



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura
Ciencias de la Tierra
U. Ticomán
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación

"ESTUDIO GEOLÓGICO EN EL CONJUNTO URBANO LOMAS DE TEPOJACO; CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. MÉX."





Índice

9	Investigadores Participantes	2
-8-	Resumen	3
-8-	Introducción	5
-8-	Antecedentes	6
-8-	Objetivo	7
-	Metodología	8
-	Marco Geológico	9
-	Geología Local	10
-	Geomorfología e Hidrología	17
-	Geología Estructural	18
-	Análisis del Proyecto	21
-	Resultados	25
-	Discusión	41
-	Conclusiones	43
-	Recomendaciones	45
-	Bibliografía	46
	Anexos	51



Investigadores Participantes

Coordinador del Proyecto

M. en C. Rodrigo Mondragón Guzmán

Coordinador del Área Geológica

Ing. Fausto Castañeda Leonides

Especialista en Geología

M. en C. Héctor Romero Espejel

Apoyo Técnico y Geólogos de Campo

Geol. Xóchitl Bello Yáñez

Geol. Lucia Magali Ramírez González

Geol. Diego Arturo Canche Fernández

Geol. Israel de Jesús Hernández Rivera

Servicio Social

Geol. Alexi Mabel Urbina Carpio



Resumen

A principios del 2010, la comunidad del Conjunto Urbano "Lomas de Tepojaco", ubicado en Cuautitlán Izcalli, Edo. Mex., pidió apoyo a la ESIA Ciencias de la Tierra del IPN, para que hiciera una evaluación de las condiciones en las que se encuentra la infraestructura del Conjunto habitacional, incluyendo las viviendas, dado que, apenas en 2002 se entregaron los primeros conjuntos de viviendas, y en el poco tiempo que ha transcurrido, no es normal que se presenten diversos tipos de deterioros en las viviendas e infraestructura.

Después de esta petición el personal de la ESIA Ticomán Ciencias de la Tierra, programó una serie de recorridos, manzana por manzana y calle por calle, para observar todo aquello que pudiese significar relevante en cuanto a las afectaciones que el conjunto habitacional presenta. Así mismo, se utilizaron imágenes de satélite que muestran la evolución del conjunto desde el año de 2002 a la fecha, también se documento con fotografías que muestran los deterioros tanto en las viviendas como en calles, bardas de contención y taludes, por otro lado, se realizó el llenado de cédulas de registro con datos como coordenadas, longitud de fracturas, orientación, hundimientos, etc. Adicionalmente se hizo un censo en las viviendas que se han reportado con deterioros en cada una de las manzanas, adicionalmente, se efectuaron recorridos en los alrededores con la finalidad de identificar los afloramientos de roca que están presentes para el establecimiento del marco geológico lo cual se complementa con la revisión de la bibliografía existente acerca de la zona. Una cuestión importante han sido los relatos de la gente, que aunque estos relatos son muy subjetivos, la mayoría ha coincidido en que los deterioros en las viviendas empezaron a aparecer en los primeros dos años, después de que las viviendas fueron entregadas, obviamente, no todas las viviendas presentan anomalías, tampoco representan la mayoría, sin embargo, una constante ha sido que se pueden asociar las casas con mas deterioros en las proximidades donde los rellenos han sido de mayor espesor y cerca de las bardas de contención y taludes.



En el análisis que se hizo de la información y datos obtenidos, se propone que la mayoría de anomalías se debe a la calidad de los materiales de construcción, y se especula que no se siguieron al pie de la letra las recomendaciones de los estudios geotécnicos.



Introducción

Ante la necesidad actual de contribuir a la mitigación del riesgo geológico derivado de los fenómenos naturales y antropogénicos dentro de las zonas urbanas, la ESIA-Ticomán del Instituto Politécnico Nacional, ha puesto a disposición su infraestructura y su personal académico para responder a las necesidades de los estudios convenientes para dichos fines.

Con el desarrollo de una serie de metodologías como respuesta a la necesidad en materia de protección civil y de contar con documentos teórico-prácticos necesarios para elaborar bases de datos, mapas de peligros y en una fase más avanzada, mapas de vulnerabilidad y riesgo.

Para las primeras etapas, las metodologías ofrecen posibilidades para que, aún con recursos escasos, sea posible comprender el origen de los fenómenos, la amplitud de su influencia y los efectos a los que se han de someter las construcciones y sus ocupantes.

En este trabajo se presentan una serie de estudios que se debieron exponer junto con sus metodologías correspondientes para conocer los fenómenos geológicos que podrían tener mayor impacto dentro del Conjunto Urbano "Lomas de Tepojaco" (Figura 1), esencialmente agrietamientos, sismos, hundimientos, procesos de remoción en masas y contaminación ambiental.





Figura 1. Evolución del Conjunto Urbano Lomas Tepojaco, desde el año 2000 hasta el 2010. Imágenes tomadas de Google Earth, 2010.

Antecedentes

La empresa ESPYC se encargo del estudio de mecánica de suelos y pavimentos dentro del conjunto urbano; consistiendo en la exploración y muestreo de depósitos superficiales, pruebas de laboratorio y análisis de resultados. Se encargaron de determinar el tipo de cimentación apropiado, así como, el procedimiento constructivo que garantice la estabilidad de los cortes requeridos.

Dentro de este, la estratigrafía la definieron siguiendo el contorno natural del terreno, superficialmente cuenta con un espesor variable de 30 a 50 cm de una capa de arcilla arenosa con gravillas y raíces, de ahí hasta la máxima profundidad (2.5 m) se localiza una toba limo arenosa café claro poco arcillosa con gravas y arcillas, en estado compactado.

Para la cimentación se consideraron dos alternativas: a) zapatas corridas y b) loza de cimentación, ambas descansadas a 1 m de profundidad con respecto al nivel



natural del terreno. La estabilidad de los cortes requirieron de excavaciones para alcanzar niveles de desplante y por ende cortes de 4 m de altura máxima. Se analizó la estabilidad de los cortes, que se consideraron con un comportamiento cohesivo fraccionánte. Finalmente, los muros de contención se recomendaron desplantarse a 1 m de profundidad con respecto al nivel natural del terreno nunca sobre rellenos o en planos inclinados los cuales en algún momento podrían contribuir a que ocurran deslizamientos.

Objetivo

 Conocer los factores geológicos que están controlando los daños a la infraestructura del Conjunto Habitacional Lomas de Tepojaco.

Estos factores pueden actuar solos o en conjunto para desestabilizar al sistema del subsuelo en donde están asentadas las viviendas. La importancia de los efectos de uno de estos factores puede ser menospreciada si no se toma en cuenta su escala durante la planeación urbana. Por ejemplo, la observación de Fracturamientos y de las variaciones locales de resistencia de los materiales, tienen un efecto importante en el desarrollo urbano, por lo cual, no se observarían en un estudio geológico de gran escala.

Es claro que una mejor comprensión de este fenómeno y la evaluación del peligro geológico en zonas urbanas requiere de estudios multidisciplinarios.

Metodología

La metodología para alcanzar el objetivo planteado constó de lo siguiente:

1. Recopilación y análisis de la bibliografía existente, sobre todo la que se refiere a la información de tipo geológico, hidrogeológico, geomorfológico,



geología estructural, etc. con la finalidad de establecer el marco geológico general.

 Recorridos, manzana por manzana y calle por calle, realizando un censo en las viviendas que presentan deterioros significativos, en brigadas de tres elementos, equipados con cédulas de registro, GPS, cámara fotográfica y libreta de campo

Los datos que se levantaron fueron

- Fracturamiento: en paredes, pisos, calles, muros de contención, taludes.
- Hundimientos: en calles, zonas verdes, patios, etc.
- Taludes: se determinó en medida de las posibilidades, si estaban conformados por rellenos de tipo antropogénico o de formación natural.
- Asentamientos diferenciales
- 3. Recorridos en los alrededores del conjunto habitacional, identificando los afloramientos de las diferentes unidades de roca, con la finalidad de establecer la columna estratigráfica de la zona, datando sus características litológicas, así como, sus elementos estructurales y geomorfológicos.

Con las actividades mencionadas y los datos recopilados se elaboraron los mapas siguientes:

- Geomorfología general de la zona de estudio.
- Cartografía de los agrietamientos del subsuelo.
- Cartografía de los hundimientos del subsuelo.
- Cartografía, medición y condiciones de los taludes existentes en la zona de estudio.
- Elaboración de columnas estratigráficas de la zona de estudio.



Después que se realizaron las actividades de campo y el trabajo de gabinete que consistió en la recopilación y organización de todos los datos obtenidos, así mismo, con la elaboración de los mapas mencionados se procedió a la realización de los análisis e interpretaciones de las anomalías que se hallan presentes en la infraestructura del Conjunto Habitacional.

Marco Geológico

La secuencia estratigráfica de la Cuenca del Valle de México (Aguayo *et. al.*, 1990; Figura 2), consiste de rocas volcánicas, depósitos aluviales, fluviales y lacustres del Terciario y del Cuaternario, que sobreyacen discordantemente a las rocas calcáreas y calcáreoarcillosas del Cretácico. La distribución de las unidades volcánicas y de las sedimentarias es errática, tanto vertical como horizontalmente; los sedimentos fueron transportados de muy diversas fuentes, por lo que su textura, composición y ubicación son muy diversas, además de que estos depósitos se intercalan con derrames volcánicos y de piroclastos, lo que hace aún más compleja la columna estratigráfica.

