



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**"IDENTIFICACIÓN Y CARTOGRAFÍA DEL PELIGRO POR  
FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LOS QUE SE  
ENCUENTRA LA DELEGACIÓN TLALPAN"**

**TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**P R E S E N T A:**

**JOSÉ GUILLERMO ROMERO MUNGUÍA**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. JUAN CARLOS MORA CHAPARRO**



**2015**

**México, D.F.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **Agradecimientos**

A:

Mi padre, por su apoyo incondicional, confianza, valores, alentarme a cada día ser mejor persona y por demostrarme que aunque la vida nos golpee muy fuerte hay que levantarlos brazos y juntos podemos salir adelante.

Mi madre, por darme el mejor regalo que es la vida, apoyarme, aconsejarme y creer en mí. Espero estés orgullosa y seguiré esforzándome para cada día ser mejor. Gracias a ti sonrió todos los días.

Guille, porque cualquier agradecimiento que te pudiera brindar se quedará corto para expresar el cariño infinito que siento por ti, gracias por tus consejos, desvelos, apoyo pero sobre todo gracias por ser una madre para mí y no olvides que este logro es tuyo también.

Mi hermana, por su cariño y consejos, gracias al ejemplo que has sido para mí es que estoy por concluir esta etapa de mi vida, te quiero mucho aunque no te lo demuestre muy seguido.

Toño, por llegar con tu luz en ese momento de tanta oscuridad, sabes que te quiero como un hermano.

Karen, por tu apoyo, consejos, paciencia, comprensión y cariño, eres parte vital en este logro, no importa por donde nos lleve la vida espero siempre contar contigo, porque sabes que siempre contarás conmigo, te quiero mucho, que esos 10 pesos sean una inversión de vida.

Carlos, por sus consejos, apoyo, regaños, por ser un hermano mayor para mí y dedicarme de su tiempo para escucharme cuando lo necesito.

Dr. Juan Carlos Mora Chaparro, por el apoyo y dirección en esta tesis, brindarme la confianza desde el principio para trabajar con él durante el proyecto que, a la larga ha contribuido a mi crecimiento profesional y personal.

Ing. Miguel I. Vera Ocampo, por su apoyo incondicional durante mi estancia en la Facultad de Ingeniería y ser un amigo.

Mis sinodales, por brindarme su tiempo y conocimientos para poder concluir esta etapa educativa.

Todo el equipo humano con el que he trabajado en Geofísica, en especial al Súper Equipo Tlalpan: Sandra, Andrés y Elba.

UNAM y Facultad de Ingeniería, por brindarme las herramientas para poder desenvolverme en el campo laboral.

## **Resumen**

Este trabajo tiene la finalidad de mostrar a detalle la cartografía en las zonas donde se identificaron fenómenos de remoción en masa que afectan a la población y han costado vidas en la delegación Tlalpan.

Los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta importante para analizar e interpretación de la información recabada en los antecedentes, así como en los recorridos de campo para generar una cartografía precisa de los fenómenos de remoción en masa.

Como resultado del estudio se determinaron 9 zonas donde se muestra la evidencia de dichos fenómenos, estos fueron: Deslizamiento, derrumbe, caída de rocas y flujo de lodo. Los fenómenos más comunes son el deslizamiento y los derrumbes. Los fenómenos de remoción en masa son originados en algunos casos por los depósitos de ceniza productos de la actividad volcánica que dio origen a la Sierra Chichinautzin, en otras zonas los fenómenos de remoción son acelerados y originados por la actividad antrópica sobre las laderas de la delegación Tlalpan.

## **Abstract**

This works aims to show detailed mapping in areas where mass removal phenomena were identified, affect the population and may cost lives in Tlalpan. Geographic Information Systems are an important tool for analyzing and interpreting gathered background information as well as fieldwork observations, in order to generate a precise mapping of landslide phenomena.

As a result of this study 9 areas were identified, in which there are evidences of landslides, rock falls and mudflows.

The most common phenomena are slides and slipping. Rock mass movements are caused in some cases by pyroclastic deposits, product of volcanic activity which formed Chichinautzin Ridge. However, such phenomena are accelerated and triggered by human activity on the slopes of Tlalpan.

# Contenido

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	6
Objetivo .....	7
Peligro por remoción en masa.....	8
Tipos de Movimiento.....	8
CAPÍTULO II. ANTECEDENTES .....	11
2.1 Antecedentes históricos de peligro por fenómenos de remoción en masa a nivel mundial.....	11
2010 .....	11
2011 .....	12
2012 .....	12
2013 .....	12
2014 .....	13
2.2 Antecedentes históricos de peligro por fenómenos de remoción en masa en México. ....	13
2010 .....	13
2012 .....	14
2013 .....	14
2014 .....	15
2.3 Antecedentes históricos de peligro por fenómenos de remoción en masa en el Distrito Federal .....	16
2010 .....	16
2011 .....	16
2012 .....	16
2013 .....	16
2014 .....	17
CAPÍTULO III. CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL MEDIO NATURAL .....	18
3.1 Localización.....	18
3.2 Fisiografía.....	18
3.2 Geología.....	19
3.3 Geomorfología.....	22
3.4 Edafología .....	24

3.5 Hidrología .....	25
3.6 Climatología .....	26
3.7 Uso de suelo y vegetación .....	26
3.8 Áreas Naturales Protegidas .....	27
CAPÍTULO IV. RESULTADOS .....	29
4.1 Reportes de antecedentes.....	29
4.2 Modelo Digital de Elevación (MDE) .....	31
4.3 Mapa de susceptibilidad por inestabilidad de laderas.....	31
4.4 Identificación de zonas en peligro y riesgo (barrancas) .....	33
4.5 Mapa preliminar de peligro .....	34
4.6 Mapa general de peligro.....	36
1. Magdalena Petlacalco.....	38
2. Tetequilo.....	47
3. San Miguel Topilejo .....	52
4. Ayocatlita .....	57
5. Tlalpicaya .....	61
6. Piedra Suelta .....	64
7. Río Eslava .....	68
8. Río Seco.....	72
9. San Andrés Totoltepec.....	76
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN.....	79
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFÍA.....	84
ANEXO CARTOGRÁFICO .....	86

# CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

A través del tiempo la naturaleza ha mostrado de diferente manera su fuerza en varias partes del mundo. Los terremotos, erupciones, sequías, incendios, derrumbes, huracanes e inundaciones, han sido manifestaciones que en ausencia de actividad humana solo causan daños a la naturaleza, lo que se puede denominar como desastres naturales; sin embargo, cuando estas mismas manifestaciones se presentan en zonas donde ahora existe un desarrollo urbano provocan graves daños e incluso pérdidas humanas, a lo que se puede denominar como un desastre socialmente construido. Se denomina de esta forma porque lo que se destruye fue lo que se construyó y lo que se pierde es lo que ahí se estableció. Ya que los fenómenos se manifestaban con mucho tiempo de anticipación, de hecho esas manifestaciones dieron origen a las geoformas, los suelos y estructuras que predominan. Todos esos elementos dieron origen a los grandes bosques, zonas con abundante agua, suelos fértiles e incluso materiales para la construcción. Elementos que satisfacen las necesidades vitales de los seres vivos, sobre todo de los humanos. Es por ello que al volverse a manifestar, en la mayoría de los casos, destruyen lo construido y dañan a los habitantes.

En los últimos años se han manifestado numerosos fenómenos con diferente magnitud que al parecer se han incrementado en magnitud, esto ha causado cuantiosos daños físicos y sociales. La intensidad de los daños depende de la velocidad, magnitud y extensión en que se manifiesta el fenómeno, el grado de vulnerabilidad en el que se encuentran las construcciones y la población ante el mismo. Los daños se potencializan si se desconocen las evidencias históricas de la manifestación del fenómeno, y como consiguiente la poca o nula prevención que se tenga ante el mismo.

En la actualidad se ha comenzado a desarrollar programa u obras preventivas para mitigar la intensidad y los daños que provocan los fenómenos. Sin embargo, en muchos sitios estas medidas parecen insuficientes para prevenir o mitigar los problemas existentes. Se sabe que algunas contingencias pueden evitarse; sin embargo, en algunos casos no se actúa y por lo tanto no se está preparado para mitigar los efectos de aquellas que son ineludibles.

En las últimas décadas, la sociedad ha crecido de forma exponencial y como consecuencia el desarrollo urbano se ha hecho sin planeación, sin un orden y sin ningún control. Pareciera que solo se ha buscado satisfacer una de las principales necesidades humanas, un lugar donde vivir, sin tomar en cuenta si es un lugar que se inunda, si por ahí pasa una corriente de agua, si es una zona inestable, se manifiesta la caída o derrumbes de roca, si es una zona sísmica o cerca hay un volcán e incluso no importa si no hay nada de servicios, ya que se cree que pronto serán instalados.

El crecimiento urbano sigue las necesidades del acelerado crecimiento de la población, es por ello que se han desarrollan innumerables zonas irregulares, que no obstante que se encuentren en zonas prohibidas o zonas de peligro, con el paso del tiempo se convierten en

zonas regulares con documentos que abalan y justifican el peligro y vulnerabilidad, por lo tanto reglamentan el riesgo.

Todo lo anterior ha generado un intenso desequilibrio en la naturaleza, manifiesto en la sobreexplotación de los mantos acuíferos, deforestación, contaminación del suelo, aire y agua, inestabilidad de laderas, bloqueo o incremento de las avenidas, entre otros. Debido a la falta de espacio en la planicie lacustre, el crecimiento urbano se concentro en las laderas y en los cauces de los ríos, esto ha modificado el relieve y han alterado las condiciones hidrológicas. Combinado todos los fenómenos naturales y antrópicos en la región montañosa, se han generado y acelerado los fenómenos de remoción en masa condicionados a las características geológico-estructurales y morfológicas de los cuerpos volcánicos que la constituyen.

Los procesos de remoción en masa pueden iniciar su actividad de forma lenta y acelerarse o dispararse por fenómenos como intensas lluvias y sismos, lo que da origen a repentinas y trágicas pérdidas humanas y numerosos daños a la infraestructura urbana.

El 28% de la superficie de la Ciudad de México se encuentra en la parte de la planicie lacustre y el 72% está en terreno montañoso; de este último en la Sierra Chichinautzin se encuentra el 41%, el 24% en Las Cruces, 5% en Santa Catarina, y el 2% en la de Guadalupe. Las delegaciones con el área más grande de la zona montañosa son las siguientes: Tlalpan (21%), Milpa Alta (16%) y Xochimilco (8%) dentro de la Sierra de Chichinautzin; Iztapalapa (8%) en la Sierra de Santa Catarina; Cuajimalpa (6%), Magdalena Contreras (6%) y Álvaro Obregón (6%) en la Sierra de Las Cruces. Las delegaciones de Gustavo A. Madero, Tláhuac, Miguel Hidalgo y Coyoacán tienen entre el 2-3% de su superficie en la zona montañosa (Alcántara, 2012).

La delegación Tlalpan fue uno de los 13 municipios en que quedó dividido el Distrito Federal, luego de una ley expedida por el presidente Porfirio Díaz. Posteriormente en 1928, el presidente Álvaro Obregón modificó el artículo 73 de la constitución para dar una nueva organización política y administrativa del Distrito Federal, pero fue hasta 1970 cuando se dividió en 16 delegaciones políticas y Tlalpan terminó como la de mayor superficie.

Derivado al aumento desmedido de la población, en las últimas décadas se ha empezado a poblar las laderas de las estructuras volcánicas que rodean la Cuenca de México, siendo la delegación Tlalpan una de las zonas que presenta este fenómeno ya que el 21% de su territorio es zona montañosa.

## **Objetivo**

El presente estudio se enfoca en realizar una cartografía regional y local de las diferentes zonas que presentan algún tipo de peligro por remoción en masa en la delegación Tlalpan, así como la determinar las causas que dan origen.



## **Peligro por remoción en masa**

El peligro se define como la probabilidad de ocurrencia de un proceso de un nivel de intensidad o severidad determinado, dentro de un periodo de tiempo dado y dentro de un área específica (Varnes, 1984; Barbat, 1998 en González de Vallejo, 2002).

Por tanto podemos expresar al peligro por remoción en masa como la probabilidad a que ocurra remoción en masa con una intensidad determinada, en un tiempo dado dentro de un área específica. Lo cual puede generar pérdidas humanas y/o materiales.

Los procesos de remoción en masa o movimientos del terreno ocurren debido a dos causas fundamentales, las cuales son de tipo externo y de tipo interno (Terzaghi, 1950; Selby, 1993 en González de Vallejo, 2002). Las causas externas son todas aquellas que producen un incremento en la tensión o esfuerzos, pero no en la resistencia de los materiales, en tanto que las causas internas son las que disminuyen la resistencia de los materiales sin cambiar la tensión o esfuerzos. De esta manera, se puede decir que los procesos de remoción en masa son aquellos movimientos de masas de suelo, detritos y rocas que ocurren en una ladera como resultado de la influencia directa de la gravedad, y que pueden ser desencadenados por factores internos o externos, o bien, en términos más sencillos, que estos procesos ocurren cuando una porción de la ladera se vuelve muy débil para soportar su propio peso.

Entre los cambios de tipo externo más importantes se encuentran los cambios geométricos o de peso que sufren las laderas (como resultado de erosión, socavamiento, incisión de un río, excavaciones artificiales, cargas y descargas), las tensiones transitorias naturales y artificiales a las que son expuestas (sismos, vibraciones por explosiones o uso de maquinaria pesada) y los cambios en el régimen hidrológico (intensidad y duración de las precipitaciones, etc.)(Alcántara, 1999).

Por lo general, las laderas adoptan pendientes naturales cercanas al equilibrio; ante el cambio de condiciones, su morfología se modifica buscando de nuevo el equilibrio. En este contexto, los movimientos de ladera pueden entenderse como los reajustes del terreno para conseguir el equilibrio ante un cambio de condiciones (González de Vallejo, 2002).

### **Tipos de Movimiento**

La clasificación de los movimientos de ladera suelen referirse a los tipos de materiales involucrados, distinguiendo generalmente entre materiales rocosos, derrubios y suelos, y al mecanismo y tipo de rotura, considerando también otros aspectos, como el contenido de agua en el terreno, la velocidad y magnitud del movimiento (González de Vallejo, 2002) (Figura 1).

### ***Derrumbes***

Un derrumbe representa el movimiento repentino de rocas o suelos por acción y efecto de la gravedad, favorecido por una pendiente abrupta y la presencia de escarpes con pendiente fuerte, usualmente mayores a 40° (Alcántara y Echeverría, 2001; Alcántara, *et al.*, 2001).

### ***Deslizamientos***

Los deslizamientos son movimientos ladera abajo de una masa de suelo, detritos o roca, los cuales ocurren sobre una superficie reconocible de ruptura. Con frecuencia, la formación de grietas transversales es la primera señal de la ocurrencia de este tipo de movimientos, las cuales se localizan en la zona que ocupará el escarpe principal. La superficie de ruptura define el tipo de deslizamiento, por lo que las superficies curvas, cóncavas o en forma de cuchara se asocian a deslizamientos rotacionales, las superficies de ruptura semi-planas u onduladas a los movimientos traslacionales. La velocidad y extensión de este tipo de movimientos es muy variable (Alcántara, 1999).

### ***Desprendimientos o caídas***

Los desprendimientos son caídas libres muy rápidas de bloques o masas rocosas independizadas por planos de discontinuidad preexistentes (tectónicos, superficies de estratificación, grietas de tracción, etc.). Son frecuentes en laderas de zonas montañosas escarpadas, en acantilados y, en general, en paredes rocosas, siendo frecuentes las roturas en forma de cuña y en bloques formados por varias familias de discontinuidades (González de Vallejo, 2002).

### ***Flujos***

Los flujos son movimientos espacialmente continuos, en los que las superficies de cizalla son muy próximas, de poca duración y, por consiguiente, difíciles de observar. El movimiento de los flujos es muy parecido al de un fluido viscoso, razón por la que la distribución de velocidades no es homogénea y origina la formación de lóbulos a partir del predominio del movimiento intergranular. Los flujos envuelven todos los tipos de materiales disponibles y se clasifican con base en su contenido, por tanto, se dividen en flujos de rocas, flujos o corrientes de derrubios y flujos de arena o suelo (Alcántara, 1999).


















Tipos de movimientos de ladera		
Deslizamientos rotacionales		
	Suelos	Rocas
Deslizamientos traslacionales		
	Suelos	Rocas
Flujos		
	Suelos	Derrubios
		Bloques rocosos
Desprendimientos		
		
Vuelcos	Rocas	
		Suelos
Avalanchas		
	Rocas	Derrubios
Desplazamientos laterales		
	Suelos	Bloques rocosos

Figura 1. Tabla que muestra los diferentes tipos de remoción en masa, dependiendo de su mecanismo de rotura y material que desplaza (González de Vallejo, 2002).

## CAPÍTULO II. ANTECEDENTES

Los fenómenos de remoción en masa se encuentran presentes en todas partes del mundo, como se ha planteado las zonas más susceptibles a que ocurra un fenómeno de estas características es en lugares con relieves abruptos, en muchas ocasiones se presentan después de fuertes lluvias, con las consecuentes pérdidas materiales y humanas.

A continuación se hace una semblanza cronológica de fenómenos de remoción en masa que han dejado pérdidas materiales o humanas de 2010 hasta septiembre de 2014.

### 2.1 Antecedentes históricos de peligro por fenómenos de remoción en masa a nivel mundial

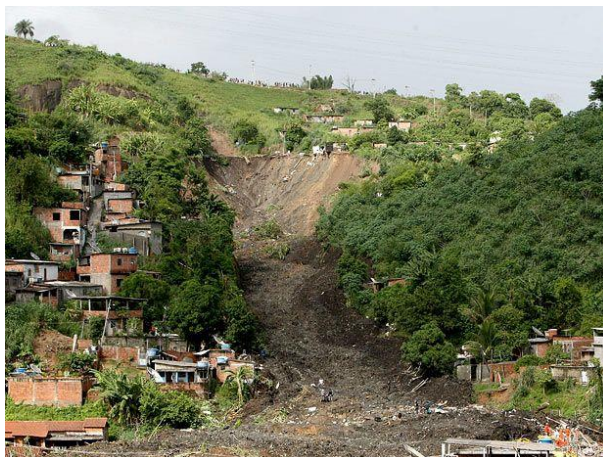
#### 2010

A continuación se mencionarán algunos casos a nivel mundial de fenómenos de remoción en masa.

24/02/2010 Indonesia, en la isla de Java ocurre un deslizamiento de tierra y sepulta a 70 personas.

03/03/2010. En Uganda ocurre un deslizamiento provocado por las fuertes lluvias causó al menos la muerte de 80 personas.

07/04/2010. Brasil, reportaron que alrededor de 200 personas fueron sepultadas tras un alud que arrasó con varias viviendas, en la favela Morro de Bumba de Niteroi (Figura 2.1).



*Figura 2.1. Fotografía que muestra el alud de tierra que sepulto a varias personas en la favela de Morro de Bumba de Neteroi (El Universal, 2010).*

27/08/2010. Turquía, después de las lluvias torrenciales ocurrió un deslizamiento que mató a por lo menos 11 personas. La zona se había vuelto vulnerable a los deslizamientos debido a la deforestación provocada por la necesidad de mayor superficie para cultivar.

27/09/2010. Colombia, al menos 20 personas fueron sepultadas por varias toneladas de piedras y lodo en entre las localidades de Giraldo y Cañasgordas a unos 320 km de Bogotá, pero al mismo tiempo se reportaba otro deslizamiento en la localidad de Anserma a 210 km de Bogotá, donde se reportaron 4 personas muertas al ser sepultada una vivienda.

05/11/2010. Costa Rica, en el poblado de San Antonio Escazú ocurrió un deslave sepultando a un barrio completo dejando al menos 21 personas muertas, las fuertes lluvias convirtieron un pequeño riachuelo en un caudaloso río de lodo y piedras, que cubrió calles, vehículos y viviendas.

05/12/2010. Colombia, en el municipio de Bello un alud sepultó un poblado de al menos 50 viviendas, dejando 81 personas muertas al ser sepultadas por toneladas de tierra.

## **2011**

27/02/2011. Bolivia, al menos 400 viviendas de un barrio humilde fueron destruidas al colapsarse en cerro en donde se encontraban, esto ocurrió en un área aproximada entre 80 a 100 hectáreas, al parecer no hubo decesos, sin embargo, sí muchas pérdidas materiales.

29/08/2011. Uganda, se reporta un deslizamiento después de lluvias torrenciales, el cual arrasó con dos poblados, dejando al menos 23 personas muertas entre las cuales se reportaron familias completas que quedaron sepultadas.

07/11/2011. Colombia, después de las fuertes lluvias ocurrieron dos deslizamientos, que dejan al menos 29 personas sepultadas. Uno de ellos se debió a la ruptura de la tubería, lo cual provocó que se reblandeciera la tierra y cediera y arrasara con 35 viviendas donde vivían unas 100 personas.

## **2012**

12/06/2012. Afganistán, posterior a dos sismos de 5.4 y 5.6 se presentó un alud que sepultó entre 25 a 30 viviendas.

04/10/2012. China, ocurre un deslizamiento de aproximadamente 10 mil toneladas de tierra que sepultó a 19 personas entre ellas 18 niños, ya que el suceso aconteció en una escuela primaria y dos viviendas aledañas, donde una persona quedó atrapada y otras 3 lograron escapar.

