

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA



**“ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR HUNDIMIENTO Y AGRIETAMIENTO AL
NOROESTE DE LA DELEGACIÓN TLÁHUAC, DISTRITO FEDERAL”.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADA EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

GRISELDA BERENICE HERNÁNDEZ CRUZ

ASESOR:

DR. JOSÉ I. LUGO HUBP

CIUDAD UNIVERSITARIA SEPTIEMBRE, 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos.

Había una vez un sueño en mente, una ilusión que se trabajó y un proyecto ya terminado que requirió de varios personajes para que pudiera concretarse.

Se necesitó de una mamá muy entregada a la vocación, que sin ella las cosas simplemente, serían “cosas”. De un hermano que de una forma no muy ortodoxa brindó apoyo en muchas ocasiones.

Los amigos también fueron imprescindibles en este proyecto, desde los conocidos aquel Octubre del 2001 en un grupo llamado 0021, que aligeraron por varios años las clases y las salidas de campo. Los llamados Miguel Guillén y Ramón Ramírez, que junto con Pedro Montes y Nayeli Zuñiga se involucraron en el trabajo de campo. Hasta los grandes amigos contemporáneos del Instituto de Geología y Geografía que siempre fueron constantes en su apoyo. El súper amigo Paco Mejía que ha sido un personaje importante en este logro, al igual que la mejor Geógrafa que he conocido Mónica Vera Pérez que sin su conocimiento en la tecnología no se hubiesen podido hacer varias páginas de este producto.

No podía faltar el novio maravilloso, gran amigo y un prometedor esposo que sin duda alguna hizo de este trabajo algo realmente valioso. Por tantos y tantos aportes en este escrito, por todos los pasos dados en el trabajo de campo, ahora él ya tiene la visión de un buen Geógrafo. Paco, te amo.

No podemos dejar de mencionar a los cinco fantásticos que le dieron un toque científico a este propósito. Sergio Yussim, Alberto Pérez, Jaime Morales, Jorge López y José Lugo. No sólo fue valioso su tiempo, sus contribuciones fueron el apoyo necesario para cerrar este ciclo.

Especialmente quiero mencionar a un personaje muy querido, Dr. José Lugo Hubp, fue un verdadero placer haberlo tenido en este espacio, no solo por su asesoría en el trabajo escrito y de campo, ni por sus aportes científicos, no tan científicos y económicos. Sino porque el día de hoy cuento con su amistad que para mí ha sido invaluable, gracias!

Y al final de esta historia, doy gracias al motor que ha dado la pauta para que este gran suceso se desarrollara, LA VIDA...

***“...Si puedes soñarlo,
Puedes hacerlo...”***

No podían faltar los agradecimientos diplomáticos, así que...

Gracias al Sr. Pedro Hernández Vázquez por el apoyo económico en este tiempo, que si bien no ha sido constante, si ha sido oportuno.

Gracias a la Dirección General de Protección Civil que a través del Servicio Geológico Metropolitano en un período de aproximadamente un año (2005-2006) brindó parte del apoyo económico y el material para las salidas de campo de este trabajo.

Septiembre, 2007.

**ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR HUNDIMIENTO Y AGRIETAMIENTO AL
NOROESTE DE LA DELEGACIÓN TLAHUAC, DISTRITO FEDERAL.**

ÍNDICE	Páginas
Introducción y planteamiento del problema	5
Capítulo I. Generalidades	
Localización	15
Geomorfología general	19
Hidrografía	21
Clima	22
Geología	23
Geología local	27
Principales problemas urbanos	29
Capítulo II. Antecedentes	
Época prehispánica	31
Época colonial y hasta el siglo XIX	34

Época actual. Siglo XX y XXI	37
Capítulo III. Riesgos geológicos: Hundimiento y agrietamiento	
Conceptos generales	40
Características del hundimiento	45
Características del agrietamiento	51
Capítulo IV. Zonificación de riesgos por hundimiento y agrietamiento al noroeste de la delegación Tláhuac	
Mapas de riesgo	60
Tipos de mapas de riesgo	61
Mapa de amenaza	62
Mapa de vulnerabilidad	67
Mapa de riesgo	72
Consideraciones finales	78
Recomendaciones	83
Bibliografía	85

INTRODUCCIÓN

La Ciudad de México se construyó sobre las ruinas de Tenochtitlán, a partir de la conquista en 1521, en lo que hoy día es el Centro Histórico. A lo largo del tiempo la zona urbana fue creciendo, simultáneamente con la desecación de los lagos que la rodeaban por obras de ingeniería hidráulica.

A principios del siglo XX se reconoció que la ciudad se hundía, y cinco décadas después quedó demostrado que el fenómeno se debía a la extracción de agua del subsuelo (Mazari, 1990).

La ciudad siguió creciendo sobre la planicie lacustre, y así como se prohibió el bombeo en la zona central, se autorizó la extracción de agua en otros lugares. En los últimos 30 años del siglo XX el crecimiento urbano fue mayor, en particular en la planicie lacustre del sur y oriente, correspondiente a los ex lagos de Xochimilco, Chalco y Texcoco, lo que se acompañó del incremento de extracción de agua del subsuelo en el oriente del Distrito Federal y la zona contigua del Estado de México; hacia Chalco.

El hundimiento y la formación de grietas se presentan en numerosas localidades de la cuenca de México; en campos de cultivo, terrenos baldíos y zona urbana. En esta tesis se estudió una porción de la Delegación Tláhuac del Distrito Federal, donde el problema fue registrado por Riquelme en 1974, cuando ya eran conocidos casos similares en diversas zonas de la Ciudad de México. Más de treinta años después, el fenómeno de hundimiento y agrietamiento continúa y es el motivo general de este estudio el origen del proceso, la dinámica actual del mismo y las afectaciones a la población.

La tesis se enfocó a diversas disciplinas geográficas, principalmente la geomorfología antrópica. La cual, se refiere a la modificación del relieve por la actividad humana: directa e inducida. Se complementa con otras disciplinas como la geografía física y humana, además de la geología.

Objetivo

Estudiar en la porción noroccidental de la Delegación Tláhuac:

- Las características de las grietas y la deformación producida.
- Los daños que provocan en la infraestructura civil.
- El origen del proceso y su dinámica actual.
- El proceso con relación a factores sociales y económicos.

Hipótesis

En el área de estudio hay un proceso permanente de hundimiento de origen lacustre, el mismo que se produce con velocidades diversas, debido a la estructura del subsuelo, que se manifiesta en el relieve con afectaciones a las obras civiles (calles, casas, terrenos baldíos). El estudio del relieve, en su forma, y la velocidad de los movimientos, permiten definir y jerarquizar las localidades de mayor peligro y riesgo a corto plazo respecto al desarrollo de grietas y su hundimiento.

Justificación

Aunque hay numerosas publicaciones sobre hundimiento y formación de grietas en la Cuenca de México, son escasas las que se refieren a la Delegación Tláhuac. A la fecha no se cuenta con un estudio básico. La investigación que se presenta es importante, en primer lugar, porque pretende ser una contribución al conocimiento del problema de desarrollo de grietas en la zona metropolitana, también un caso de geomorfología antrópica de interés mundial, y tiene aplicación práctica al ser de utilidad para autoridades del Gobierno del Distrito Federal, delegacionales y de protección civil.

Marco teórico

El tema a desarrollar se resume en cuatro puntos principales, con relación estrecha:

1. Localización de la zona en estudio en el marco regional: La Cuenca de México, sus rasgos físico geográficos y geológicos principales.
2. La zona de estudio situada en la planicie lacustre. Aspectos principales de sus rasgos físicos, geográficos, humanos y geológicos.
3. Principios teóricos sobre los procesos de hundimiento y formación de grietas.
4. Análisis de los conceptos de riesgo, mapa de riesgo, daño, población afectada y su aplicación en este estudio.

La Cuenca de México.

Durante el Plioceno y el Cuaternario tiene lugar una gran actividad volcánica a través de la República Mexicana, aproximadamente entre los paralelos 19º y 21º de latitud Norte, desde las costas de Nayarit y Colima y hasta las de Veracruz, donde se forma la provincia del Eje Neovolcánico, conocido también como Cinturón Volcánico, Faja Volcánica Transmexicana, Sistema Volcánico Transversal y otras. En esta tesis se utiliza el término Eje Neovolcánico por ser el término más utilizado en estudios geomorfológicos. La Cuenca de México es una unidad geológico-geomorfológica que forma parte de la provincia mencionada.

En la Cuenca de México hubo actividad volcánica desde el Oligoceno, pero fue a partir del Plioceno que se forma el relieve actual de los conjuntos de montañas que la delimitan: las Sierras de Las Cruces, Monte Alto y Tepozotlán por el occidente, de Tezontlalpan por el noroccidente, de Pachuca al norte, de Calpulalpan al nororiente y las más elevadas de Río Frío y Nevada por el oriente.

El volcanismo continuó a lo largo del Cuaternario, proceso activo en nuestros días, lo que condujo al crecimiento de los principales conjuntos montañosos, pero especialmente a la formación de las elevaciones del sur de la cuenca, entre los volcanes compuestos Popocatépetl (suroriente) y Ajusco (suroccidente). Estos conjuntos consisten en cerca de trescientos conos volcánicos monogenéticos, principalmente cineríticos y sus depósitos asociados de lavas y piroclastos, surgidos en los últimos 50,000 años (Pleistoceno tardío-

Holoceno). Representados por la Formación Chichinautzin y se expone en la sierra del mismo nombre (Martín del Pozzo, 1981).

En una etapa del Cuaternario, todavía no establecida, se cerró el desagüe de ríos y arroyos que escurrían de norte a sur, mismos que formaban parte de la cuenca hidrológica del río Balsas. Surgió así, una presa natural, misma que hace cinco siglos estaba integrada por los lagos de Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Xochimilco y Chalco.

A la llegada de los conquistadores a Tenochtitlán, las riberas de los lagos estaban ocupadas por numerosos pueblos y la ciudad principal se levantaba en islotes y penínsulas del lago en el actual Centro Histórico. Las construcciones de La ciudad de Tenochtitlán, así como las calzadas que atravesaban el lago, y las chinampas, fueron modificaciones humanas notables al relieve y consecuentemente los procesos de la morfogénesis en una localidad de la Cuenca de México.

A partir de la conquista de Tenochtitlán en 1521 se inicia otra etapa de transformación del relieve. Graves inundaciones, verdaderos desastres, ocurrieron en la época temprana de la Colonia, y llevaron a otra modificación fundamental del relieve: la expulsión del agua del lago sobre el cual crecía la ciudad, hacia el río Tula, perteneciente al sistema hidrológico Moctezuma Pánuco. Las obras de la Colonia se reforzaron en el siglo XIX con la construcción del Gran Canal del Desagüe y en la segunda mitad del siglo XX con la obra del Drenaje Profundo.

También hubo etapas de desecación de los lagos. A principios del siglo XX fue afectado el lago de Texcoco y en los últimos 50 años se ha reducido de manera notable la superficie de los lagos de Zumpango, Texcoco, Chalco y Xochimilco. Este fenómeno se ha acompañado de urbanización, lo que en la ciudad, capital del país, se define como zona metropolitana o megaciudad, una aglomeración de numerosas poblaciones. Está claro que los problemas de la zona

metropolitana de la ciudad de México crecen en la medida que lo hace la población.

La zona de estudio.

La Delegación Tláhuac ocupa una superficie de 899 km², se ubica en la zona suroriente del Distrito Federal. Colinda al norte y noreste con la Delegación Iztapalapa, al oriente con el Municipio Valle de Chalco Solidaridad, Estado de México; al sur con la Delegación Milpa Alta, hasta el vértice que marca el Volcán Teuhtli, y al suroeste y oeste con la Delegación Xochimilco. Pertenece a la subcuenca Chalco-Tláhuac, el uso de suelo es 60% de área de reserva ecológica y 40% de uso habitacional (GODF, 1997)

La porción occidental de la Delegación Tláhuac tiene como límite natural la llamada Sierra de Santa Catarina; un conjunto de volcanes cuaternarios monogenéticos alineados aproximadamente de occidente a oriente, con una pendiente en sus flancos cercana a los 32°. De la base de los conos hacia el sur, se extiende una superficie reducida de piedemonte, constituida de lavas expuestas o sepultadas por piroclastos y material volcánico removido por procesos gravitacionales y fluviales. Hacia el sur sigue la planicie lacustre, en gran parte urbanizada. Así, se reconocen tres unidades principales del relieve: conos volcánicos monogenéticos, piedemonte volcánico y planicie lacustre. Desde el punto de vista de la mecánica de suelos, comprende las zonas de lomas, de transición y del lago respectivamente.

La porción noroeste de la delegación tiene una población de clase media, las casas son de concreto de uno a cuatro niveles, todas las calles están pavimentadas y cuenta con todos los servicios: gas, luz, drenaje, cable de teléfono, espacios públicos y de vigilancia.

En el área de estudio la zona lacustre se encuentra en proceso de hundimiento con respecto a la contigua de piedemonte y la volcánica, pero no es

homogéneo, se produce con velocidades diversas. Esto se reconoce en la superficie por deformación del plano horizontal original, mismo que presenta inclinación, ondulación u hondonadas, y en varios casos se acompaña de agrietamiento por simple abertura y movimientos laterales y verticales respecto al plano de ruptura.

Respecto del fenómeno de hundimiento en la Ciudad de México es bien conocido, no así el de formación de grietas. Hay por lo menos tres explicaciones desde la óptica de la mecánica de suelos, además del geológico por fallas de profundidad considerable.

Para Hiriart y colaboradores (1952),¹ el proceso empezó a manifestarse en el año 1952 y se había incrementado lo mismo que el hundimiento de la ciudad de México. Las grietas surgieron en superficies del terreno que se cubrieron con una lámina delgada de agua en la época de lluvias. Posteriormente se azolvieron con materiales de acarreo superficial y fue común que quedaran completamente selladas.

La formación de grietas se explica cómo el estado de tensión en las arcillas provocado por dos o más pozos de extracción de agua y un gradiente hidráulico pequeño, horizontal, y que contribuyen a la ruptura de la arcilla (Juárez Badillo, 1959)

Riquelme (1974) reportó la formación de grietas en el fraccionamiento Los Olivos de la delegación Tláhuac, entre 1972 y 1975. Dispuestas en una red transversal, con orientación norte-sur y este-oeste. El fraccionamiento Los Olivos y en general la porción noroeste de la Delegación, comenzó a urbanizarse en la década de los setentas; el relieve influyó en gran medida para que se dieran estos

¹ Hiriart, F., R.J. Marsal, G. Cruickshank, F. Key (1952), Contribución de la Comisión Federal de Electricidad a la solución del problema de abastecimiento de agua a la Ciudad de México, CFE, México.

asentamientos y la apropiación del espacio; además, responde a motivos estratégicos o de aprovechamiento de los recursos naturales.

La zona de estudio, en las primeras décadas del siglo XX estaba comunicada con Xochimilco y La Viga por canales, lo que facilitaba el comercio. Además, contó con una gran riqueza de turba y olivos, recursos que fueron explotados por los antiguos habitantes del lugar.

El crecimiento poblacional y la explotación de los recursos naturales influyeron en los procesos geomorfológicos y el estado del suelo, es decir en cambios radicales del paisaje. En las zonas urbanas al quedar el suelo cubierto con asfalto y drenar el agua mediante alcantarillado, la infiltración se reduce al máximo, lo que ocasiona que no se recupere el agua perdida de los mantos acuíferos por extracción, lo que favorece el hundimiento y agrietamiento.

Análisis del concepto de riesgo.

Los siguientes conceptos fueron recabados de la *Terminología empleada en la administración de los desastres, Sistema Nacional de Defensa Civil del Perú*².

Riesgo. La UNESCO en 1993 define el riesgo como la posibilidad de pérdida tanto en vidas humanas como en bienes o en capacidad de producción. Esta definición involucra tres aspectos relacionados por la siguiente fórmula:

$$\text{Riesgo} = \text{vulnerabilidad} \times \text{valor} \times \text{peligro}$$

En esta relación, el valor se refiere al número de vidas humanas amenazadas o en general, a cualquier elemento económico expuesto a un evento destructivo. La vulnerabilidad es una medida del porcentaje del valor que puede

² INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil) (2002), *Terminología empleada en la administración de los desastres, Sistema Nacional de Defensa Civil del Perú*, Lima, Perú 22 p.

ser perdido en el caso de que ocurra un evento destructivo determinado. Peligro o peligrosidad, es la probabilidad de que un área en particular sea afectada por algunas de las manifestaciones destructivas de la calamidad.

Esta definición es aplicable a la investigación, ya que, las fichas del trabajo de campo contienen las variables: vulnerabilidad, valor y peligro. El valor está referido en la cantidad y el tipo de infraestructura civil que puede sufrir daños, la vulnerabilidad se analiza en función de la percepción del riesgo en la población, y el peligro en relación con el valor que se genere de la longitud de grietas y desniveles del terreno por hundimiento. Los riesgos serán mayores en las áreas en donde las construcciones no estén diseñadas para soportar los embates del hundimiento o agrietamiento.

Mapa de riesgos. Nombre que corresponde a un mapa de escala variable, al cual se le agrega la señalización de un tipo específico de riesgo, diferenciando las varias probabilidades de ocurrencia de un desastre.

Este concepto es útil para el diseño del mapa dentro de un plano catastral, el cual tendrá mayor detalle de la ocurrencia de los fenómenos.

Daño. Menoscabo o deterioro inferido a elementos físicos de las personas o del medio ambiente, como consecuencia del impacto de una calamidad o agente perturbador sobre el sistema afectable (población y entorno). Existen diferentes tipos de daños: humanos (lesionados y defunciones), materiales (leves, parciales o totales), productivos (internos y externos al sistema), ecológicos (flora, fauna, agua, aire y suelo) y sociales (a la seguridad, a la subsistencia y a la confianza).

Este concepto es muy útil en las fichas de trabajo de campo; a través de la valoración y diferenciación de los tipos de daños podrá asignarse un valor.

Es importante definir los siguientes conceptos porque son utilizados en gran parte de la investigación:

Infraestructura. Conjunto de bienes y servicios básicos que sirven para el desarrollo de las funciones de cualquier organización o sociedad, generalmente gestionados y financiados por el sector público. Entre ellos se encuentran los sistemas de comunicación, las redes de energía eléctrica, entre otros.

Población afectada. Segmento de la población que padece directa o indirectamente los efectos de un fenómeno destructivo, y cuyas relaciones se ven substancialmente alteradas, lo cual provoca la aparición de reacciones diversas, condicionadas por factores tales como: pautas comunes de comportamiento, arraigo, solidaridad y niveles culturales.

Metodología.

El estudio inicia con la búsqueda de publicaciones, incluyendo mapas sobre la zona de estudio y en general, sobre la Cuenca de México, así como otras, conceptos teóricos relacionados con geología, geomorfología, geografía, ingeniería, riesgos, desastres y un apartado importante de estudios estadísticos así como de métodos estadísticos para la zonificación de riesgos, y visitas a instituciones gubernamentales.

Una segunda etapa consiste en el trabajo de campo, enfocado a conocer y registrar los fenómenos, de formación de grietas y hundimiento del terreno. Esto se hace en la siguiente secuencia:

1. Recorrido de la zona en estudio a lo largo de todas las calles para detectar grietas y deformaciones del terreno. En algunas localidades se colocaron testigos en grietas para establecer si son activas a corto plazo y la velocidad de su abertura o crecimiento.

2. Se hicieron perfiles topográficos con nivel de mano, estatal y cinta en calles deformadas para determinar la velocidad del hundimiento.
3. Las observaciones directas y las mediciones se realizaron de manera periódica, por lo menos cada tres meses. (el trabajo de campo se inició en 2005 y hasta principios de 2007).
4. Se aplicaron cuestionarios entre los vecinos afectados, con el fin de conocer su percepción sobre el peligro e información socioeconómica.
5. Se realizó un muestreo de daños a construcciones (tipo y niveles) y en general a la infraestructura civil.
6. Se elaboraron los mapas de amenaza, vulnerabilidad y la relación entre ambos para generar el mapa final, el mapa de riesgo, que sintetiza el estudio.

CAPITULO I.

GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Localización.

El Cinturón Volcánico Transmexicano (CVT) es una provincia geológica y geomorfológica, formada esencialmente en el Plioceno y Cuaternario por una intensa actividad volcánica y tectónica. Se extiende a través de la República Mexicana desde las costas de Nayarit y Colima hasta el estado de Veracruz, aproximadamente entre los paralelos 19º y 21º. Desde el punto de vista morfológico es una serie de planicies escalonadas de los 400m, en Colima, a más de 2600 msnm en la porción más elevada, en la altiplanicie de Toluca-Tenango.