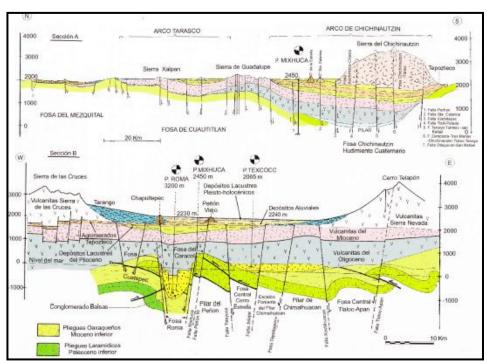


Figura 2. Secciones Geológicas de la Cuenca de México, Mosser, 1996; tomado de Santoyo, et al.; 2005.



Geología Local

La Sierra de las Cruces (**SC**), donde se localiza la zona de estudio, está conformada por ocho estratovolcanes traslapados, que de sur a norte son: Zempoala (3,690 msnm), La Corona (3,770 msnm); San Miguel (3,870 msnm) con una edad que varía entre 0.68 a 1.79 Ma; Salazar (3,660 msnm); Chimalpa (3,420 msnm), con una edad de 2.8±0.15 a 3.04±0.25 Ma; Iturbide (3,620 msnm) con edades entre 38,590 ± 3,210 años y 2.90 ± 0.40 Ma; La Bufa (3,460 msnm); y La Catedral (3,780 m snm) con la edad más antigua dentro de la SC que es de 3.71 ± 0.40 Ma.

Esta distribución de edades en la **SC** está basada en datos radiométricos publicadas por diferentes autores (Mooser *et al.*, 1974; Mora-Álvarez *et al.*, 1991; Osete *et al.*, 2000; Romero-Terán, 2001; Mejía *et al.*, 2005) e indican una importante actividad durante el Plioceno y Pleistoceno, conformada por extensos derrames de lava y domos de composición andesítico-dacítica y afinidad calcoalcalina (Gunn y Mooser, 1970). Se alternan con flujos piroclásticos de bloques y cenizas, flujos de pómez, oleadas piroclásticas, depósitos de caída, flujos de detritos y lodo, así como repetidos colapsos que originaron depósitos de avalancha de escombro.

El basamento de la sierra está conformado por una variedad de rocas, al sur de la sierra y en las inmediaciones de la cuenca de México, sus productos descansan sobre calizas del Cretácico (Fries, 1960), o bien sobre rocas volcánicas de la secuencia máfica basal de 7.1 Ma, sobre la Formación Tepoztlán del Mioceno medio o la Formación Xochitepec del Oligoceno (Mooser *et al.*, 1956; García-Palomo *et al.*, 2000). Hacia la parte norte, la SC descansa sobre una serie de estructuras volcánicas del Mioceno medio que corresponden con la Sierra de Guadalupe, fechada entre 14 y 16 Ma y Sierra de la Muerta, del Plioceno tardío (Gutiérrez-Palomares, 2005).



Los depósitos piroclásticos observados cerca del Conjunto Urbano Lomas de Tepojaco, se definen como el producto de la fragmentación y trituración del magma y de la roca encajonante durante erupciones de carácter explosivo (Mazzoni, 1986). Los fragmentos individuales producidos por la trituración y fragmentación volcánica directa, por analogía con las rocas clásticas reciben el nombre de **piroclastos** (Holmes, 1920), cualquiera sea su forma, tamaño y composición. Por lo tanto los piroclastos son los componentes esenciales de las rocas piroclásticas.

De acuerdo al modo de transporte y depósito se reconocen tres categorías genéticas principales (Sparks y Walker, 1973):

- 1. Depósitos piroclásticos de caída (pyroclastic fall)
- 2. Depósitos de coladas piroclásticas (pyroclastic flow)
- 3. Depósitos de oleadas piroclásticas (pyroclasric surge)

Aunque se traten por separado los tres tipos de depósitos están generalmente asociados, y pueden incluso ocurrir dentro de la misma erupción. Asimismo, un tipo de actividad puede acompañar o generar a los otros dos depósitos.

Los depósitos volcanoclásticos secundarios son el producto de la depositación de materiales originados por la resedimentación o el retrabajo (fragmentación por meteorización) de depósitos y/o materiales piroclásticos primarios. Al igual que los depósitos epiclásticos relacionados a cuencas sin o con poca actividad volcánica, los depósitos volcaniclásticos secundarios (epiclásticos volcanigénicos) son generalmente transportados por flujos gravitacionales de sedimentos (ej. depósito de flujo de detritos), corrientes ácueas (ej. depósito de flujo diluido en condiciones de bajo régimen de flujo por migración de duna 2D) o por el viento (depósitos de eolianitas).



Los depósitos observados en las columnas A, B y C (Figura 4), presentan las siguientes características:

Flujos Piroclásticos.

Son flujos parcialmente fluidizados, densos, que controlados por la gravedad se desplazan a ras del suelo en un flujo esencialmente laminar, en el que la fase continua entre las partículas es gas, con alta concentración de sólidos (Sparks, 1976). Siguen la topografía rellenando valles y depresiones. Debido a su alta densidad y concentración de partículas, los depósitos tienden a ser macizos y mal seleccionados (desde ceniza fina hasta bloques gruesos). La mala selección de se debe a la alta concentración de partículas y no a la turbulencia, ya que recordemos que se trata de flujos esencialmente laminares (Sparks, 1976; Wright y Walker, 1981).

Flujo de Pómez: son cuerpos de roca o depósitos formados a partir de coladas piroclásticas constituidas fundamentalmente por fragmentos de magma juvenil vesiculado (Sparks y Wilson, 1976), que pueden estar o no soldados y que se han emplazado a altas temperaturas (Walker et al., 1980a). Se forman a partir del colapso de una columna eruptiva cuando esta se vuelve más densa que el aire atmosférico (Sparks y Wilson, 1976; Sparks et al., 1978). Esto puede darse por una disminución en el contenido de gases del magma, una brusca disminución de la velocidad de emisión o bien a un aumento del diámetro de la boca de salida (Sparks y Wilson, 1976). El tamaño que puede alcanzar varía de acuerdo al volumen del flujo (e.g. Ui, 1973) y a su velocidad inicial (Sparks, 1976; Sheridan, 1979).

Este tipo de emplazamiento de depósitos volcánicos los observamos en las columnas A y B (Figura 4), estos flujos son de color beige de aspecto masivo, compuesto por clastos del tamaño de lapilli, envueltos en una matriz de materiales



más finos, los espesores varían de 1m a 0.50m; en ambas columnas se presenta sobreyaciendo a un depósito de oleada piroclástica.

Oleada Piroclástica: Consiste en una dispersión gas-sólido diluida (baja concentración de partículas) que transporta piroclastos en forma turbulenta y expandida sobre la superficie del terreno (Cas y Wright, 1987). Sus depósitos mantean la topografía pero son controlados por el relieve, presentando los máximos espesores en el fondo de las depresiones. Constituyen por lo tanto un término intermedio entre los depósitos de caída y los de flujo piroclástico. Las oleadas piroclásticas pueden resultar de cualquier tipo magma y se asocian tanto a erupciones hidromagmáticas como a erupciones puramente magmáticas.

Este tipo de emplazamiento de depósitos volcánicos los observamos en las columnas A, B y C (Figura 4); estos flujos son de color beige mas claro que los flujos de pómez, compuestas por materiales clásticos del tamaño de lapilli hasta ceniza, es un material altamente consolidado con unos espesores varían de 1.5m a 0.30m. En la columna A se observan tres secuencias de depósito con espesores variables, indicando tres eventos eruptivos diferentes; en la columna C, el depósito se encuentra interestratificado con un lahar, indicando dos diferentes eventos eruptivos, con un periodo de inactividad considerable, dentro del cual se origino el lahar observado en la columna.

Lahar.

En el caso de los lahares, se definen como un flujo esencialmente contemporáneo o posterior a la erupción; producto de algún tipo de desestabilización de material piroclástico previamente depositado. Un lahar (Figura 3) posee un rango de concentración de materiales que lo lleva a comportarse variablemente como un flujo de detritos hasta un flujo hiperconcentrado.



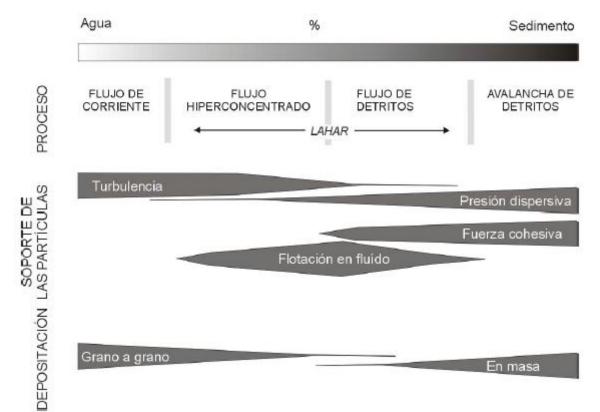


Figura 3. Descripción de la composición y clasificación de un lahar, en relación al porcentaje entre sedimentos y agua.

