridge Mass., edición privada, Mapa con texto, esc. 1 : 3 000 000
- Reyes-Heroles, A., 1992**, TLALPAN : ETERNO VIGIA DEL VALLE DE ANAHUAC: Fideicomiso para el bienestar social y buen gobierno en Tlalpan, Cd. de México, Tlalpan, DDF, 201 p.
- Robelo, Cecilio , 1910**, NOMBRES GEOGRAFICOS MEXICANOS DEL DISTRITO FEDERAL, DDF: Tesorería, México, Edición 1977.
- Rodríguez Castillo, R. y C. Ochoa A., 1989**, ESTUDIO GEOELECTRICO DEL SISTEMA ACUIFERO DE LA CUENCA DE MEXICO: Revista Geofísica Internacional, Vol. 28 Num. 2, México D.F. p. 191 - 206
- Rodríguez Castillo, R. y T. González Morán, 1989a**, COMPORTAMIENTO HIDRODINAMICO DEL SISTEMA ACUIFERO DE LA SUBCUENCA DE CHALCO: Revista Geofísica Internacional, Vol. 28 Num. 2, México D.F. p. 207 - 218

- Romero, Gilberto y Andrew Maskrey, 1983, COMO ENTENDER LOS DESASTRES NATURALES** en : LOS DESASTRES NO SON NATURALES LARED : Red de Estudios de Desastres en América Latina, Colombia, 1993
- Scandone, R., 1979, PRELIMINARY EVALUATION OF THE VOLCANIC HAZARD IN THE SOUTHERN VALLEY OF MEXICO:** Revista Geofísica Internacional, Vol. 18 Num. 1, México D.F. p. 21 - 35
- Schlaepfer Carmen, 1968, GEOLOGÍA DE LA HOJA MÉXICO, 14Q-h(5):** Instituto de Geología, UNAM, México, esc. 1: 100 000
- Schmitter, Eduardo, INVESTIGACION PETROLOGICA EN LAS LAVAS DEL PEDREGAL DE SAN ANGEL:** Memorias del Congreso Científico Mexicano II, p. 218-237
- Secretaría de Programación y Presupuesto, 1982, GEOLOGIA DE LA REPUBLICA MEXICANA S.P.P.,** México, D.F. p. 55 - 59
- Suárez Reynoso, Gerardo y Zenón Jiménez, 1987, SISMOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO Y EL TERREMOTO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 1985:** Cuadernos del Instituto de Geofísica/2, UNAM, México, D.F., 52 p.
- Tilling, Robert I., 1993, LOS PELIGROS VOLCÁNICOS (Traducido por Bernardo Beate):** USA, WOVO-IAVCEI, 121 p.
- Urrutia, Jaime y L. Del Castillo, 1977, UN MODELO DEL EJE VOLCÁNICO MEXICANO:** Boletín de la Soc. Geol. Mex., v. 38, p. 18 - 28, México.
- Vázquez-Jaimes, Ma. Elena, 1995, UNA NUEVA METODOLOGÍA A EMPLEAR EN LA EVALUACIÓN DE ZONAS DE INFILTRACIÓN DE AGUA AL SUBSUELO:** (Tesis Profesional), Facultad de Ingeniería, UNAM, México, D.F., 123 p.
- Vázquez-Sánchez E. y R. Jaimes-Palomera, 1989, GEOLOGIA DE LA CUENCA DE MEXICO:** Revista Geofísica Internacional, Vol. 28 Num. 2, México D.F. p. 133 - 190
- Venegas, Saul et al., 1985, ALGUNAS CARACTERISTICAS DE LA FAJA VOLCANICA MEXICANA Y DE SUS RECURSOS GEOTERMICOS:** Revista Geofísica Internacional, Vol. 24 Num. 1, México D.F. p. 47 - 82
- Waitz, P. y E. Wittich, 1910, TUBOS DE EXPLOSION EN EL PEDREGAL DE SAN ANGEL :** Boletín de la Soc. Geol. Mex., T VII, p. 169-187
- White, Sidney, y J. Ortega, 1990, EL AJUSCO : GEOMORFOLOGIA VOLCANICA Y ACONTECIMIENTOS GLACIALES DURANTE EL PLEISTOCENO SUPERIOR Y COMPARACION CON LAS SERIES GLACIALES MEXICANAS Y DE LAS MONTAÑAS ROCALLOSAS Serie Arqueología INAH, México D.F., 1990, 77 p.**
- Wilches-Chaux, Gustavo, 1989, LA VULNERABILIDAD GLOBAL** en : LOS DESASTRES NO SON NATURALES LARED : Red de Estudios de Desastres en América Latina, Colombia, 1993
- Yarza, Esperanza, 1992, VOLCANES DE MEXICO** Instituto de Geografía UNAM, México, D.F.