La Cuenca de México forma parte de la porción centro-oriental del CVT y consiste en una altiplanicie de nivel de base a una altitud aproximada de 2240 msnm, misma que estuvo ocupada por los lagos de Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Xochimilco y Chalco, Actualmente casi desecados. La planicie está rodeada totalmente por elevaciones volcánicas, fundamentalmente de edad Plioceno-Cuaternario.

En el norte delimita a la planicie la Sierra de Pachuca; por el occidente de sur a norte, la barrera montañosa inicia con el volcán del Ajusco y continúan las sierras de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, con orientación noroccidente. El límite oriental lo constituyen las sierras Nevada y Río Frío, con los grandes volcanes, de sur a norte, Popocatépetl, Iztaccihuatl, Telapón y Tlaloc. Entre los volcanes Ajusco y Popocatépetl se presenta la Sierra Chichinautzin, la más joven de la cuenca de México, a la que se le atribuye una edad menor a los 600 mil años, aunque su relieve se considera que se formó fundamentalmente en últimos 50 mil años (Martin Del Pozzo, 1981).

Otras elevaciones volcánicas menores forman los límites de la cuenca como la sierras de Tepozotlán, Tezontlalpan, Calpulalpan y otras más que se

asientan sobre la planicie de la Cuenca de México, como las sierras de Santa Catarina, Guadalupe, Los Pitos, Patlachique, Cerro Gordo y otras.

Entre la base de las laderas montañosas y la planicie se presenta el piedemonte, una porción inclinada hasta 6°, formada por depósitos volcánicos y fluviales, principalmente de desembocadura de corrientes. La extensión del piedemonte en anchura es muy variable, de menos de 100 m a algunos kilómetros. Esto depende de las condiciones geológicas (litología, estructura y edad) y de la topografía (altura, pendiente y disección). En el sur de la Cuenca de México la planicie del nivel de base es principalmente lacustre, hacia el centro y norte es fluvial y volcánica.

El área de estudio pertenece a la subcuenca de Xochimilco-Chalco, ubicada en el sureste de la Cuenca de México. Limita al norte con las estribaciones de la Sierra de Santa Catarina, al sur con la Sierra Chichinautzin, al este con las sierras Río Frío y Nevada, y hacia el oeste se ubica el área chinampera de Tláhuac. Al centro de la subcuenca se encuentra el ex lago de Chalco (figura 1).



Figura 1. Ubicación de la porción de Tláhuac en medio de los lagos de Xochimilco y Chalco (Rojas, 2004).

Las demarcaciones políticas que se encuentran en la subcuenca de Chalco son (figura 2):

En el Distrito Federal:

- A. Milpa Alta
- B. Tláhuac

Así como nueve municipios del Estado de México:

- 1. Amecameca
- 2. Ayapango
- 3. Cocotitlán
- 4. Chalco
- 5. Ixtapaluca
- 6. Juchitepec
- 7. Temamatla
- 8. Tenango del aire
- 9. Tlalmanalco

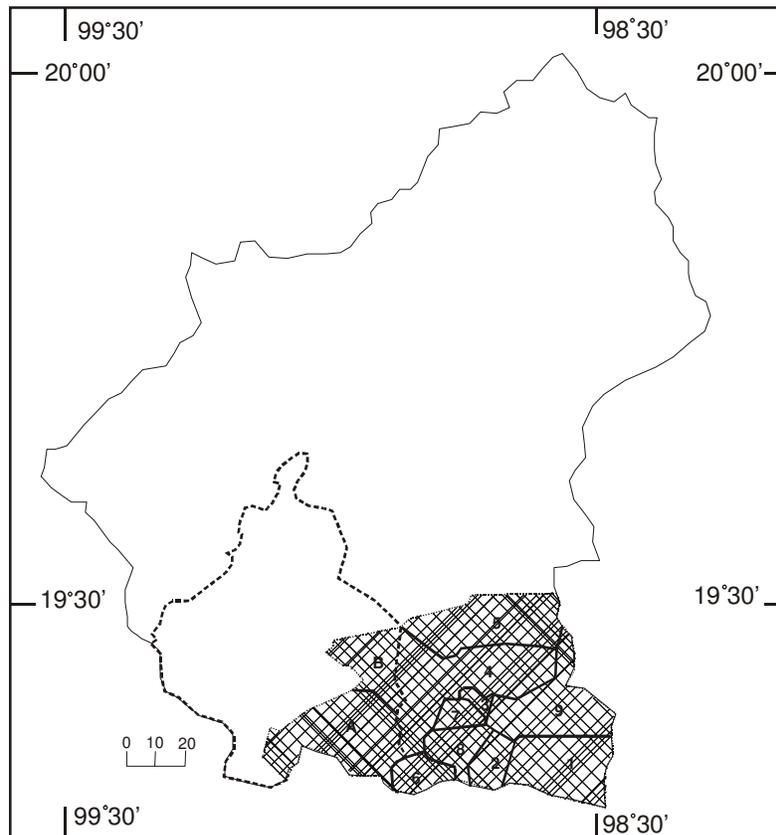


Figura 2. Localización de las entidades que pertenecen a la subcuenca de Chalco. (INEGI 2000)

La zona de estudio corresponde a una porción de la delegación Tláhuac, misma que consiste en una planicie lacustre y relieves volcánicos como la ladera meridional de la Sierra de Santa Catarina y su piedemonte, así como la base de la Sierra Chichinautzin por el sur.

La Delegación Tláhuac está ubicada entre los paralelos $19^{\circ}20'$, $19^{\circ}11'$ de latitud Norte; y los meridianos $98^{\circ}56'$, $99^{\circ}04'$ de longitud Oeste. Colinda al norte y noreste con Iztapalapa, al poniente con las avenidas La Turba y Piraña hasta el canal de Chalco; al oriente con el municipio Valle de Chalco Solidaridad, Estado de México; al sur con la Delegación Milpa Alta y al suroeste y este con la de Xochimilco (INEGI, 2005).

La porción elegida para estudio de detalle se encuentra en el noroccidente de la misma, al sur del volcán Yuhualixqui, de la Sierra de Santa Catarina, y comprende la planicie lacustre a partir de la avenida Tláhuac (antigua ribera del lago) y hasta Canal de Chalco, al sur; al occidente, La Turba, y al oriente la calle Langosta (figura 3).

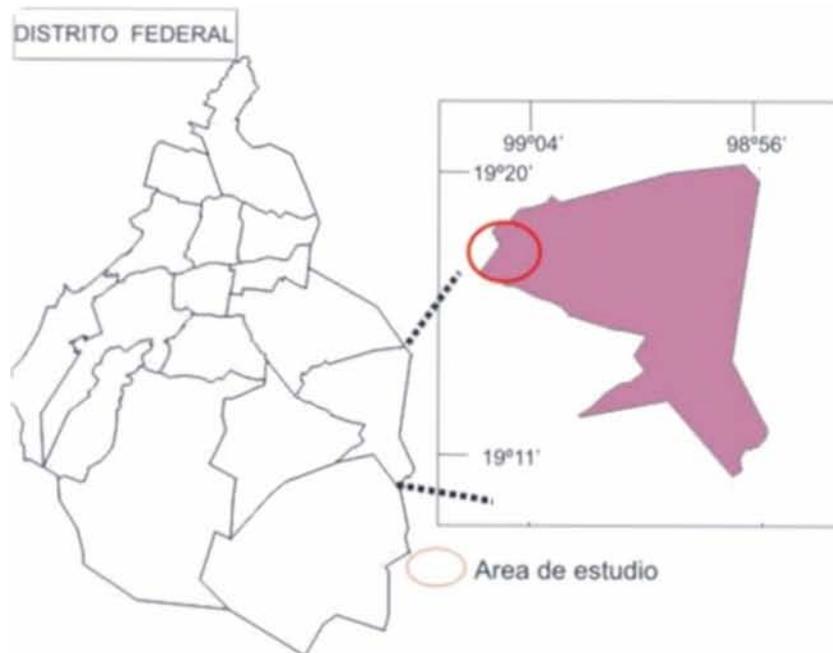


Figura 3. Localización del área de estudio dentro de la Delegación Tláhuac, INEGI 1990.

Geomorfología general.

La Cuenca de México se puede clasificar en las siguientes unidades geomorfológicas (figura 4):

1. La altiplanicie del nivel de base, de origen lacustre y aluvial.
2. El piedemonte de origen volcánico y exógeno
3. Las elevaciones volcánicas, desde los elementos individuales de menos de un kilómetro cuadrado, a los conjuntos montañosos de algunos kilómetros en longitud, y altitud mayor a los 3,000 msnm.

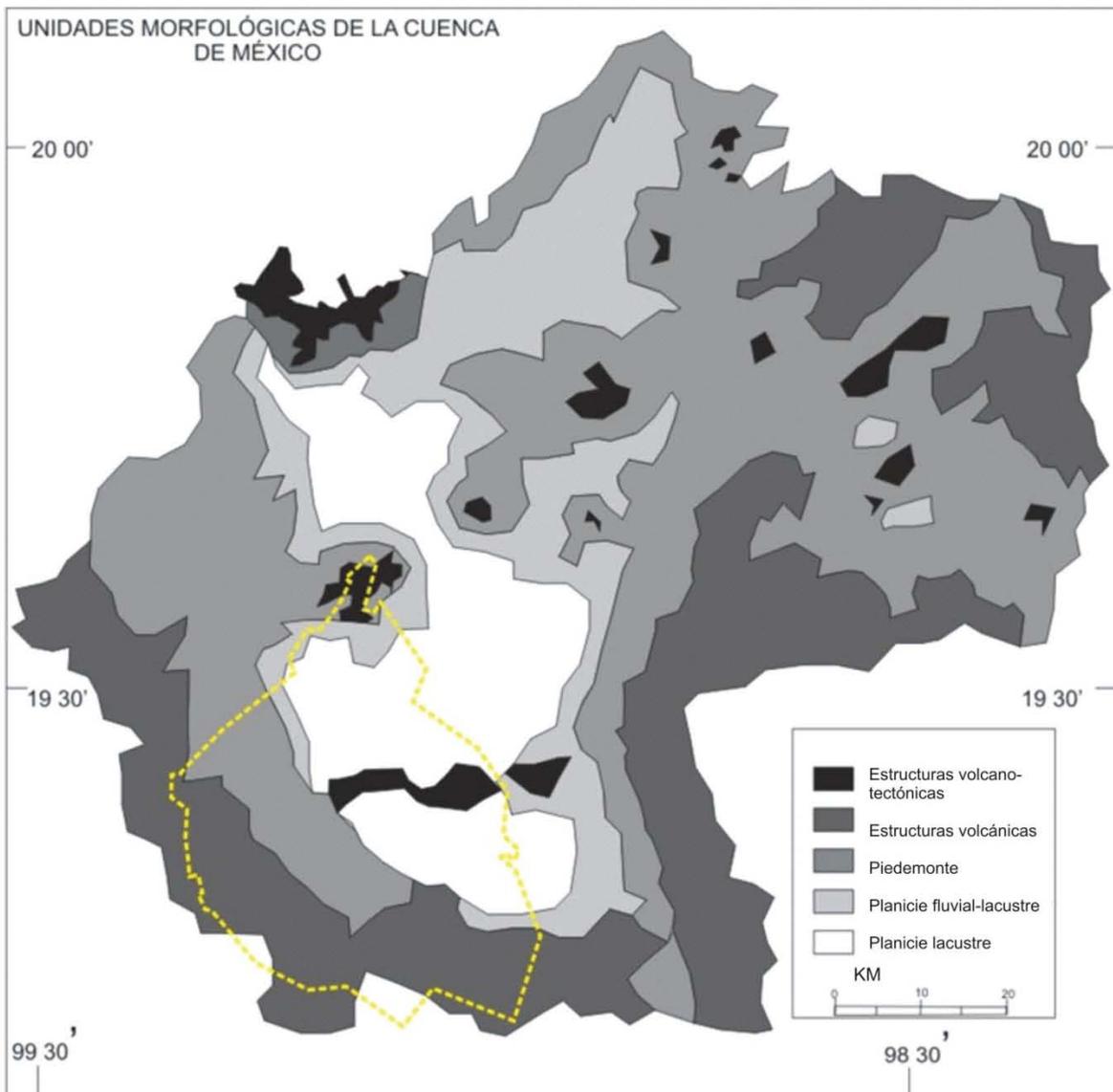


Figura 4. La Cuenca de México (Zamorano 1990)

Los estudios realizados en la Cuenca de México indican que las rocas más antiguas son volcánicas del Oligoceno, las que se reconocen en algunas porciones del norte, lo mismo las rocas miocénicas que se presentan en la Sierras de Pachuca, Guadalupe y Tepozotlán. El relieve actual se debe fundamentalmente al volcanismo del Plioceno y Cuaternario, mismo que dio origen a las sierras mayores (Mooser, 1963); la actividad volcánica fue cubriendo gradualmente al Oligoceno-Mioceno.

En el Pleistoceno se formó la Sierra Chichinautzin al sur. Consiste en un conjunto de depósitos de lavas y piroclastos originados por numerosos conos monogenéticos, en especial del Pleistoceno Tardío (los últimos 50,000 años) de acuerdo con Martin Del Pozzo (1981). Desde el punto de vista geológico es un campo volcánico monogenético, y en cuanto al relieve es una meseta volcánica que se extiende entre los volcanes Popocatepetl y Xinantécatl (Nevado de Toluca). Se puede considerar también como un conjunto montañoso en proceso de formación.

El volcanismo del Plioceno Tardío se presentó en otras zonas de la Cuenca de México; al sur, en la llamada Sierra de Santa Catarina, se observa una alineación de conos monogenéticos de unos 10 kilómetros de longitud, con una orientación aproximada de occidente a oriente, la que constituyó una isla o península en el lago de Anáhuac.

Por los estudios realizados a la fecha, se sabe que en los últimos 25,000 años el volcán Popocatepetl ha mostrado una intensa actividad, y se ha establecido que hubo dos erupciones, hace aproximadamente 12,000 y 20,000 años, de intensidad excepcional.

El volcanismo joven del Pleistoceno en el sur de la actual Cuenca de México formó una barrera natural que dio origen a una cuenca endorreica, con los lagos situados en el sur de la misma.

Hidrografía.

La subcuenca de Chalco se explota para el abastecimiento de agua, debido a la capacidad de sus acuíferos. En la subcuenca hay dos entidades hidrológicas, una en la parte norte, que obtiene su recarga por agua infiltrada de lluvias mezclada en menor cantidad por agua de origen magmático. La parte sur es recargada principalmente por deshielos procedentes de la Sierra Nevada. Hacia el centro de la subcuenca se halla la parte lacustre que contiene turbas a distinta profundidad (CONAGUA, 2000).

La extracción de agua se da por medio de bombeo, la principal batería de pozos se ubica en el flanco oriental, donde el espesor del paquete arcilloso es máximo, el cual varía; de 100 a 200 m.

En el lago de Chalco desembocaban los ríos de La Compañía y el Ameca, este último nace en la vertiente sur del Iztaccíhuatl. En las márgenes del sur de la cuenca existieron manantiales de agua dulce y mineralizada que han desaparecido, debido al descenso paulatino del nivel piezométrico. El relieve que dejó el antiguo lago de Chalco hoy es aprovechado por los habitantes de la zona para canalizar las aguas negras.

De acuerdo con el censo realizado por la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México (GRAVAMEX) en 1990, en la subcuenca de Chalco (acuífero Chalco-Amecameca) el volumen total de extracción era de 128,379 millones de m³ anuales, de los cuales un total de 107,484 millones de m³ se utiliza principalmente para uso público-urbano. En la delegación Tláhuac se reporta el mayor volumen de extracción con 47,762 millones de m³. La subcuenca de Chalco se asienta sobre un gran espesor de arcilla, lo que imposibilita tener una recarga natural de acuíferos, debido a que el material no permite la infiltración del agua (D.D.F., 1997).

Clima.

Para Jáuregui (1971) el clima de la Cuenca de México es tropical de montaña, atemperado por la altitud. Las masas de aire de origen polar que barren la cuenca en la estación seca (noviembre-abril) abaten aún más la temperatura (sin llegar a 0° C).

Al final de la temporada de secas se opresentan las temperaturas más altas del año que rara vez sobrepasan los 30°C. Una vez que comienza la temporada húmeda, las mañanas son soleadas y calurosas al mediodía y las tardes frescas y lluviosas.

El contraste térmico promedio ciudad/campo que a fines del siglo XIX era de 1.5°C, cuando la capital del país contaba con 16 km² de superficie urbana, es a principios de los sesentas, de unos 9.1°C cuando la superficie urbana de la ciudad era de unos 1000 km² (Jáuregui, 1971).

La creciente urbanización de la Ciudad de México influye en la temperatura media anual de la capital, la cual se ha elevado de unos 14.5 °C a principios del siglo pasado, a poco más de 16°C (Jáuregui, Op.Cit).

La abundante cantidad de aerosoles presentes en la atmósfera de la Ciudad de México, al dispersar y atenuar la luz solar, le da al aire urbano un aspecto turbio de coloración lechosa que se hace más notorio durante la estación lluviosa, ya que una proporción considerable de partículas de material que flotan en el aire contienen humedad y aumentan de tamaño. Esta condición reduce la transparencia del aire, borrando o desdibujando el paisaje urbano, y en gran parte del año, la impresionante vista de los cerros y montañas que circundan la cuenca (Hernández, 1999).

Geología.

La estructura y evolución geológica de la Cuenca de México se ha ido conociendo por numerosos estudios realizados por Geología superficial desde fines del siglo XIX y del subsuelo en 1967 y 1986.

Las rocas más antiguas conocidas del subsuelo de la cuenca son sedimentarias marinas del Cretácico Superior, las que son sobreyacidas por los depósitos sedimentarios continentales de la época del Eoceno. Sobre estas descansa un gran paquete de rocas volcánicas, fluviales y lacustres del Oligoceno al Holoceno.

No se ha perforado a mayor profundidad que el Cretácico, por lo que se desconoce los materiales subyacentes. En el Cretácico se presentó un ambiente marino en el territorio que hoy ocupa la República Mexicana. A fines del mismo período se inicia la orogenia Laramide, que deformó toda la secuencia y la que se reconoce en las rocas sedimentarias preorogénicas (flysch) de la formación Mezcala.

El final del Eoceno se caracteriza por una intensa erosión de las montañas de rocas sedimentarias plegadas de la Sierras Madre Oriental y del Sur, proceso que quedó registrado en los extensos depósitos de conglomerado fluvial (molassa) de la Formación Balsas.

Estas unidades geológicas afloran y son bien conocidas al sur de la Cuenca de México, que afloran, en los estados de Morelos y Guerrero; lo mismo al norte, en Hidalgo y estados vecinos, aunque se correlacionan con otros nombres. En la Cuenca de México se conocen sólo en el subsuelo por los pozos de exploración (Schlaepfer, 1968 en Vázquez y Jaimes, 1989).

En la época del Oligoceno predominó la actividad volcánica en la actual margen occidental de México, desde el norte de Sonora hasta Guerrero, los

materiales que se reconocen en la Sierra Madre Occidental y en otras unidades dispuestas hacia el sur. En la superficie de la Cuenca de México son escasas las rocas de edad Oligoceno, del tipo riolitas.

Durante el Mioceno continuó el volcanismo provocado por la subducción de la placa oceánica Farallón. Las rocas correspondientes tienen mayor expresión que las del Oligoceno en el Eje Neovolcánico, y en particular, en la Cuenca de México, aunque son escasas en comparación con los depósitos volcánicos del Plioceno y Cuaternario.

El volcanismo del Plioceno, debido a la subducción de la placa de Cocos, se manifestó a lo largo de una franja comprendida aproximadamente entre los paralelos 19°-21° norte y que dio origen al Eje neovolcánico, además esto provocó que las rocas sedimentarias del Mesozoico fueran cubiertas en gran parte, lo mismo que las volcánicas del Oligo-Mioceno.

El Cuaternario es una continuación del volcanismo de composición magmática tipo intermedio en esta región del país. En este último periodo se forma la Cuenca de México, y las Cuencas de Toluca (al occidente) y en la dirección opuesta, las de Puebla, Tlaxcala y Oriental.