Este tipo de emplazamiento de depósitos volcánicos secundarios, lo observamos en la columna C (Figura 4), estos flujos de materiales retrabajados son de color pardo oscuro, masivo, mal seleccionado, compuesto por clastos del tamaño de lapilli hasta bloques, su espesor observado es de 0.30m; de acuerdo al rango de concentración de materiales, podemos definirlo como un flujo de detritos.

Paleosuelo

El término paleosuelo se aplica a un suelo que se ha formado en un paisaje del pasado (Ruhe, 1956; 1965; Yaalon, 1971; Catt, 1991) o que se ha formado bajo condiciones ambientales distintas, principalmente climáticas, con el consiguiente cambio de vegetación. Esta definición incluye no sólo a los suelos enterrados o fósiles, sino también a los suelos relícticos que comenzaron su desarrollo bajo condiciones distintas a las actuales, pero que todavía continúan evolucionando hoy en día. Por otra parte, los paleosuelos indican un período de estabilidad



geomorfológica, de no depositación ni erosión, al menos de una manera significativa.

Este tipo de formación la observamos en la columna B y C (Figura 4), son horizontes de color oscuro, con bastante contenido orgánico, el espesor observado en la columna B no pasa de los 0.05m, la columna C se identifica un espesor de 0.50m. En ambos casos los paleosuelos fueron expuestos alos procesos de intemperismo y erosión.

Suelo Reciente

Se denomina suelo a la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que tiende a desarrollarse en la superficie de las rocas emergidas por la influencia de la intemperie y de los seres vivos.

Se encuentra prácticamente en todas las columnas (Figura 4), es de un color pardo oscuro y su espesor máximo es de 0.25m.



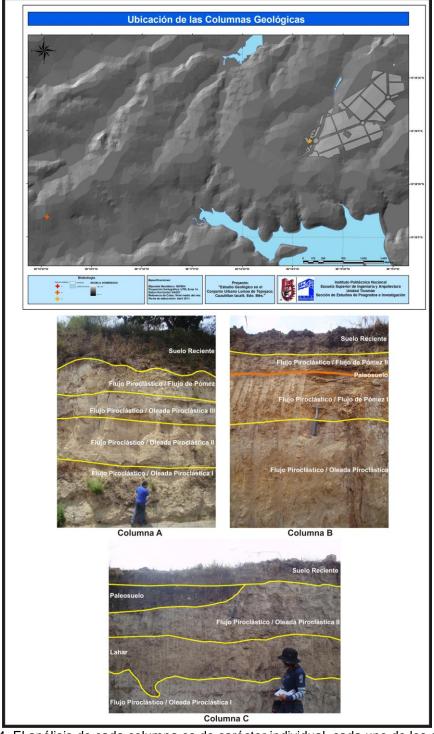


Figura 4. El análisis de cada columna es de carácter individual, cada uno de los eventos observados determina diferentes secuencias de depósitos; no se correlacionaron ninguna de las columnas, debido a la distancia de localización de cada una de ellas. La Columna A no entra dentro del mapa del área de estudio, pero se considero para las interpretaciones estratigráficas



Geomorfología e Hidrología

Presenta resaltes topográficos generales por debajo de los 3,600 m y sólo en pequeñas cimas se alcanzan los 3,600 m. Está constituido por los volcanes La Bufa, "Rehilete" (Mooser, 1992), Iturbide y La Catedral, que en conjunto con otras estructuras presentan una orientación N40°W. Se han identificado importantes colapsos de los edificios volcánicos hacia él SE y una alineación de domos al NW. (García-Palomo, et al.; 2008)

El emplazamiento de abanicos piroclásticos y lahares varía ampliamente, pero presentan su distribución hacia el NE y E, donde están influenciados de manera importante por estructuras volcánicas antiguas (Figura 5), así como, por un control estructural como la caldera de Atizapan (Mooser, 1992), la Sierra de La Muerta (Jacobo-Albarrán, 1985), Sierra de Guadalupe (García-Palomo *et al.*, 2006 b; Servicio Geológico Metropolitano, 2005); Fosa Tula-Mixhuca (Alaniz-Álvarez y Nieto-Samaniego, 2005; García-Palomo y Guerrero-Orozco, 2006).

Por otro lado, el comportamiento estructural y litológico ha generado el desarrollo de diversos patrones de drenaje en esta región. Las principales redes tienen longitudes desde 20 hasta 40 kilómetros y cabeceras extensas que alcanzan las cimas de la sierra, algunos ejemplos son los ríos: Los Sabios, San Jerónimo, La Ladera, San Pedro y La Bufa. Este drenaje está ampliamente desarrollado y forma ramales de cauces con longitudes de 0.5 a 3 km, de tercer y cuarto orden, de régimen perenne e intermitente.

De acuerdo a García-Palomo, et al. (2008); se encuentra en la parte centro y norte del bloque, en donde afloran derrames de lava y rocas piroclásticas del Volcán La Catedral (Figura 5). La concentración de drenaje es alta y de textura fina, con patrones de drenaje dendrítico, recto y angular principalmente; las longitudes de las corrientes de orden superior son largas, hasta de varios kilómetros. En general, las corrientes siguen la pendiente del terreno, que tiene valores entre 12° a 24° y



30° a 45°, pero existen varias zonas con drenaje anómalo debidas a la intersección de fallas y fracturas y a la presencia de estructuras volcánicas que sirven como contrafuerte y desvían las corrientes, como la Sierra de la Muerta y la zona de fallas La Catedral. La dirección predominante es N40°E y de manera subordinada N40°W.

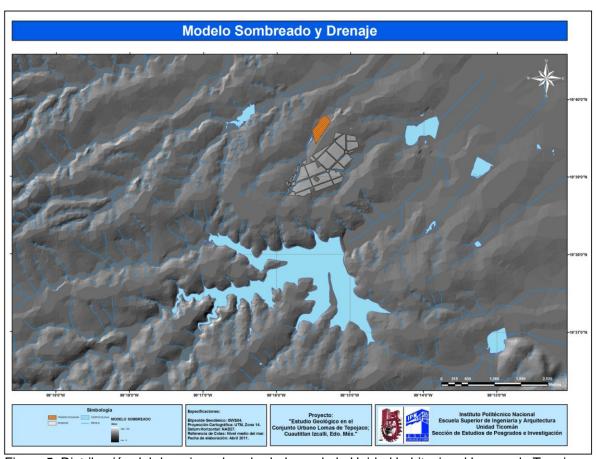


Figura 5. Distribución del drenaje en los alrededores de la Unidad habitacional Lomas de Tepojaco.

Geología Estructural

Mediante el análisis de lineamientos y de las fallas tomadas de la cartografía existente, se desprende que los tres sistemas de morfolineamientos (N-S, NE-SW y E-W) están presentes dentro de la zona de estudio. Por otro lado, se realizó un inventario de los morfolineamientos que sirvió como base para generar el "mapa de densidad", el cual muestra la longitud de morfolineamientos que existen por unidad de área. La mayor densidad de morfolineamientos se localiza cerca de la



zona de estudio debido a que se encuentran los tres principales sistemas de morfolineamientos.

De acuerdo con la integración de la información se tiene un sistema de fallas que se localizan cerca de la zona de estudio con una orientación NE-SW y a continuación se dan algunas de las características generales.

La zona de fallas NE-SW se caracteriza en la Sierra de Las Cruces y pertenece a la zona de cizallamiento Tenochtitlan (de Cserna *et al.*, 1988), que se localiza entre Petatlán, Guerrero, y la porción norte de la cuenca de México. Se trata de una estructura reactivada para la cual se ha documentado que actuó como un sistema de fallas laterales izquierdas durante el Mioceno tardío en la región de Apan, Estado de Hidalgo (García-Palomo, 2002), y posteriormente como fallas normales durante el Pleistoceno, y que han controlado el vulcanismo y deformación desde las inmediaciones de Toluca (García-Palomo *et al.*, 2000; Aguirre-Díaz *et al.*, 2006b; Blatter y Carmichael, 1998) hasta la región de Apan (Ledezma-Guerrero, 1987; García-Palomo, 2002).

En la Sierra de Las Cruces este sistema de fallas presenta un rumbo general entre N45°E a N 65°E (Figura 6 y 7), y también son definidas tendencias N20°E con un arreglo geométrico paralelo y anastomosado. Dentro de este sistema se reconocen varias zonas de fallas importantes, como la que se localiza en la parte norte de la sierra y se denomina zona de fallas de La Catedral, propuesta por García Palomo (2008), la cual define zonas de más de 40 km de longitud, con dirección NNE-SSW y buzamiento hacia el NW, escalonándose en esa misma dirección y formando una geometría de semifosa. Estas fallas cortan a flujos piroclásticos provenientes del volcán La Catedral con una edad de 3.71 ± 0.40 y 2.7 Ma (Osete *et al.*, 2000; Aguirre-Díaz *et al.*, 2006a).





Figura 6. Distribución de los lineamientos dentro de la Unidad Habitacional Lomas de San Francisco Tepojaco.