LEYENDA

CUATERNARIO Pleistoceno-Holoceno	Qla	Depósitos Lacustres
	Qv	Formación Chichinautzin
	QpA	Formación Ajusco
TERCIARIO Oligoceno-Plioceno	TpC	Formación Las Cruces
	TpZ	Formación Zempoala
	TmX	Formación Xochitepec

SIMBOLOGÍA

	contacto geológico
	contacto entre subunidades
	falla desplazamiento lateral
	fracturamiento
	dirección de flujo

Base : Modelo Digital de Terreno, procesado con ILWIS
a partir de cartas topográficas INEGI 1:50 000

0 2 5 km



Escala gráfica

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
Facultad de Ingeniería
División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

MAPA GEOLÓGICO DE TLALPAN, D.F

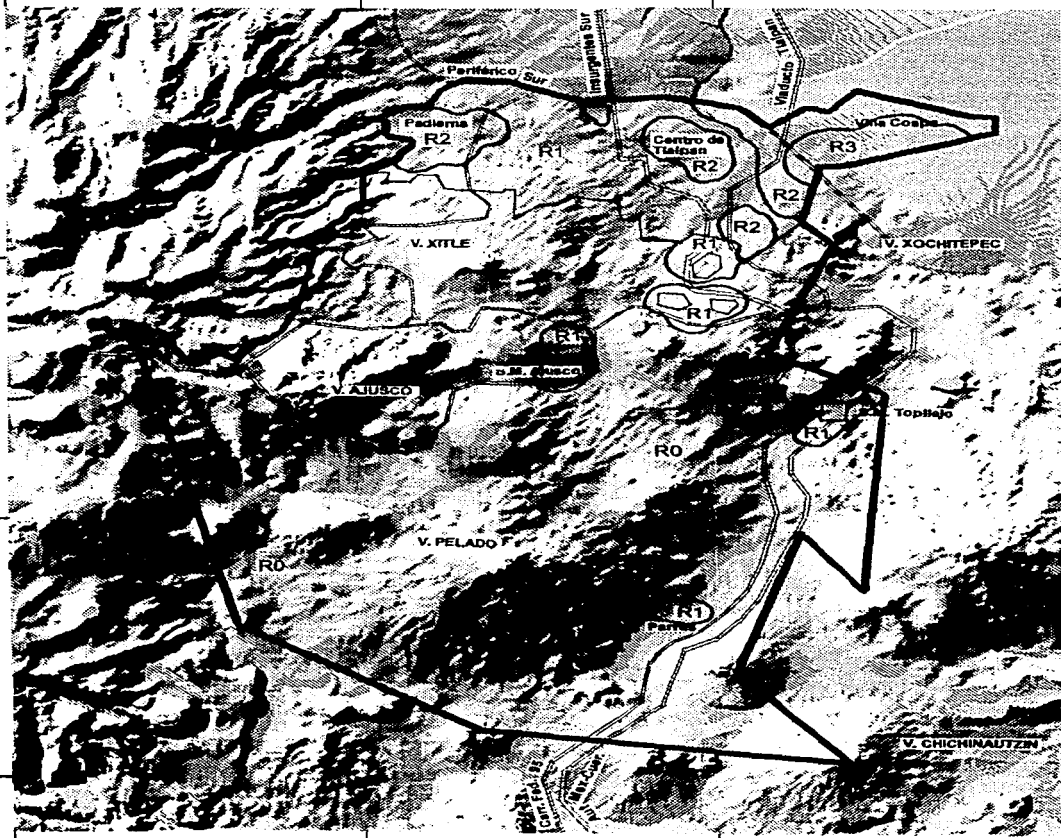
Tesis Profesional
Laura Cristina Lozano Velázquez

Director de tesis : Dr. Luis Miguel Mitre S.