El actual relieve de la Cuenca de México se adquiere a partir del Plioceno, cuando se produce la formación de las Sierras de Pachuca, Las Cruces, Monte Alto y Tepozotlán al occidente; Río Frío y Calpulalpan, al oriente, así como otras que se asientan en la planicie (Guadalupe y Los Pitos). En gran parte debido a la continuación del volcanismo miocénico, y a otras unidades más del Cuaternario.

Igualmente, durante el Cuaternario se formó la Sierra Chichinautzin, debido a un intenso volcanismo monogenético que se produjo entre los grandes volcanes Popocatepetl al oriente, y Xinantécatl (Nevado de Toluca) al occidente. Entre los volcanes Popocatepetl y Ajusco se construyó una barrera natural que cerró el

drenaje hacia el sur, a la cuenca del Río Amacuzac. Se considera que esto ocurrió hace menos de 600,000 años. Los volcanes, cerca de 300, situados entre los volcanes Popocatepetl y Xinantécatl, son de edad menor a los 50,000 años (Vázquez y Jaimes, 1989).

Surgieron los lagos, mismos que tuvieron variaciones de acuerdo con los climas. Del Cuaternario son también los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl, que constituyen la Sierra Nevada, unida al norte con la de Río Frío.

La constitución geológica del subsuelo de la Cuenca de México se conoce por los pozos profundos de exploración San Lorenzo y Tláhuac- Neza 22. Este último muestra que los primeros 102 m se encuentra arcilla lacustre que descansa sobre una capa de basalto de 28 m de espesor (Figura 4 y 5).

Mooser (1981) divide los lagos formados en el Pleistoceno de la siguiente forma:

- Xaltocan y Texcoco constituyen vasos de evaporación formados en las partes bajas de la cuenca (agua salada).
- Xochimilco y Chalco alimentados por manantiales del piedemonte de la Sierra Chichinautzin (agua dulce).
- El antiguo lago de Tenochtitlán es un caso intermedio entre los ejemplos anteriores ya que en ciertas épocas del año contenía agua dulce alimentado por los manantiales de Chapultepec, Tlalpan y los arroyos provenientes de las lomas, y en épocas de estiaje debido a la evaporación el lago de Tenochtitlán incrementaba su salinidad.

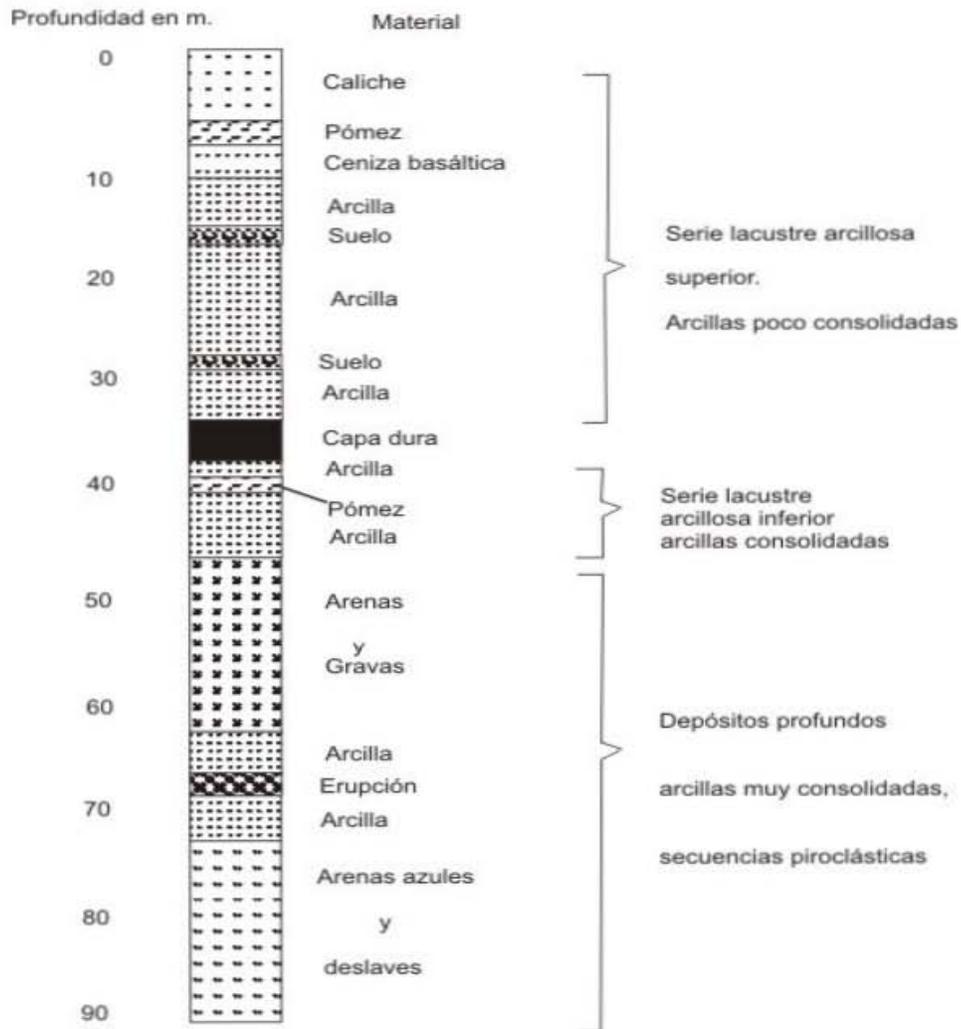


Figura 4. Columna litológica del subsuelo, tomado del pozo profundo Periférico 2, ubicado en los límites delegacionales de Tláhuac y Xochimilco (DGCOH, 1992).

De esta manera la litología y la estructura de la Cuenca de México deben su origen a los depósitos volcánicos y a los lagos desecados.

El suelo de la subcuenca de Chalco está constituido por material fino de aluvión, sedimentos lacustres y cenizas volcánicas. El material que se extiende del volcán Xico hacia la delegación Tláhuac, al norte, hacia la sierra de Santa Catarina, y al sur a los pueblos de Mixquic e Ixtayopan, son suelos líticos poco útiles para la agricultura debido a su poco contenido de materia orgánica (Arellano, 1951).

El área de estudio se encuentra asentada en zonas en donde las capas de ceniza y las capas de arena alternan con los estratos de toba y grava; en este tipo de intercalación es común el proceso de gleización en donde el suelo es formado bajo condiciones de drenaje pobre y de encharcamiento, provocando concentraciones de arcilla y hierro.

Al desecarse el lago la vegetación se secó y sobre está crecieron nuevas especies vegetales, al repetirse este proceso la presión y la acumulación de materiales en descomposición originó los suelos turbosos.

El material turboso contiene gases de pantano por lo que el agua que se encuentra en estos suelos no es potable. Otra característica de este terreno es la salinización debido a los materiales rocosos, cuya composición química ha dado lugar a la acumulación de sales (CONAGUA, 2000)

Geología local.

El área de estudio se encuentra en la planicie lacustre de Xochimilco-Chalco. Los volcanes monogenéticos de la Sierra de Santa Catarina, pertenecientes a la formación Chichinautzin, constituyeron en la Cuenca de México una isla o península que separaba este lago del de Tenochtitlán. Deben haberse formado sobre el lago, cuando ya existía la cuenca endorreica, de manera que sus productos –lavas y piroclastos- en el subsuelo están interdigitados con los sedimentos lacustres.

Para explicar la geología local es necesario considerar tres unidades geomorfológicas principales: 1) Los volcanes de la Sierra de Santa Catarina, mismos que constituyen una ladera de más de 20° de inclinación, tiene una extensión de 12 km y una orientación aproximada de occidente a oriente; 2) el piedemonte de la sierra, consistente en depósitos volcánicos de lavas y piroclastos, así como derivados de estos, acumulados por procesos

gravitacionales y fluviales, en una superficie de menos de 7° de inclinación; 3) La planicie lacustre que en su relieve original tiene una pendiente inferior a 0.5°.

La Avenida Tláhuac sigue un curso sinuoso y paralelo a la antigua ribera lacustre. En la actualidad esto se reconoce porque la planicie lacustre se hunde, como en la mayor parte de la Cuenca de México, de manera que se marca una diferencia de decenas de centímetros de altura entre esta y la calzada que ocupa el extremo inferior del piedemonte.

Pozo Panteón Civil 3

Pozo Tláhuac-Neza 22

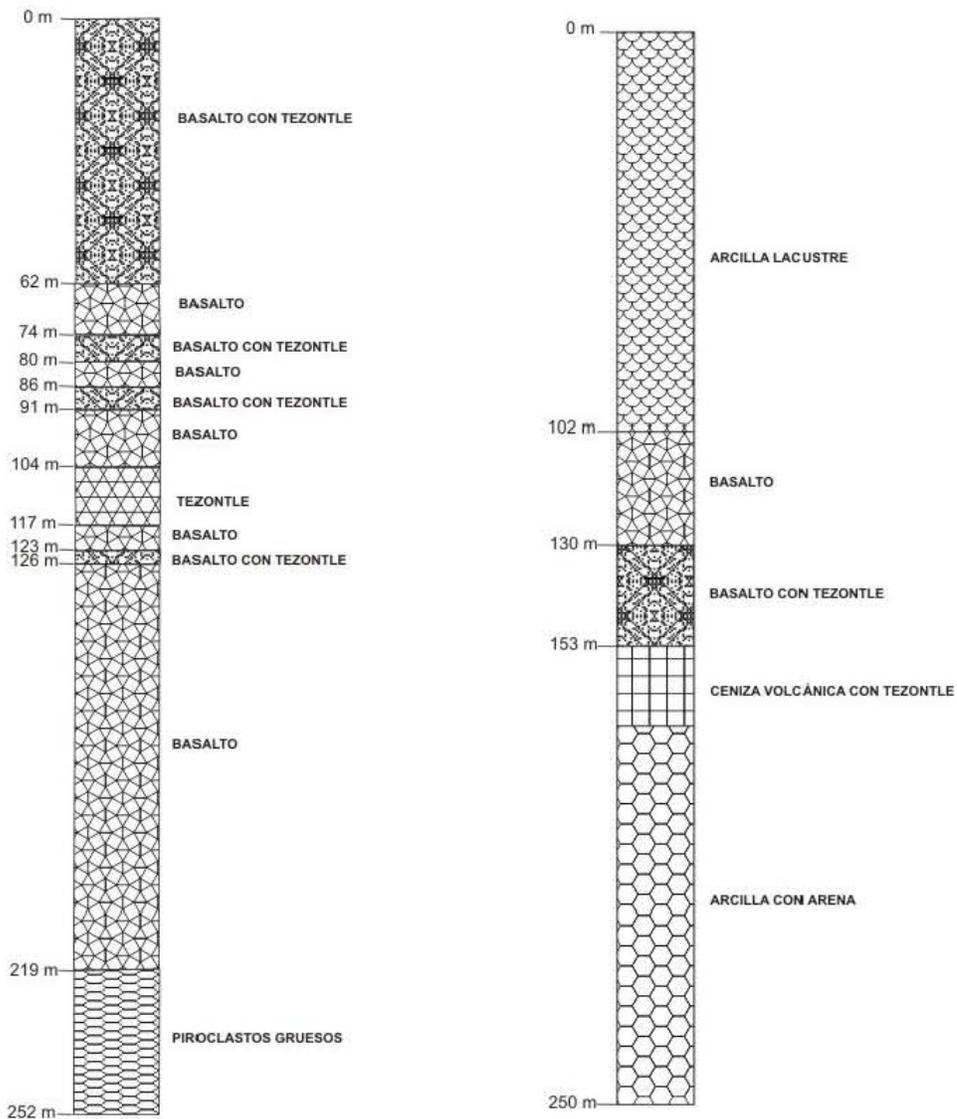


Figura 5. Estratigrafía de los pozos profundos cercanos al área de estudio (DGCOH, 1990).

El pozo Panteón civil 3 está localizado en la colonia Unidad Habitacional San Lorenzo, en las inmediaciones del panteón civil “San Nicolás Tolentino”. El Pozo Tláhuac-Neza 22 se localiza la colonia San Nicolás Tolentino en el límite entre las delegaciones Xochimilco y Tláhuac, a lo largo del Canal de Chalco.

PRINCIPALES PROBLEMAS URBANOS.

Densidad poblacional.

La Cuenca de México es una zona susceptible a fenómenos naturales como sismos, erupciones volcánicas, fallas activas, procesos de ladera, inundaciones, hundimientos y agrietamientos.

El crecimiento urbano en la delegación de Tláhuac comenzó en la década de los años 70. Ya para el año 2000 se contabilizaron 302,483 habitantes en esta demarcación. La sobrepoblación, tanto en la delegación como en los alrededores de la misma, ha ocasionado problemas urbanos, tales como los asentamientos irregulares en áreas de reserva ecológica, problemas en las vialidades y abastecimiento de agua (INEGI, 1990).

Los siguientes párrafos contienen información del programa delegacional (D.D.F., 1997) en donde se señala que la demarcación está urbanizada en 40%, y el resto es de reserva ecológica, misma que ha cambiado en el transcurso de los años por las poblaciones que invaden áreas ecológicas no propicias para la construcción.

La estructura urbana que predomina en la porción norte y centro es de traza regular, el uso de suelo es mixto y hay predominio de unidades habitacionales populares. En la porción sur se distingue la traza irregular con poblaciones rurales.

Entre los problemas viales se encuentran la discontinuidad de las calles. La Av. Tláhuac presenta continuidad desde Av. Ermita Iztapalapa hasta la Calzada

México Tulyehualco. Sin embargo, es la única vía rápida en esta zona del oriente; al crecer la mancha urbana se volvió insuficiente. El crecimiento poblacional ha generado problemas como los mercados sobre ruedas instalados en varios puntos de la Av. Tláhuac, lo que dificulta el acceso a la demarcación y ocasiona severos problemas viales.

El transporte pesado que circula por las colonias Del Mar, Los Olivos, La Turba y Granjas Cabrera, es otro problema característico de la zona; los vecinos creen que el paso de los camiones de fábricas y bodegas cercanos a las zonas habitacionales, genera problemas de hundimiento y formación de grietas.

El desabasto de agua es otro problema considerable dentro de la delegación. La densidad poblacional para esta región es de aproximadamente 14,070 habitantes/km², la cantidad de agua por día es alrededor de 247 lt/m³ habitante. Si se compara con otras delegaciones, como Cuajimalpa que cuenta con una densidad poblacional de 8,780 habitantes y una cantidad de agua al día de 686 lt. por habitante, la cantidad de agua es menor y el desabasto es constante, sobre todo en época de calor, cuando el agua llega a faltar hasta un mes (D.D.F., 1997).

CAPITULO II.

ANTECEDENTES.

Época Prehispánica.

En la época prehispánica una de las evidencias más tempranas de la presencia del hombre en la Cuenca de México fue hallada en el lago de Texcoco, en Tlapacoya. La edad estimada del hallazgo de restos de una civilización es alrededor de 9,000 años (Vela, 2003). (Figura 6).

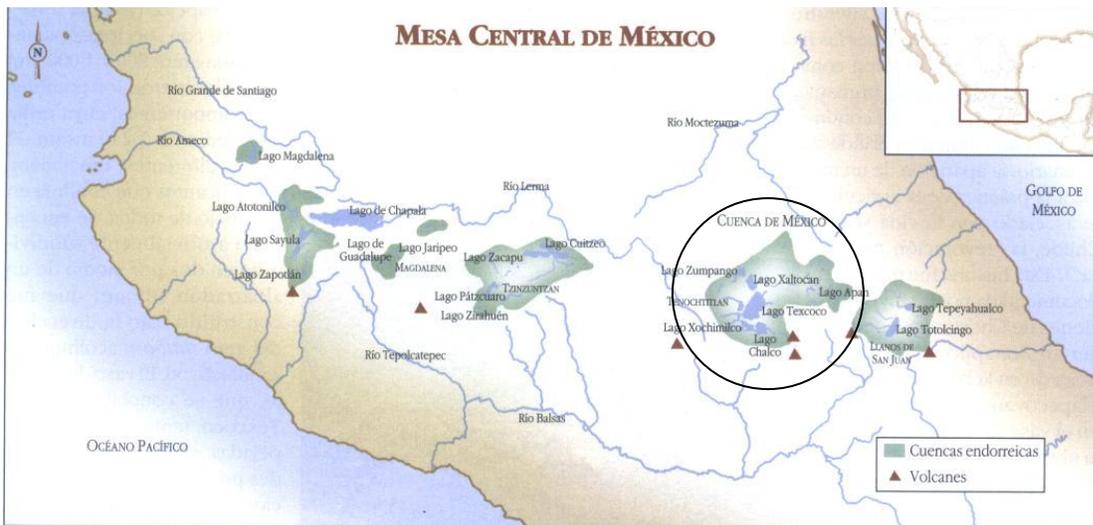


Figura 6. En la época prehispánica comenzaron los primeros asentamientos en la cuenca de México (círculo) Rojas, 2004.

En la zona oriente se encontraron vestigios de asentamientos humanos en Chalco, Chimalhuacán, Chicoloapan, Otumba, Tepexpan e Iztapan; la forma de vida económica se basó principalmente en la agricultura (Rojas, 2004).

Al surponiente de la cuenca se desarrolló la cultura cuicuilca, considerada la primer urbe regional entre los años 400-200 a.C. Dicha cultura de acuerdo con Muller (1990), fue devastada por la erupción del volcán Xitle, lo que obligó a los pobladores a migrar sobre todo al norte de la cuenca donde se desarrolló la cultura Teotihuacana, siendo la primera gran metrópoli de la Cuenca de México para el siglo V d. C. (op. cit).

Los teotihuacanos desarrollaron la agricultura en las laderas, terrazas, y en la planicie construyeron sistemas de irrigación que consistían en canales para llevar el agua de las corrientes cercanas. Cultivaron en chinampas y desarrollaron un sistema hidráulico que abasteció a las poblaciones y cultivos de la ciudad.

Para el siglo X la cultura tolteca se estableció en las inmediaciones del cerro de la Estrella, y se expandió posteriormente a Morelos y Toluca para después fundar su capital en Tula. Desarrollaron la pesca, la agricultura y un control somero de la zona lacustre.

El área de estudio fue una de las zonas chinamperas de la Cuenca de México, junto con Xochimilco, Tezompa y Mixquic, e incluso se cree que Tláhuac no fue una isla natural, sino que fue hecha por el hombre por medio de la acumulación de material (Justo, 1986).

Los siguientes párrafos hacen referencia a la obra citada por García (1978).

Hacia el año 1325 se fundó en el lago Meztliapan, muy cerca del lago de Texcoco, la ciudad de México-Tenochtitlán. Los primeros pobladores construyeron casas precarias y de material muy frágil; su principal alimento eran los frutos y animales silvestres, y su estilo de vida fue muy parecido a culturas anteriores dedicadas a la agricultura. Los mexicas establecidos en Tenochtitlán desecaron varias porciones del lago de México para construir chinampas³.

En 1427 la población había crecido considerablemente y los problemas de agua y tierra eran cada vez mayores. El problema de abastecimiento de agua lo solucionó Nezahualcoyotl con la construcción de un acueducto que transportaba el agua del lago de Chapultepec hacia la ciudad.

³ Chinampa. Porción de terreno de formación artificial en las lagunas. Son útiles para la agricultura y la vivienda.

Para 1449 Nezahualcoyotl construyó con piedra y arcilla un dique que contuviera las aguas de Texcoco. Comenzó en Atzacualco y terminaba al sur de Iztapalapa. En el período de 1449–1499 se construyen más obras hidráulicas, las más importantes son:

- La porción oriental del lago de Texcoco fue separada por el albaradón de Nezahualcoyotl, así se separaron las aguas dulces que bajan de la Sierra de Las Cruces. También se evitó que las aguas de Zumpango se vertieran hacia Texcoco por la diferencia altitudinal que existe entre los dos lagos.
- En la porción oriental de Tenochtlán se construyó el albaradón de Ahuizotl (en la época colonial se llamó San Lázaro). Tenía como finalidad crear una línea de defensa ante las inundaciones.
- Al sur se construyó el albaradón de Mexicaltzingo que separaba a los lagos de Texcoco y Xochimilco junto con la calzada-dique de Coyoacán, que era un ramal de la calzada México-Xochimilco.
- La calzada de Ecatepec-Chiconautla separaba a los lagos de Texcoco y Xaltocan.