## **2013**

11/01/2013. China, el desprendimiento de tierra dejó sepultadas 16 casas y al menos 46 personas murieron al quedar sepultadas bajo todo el material, entre los cuerpos recuperados había una familia completa de 7 integrantes.

18/02/2013. Indonesia, las fuertes lluvias provocaron inundaciones y deslaves provocaron la muerte de 15 personas y obligaron a desalojar a miles de personas, el jefe de la policía comentó que 14 cuerpos fueron sacados entre el lodo y los escombros de las casas que se llevó el alud, entre los cuerpos encontrados había tres niños entre los 3 y 10 años.

11/06/2013. China, dos personas murieron al quedar sepultadas por un deslizamiento de tierra del cual se calcula un movimiento de 1.5 millones de metros cúbicos de piedra, lodo y escombros, aplastando 11 viviendas.

## **2014**

28/01/2014. Indonesia, dos deslizamientos sorprendieron a los habitantes de la isla de Java, donde se reportaron al menos 23 personas muertas afectando a 20 viviendas y varias personas afortunadamente lograron ser rescatadas por los cuerpos de rescate.

22/03/2014. Estados Unidos, un deslizamiento en una zona rural en el estado de Washington se llevó 6 viviendas donde vivían alrededor de 200 personas, se reportaron 35 personas muertas y otras 10 desaparecidas.

02/05/2014. Afganistán, un movimiento de tierra arrasó con cerca de 300 viviendas, dejando sepultadas aproximadamente a 2,100 personas.

30/07/2014. India, se reportan 200 personas sepultadas tras un alud que sepultó a un poblado después de las fuertes lluvias ocurridas, el deslizamiento de tierra ocurrió en la madrugada por lo que les fue imposible desalojar sus casas y por ese mismo motivo no se tiene la esperanza de encontrar sobrevivientes.

02/08/2014. Nepal, un alud sepultó una aldea y ha cobrado la vida de 8 personas y también provocó el bloqueo del cauce de un río, lo que obligó a que se desalojaran varias viviendas por temor a que el nivel del agua subiera.

29/08/2014. China, un deslizamiento de tierra sepulta un pueblo, dejando al menos 15 muertes. El deslizamiento destruyó 72 casas y además de las víctimas mortales dejó 22 personas heridas.

26/09/2014. Colombia, se registra un deslizamiento dejando como resultado la muerte de 4 menores de edad que se encontraban pescando cuando quedaron sepultados por todo el material.

Podemos decir que los fenómenos de remoción en masa se pueden presentar en cualquier lugar del planeta, tanto en países determinados como de primer mundo como en países de tercer mundo y las causas de su origen pueden ser naturales o antrópicas, teniendo que las precipitaciones extraordinarias son las principales causas al saturar los materiales de las laderas.

## **2.2 Antecedentes históricos de peligro por fenómenos de remoción en masa en México.**

### **2010**

03/05/2010. Baja California, se registra un deslizamiento de tierra en la ciudad de Tijuana, en la colonia Monterrey, afectó al menos una decena de viviendas que fueron desalojadas antes del inminente movimiento de tierra y que produjo la caída de 8 residencias.

08/07/2010. Nuevo León, tras las fuertes lluvias se presentan desgajamientos del Cerro de la Campana al sur de la ciudad de Monterrey, también en el cerro de las Mitras se presentó deslizamiento de toneladas de piedra y lodo, bloqueando las vías de comunicación.

28/09/2010. Oaxaca, después de las lluvias que dejó la tormenta tropical Mathew, ocasionó derrumbes y deslizamiento de tierra y lodo, provocando obstrucción a la vías de comunicación y la caída de transformadores, provocando la pérdida de energía eléctrica.

29/09/2010. Chiapas, en el municipio de Amatán ocurrió un deslizamiento que dejó un saldo de 16 personas muertas al quedar atrapadas bajo todo el material removido, el gobernador Sabines adjudicó el fenómeno a la deforestación en la zona y las lluvias intensas que habían caído.

05/10/2010. Guerrero, es declarado un cerro de Acapulco como zona en riesgo, ubicado en el km 4 de la carretera Acapulco-Zihuatanejo, expertos detectaron una falla geológica y esto sumado a las lluvias podría provocar deslaves, poniendo en peligro a las personas que han ido a vivir de forma "irregular" en la zona.

12/10/2010. Oaxaca, en el municipio de San Juan Evangelista Analco se presentó un deslizamiento de tierra provocado por una falla geológica y las fuertes lluvias, destruyó 12 casas, en 17 viviendas quedaron afectadas por grandes cuarteaduras y quedaron en peligro otras 120 casas por un nuevo deslizamiento dejando 750 personas afectadas.

## **2012**

24/06/2012. Hidalgo, en el municipio de Mezquitlan el Sistema Estatal de Protección Civil, informa que la menos una veintena de viviendas deben ser desalojadas debido a que se encuentran en una zona que presenta inestabilidad afectada por deslizamientos, grietas y derrumbes, pero a su vez por la zona pasa un ducto de PEMEX que abastece a una minera con gas natural, lo que podría maximizar el problema.

21/09/2012. Oaxaca, en el cerro llamado el Faisán elementos de Protección Civil desalojaron a 73 asentados en las laderas del cerro, después de que el pasado 11 del mismo mes ocurrió un derrumbe en el sitio dejando 4 muertos.

## **2013**

15/06/2013. Guerrero, las fuertes lluvias provocaron derrumbes y deslizamientos en la zona montañosa de Tlapa, ocasionando que se obstruyeran caminos rurales.

05/09/2013. Chiapas, el desgajamiento de un cerro en el municipio de Comitán deja una persona lesionada y 5 viviendas en riesgo, donde a consecuencia de las fuertes lluvias cientos de metros cúbicos de piedras y tierra cayeron sobre las viviendas y tres familias tuvieron que desalojar sus casas, por el temor de un segundo derrumbe debido a las fuertes lluvias.

16/09/2013. Guerrero, en la comunidad La Pintada, ubicada en el municipio de Atoyac de Álvarez, en la costa Grande, la población se encontraba celebrando las fiestas patrias cuando por la tarde fueron sorprendidos por un deslizamiento de tierra dejando un saldo de 71 personas sepultadas de las cuales no fueron recuperados todos los cuerpos.

01/10/2013. Guerrero, el CENAPRED recomendó el desalojo de tres fraccionamientos ante el riesgo del deslizamiento que pudiera presentarse por las fuertes lluvias debido al huracán Manuel, estos fraccionamientos fueron construidos sobre zonas de riesgo.

28/11/2013. Guerrero, en el poblado de Tilapa en el pasado mes de octubre ocurrió un movimiento de tierra de aproximadamente 15 m de ancho y más de un kilómetro de longitud del deslizamiento, llevándose animales y tierras de cultivo, una pareja duerme en su hogar con mucho temor debido a que una grieta atraviesa su casa y está ubicada a orillas del deslizamiento antes registrado (Figura 2.2).



*Figura 2.2. La fotografía muestra la grieta en una vivienda que se encuentra en una ladera y evidencia el movimiento de la misma.*

## **2014**

10/06/2014. Veracruz, el gobernador de la entidad da a conocer los resultados de unos estudios realizados por la Universidad Veracruzana y la Universidad Nacional Autónoma de México, donde se identificaron 8 mil 984 localidades que se encuentran en riesgo medio, alto y muy alto, el problema está presente en 177 de los 212 municipios de la entidad.

29/08/2014. Guerrero, en el municipio de Copanatoyac ocurrió un deslizamiento de tierra que derrumbó la barda de una casa humilde donde desafortunadamente dormía una familia de dos adultos y dos niños, de los cuales solamente el padre logró salir con vida.

Los fenómenos de remoción en masa están presentes a lo largo y ancho del territorio nacional, desafortunadamente se han presentado pérdidas humanas por estos fenómenos, sin embargo, se ha avanzado en la prevención y algunas localidades han sido desalojadas antes de que el movimiento cause daños considerables.



## **2.3 Antecedentes históricos de peligro por fenómenos de remoción en masa en el Distrito Federal**

### **2010**

13/07/2010. Cuajimalpa, un deslizamiento deja 6 personas lesionadas, que se encontraban trabajando en el sótano por lo que quedaron atrapados en el alud y fueron llevados al hospital por los cuerpos de emergencia.

### **2011**

04/07/2010. Cuauhtémoc, de acuerdo con Protección Civil del Distrito Federal, ocurrió un deslizamiento en la colonia condesa, donde no hubo víctimas, pero si 10 personas desalojadas. El deslizamiento ocurrió en la excavación de una construcción, por tanto se pidió que se revisara que las constructoras contaran las medidas técnicas necesarias para que no ocurrieran nuevos deslizamientos.

16/07/2011. Tlalpan, después de las fuertes lluvias y granizada, se registra la caída de una barda en la colonia Cultura Maya, debido al deslizamiento de tierra que provocó la caída de una barda, que desafortunadamente cayó sobre una menor que dormía en el domicilio, la vivienda era de construcción precaria y tenía aproximadamente 3 meses de haber sido construida.

### **2012**

19/06/2012. Magdalena Contreras, la Secretaría de Protección Civil informó que fueron evacuadas 24 familias de 19 viviendas, ya que ocurrió un deslizamiento de aproximadamente 15 metros cúbicos de tierra, se informó que se debió al reblandecimiento originado por una fuga de agua, las autoridades recomendaron no volver a las viviendas hasta que el talud se estabilice.

12/07/2012. El secretario de Protección Civil en turno pidió mil millones de pesos ante la Asamblea Legislativa del Distrito Federal para poder atender los problemas de deslizamientos que se presentan en las delegaciones Álvaro Obregón. Cuajimalpa, Gustavo A. Madero, Milpa Alta, Tlalpan y Xochimilco, en las cuales se han detectado 161 sitios en riesgo; en donde existen al menos 2 mil 168 viviendas en peligro.

07/10/2012. Cuajimalpa, un deslizamiento deja inhabitable una casa que existía en las inmediaciones de una barranca Santa Rita, el deslizamiento se llevó parte de la tierra que se encontraba debajo de la casa, llevaba viviendo en el sitio desde hace 30 años.

### **2013**

22/09/2013. Magdalena Contreras, autoridades delegacionales informaron que alrededor de 20 mil personas se encuentran en riesgo por las lluvias, la última lluvia provocó un deslizamiento que hizo a que un cuarto se viniera abajo, pero afortunadamente se encontraba desalojado.

**2014**

14/05/2014. Cuajimalpa, se registra un alud en el estacionamiento de una empresa en la colonia Santa Fe, no se reportaron pérdidas humanas, se cayó un muro de contención debido al reblandecimiento del terreno, por las lluvias que habían caído.

La Ciudad de México no queda exenta de los fenómenos de remoción en masa y en los últimos años este tipo de fenómenos han ocasionado pérdidas humanas, por otro lado la ha mejorado la cultura de la prevención ante estos fenómenos y se ha invertido en este rubro. Las delegaciones más afectadas se encuentran en suroeste de la ciudad.

# CAPÍTULO III. CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL MEDIO NATURAL

## 3.1 Localización

Tlalpan es una de las 16 delegaciones que conforman el Distrito Federal, presenta una superficie de 312 kilómetros cuadrados. Ocupa el 20.8% de la superficie del Distrito Federal y se encuentra entre Los paralelos 19°05' 19°19' de latitud norte; los meridianos 99°06' y 99°19' de longitud oeste (INEGI, 2010) (Figura 3.1).

Colinda al norte con las delegaciones La Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Coyoacán; al este con las delegaciones Xochimilco y Milpa Alta; al sur con el estado de Morelos; al oeste con el Estado de México y la delegación La Magdalena Contreras. Cuenta con 183 localidades y una población de 650,567 habitantes (INEGI, 2010).



Figura 3.1. Ubicación de la delegación Tlalpan.

## 3.2 Fisiografía

La delegación se encuentra dentro de la Faja Volcánica Trans-Mexicana que recorre la República Mexicana desde el Pacífico hasta el Golfo de México y pertenece a la subprovincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac; se encuentra conformada por relieve de carácter volcánico con estratovolcanes de diferentes tipos y dimensiones, así como una gran cantidad de conos

de escoria que cubren el 81% del total del territorio delegacional, una zona de llanuras lacustres al noreste de la delegación las cuales abarcan el 12% del territorio y cuenta con una zona de lomerío de depósitos piroclásticos que abarca el 7% de la superficie (INEGI, 2010)(Figura 3.2).

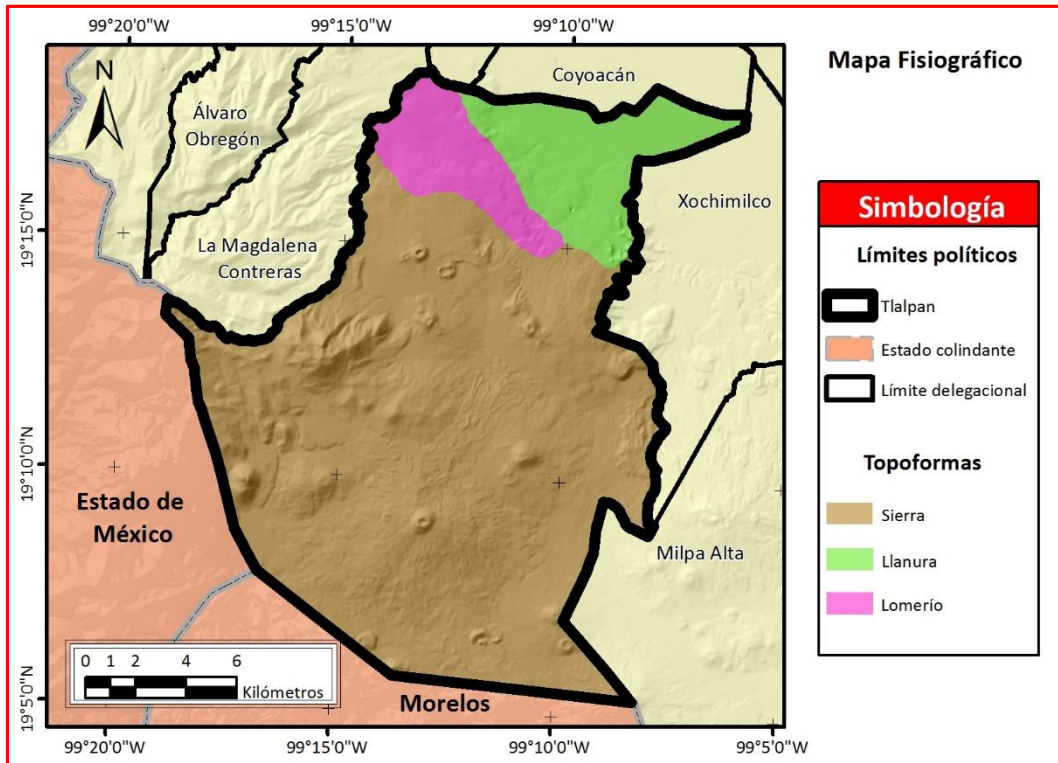


Figura 3.2. Mapa Fisiográfico (INEGI).

La delegación presenta un relieve muy accidentado con altitudes que van desde los 2,260 hasta 3,930 msnm, con una superficie montañosa superior a los 218 km<sup>2</sup> de sus 312 km<sup>2</sup> que equivalen al 70% de su área total.

Dentro de las principales elevaciones están los cerros: La Cruz del Marqués (3,930 msnm), Pico del Águila (3,880 msnm), Santo Tomás (3,710), Volcán Pelado (3,620 msnm), Mezontepec (3,480 msnm), Malacatepec (3,450 msnm), Oyameyo (3,320 msnm), Acopiaxco (3,310), Tesoyo (3,180 msnm), y Xitle (3,150 msnm), entre otros. Algunas de estas elevaciones definen el límite sur de la Cuenca de México y sus cimas conforman el parteaguas de la cuenca. Las áreas con menor elevación se encuentran en la región norte de la delegación (Programa Delegacional de Desarrollo Urbano en Tlalpan (PDDU), 2010).

### 3.2 Geología

La delegación Tlalpan pertenece a la Cuenca de México y los principales acontecimientos ocurrieron en los últimos 25 millones de años aproximadamente. La cuenca donde se

encuentra actualmente en principio fue parte del mar somero, posteriormente se convirtió en una planicie costera, después en una zona de subducción y finalmente una cuenca lacustre. Estos eventos tuvieron lugar durante el Mioceno, Plioceno y Pleistoceno (Figura 3.2).

La región donde se encuentra actualmente la Cuenca de México resultó de una intensa actividad volcánica y tectónica que inició en la época del Mioceno. El basamento volcánico del Terciario Medio fue afectado por fracturas y fallas de la corteza terrestre provocando hundimientos y formando algunas fosas tectónicas. Posteriormente durante el Mioceno tardío el material volcánico formó estructuras principalmente en la parte oriente y poniente del valle, obstruyendo y desviando los ríos existentes, en esta época se forma la Sierra de Guadalupe. Antes del Pleistoceno los ríos existentes dentro de la cuenca drenaban hacia el Sur.

En el Plioceno la actividad volcánica caracterizada por potentes derrames de andesitas basálticas produce el cierre de la cuenca en la parte norte (Mooser, 1975), en esta época surge la Sierra de las Cruces al poniente. A finales del Plioceno se producen fracturas con orientación W-E, por las cuales se tuvieron grandes efusiones de basalto que crearon la Sierra de Chichinautzin. Durante esta etapa se forman pequeños cuerpos de agua que posteriormente dan origen a los diferentes lagos en la cuenca, este sistema de lagos provoca el surgimiento de grandes abanicos aluviales sobre los flancos poniente y oriente de la cuenca conocidos ahora como Formación Tarango (Gómez, 2012).

Dentro de la delegación Tlalpan se encuentran las Sierras de las Cruces y del Chichinautzin, los volcanes que representan a ambas sierras son El Ajusco y El Chichinautzin, a continuación se hace una semblanza de ambas sierras para conocer las características de cada una.

La Sierra de Las Cruces (SC) forma el límite oriental del valle de México y la separa de la cuenca del Toluca. Tiene una orientación general NS y su longitud desde Cerro la Bufa en el norte hasta el volcán Zempoala en el extremo sur está aproximadamente a 110 km. Los estratovolcanes de la SC tuvieron una actividad explosiva, caracterizada por la formación de domos, flujos de lava, flujos piroclásticos y caídas, escombros, avalanchas y depósitos de flujo de escombros. La SC consiste en andesitas, dacitas y riódacitas (Gunn y Mooser, 1971 en Valerio C et al. 2012). La datación radiométrica y estudios paleomagnéticos la han colocado en el Mioceno superior ( $3.71 \pm 0.40$  Ma) al Plioceno ( $1.79 \pm 0.1$  Ma), con una migración de su actividad volcánica desde de norte a sur (Mooser, 1974; Mora et al 1991; Osete et al, 2000 en Valerio C et al. 2012).

La SC tiene una altitud de 3,800 msnm y en ella se pueden identificar estructuras como cráteres, circos de erosión asociados a derrumbes o deslizamientos antiguos, domos, flujos de lava, conos de escoria y escarpes de falla. La distribución de las unidades litológicas, además de la influencia tectónica, determina los diversos patrones de la red de drenaje que se producen a lo largo de toda la longitud de la cordillera y que se caracterizan por canales

paralelos y por barrancas con arreglos angulares o rectangulares. El gradiente va de 0° a más de 60°, sólo en las zonas restringidas que corresponden con los límites estructurales (García et al., 2008).

La SC se ve afectada por tres sistemas de fallas y fracturas (De Cserna et al, 1998; García et al, 2008. en Valerio C et al. 2012): El sistema NS, el sistema de NE y el sistema EW. El sistema de NS es la más antigua, con una dirección que varía entre N15°W y N20°E; que predomina principalmente en la zona norte y parte de la zona sur, tiene una disposición escalonada, ligeramente anastomosada y con los planos inclinados predominantemente hacia el este. La dirección del segundo sistema de fallas y fracturas es entre N45°E y N65°E y se produce en la parte central de la SC, donde se caracteriza por un arreglo en paralelo. Por último, los cortes del sistema falla EW longitudinalmente hacia abajo toda la cordillera y se caracteriza por tramos cortos, dispuestos en paralelo (Alcántara, 2012).

La Sierra de Chichinautzin (SCH) tiene una superficie de 500 km<sup>2</sup> y el espesor se estima en 800 m (Bloomfield, 1975 en Valerio C et al. 2012). Se compone de unos 220 sistemas volcánicos y hay tres tipos de estructuras volcánicas (Martín del Pozzo, 1982; Márquez et al, 1999.): Flujos de lava o domos de lava, conos de escoria con pendientes de 30 ° y asociados flujos y conos de lava en forma de escudo. Los flujos de lava son generalmente de composición basáltica o andesítica con un arreglo en bloques (La Sierra del Chichinautzin es la cadena volcánica más joven en el Valle de México. Siebe et al. (2004, 2005) determinaron las edades de volcán Tláloc (6 200 años), Cuauhtzin (8225 ± 130 a 7 360 ± 120 años), Pelado (10 000 años), Guespalapa (2 800-4 700 años) y Chichinautzin (1 835 años). La actividad más reciente se da por la erupción del Xitle, hace 1 665 ± 35 años (Siebe et al., 2005 en Valerio C et al. 2012).