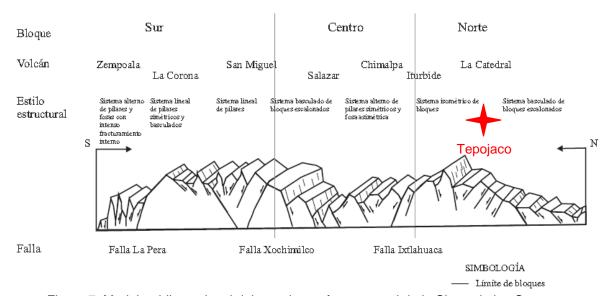


Figura 7. Modelo tridimensional del arreglo morfoestructural de la Sierra de las Cruces y destrucción de los bloques. En cada uno de ellos se identifica el tipo de bloque, su límite estructura (tipo de falla), volcanes y estilo estructural (las líneas punteadas verticales indican el límite entre bloques). Tomado de García-Palomo, et al., 2008.



Análisis del Proyecto

El estudio geomorfológico se ocupara del conocimiento del relieve; utilizando la definición de los "Procesos Geomórficos", definiéndose como aquellos procesos que de alguna manera participan en la modificación del relieve hasta su conformación actual y se manifiestan por sismicidad, volcanismo, magmatismo intrusivo, ruptura de rocas, deformación por plegamiento, intemperismo, erosión y de origen antropogénico. Las formas del relieve son el resultado de la acción de los procesos que modifican y modelan la superficie terrestre.

Para el estudio de agrietamiento y hundimiento se interpreta como el resultado de la compresión de los materiales arcillosos. Los agrietamientos y hundimientos están directamente relacionados con los espesores de arcilla que subyacen en la región. En estos fenómenos, influye la estructura geológica del subsuelo, como derrames de lava, escarpes de falla y otros.

Finalmente se manifiesta como la ruptura del material que compone el subsuelo. Una vez que el subsuelo está roto, la reparación del daño en la infraestructura urbana puede ser difícil, costosa o imposible de realizar dependiendo del grado de afectación. El desarrollo de obras de mitigación debe considerar una evaluación precisa de las condiciones de propagación y del peligro que implica para la infraestructura urbana.

Para el estudio de los taludes, se manejara mediante la definición de "procesos de remoción en masa", los cuales involucran el desplazamiento de distintos tipos de material ladera abajo, por lo que existen diferentes movimientos con una amplia variedad y complejidad. Entre ellos cabe destacar los flujos, caídas, deslizamientos, vuelcos, expansiones laterales y movimientos complejos (Alcántara, 2000). Este tipo de procesos ocurren cuando una ladera se vuelve inestable como resultado de la interacción de una serie de factores en el relieve, esto es, cuando los materiales formadores de ladera (suelo, roca o detritos) se ven



afectados por diferentes cambios, que pueden ser internos o externos. La importancia del estudio de los procesos de ladera está determinada por el impacto que éstos pueden tener en la población. Para apoyar lo mencionado se elaboraron los siguientes mapas:

- Geomorfología general de la zona de estudio.
- Cartografía de los agrietamientos del subsuelo.
- Cartografía de los hundimientos del subsuelo.
- Cartografía, medición y condiciones de los taludes existentes en la zona de estudio.
- Elaboración de columnas estratigráficas de la zona de estudios

También como herramientas de apoyo al final del documento se incluye un anexo en donde se recopilan las cédulas de registro de los diferentes aspectos y la memoria fotográfica, donde con breves descripciones de estas se apoyan parte de los análisis.

- a) Evaluación de sitios por agrietamientos, los datos que se registraron fueron los siguientes:
 - a. Fecha
 - b. Municipio
 - c. Dirección
 - d. Datos generales de grietas o familias de grietas
 - i. Clave ubicación geográfica
 - ii. Coordenadas
 - iii. Rumbo
 - iv. Caída
 - v. Apertura o franja de grieta
 - vi. Curvatura del plano
 - vii. Longitud
 - viii. Desplazamiento vertical



- ix. Desplazamiento lateral
- x. Arreglo de grietas
- e. Observaciones y fotografía.
- b) Evaluación de sitios por hundimientos los datos que se registraron fueron los siguientes:
 - a. Fecha
 - b. Municipio
 - c. Dirección
 - d. Datos generales de hundimientos
 - i. Clave
 - ii. Ubicación geográfica
 - iii. Coordenadas
 - iv. Diámetro máximo
 - v. Diámetros mínimo
 - vi. Profundidad
 - vii. Relleno
 - viii. Tipo de relleno
 - e. Observaciones y fotografía
- c) Tabla de descripción megascópica de rocas (petrología), los datos que se registraron fueron los siguientes:
 - a. Muestra
 - b. Localidad
 - c. Fecha
 - d. Color
 - e. Composición
 - f. Textura
 - g. Tipo de roca
 - h. Observaciones
 - i. Fotografía
- d) Evaluación de sitios por taludes, los datos que se registraron fueron los siguientes:



- a. Fecha
- b. Municipio
- c. Dirección
- d. Coordenadas
- e. Antecedentes
- f. Topografía
 - i. Pendiente
 - ii. Superficie
 - iii. Detalle de la morfología de pendiente
 - 1. Forma de ladera
 - 2. Forma de barranca
 - 3. Observaciones
- g. Procesos de remoción en masa, que son los mecanismos potenciales de falla:
 - i. Deslizamiento
 - ii. Volteo
 - iii. Caída
 - iv. Flujo
 - v. Dirección del movimiento
 - vi. Agentes detonantes
 - vii. Otros
 - viii. Observaciones y fotografía
- e) Valoración de vivienda los datos que se registraron fueron los siguientes:
 - a. Información general
 - b. Aspectos arquitectónicos
 - c. Aspectos estructurales
 - d. Daños estructurales
 - e. Aspectos socioeconómicos



Resultados

En este apartado, se mencionan los resultados de los análisis e interpretaciones de los diferentes planos que se generaron, así mismo, se muestra una imagen, (Figura 8) con el plano de la Unidad San Francisco Tepojaco, en donde se ven los nombres de las calles y avenidas principales así como, la denominación de las manzanas, este plano sirvió como base para las interpretaciones, análisis y la emisión de resultados.

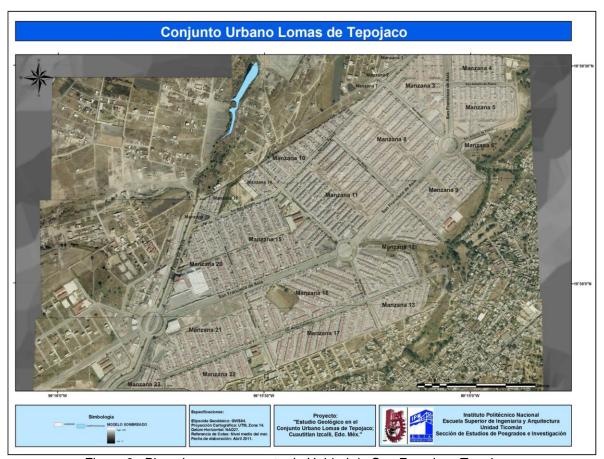


Figura 8. Plano base que muestra la Unidad de San Francisco Tepojaco.

Con base en los planos elaborados y los recorridos de campo, así como, con el respectivo análisis e interpretación, se llego a los siguientes resultados:



Plano de altimetría (Figura 9)

Con base en este plano, se puede observar que la zona de lomas de San Fco. Tepojaco, en términos generales está asentada sobre lomeríos de pendientes suaves, el único desnivel de alta consideración está presente en el terreno que ocupa el "Relleno Sanitario, el cual se ubica al norte de la zona de estudio, la base de dicho terreno se ubica a aproximadamente 50 metros por debajo de las trazas de las primeras calles de lomas de San Francisco Tepojaco, no obstante que actualmente el relleno ya rebasa en altura a estas calles, es de importancia comentar que con respecto al manejo de este relleno y a la infraestructura que posee, no cumple con lo que marca la **NOM – 083 – SEMARNAT – 2004**, y posiblemente pueda provocar alguna molestia a los habitantes cercanos a este, incluyendo problemas de salud.

No obstante que la zona de San Francisco Tepojaco se encuentra en las partes altas del área de estudio, si se pueden llegar a tener problemas, tomando en cuenta que precisamente los elementos climáticos pueden afectar más rápidamente a las zonas más altas, y sobre todo porque la vegetación es demasiado escasa y las calles pavimentadas, pueden acelerar el movimiento de las aguas pluviales al no tener elementos naturales (vegetación que disminuya la velocidad con que se mueve el agua por la superficie), deteriorando la infraestructura tanto de calles como de las viviendas, infiltrándose el agua entre los contactos del terreno natural con los rellenos de tipo antropogénico, lo que ocasiona un deslave y transporte de los materiales de estos rellenos, ya que se presume que, en muchas partes, estos rellenos no fueron compactados adecuadamente o no fueron protegidos con lo mínimo requerido, lo que ocasiona agrietamientos y hundimientos, principalmente en calles, jardines y en un número no despreciable de viviendas.



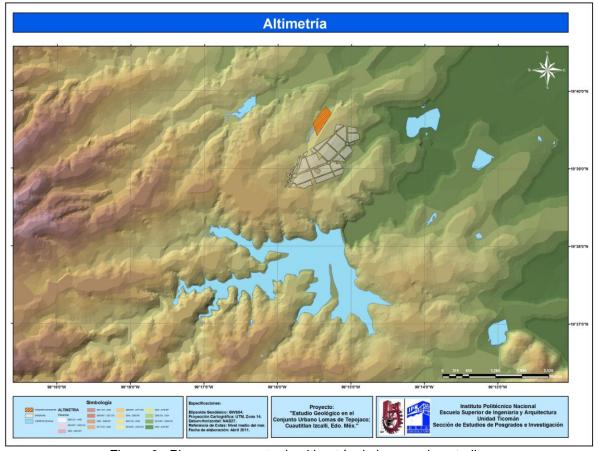


Figura 9. Plano que muestra la altimetría de la zona de estudio.