De esta manera, se desarrollaron vialidades de calzadas importantes, en función del sistema hidráulico: México-Tacuba y su ramal a Chapultepec y Tacubaya; hacia el occidente, Tlatelolco-Tenayuca-Azcapotzalco. Tlacopan-Tenochtitlán separaba al lago de México en dos porciones. Las calzadas de Tepeyac, Iztapalapa y Mexicaltzingo separaron a las aguas dulces de aguas salobres y eran vías de comunicación-dique-acueductos (CCE, 2006).

Por su parte Carballal (2004) refiere que hubo otras obras hidráulicas dentro de la ciudad; las acequias⁴ construidas en dos formas, anchas y profundas para el

⁴ Acequia. Son canales de riego que tienen la función de conducir el agua desde la captación hasta el campo de cultivos o como canal de comunicación.

tránsito de canoas y otras más pequeñas que se encontraban a lo largo de las calles. Por lo tanto eran calles de agua y calles de tierra y agua.

Con la red hidráulica que construyeron los mexicas se satisficieron necesidades básicas, como el de consumo de agua para la población y de regadíos para los cultivos, control de inundaciones y separación de aguas dulces y aguas salobres; en tanto que las acequias sirvieron para la movilidad de las canoas, comercio o intercambio de víveres y otros artículos.

El lago de Chalco, en donde se encuentra el área de estudio, anteriormente tuvo un desagüe natural hacia la laguna de Tenochtitlán, lo que provocaba constantes inundaciones para los mexicas. Las primeras acciones para desecar Chalco fue la construcción del dique de Tláhuac que separaba a los lagos de Xochimilco y Chalco, y a su vez servía como barrera contra inundaciones para el Lago de México. Posteriormente, en la época colonial (1833) se inician los proyectos para desecarlo completamente (García, 1978).

Época Colonial y hasta el siglo XIX.

Tras la conquista española en 1521, se rompió con la organización político-administrativa de la sociedad mexicana, así como con los sistemas hidráulicos anteriormente construidos. Los habitantes de la Nueva España comenzaron a sufrir constantes inundaciones, las más importantes fueron en los años 1555, 1580, 1607 y 1629 (García, 2004), (figura 7).

Posterior a la inundación de 1607 comenzó la obra del primer desagüe artificial de la Ciudad de México, por el canal de Nochistongo. Las obras tuvieron muchos desperfectos y aún sin estar el trabajo concluido, los canales que ya se habían construido tenían que ser reparados.



Figura 7. Inundaciones de 1580 y 1920 respectivamente. (Aréchiga, 2004).

En Ortega (2000) señala que en 1623 Enrico Martínez marca los niveles de agua para confirmar de donde provenían las aguas que inundaban a la ciudad de México. Las mediciones revelaron que las aguas provenían del occidente, de Cuautitlán.

Para solucionar este problema una de las primeras acciones que se hicieron en 1833 fue reparar el dique de Cuicuilhuac, el cual separaba las aguas del lago de Chalco de las de Texcoco. Posteriormente, en 1853 se aprobó la apertura de un canal para desaguar el lago de Chalco, sin embargo, esta obra causó problemas de inundación a los poblados circunvecinos de Tláhuac.

Francisco Garay propuso en 1877 la construcción del canal de Oriente y la construcción del canal Riva Palacio, entre Chalco y Ayotla. Estas construcciones permitieron que el agua de Chalco fluyera hacia los lagos de Xochimilco y Texcoco.

Por su parte, el Dr. Peñafiel advertía en 1884, que la desecación de los lagos de Xochimilco y Chalco traería como consecuencia inmediata un terreno árido y sin vegetación.

En los siguientes párrafos se hace referencia a Barrios (2001) para conocer las primeras acciones que se implementaron en el lago de Chalco para desecarlo.

Las porciones de tierra de los lagos de Xochimilco y Chalco eran utilizadas en su mayor parte para la agricultura. Desde 1886 los hermanos Noriega Laso incursionaron en la agricultura de los suelos cultivables cerca del lago de Chalco. El principal propósito fue desecar el lago para obtener más porciones de tierra.

Para llevar a cabo la desecación del lago los empresarios solicitaron cerrar el canal Riva Palacio en la porción de Xico y Tlapacoya. Además de crear la empresa Negociación Agrícola de Xico y Anexas, S. A.

Una de las primeras acciones de la empresa fue desviar el río de La Compañía conduciendo las aguas fluviales al lago por terrenos del pueblo de Chalco. Posteriormente se construyó el Canal del Sur que desaguaba las corrientes de los ríos y manantiales del lago de Chalco, por ello, en 1902 se inundaron los pueblos de Chalco, Mixquic, Huitzilzingo, San Juan Ixtayopan, Tulyehualco y la hacienda de San Juan de León.

Finalmente, en 1908 Iñigo Noriega Laso consideró terminadas las obras de desecación de la Ciénaga⁵ de Chalco. Las localidades afectadas con la desecación fueron: San Juan Ixtayopan, Mixquic, Tlaltenco, Tulyehualco, Tlalpizahuac, Tecomitl, Tetelco, Huitzilzingo, Santa Catarina, Yotzingo, Ayotla, Chalco, San Martín Xico, San Gregorio Cuautzingo, San Lorenzo Chimalpa, San Lucas Amalinalco, San Martín Cuautlalpan y el área de estudio, Tláhuac .

⁵ Ciénaga. Lugar o paraje lleno de lodo blando que forma depósito en ríos, en lagunas o en sitios bajos y húmedos llamado cieno.

De los autores García (2004), Ortega (2000) y Barrios (2001) se considera que las atribuciones más importantes de la época son:

- En 1857 cuando Francisco de Garay propone aprovechar la sobreabundancia de agua como medio de transporte, canalización e irrigación, y lograr la completa desecación de los lagos de Chalco y Xochimilco.
- En 1878 comienzan los nuevos trabajos de un sistema de drenaje para la Cuenca de México, conformado por el Gran Canal de Desagüe y el túnel de Tequixquiac, construido en el período de 1878-1900.
- A fines del siglo XIX comienza la utilización de caños de barro cocido, plomo y piedra para la distribución y abastecimiento de agua potable. Cabe destacar que para el año 1879 inicia el abastecimiento de agua potable subterránea.

Época Actual. Siglos XX Y PRINCIPIOS DEL XXI.

El siglo XX estuvo marcado por la finalización de proyectos que se hicieron desde años anteriores. La primera gran obra terminada para este momento fue el túnel de Tequisquiac, la continuación del Gran Canal.

El Gran Canal tuvo como punto de inicio la garita de San Lázaro en el centro de la ciudad, continuó por la margen occidental del lago de Texcoco, posteriormente se dirige al noroeste atravesando el lago de San Cristóbal y parte del lago Xaltocan; al sur de la población de Zumpango cambia de dirección hacia el norte para llegar al principio del túnel de Tequixquiac.

El 17 de marzo de 1900 fue la fecha fijada para la inauguración del Gran Canal, el túnel de Tequixquiac y de todo el sistema de desagüe general de la Ciudad de México. Sin embargo, no hubo un control completo de las aguas y para los años de 1900, 1901, 1908 y 1910 los sistemas de drenaje se vieron rebasados

por las intensas lluvias; por lo tanto, las obras hidráulicas no constituyeron una solución definitiva para el problema de las inundaciones y abastecimiento de agua (Gamboa, 1994).

Para la década de los años 30, el crecimiento desorbitado de la capital demandó más agua potable, por lo que se excavaron pozos con bombas en los manantiales de San Luis Tlaxiátemanco. En suma, se extraía agua de más de 350 pozos profundos; para el año de 1950 ya eran 700 pozos con una profundidad de entre 12 y 45 m.

Los pozos perforados entre 1938 y 1948 habían provocado hundimientos en el centro de la ciudad, de alrededor de 16 cm por año. Los pozos perforados entre 1948 y 1952 generaron el máximo hundimiento registrado en el centro de la ciudad, 46 cm por año fue el registro en 1951 (Mazari, 1990).

Aunado a los problemas de hundimiento, se presentaron los problemas de agrietamiento en el drenaje y estructura de los edificios. En la década de 1950, Nabor Carrillo advertía que bajo esta situación el drenaje profundo dejaría de tener eficacia y que la formación de grietas estaría presente en edificios, tuberías de agua, drenaje y en la misma capa superficial de suelo (Matías, 2001).

A principios de 1950 el Gran Canal del desagüe empezaba a perder su pendiente y se reducía su capacidad de desalojo por quedar arriba del nivel de la ciudad. Las consecuencias inmediatas fueron las inundaciones de 1950 y 1951.

En la década de los años 60 se redujo la explotación de los pozos en el centro de la ciudad, y a su vez los nuevos pozos de perforación se concentraron ahora en las Sierra Chichinautzin y Santa Catarina; para 1980 fueron perforados 14 pozos en lo que fue el lago de Chalco, con una profundidad de aproximadamente 400 m (Solís, 1992).

Según la Comisión Nacional del Agua, en el año 2002 estaban registrados y en operación 910 pozos profundos en el D.F. y 1,530 en el Estado de México y en los territorios de Hidalgo y Tlaxcala.

En Legorreta y colaboradores, (1994) al año 2000, en donde se muestran los últimos registros, la ciudad se ha hundido alrededor de 10 m. Esta cifra no es igual para toda la planicie del Distrito Federal debido a las características del suelo y a la explotación del acuífero. Esto se trata con más detalle en capítulos posteriores.

En la actualidad la velocidad del hundimiento en el Distrito Federal ha variado. En la zona centro de la ciudad ha disminuido y es alrededor de 12 cm/año. En la zona sur es mayor, de 40 a 50 cm/año. Lo mismo para la zona del aeropuerto, pero tiende a aumentar. Los hundimientos se reducen al noroeste del Distrito Federal en las zonas montañosas, en donde presenta un hundimiento aproximado de 2 a 5 cm.

CAPITULO III.

RIESGOS GEOLÓGICOS: HUNDIMIENTO Y AGRIETAMIENTO.

Conceptos generales.

El estudio de peligros naturales y de los riesgos que éstos conllevan a la sociedad surge en Estados Unidos a poco de comenzado el siglo XX, como consecuencia de las frecuentes inundaciones que se producían en algunas de sus cuencas fluviales (Aneas, 2000).

El objetivo común fue evaluar el grado de ocupación humana de zonas con peligros naturales. Sin embargo, los resultados obtenidos durante las investigaciones mostraron que las estrategias implementadas no lograron eliminar los riesgos y peligros en las zonas estudiadas (Ibid).

Una aportación importante fue presentada por Gilbert White en 2000 quien genera un conocimiento psicológico-geográfico del espacio, con la interrelación de los peligros naturales y la percepción del riesgo (Calvo, 2001).

El riesgo es definido por la Real Academia Española como “la proximidad de un daño, desgracia o contratiempo que puede afectar la vida de una población” (INDECI, 2002).

La Organización de las Naciones Unidas estableció en 1984 que “el riesgo es el grado de pérdida previsto debido a un fenómeno natural determinado y en función tanto del peligro natural como de la vulnerabilidad” (INDECI, 2002).

El riesgo puede reducirse si se entiende como resultado de relacionar la amenaza, peligro o la probabilidad de ocurrencia de un evento y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, o como el factor interno de la selectividad de la severidad de los efectos sobre dichos elementos (Calvo, 2001).

La amenaza o peligro es definido por el Instituto para la Investigación de Amenazas de la universidad de Washington como “aquellos eventos físicos que ocurren en un área poblada o con infraestructura que puede ser dañada” (UNDRO, en Alcántara, 2002).

Infraestructura se refiere al conjunto de bienes y servicios básicos que sirven para el desarrollo de las funciones de cualquier organización o sociedad, generalmente gestionados y financiados por el sector público. Entre ellos se encuentran los sistemas de comunicación, las redes de energía eléctrica, entre otras. (INDECI, 2002).

La United Nations Disaster Relief Organization (UNDRO) en conjunto con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), unificando conceptos definen al peligro o amenaza como “Presencia de un factor físico de origen natural o antrópico, que podría manifestarse en un tiempo y espacio determinado y pone en peligro al ser humano sus obras y su ambiente” (UNDRO, en Alcántara, 2002).

Por lo tanto, la amenaza o peligro latente está asociado con un fenómeno físico de origen natural, inducido o tecnológico que puede presentarse en un sitio específico y en un tiempo determinado, produciendo efectos adversos en la sociedad, su infraestructura o el medio ambiente. Matemáticamente se expresa como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con cierta intensidad, sitio y periodo determinado.

La amenaza está relacionada con la probabilidad de que se manifieste un evento potencialmente desastroso; el riesgo es la probabilidad de que se presenten consecuencias relacionadas con el grado de exposición de elementos sometidos a peligros y la vulnerabilidad que tenga al ser afectados por un proceso natural, antrópico o tecnológico (Francisco, 2003).

La vulnerabilidad es definida (UNESCO, 1993) como “Una medida del porcentaje del valor que puede ser perdido en el caso de que ocurra un evento destructivo determinado”.

A su vez la UNDRO define a la vulnerabilidad como “El grado de pérdida de un elemento bajo riesgo, resultando de la probable ocurrencia de un evento desastroso expresado de una escala desde 0 ó sin daño, a 1 ó pérdida total (UNDRO, en Alcántara, 2002).

Así, La vulnerabilidad es la predisposición intrínseca de un sujeto o elemento a sufrir un daño debido a las posibles acciones extremas, y por lo tanto, su evaluación contribuye en forma fundamental al conocimiento del riesgo mediante interacciones del elemento susceptible con el ambiente peligroso o la amenaza.

La suma de las variables riesgo-peligro-vulnerabilidad, implican un mayor grado de controversia científica; la investigación debe ser considerada desde sus causas, sus consecuencias y su probabilidad de ocurrencia. El análisis de todos estos factores permite obtener un estudio de riesgo.

En 1980 se producen cambios importantes en los estudios sobre riesgo:

- Hay una mejor atención a los riesgos inducidos o antrópicos
- Los modelos son más generalizados para poder estimar todos los riesgos de un lugar.
- La relación existente entre los peligros naturales o inducidos y el subdesarrollo económico.
- La noción de riesgo adquiere madurez por la influencia de movimientos ecologistas.

Los estudios de riesgo han sido analizados por especialistas en las ciencias naturales durante las siguientes investigaciones:

- Atmosféricas: Tormentas tropicales, huracanes, tornados, rayos.
- Sísmicas: Terremotos, tsunamis, licuefacción.
- Hidrológicas: Inundaciones, sequía, desertificación, erosión.
- Volcánicas: Gases, flujos de lava, flujos piroclásticos, explosiones.
- Geológicas: Deslizamiento de laderas, avalanchas, hundimientos, agrietamientos (Murillo, 1993).

El hundimiento y agrietamiento que se presenta en el área de estudio es uno de los riesgos de orden geológico más común, debido al tipo de material que se encuentra en la mayor parte de la zona de origen lacustre y de transición

La zona plana o lacustre que ocupa la mayor parte de la demarcación estuvo ocupada por los ex lagos de Chalco y Xochimilco, y el tipo de material predominante en la zona es arcilloso. Mientras que en la zona de transición presenta diferencias en los materiales, ya que se encuentran entre los depósitos piroclásticos y los derrames de lava de la zona de lomas y el material lacustre de la zona plana.

La zona de lomas está formada por una serie de domos y conos volcánicos; las elevaciones principales las forman los volcanes Guadalupe, Tecuatzi, Mazatepec, Xaltepec y la caldera de la Sierra de Santa Catarina. Al sur se encuentra el volcán Teutli y los depósitos volcánicos de la Formación Chichinautzin (figura 8).

La zona plana y de transición se encuentran completamente urbanizadas, y en éstas se encuentra la mayor parte de los pozos de explotación acuífera. Debido al crecimiento poblacional en la actualidad hay una extracción de agua que supera dos veces al agua que se infiltra.

La actividad antrópica como la colocación de rellenos para la construcción de viviendas, el desarrollo de zonas agrícolas, la apertura de túneles para drenaje, de aguas pluviales y negras, el crecimiento urbano, y sobre todo la sobreexplotación de mantos freáticos, aceleran la consolidación del suelo arcilloso.

La propiedad de la arcilla es fijar el agua al tiempo que se expanden y solidifican, actuando de manera plástica; sólo cuando se deshidratan pierden la propiedad de ser plástica. La deshidratación hace que la arcilla se contraiga provocando fisuras profundas de desecación o grietas de contracción y la deformación en el terreno se expresa comúnmente como hundimiento; estos procesos son generados por el fenómeno de hidrocompactación (Mazari, 1990).

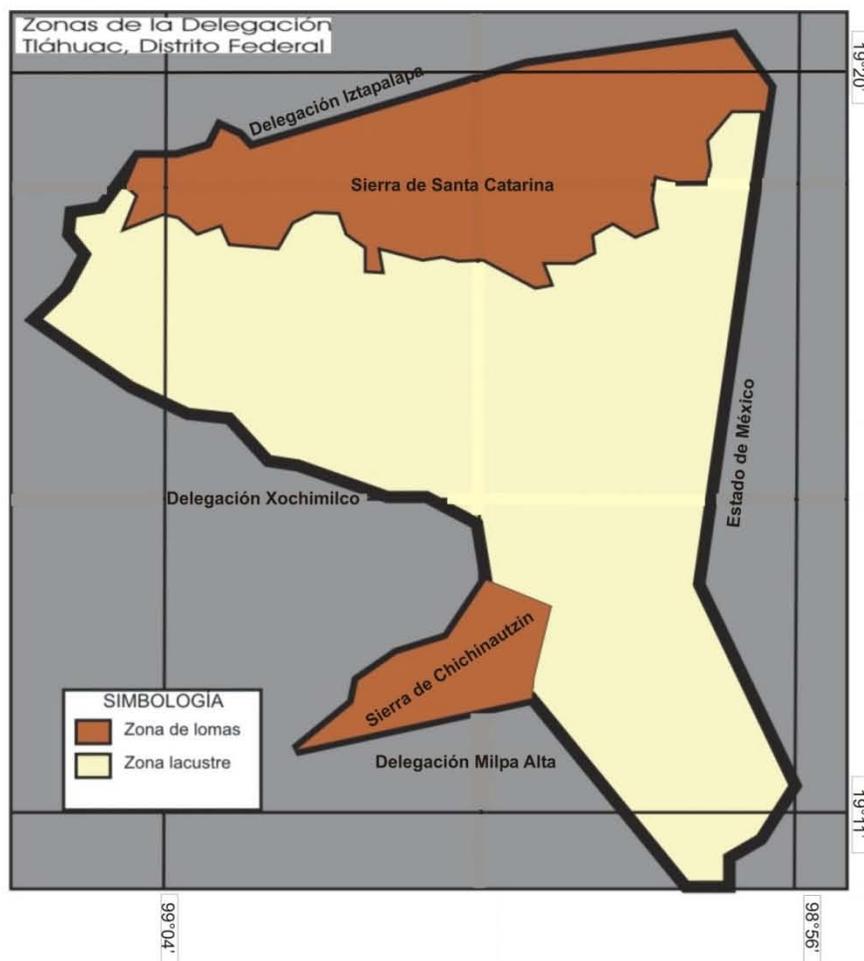


Figura 8. Delimitación de la zona lacustre, de transición y de lomas de la Delegación Tláhuac (INEGI, 1990).

Características del hundimiento.

Según Waltam (1989), el hundimiento es un asentamiento descendente del material del suelo, con poco movimiento horizontal. La causa más común que lo genera es la remoción lenta debajo de la masa que se hunde. Ejemplos comunes de formas de relieve producidas de esta forma son los asentamientos de masas falladas, la sobrecarga en áreas de turba, y la remoción de la lava fluida por debajo de una costra sólida.

Casos de hundimiento bien conocidos se presentan en Venecia, provocando daños al patrimonio arquitectónico y constantes inundaciones; en Bangkok el problema es muy similar al de Venecia. En México, el problema se ha extendido a diversos lugares de la república como Querétaro, Celaya, Irapuato, Torreón, Aguascalientes, Toluca, Puebla y el Distrito Federal (Waltam, 1989).

Debido a que se efectúa la extracción de agua subterránea mediante el bombeo profundo en el Distrito Federal, es común observar procesos de hundimiento de la infraestructura civil, en diversas delegaciones, sobre todo en las que forman parte de la planicie lacustre, entre ellas la delegación Tláhuac.

El bombeo profundo se desarrolla a través de diferentes estratos y sobre materiales diversos. Un cuerpo geológico puede ser sobreyacido por material permeable que permite una rápida absorción del agua, este estrato es conocido como acuífero libre, en él sólo influye la presión atmosférica.