99°20'

99°15'

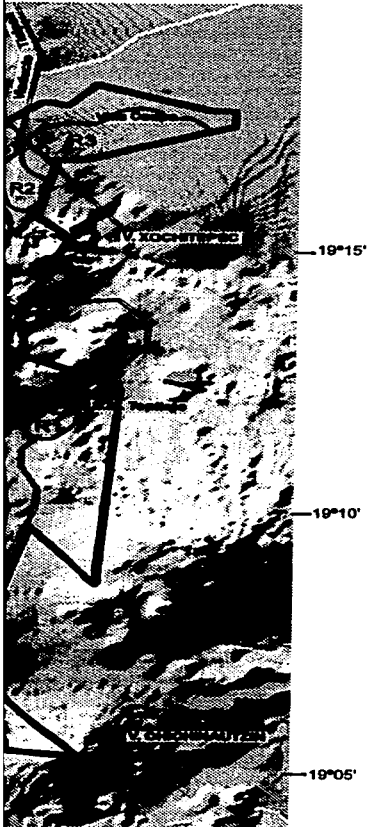
99°10'



19°15'

19°10'

19°05'



LEYENDA

- R3 Zona de Alto Riesgo
- R2 Zona de Riesgo Medio
- R1 Zona de Bajo Riesgo
- R0 Zona Sin Riesgo

SIMBOLOGÍA

- contacto entre niveles de riesgo
- vías terrestres
- población

Base : Modelo Digital de Terreno, procesado con ILWIS
a partir de cartas topográficas INEGI 1:50 000

0 2 5 km

Escala gráfica

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
Facultad de Ingeniería
División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

MAPA DE RIESGO SÍSMICO EN TLALPAN, D.F.

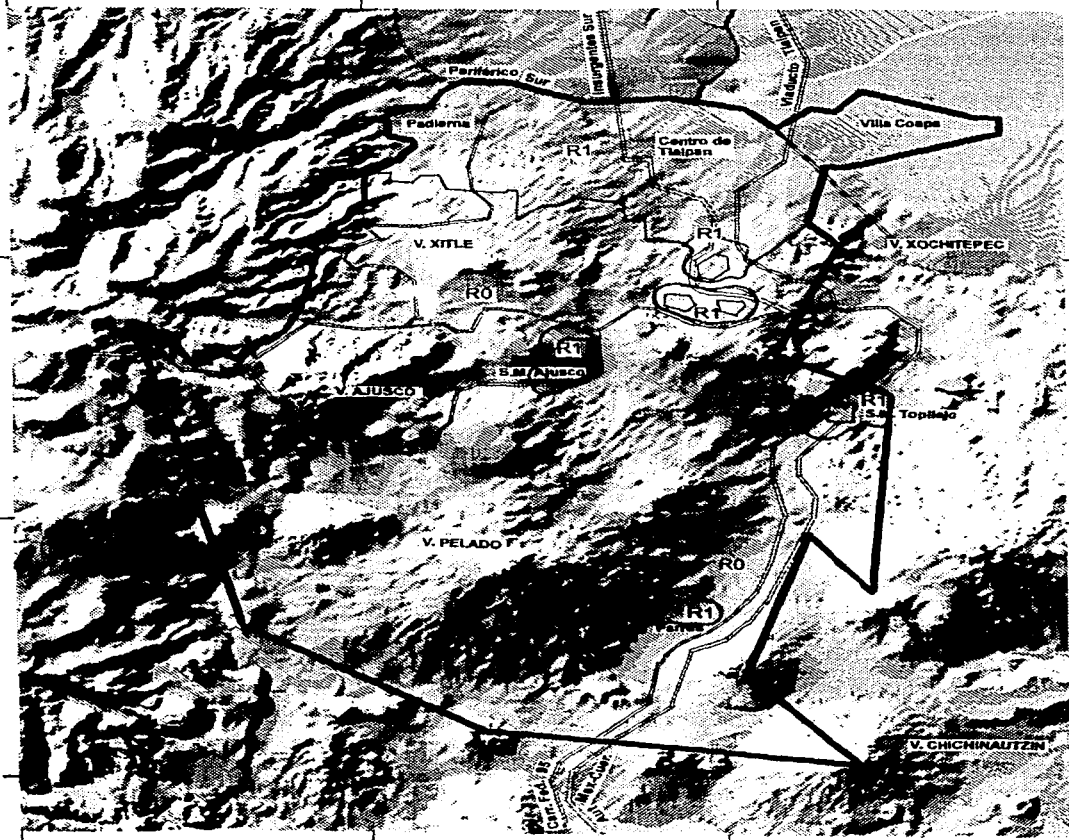
Tesis Profesional
Laura Cristina Lozano Velázquez