La unidad se encuentra ubicada entre los 2390 metros sobre el nivel del mar (msmn) y los 2415 msmn aproximadamente, como se ve en el plano altimétrico, esta ubicación con respecto a la altitud representa una particularidad poco riesgosa, pero que combinada con el plano de pendientes y de densidad de drenaje, algunas zonas, pueden llegar a representar un riesgo de moderado a alto riesgo para la ocurrencia de PRM (procesos de remoción en masa).

En el plano de densidad de drenaje (Figura 10) se puede observar para la parte NE de la unidad, que se tiene una densidad de drenaje que va de moderada a media, sin llegar a ser muy intensa como lo muestra el color rojo intenso del plano que comienza en la esquina superior derecha.

Hacia el centro del área en una dirección NE – SW, esta situación de moderada a media en drenaje, podría proveer algunos de los mecanismos para la ocurrencia



de algún PRM, ya que parte de los causes originales fueron ocupados por la infraestructura urbana actual, precisamente en esta zona (Figura 11, llamado "DRENAJE" que muestra el detalle local de los arroyos que corrían por la zona de estudio) (parte SE de la unidad).

Se puede observar un arroyo ya desaparecido que muestra dos bifurcaciones, una atraviesa en su esquina norte a la manzana 9, otro corre en dirección de la zona de amortiguamiento que divide en dos a la manzana 12 en una dirección E – W, para después llegar a la calle de San Francisco de Asís y correr en dirección NE – SW; por otra parte el arroyo principal que corre NE – SW, que precisamente parece delimitar la unidad de San Francisco Tepojaco, de la demás zona urbana al sur de la unidad, en esta figura se puede observar también que, sobre el cauce de este arroyo hay una buena cantidad de viviendas.

Cabe hacer notar que en la parte poniente de la unidad corría un arroyo a lo largo de la calle San Felipe de Jesús el cual tiene una bifurcación en dirección NW – SE, que divide en dos a la manzana 21, y otra bifurcación más al norte que corre de E a W, donde se puede ver claramente su antiguo cauce, actualmente el arroyo principal es un canal de agua residual que corre en dirección NE – SW por la mencionada avenida de san Felipe de Jesús.



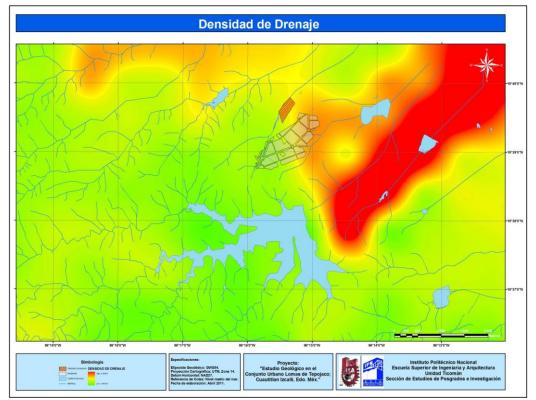


Figura 10. Plano de densidad de drenaje, se puede observar que la densidad de drenaje para la Unidad de San francisco Tepojaco no es muy intensa, solamente algo significativa.

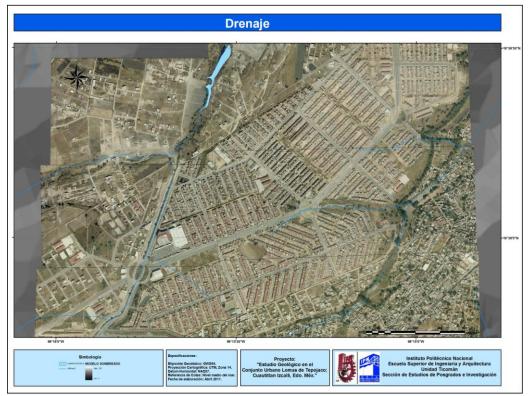


Figura 11. Que muestra los trazos en azul por los que corrían antiguos arroyos de régimen intermitente.



La existencia de infraestructura urbana sobre lo que fueron antiguamente arroyos de régimen intermitente o de régimen perenne, puede proveer uno de los mecanismos que podría dar origen a un PRM, ya que cuando llueve, el agua que empieza a escurrir por la superficie, va reconociendo el cauce que antaño seguía, cuando la zona no había sido urbanizada, dichos arroyos, también obedecen de alguna forma a los patrones de lineamientos de fracturas y fallas existentes en la región, como a continuación se muestra en el plano de densidad de fallamiento

En el plano "DENSIDAD DE FALLAMIENTO", se puede ver una cantidad relativamente grande de lineamientos, con rumbos NE – SW principalmente, asimismo, se puede ver esta tendencia principal en la Roseta 1 de la Figura 12 y 13.

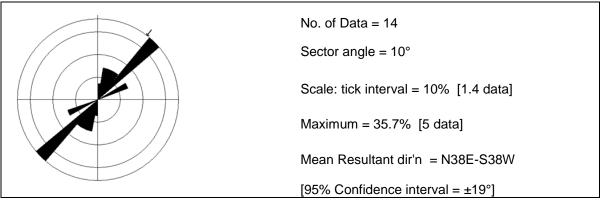


Figura 12. Roseta 1 generada del plano densidad de fallamiento en la que se puede observar la dirección principal de lineamientos.

En el plano llamado "Inventario de peligros por Agrietamientos, Hundimientos y taludes", que muestra los agrietamientos presentes en la unidad San Francisco Tepojaco, también predominan los NE - SW, no obstante, existen algunos con otras orientaciones que varían casi N - S, E - W y otros pocos NW - SE, en la Roseta 2 (Figura 14 y 15) se pueden ver las tendencias principales.



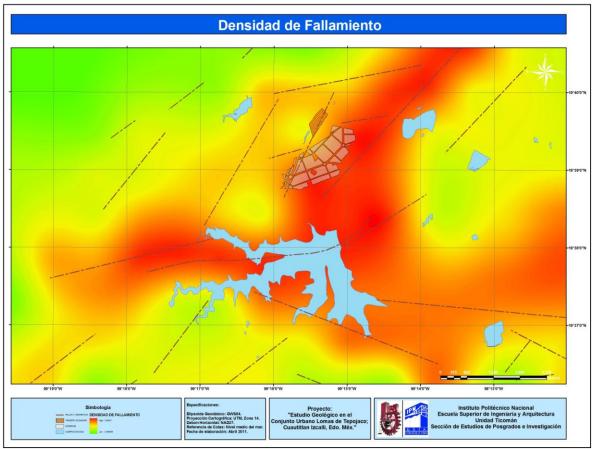


Figura 13. Plano de Densidad de fallamiento, aquí se observan los principales lineamientos de carácter regional, que pueden ser fallas y fracturas semejantes a las mencionadas en el apartado de geología estructural.

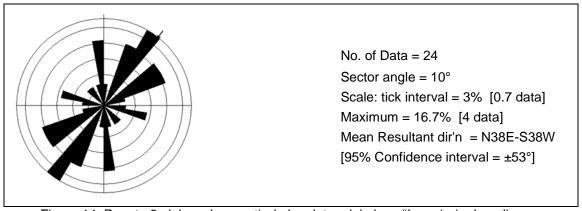


Figura 14. Roseta 2 elaborada a partir de los datos del plano "Inventario de peligros por Agrietamientos, Hundimientos y taludes".

Según las observaciones de campo (Figuras 17A y 17B) y el plano que integra la información de los agrietamientos, se pueden correlacionar con los lugares en donde el espesor de relleno de tipo antropogénico, podría tener espesores importantes, como se esperaría de los terrenos, que de algún modo se ubican en



los perímetros de la unidad, por otra parte también este agrietamiento se puede correlacionar a varias de las vialidades de la unidad. En la manzana 4 se presenta una densidad considerada anómala, ya que en esta manzana se detectaron gran cantidad de agrietamientos en donde predominan los E - W presentando una acumulación de estos en la parte norte de la manzana, y otras fracturas igualmente E – W pero en la zona sur, y en la parte central resalta una parte alta de tal forma que la manzana está ubicada en una especie de hondonada, ubicando la parte más baja en una línea central casi E - W, donde se podría pensar en algún movimiento hacia la parte central, conforme va la pendiente, adicionalmente en la manzana 5 Inmediatamente al sur de la manzana 4, se observa una disposición semicircular de los agrietamientos ya que se puede observar en la parte norte este y sur grietas que van E – W, en la parte norte, NW - SE y NE - SW en la zona oeste de dicha manzana y en la parte sur de la manzana nuevamente agrietamientos E - W , lo que en conjunto da esa apariencia semicircular, lo que de alguna forma se corresponde con la zona donde se asienta esta manzana la cual es una loma con unas pendientes un tanto pronunciadas, siendo la parte central de la manzana la más elevada, esto mismo podría, estar acorde con, la disposición de los rellenos de tipo antropogénico que se llevaron a cabo en la unidad y que presumiblemente, no se realizaron de la manera más adecuada, principalmente en lo que se refiere a la compactación. Para poder comprobar este particular, se tendría que realizar un estudio específico para las zonas que presentan estos problemas, que incluya la perforación geotécnica, con toma de muestras y su posterior análisis de laboratorio de las condiciones físicas y mecánicas de las muestras.