Posteriormente, si se encuentra intercalado con otros materiales permeables e impermeables, se le denomina acuífero confinado. En este estrato los materiales permeables están intercalados entre materiales arcillosos, lo que dificultan la explotación acuífera.

Cuando hay una mayor cantidad de arcillas en el estrato, se le denomina acuitardo, en este lugar el material está muy consolidado y difícilmente cede agua,

y al hacerlo, de manera vertical genera conos de abatimiento alrededor del pozo de explotación (Rivera, 1991). Los conos de abatimiento generados por la extracción vertical del agua en las arcillas, originan diferentes desniveles piezométricos, debido a que la variación de la permeabilidad en los cuerpos varía al igual que la extracción del agua (figura 9).

Los principales puntos de hundimiento de la delegación Tláhuac se presentan en las porciones noroeste y centro (figura 10), en la que se ubican las colonias:

- Los Olivos
- La Turba
- Granjas Cabrera
- Gitana
- La Nopalera
- Agrícola metropolitana
- Del Mar
- Ampliación del Mar

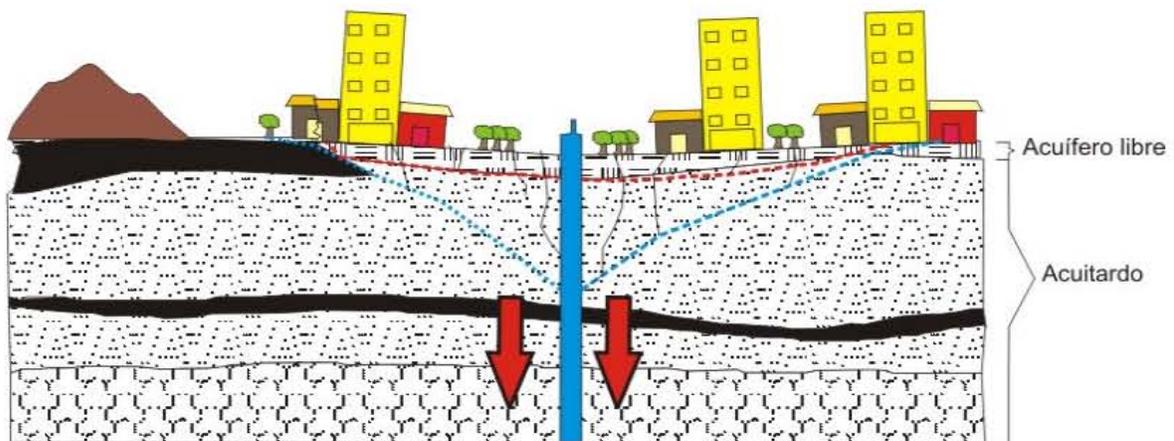


Figura 9. El cono de abatimiento (línea azul) se desarrolla en los estratos inferiores de la zona lacustre, en los estratos más superficiales (línea roja) se desarrollan los desniveles que afectan a la infraestructura civil.

La porción noroeste de la zona de estudio, presenta 24 puntos en donde se desarrollan ambos procesos: hundimiento y agrietamiento. El primero se presenta en forma de hondonadas, desniveles y algunos escalones. Hay 62 puntos en donde sólo se desarrolla el proceso de hundimiento (Figura 10).

Por situaciones de escala, fue mejor trabajar la información recabada de los procesos por áreas cuadradas. Para el mapa de hundimiento se elaboró una malla que abarca un área aproximada de 2km².

No fue posible obtener puntos con gráficas de hundimiento ya que continuamente los vecinos reparan el lugar, sin embargo, hay puntos que presentan hundimientos y están registrados desde 1998 por Lugo Hubp J. (información personal, 2007).

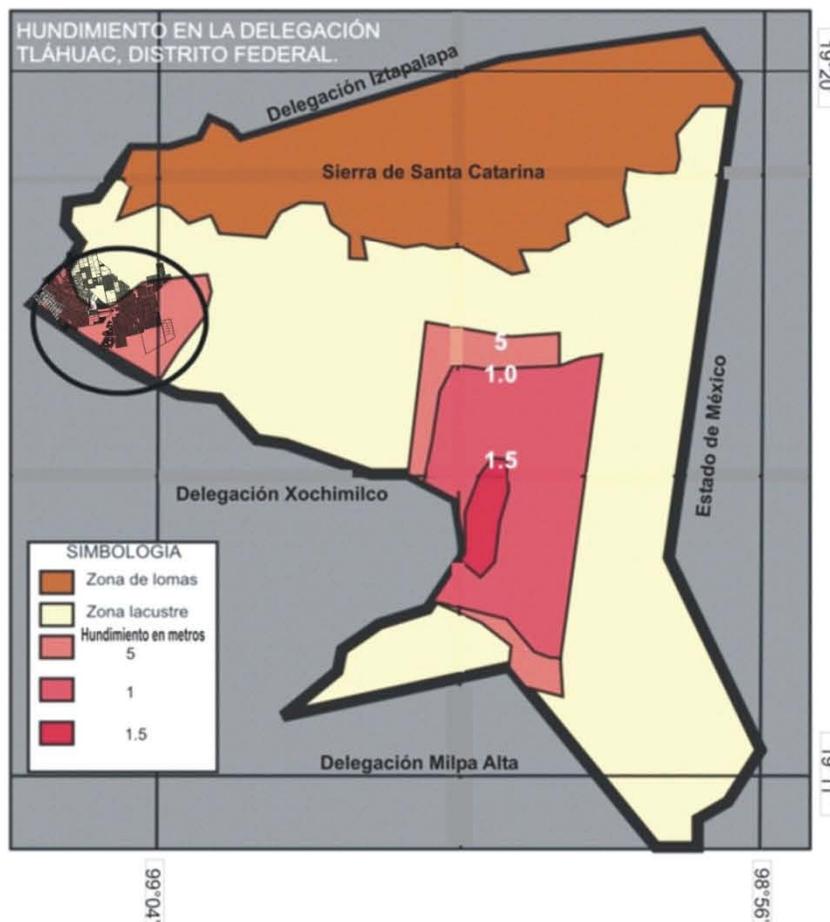


Figura 10. Principales áreas afectadas por hundimiento en la Delegación Tláhuac y la zona de estudio (círculo), en el período de hundimiento 1983-1998 (Nuñez et al., 2003).

Los daños a la infraestructura civil que se encuentran en las áreas de hundimiento, con pendiente entre 0-1° y menos de 50 cm de desnivel, presentan sólo afectaciones parciales en las banquetas y el pavimento. La delegación continuamente está reparando estos daños, nivelando la cobertura asfáltica y reconstruyendo las banquetas.

Las áreas con afectaciones mayores son aquellos que tienen más de 50 cm de desnivel y una pendiente entre 1-2°. Los daños se presentan en el asfalto, banquetas y construcciones; los daños llegan a ser considerables, teniendo en cuenta que es la población quien se encarga de reparar las viviendas y que, en la mayoría de los casos, las soluciones al problema son parciales.

Las siguientes fotografías muestran los principales daños a la infraestructura civil en la zona de estudio (figuras 11- 13).



Figura 11. La calle presenta un desnivel superior a los 50 cm, se presentan encharcamientos en la temporada de lluvias que pueden durar varios días

Figura 12. Los daños a la infraestructura civil se reflejan principalmente en pavimento, banquetas y postes de luz.





Daños a la infraestructura civil en la colonia Del Mar. La primer foto muestra daños al asfalto en calle Curel esquina La Turba y en la segunda foto se muestra la afectación a la banqueta y a una casa en calle Salmón esquina Sirena



En la primer fotografía el peso de la estructura se carga hacia el costado derecho en donde se encuentran los tubos de gas natural. Esto se puede observar por los edificios y el poste de luz. En la segunda fotografía se muestra el desnivel en la esquina de Escorpena y Adalberto Tejeda en la colonia Los Olivos.



El continuo hundimiento en el área de estudio ha propiciado que en época de lluvias sean frecuentes los encharcamientos que alcanzan los 20 cm de altura.

Figura 13. Ejemplos de hundimiento en el área de estudio.

Para elaborar el mapa de hundimiento en el área de estudio, fue necesario medir la pendiente y hacer nivelaciones con nivel de mano, cinta y estatal. Los resultados predominantes fueron pendientes que no sobrepasan los 2° y se presentan hundimientos mayores a 150 cm, la información fue corroborada con los registros de años anteriores de Lugo Hubp J. (información personal, 2007). Sin embargo, para el presente estudio solo se hizo una estimación tomando en cuenta dos variables, pendientes menores a 1° con hundimientos de $0 >$ a 50 cm y pendientes entre $>1^\circ$ a 2° con desniveles de >50 a 150 cm (figura 14).

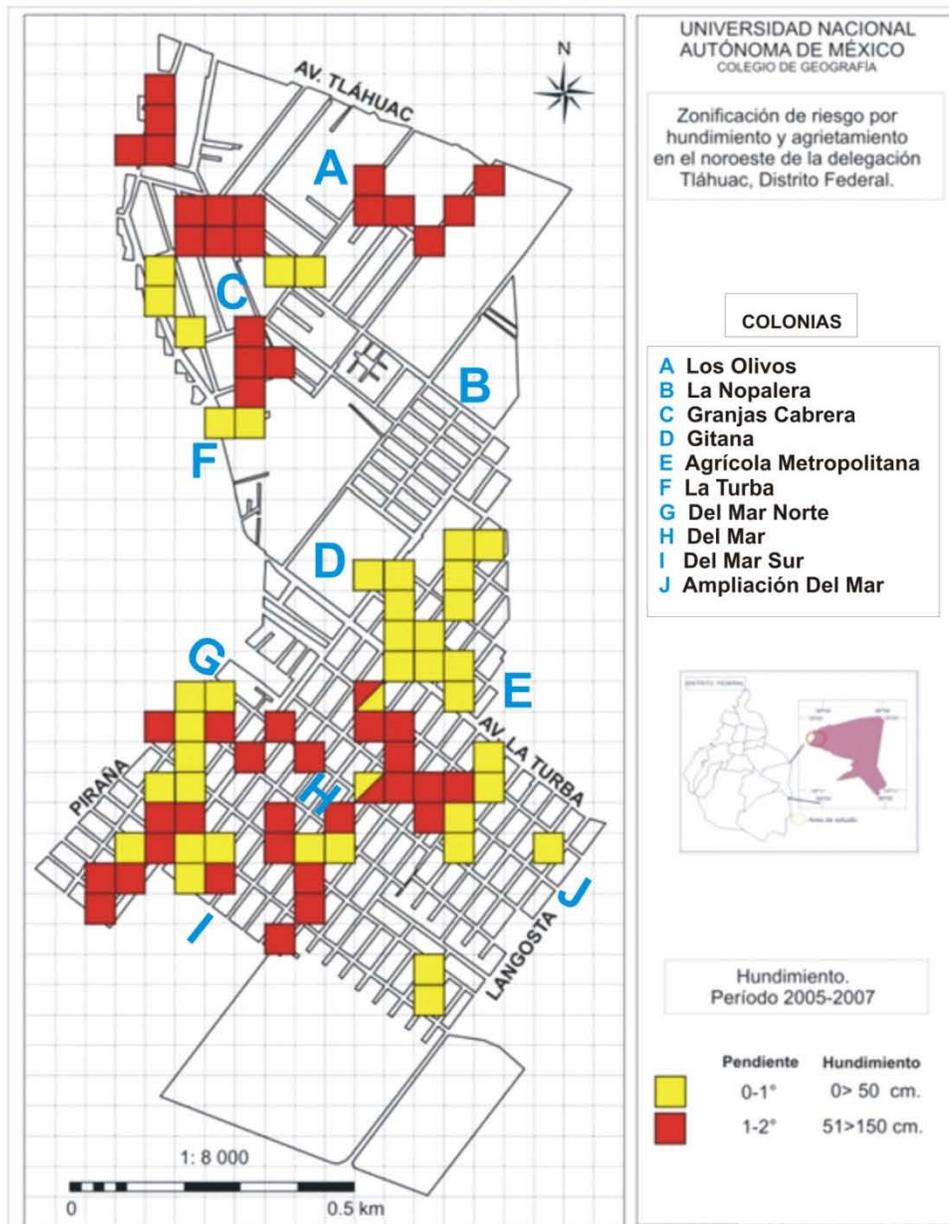


Figura 14. Mapa de hundimiento de la delegación Tláhuac, Distrito Federal. Son 86 puntos totales, de los cuales 24 presentan hundimiento y agrietamiento, y 62 sólo procesos de hundimiento.

Características del agrietamiento.

El agrietamiento de la superficie del terreno es la manifestación de una serie de desplazamientos verticales y horizontales del subsuelo en un área amplia, que resultan del hundimiento regional por la extracción excesiva mediante bombeo profundo del agua subterránea. Las irregularidades del subsuelo pueden favorecer rupturas del paquete arcilloso formando grietas.

Los principales antecedentes sobre hundimiento y agrietamiento en Estados Unidos y Méxicio se pueden resumir en la siguiente tabla:

Autor	Aporte científico	Año	Lugar de estudio
Carrillo N.	La extracción de los acuíferos forma esfuerzos de tensión en el agua, y de comprensión en el suelo. Cuando la cantidad de agua varía, los esfuerzos de tensión y comprensión se invierten, generando la formación de grietas.	1947	Lago de Texcoco, México.
Poland J., Shuman H.	Los hundimientos y la formación de grietas se relacionan con la extracción desmedida de agua utilizada para riego.	1969	Zona Eloy-Picacho, Arizona, USA.
Lee K., Stauss E.	Predicción de movimientos horizontales y verticales en zonas de minas por remoción de los materiales del subsuelo.	1969	Región costera de Texas, USA.
Riquelme R.	Formación de grietas por la aparición de una estructura volcánica sepultada.	1974	Fraccionamiento Los Olivos, delegación Tláhuac, Distrito Federal, México
Holtzer T.	La formación de grietas se debe a procesos de erosión, aparición súbita y al abatimiento de niveles piezométricos.	1976	Estados de Arizona, California, Idaho, Texas y Nevada
Kreitler C.	Los sistemas de fallas son controladores de las grietas y de los hundimientos diferenciales en el subsuelo.	1976	Condados de Harris y Galveston, Texas, USA.
Melgoza C.	Fallas geológicas activadas por bombeo de los acuíferos o a fallas por cortante, asociadas a la consolidación diferencial del subsuelo.	1978	Zona de Naucalpan, Estado de México, México.
Del Castillo L.	Por medio de un levantamiento sismológico se encontró la zona dentro de un cauce sepultado.	1978	Zona de Naucalpan, Estado de México, México.

Figueroa V.	Formación de grietas a partir de la operación de pozos para bombeo de agua subterránea en los valles de Toluca e Ixtlahuaca.	1978	Alto Lerma, Estado de México, México.
Juarez B., Figueroa V.	Teoría de flujo unidimensional hacia una batería de pozos. Esfuerzos cortantes que inducen al deslizamiento de suelo cerca de los acuíferos para bombeo.	1984	Naucalpan y Alto Lerma, Estado de México, México.
Holtzer T.	La extracción de agua genera hundimiento y zonas de falla en el subsuelo. Así como la influencia de la topografía (rocas basales sepultadas por materiales blandos).	1984	Zona urbana de Phoenix, Arizona, USA.
Arias A. Auvinet S.	Por medio del estudio de vértices en una grieta y la intensidad de esfuerzos críticos, una grieta preexistente puede ser reactivada por la presión del agua de lluvia infiltrada.	1990	Cuenca de México, México.
Figueroa V.	Hundimientos bruscos durante el sismo de 1985 por la sobreexplotación del agua subterránea.	1990	Celaya, Guanajuato, México.
Alberro J., Hernández R.	Generación de grietas debidas a evaporación y encharcamientos, por bombeo de agua subterránea y por presión hidráulica.	1990	Ex lagos de Xochimilco y Chalco, México.
Sandoval J., Bartlett A.	Programa de mitigación de fisuras, educación, detección temprana y tratamiento correctivo inmediato.	1991	Zona de Eloy-Picacho, Arizona, USA.
Heneberg W. <i>et al.</i>	Mediante perfiles sísmicos y gravimétricos se infiere si la grieta se inicia en la superficie o a profundidad.	1991	Zona de Eloy-Picacho, Arizona, USA.

Elaboración propia con fuentes de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos (SMMS, 1991).

Desde el punto de vista de la geomorfología, se trata de un proceso de gran interés, escasamente descrito en la literatura e importante por el riesgo que representa para las construcciones y las tierras de cultivo, ya que las grietas pueden convertirse en agentes de la erosión del subsuelo.

De los estudios anteriores se destacan tres factores principales de agrietamiento:

- **Litología.** El cambio en las propiedades mecánicas del suelo en la constitución arcillosa que cambian sustancialmente en los estados húmedo

y seco, expresada en hundimientos. Las irregularidades del subsuelo pueden favorecer rupturas del paquete arcilloso.

- **Estructura geológica.** La grieta puede ser favorecida por un contacto litológico subterráneo que ante un hundimiento diferencial del material arcilloso provoque una ruptura.
- **Fallas geológicas o fracturas de origen profundo.** Se caracteriza por la formación de escarpes.

Las fases de formación de grietas, están representadas en dos etapas:

La primera etapa del proceso de formación de las grietas consiste en fisuras delgadas de incluso 1-2 mm en las arcillas, como ha sido expuesto por Juárez B., en 1959. Estas fisuras pueden crecer gradualmente y captar los escurrimientos superficiales.

La segunda etapa se produce con lluvias extraordinarias que provocan la formación repentina de las grietas anchas y la saturación del subsuelo, repitiendo las condiciones originales que prevalecían a principios de siglo. La presión da lugar a la ruptura de la capa arcillosa en un plano vertical. La masa de tierra se colapsa y buena parte de ésta es removida por el flujo de agua (DGCOH, 1992).

El agua circula verticalmente a través de la grieta con velocidad considerable hacia la capa subyacente altamente porosa. En este flujo, el agua continúa transportando material fino. Se trata de un fenómeno típico de sufosión: remoción en el subsuelo de partículas finas por flujo superficial.

La sufosión se presenta durante ambas etapas de formación de la grieta. No se trata del proceso generador de las grietas, sino, muy probablemente, del proceso que contribuye a su desarrollo, semejante a una corriente superficial que es controlada por una falla geológica o un contacto litológico.

Queda la duda acerca de si han tenido influencia o no los movimientos sísmicos sobre la formación de fisuras nuevas o sobre el agrandamiento de las existentes. Pero aun cuando hubiera influencia sísmica, no significa que se trate de fallas geológicas (Alberro, 1990).

La formación de las grietas en la delegación de Tláhuac se puede explicar por un proceso semejante al que dio origen a otras en la planicie lacustre desde la mitad del siglo XX; además de la explotación de aguas subterráneas, la hidrocompactación del material arcilloso, las estructuras volcánicas sepultadas, los hundimientos diferenciales, periodos prolongados de lluvias, presencia de árboles con alta demanda hídrica y en menor medida a las zonas de transición abrupta; no obstante, se considera a la *sufosión* como un proceso complementario importante (figura 15).

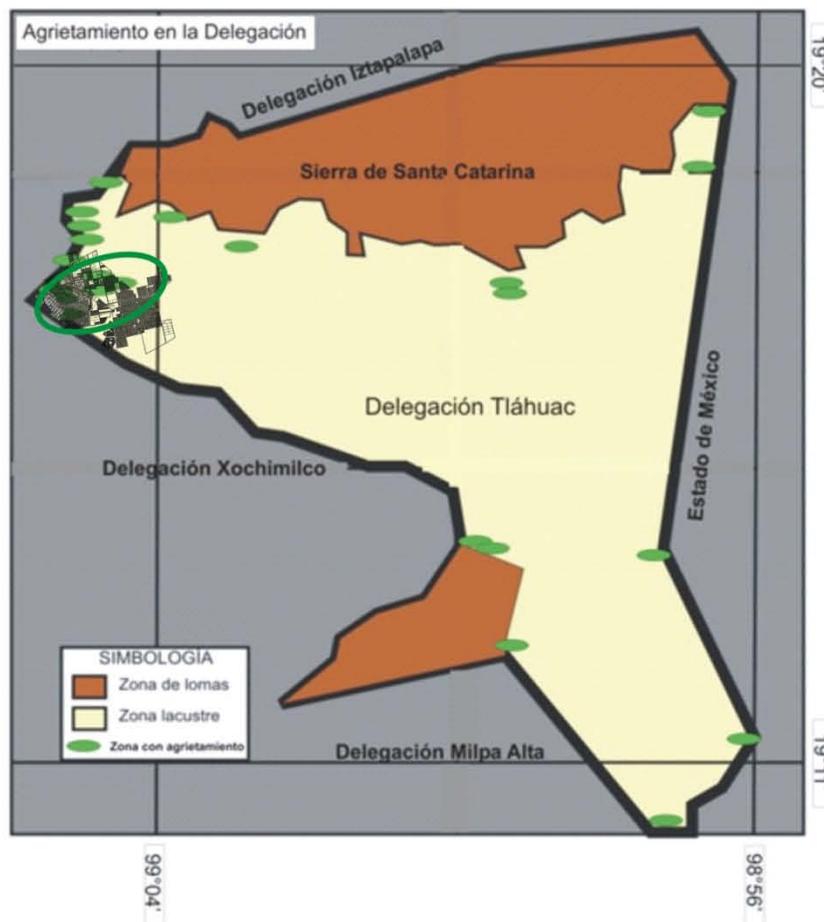


Figura 15. Principales zonas de agrietamiento, elaborado con el inventario de agrietamiento de la DGCOH, 1990 y el mapa de agrietamientos de Protección Civil de la demarcación.