Las formas volcánicas de este campo monogenético se originaron principalmente en la actividad magmática de tipo freatoestromboliano y con actividad de tipo hawaiano flujos de lava de origen fisural ( ).

La SCH se apoya sobre un sustrato de rocas terciarias, que tiene como su base volcánica inicial la Formación Xochitepec (Martín del Pozo et al, 1997; Siebe et al, 2005.). La mayoría de los volcanes de la SCH se producen en pequeños grupos alineados en la dirección principal de fractura de la región EW (Bloomfield, 1975), aunque algunos siguen direcciones de fractura NE y NW (Martín del Pozzo, 1980). La altura de los conos oscila entre 10 y 315 m y los diámetros intervalo de 50 a 750 m.

Con la formación de la Sierra Chichinautzin se formó una represa natural que obstaculizó el drenaje de la cuenca en la parte Sur delimitando el sistema fluvial, ocasionando que el agua se estancara dando origen primero a pequeños cuerpos de agua y después a grandes lagos, los que ahora se conocen como el sistema compuesto por: Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Xochimilco y Chalco. Los lagos se formaron sobre depresiones, es decir, solo permanecían

durante la época de lluvia, pero en época de sequía se formaban zonas áridas, dando origen a sedimentos fluvio-lacustres interestratificados (Arce, J.L. et al., 2013).

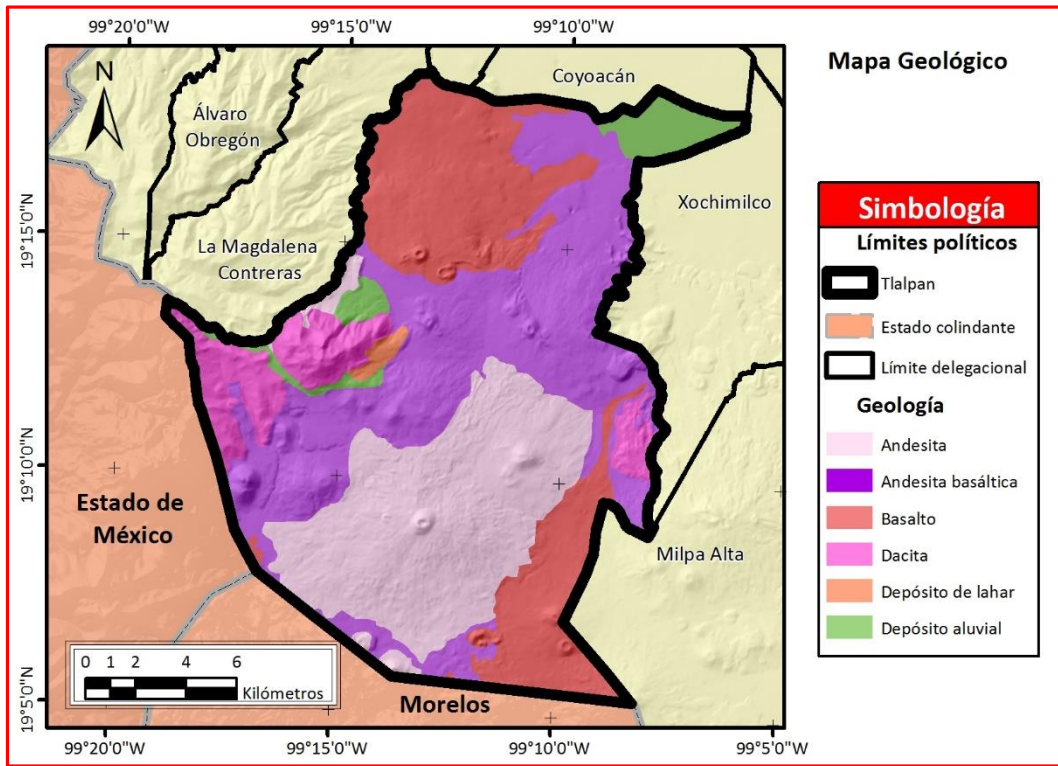


Figura 3.2. Mapa Geológico (Servicio Geológico Metropolitano).

### 3.3 Geomorfología

Debido a que Tlalpan se ubica sobre la Franja Volcánica Trans-Mexicana, cuenta con un relieve montañoso representado sierra de estratovolcanes y estratovolcanes aislados en un 81%, 7% lomerío de ignimbritas y 12 % de área lacustre .

La planicie lacustre ubicada en la porción norte de la delegación con un promedio de 2,200 msnm se interdigita con la región de piedemonte aproximadamente a los 2,350 msnm presentando un aumento en las pendientes y mayor encajamiento en las barrancas en las zonas de montaña (Figura 3.4 y 3.5).

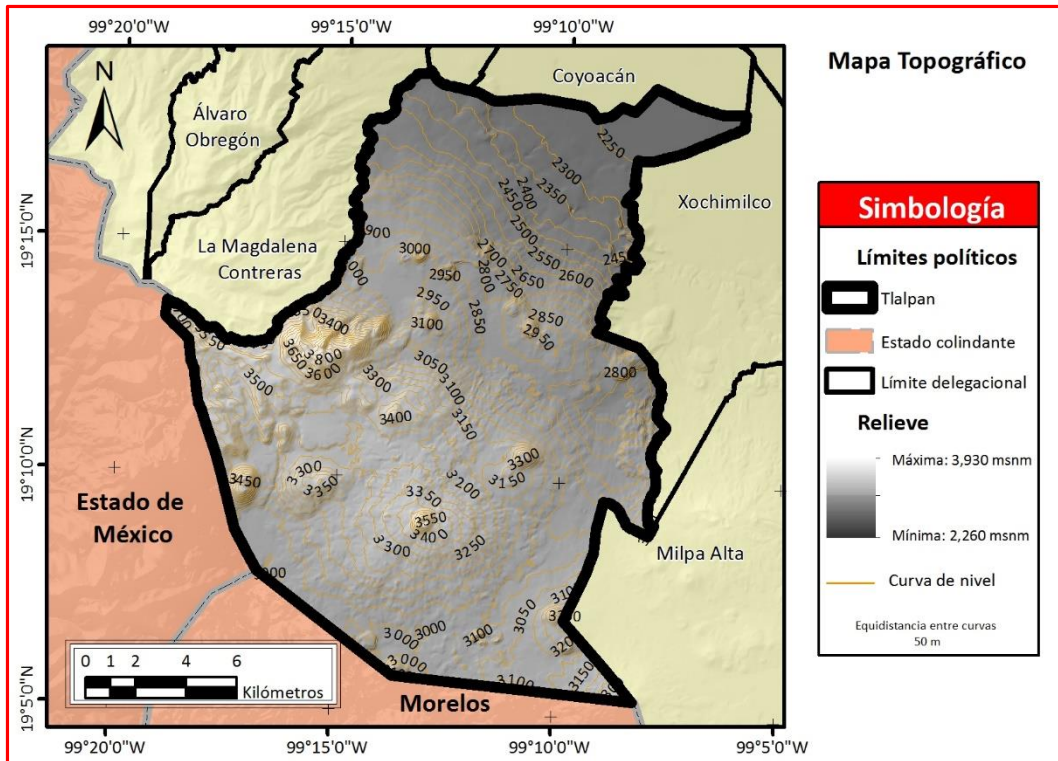


Figura 3.4. Mapa Topográfico.

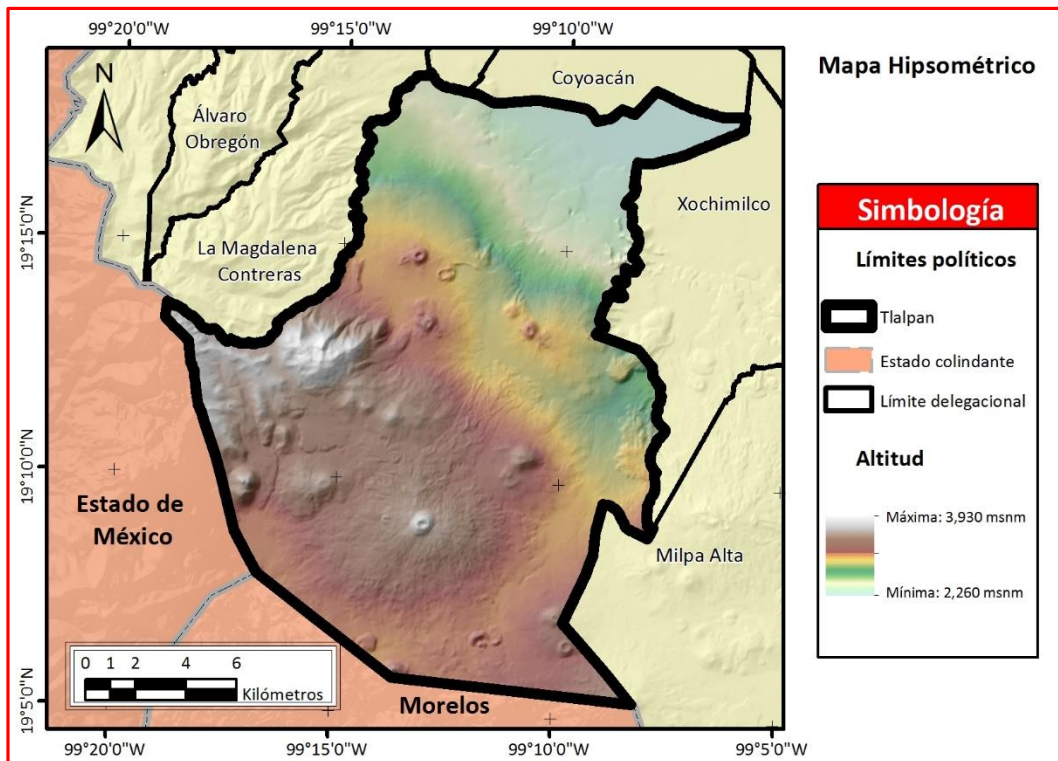


Figura 3.5. Mapa Hipsométrico.



Actualmente el relieve está en constante cambio debido a la interacción antrópica con el ambiente, el abatimiento de los mantos acuíferos, desecación de los lagos y la deforestación, son las principales causas.

### 3.4 Edafología

El suelo predominante de la delegación Tlalpan es Andosol (72%), ubicado en la parte sur y centro de la demarcación, Feozem en la parte noreste (10%) y Litosol en la noroeste (18%) (Figura 3.6).

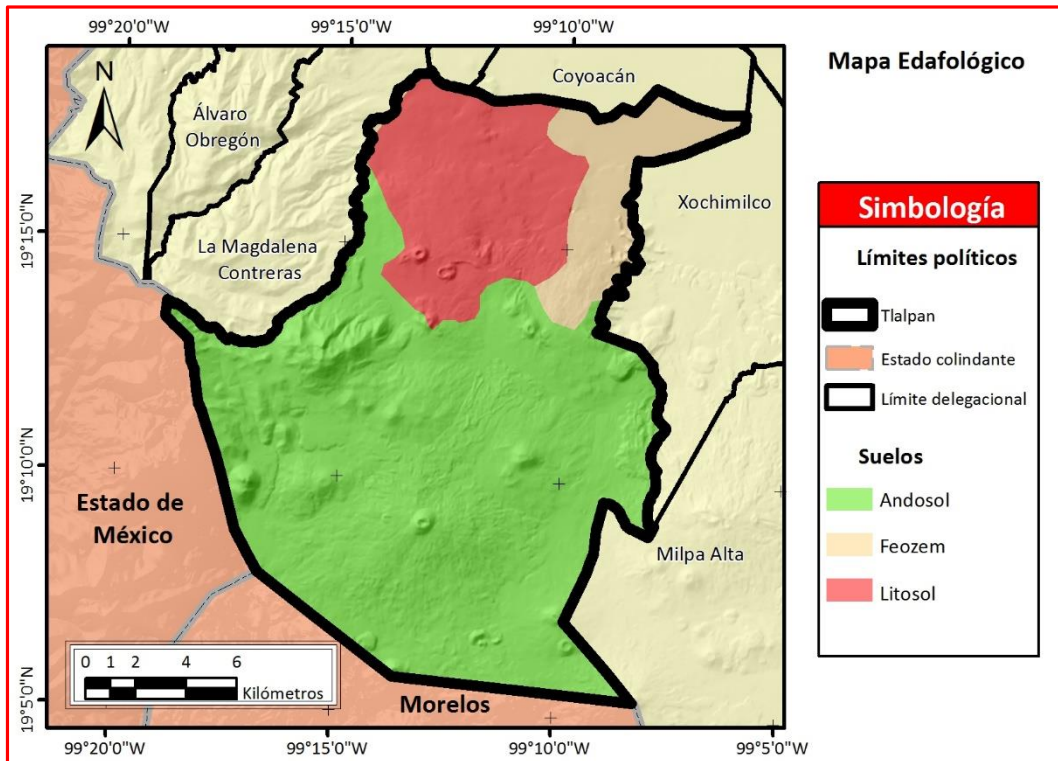


Figura 3.6. Mapa edafológico.

El suelo Andosol se subdivide en húmico y mólico. Estos suelos se caracterizan por tener una alta retención de humedad, misma que liberan lentamente. Son suelos propensos a colapsos los cuales sufren asentamientos repentinos por saturación de agua, esto puede generar daños y colapsos de estructuras que estuviesen sobre ellos.

Los suelos Feozem son muy ricos en materia orgánica, tienen alta fertilidad y son susceptibles a erosión. No representa riesgos para la urbanización, sin embargo se recomienda que el uso de suelo sea forestal.

Los Litosoles son suelos poco desarrollados, por tanto no contienen mucha materia orgánica, son derivados de material ígneo y son susceptibles a la erosión coluvial e hídrica.

### 3.5 Hidrología

La delegación Tlalpan se ubica dentro de tres regiones hidrológicas las cuales son: Pánuco (72%), Balsas (27%) y Lerma-Santiago (1%), a su vez en la cuenca de los ríos: Moctezuma (72%), Grande de Amacuzac (27%) y Lerma-Toluca (1%) y en las subcuencas de: lagos de Texcoco y Zumpango (72%) y los ríos Apatlaco (27%) y Almoloya-Otzolotepec. Dentro de la demarcación corre el río Eslava (Figura 3.7).

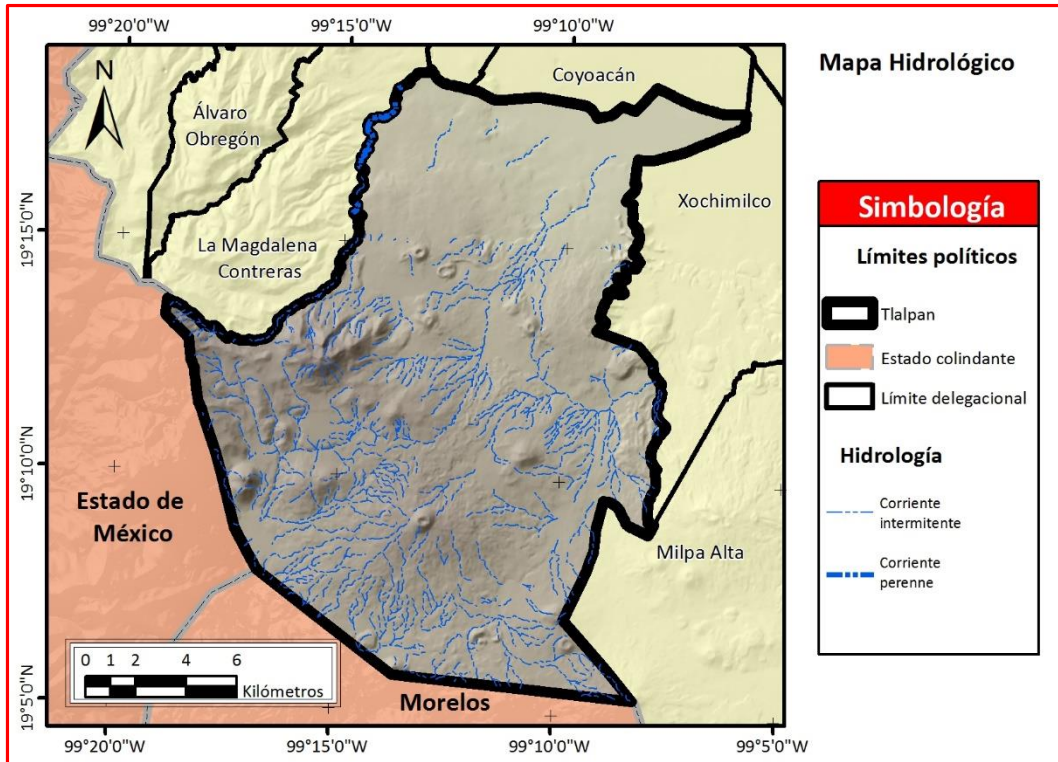


Figura 3.7. Mapa hidrológico (INEGI).

Las corrientes dentro de la delegación son intermitentes, es decir, que solamente tienen caudal en temporada de lluvias y se alimentan de las aguas que bajan de las partes altas de montaña.

Cuenta con un río de corriente perenne, que la delimita con la delegación La Magdalena Contreras, el cual se encuentra altamente contaminado, provocado por las descargas de aguas negras y presencia de basura debido a los asentamientos irregulares cercanos a él.

Existen ríos con caudal importante como el río San Buenaventura y Juan de Dios, ambos corren en dirección Suroeste-Noroeste, el último río mencionado llega a desembocar en el lago de Xochimilco en temporada de lluvias.

Las áreas de conservación son importantes zonas de recarga hidrológica y se están viendo disminuidas debido al aumento de los asentamientos humanos y a su vez generan una

mayor demanda de agua para satisfacer las necesidades de la población, provocando un déficit hidrológico en la región.

### 3.6 Climatología

El intervalo de temperatura promedio en la delegación de estudio oscila entre los 6-16°C.

En el área de estudio se presentan 5 diferentes subtipos de clima: Semifrío subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad (42%), Templado subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad (27%), Semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano (21%), Templado subhúmedo con lluvias en verano de humedad media (9%) y Templado subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad (1%). La Figura 3.8 muestra los tres diferentes tipos de clima que reporta INEGI para la delegación.

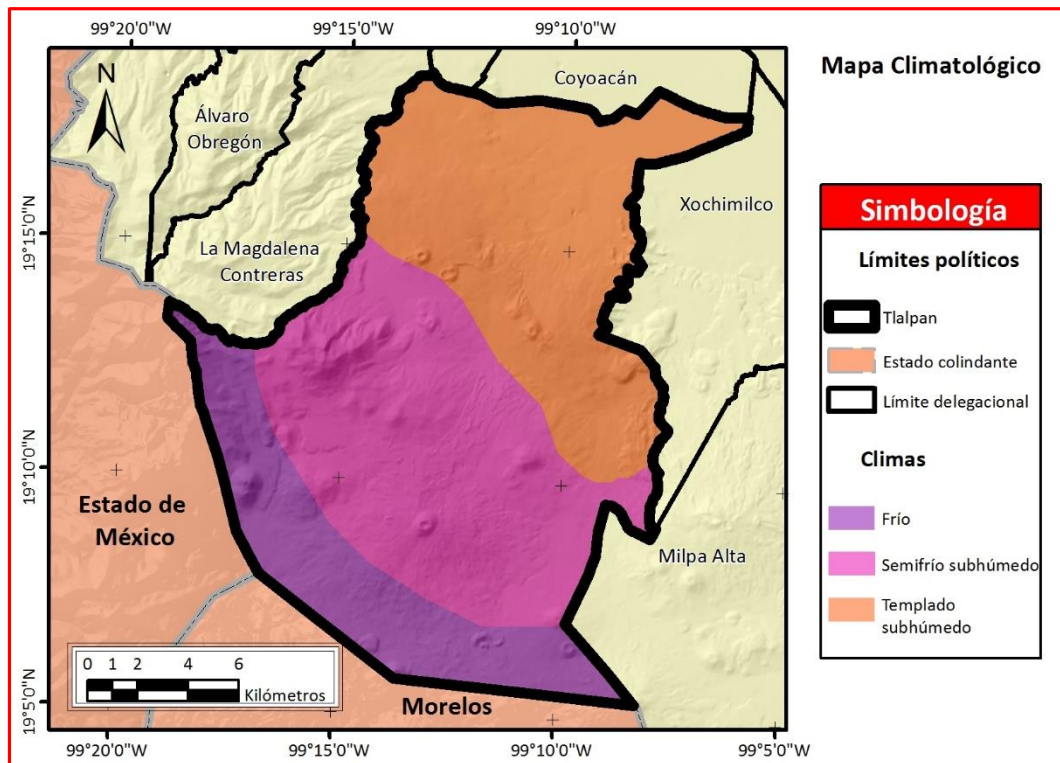


Figura 3.8. Mapa climatológico (INEGI).

La precipitación anual promedio es de 1100 mm, las partes con mayor captación de lluvia es la parte sur de la delegación donde se encuentran las partes más altas de la región.

### 3.7 Uso de suelo y vegetación

El uso de suelo de la delegación corresponde a uso forestal, urbano, agricultura y pastizal inducido.

La zona forestal representa el 42% de la demarcación y está conformada por bosque de oyamel, pino y encino. La traza urbana (29%), en su mayoría, se asienta en las partes más bajas que se encuentran localizadas al norte de la delegación, a excepción de los asentamientos de San Miguel Topilejo, San Miguel Ajusco y Parres. El 20% de la superficie de Tlalpan se ocupa para la actividad agrícola de riego y de temporal. Por último, el 9% corresponde a áreas de pastizal inducido (Figura 3.9).