Adicionalmente, en estas manzanas existen una serie de taludes delimitando cada una de las calles los cuales se presentan de forma perpendicular a los agrietamientos mencionados, con respecto a los taludes, en otras manzanas, algunos parecen guardar cierta correlación con algunas de las fracturas cercanas a estas, por ejemplo, al norte de la manzana 15 en un área de recreación, se pueden observar dos agrietamientos que siguen aproximadamente el contorno del



talud, dicho agrietamiento guarda la conformación clásica de un talud con pobre compactación. Por otro lado, en la manzana 23 en la esquina SW de la unidad existe un agrietamiento que igualmente sigue el contorno del talud asociado, nada más que en este se presenta en la parte baja del talud. También se puede observar que la mayor parte de los agrietamientos marcados, se encuentran perpendiculares a los trazos largos de las calles de la unidad, haciendo notar que la mayoría coincide con los lineamientos NE – SW, que predominan en la zona.

Por otra parte, en la roseta 3 (Figura 16), que representa los agrietamientos que se midieron y documentaron en las cédulas de registro de agrietamientos, que incluyen agrietamientos muy pequeños, también muestran esta tendencia NE – SW.

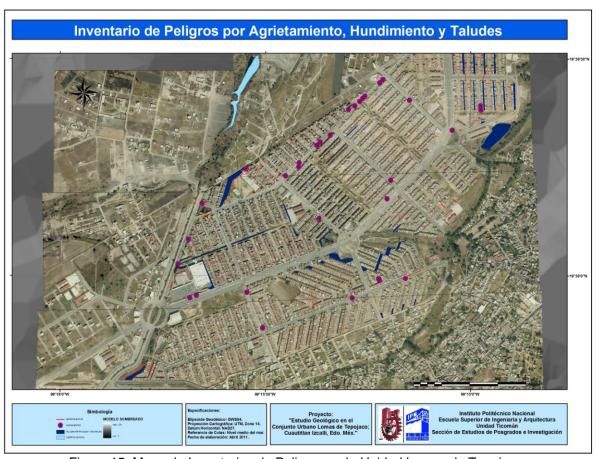
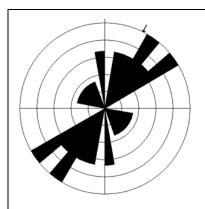


Figura 15. Mapa de Inventarios de Peligros en la Unidad Lomas de Tepojaco.





No. of Data = 20 Sector angle = 10°

Scale: tick interval = 3% [0.6 data]

Maximum = 15% [3 data]

Mean Resultant dir'n = N27E-S27W [95% Confidence interval = ±45°]

Figura 16. Roseta 3 elaborada a partir de los datos recopilados en las cédulas de registro de agrietamientos en la unidad San Francisco Tepojaco.



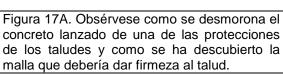




Figura 17B. Fractura miento vertical que afecta el acabado de esta pared

Con respecto a los hundimientos que se muestran en el plano "Inventario de peligro por Agrietamientos, Hundimientos y Taludes" mencionado, se puede observar que casi la totalidad de los hundimientos están, directamente correlacionados al drenaje público y a las principales avenidas de la Unidad habitacional, dichos hundimientos son de un máximo de 13 metros de largo por 6



metros de ancho y hasta medio metro de profundidad, estos hundimientos como se menciona están asociados a los drenajes, y se han magnificado precisamente por la circulación de los autos y camiones del servicio público, no obstante, se puede relacionar también a asentamientos diferenciales debido a compactaciones pobres, se supone que esta infraestructura debería de tener un mantenimiento constante ya que por el uso que se le da es la que se deteriora más rápido. En las fotos No. Se pueden observar que estos hundimientos no solo se presentan en los cruces de calles fotos sino también entre los tramos largos de las calles como se observa en las Figuras 18A, 18B, 18C y 18D.



Figura 18A. Hundimiento que se presenta entre la acera y la vialidad.



Figura 18B. Vivienda que presenta visibles deterioros traducidos en agrietamientos, filtraciones de humedad y separación entre las viviendas.



Figura 18C. Hundimiento que se generó, a partir de un agrietamiento en esta avenida, incrementado por la acción del tránsito vehicular.



Agrietamiento transversal a una vialidad, sin razón aparente, sin embargo, su orientación coincide con los lineamientos determinados.



En el plano "Inventario de peligro por Agrietamientos, Hundimientos y Taludes" se observa que la Avenida San Juan Bautista es la más afectada por la ocurrencia de hundimientos, las calles de San Felipe de Jesús, San Martin Caballero y San Francisco de Asís también presentan algunas afectaciones aunque en menor medida (Figuras 21A y 21B).

En el plano de orientacion de laderas (Figura 19 y 20), se puede observar para la unidad de San Francisco Tepojaco, que la ladera mas expuesta a los elementos naturales es la ladera sureste que se encuentra coloreada de verde fosforecente, en el histograma se puede ver el analisis realizado a la zona y nos muestra precisamente la relevancia que muestra este color con el valor mas alto.

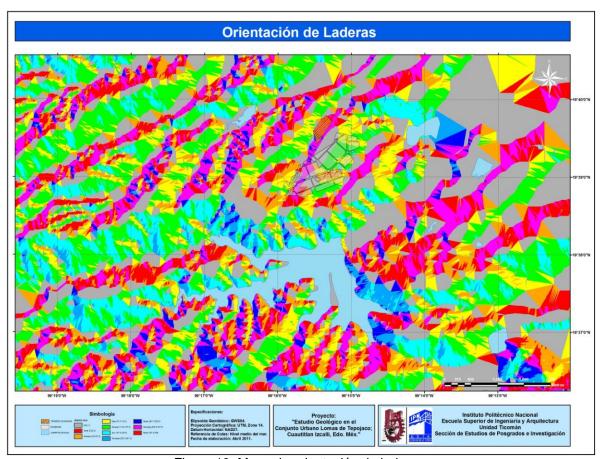


Figura 19. Mapa de orientación de laderas.



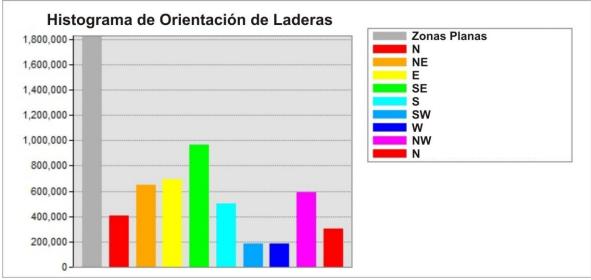
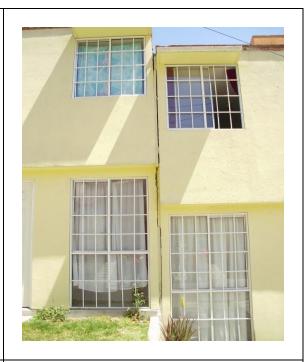


Figura 20. Grafica de orientación de laderas, la dirección preferencial de exposición de laderas es hacia el SE.



Figura 21A. Detalle que muestra agrietamientos en el frente del talud, así como, la socavación del material lo que ha formado un hueco importante.



Debido a probables asentamientos diferenciales, se ha provocado la separación de las paredes colindantes de estas viviendas.

El plano de pendientes (Figura 22) muestra para el área de la Unidad San Francisco Tepojaco, pendientes entre los cero grados y seis grados, lo cual ubica a la unidad en pendientes de planas a bajas, lo que hace por un lado que el riesgo por deslizamiento o la ocurrencia de un PRM sea poco probable, no obstante la



conjugación de diversas características morfológicas y por la ocurrencia de copiosas precipitaciones podría ocasionar algún PRM.

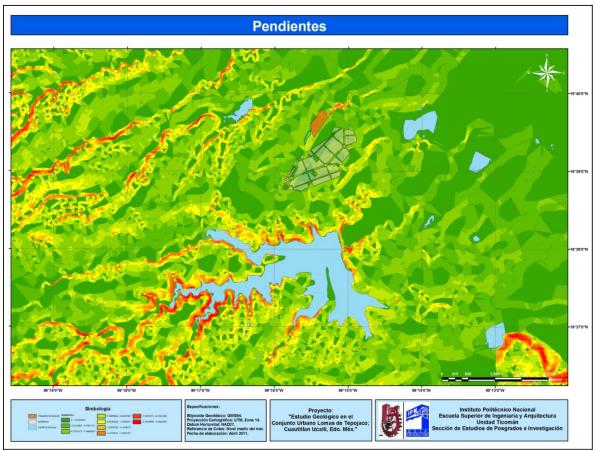


Figura 22. Plano de pendientes, en este plano se puede observar que el área de estudio no se encuentra entre pendientes muy pronunciadas.