El agrietamiento es mayor hacia el noroeste de la delegación, es por ello que se tomó como caso de estudio la porción noroeste donde se reconocieron 26 puntos con afectaciones por hundimiento y agrietamiento, y otros 40 puntos donde sólo se presenta agrietamiento.

La dirección preferencial de las grietas es N-S y con menor tendencia se encuentra la dirección NW. El arreglo geométrico frecuente en la zona es en *echelón* izquierdo y derecho; esta forma presenta escalonamientos o zonas de relevo entre las grietas. Cuando la grieta alcanza una mayor longitud, las zonas de relevo desaparecen y se une una grieta con otra .

La zona noroeste presenta dos tipos de agrietamiento, la parte norte tiene un patrón preferencial N-S; son grietas de menor longitud, los daños más comunes a la infraestructura civil se presentan en las banquetas y la cobertura asfáltica. Son grietas asociadas al hundimiento del terreno en donde se hallan con mayor frecuencia ambos procesos (figura 16-20).

En la parte sur se reconoce un agrietamiento con dirección preferencial NW, las grietas son de longitud mayor a 1 m y los daños a la infraestructura civil son, en casas, muros, banquetas, alcantarillas, postes de luz, drenaje y cobertura asfáltica.

Para poder registrar los puntos con afectaciones por agrietamiento y hundimiento fue necesario el uso de fichas de campo en donde se registraron las características específicas de las grietas, así como los daños a la infraestructura civil y el grado de afectación visual que presentó cada punto (figura 21).



Figura 16. El arreglo en *echelón* se presenta en forma de escalones, el desarrollo de la grieta puede ocupar los espacios en la zona de relevos.



Figura 17. Las grietas pueden presentar aperturas mayores a 10 cm. El daño a la cobertura asfáltica afecta a los transeúntes.



Figura 18 Desarrollo de grieta a lo largo de la calle Abulón esquina La Turba.



Figura 19. Afectaciones a la infraestructura civil en la calle Océano esquina Piraña



En la Colonia Del Mar se presentan casas con daños considerables, en ambas casas tienen parcialmente solucionado el problema de agrietamiento con la colocación de polines y el resane de muros.



La formación de grietas puede presentarse en forma de escalones como en la primer fotografía o en forma de aperturas de algunos cm como en la segunda fotografía.



En la primer fotografía se muestra una casa localizada justo por donde pasa una grieta, en la colonia Del Mar en la calle sardina. La segunda fotografía presenta la formación de grietas en un deportivo de la colonia Los Olivos, en la calle Cocodrilo esquina Adalberto Tejeda.

Figura 20. Ejemplos del agrietamiento en el área de estudio

Los datos obtenidos fueron utilizados para diseñar un mapa de longitud de grietas medidas en metros, en un área de aproximadamente 2km². Las longitudes resultaron de 8 a 80 m establecidas en 7 rangos dentro del mapa correspondiente (figura 22). La tonalidad de colores representa la longitud de la grieta. Para la menor longitud, el color es amarillo claro, para la mayor el tono es morado. La longitud de las grietas fue entre 16 y 25 m.

AGRIETAMIENTO EN LA PORCIÓN NOROESTE DE LA DELEGACIÓN TLÁHUAC

Fecha:	Noviembre 13, 2005	Número de estación:		Numero de foto y referencia:
Localidad:	Del Mar	Clave de grieta:	60°, 65° Y 75° NW	
Referencias:	Ostión esq. Mojarra	Coordenadas:	493952 2132026	

Planos de grietas

Rumbo	Echado	Ancho (m)	Apertura	Curvatura del plano	Longitud (m)	Relleno	D. Neto (m)	D. Vertical (m)
60 NW			1 cm.			2 basura		
65 NW						hojas		
75 NW								

Daños a Infraestructura	Características	
Pavimento	Tanto la casa como los muros presentan grietas pequeñas con apertura de unos 2 milímetros.	
Banqueta		X
Casas		X
Muros		X
Postes		
tipo de Infraestructura		
Otros	Coladeras	

Terminación de fractura:	Arreglos de fracturas:
simple	relay
cola de caballo	echelon
ala	relevo
bifurcada	conjugado
echelon	X anastomosado
paralelo	abanico
	perpendicular
	complejo

Reconstrucción de Infraestructura	Características	
Pavimento	Son reparadas al menos dos veces al año, se resanan con un poco de cemento.	
Banqueta		
Casas		X
Muros		X

Grado de Afectación	
Sin afectación	
Poco afectada	
Afectación mediana	
Muy afectada	X

Figura 21. Fichas de campo elaboradas para el registro de las características a detalle del agrietamiento y el daño a la infraestructura civil. Elaboración propia.

En la zona norte (Colonias Los Olivos, La Nopalera, Granjas Cabrera y La Nopalera) se encontró una menor cantidad de agrietamiento en comparación con las colonias Del Mar y Ampliación del Mar, al sur. En la porción centro sólo hubo algunas grietas localizadas en las colonias Agrícola Metropolitana y Gitana.

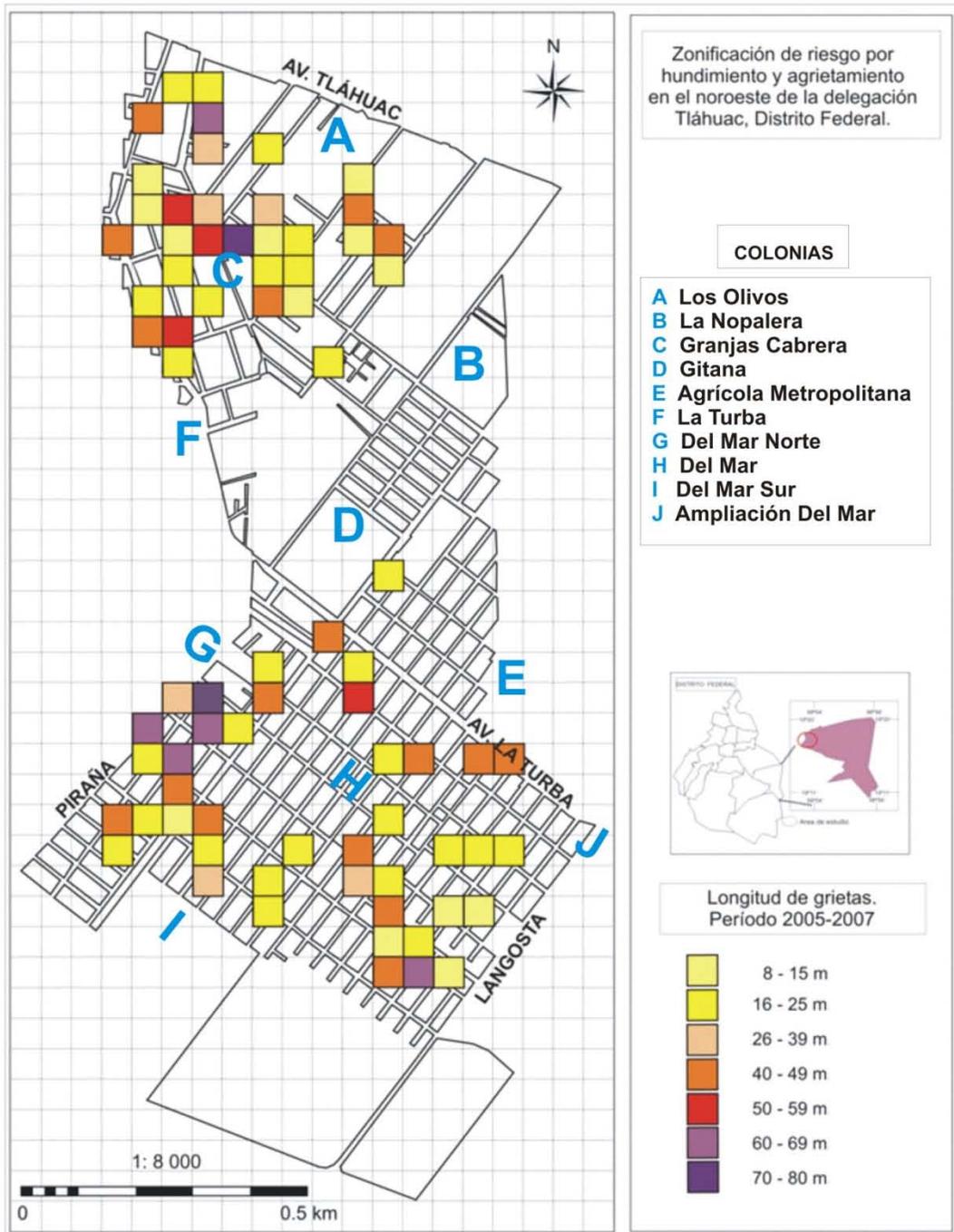


Figura 22. Zonificación de la longitud de grietas en una franja de aproximadamente 2km² de espacio.

CAPITULO IV.

ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR HUNDIMIENTO Y AGRIETAMIENTO AL NOROESTE DE LA DELEGACIÓN TLÁHUAC.

Mapas de riesgo.

Para García (2001), los primeros mapas de riesgo fueron dirigidos al cuidado laboral de los trabajadores en Italia, a fines de la década de 1960 y principios de 1970. El mapa de riesgo tenía como fin localizar, controlar y dar seguimiento de manera gráfica a los agentes generadores de riesgo dentro del sector laboral.

Los mapas de riesgo de orden natural surgen a principios de los años 90 como respuesta a una necesidad social de dar a conocer de manera más práctica los resultados de los estudios de riesgo natural.

En los siguientes párrafos se hace una comparativa entre la escuela de Chicago y la escuela española según Calvo (2001).

La escuela de Chicago fue la pionera en los estudios de riesgo. Uno de sus objetivos principales es la integración de los agentes físicos y las estructuras sociales para la interpretación geográfica del riesgo.

A pesar de que la escuela de Chicago hace aportaciones con los estudios de riesgo, es la escuela española la que actualmente hace trabajos más prácticos en el campo de las relaciones del sistema natural-sistema social de forma integral.

La escuela española aporta la primera cartografía de áreas de riesgo potencial, establecimiento de redes de información y prevención en las áreas donde se presentan fenómenos naturales adversos para un sector poblacional.

Ambas escuelas coinciden en que los grupos humanos son quienes van a desarrollar el riesgo ante algún fenómeno natural. Es entonces, la población quien difunde en mayor o menor escala las áreas de riesgo. *Sin la presencia humana el riesgo natural es simplemente peligro natural.*

Sin embargo, el objetivo más importante de la escuela española es el conocimiento de los parámetros físicos por medio de mapas y escalas de riesgo, y no el análisis social ante los diferentes fenómenos naturales desastrosos, como plantea la escuela de Chicago.

Tipos de mapas de riesgo.

El concepto de mapa de riesgo es muy flexible y se puede aplicar a cualquier instrumento informativo que permita localizar los factores de riesgo y los posibles daños que se presenten en una zona.

El mapa básico es el de factores de riesgo. Los datos recabados en campo permitieron la elaboración de dicho mapa. Un segundo mapa es el de exposición al riesgo, el cual tiene la finalidad de prever las posibles consecuencias de la población expuesta.

El mapa que reúne a los dos anteriores se conoce como mapa de daños mismo que permite tomar las medidas necesarias para la mitigación del riesgo y conduce con veracidad al manejo del sector poblacional ante un evento catastrófico (*LA RED, 2005*).

Para alcanzar el objetivo de la presente investigación, fue útil considerar los trabajos relacionados con la escuela española, así como el método para elaborar mapas de factores de riesgo con instrumentos informativos. La recopilación de datos en campo, y el manejo de información por medio de niveles de riesgo, permitieron la zonificación de riesgo. Lo que incluye dos tipos de cartografía:

- a. La amenaza, que para los efectos de esta investigación se concibe como un fenómeno natural, cuya magnitud y localización puede ocasionar daños a las personas y a sus bienes.
- b. La vulnerabilidad, que expresa la mayor o menor fragilidad de los diferentes sectores y elementos de la población frente a dicha ocurrencia.

La vulnerabilidad es estimada como la capacidad de respuesta de las construcciones humanas a la activación de una amenaza, y la exposición alude a la población medida en número de habitantes o de bienes por unidad de superficie, situados al interior de una zona de peligro (INCENDI, 2000).

Cabe destacar que los fenómenos de agrietamiento y hundimiento no dañan de manera directa a las personas salvo en casos excepcionales, pero sí afectan de manera significativa a sus bienes. Por ello, la mayor parte de la información recabada fue en función de los daños a la infraestructura civil (Ayala y Olcina, 2002).

Mapa de amenaza.

El mapa de peligro o amenaza se obtuvo con los puntos donde se registró hundimiento y agrietamiento, ubicados en el mapa base. La información de los campos de infraestructura civil dañada fue recabada en las fichas de trabajo y en el plano catastral del año 2003.

El plano catastral que cubre el área de estudio se delimitó en aproximadamente 2 km², las coordenadas UTM de la parte superior son: 493000/2131451 y en la parte inferior: 494484/2134561. La escala más favorable para este estudio fue de 1: 8, 000.

La infraestructura civil dañada que se tomó en cuenta para cada punto fue:

- banquetas.
- pavimento.

- coladeras.
- postes de luz.
- casas.
- muros.
- drenaje.

Con el registro de todos los puntos afectados se hizo un promedio de la infraestructura civil dañada (escala de uno a siete) sobre el número total de todos los puntos afectados en la zona (que sumaron 89 puntos totales). El resultado obtenido fue una probabilidad de frecuencia (Holguín, 1974), la cual tiene un valor único de 100 si se suman todos los resultados obtenidos del promedio (tabla 1).

Número de infraestructura civil con daños.	Puntos con el mismo número de daños a la infraestructura civil (frecuencia)	Probabilidad
1	19	$19/89=.213$
2	19	$19/89=.213$
3	24	$24/89=.269$
4	12	$12/89=.134$
5	13	$13/89=.146$
6	1	$1/89=.011$
7	1	$1/89=.011$

Tabla 1. Probabilidades de frecuencia para elaborar el mapa de amenaza.

Los datos fueron registrados en un programa de cómputo Excel, para manejarlos en el sistema de información geográfica ILWIS, por la técnica de interpolación de Kriging. Se analizaron los datos y se obtuvieron los siguientes valores:

- Riesgo bajo (0-1).
- Riesgo medio (1.1-2).
- Riesgo alto (2.1-3).

Finalmente, la información histórica y la memoria colectiva sobre eventos ocurridos son básicos para la identificación y evaluación de la amenaza. Por ello resultó importante tener un antecedente de la evolución de los procesos. Matorelli, 2003⁶.

La información histórica fue obtenida a través de dependencias gubernamentales como: SEDUVI (Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda), Protección Civil de la delegación Tláhuac, Anales de la DGCOH (Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica) de los años 1990-1994 e información con los habitantes del área de estudio.

El mapa de amenaza muestra mayor peligro en la porción sur del área de estudio. El nivel de peligro guarda una estrecha relación con el mapa de longitud de grietas y el mapa de hundimiento.

Las grietas de mayor longitud se encuentran en la porción sur y al tener una mayor dimensión abarcan un radio extenso de predios, esto genera daños a la infraestructura civil que, aunado a una mala planeación y con construcciones en donde no se consideran los procesos de hundimiento y agrietamiento, provocan un mayor peligro en la zona.

Las construcciones más afectadas son aquellas de más de un nivel. Por lo general las construcciones con más de dos niveles y las que se encuentran cercanas al punto de afectación, con procesos de hundimiento o agrietamiento, presentan cuarteaduras en los muros, casas contiguas que se recargan una sobre otra y desnivel en los pisos.

En menor medida se encontraron daños al sistema de drenaje y alcantarillado. Hubo tuberías con afectaciones. Los vecinos señalaron que

⁶ Martorell R., Sáen R. (2003), "Programa de preparativos para situaciones de emergencia y coordinación del socorro en casos de desastre de la OPS/OMS", *EIR informa*, No. 3, www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc147271/html.

posterior a la rotura de los tubos de agua potable “...las grietas se hacían más grandes y ya no desaparecían...”

El peligro es en su mayor parte de nivel medio. Dentro de esta categoría se encuentran aquellas construcciones de 1 a 3 pisos, y la infraestructura civil dañada incluye banquetas, pavimento, muros, alcantarillas y casas. Las construcciones son reparadas, pero resultan sólo soluciones parciales que disfrazan el problema, al colocar de polines en las losas, resane y relleno de fisuras en muros con cemento y nivelación de la cubierta asfáltica.

La amenaza para el nivel alto se presenta en las localidades en donde todos los tipos de infraestructura civil están dañados, como son los predios que exceden los 3 niveles de construcción; el paso de tubería de gas natural, drenaje y agua potable, así como lugares en donde las construcciones ya no pueden ser habitadas. Las construcciones pese a que se les repara continuamente, siguen presentando daños visibles. Las zonas afectadas crecen en longitud. Los hundimientos son en promedio de 50 cm, y por lo general se presentan junto con del proceso de agrietamiento.

Otro tipo de infraestructura civil que es motivo de amenaza latente, son los postes de luz, los cuales al encontrarse dentro del nivel de peligro alto tienden a estar inclinados entre 3 y 7°, lo que representa amenaza para la población, sobre todo si tienen cables de alta tensión (figura 23).