Director de tesis : Dr. Luis Miguel Mitre S.

99°20'

99°15'

99°10'



19°15'

19°10'

19°05'



LEYENDA

- R3** Zona de Alto Riesgo
- R2** Zona de Riesgo Medio
- R1** Zona de Bajo Riesgo
- R0** Zona Sin Riesgo

SIMBOLOGÍA

- contacto entre niveles de riesgo
- vías terrestres
- población

Base : Modelo Digital de Terreno, procesado con ILWIS
a partir de cartas topográficas INEGI 1:50 000

0 2 5 km



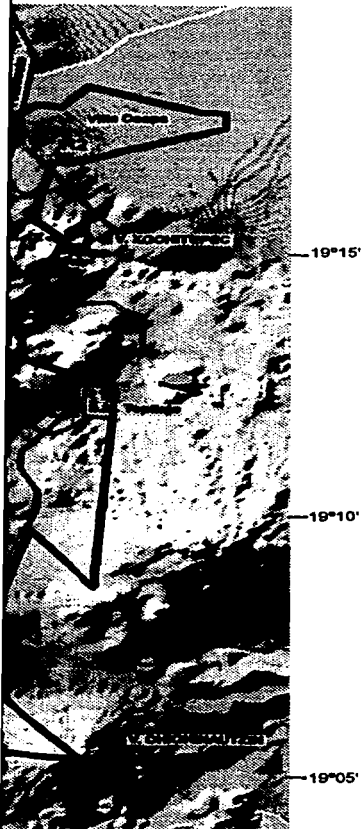
Escala gráfica

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
Facultad de Ingeniería
División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

MAPA DE RIESGO VOLCÁNICO EN TLALPAN, D.F

Tesis Profesional
Laura Cristina Lozano Velázquez




Director de tesis : Dr. Luis Miguel Mitre S.



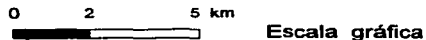
LEYENDA

- R3 Zona de Alto Riesgo
- R2 Zona de Riesgo Medio
- R1 Zona de Bajo Riesgo
- R0 Zona Sin Riesgo

SIMBOLOGÍA

-  contacto entre niveles de riesgo
-  vías terrestres
-  población

Base : Modelo Digital de Terreno, procesado con ILWIS
a partir de cartas topográficas INEGI 1:50 000



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
Facultad de Ingeniería
División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**MAPA DE RIESGO POR PROCESOS
EXÓGENOS EN TLALPAN, D.F**