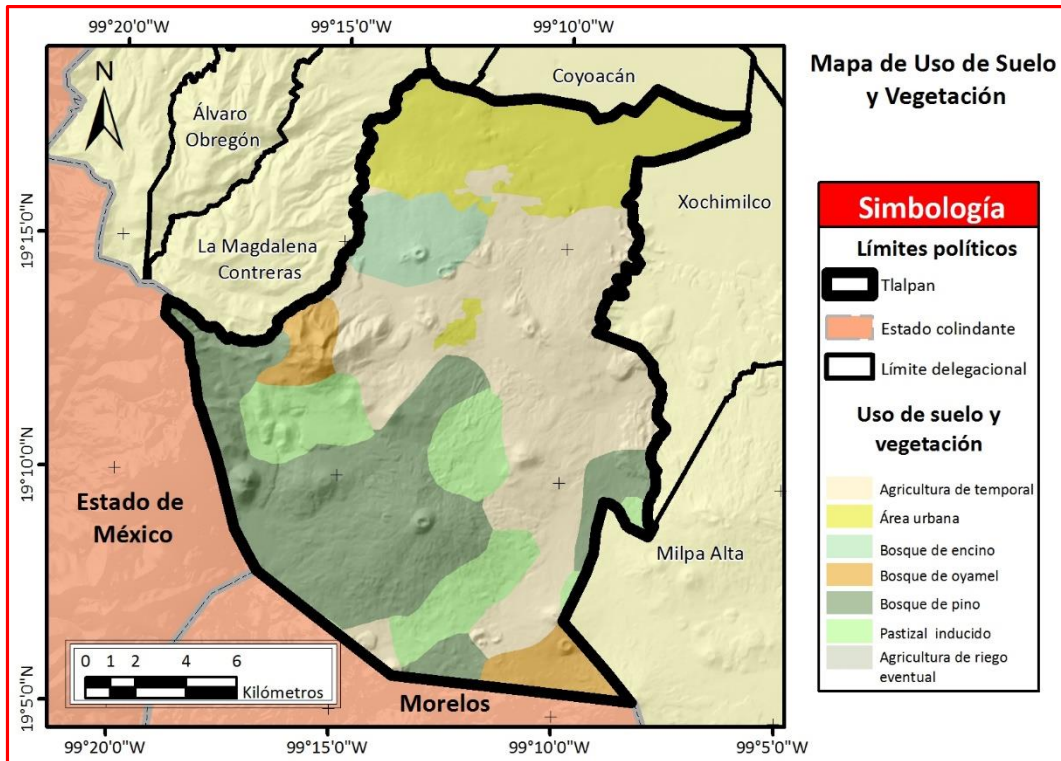


Figura 3.9. Mapa de usos de suelo y vegetación (INEGI).

### 3.8 Áreas Naturales Protegidas

Tlalpan posee varias áreas protegidas:

Parque Nacional “Cumbres del Ajusco”, con una superficie de 920 ha, fue decretado Parque Nacional el 19 de mayo de 1947, tiene un clima templado húmedo y alberga a una gran variedad de flora y fauna (Figura 3.10).

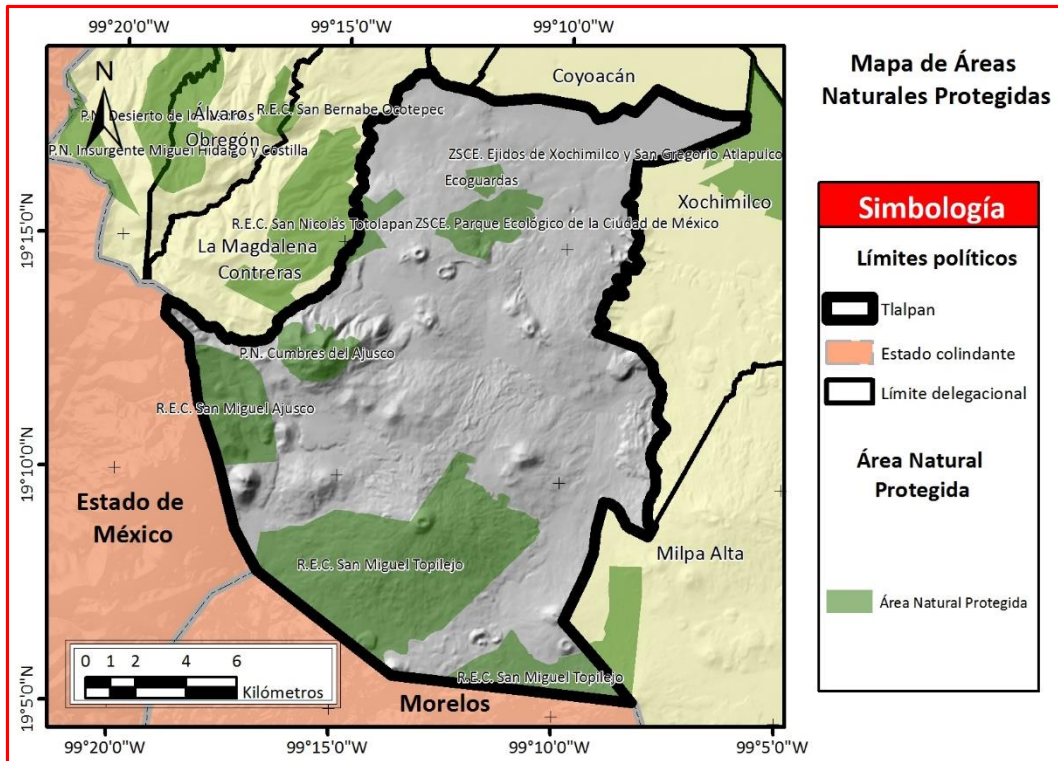


Figura 3.10. Mapa de áreas naturales protegidas (INEGI).

Ecoguardas, con una superficie de 132.63 ha, fue decretada Área Natural Protegida el 29 de noviembre de 2006 y alberga una vegetación importante y fauna algunas endémicas de la Ciudad de México.

El Parque Ecológico de la Ciudad de México, tiene una superficie de 727.61 ha, fue decretada zona sujeta a conservación ecológica el 28 de junio de 1989, se localiza en la porción norte de la delegación.

Parque Nacional “Fuentes brotantes”, con una superficie de 129 ha, fue decretada parque nacional el 28 de septiembre de 1936, se alimenta de los manantiales que brotan de las faldas del Ajusco.

Reserva Ecológica “San Andrés Totolpetec”, con una superficie de 146.2 ha.

Reserva ecológica comunitaria “San Miguel Topilejo”, con una superficie de 6000 ha, fue nombrada área protegida el 26 de junio de 2007.

Parque urbano “Bosque de Tlalpan”, con una superficie de 252.86 ha, fue decretado parque urbano el 24 de octubre de 1997.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

La metodología de trabajo consistió en realizar una exhaustiva recopilación de información para conocer los mecanismos que dan origen a los procesos de remoción en masa, posteriormente se recopiló información documentada acerca de los problemas que han aquejado a la población, esto se llevó a cabo acudiendo a algunas dependencias de la delegación para recabar información de zonas que pudieran ya estar en una zona de peligro de remoción en masa.

Posteriormente se generaron mapas de antecedentes, susceptibilidad por inestabilidad de laderas utilizando información disponible por el INEGI, zonas en peligro y riesgo (barrancas) y un mapa donde se sobreponen los anteriores al que llamaremos preliminar de peligros. Para después realizar recorridos a las zonas donde ya se presentaban los problemas y así realizar la cartografía a detalle de la zona afectada y recabar testimonios fehacientes y fotográficos del fenómeno presente.

### 4.1 Reportes de antecedentes

De acuerdo a reportes registrados por Protección Civil de la delegación se presenta se presentan problemas de remoción en masa en las colonias San Miguel Topilejo, Magdalena Petlalcalco, Bosques del Pedregal y en San Andrés Totoltepec (Figura 4.1). También se contó con información del Atlas de Peligros Naturales o Riesgo de la Delegación Tlalpan 2011, donde se reportan 6 zonas visitadas por deslizamiento las cuales son: Cerro Tetequilo, Colonia El Calvario, San Miguel Topilejo, El Arenal, San Miguel Topilejo, El Arenal, Magdalena Petlalcalco, Xaxalipac, San Miguel Topilejo, Valle Verde, San Andrés Totoltepec y Maninal Sur, Santo Tomás Ajusco.

Ubicación	Fenómeno	Fuente
Calle El Calvario, San Miguel Topilejo	Deslizamiento de ladera	PC
Calle Tetequilo, San Miguel Topilejo	Deslizamiento de ladera	PC
Calle Arenal, San Miguel Topilejo	Deslizamiento de ladera	PC
Calle Xaxalco, San Miguel Topilejo	Deslizamiento de ladera	PC
Calle Ayocatlilla, San Miguel Topilejo	Deslizamiento de ladera	PC
Calle Xitle y Arenal, Magdalena Petlalcalco	Material granulado, ladera deslizable	PC
Carretera México-Ajusco, Magdalena Petlalcalco	Deslizamiento de ladera	PC
Calle Río Seco, Bosques de Pedregal	Bajadas de fuertes escurrimientos	PC
Calle Liquidambar, Bosques del Pedregal	Bajadas de fuertes escurrimientos	PC
Pueblo Magdalena Petlalcalco	Deslizamiento de ladera	PC
Pueblo San Miguel Topilejo	Inestabilidad de la ladera	PC
San Andrés Totoltepec	Talud de la barranca inestable	PC

Figura 4.1. Tabla que muestra los antecedentes reportados en la delegación por Protección Civil (PC).

El mapa de antecedentes se basó en información proporcionada por protección civil de la delegación. Se procederá a realizar visitas a los lugares indicados, realizando las mediciones pertinentes, registrando fotográficamente las zonas más expuestas (Figura 4.2).

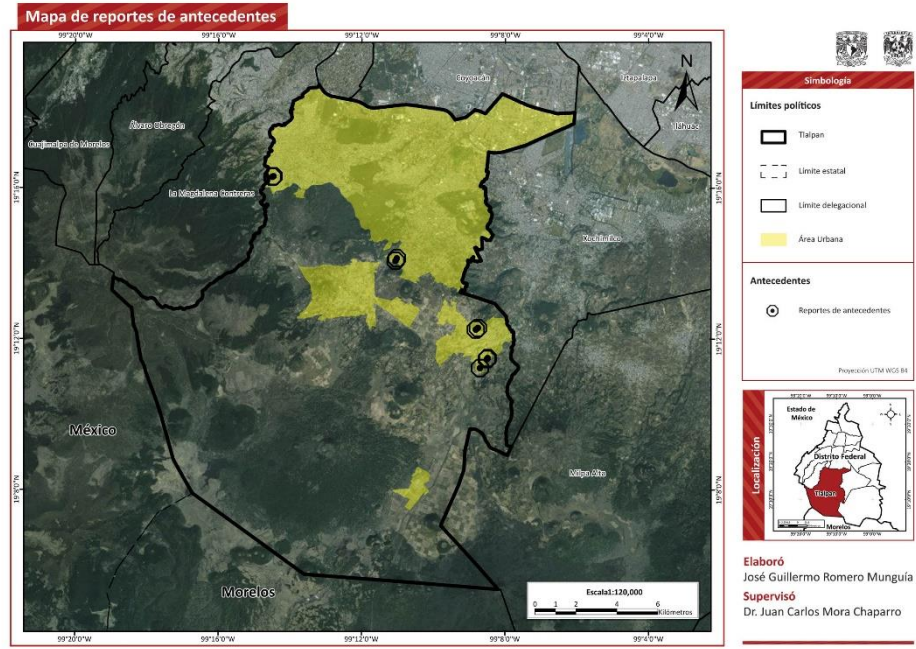


Figura 4.2. Mapa de reportes en antecedentes de Protección Civil (ver Anexo).

## 4.2 Modelo Digital de Elevación (MDE)

El Modelo Digital de Elevación de la delegación a fin de dar una perspectiva del relieve de la delegación Tlalpan (Figura 4.3).

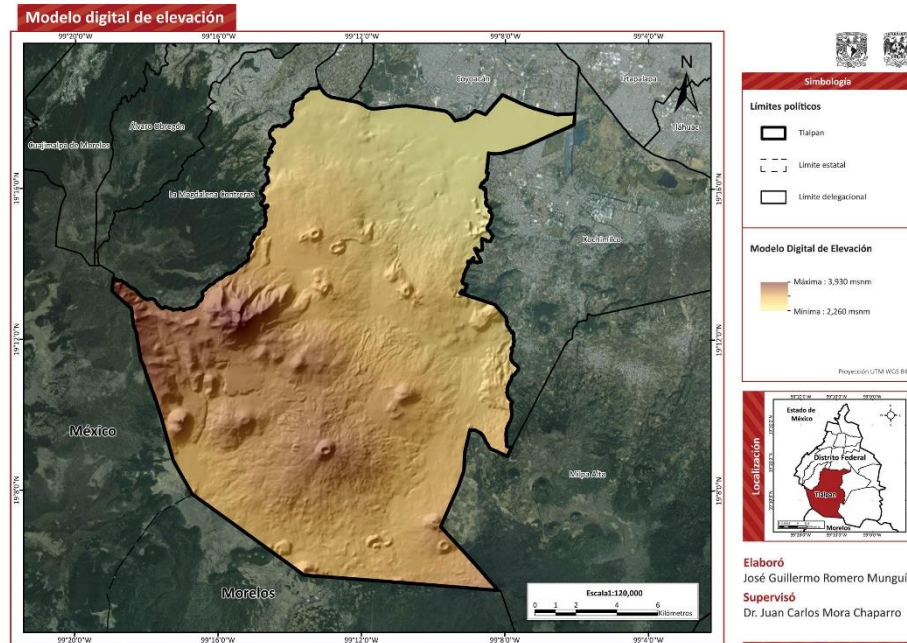


Figura 4.3. Modelo Digital de Elevación (ver Anexo).

## 4.3 Mapa de susceptibilidad por inestabilidad de laderas

La susceptibilidad puede interpretarse como la probabilidad de que ocurra un fenómeno, éste mapa se realizó para conocer la inestabilidad de las laderas dentro de la delegación Tlalpan. El mapa de susceptibilidad realizado representa una zonificación de la delegación con base en las condiciones físicas del terreno y de que suceda algún fenómeno de movimiento de laderas. Cuanto mayor es el nivel de susceptibilidad, mayor es la probabilidad de que se produzca el fenómeno natural (Figura 4.4).



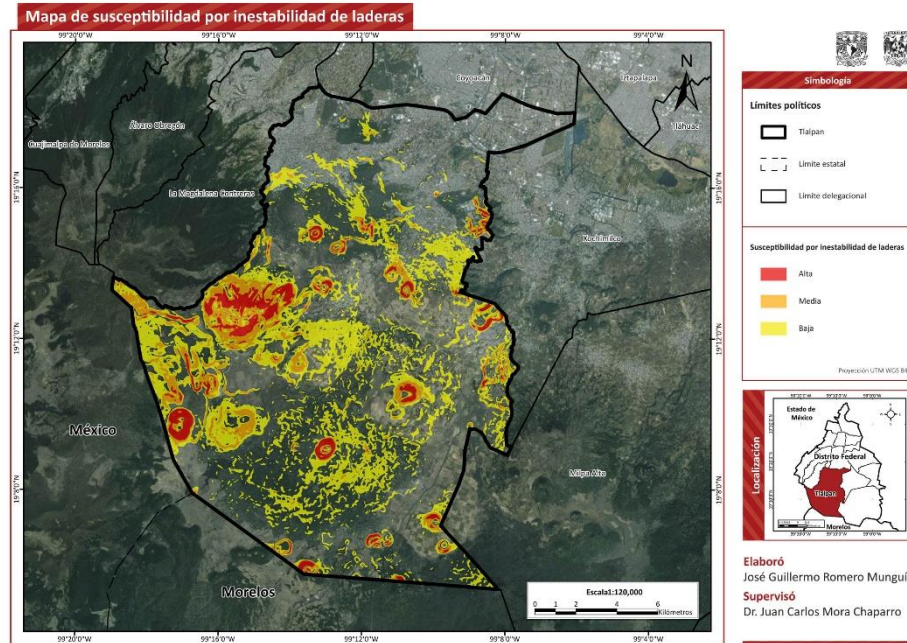


Figura 4.4. Mapa de susceptibilidad por inestabilidad de laderas. Muestra las zonas más propensas a procesos de remoción en masa (ver Anexo).

En una etapa inicial se recopila y estudia la documentación disponible, realizando la integración de la información sobre un Sistema de Información Geográfica (SIG).

El mapa de susceptibilidad por inestabilidad de ladera es resultado de la superposición cuatro factores determinantes para la remoción en masa. Se consideran las pendientes (1), energía del relieve (2), densidad de las corrientes de agua (3) y las zonas con mayor erosión (4).

A partir de un Modelo Digital de Elevación (MDE) se generan análisis de pendientes y energía del relieve, la capa de densidad de ríos se calcula con las corrientes de agua naturales, y para calcular las zonas más propensas a la erosión se toma como base las curvas de nivel.

1. Capa de pendientes: Se calcula a partir del MDE de la delegación Tlalpan, esta capa utilizada en formato ráster, calcula los valores de máxima pendiente entre celdas adyacentes.
2. Capa de energía del relieve: Obtenida desde el MDE y se calcula con la diferencia de elevación que existe entre las tres celdas adyacentes, podría decirse que calcula la energía potencial basándose en el rango de alturas, ya que entre mayor es la diferencia de altitud aumenta la energía potencial del material.
3. Capa de densidad de ríos: Se calculó con la relación que hay entre la longitud y distribución de las corrientes de agua y el área de la cuenca. La herramienta del SIG

calcula una magnitud por unidad de área de las líneas de corrientes que se encuentran dentro de una radio en cada celda.

4. Capa de erosión: Es el resultado del análisis de la densidad de las curvas de nivel dentro del área de la Delegación Tlalpan, en base a la premisa de que en zonas donde hay mayor densidad de curvas de nivel, existe una mayor erosión.

Las zonas de inestabilidad se dividen en tres niveles de susceptibilidad:

**Amarillo:** Zonas de susceptibilidad baja, son lugares donde las pendientes no son muy fuertes ( $25^{\circ}$  -  $35^{\circ}$ ) y donde la afectación de la erosión es baja.

**Naranja:** Zona de susceptibilidad media, existe tendencia a movimientos de ladera con probabilidad media debido a las condiciones de inestabilidad de las laderas, las pendientes van de los  $35^{\circ}$ - $45^{\circ}$ .

**Rojo:** Zona de susceptibilidad alta, son áreas con pendientes abruptas ( $45^{\circ}$ - $53^{\circ}$ ) donde existe una severa afectación por corrientes de agua y erosión, la inestabilidad de laderas es muy alta y el movimiento es casi inminente.

#### 4.4 Identificación de zonas en peligro y riesgo (barrancas)

De acuerdo a la Ley de Aguas Nacionales, todas las barrancas son zonas Federales y por lo tanto son zonas prohibidas para el desarrollo habitacional o de cualquier otra índole. Si se ha llegado a permitir el desarrollo dentro de las mismas, se ha permitido la construcción en zonas prohibidas y se han convertido en zonas de peligro. Por su origen, una barranca es una zona de flujo de agua natural y ahora antrópico (aguas negras), éste puede ser continuo o en época de lluvias. El volumen y la fuerza del agua que pasa por una barranca depende siempre de la temporada de lluvias y de la cantidad de agua que escurre o que se infiltra. Actualmente se ha incrementado el agua que escurre y disminuido la que se infiltra, debido a la tala inmoderada y a los cambios de uso del suelo.

Las paredes del cauce de los ríos o de las barrancas, son zonas inestables cuyos materiales que las componen continuamente han sido expuestos a los fenómenos de intemperismo físico-químico, erosión, fragmentación, transporte y posterior depósito. Toda esta inestabilidad es provocada por la gravedad y acelerada por el agua.

Debido a lo anterior, en este trabajo deben aparecer todas las barrancas (cauces de río) como zonas de peligro y zonas en riesgo, éste último donde ya atraviesen las zonas urbanas, ya que representan un peligro latente.

El mapa siguiente muestra los ríos que drenan desde la Sierra de Chichinautzin y de las Cruces, hacia las partes bajas en el norte. Las líneas rojas representan los cauces cuando cruzan zonas definidas como urbanas por el INEGI (Figura 4.5).