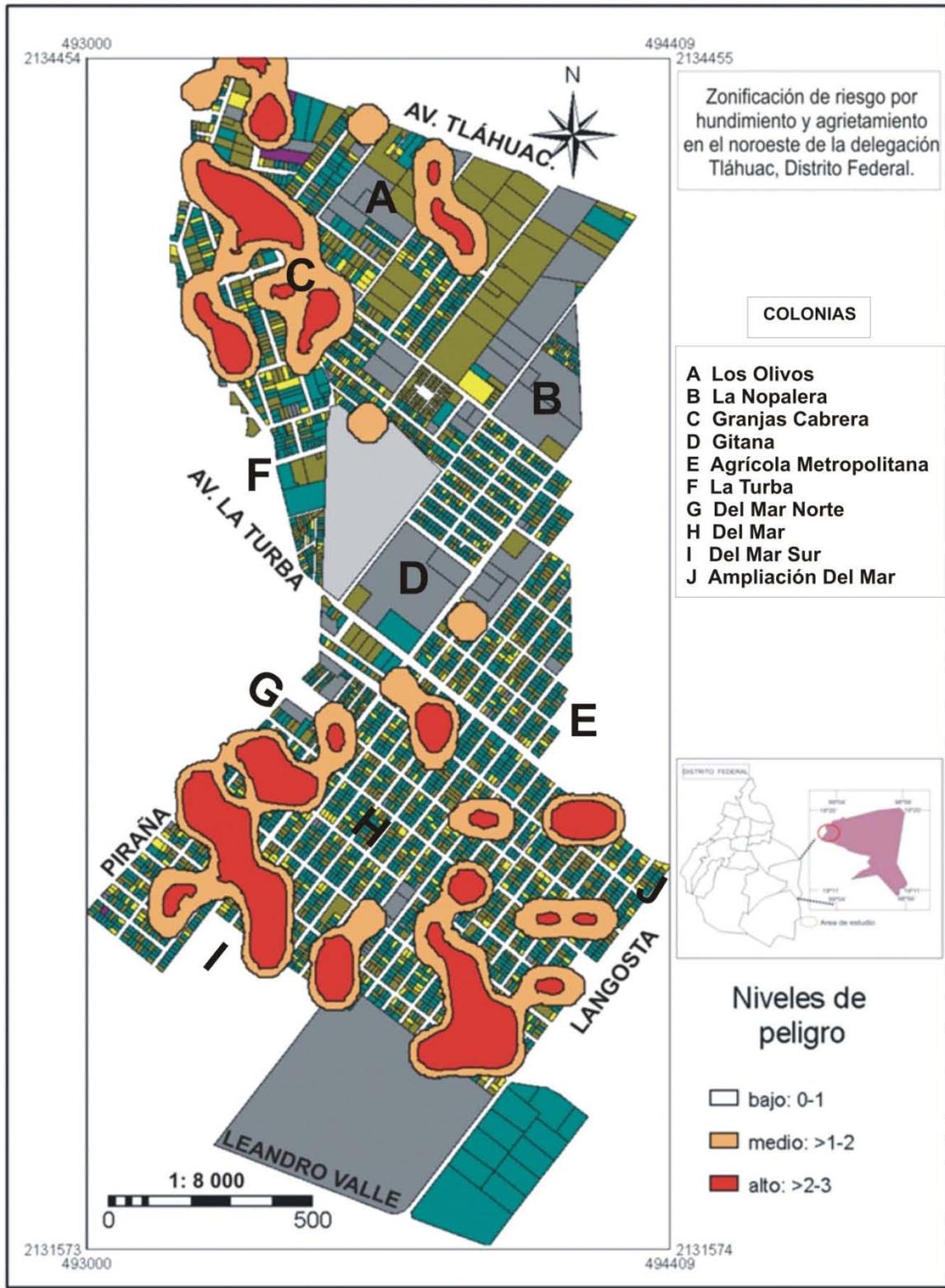


Figura 23. Mapa de amenaza en la porción noroeste de la delegación Tláhuac. Los niveles de amenaza están valorados a través del daño a la infraestructura civil.

Mapa de vulnerabilidad.

La metodología utilizada para la elaboración de este mapa fue la propuesta por Martorell, 2003. Mediante un cuestionario se investiga la percepción del riesgo y se determinan los aspectos más vulnerables entre la población afectada. La aplicación correcta de los cuestionarios en campo es indispensable para llevar a cabo el registro de la vulnerabilidad.

Uno de los objetivos al utilizar esta metodología es el conocer el concepto de riesgo para la población, saber cuál es la percepción que se tiene de los procesos de agrietamiento y hundimiento, y si realmente se cree que afecta de manera directa a sus bienes (Martorell, 2003).

El cuestionario se diseñó con ocho preguntas concretas, en donde la respuesta "Sí" representó un grado sin riesgo o con valor 0 y la respuesta "NO" representó un riesgo total o con valor 1 (figura 24).

Al igual que en el mapa de amenaza, en el de vulnerabilidad se hizo un promedio utilizando el número total de respuestas negativas, sobre el número total de puntos con afectación, nuevamente el resultado es una probabilidad de frecuencia con valor único de 100, si se suman todos los resultados obtenidos del promedio (tabla 2).

Número de preguntas	Puntos con el mismo número de respuestas con riesgo (frecuencia)	Probabilidad
1	12	$12/89=.134$
2	10	$10/89=.112$
3	8	$8/89=.089$
4	15	$15/89=.168$
5	10	$10/89=.112$
6	18	$18/89=.202$
7	9	$9/89=.101$
8	7	$7/89=.078$

Tabla 2. Frecuencia de probabilidades para elaborar el mapa de vulnerabilidad.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFÍA

CUESTIONARIO



ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR HUNDIMIENTO Y AGRIETAMIENTO AL NOROESTE DE LA DELEGACIÓN TLÁHUAC, DISTRITO FEDERAL.

1. Su vivienda fue construida con la opinión de algún arquitecto o ingeniero civil?
SI NO
2. Ha dado algún monitoreo a los movimientos que presentan los procesos (hundimiento y/o agrietamiento)
SI NO
3. Los daños por estos procesos (hundimiento y/o agrietamiento) han sido reparados totalmente?
SI NO
4. Ha consultado especialistas para mitigar los problemas que se presentan en su vivienda?
SI NO
5. Invierte lo necesario para darle mantenimiento a la infraestructura civil dañada?
SI NO
6. Puede solventar los gastos por mantenimiento que requieren los daños?
SI NO
7. En caso de algún siniestro, cuenta con elementos que faciliten su salida? (Coche, teléfono, albergue...)
SI NO
8. De ser necesario dejaría su vivienda para ser reubicado en otra zona?
SI NO

Figura 24. Cuestionario utilizado para indicar la vulnerabilidad en el área de estudio, basado en la metodología propuesta por Matorelli y Sáen, 2003.

Los datos fueron registrados en una tabla del programa Excel para manejarlos mediante el sistema de información geográfica ILWIS, y analizada por

la técnica de interpolación de Kriging. Se graficaron los datos y se obtuvieron los siguientes valores:

- Riesgo bajo (0-1).
- Riesgo medio (>1-2).
- Riesgo alto (>2-3).

En comparación con el mapa de amenaza, el nivel alto en el rubro de vulnerabilidad fue mayor. La percepción de peligro por parte de la población ante los procesos de hundimiento y agrietamiento es casi nula. En su gran mayoría, las personas no conocen la dinámica de los procesos, y piensan que "... se puede vivir con el problema, siempre y cuando la delegación repare los daños..."

El desconocimiento de la fuerza y magnitud de los procesos es tal, que la población no ve necesario darle seguimiento o algún tipo de monitoreo, lo único necesario es estar reparando la infraestructura civil dañada. Los vecinos consideran que las reparaciones las debe hacer la delegación pues "...los ingresos no alcanzan para que el mantenimiento se lo pueda dar uno..." Por su parte, la delegación no cuenta con un inventario de los procesos, y tampoco tiene un mapa de riesgos en donde puedan valorar cuales son las áreas más afectadas.

La manera de conocer el problema es mediante Protección Civil de la demarcación. A través de llamadas de la ciudadanía alertando de los daños causados por hundimiento y agrietamiento, Protección Civil valora y cuantifica el problema para que la delegación de solución a los puntos con mayor afectación.

La mayor parte de las casas fueron construidas con la opinión de un arquitecto o ingeniero civil. Sin embargo, son muchas las casas que presentan daños. Un vecino menciona "...cuando construí mi casa, estaba todo plano, por eso el arquitecto me dijo que podía construir hasta tres niveles más, y no iba haber problema. Después del sismo del 85, el lugar empezó a agrietarse..."

La pregunta del cuestionario en donde más se recurrió a la contestación NO, fue la número 8. “De ser necesario, ¿dejaría su vivienda para ser reubicado en otra zona?” Las personas ven su vivienda como un patrimonio invaluable, en la mayoría de los casos es con el único bien con el que cuentan, por consiguiente no lo dejarían, aún cuando su casa, por seguridad, ya no pueda ser habitada.

El nivel de vulnerabilidad medio se encuentra en las zonas en donde la población contestó SÍ al menos a tres preguntas. Esto disminuyó la exposición al riesgo. Las preguntas en donde la población contestó afirmativamente fueron, 1, 4 y 7. Con información adicional al cuestionario, en este nivel, las personas están conscientes de que los procesos le ocasionan daño a sus bienes. Sin embargo, no se encuentran alertas ante algún siniestro y no saben a quién recurrir para conocer los procesos.

El nivel de vulnerabilidad alto fue valorado a partir de seis preguntas negativas. Con el cuestionario se pudo conocer de manera somera, qué tan vulnerable se encuentra una familia ante los daños que se generan por los procesos de hundimiento y agrietamiento. La información adicional que proporcionó la población cuestionada, fue útil para valorar el nivel de vulnerabilidad (figura 25).

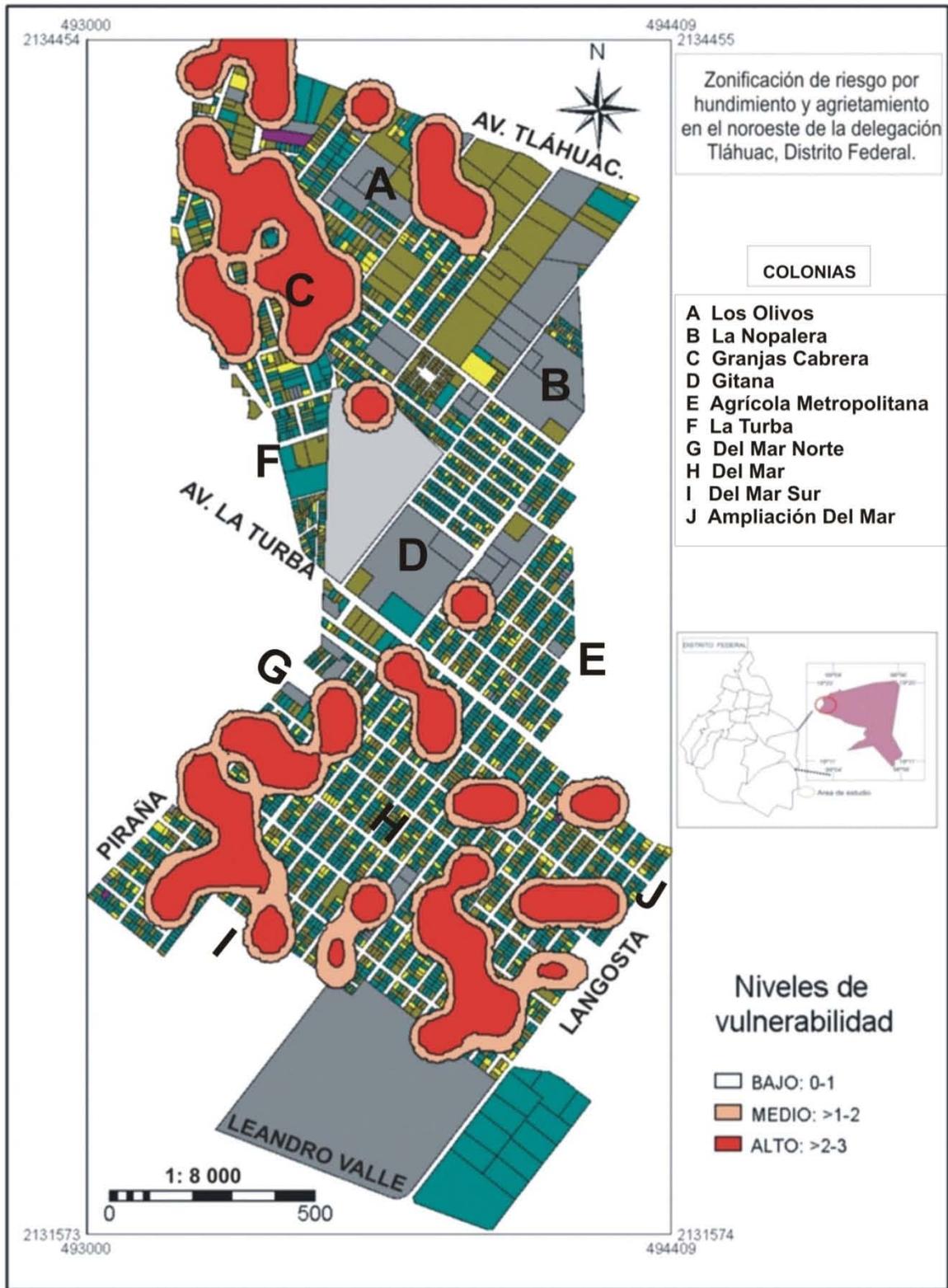


Figura 25. Mapa de vulnerabilidad de la porción noroeste de la delegación Tláhuac.

Mapa de riesgo.

Para realizar este mapa, fue necesario utilizar la frecuencia de probabilidades de los datos de la amenaza y de la vulnerabilidad. Sin embargo, el manejo de estas variables independientes entre sí, trae consigo información imprecisa y con niveles de incertidumbre.

Los niveles de incertidumbre son manejados por el método bayesiano, la teoría de la lógica difusa y recientemente, la teoría de la evidencia, entre otros. Parte de la metodología que se utilizó para elaborar el mapa de riesgos se basa en la teoría de la evidencia, ya que esta propone un método para describir la incertidumbre en la relación entre amenaza, vulnerabilidad y riesgo (Reyes, 2005).

En el trabajo “Un procedimiento para elaborar mapas de riesgos naturales aplicado a Honduras”. Ahamdanech y colaboradores, 2003⁷ proponen manejar las variables amenaza y vulnerabilidad a través de la teoría de la evidencia, para generar un mapa de riesgos en Honduras por medio de un sistema de información geográfica (SIG). Por razones de escala y el manejo de información en la presente investigación, la metodología se desarrolla por medio de datos de contingencia en tablas del programa Excel y no en un SIG, lo que conduce al mismo resultado para la elaboración del mapa.

La teoría de la evidencia ha sido utilizada en numerosos campos científicos e incluso en la vida cotidiana. Su aplicación es muy útil si se tienen que tomar decisiones a partir de información imprecisa o incompleta. Esta teoría fue desarrollada por Dempster-Shafer en 1976 (en Moreno, 2002), maneja la ignorancia y la necesidad de representar y combinar “grados de creencia” asignadas a un evento.

⁷ Ahamdanech I., Alonso C., Bosque J., Malpica J., Loeches M., Pérez E., Temiño J. (2003), “Un procedimiento para elaborar mapas de riesgos naturales aplicado a Honduras”, *Anales de Geografía Complutense*, Madrid, No. 23, p. 55-73.

La teoría de la evidencia utiliza las funciones: asignación básica de probabilidad (ABP), el grado de creencia (BEL) y el grado de plausibilidad (PL) para asignar a cada evento un valor indicativo de la creencia que, dada una evidencia, se deposita en él.

La ABP proporciona un sistema que facilita una serie de instrumentos de medida para intentar establecer el grado de creencia que se puede establecer en cada nivel de riesgo. El BEL proviene de la palabra *belief* y representa el grado mínimo de creencia dado un evento, y este es la suma de las asignaciones del valor indicativo y el de su complemento. El PL representa la máxima creencia dado un evento, se debe cumplir la aseveración que el grado de creencia siempre es menor que el grado de plausibilidad (Moreno, 2002).

La (ABP) proporciona un sistema que facilita una serie de instrumentos de medida para intentar establecer el grado de creencia que se puede establecer en cada nivel de riesgo. El (BEL) proviene de la palabra *belief* y representa el grado mínimo de creencia dado un evento. El (PL) representa la máxima creencia dado un evento, se debe cumplir la aseveración que el grado de creencia siempre es menor que el grado de plausibilidad (Moreno, 2002).

La teoría de la evidencia se desarrolló en dos pasos. Uno fue la elaboración de cuadros de contingencia en donde se determinan los valores de amenaza, vulnerabilidad e incertidumbre. Posteriormente se procesan los resultados para conocer el grado de creencia e incertidumbre, con las funciones, *normalizar*, *belief* y *plausibilidad*. Al final se obtuvieron 89 resultados con la información recabada (Figura 23).

En los cuadros de contingencia se introducen los valores resultantes de las tablas de frecuencia de probabilidad. La figura 23 muestra un registro, en el primer cuadro señala el número de punto, las letras *Am.* que significa amenaza y sus valores están en la primera columna y *Vul.* que representa a la vulnerabilidad y

sus datos están en la primera fila. La amenaza tiene un valor de A-0.21 y su incertidumbre es de I-0.79. La vulnerabilidad tiene un dato de V-0.13 y su Incertidumbre es de I-0.87. La incertidumbre es el complemento tanto de la amenaza como de la vulnerabilidad y en ambos casos deben sumar 1.

	89) <i>Am./Vul.</i>	V-0.13	I-0.87	
	A-0.21	∅-0.03	A-0.18	
	I-0.79	V-0.10	I-0.69	
Normalizar (K)	<i>Belief</i>	<i>Plausibilidad</i>	<i>Incertidumbre</i>	
(1- K=N) 1 - 0.03= .97	.18/.97=.19	(K- Bel=PL) 1 - .19 =.81	(Pl. - Bel.=I) .81 - .19=	
	.10/.97=.10	1 - .10 =.9	.9 - .10=.8	
				.62

Figura 23. Cuadro de contingencia utilizado para la elaboración del mapa de riesgos.

El siguiente paso es relacionar la amenaza, vulnerabilidad e incertidumbre mediante multiplicaciones entre todos los datos. Al multiplicar amenaza por vulnerabilidad resulta el conjunto vacío (\emptyset) o el valor de no haber riesgo. La multiplicación entre la vulnerabilidad por la incertidumbre de la amenaza es el valor de la vulnerabilidad. La multiplicación de la amenaza por la incertidumbre de la vulnerabilidad es el valor de la amenaza y la multiplicación entre ambas incertidumbres es un resultado de la incertidumbre.

Para obtener los grados de creencia, primero se normalizan los datos, restando el valor de la normalidad K que es 1 al conjunto vacío o de no riesgo. El resultado es el dividendo para los valores de amenaza y vulnerabilidad (*belief* o *mínimo grado de creencia*). Después se resta el valor de K menos *belief* para obtener la máxima creencia o la *plausibilidad*. Al final la diferencia entre los grados de máxima y mínima creencia da como resultado la medida de incertidumbre, el dato que arroje la incertidumbre se utiliza para definir los niveles de riesgo dentro del mapa.

Los rangos de la incertidumbre oscilan entre 0 y 1. Por medio de criterio personal, los valores se establecieron en intervalos de 24 centésimos

La tabla que se obtuvo con los intervalos fue:

- 0.0 a .25----- Nivel muy bajo
- .26 a .50----- Nivel bajo
- .51 a .75----- Nivel medio
- .76 a 1.0----- Nivel alto

Por el mismo criterio, y debido a las evidencias encontradas en los mapas anteriores y la conveniencia de manejar los datos en números enteros los valores utilizados para determinar el riesgo son los siguientes:

- Riesgo muy bajo-bajo: 0
- Riesgo medio-medio >0-1
- Riesgo medio-alto >1-2
- Riesgo alto-medio >2-3
- Riesgo alto-alto >3-4

El primer intervalo señala la incertidumbre generada por la amenaza (riesgo **medio**-medio) y el segundo hace referencia a la incertidumbre que se encuentra en la vulnerabilidad (riesgo medio-**medio**). El valor está representado por los números del 0 al 4. El riesgo bajo está representado por todas aquellas zonas que por condiciones geomorfológicas tienden a desarrollar los procesos de hundimiento y agrietamiento.

Las zonas en donde se encuentra el nivel de incertidumbre con valor medio-medio tiene un riesgo que oscila entre 0-1, esto se debe a que el grado de amenaza, a pesar de estar presente en la zona, el sector poblacional tiene conocimiento previo de la vulnerabilidad, debido a los procesos de hundimiento y agrietamiento. Cuando la población está consciente del daño que pueden causar los procesos antes mencionados, aún cuando la amenaza es alta, el riesgo es menor, por ello, al rango alto-medio se le asignó el valor >1-2.

Por el contrario, cuando la población es más vulnerable dentro de una zona y la amenaza llega a estar en cualquier magnitud, el riesgo es alto. Entre mayor sea el grado de incertidumbre en relación con los daños causados por el hundimiento y agrietamiento, mayor es el riesgo, sin importar que los daños a los bienes sean menores. Por esta razón el rango medio-alto se le da un valor de >2-3.

Las zonas con riesgo alto-alto se encuentran entre el valor >3-4 y son aquellos lugares en donde es más evidente la dinámica de los procesos de hundimiento y agrietamiento. La vulnerabilidad, se incrementa por la solución inmediata que se le da a la infraestructura civil que presenta los daños (Figura 24).