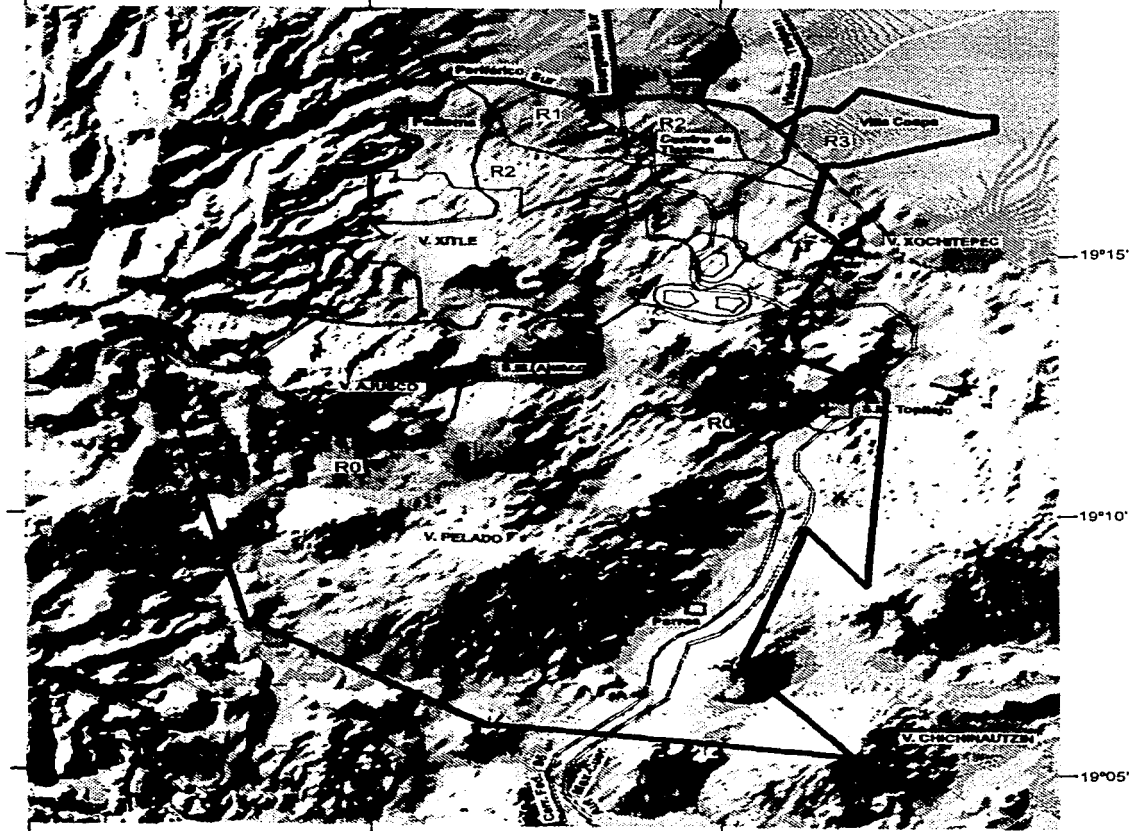
Tesis Profesional
Laura Cristina Lozano Velázquez

Director de tesis : Dr. Luis Miguel Mitre S.

99°20'

99°15'

99°10'



19°15'

19°10'

19°05'



LEYENDA

- | | |
|----|----------------------|
| R3 | Zona de Alto Riesgo |
| R2 | Zona de Riesgo Medio |
| R1 | Zona de Bajo Riesgo |
| R0 | Zona Sin Riesgo |

SIMBOLOGÍA

- | | |
|--|----------------------------------|
| | contacto entre niveles de riesgo |
| | vías terrestres |
| | población |

Base : Modelo Digital de Terreno, procesado con ILWIS
a partir de cartas topográficas INEGI 1:50 000

0 2 5 km



Escala gráfica

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
Facultad de Ingeniería
División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