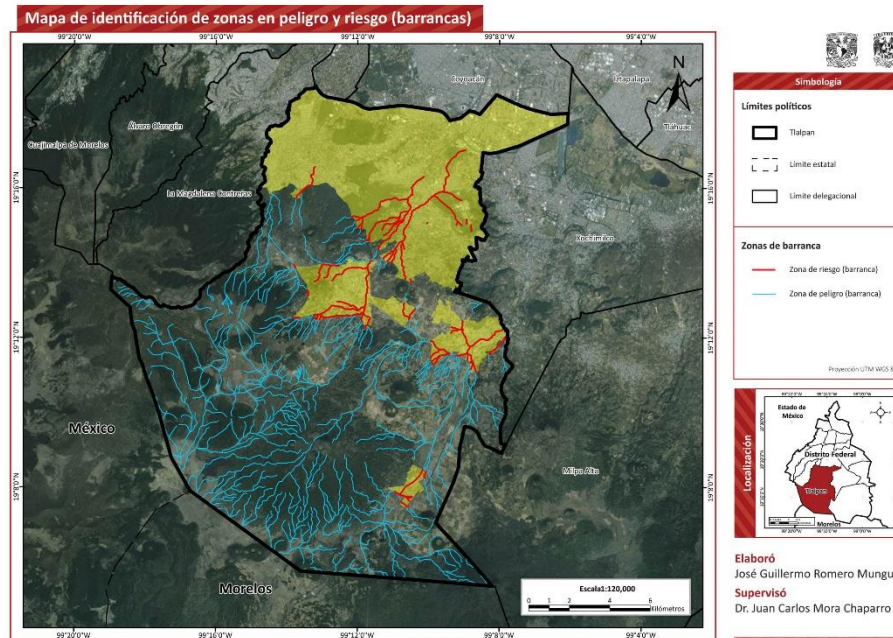


Figura 4.5. Mapa de identificación de zonas en peligro y en riesgo (barrancas) (ver Anexo).

Si bien, muchas de las corrientes son intermitentes y están sin agua la mayor parte del tiempo, también representan un peligro, en particular sobre las viviendas y sus habitantes que se han asentado sobre el cauce o en sus inmediaciones, ya que en eventos de precipitación extraordinaria, estos cauces pueden arrastrar una gran cantidad de materiales.

Existen una serie de factores que elevan el peligro de los cauces, como son la deforestación, la obstrucción de los cauces, las construcciones en sus inmediaciones y precipitaciones extraordinarias.

#### 4.5 Mapa preliminar de peligro

Como resultado de integrar la información de los mapas anteriores en un solo mapa, se obtuvo el mapa preliminar de peligro, en el se puede observar las coincidencias entre los reportes de antecedentes, zonas susceptibles, y zonas en peligro (barrancas), lo que permite identificar con claridad áreas de mayor interés para cartografiar el peligro a detalle. Este mapa preliminar de peligro (Figura 4.5) no indica que fenómeno se presenta en especial, pero si sirve como marco de referencia para determinar las zonas en las que se puede hacer trabajo de campo y de este modo comprobar y delimitar las zonas de peligro.

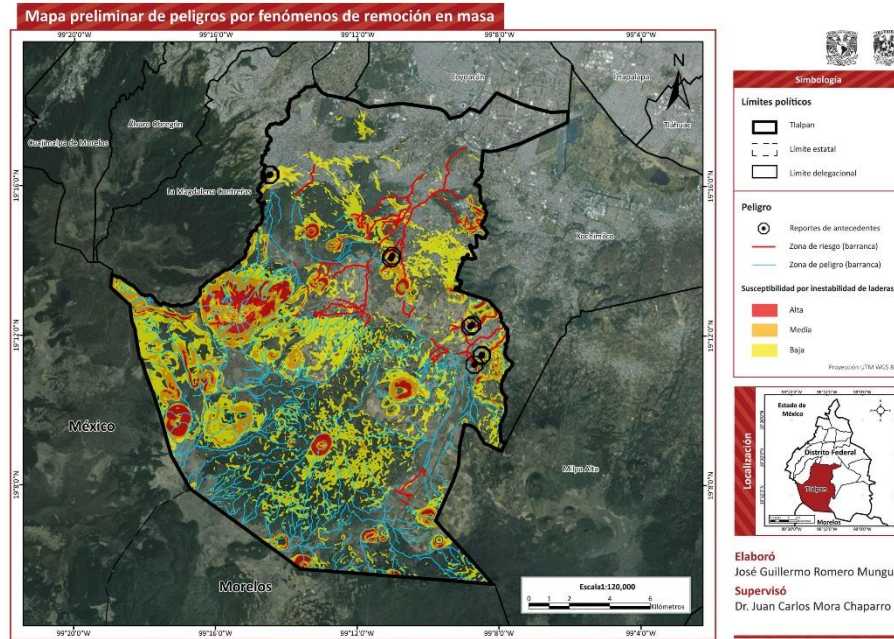


Figura 4.5 .Mapa preliminar de peligros. Se localizan los lugares con mayor exposición al peligro (ver Anexo).

## 4.6 Mapa general de peligro

En la delegación Tlalpan se trazaron 9 zonas por fenómenos como caídas de roca, derrumbes, deslizamientos y flujo de lodo (Figura 4.6 y 4.7).

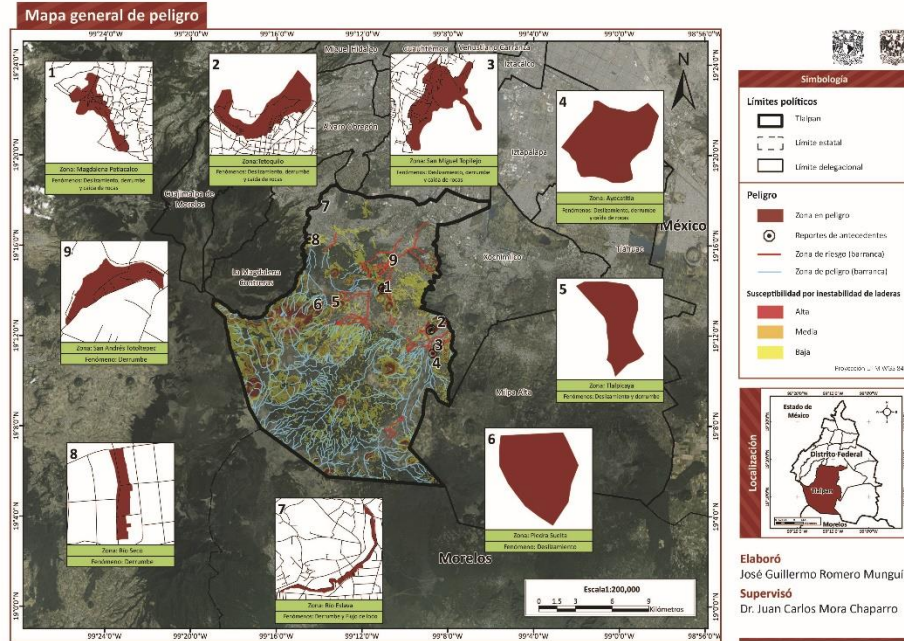


Figura 4.6. Mapa de distribución de zonas en riesgo por fenómenos de remoción en masa en la Delegación Tlalpan (ver Anexo).

Datos generales		Peligro		
Zona	Ubicación	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Origen
1	Magdalena Petlalcalco	373,894	4,602	Deslizamiento, derrumbe y caída de rocas
2	Tetequilo	202,112	2,236	Deslizamiento, derrumbe y caída de rocas
3	San Miguel Topilejo	584,550	5,858	Deslizamiento, derrumbe y caída de rocas
4	Ayocatlita	69,696	2,075	Deslizamiento, derrumbe y caída de rocas
5	Tlalpicaya	130,358	1,768	Deslizamiento y derrumbe
6	Piedra Suelta	72,145	1,038	Deslizamiento
7	Río Eslava	37,855	3,044	Derrumbe y flujo de lodo
8	Río Seco	10,674	695	Derrumbe
9	San Andrés Totoltepec	29,223	1,027	Derrumbe

Figura 4.7. Tabla general de peligro por fenómenos de remoción en masa.

Las zonas de peligro comprenden cinco combinaciones de fenómenos de remoción en masa (Figura 4.8).

<b>Peligro alto</b>	<b>Total de zonas</b>
<b>Deslizamiento</b>	1
<b>Deslizamiento, derrumbe y caída de rocas</b>	4
<b>Deslizamiento y derrumbe</b>	1
<b>Derrumbe y flujo de lodo</b>	1
<b>Derrumbe</b>	2

*Figura 4.8. Tabla general de frecuencia de fenómenos en las zonas de peligro.*

A continuación se hará una descripción de cada uno de las zonas de peligro, de tallando las características de cada una de ellas.

## 1. Magdalena Petlalcalco

Al recorrer el pueblo Magdalena Petlalcalco, se identificaron los siguientes tipos de peligro: deslizamiento de tipo rotacional, derrumbe y caída de rocas, posteriormente se delimitó una zona de peligro con perímetro y área de 4,602 m y 373,894 m<sup>2</sup> respectivamente (Figura 4.9).

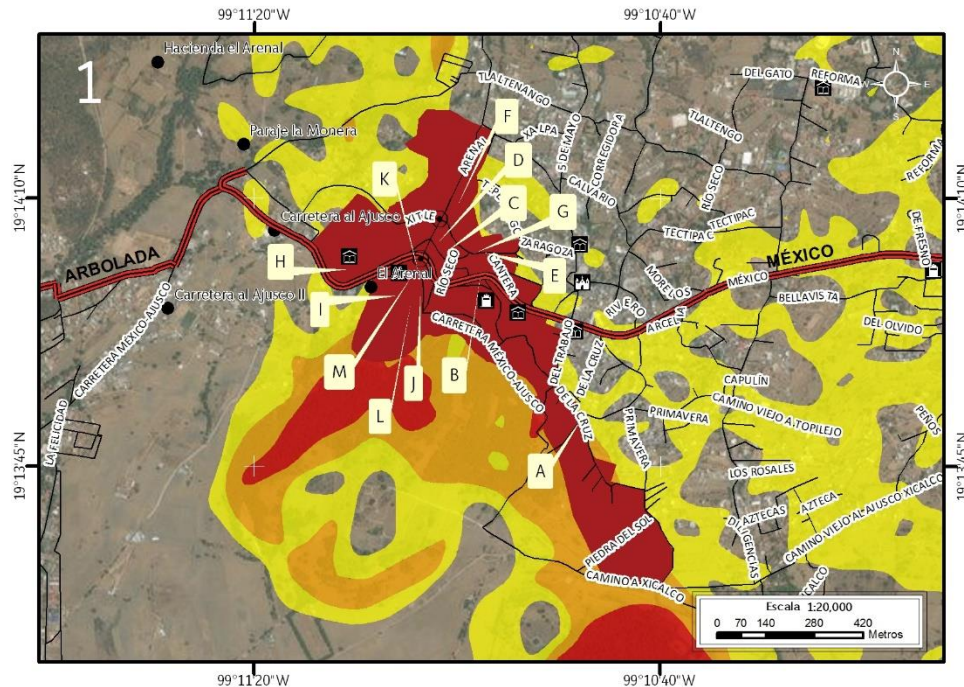


Figura 4.9. Mapa de la Zona 1 Magdalena Petlalcalco; en rojo, naranja y amarillo se muestra la susceptibilidad alta, media y baja por inestabilidad de laderas respectivamente. En rojo más oscuro la zona de peligro, los octógonos con un punto en el centro son puntos de antecedentes, los puntos negros corresponden a las localidades rurales, las líneas negras simbolizan el eje vial, la línea roja de mayor grosor las vías primarias, los íconos negros con blanco son sitios públicos y las etiquetas indican las fotografías que ilustran el peligro en el lugar.

Los fenómenos de derrumbe y caída se encontraron principalmente taludes de caminos y taludes para construcciones siendo el intemperismo, la erosión natural y antrópica, los agentes que agudizan el peligro.

El material de esta área corresponde a cenizas en diferentes puntos que presentan bloques de rocas pertenecientes a depósitos basalto-andesíticos. La formación del suelo en las cenizas es prácticamente nulo y los inmuebles se encuentran construidos sobre cenizas, las cuales son muy inestables y fácilmente removibles por agentes como el agua y la actividad antrópica (Figura 4.10).



*Figura 4.10. Fotografía A de la zona 1, se aprecia la erosión de la ladera y el consecuente desplazamiento de cenizas ladera abajo, y el peligro que representa para la vivienda al estar perdiendo su basamento.*

Los derrumbes y caídas se detectaron en lugares con pendientes mayores con bloques inmersos en una matriz de arcillosa. Principalmente estos peligros se asociaron a taludes inducidos por la construcción de viviendas (Figura 4.11).



*Figura 4.11. Fotografía B de la zona 1, muestra el peligro que representa el movimiento de la ladera y la inestabilidad que genera el fenómeno antrópico al realizar taludes y a su vez se muestra los daños que provoca una ladera que presenta movimiento.*



Una ladera en movimiento puede ocasionar fracturamiento en las construcciones debido a que el suelo donde se encuentran edificadas no presenta estabilidad. Lo cual provoca desde el cuarteamiento de bardas, hasta el colapso de estructuras (Figuras 4.12 y 4.13).



*Figura 4.12. Fotografía C de la zona 1, muestra la fractura de la barda sobre la ventana, a pesar de que las condiciones de la construcción no son las idóneas debido a que no tiene castillo en la esquina, evidencia el movimiento de la ladera.*



*Figura 4.13. Fotografía D de la zona 1, se puede ver el colapso de una barda la cual perdió el suelo donde se apoyaba y cedió al movimiento de la ladera.*

A continuación se ejemplifican las viviendas que presentan derrumbe y caída de rocas, las cuales fueron construidas sobre taludes inestables y ahora presentan problemas de remoción en masa, los taludes antrópicos generan los problemas (Figuras 4.14, 4.15 y 4.16).



*Figura 4.14. Fotografía E de la zona 1, vivienda construida sobre un talud con peligro por derrumbe. La vegetación sobre el talud retiene y protege el material de factores erosivo.*



*Figura 4.15. Fotografía F de la zona 1, derrumbe en el patio de la vivienda, también se pueden apreciar bloques de diferentes tamaños en una matriz limo-arcillosa.*



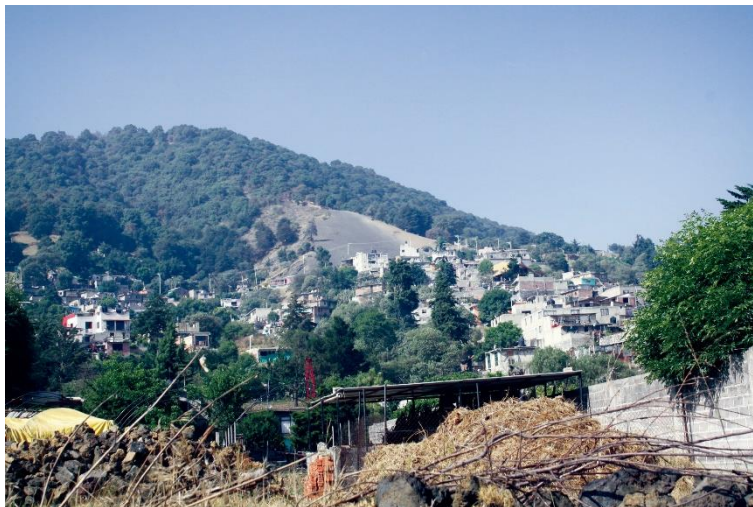
Figura 4.16. Fotografía G de la Zona 1, vivienda que comienza a tener pérdida de su basamento debido a la remoción de los materiales del talud en el que se encuentra.

Dentro de la zona de estudio se encuentran dos instituciones educativas, una de ellas que es la secundaria 151, la cual empieza a presentar problemas debido a que se encuentra en los límites de la barranca y cuentan los pobladores que la misma escuela fue construida sobre un antiguo cauce de un río, actualmente sigue bajando a través de ella, pero ahora ha sido redireccionada para que corra adyacente a una barda limítrofe; sin embargo al estar asentada sobre las cenizas la erosión es muy fuerte y la barda presenta fracturamiento en su estructura, así como una inclinación debido a que el suelo sobre la que se encuentra está siendo desplazado (Figura 4.17).



*Figura 4.17. Fotografía H de la Zona 1, barda que delimita a la secundaria 151. A un costado de la barda se encuentra un canal donde en temporada de lluvias fluye una corriente que erosiona el suelo.*

Dentro del Pueblo La Magdalena Petlalcalco se encuentra una zona conocida como El Arenal, el cual es una ladera con una pendiente promedio de  $36^\circ$  donde las cenizas afloran dando origen al deslizamiento (Figura 4.18).



*Figura 4.18. Fotografía I de la Zona 1, panorámica de la zona conocida como El Arenal, donde podemos ver toda la superficie del deslizamiento y la zona delimitada por las líneas punteadas rojas delimita la zona de afloramiento de las cenizas.*

Al oeste de esta zona el peligro se delimitó un área de peligro donde a pesar de presentar diferente pendiente de 52°, la superficie del terreno tiene una delgada capa de suelo de hasta 27 cm que le confiere una estabilidad aparente a la ladera.

El deslizamiento se presenta sobre la ladera de un cono cineríticos, compuesto de materiales sin compactación (ceniza) propensos a la erosión y remoción del material por agentes pluviales, fluviales, eólicos, por la gravedad e incluso antrópicos.

La vegetación en El Arenal es escasa no obstante predominan las *Gramineas* (pastos). Estas especies protegen los escarpes de procesos erosivos al retener el suelo. En contraste, los pocos árboles establecidos en el deslizamiento se encuentran inclinados a favor de la pendiente y con las raíces expuestas, lo cual evidencia la inestabilidad del material (Figura 4.19).



*Figura 4.19. Fotografía J de la Zona 1, se aprecia el flanco derecho del deslizamiento en donde se puede observar la intensidad del proceso de deslizamiento en la ceniza. Las zonas sin vegetación muestran mayor actividad, en este caso se distinguen áreas con pastos que dan cierta estabilidad al material en los bordes de los escarpes.*

Las viviendas se encuentran afectados por estar construidos sobre ceniza volcánica, también se ven afectados por el deslizamiento de esos mismos materiales en los taludes de su construcción.

En los patios de algunas viviendas se observó ceniza volcánica a pesar de los muros de contención, improvisados con llantas, para proteger los inmuebles del deslizamiento (Figura 4.20).



*Figura 4.20. Fotografía K de la Zona 1, la falta de vegetación favorece la erosión y remoción de la ceniza volcánica del suelo, deslizamiento. El material desplazado por dicho fenómeno invade el patio de la vivienda, pese al muro de contención que ha sido levantado en varias ocasiones.*

En general, el deslizamiento alcanzó la zona de viviendas y aunque hasta el momento no presentan afectaciones en las construcciones, a largo plazo, la fuerza que ejerce el material desplazado sobre las viviendas, causará daños en las estructuras aunado a esto la Figura 4.21, muestra como la ceniza se desplaza en dirección de las viviendas y tomando en cuenta que los movimiento de remoción en masa se dan cuando el material de la ladera se encuentra saturada de agua, y como la ceniza presenta una homogeneidad al estar saturada en agua podría presentar licuefacción y dar origen a un flujo de lodo, capaz de arrasar con las viviendas que se encuentran en las partes bajas.



*Figura 4.21. Fotografía L de la Zona 1, vivienda con problemas por deslizamiento. A espaldas de la vivienda, los propietarios, colocaron un muro de contención con llantas para evitar que el material desplazado llegue a la vivienda.*

Además de las viviendas afectadas hay un deportivo, éste se encuentra delimitado por una pequeña barda que actualmente ha servido como un muro de contención, el cual ha evitado que el deslizamiento afecte las instalaciones en su totalidad. Sin embargo, se encontró ceniza en el área de juegos infantiles, la cancha de basquetbol y el estacionamiento (Figura 4.22). La concurrencia a estas instalaciones es poca de lunes a viernes, los fines de semana es un lugar de dispersión familiar donde el principal atractivo es el deslizamiento.



*Figura 4.22. Fotografía M de la Zona 1, deportivo visto desde la parte superior del deslizamiento. Se puede observar ceniza volcánica invadiendo las canchas, juegos infantiles y el estacionamiento.*

## 2. Tetequilo

Mediante trabajo de campo se definió una zona de peligro alto por deslizamiento, caída de roca y derrumbe. Ocupa un perímetro de 2,236 m y 202,112 m<sup>2</sup> de área (Figura 4.23).