Daños en las Viviendas

Con base en el levantamiento de daños que presentan las viviendas lo cual se documenta en la cedulas de valoración de viviendas, se encontraron diversos daños en las viviendas, se documentaron los daños de 33 viviendas que se eligieron de entre las que tenían más daños visibles, los daños mas comunes son el agrietamiento clásico a 45 grados en muros, clásicos ocasionados por la pérdida de estabilidad del piso al sufrir asentamientos diferenciales, lo que ocasiona entre otras cosas separación de muros entre limites de casas, otros daños son las filtraciones entre las uniones de losas y a través de ellas, en las cedulas también se documenta que en las viviendas donde se han realizado



ampliaciones se presentan igualmente deterioros relacionados a asentamientos diferenciales, por otra parte también en muchas viviendas se presentan daños como desmoronamientos en losas, muros y trabes, lo que indica baja calidad de materiales, también se presentan agrietamientos en pisos y patios, por otra parte hay una cantidad importante de viviendas que sufren encharcamientos en temporadas de lluvias ya que los drenes programados resultan insuficientes, lo que ha motivado a algunas personas a modificar los drenes o implementar algunas soluciones para sus viviendas lo que en ocasiones agravan los encharcamientos a otras viviendas, por otro lado, hay un número importante de viviendas que han perdido la horizontalidad aunque no presentan deterioros muy visibles, tal vez porque se han realizado algún tipo de reparaciones.

En las Figuras 23A, 23B, 23C y 23D, se ilustran los deterioros que se mencionan en los párrafos anteriores.







Figura 23A. Serie de fracturas reparadas, ocasionadas probablemente por asentamientos diferenciales y deslizamiento.

Figura 23B. Suelo fracturado por posibles hundimientos y deslizamiento asociado.





Figuras 23C y 23D. Hundimiento de una vialidad asociado a la formación primaria de fracturas.

D



Discusión

Con base en las características estructurales, los deterioros y el tiempo que ha corrido desde que se empezó a habitar la unidad San Francisco Tepojaco, así como, las características geomorfológicas de la zona se pueden determinar las causas que rigen los desperfectos que se presentan en dicha unidad.

Como primer punto se presentan diversas afectaciones en las viviendas, traducidas en, fracturamientos en paredes, losas de techos y pisos, estos fracturamientos sobre todo en las paredes, forman ángulos de 45 grados con respecto a la horizontal y vertical, lo que se relaciona a asentamientos de tipo diferencial en el suelo que yace debajo de las cimentaciones, cabe mencionar que la mayoría de las cimentaciones son de zapatas corridas, lo que exige para que funcionen que el terreno tenga una compactación mayor al 90 % de la prueba proctor estándar.

En segundo lugar están las filtraciones de agua en los techos y juntas entre muros adyacentes entre vivienda y vivienda, que presentan un gran número de casas, cuyos efectos se maximizan cada temporada de lluvias, lo que ha orillado a un número no despreciable de vecinos a emigrar a otros lugares, mediante el traspaso o la venta de sus viviendas.

El tercer punto, lo aporta, el visible desmoronamiento que se presenta en los techos de algunas viviendas, los cuales se presentan generalmente en las partes salientes de los techos, también se presentan en trabes y castillos, muy frecuentemente cuando son de muros de concreto, lo que nos indica la baja calidad de los materiales con que fueron construidos o que no se efectuaron las mezclas adecuadas de los materiales, este tipo de características, hace a los materiales ser más susceptibles a la acción erosiva de los elementos naturales principalmente el aqua de lluvia.



En cuarto lugar, la totalidad de las casas o casi la totalidad de las casas, fueron vendidas con opción de ampliaciones para dos, tres y hasta cuatro recamaras, para que las viviendas pudiesen tener un mayor espacio, con respecto a este particular, algunas fueron planificadas para realizar ampliaciones hacia arriba y otras viviendas para crecer hacia los lados, precisamente, con base en el levantamiento de evaluación de las viviendas, se detecto que las viviendas que fueron ampliadas sufrieron deterioros semejantes a los que se han mencionado, sobre todo en las viviendas que se han ampliado hacia un costado, probablemente y debido a que se siguen esquemas diferentes de construcción a los que originalmente se construyeron estas ampliaciones en poco tiempo empiezan a presentar deterioros, principalmente como fracturas a 45 grados en las paredes techos y pisos, indicativo de asentamientos diferenciales ocasionados generalmente en la unidad por compactaciones no adecuadas en los terrenos.

Por otro lado, considerando los rasgos geomorfológicos del área de estudio, la unidad Habitacional San Francisco Tepojaco, está regida por estos, presenta alineamientos NE – SW, traducidos en fracturas, drenajes, laderas y pendientes, con otros rasgos en menor medida con orientaciones NW – SE. Como se puede observar en los diferentes planos, se menciona que estos rasgos geomorfológicos, de manera individual no son significativos para activar algún PRM, no obstante la combinación de dos o más de estos factores podría dar origen a algún PRM, dichos factores podrían verse acelerados por otro factor de tipo climatológico, representado por las precipitaciones pluviales, el agua seria el elemento que podría conjugar varios factores que derivaran en la ocurrencia de un PRM.



Conclusiones

La unidad San Francisco Tepojaco, presenta deterioros en viviendas, calles, taludes, en muros de contención, en las bardas de escuelas, jardines. Si tomamos en cuenta que la unidad tiene poco menos de diez años de haber sido construida, y que los primeros desperfectos se presentaron en los primeros dos años, habla de la ocurrencia de anomalías de diferente tipo y origen.

Según las observaciones, la documentación y la recopilación de datos, los deterioros en la Unidad de San Francisco Tepojaco, se deben a:

- Compactaciones pobres de los rellenos de tipo antropogénico, sobre todo en donde los rellenos tienen espesores máximos (hasta de 6 metros).
- La tal vez, nula planeación de la infraestructura con respecto a los rasgos geomórficos para evitar la posible ocurrencia de PRM, o la minimización de estos, por ejemplo la invasión de antiguos cauces de arroyos, el relleno de laderas, para ampliar el área de cimentaciones, etc.
- Los estudios realizados de mecánica de suelos o geotécnicos, se presume que no se siguieron las recomendaciones técnicas para la conformación de áreas de cimentación tanto para viviendas como para calles y avenidas, sobre todo en la compactación adecuada de estos rellenos.
- La mala calidad de los materiales empleados en la construcción de las viviendas, calles, taludes y muros de contención.
- Con respecto a los muros de contención, algunos presentan inclinaciones, separaciones y fracturas, muchos han sido remozados, mediante la aplicación directa de mezclas de cemento y arena, lo que en parte dificulto la evaluación de estos.



- Existen taludes que presentan deterioros en los frentes expuestos, consistentes en la perdida por acción de las aguas de las mallas de contención y concreto lanzado, la carencia de tubos de drenes para desalojar el agua que se infiltra y que satura los taludes y altera la consistencia del concreto lanzado.
- Las labores de mantenimiento han sido prácticamente nulas, como se puede observar en las avenidas que presentan fracturamientos y hundimientos.
- El deterioro de la infraestructura de la Unidad de San Francisco Tepojaco, presumiblemente tiene su origen principalmente en las obras de tipo antropogénico, las cuales no fueron ejecutadas eficazmente, ni tomando en cuenta los rasgos y características geomorfológicas, ya que los diseños debieron tomar en cuenta estos rasgos, principalmente para proteger la infraestructura de los agentes erosivos (agua, viento).
- Los estudios que se hicieron en el área de la Unidad San Francisco Tepojaco, junto con los análisis cartográficos de la geomorfología, de ninguna manera son conclusivos, ya que para poder afirmar tácitamente una causa u otra, se tendría que realizar un estudio geotécnico y de mecánica de suelos que incluya la perforación y toma de muestras en sitios estratégicos, para determinar las propiedades mecánicas de los rellenos de tipo antropogénico, sin embargo, los datos que resultaron de los recorridos de campo, las evaluaciones de los diferentes aspectos geomórficos y la documentación fotográfica, son pruebas fehacientes de las anomalías en la Unidad San Francisco Tepojaco.



Recomendaciones

Las medidas que se deben tomar, tienen que emanar, de análisis que provengan del conocimiento geotécnico y aplicado al diseño constructivo de corrección específico para cada una de las viviendas afectadas y la demás infraestructura afectada, dichas medidas correctivas pueden resultar en el terreno económico bastante onerosas, y en la viabilidad técnica, seguramente con cierto grado de dificultad para su ejecución.

Con la realización de un estudio como el que se menciona en el párrafo anterior, se podría determinar la responsabilidad de alguna de las partes involucradas y se podrían realizar diferentes propuestas para solucionar esta problemática, que involucra a la comunidad de San Francisco Tepojaco, a las Autoridades Municipales de Desarrollo Urbano y a la Compañía Constructora.

En el anexo fotográfico se pueden observar imágenes que muestran los deterioros de las viviendas y de las calles y avenidas de la Unidad.

Se recomienda que, se atienda la problemática a partir de la base del estudio mencionado, y que se vayan corrigiendo los deterioros más importantes como medida preventiva para evitar la ocurrencia de alguna tragedia que pudiese derivar en pérdidas humanas y económicas mayores. Tal vez la formación de un fondo en el que participen los tres sectores involucrados pueda lograr la solución a mediano plazo.