MAPA DE RIESGO POR PROCESOS
ANTRÓPICOS EN TLALPAN, D.F

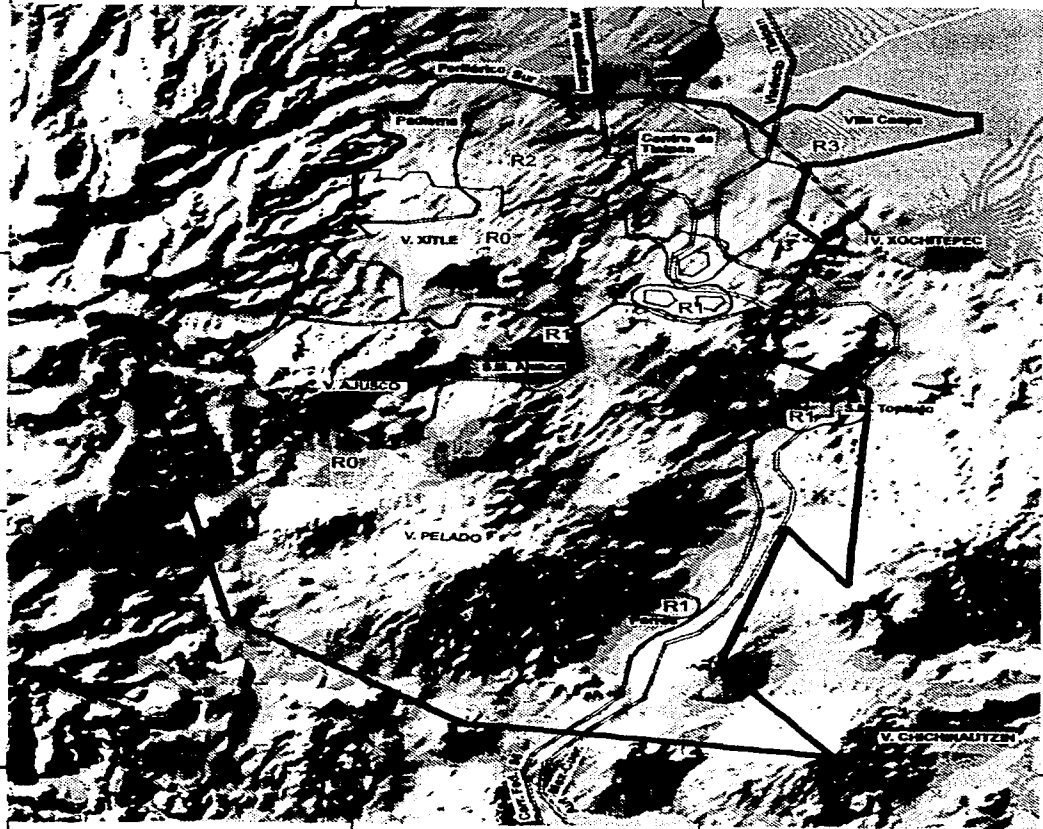
Tesis Profesional
Laura Cristina Lozano Velázquez

Director de tesis : Dr. Luis Miguel Mítre S.

99°20'

99°15'

99°10'



19°15'

19°10'

19°05'





LEYENDA

- | | |
|----|---------------------------|
| R6 | Zona de Muy Alto Riesgo |
| R5 | Zona de Riesgo Alto |
| R4 | Zona de Riesgo Medio Alto |
| R3 | Zona de Riesgo Medio |
| R2 | Zona de Riesgo Medio Bajo |
| R1 | Zona de Riesgo Bajo |
| R0 | Zona Sin Riesgo |

SIMBOLOGÍA

- | | |
|--|----------------------------------|
| | contacto entre niveles de riesgo |
| | vías terrestres |
| | población |

Base : Modelo Digital de Terreno, procesado con ILWIS
a partir de cartas topográficas INEGI 1:50 000

0 2 5 km



Escala gráfica

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
Facultad de Ingeniería
División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

MAPA DEL RIESGO GEOLÓGICO
TOTAL EN TLALPAN, D.F

Tesis Profesional
Laura Cristina Lozano Velázquez

Director de tesis : Dr. Luis Miguel Mitre S.



LEYENDA

V6	Zona de Vulnerabilidad Muy Alta
V5	Zona de Vulnerabilidad Alta
V4	Zona de Vulnerabilidad Media Alta
V3	Zona de Vulnerabilidad Media
V2	Zona de Vulnerabilidad Media Baja
V1	Zona de Vulnerabilidad Baja
V0	Zona No Vulnerable

SIMBOLOGÍA

	contacto entre niveles de riesgo
	vías terrestres
	población

Base : Modelo Digital de Terreno, procesado con ILWIS
a partir de cartas topográficas INEGI 1:50 000

0 2 5 km



Escala gráfica

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
Facultad de Ingeniería
División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