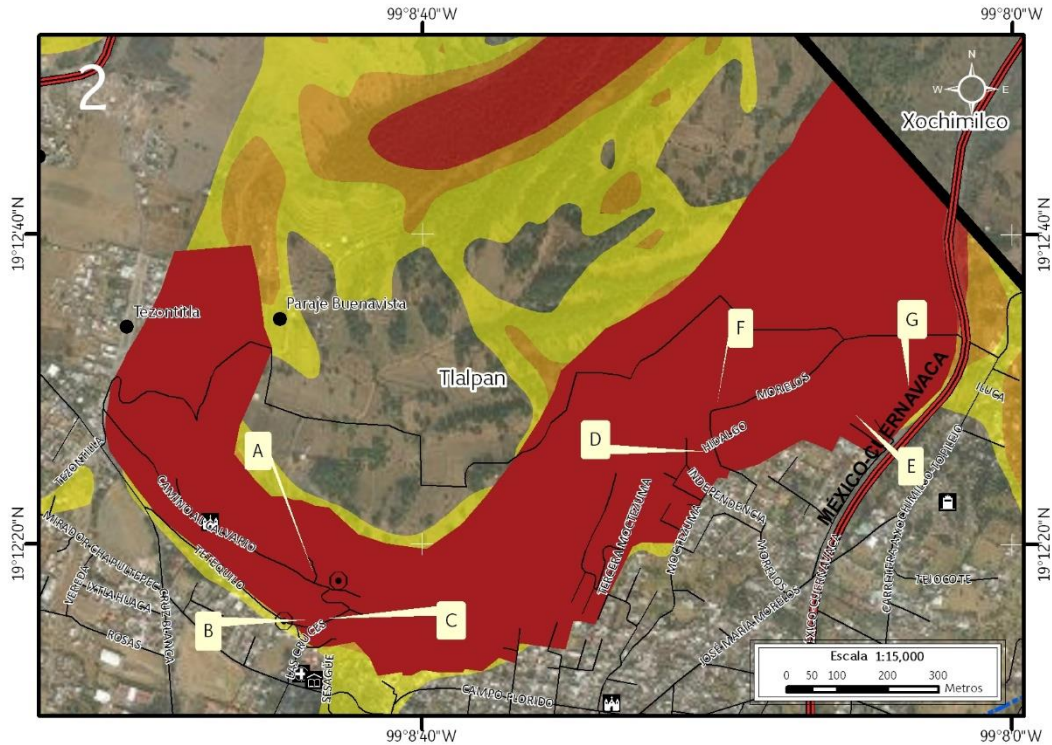


Figura 4.23. Mapa de la Zona 2 Tetequilo; en rojo, naranja y amarillo se muestra la susceptibilidad alta, media y baja por inestabilidad de laderas respectivamente. En rojo más oscuro la zona de peligro, los octógonos con un punto en el centro son puntos de antecedentes, los puntos negros corresponden a las localidades rurales, las líneas negras simbolizan el eje vial, la línea roja de mayor grosor las vías primarias, los íconos negro con blanco son sitios públicos, la línea negra de mayor grosor representa el límite delegacional y las etiquetas indican las fotografías que ilustran el peligro en el lugar.

La estratigrafía de la zona está definida por un suelo arcilloso, derrames de andesita basáltica y debajo de ellos se encuentra la ceniza que ha representado inestabilidad en otras localidades antes mencionadas. Estas condiciones del suelo ponen en alto riesgo a la población debido a que los asentamientos sobre la ceniza son muy vulnerables por la rápida erosión del material, lo cual provoca inestabilidad en las laderas además de dejar expuestas las rocas favoreciendo la caída de las mismas.

El peligro por deslizamiento se presenta en laderas de materiales finos con pendientes pronunciadas, en algunas zonas se evidencian futuros movimientos debido a la presencia de estructuras de reptación y árboles inclinados a favor de la pendiente. Estos procesos son detonados principalmente por la ruptura de la pendiente natural de la ladera debido a la construcción de caminos y construcciones de viviendas (Figura 4.24)





*Figura 4.24. Fotografía A de la Zona 2, se aprecia el corte de la ladera para una calle y viviendas. Se marca la dirección del movimiento de los materiales y el depósito de los mismos sobre el camino en la parte inferior de la imagen.*

Las caídas de roca se presentan en escarpes con afloramientos de bloques (Figura 4.25), en algunos casos presentan una matriz arcillosa que ocasiona derrumbes (Figura 4.26).



*Figura 4.25. Fotografía B de la Zona 2, bloques expuestos con peligro de caída. Se localizan en los cortes realizados sobre la ladera debido a las construcciones. Es importante notar la ausencia de obras para mitigar el peligro.*



*Figura 4.26. Fotografía C de la Zona 2, zona de posible derrumbe que representa un peligro tanto para las viviendas que se encuentran en la parte superior del escarpe como para las que se encuentran en la parte inferior.*

En el lado este del cerro Tetequilo, el fenómeno de remoción en masa es el deslizamiento de las cenizas, los cortes que se realizan a la ladera alteran la estabilidad de la misma provocando derrumbes del material y poniendo en riesgo a las viviendas aledañas, sumado al fenómeno natural, el factor antrópico acelera el proceso y la mala construcción de las viviendas ejemplifica bien el fenómeno que aquí ocurre (Figura 4.27).



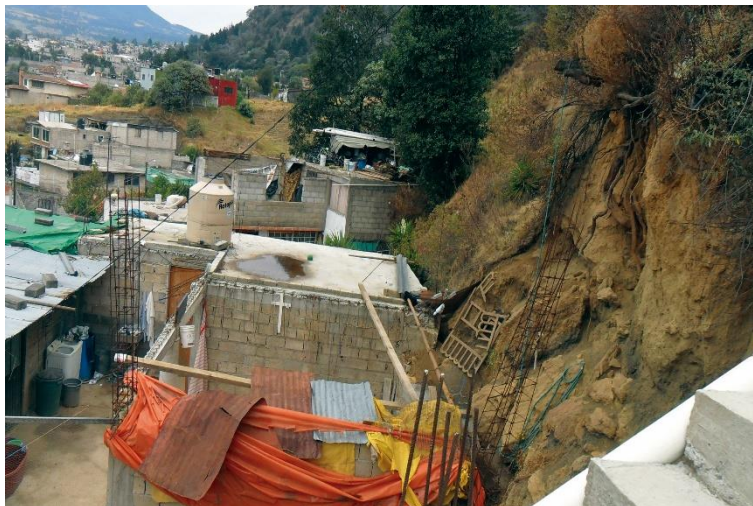
*Figura 4.27. Fotografía D de la Zona 2, La ceniza es removida fácilmente, en especial en los taludes hechos para construcción ya que se reduce el nivel de estabilidad de los materiales; en la imagen se puede apreciar la gran actividad que se presenta en los escarpes.*

Los escalones en las pendientes evidencian la constante actividad erosiva sobre las laderas, aunque en las zonas con vegetación la erosión es menor pues los pastos y arboles aislados retienen el suelo (Figura 4.28).



*Figura 4.28. Fotografía E de la Zona 2, se observan marcas de reptación con presencia de pastos, los cuales retiene el material en la ladera ya que las raíces fijan la superficie propiciando la formación de suelos. A pesar de la vegetación primaria, el fenómeno sigue activo.*

Las viviendas en esta zona se encuentran ejemplifican los procesos que ocurren sobre la ladera al encontrarse construidas bajo taludes propensos a derrumbarse o deslizarse (Figura 4.29), también se identificaron viviendas con pérdida de material sobre el que se encuentran construidas lo que ocasiona que se fracturen (Figura 4.30).



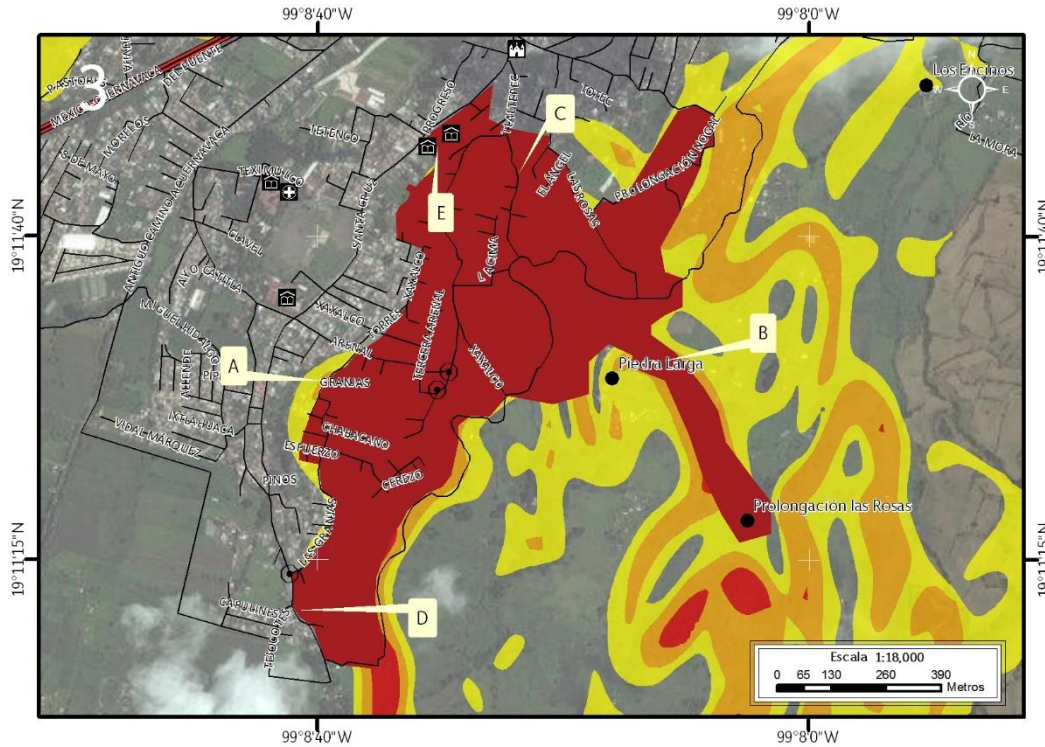
*Figura 4.29. Fotografía F de la Zona 2, vivienda situada sobre un talud la cual presenta deformación e inclinación en dirección de la pendiente.*



*Figura 4.30. Fotografía G de la Zona 2, vivienda desplantada sobre la ladera que presenta deslizamiento, la cual presenta una fractura en uno de sus muros.*

### 3. San Miguel Topilejo

La mayor parte de esta zona tiene peligro por deslizamiento, en menor medida por derrumbe y caída de rocas. De acuerdo a los datos obtenidos en trabajo de campo, la zona tiene perímetro y área de 5,858 m y 584,550 m<sup>2</sup> respectivamente (Figura 4.31).



*Figura 4.31. Mapa de la Zona 3 San Miguel Topilejo; en rojo, naranja y amarillo se muestra la susceptibilidad alta, media y baja por inestabilidad de laderas respectivamente. En rojo más oscuro la zona de peligro, los octógonos con un punto en el centro son puntos de antecedentes, los puntos negros corresponden a las localidades rurales, las líneas negras simbolizan el eje vial, la línea roja de mayor grosor las vías primarias, los íconos negros con blanco son sitios públicos y las etiquetas indican las fotografías que ilustran el peligro en el lugar.*

Aquellos fenómenos identificados en la zona, se expresaron principalmente en laderas, taludes de caminos y construcciones. De los indicadores de remoción de masa se observaron: marcas de reptación e inclinación de los árboles, lo que sugiere un futuro deslizamiento de materiales los materiales que constituyen la ladera limos y arcillas, principalmente (Figura 4.39).



*Figura 4.39. Fotografía A de la Zona 3, los materiales finos como los limos y las arcillas que componen el suelo de esta ladera son desestabilizados al realizar taludes por lo que son removidos con facilidad. Prueba de ello es el árbol que presenta una fuerte inclinación en favor de la pendiente.*

Los derrumbes se presentan principalmente en taludes realizados por actividades antrópicas y no solo generando el peligro para ellos, sino que a su vez inestabilizando el suelo donde se asienta la construcción aladaña pendiente arriba, suelos compuestos por limos y arcillas y bloques que van desde los 10 hasta los 50 cm (Figura 4.40).



*Figura 4.40. Fotografía B de la Zona 3, se aprecia el corte en la ladera y los depósitos compuestos por suelo y bloques de distintos tamaños que representan un peligro alto por derrumbe para la construcción que se encuentra en la parte baja de la fotografía.*

La caída de roca se presenta en menor escala; sin embargo no deja de ser importante debido a que un solo bloque puede causar graves daños, un ejemplo localizado en la porción norte de la zona y se compone por un corte para hacer un camino. Los bloques de esta pared de roca son de tamaños muy variados y llegan a ser de hasta 80 cm de longitud (Figura 4.41).



*Figura 4.41. Fotografía C de la Zona 3, ladera compuesta principalmente por bloques de gran tamaño y que se encuentran expuestos, que muestran una gran inestabilidad y que representan peligro de caída de rocas en el camino.*

Dentro de la zona también se observó un corte, donde se comienza a construir una vivienda, se puede observar la estratigrafía compuesta de una pequeña capa de suelo de máximo de 83 cm que descansa sobre depósitos de ceniza, la cual al no estar compacta representa un peligro, esto se ejemplifica con derrumbes asociados a su inestabilidad que se acelera al hacer cortes en la misma, como se muestra en la fotografía (Figura 4.42).

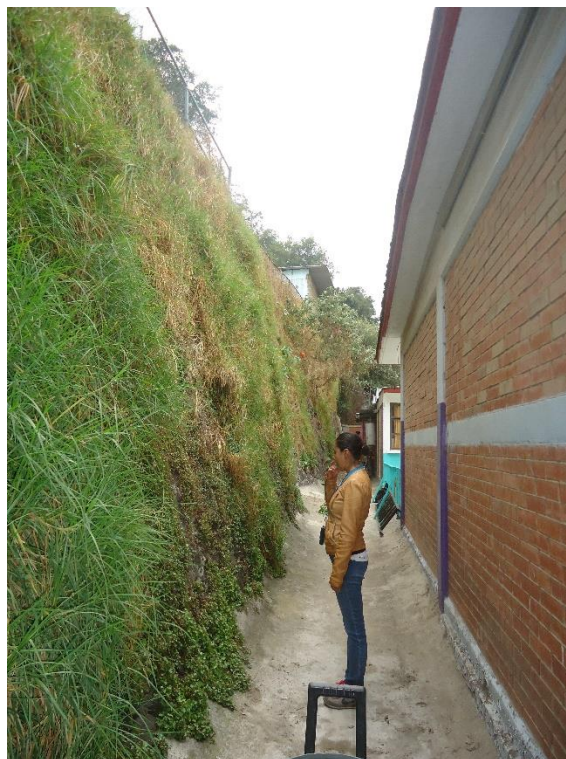


*Figura 4.42. Fotografía D de la Zona 3, se muestra el derrumbe provocado por la poca compactación que tiene el depósito de ceniza.*

En de las instalaciones del Jardín de Niños Topilli ubicado dentro de la zona de estudio, las aulas fueron construidas a poco más de un metro de distancia de un muro de contención, de aproximadamente 5 m de altura, que se sostiene el peso de la ladera y que fue construido para mitigar el peligro que representaba la caída de rocas, pero a pesar de contar



con esta medida de prevención la directora reportó caída de rocas en la conserjería y en el patio, lo cual nos indica que se deben tomar mejores decisiones para mitigar el problema y actualmente representa un peligro (Figura 4.43).

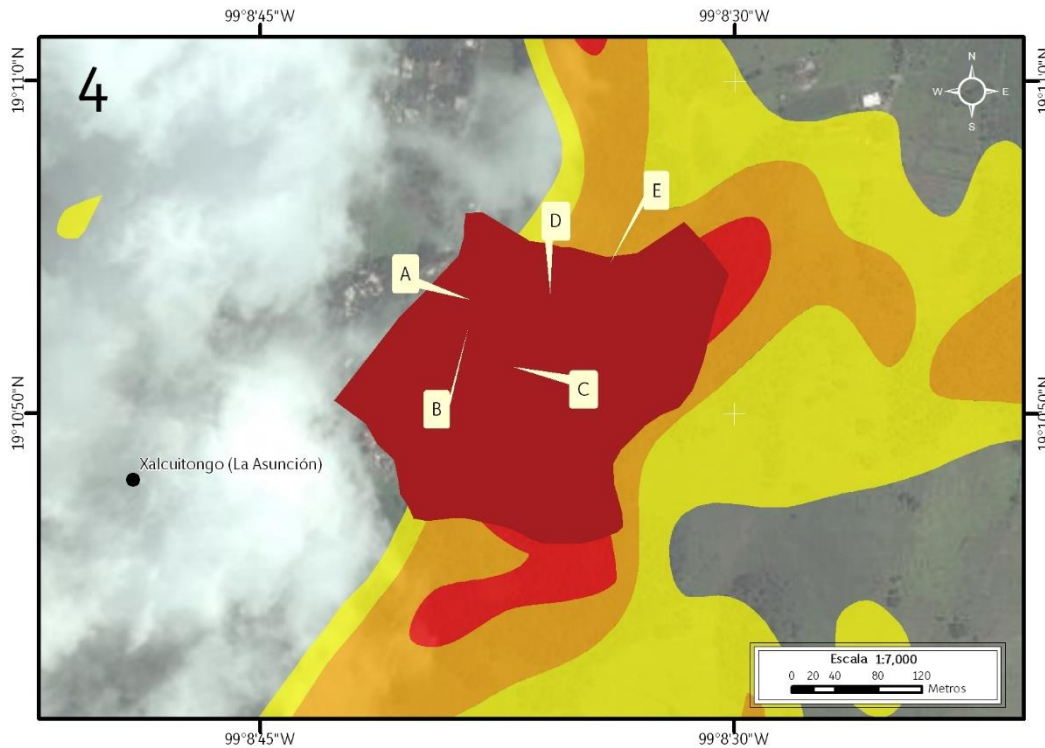


*Figura 4.43. Fotografía E de la Zona 3, Jardín de Niños Topilli, talud con una altura de 5 m, que se ubica a 1 m de distancia de las aulas y la conserjería.*

Adyacente al Jardín de niños se encuentra una primaria que cuenta en sus instalaciones con un muro de contención aunque la zona se encuentra restringida, para los alumnos sigue siendo un sitio con probabilidad de que ocurra derrumbe, caída de rocas o un deslizamiento dado que sobre el talud del muro hay construcciones.

#### 4. Ayocatlita

Esta zona de estudio como se menciona en el título de encuentra a las orillas de pueblo de San Miguel Topilejo. Los peligros de esta zona consisten en deslizamiento, derrumbe y caída de rocas. El perímetro de peligro es de 2,075 m y tiene un área de 69,696 m<sup>2</sup> (Figura 4.44). La estratigrafía de esta ladera está compuesta por un suelo arcilloso, cenizas y bloques de basalto.



*Figura 4.44. Mapa de la Zona 4 San Miguel Topilejo; en rojo, naranja y amarillo se muestra la susceptibilidad alta, media y baja por inestabilidad de laderas respectivamente. En rojo más oscuro la zona de peligro, los puntos negros corresponden a las localidades rurales y las etiquetas indican las fotografías que ilustran el peligro en el lugar.*

En esta zona de San Miguel Topilejo es una zona que las autoridades deben poner mucha atención ya que apenas se comienza a poblar y para poder construir las viviendas se han realizado cortes a una ladera ya inestable (Figura 4.43). La pendiente tiene una pendiente de 65°, las cuales presentan estructuras de reptación y muestra indicios de un futuro deslizamiento mayúsculo.



*Figura 4.43. Fotografía A de la Zona 4, los taludes producidos por actividad antrópica representan un peligro alto por derrumbe y potencializa la inestabilidad de la ladera para generar un deslizamiento mayor.*

En la parte media de la ladera se han realizado cortes para construir caminos, esto ha ocasionado inestabilidad en la ladera que está compuesta por bloques basálticos de tamaños variados que van desde 5 centímetros hasta 1 metro en una matriz arcillosa. El potencial de caída y derrumbe del material se incrementa con la erosión de las arcillas (Figura 4.44).



*Figura 4.44. Fotografía B de la Zona 4, se observa como ya hay rocas en la parte baja que han caído de partes más altas, lo cual demuestra la inestabilidad del corte.*

Las parte más alta de la ladera tiene una pendiente mayor, arboles con una inclinación en favor de la pendiente, y pueden observarse desplazamientos verticales con altura máxima de 1.24 m (Figura 4.45).



*Figura 4.45. Fotografía C de la Zona 4, los desplazamientos verticales que se presentan en la ladera y que tienen presencia de musgo indican que el terreno se ha estabilizado y que el movimiento de reptación ha dejado de ocurrir.*

La autoconstrucción en la zona se ejemplifica con la Figura 4.46, donde se observa cómo se realizan los cortes a la ladera sin tener conocimiento del peligro que esto representa y de cómo la vivienda queda expuesta a todo el material que pudiera bajar de la ladera, algunos pobladores de esta zona relataron que han sufrido la rotura de sus láminas debido a la caída de rocas de la parte alta de la ladera.

En la misma fotografía puede verse un pequeño depósito de ceniza, la cual le genera mayor inestabilidad a la ladera y potencializa la remoción en masa.