Bibliografía

- Aguayo-Camargo, J. E.; Marín-Córdova, S.; Sánchez-Díaz, F.; 1990; Evolución Geológica de la Cuenca de México, en Tópicos Geológicos de la Cuenca de México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.
- Aguirre-Díaz, G., López-Martínez, M., Rendón-Marquéz, G., 2006a, La Caldera de La Catedral, Sierra de Las Cruces, una caldera al norponiente de la Ciudad de México (resumen), en Reunión Anual de la Unión Geofísica Mexicana, Puerto Vallarta, Jal.: Geos, 26, p.215.
- Aguirre-Díaz, G.J., Jaimes-Viera, M.C., Nieto-Obregón, J., 2006b, The Valle de Bravo Volcanic Field: Geology and geomorphometric parameters of a Quaternary monogenetic fi eld at the front of the Mexican Volcanic Belt, en Siebe, C., Macías, J.L., Aguirre-Díaz, G.J. (eds.), Neogene-Quaternary Continental Margin Volcanism: A perspective from Mexico: Geological Society of America, Special Paper 402, 139-154.
- Alaniz-Álvarez, S., Nieto-Samaniego, A.F., 2005, El sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende y la Faja Volcánica Transmexicana, dos fronteras tectónicas del centro de México activas durante el Cenozoico: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo del Centenario, 57(1), 65-82.
- Alcántara-Ayala, Irasema; 2000; Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología; investigaciones Geográficas, Boletín del instituto de Geografía, UNAM; Núm. 41.
- ➢ Blatter, D.L., Carmichael, I.S.E., 1998, Hornblende peridotite xenoliths from Central Mexico reveal the highly oxidized nature of subarc upper mantle: Geology, 26, 1035-1038.
- Cas, R.A.F. y Wright, J.V., 1987. Volcanic successions: Modern and Ancient. Unwin Hyman, Londres, 528 pp.
- > Catt, J.A., 1991. Paleopedology manual Quaternary International. INQUA. Pergamon Press.



- De Cserna, Z., de la Fuente, M., Palacios, M., Triay, I., Mitre, M., Mota, R.,
- Estudios-Suelos-Pavimentos-Concretos (ESPYC); 2000(?); Estudio de Mecánica de suelos y diseño de pavimentos para el conjunto urbano Lomas de San Francisco Tepojaco ubicado en Cuautitlan Izcalli, Estado de México: Informe Técnico.
- Fries, C., 1960, Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero. Región central meridional de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín, 60, 236.
- García-Palomo A., Valerio, V. C., López, M. C., Galván, G. A., Concha-Dimas, H, 2006b, Landslides inventory map of Sierra de Guadalupe, North of Mexico Basin: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 58(2), 195-204.
- García-Palomo, A., 2002, Vulcanismo y Geología Estructural de la Región de Apan Estado de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y México: México D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, tesis doctoral, 181 p.
- García-Palomo, A., Guerrero-Orozco, L. M, 2006, La zona de falla Tula-Mixhuca, una estructura importante dentro de la Cuenca de México (resumen), en Reunión Anual de la Unión Geofísica Mexicana 26. Geos, Puerto Vallarta, Jalisco, México, 215.
- García-Palomo, A., Macias, J.L., Garduño, V.H., 2000, Miocene to Recent structural evolution of Nevado de Toluca Volcano Region, Central México: Tectonophysics, 318, 218-302.
- García-Palomo, et al.; 2008; El arreglo morfoestructural de la Sierra de Las Cruces, México central; Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 25; No. 1; p. 158-178.
- Gunn, B.M., Mooser, F., 1970, Geochemistry of the volcanics of Central Mexico: Bulletin of Volcanology, 34, 577-616.
- Gutiérrez-Palomares, I., 2005, La ignimbrita San Miguel Cañadas, Tepozotlan, Estado de México, y su relación con la Caldera La Muerta:



- México D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, tesis de licenciatura, 77 p.
- ➤ Holmes, A.; 1920; **The nomenclature of petrology**; T. Murby; Londres; p. 824.
- Jacobo-Albarrán, J.J., 1985, Estudio petrogenético de las rocas ígneas de la porción central del Eje Neovolcánico: México, D. F., Instituto Mexicano del Petróleo, Subdirección de Tecnología de Exploración, Reporte Interno, 47 p.
- ➤ Ledezma-Guerrero, O., 1987, Hoja Calpulalpan 14Q-h (3) con Resumen de la Geología de la Hoja Calpulalpan, Edos de México, Puebla, Tlaxcala e Hidalgo: México D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Carta Geológica de México, serie 1:100,000, 1 mapa con texto.
- Martina, Federico; 2004; INTRODUCCIÓN LAS ROCAS PIROCLÁSTICAS; Anexo I.
- Mazzoni, M.; 1986; Procesos y depósitos piroclásticos; Asoc. Geol. Arg.; Publicación Especial; Serie "B"; N° 14; p. 115.
- Mejía, V., Böhnel, H., Opdyke, N.D., Ortega-Rivera, M.A., Lee, J.K.W., Aranda-Gómez, J. J., 2005, Paleosecular variation and time-averaged fi eld recorded in late Pliocene-Holocene lava flows from Mexico: Geochemistry Geophysics Geosystems, 6, 1-19.
- Mooser F. et, al.; 1996; Nuevo mapa geológico de las Cuencas de México, Toluca y Puebla. México: Comisión Federal de Electricidad.
- Mooser, F, 1992, Nuevo mapa geológico del sur-poniente del valle de México. Experiencias Geotérmicas en la zona poniente del Valle de México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, 1-6 p.
- Mooser, F., Nair, A.E.M., Negendank, J.F.W., 1974, Paleomagnetic investigations of Tertiary and Quaternary igneous rocks; VII, A paleomegnetic and petrologic study of volcanics of the Valley of Mexico: Geologische Rundschau, 63, 451-483 y mapa geológico.



- Mooser, F., White S.E., Lorenzo, J.L., 1956, La Cuenca de México. Consideraciones Geológicas y arqueológicas: México, D.F., Instituto Nacional de Antropología e Historia, 51 p.
- Mora-Álvarez, G., Caballero, C., Urrutia-Fucugauchi, J., Uchiumi, S., 1991, Southward migration of continental volcanic activity in the Sierra de Las Cruces, basin of Mexico? A preliminary K-Ar dating and paleomagnetic study: Geofísica Internacional 30 (2), 61-70.
- Norma Oficial Mexicana; NOM-083-SEMARNAT-2003; Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.
- ➤ Osete, M.L., Ruiz-Martínez, V.C., Caballero, C., Galindo, C., Urrutia-Fucugauchi, J., Tarling, D.H., 2000, Southward migration of continental volcanic activity in the Sierra de Las Cruces, Mexico: paleomagnetic and radiometric evidence: Tectonophysics, 318, 201-215.
- Osete, M.L., Ruiz-Martínez, V.C., Caballero, C., Galindo, C., Urrutia-Fucugauchi, J., Tarling, D.H., 2000, Southward migration of continental volcanic activity in the Sierra de Las Cruces, Mexico: paleomagnetic and radiometric evidence: Tectonophysics, 318, 201-215.
- Romero-Terán, E, 2001, Geología del Complejo Volcánico San Miguel al sur-poniente de la Cuenca de México: México D.F. Universidad Nacional Autónoma de México Posgrado en Ciencias de la Tierra, tesis de maestría, 63 p.
- ➤ Ruhe, R.V., 1965. **Quternary paleopedology. En: The quternary of the United States**. Ed: Wright, H.E. y Frey D.G. Princeton University Press. 755 764.
- Santoyo-Villa, et al.; 2005; Síntesis Geotécnica de la Cuenca del Valle de México; TGC Geotecnia S.A. de C.V.
- Servicio Geológico Metropolitano, 2005, Mapa de Peligros Geológicos del Distrito Federal, Procesos de Remoción en Masa y Sismicidad.



- **Avances 2005**: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Gobierno del Distrito Federal, Dirección General de Protección Civil.
- Sheridan, M.F., 1979. Emplasament of pyroclastic flows: a review. En Chapin, C.E. y Elston, W.E. (Eds.): Ash flow tuffs. Geol. Soc. Am. Bull. Spec. Paper 180: 125-136.
- Spalletti y D'Elia; (?); Rocas Piroclásticas y Sedimentación en Ambientes Volcánicos; Presentacion.
- > Sparks, R.S. y Walker, G.P.L.; 1973; The ground surge deposits: a third type of pyroclastic rocks; Nature phys. Sci.; 241: 62-64.
- > Sparks, R.S. y Wilson, L.; 1976; A model for the formation of ignimbrites by gravitational column collapse; J Geol. Soc Lond.; 132; p. 441-452.
- ➤ Sparks, R.S., 1978. **Gas** realease ratefrom pyroclastic flow: a assessment of the role of fluidisation in their emplacement. Bull. Volc., 41: 1-9.
- > Sparks, R.S.; 1976; Grain size variations in ignimbrites and implications for the transport of pyroclastic flow; Sedimentology; 23:147-188.
- ➤ Ui, T., 1973. Exceptionally far-reaching, thin pyroclastic flow in southern Japan. Bull. volc. Soc. Japan 18: 353.
- Walker, G.P.L.; Heming, R.F. y Wilson, C.J.N.; 1980a; Low-aspect ratio ignimbrites; Nature 283; p. 286-287.
- Wright, J.V. y Walker, G.P.L.; 1981; Eruption, transport and deposition of ignimbrite: a case study from Mexico; J. Volc. Geot.; Res 9; p. 111-131.
- www.googleearth.com
- Yaalon, D.H., 1971. Soil forming processes in time and space. En: Paleopedology. Origin, nature and dating of paleosols. Ed: Yaalon, D.H. International Society of Soil Science and Israel Universities Press, Jerusalem.