MAPA DE VULNERABILIDAD
TOTAL EN TLALPAN, D.F

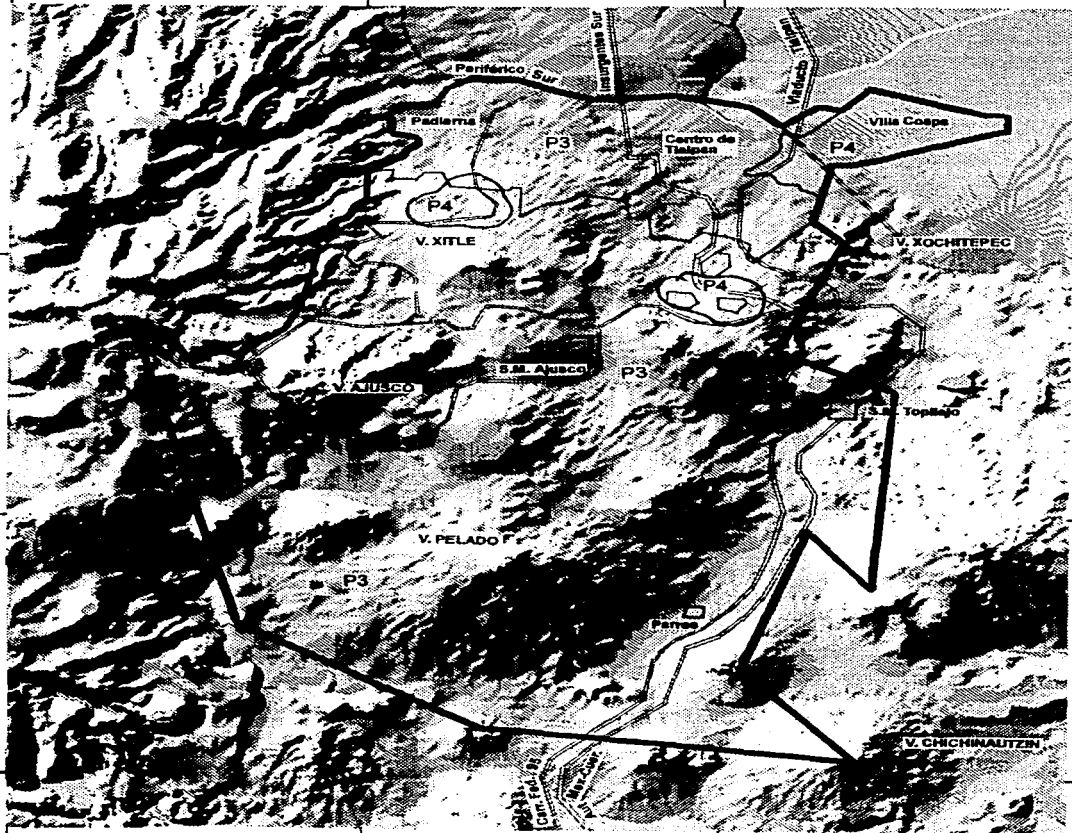
Tesis Profesional
Laura Cristina Lozano Velázquez

Director de tesis : Dr. Luis Miguel Mitre S.

99°20'

99°15'

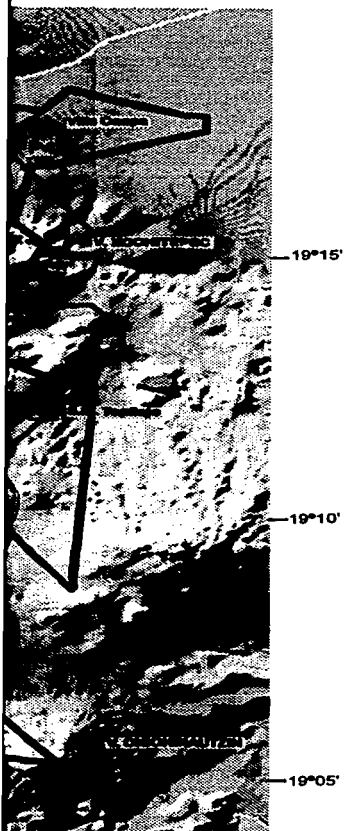
99°10'



19°15'

19°10'

19°05'



LEYENDA

P6	Zona de Peligro Muy Alto
P5	Zona de Peligro Alto
P4	Zona de Peligro Medio Alto
P3	Zona de Peligro Medio
P2	Zona de Peligro Medio Bajo
P1	Zona de Peligro Bajo
P0	Zona Sin Peligro

SIMBOLOGÍA

	contacto entre niveles de riesgo
	vías terrestres
	población

Base: Modelo Digital de Terreno, procesado con ILWIS
a partir de cartas topográficas INEGI 1:50 000

0 2 5 km



Escala gráfica

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
Facultad de Ingeniería
División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

MAPA DEL PELIGRO TOTAL
EN TLALPAN, D.F.

Tesis Profesional
Laura Cristina Lozano Velázquez

Director de tesis : Dr. Luis Miguel Mitre S.