*Figura 4.46. Fotografía D de la Zona 4, vivienda hecha de madera y lamina, construida frente a un talud de material inestable y fácilmente erosionable. Esta vivienda se vería muy afectada ante un derrumbe o deslizamiento.*

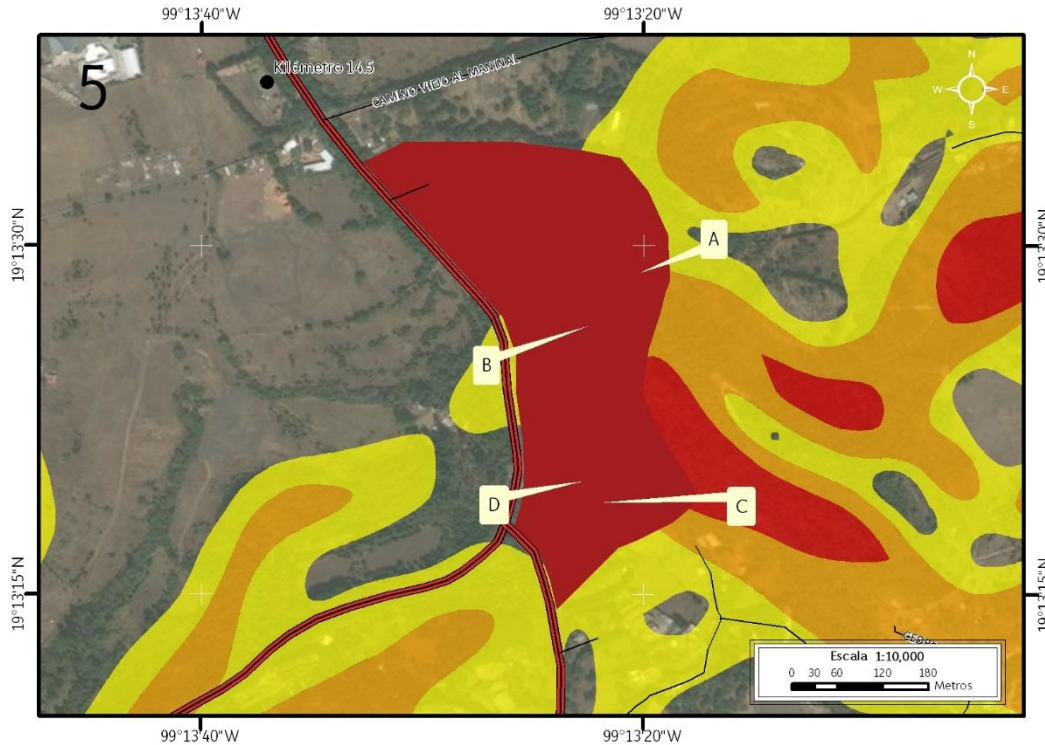
En la parte Norte de nuestra ladera se tiene un depósito de ceniza (Figura 4.47), la cual presenta un deslizamiento activo, como evidencia se tiene que en campo se veía como el material se deslizaba sin tener algún factor detonante, la simple heterogeneidad del material le brinda la capacidad para realizar el movimiento, actualmente no existen viviendas en este lado de la ladera; sin embargo los caminos realizados sobre la ladera son para acceder a esta zona, por lo cual no se puede omitir el hecho de una próxima población del sitio y así presentar problemas como los que ya se presentan en otros puntos de la delegación por sentarse sobre las cenizas.



*Figura 4.47. Fotografía E de la Zona 4, se puede ver la composición de la ladera y el deslizamiento que ya se presenta en la zona de ceniza.*

## 5. Tlalpicaya

Los fenómenos identificados en campo son deslizamiento de ceniza y derrumbes. Esta zona de peligro delimitado por un perímetro de 1,768 m y cuenta con 130 358 m<sup>2</sup> (Figura 4.48).



*Figura 4.48. Mapa de la Zona 5 Tlalpicaya; en rojo, naranja y amarillo se muestra la susceptibilidad alta, media y baja por inestabilidad de laderas respectivamente. En rojo más oscuro la zona de peligro, los puntos negros corresponden a las localidades rurales, las líneas negras simbolizan el eje vial, la línea roja de mayor grosor las vías primarias y las etiquetas indican las fotografías que ilustran el peligro en el lugar.*

La pérdida de vegetación debido a los asentamientos irregulares es un detonante para los procesos de remoción ya que restan estabilidad a los materiales, en este caso la retención de suelo (principalmente ceniza volcánica) es el servicio ecosistémico brindado por el bosque de Pino de la localidad.

La ladera de este poblado presenta pendientes de 40°, en promedio, esta es la zona de la delegación con mayor evidencia de reptación evidenciado principalmente por la inclinación de la mayoría de los árboles que están sobre la ladera (Figura 4.49).



*Figura 4.49. Fotografía A de la Zona 5, la inclinación de todos los árboles en la ladera sugiere que el material subyacente es inestable, presenta movimiento de reptación y por lo tanto es propenso a un proceso de remoción en masa de mayor magnitud.*

Los cortes en la ladera realizados para la construcción de caminos debilitan el material poco consolidado y provocan que este caiga y se acumule sobre ellos, ejemplo de ello es la figura 4.50, en ella muestra los bancos de acumulación del material que fue removido de la parte superior, ejemplificando la remoción en masa que puede producirse a gran escala, provocado por la nula compactación de los materiales que constituyen la ladera.



*Figura 4.50. Fotografía B de la Zona 5, el material que compone la ladera (principalmente ceniza y suelos arcillosos) no se encuentra consolidado por lo que los cortes provocan derrumbes y acumulación de material en las orillas de los caminos.*

En esta localidad se encontraron viviendas construidas sobre laderas en proceso de derrumbe, algunas de las cuales colocaron muros de contención para mitigar este proceso

(Figura 4.51), otras tantas al ser construidas inestabilizaron la pendiente y con ello promovieron derrumbes locales (Figura 4.52)



*Figura 4.51. Fotografía C de la Zona 5, se muestra una vivienda construida sobre ceniza volcánica, frente a la vivienda hay muros de contención que mitigan el desplazamiento de material, a espala de la misma hay una pendiente con movimiento de material.*



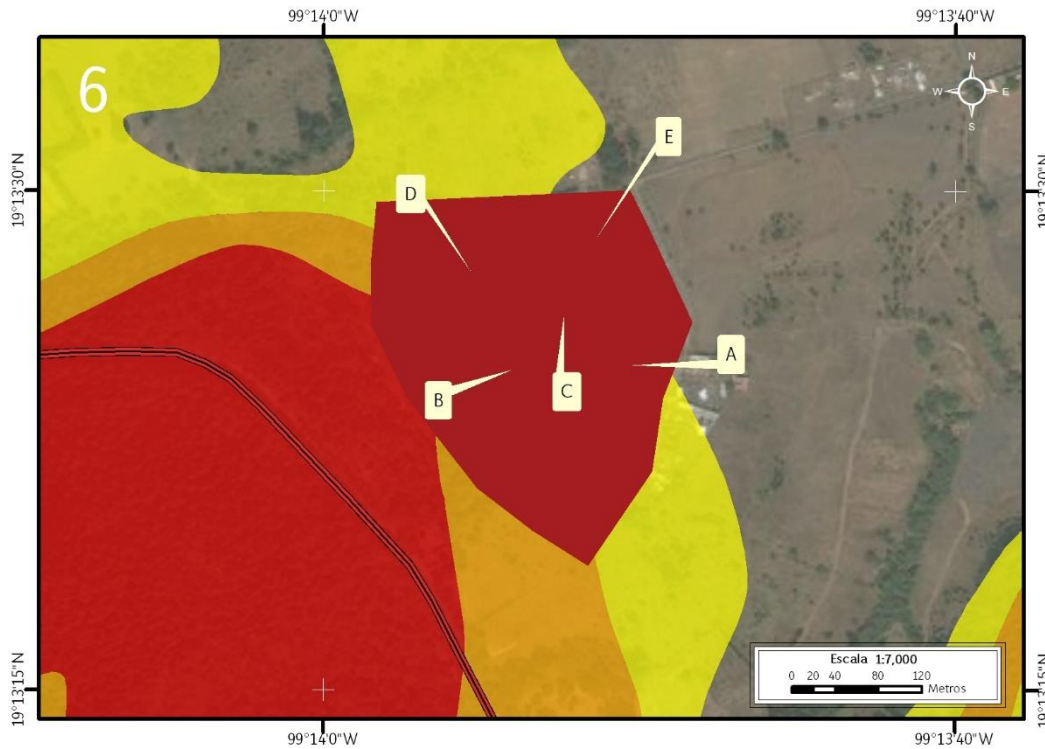
*Figura 4.52. Fotografía D de la Zona 5, vivienda en construcción. De lado izquierdo hay un talud, de origen antrópico, con un deslizamiento de ceniza. También se puede apreciar que la construcción no tiene castillos en las esquinas.*

En esta localidad, como en otros pueblos o colonias, la población apenas se encuentra llegado a vivir a estos sitios, por lo tanto las autoridades correspondientes deben poner mayor énfasis en zonas que se comienzan a poblar, ya que se desconocen las condiciones del terreno donde se está llegando a vivir y los problemas que han generado en suelos con las mismas características en varios lugares de la delegación.



## 6. Piedra Suelta

En la localidad Piedra Suelta ubicada en la parte baja del Ajusco se delimitó una zona de peligro por deslizamiento de cenizas y derrumbe en laderas y taludes de caminos y construcciones. Abarca un perímetro de 1,038 m y un área de 72,145 m<sup>2</sup> (Figura 4.53)



*Figura 4.53. Mapa de la Zona 6 Piedra Suelta; en rojo, naranja y amarillo se muestra la susceptibilidad alta, media y baja por inestabilidad de laderas respectivamente. En rojo más oscuro la zona de peligro, los puntos negros corresponden a las localidades rurales, la línea roja de mayor grosor las vías primarias y las etiquetas indican las fotografías que ilustran el peligro en el lugar.*

Dentro de la zona de peligro se observaron taludes de origen antrópico, los cuales fueron realizados para la construcción de viviendas y/o caminos (Figura 4.54). La composición de esta ladera es de ceniza y una capa de suelo arcilloso.



*Figura 4.54. Fotografía A de la Zona 6, se muestra el corte de un camino el cual refleja la inestabilidad de la ladera, compuesta de ceniza que presenta deslizamiento y el parte superior las rocas están expuestas para presentar un derrumbe.*

En la localidad Piedra Suelta el material principal es ceniza volcánica que es removido fácilmente generando inestabilidad en terrenos. Aunque las pendientes no presentan una inclinación significativa, se observaron deslizamientos de cenizas bajo las construcciones (Figura 4.55).



*Figura 4.55. Fotografía B de la Zona 6, las viviendas se encuentran construidas sobre cenizas que son fácilmente removidas por el agua y también por el paso de las personas al transitar en la zona, presentando así un peligro por deslizamiento.*

La Figura 4.56 se muestra el corte sobre la ladera que en apariencia se encuentra estable pero en temporada de lluvias, debido a la saturación de agua del suelo se pueden presentar derrumbes.



*Figura 4.56. Fotografía C de la Zona 6, se observa el tipo de corte que realizan en la ladera para desplantar las viviendas.*

Las partes bajas de la ladera presentan grandes bloques los cuales son antecedentes de caída de roca. Este fenómeno se pueda reactivar al deforestar el bosque de Pinos de la localidad dado que actualmente es una barrera natural que mitiga la caída de rocas además de retener el suelo.

Junto a una vivienda existe una socavación origina por la erosión de la ceniza por el paso del agua y la ceniza al no presentar compactación es erosionada a gran velocidad y comenzar a generar problemas a las precarias construcciones de la zona (Figura 4.57).



*Figura 4.57. Fotografía D de la Zona 6, ejemplo de la fácil erosión que se presenta en los depósitos de ceniza, la cual ya está comenzando a dejar sin basamento a la vivienda precaria.*

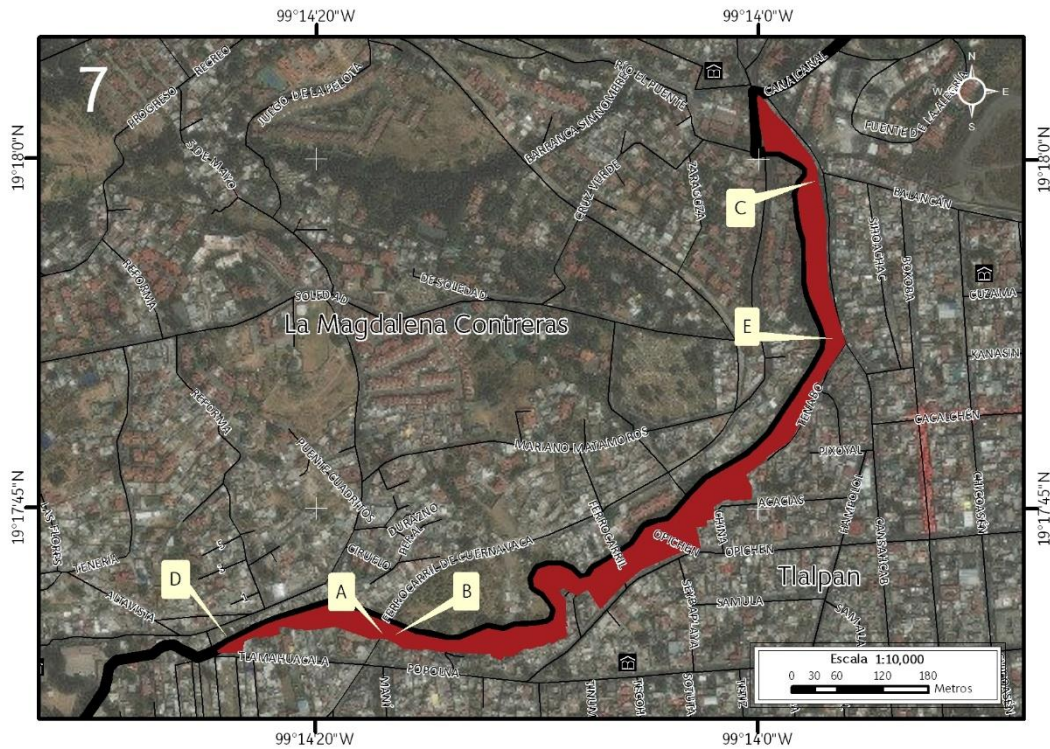
Se observó una vivienda que presenta deformación en su estructura, teniendo la parte central de la vivienda un hundimiento que hace a que las bardas se deformen y se inclinen hacia el centro, la propiedad se encuentra cercada y abandona.



*Figura 4.57. Fotografía E de la Zona 6, Se observa la vivienda en la parte baja de la ladera, presenta deformación como si estuviera teniendo un movimiento hacia el centro de la construcción.*

## 7. Río Eslava

Esta zona se encuentra localizado sobre la barranca del Río Eslava. Presenta peligro por derrumbe y posibles flujos de lodo. Cuenta con un área y perímetro de 37,855 m<sup>2</sup> y 3,044 m respectivamente (Figura 4.58).



*Figura 4.58. Mapa de la Zona 7 Río Eslava; en color rojo se muestra la zona de peligro, las líneas negras simbolizan el eje vial, los íconos negros con blanco son sitios públicos, la línea negra de mayor grosor representa el límite delegacional y las etiquetas indican las fotografías que ilustran el peligro en el lugar.*

La alteración a los cauces naturales ha traído consigo peligros implícitos, desafortunadamente la situación poblacional demanda más y más zonas para vivir, no importando las situaciones a las que se encuentren, ya sea por procesos de remoción en masa o de salud. El uso que se le está dando al río Eslava es el de desfogar las aguas negras, lo cual genera olores desagradables que las personas que viven allí deben oler día a día.

El suelo de esta zona se compone de limos y bloques de distintos tamaños. En temporada de lluvia el flujo de agua forma socavones que debilitan las laderas de la barranca aumentando el peligro por derrumbe y flujo de lodo, en caso de tener un caudal capaz de acarrear sedimentos río abajo.

La presencia de gran cantidad de sedimentos y bloques dentro de la barranca, indican el gran poder erosivo del caudal de del río en esta zona. Las obras de mitigación son insuficientes ya que se encuentran azolvadas (Figura 4.59).



*Figura 4.59. Fotografía A de la Zona 7, los sedimentos y bloques de distintos tamaños que han sido transportados por el caudal han rellenado por completo las obras de mitigación, con esto aumenta el peligro de flujos de lodo y rocas.*

En otra perspectiva del mismo punto en la Figura 4.60 se puede ver la inestabilidad del terreno con la deformación que presenta el árbol y las láminas de color rojo que fugen como la entrada principal de la vivienda que está dentro de la barranca la cual comienza a perder el suelo en el cual se encuentra construida.



*Figura 4.60. Fotografía B de la Zona 7, la pared de la barranca presenta inestabilidad, causada por la socavación de las bajadas de agua que se presentan en ella.*

Las viviendas dentro de la barranca se encuentran en peligro por derrumbe de las paredes de la barranca, ya que el peso de éstas contribuye a la inestabilidad de la ladera. Las pendientes de la barranca tienen 70° de inclinación. A lo largo del recorrido se observaron restos de antiguas construcciones las cuales sufrieron de remoción en masa disminuyendo el área de la construcción hasta un posible colapso de la vivienda (Figura 4.60 y 4.61).



*Figura 4.60. Fotografía C de la Zona 7, ruinas de una construcción desplantada sobre una pendiente que sufrió desprendimiento de material.*



*Figura 4.61. Fotografía D de la Zona 7, vivienda desplantada a orillas del río, se nota una ligera inclinación de los materiales que la delimitan.*

Algunos pobladores han intentado mitigar el peligro construyendo muros de construcción con llantas como se ha descrito con anterioridad, lo cual contribuye a la estabilización de la pared de la barranca; sin embargo, no es una acción suficiente ni determinante para lograr mitigar el problema y aunado a los problemas de remoción en masa la gente tira la basura a la barranca (Figura 4.62).

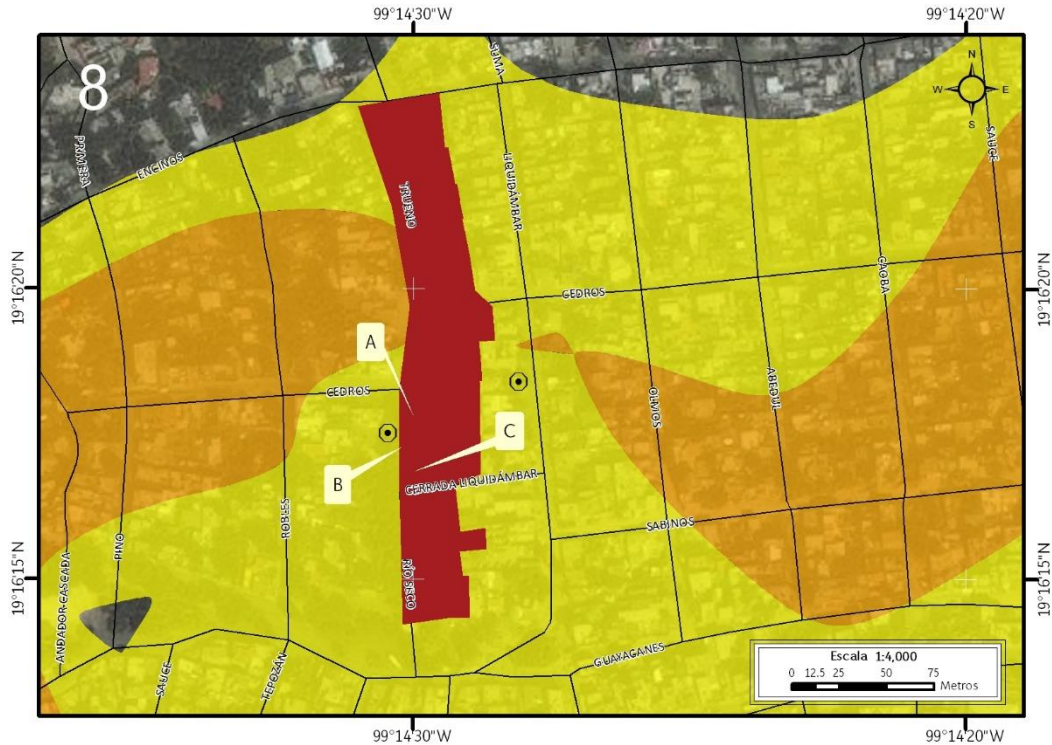


*Figura 4.62. Fotografía E de la Zona 7, en la esquina inferior derecha parte de un muro de contención, se puede ver la vivienda que se encuentra dentro de la barranca y la distancia es menor a 2 m del cauce del río.*



## 8. Río Seco

En la colonia Bosques del Pedregal se definió una zona de peligro por derrumbe. Tiene un perímetro de 695 m y un área de 10,674 m<sup>2</sup> (Figura 4.63).



*Figura 4.63. Mapa de la Zona 8 Río Seco; en naranja y amarillo se muestra la susceptibilidad media y baja por inestabilidad de laderas respectivamente. En rojo más oscuro la zona de peligro, los octógonos con un punto en el centro son puntos de antecedentes y las etiquetas indican las fotografías que ilustran el peligro en el lugar.*

La zona se ubica sobre una barranca con un socavamiento de la ladera que propicia los procesos de derrumbe. El suelo de este lugar se compone por limos, arcillas y escoria. La pendiente de la ladera en esta área es de unos 40°, esto es determinante en situaciones de saturación de agua del suelo en épocas de lluvia ya que puede provocar el desplazamiento de los materiales ladera abajo (Figura 4.64).



*Figura 5.68. Fotografía A de la Zona 8, socavación producida por la corriente de agua y como debilita la ladera facilitando la ocurrencia de derrumbes.*

Entre las medidas de mitigación se encuentra un muro de contención construido a finales del 2011. Actualmente este muro muestra daños significativos que indican un desplazamiento del material está ejerciendo la suficiente fuerza capaz de fisurar y fracturar el muro (Figura 5.69 y 5.70).



*Figura 5.69. Fotografía B de la Zona 8, parte baja del muro de contención en la calle Río Seco.*



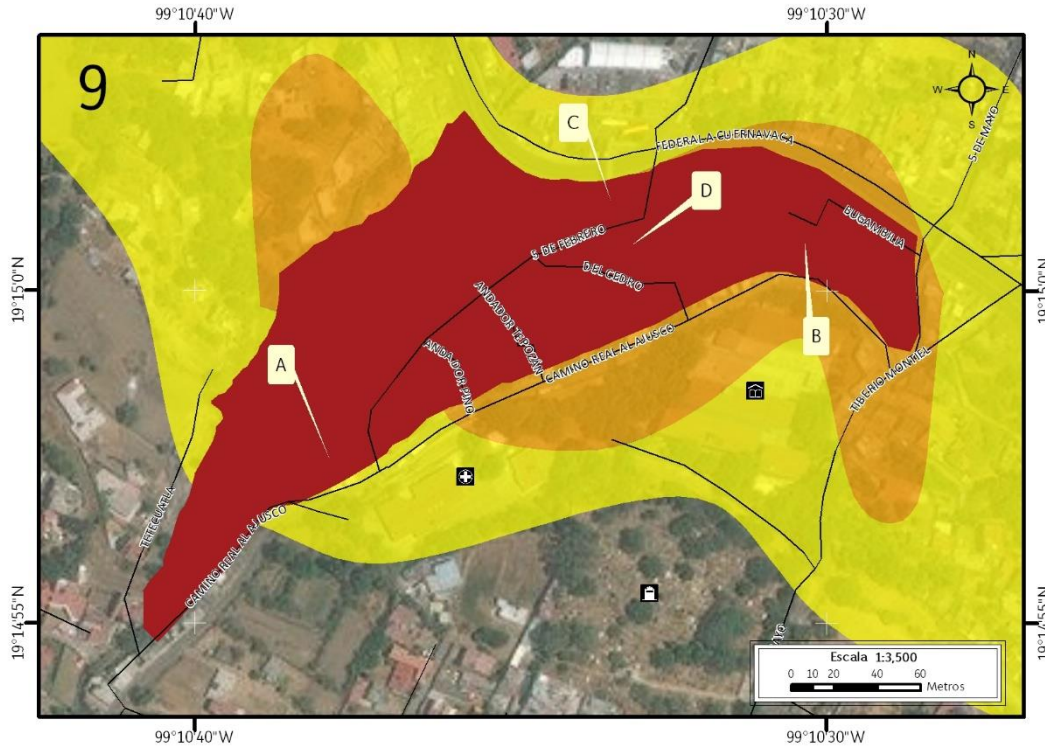
*Figura 5.70. Fotografía C de la Zona 8, vista de la parte superior del muro de contención. Se pueden observar fracturas significativas que obedecen un desplazamiento a favor de la pendiente.*

Una de las viviendas que colinda con el muro de contención reportó la muerte de un menor al caer por la barranca del río. Esta es una de las tantas evidencias por las cuales no se deben permitir asentamientos en zonas de peligro.

Antes del actual muro de contención existía otro el cual colapsó, dejando solo daños materiales y el actual muro tiene menos de 3 años y ya se encuentra muy dañado, fallando en su objetivo y potencializando el peligro, ya que en caso de ceder, no solo es el deslizamiento del material de la ladera sino que se aumenta el peso del concreto de la misma estructura.

## 9. San Andrés Totoltepec

Esta zona se encuentra en la barranca que lleva el mismo nombre, tiene un perímetro de 1,004 m y el área en su totalidad (28,185 m<sup>2</sup>) representa un peligro debido a los procesos de derrumbe (Figura 4.71).



*Figura 4.71. Mapa de la Zona 9 San Andrés Totoltepec; en naranja y amarillo se muestra la susceptibilidad, media y baja por inestabilidad de laderas respectivamente. En rojo más oscuro la zona de peligro, las líneas negras simbolizan el eje vial, los íconos negros con blanco son sitios públicos y las etiquetas indican las fotografías que ilustran el peligro en el lugar.*

Las laderas de la barranca al inicio son verticales, disminuyendo el ángulo de la pendiente en las partes más bajas hasta alcanzar 25°. La porción occidental de la barranca está conformada por flujos masivos de lava fracturados, por su parte, el lado oriente está compuesto principalmente por suelos arcillosos y algunos bloques de distintos tamaños.

La pronunciada pendiente de la barranca es una variable importante que favorece los fenómenos de derrumbe, esto aunado al debilitamiento de las laderas por cortes para la construcción, hacen del terreno un lugar altamente peligroso para habitar.

Grandes bloques se encuentran expuestos con una matriz arcillosa. Estos materiales presentan una evidente inestabilidad que produce brinco y escarpes sobre los flancos de la barranca (Figura 4.72).



*Figura 5.72. Fotografía A de la Zona 9, flanco oriente de la barranca. Sobre el talud se observa una vivienda que se encuentra en peligro por derrumbe.*

En algunas zonas, donde predomina el material arcilloso sobre los bloques se presenta reptación, lo cual indica movimiento de material en la ladera ante un futuro derrumbe (Figura 4.73).



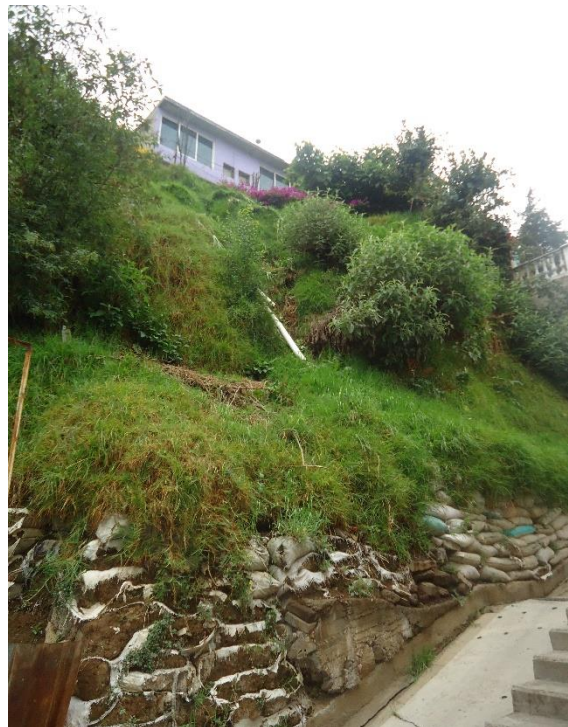
*Figura 4.73. Fotografía B de la Zona 9, vivienda desplantada sobre un talud que presenta remoción de sus materiales.*

La barranca se mimetiza con el ambiente urbano debido a su alta densidad poblacional asentada en los límites y dentro de la estructura (Figura 4.74).



*Figura 4.74. Fotografía B de la Zona 9, vista panorámica de la barranca. Se observa la alta densidad poblacional y las casas asentadas sobre los límites y dentro de la barranca.*

Varias de las viviendas ellas se localizan en los taludes de la barranca, los cuales son muy inestables ante derrumbes y a la erosión principalmente en temporada de lluvias ya que el agua satura el suelo y lava los materiales finos (Figura 4.75).



*Figura 5.76. Fotografía C de la Zona 9, talud con una vivienda en la parte superior y un muro de contención en la parte inferior, el cual ya se encuentra desgastado, Lo que indica una fuerte erosión.*

## CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

De acuerdo al Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal de 2015, se estima una deforestación de 500 ha anuales y una tasa de crecimiento urbano superior a las 300 ha por año. Si tomamos en cuenta que la parte lacustre se encuentra casi poblada al cien por ciento, podemos decir que la mancha urbana está creciendo en las partes medias y altas que rodean al del Distrito Federal. Sería muy importante detener este crecimiento ya que se está llevando a cabo sin control, planeación, supervisión y sin la aplicación de ninguna norma y/o reglamento de construcción, se construye siguiendo los usos y costumbres entre vecinos, experiencia de maestros de obra o albañiles, en zonas de susceptibilidad media y alta de inestabilidad de laderas. Esto lo que genera es que la inestabilidad se acelere y se convierta en peligro, al cual las construcciones y sus habitantes son altamente vulnerables.

Actualmente los estudios sobre riesgos geológicos y en especial los fenómenos de remoción en masa se realizan a nivel regional en escalas 1:50,000 y con análisis de inestabilidad de laderas llegando solo al nivel de susceptibilidad del peligro. Como se puede observar en los trabajos realizados para esta delegación como el Atlas de Peligros Naturales y Riesgo del 2011. Tomando en cuenta estos antecedentes y realizando un nuevo análisis de la susceptibilidad de la inestabilidad de las laderas utilizando densidad de ríos, grados de erosión, pendientes y energía del relieve llegamos a identificar con mayor precisión las zonas susceptibles

Estas zonas asociadas a estudios previos donde refieren que las condiciones que dan origen a las elevaciones que rodean al Distrito Federal les confieren características de presentar diferente tipo de proceso de remoción en masa, ya que las laderas de la delegación Tlalpan pertenecientes a la Sierra Chichinautzin comparten características petrográficas y morfológicas, como los depósitos de ceniza que son una constante en zonas de deslizamiento en la delegación.

El mapa de susceptibilidad por inestabilidad de laderas generado, da a conocer, de manera local y regional, zonas con condiciones idóneas de presentar procesos de remoción en masa diferente a los mapas de estudios anteriores para la delegación Tlalpan que muestran un mapa para cada fenómeno de remoción en masa a escala regional. Al colocar en el mapa de susceptibilidad los antecedentes obtenidos de Protección Civil de la delegación, del Atlas de Peligros Naturales y Riesgo de la Delegación Tlalpan 2011 y fuentes periodísticas, se identificaron zonas de susceptibilidad que ahora ya pasaron a ser zonas en peligro debido a que ya existen reportes de que se han presentados diversos fenómenos y que han causado daños a la infraestructura y viviendas ahí establecidas.

A pesar de que en el 2011 se reportó la muerte de un menor en la colonia Cultura Maya por deslizamiento, al recorrer la zona no se encontraron evidencias de deslizamiento en la localidad, de acuerdo al mapa de susceptibilidad por inestabilidad de laderas la colonia



presenta una susceptibilidad baja ante los fenómenos de remoción en masa, aunque en la actualidad no hay cuerpos activos. Sin embargo, hay que considerar que al ser una zona de pendiente, las condiciones a la remoción en masa están presentes y la actividad humana puede desencadenarla.

En el Pueblo La Magdalena Petlacalco presenta reporte de deslizamiento, en este trabajo se detalla y ejemplifican los fenómenos de remoción en masa presentes en dicho pueblo, como son: deslizamiento, derrumbes y caída de rocas.

En San Miguel Topilejo se tenía reporte por deslizamiento y susceptibilidad a los fenómenos de remoción en masa. Cabe resaltar que la localidad cuenta con varias estructuras volcánicas, por lo que se trazaron 3 zonas de estudio dentro de la localidad, en cada una de estas zonas se identificó el deslizamiento de la ladera antes reportado, pero también se encuentran presentes los derrumbes y las caídas de roca, aunque las laderas en estudio presentan diferentes características morfológicas, los fenómenos reportados se presentan en menor o mayor escala en cada uno de ellas.

Tanto en el cerro Tetequilo como en la parte central de San Miguel Topilejo, existen reportes por deslizamiento, sin embargo, la composición de la ladera y las actividades antrópicas dan origen a los derrumbes y caídas de roca.

La zona de estudio Ayocatitla presenta antecedente de deslizamiento, pero debido a la actividad antrópica se han modificado las condiciones del relieve dando origen a que se presenten más fenómenos de remoción en masa como derrumbes y caídas de roca.

En el pueblo Santo Tomás Ajusco, existe como antecedente la susceptibilidad a presentar remoción en masa sin especificar ladera o estructura volcánica. Con el trabajo de campo se definen 2 laderas con fenómenos de remoción en masa. La zona de Tlalpicaya evidencia comprueba que la susceptibilidad estuvo bien identificada y que la ladera si presenta fenómenos de remoción en masa como son: deslizamiento y derrumbe.

La zona Piedra Suelta se ubica dentro de Santo Tomás Ajusco, por lo que se tenía información sobre susceptibilidad por inestabilidad de laderas, sin embargo, debido a las condiciones litológicas la ceniza presenta deslizamiento afectando a las viviendas desplantadas sobre ella.

Al noroeste de la delegación se ubica la zona Río Eslava, que en trabajos anteriores, es generalizado con problemas de remoción en masa. En este estudio se describen problemas de derrumbes con evidencias de restos de construcciones colapsadas y los flujos de lodo evidenciados con todo el material que se transporta río abajo, cuyo nivel se incrementa con lluvias extraordinarias y ha azolvado las obras realizadas para encauzarlo.

En la colonia Bosques del Pedregal reportaba escurrimientos fuertes de agua y, aunque se realizaron obras para mitigar el problema, el muro se derrumbó. A pesar de dar

mantenimiento a la obra, los materiales siguen ejerciendo fuerza sobre el muro: hay evidencias que está cediendo a la presión de los materiales que constituyen la ladera.

En el pueblo San Andrés Totoltepec, se había reportado inestabilidad en las paredes de la barranca, se comprobó dicha inestabilidad que ocasiona derrumbes: se encontró una vivienda con un volado sobre el flanco de la ladera con una altura aproximada de 15 m.

En la delegación Tlalpan se encontraron algunas obras de mitigación en el Pueblo La Magdalena Petlacalco, donde se han construido algunos muros de contención con llantas, para evitar que la ceniza se introduzca en los domicilios, sin embargo, no es una obra preventiva efectiva ya que en la misma delegación se han encontrado muros con llantas que se han derrumbado. Sin embargo, los usos y costumbres ha llevado a que además de utilizarlos como muros de contención en los taludes, calles y carreteras, se utilicen como cimientos para algunas construcciones, poniendo en un alto grado de vulnerabilidad de las viviendas mismas ante el peligro asociado a la inestabilidad de la ladera.

## **CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Se obtuvo una cartografía a detalle de las zonas por fenómenos de remoción en masa, por mapa se muestra una zona en peligro con una escala de detalle local y algunas zonas a una máxima de 1:20,000, para poder visualizar el área afectada se acompaña con fotografías del lugar para ilustrar el fenómeno ahí presente.

En el mapa susceptibilidad por inestabilidad de laderas se visualizan las diferentes áreas que presentan diferentes grados de presentar remoción en masa, donde las dependencias gubernamentales deben poner mayor atención para evitar que sean habitadas.

El mapa de barrancas tiene las principales corrientes de agua de la delegación donde está prohibido habitar debido a que son zonas federales, además de que en estas zonas los procesos erosivos son una constante.

La unión de toda la información bibliográfica como se muestra en el mapa preliminar de peligros nos muestra puntos de interés, por ejemplo, donde hay susceptibilidad alta y reporte de antecedente, fue necesario realizar el recorrido para delimitar la zona afectada por fenómenos de remoción en masa.

Las laderas en estudio pertenecientes a la Sierra Chichinautzin, comparten la característica de presentar depósitos de ceniza, la cual afecta a la población asentada sobre estos por presentar movimiento constante.

De acuerdo a los mapas de zonas de peligro, la susceptibilidad propuesta se presenta en ellos, sin embargo, la actividad antrópica hace que un área donde las condiciones naturales provocan una susceptibilidad ésta se convierta en peligro, e incluso zonas de susceptibilidad baja pasan a reportar peligro alto.

Se obtuvo un área total de 1,510,506 m<sup>2</sup> afectada por fenómenos de remoción en masa, equivalente al 4.7% del área total de la delegación, distribuida en 9 zonas de estudio, de las cuales se obtuvieron varias combinaciones de fenómenos. La más recurrente fue deslizamiento, derrumbe y caída de rocas que se presenta en 4 zonas, seguida de 2 zonas de derrumbe y otras 3 combinaciones (Figura 4.3).

Los fenómenos de remoción en masa encontrados en la delegación están relacionados a factores condicionantes: morfológicos y litológicos y a factores desencadenantes como cambios en las condiciones hidrológicas, la aplicación de cargas estáticas por las construcciones sobre ella, cambios morfológicos y a la socavación o generación de taludes verticales al pie de la ladera.

Se determinó que el aumento de agua sobre la ladera cambia el equilibrio de la misma, debido al aumento de su peso, da origen a erosión interna y externa y cambios mineralógicos, aspectos que modifican la propiedad y resistencia de la ladera.

El factor antrópico cambia las propiedades geotécnicas de la de los materiales que componen la ladera al realizar caminos, excavaciones y construcciones de viviendas. En asentamientos irregulares obras como caminos, taludes y las mismas viviendas contribuyen los fenómenos de remoción en masa.

Parte de la población desconocen el riesgo en el que se encuentra, mientras otras realizan obras para mitigar el peligro. Algunas de estas obras sí cumplen su función como los muros de gavión o de mampostería, en contraste con los muros de llantas no resisten la presión que ejercen los materiales e incrementan el peligro.

Los movimientos de deslizamiento en las zonas de estudio Magdalena Petlacalco, San Miguel Topilejo, Tetequilo y Piedra Suelta se concluye que el deslizamiento se realiza de manera y no como un movimiento masivo de toda la ladera, como ocurre en las zonas de Ayocatitla y Tlalpicaya.

En zonas de deslizamiento se recomienda realizar visitas después de lluvias extraordinarias o sismos, para realizar una evaluación del comportamiento ante dichos factores que pueden acelerar dicho fenómeno.

Las siguientes recomendaciones son a fin de tener un mejor conocimiento de los fenómenos de remoción en masa de la delegación Tlalpan.

Las laderas de las zonas Ayocatitla y Tlalpicaya necesitan un monitoreo constante debido a que presentan desplazamientos verticales considerables, lo que prueba movimientos de masa de dimensiones considerables que pueden costar vidas.

En el análisis y recorrido de las barrancas de Tlalpan, no se observaron problemas en todas ellas. En ello influyen dos factores que son tamaño y litología, evitan que la población llegue a establecerse dentro o en sus orillas, la litología en varias de ellas que son depósitos basálticos, los cuales a pesar de estar fracturados, no presentan un peligro para la población.

Se recomienda una interacción de las unidades de Protección Civil con la ciudadanía, a fin de tenerla bien informada sobre las características de la zona donde habita, los riesgos que corre y las acciones que debe tomar en caso de emergencia.

## CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFÍA

Aguayo, J.E. (1990), "Evolución Geológica de la Cuenca de México", Simposio sobre Tópicos Geológicos de la cuenca del valle de México, 25 de julio de 1987, Editado por la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A. C. México D.F. 1990.

Alcántara, I., (1999), Landslides: ¿deslizamiento o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología", Boletín de Geografía, UNAM, Investigaciones Geográficas, 7-25.

Alcántara-Ayala, I. y L. A. Echevarría, 2001, *Cartilla de diagnóstico preliminar de inestabilidad de laderas*, CENAPRED, Secretaría de Gobernación, México.

Arce, J.L. et al., 2013, "40Ar/39Ar dating, geochemistry, and isotopic analyses of the quaternary Chichinautzin volcanic field, south of Mexico City: implications for timing, eruption rate, and distribution of volcanism", Springer, p 1-25.

Campos-Enríquez, J.O. et al., 2015, "The Aztlán Fault System: control on the emplacement of the Chichinautzin Range volcanism, southern Mexico Basin, Mexico. Seismic and gravity characterization", Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, p 315-335.

Chávez, J. M., (2008), "Atlas multidisciplinario y riesgo geotécnico de la zona conurbada al norponiente del Valle de México", Academia de Ingeniería, Instituto de Ingeniería, 3-25.

Encino-De la Vega, S., (1992), "Propuesta de nomenclatura estratigráfica para la Cuenca de México", Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 26-36.

García-Palomo, (2004), "Hacia el plano de peligros geológicos de la Ciudad de México", Servicio Geológico Metropolitano, Instituto de Geología.

García-Palomo, A., Zamorano, J. J. (2008), "El arreglo morfoestructural de la Sierra de las Cruces, México central", México, D.F., Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 158-178.

Gómez, D., (2012), "Identificación de rasgos tectónicos mediante la medición de la emisión de Dióxido de carbono en suelos del campo volcánico del Chichinautzin". Tesis

González de Vallejo, (2002), "Ingeniería Geológica". Ed. Prentice Hall (Pearson Educación, S. A.), Madrid 2002.

Guevara, O. E., Quaas, W. R. y Fernandez, V. G., (2006), "Lineamientos generales para la elaboración de Atlas de Riesgos", Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Serie: Atlas Nacional de riesgo, CENAPRED, México, D. F.

INEGI, 2010, Prontuario de información geográfica delegacional de los Estados Unidos Mexicanos Tlalpan, Distrito Federal.

Lugo H. J., (1984), "Geomorfología del sur de la Cuenca de México", Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía.

Martin del Pozzo, (1982), "Monogenetic Vulcanism in Sierra Chichinautzin, Mexico", Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, 9-24.

Martin del Pozzo, A. L., (1980), "Vulcanología de la Sierra Chichinautzin", Tesis en Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Mooser, F., (1990), "Estratigrafía y estructura del Valle de México y su relación con la ingeniería de cimentaciones a 5 años del sismo", Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

Mooser, F., (1975), "Historia geológica de la cuenca de México" En memoria. Obras del Sistema de Drenaje Profundo, Departamento del Distrito Federal, México, 9-30.

Mora, J.C., (2011), "Atlas de Peligros Naturales de la Delegación Milpa Alta 2011", Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica.

Valerio, C., Alcántara, I., 2012, "Mass movement processes asociated with volcanic structures in Mexico City", Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, Investigaciones Geográficas, 48-74.

Vázquez-Sánchez, E. Jaimes-Palomera. R., (1989), "Geología de la Cuenca de México", Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, 133-190.

Wintergerst, L., Bravo, V., (2004), "Evaluación de Peligros y mitigación del riesgo en el Distrito Federal", Gobierno del Distrito Federal, Dirección General de Protección.

"Atlas de Peligros Naturales o Riesgo de la Delegación Tlalpan, Distrito Federal 2011", (2011), Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía.

Programa Delegacional de Desarrollo Urbano en Tlalpan, 2010.

## **ANEXO CARTOGRÁFICO**