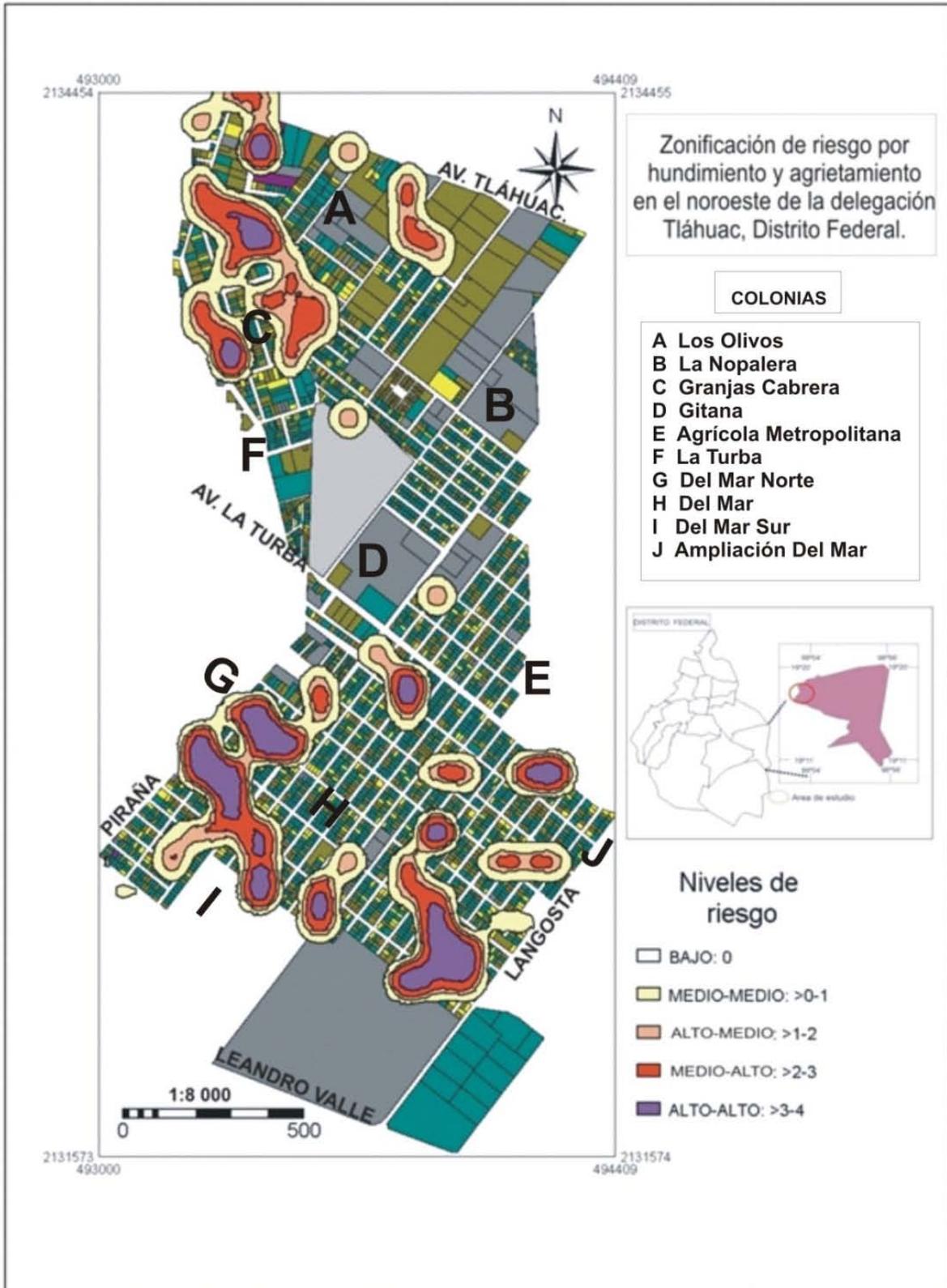


Figura 24. Zonas con riesgo por hundimiento y agrietamiento. Los valores están representados por la incertidumbre en las evidencias de los eventos amenaza-vulnerabilidad.

Consideraciones finales.

La Cuenca de México es una región inmersa en una serie de procesos geológicos naturales como las erupciones volcánicas que dieron origen a su relieve, la sismicidad que ha causado graves daños ha sido desde la época de Tenochtitlán y a la fecha, el mayor peligro y riesgo.

Las inundaciones fueron un problema más grande durante la Colonia que en la época de Tenochtitlán. Los españoles tuvieron que dar solución a los problemas de inundaciones y así dieron inicio a la desecación de la Cuenca de México para obtener más espacio para la población que creció gradualmente y que se convirtió en el siglo XX en otro problema.

La extracción de agua de los mantos acuíferos fue la solución al abastecimiento del vital líquido para la población, pero ha sido tal la demanda desde comienzos del siglo XX, que ahora no sólo es insuficiente sino que se están presentando problemas serios por el bombeo del agua subterránea.

Uno de las complicaciones más evidentes es el hundimiento de la ciudad. Los registros de 1891 a 1994 muestran un descenso de 10 m en la zona centro de la capital. En el área de Tláhuac los hundimientos son ligeramente mayores a 5 m (Legorreta, et. al.1994).

Aunado al hundimiento de la delegación Tláhuac, se ha desarrollado un proceso de agrietamiento en la infraestructura civil. El agrietamiento puede presentarse por diferentes mecanismos: Hundimiento diferencial del terreno, estructuras volcánicas sepultadas, hidrocompactación del material en el subsuelo, alta demanda hídrica de la vegetación, períodos prolongados de lluvia, sequías y de acuerdo a la información de los vecinos del área de estudio creen que las grietas se formaron después del sismo de 1985, aunque esto último todavía no ha sido comprobado.

En el área de estudio el riesgo puede presentarse de diferentes maneras y en diferentes zonas. Los procesos de hundimiento y agrietamiento son una amenaza que está presente en la zona urbana de la demarcación, principalmente en la porción noroeste. Cuando la dinámica de los procesos afecta los bienes materiales se genera un daño a la población y esto desencadena un riesgo inminente.

Al ser esta una investigación de carácter geográfico fue necesaria la relación entre las propiedades geológicas y geomorfológicas de la localidad, y la participación ciudadana ante estos procesos.

La importancia de estudiar la dinámica de los procesos y llevar a cabo una revisión periódica, así como registrar los daños a la infraestructura civil condujo al conocimiento de que los procesos de hundimiento no necesariamente implican un desarrollo de grietas o viceversa.

En algunas zonas el hundimiento y agrietamiento se manifestaron de manera aislada y no hubo una relación entre ambos. El tipo de material en el subsuelo y la explotación de los mantos acuíferos es parte importante del problema en el área de estudio. Sin embargo, el diseño y la construcción de la infraestructura civil también son causa del desarrollo o la propagación de los mismos.

Los resultados que se obtuvieron de las nivelaciones en los hundimientos no tuvieron medidas precisas debido al continuo mantenimiento en la carpeta asfáltica. Sin embargo, las pendientes que se midieron sobre la guarnición de las banquetas generan una mayor exactitud porque no son reparadas, y arrojaron un resultado en promedio de 0° a 1° y en casi igual cantidad hubo pendientes de más de 1° a 2° .

La colonia La Nopalera no presentó pendientes considerables, salvo pequeñas hondonadas en la cubierta asfáltica que continuamente son reparadas por el departamento de la Delegación. En contraste la colonia Ampliación Del Mar presenta casi en toda el área puntos con pendientes de 1° y 2°. La colonia Los Olivos sólo tiene pendientes con 2°. Los puntos donde se registraron hundimientos son los más propensos a tener encharcamientos en época de lluvia además de tener un mayor número de infraestructura civil dañada como postes de luz, pavimento, banquetas y casas.

Los agrietamientos fueron observados periódicamente y con la colocación de testigos en algunas casas, se pretende que en un futuro se pueda conocer la cinemática de las mismas.

Las colonias La Nopalera y Agrícola Metropolitana no presentaron una formación de grietas significativa. Sin embargo, por las características físicas del lugar estas colonias no están exentas de que el proceso de agrietamiento no se presente en un futuro. En las colonias La Turba y Gitana se presentaron pocos puntos con agrietamientos y nuevamente la tendencia a que en un futuro abarquen un área mayor.

Por el contrario en la colonia Los Olivos, las calles Privada de Reno y Cocodrilo registraron las mayores longitudes de grietas con un promedio de 60 a 80 m. En las colonias Del Mar, las calles Piraña, Sirena, Salmón, Pingüino y Pámpano también registraron las mayores longitudes (60 a 80 m).

La porción sur del área de estudio que comprende todas las colonias Del Mar no sólo es la que presenta mayor longitud de agrietamiento también es la que presenta un arreglo preferencial norte-sur, esto supone un patrón de grietas continuas que no se observa en el terreno por la infraestructura civil. En la parte norte las colonias Los Olivos, Granjas Cabrera y La Turba tienen un patrón de agrietamiento más irregular con una tendencia a ser este-oeste.

Los mayores daños a la infraestructura civil se concentraron en los sitios donde se presentaron ambos procesos, pero, estos fueron menores en comparación con el registro de lugares con el desarrollo de un solo proceso.

El radio de afectación en la infraestructura civil dependía en gran medida de las obras de ingeniería, de los niveles de construcción en cada predio y del mantenimiento o las reparaciones que se realizan por parte de la población en cada área.

De los mapas que se elaboraron con los registros obtenidos, resaltaron dos zonas importantes afectadas por el hundimiento y agrietamiento. La zona norte, en particular, las colonias Los Olivos y Granjas Cabrera y La Turba, la zona sur, que comprende a todas las colonias Del Mar, y las colonias La Nopalera, Gitana y Agrícola Metropolitana No resultaron ser zonas muy afectadas, pero esto no significa que están exentas de la formación de los procesos.

Los daños a las obras de ingeniería civil y la percepción del riesgo para la población corresponden a un segundo objetivo de la investigación. Por medio de información personal y con aplicación de un cuestionario como parte de la metodología, se obtuvo información fundamental.

Los daños a los bienes y la solución por parte de la Delegación, son la preocupación fundamental de la población. En menor medida, lo es el conocimiento de los procesos de hundimiento y agrietamiento del lugar.

La planeación urbana por parte de los expertos parece ser inexistente. La población desconoce las características del suelo en el que se encuentra, y por ello, en ocasiones el diseño de sus construcciones llega a ser el menos adecuado para el lugar, y esto es lo que lleva a que el riesgo aumente en algunas zonas.

En otros casos, la población presta mayor interés a otro tipo de fenómenos, como los sismos, y construyen sus casas en función a la estabilidad requerida que pudiesen tener ante esos siniestros. Esto genera un sobrepeso en el suelo y acentúa más la problemática del hundimiento o agrietamiento presente en el área de estudio.

A nivel general, la población no tiene conciencia del cuidado del agua; el desperdicio innecesario del vital líquido provoca la continua explotación de los mantos acuíferos. Es importante hacer notar que cerca de la zona de estudio se encuentra una de las principales baterías de pozos de extracción de agua subterránea (Neza-Tláhuac).

El resultado de unir los procesos físicos y la investigación social del lugar por medio de los estudios previamente realizados, no fue tarea sencilla. La población no tiene una idea clara de los procesos de hundimiento y agrietamiento, esto propició una serie de datos con alto grado de incertidumbre. Obtener resultados de manera cuantitativa, implicó el uso de un análisis estadístico y probabilístico para determinar la ocurrencia de los procesos, la vulnerabilidad de los elementos en riesgo y el riesgo inducido.

El registro de los puntos más afectados fue en ocasiones incierto, ya que las constantes reparaciones impiden obtener certeza en los datos periódicos. Sin embargo, el uso de testigos en algunos lugares disminuyó la probabilidad de incertidumbre que se manejó en los resultados.

El manejo de datos inciertos y con un margen de incertidumbre, hizo que la metodología aplicada para estudiar la amenaza, vulnerabilidad y riesgo estuviera basada en la estadística especializada (teoría de la evidencia), siendo esta la herramienta principal en la elaboración de los mapas del cuarto capítulo.

La teoría de la evidencia se encuentra dentro de la estadística contemporánea y fue una herramienta clave para el presente estudio. Por las características de éste, al manejar los datos de incertidumbre dentro de una investigación dio resultados más concretos y con mejor alcance para una posterior toma de decisiones en las obras de mitigación.

Recomendaciones.

Es importante continuar con el registro periódico del hundimiento y agrietamiento, solo así se podrá conocer de manera más significativa la dinámica que tienen estos.

La población necesita conocer de manera detallada las características del suelo en donde se encuentra, la relación que tiene con los procesos estudiados y la optimización en el manejo de las actividades antropogénicas, dependiendo del espacio en donde se ubiquen.

Es importante dar soluciones más eficaces a la reparación de los daños a la infraestructura civil, ya que las soluciones inmediatas, por lo general aumentan el radio de afectación, y esto, a su vez, provoca mayor riesgo. La población deberá anteponer la integridad personal sobre los bienes, sabiendo que las características geológicas del lugar pueden causar siniestros materiales y humanos.

Las autoridades de la demarcación son las encargadas de difundir a la población estudios y reportes periódicos acerca de los riesgos que hay en la Delegación. Asimismo, deberá dar a conocer las normas para las construcciones, con el fin de tener un menor número de afectaciones en la infraestructura civil.

La suspensión del bombeo es posible que contribuya a reducir los daños en el futuro, pero se ha producido ya una grave alteración del medio natural que difícilmente puede recuperarse. Es necesaria la participación ciudadana para

obtener mayor infiltración del agua en el subsuelo que aumente el nivel de los mantos freáticos.

Finalmente, es necesario un estudio con un mayor alcance regional acerca de los procesos de hundimiento y agrietamiento, además de estudios de mitigación del riesgo y de ordenamiento territorial para la zona objeto de estudio, y a nivel nacional en todas aquellas áreas en donde se presente.

Bibliografía consultada:

Ahamdanech I., Alonso C., Bosque J., Malpica J., Loeches M., Pérez E., Temiño J. (2003), "Un procedimiento para elaborar mapas de riesgos naturales aplicado a Honduras", *Anales de Geografía Complutense*, Madrid, No. 23, p. 55-73.

Alberro A., Hernández R. (1990), "Fuerzas de filtración y fracturamiento hidráulico", Serie del Instituto de ingeniería, No. 528, UNAM, México, p. 10-25.

Alcántara A. (2002), "Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries", *Geomorphology*, No. 47, p.107-124.

Aneas, S. (2000), "Riesgos y peligros: una visión desde la Geografía", *Scripta Nova. Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, Vol. 4., No. 60., 15p.

Arérchiga E. (2004) "El desagüe del Valle de México, siglos XVI-XXI, una historia paradójica" *Arqueología Mexicana*, Vol. XII, núm. 68. Ed. Raíces, México, p. 60-65.

Arellano A. (1951), "Estratigrafía de la cuenca del Valle de México", *Memorias del Congreso Científico Mexicano, IV Centenario de la Universidad de México*, Vol. III. p. 9.

Ayala C., y Olcina C. (2002), "Introducción al análisis y gestión de riesgos, Riesgos naturales", *Boletín de la A.G.E.* No. 30, p. 37-49.

Barrios B., (2001), La desecación del lago (ciénaga) de Chalco www.cmq.edu.mx/docinvest/document/DI29141, 29/08/06.

Bryan, K. (1948), Los suelos complejos y fósiles de la altiplanicie de México en relación a los cambios climáticos. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, p. 8.

- Carballal M., Flores M., (2004), "Elementos hidráulicos en el lago de México-Texcoco en el posclásico", *Arqueología mexicana*, Vol. XII, núm. 68. Ed. Raíces, México, p. 28-33.
- Calvo F. (2001), "Panorama de los estudios sobre riesgos naturales en la geografía española", *Boletín de la A.G.E. Asociación Geológica Española*, No. 30, Universidad de Murcia, España, p. 21-35.
- Cannon, J. (1957). "La influencia geomorfológica sobre la hidrología y las condiciones del suelo en la cuenca de Chalco-Tláhuac", Tesis de doctor en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 112 p.
- Cabral E., et. al.(2000), *Análisis de fallas y fracturas en la delegación Iztapalapa: etapa I*. UNAM, México, (informe inédito), 4 p.
- DDF, (1997), *Plan maestro de agua potable del Distrito Federal 1997-2010*, DDF, Estudios y Técnicas Especializadas en Ingeniería, S. A. de C. V., México, 414 p.
- , (1999), Secretaría General de Obras/ DDF. "Hidrología subterránea en el valle de México", Documento del DDF, México 120 p.
- De Miró M., Morató D. (1990), *Breviario de Geomorfología*, Oikos-tau, Barcelona, p. 125-128.
- DGCOH (1990), Informe sobre el agrietamiento en el Distrito Federal y su relación con los niveles piezométricos, DDF, México.
- (1992), *Informe sobre el agrietamiento en la delegación Iztapalapa al sur del barrio de San Lorenzo Tezonco y los límites con la delegación Tláhuac, Instalaciones de la Secretaría de Seguridad Pública, DDF*, México, 300 p.

- Domínguez M. (2002), "Recomendaciones sobre los agrietamientos del terreno en varias colonias y poblados de la delegación Tláhuac", *CENAPRED*, México 15p.
- Figueroa G., Orozco M. (1991), Descripción cronológica del desarrollo de los conocimientos sobre el agrietamiento de terrenos, *Memorias sobre el agrietamiento de la Ciudad de México*, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, México p. 1-15.
- Francisco, J. Ferrando A. (2003), "En torno a los desastres "naturales": Tipología, Conceptos y reflexiones", *Boletín del Instituto de la vivienda*, Vol. 18, No. 47, Universidad de Chile, Santiago de Chile. p.15-31.
- Fries, C. (1960), *Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y de Guerrero, región central meridional de México*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 263p.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal (1997), *Programa Delegacional del Distrito Federal en Tláhuac*, DDF, México, T. VII, 170 p.
- Gamboa D. (1994), *Ciudad de México: una visión de la modernización de México*, Fondo de Cultura Económica, México.
- García B. (2004), "La gran inundación de 1629", *Arqueología Mexicana*, Vol. XII, No. 68, México, p. 50-57.
- García L., Romero G. (1978), *México Tenochtitlán y su problemática lacustre*. Instituto de Investigaciones Históricas, Serie Histórica No. 21. UNAM, México, s/p.
- García O. (2001), "Algunas cuestiones sobre geografía del riesgo", *Revista electrónica Scripta Nova*, <http://www.ub.es/geocrit/>, 25/06/06

- González A. (1991). *Plano reconstructivo de la región de Tenochtitlán*, INAH- SEDUE, México.
- González S. (1988), *Tláhuac prehispánico*, Porrúa, México, 215 p.
- Goudie, A. (1993). *The human impact on the natural environment*. Blackwell, Oxford, 190 p.
- Gutiérrez M., González J., Zamorano J. (2005), *La cuenca de México y sus cambios demográfico-espaciales*, Coc. Temas selectos de Geografía de México I.8.1., Instituto de Geografía, UNAM, México, 155 p.
- Hernández C., Jiménez E., Cario R. (1999), “Estudio del impacto de los aerosoles producidos por emisiones volcánicas en la evolución de precipitación”, en: www.femisca.org/publicaciones/XIIIcongreso/XIIICNIS086_04/10/2005
- Hiriart, F., R.J. Marsal, G. Cruickshank, F. Key (1952), *Contribución de la Comisión Federal de Electricidad a la solución del problema de abastecimiento de agua a la Ciudad de México*, CFE, México.
- Holguín F. (1974), “Teoría elemental de conjuntos y probabilidades” *Elementos de muestreo y correlación*, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, UNAM, México, p. 17-36.
- INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil) (2002), *Terminología empleada en la administración de los desastres, Sistema Nacional de Defensa Civil del Perú*, Lima, Perú 22 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (1990), *Tláhuac, Cuaderno Estadístico Delegacional*, INEGI Aguascalientes. México. 130 p.

- (2000), *Cuaderno Estadístico del Estado de México*, INEGI, Aguascalientes, México, 150 p.
- (2002), *Estadísticas del medio ambiente del Distrito Federal y zona metropolitana*, México, p. 20-420
- Isidro M. (1997), *Efectos y consecuencias de las grietas de tensión sobre la cimentación de los edificios de la unidad habitacional de Tepozanes del Infonavit*, Tesis de Ingeniero Civil, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón, UNAM, México.
- Jáuregui E. (1971), *Mesomicroclima de la Ciudad de México*. México, UNAM. 87 p.
- Juárez E. (1959), "Teoría de grietas de tensión", *I Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones*, Memorias, p. 65-76.
- (1961), *Mecanismos de las grietas de tensión en el Valle de México*. Tesis de Doctor en Ingeniería, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, p. 10-84.
- Justo S. (1986), *Tláhuac, Departamento del Distrito Federal*, México. 222 p.
- Legorreta J., et. al. (1994), "Los Pozos y sus efectos: El hundimiento de la ciudad". La jornada ecológica,
<http://www.planeta.com/ecotravel/mexico/ecologia/97/0897agua1.html>.
- Lemoine E. (1978), *El desagüe del valle de México durante la época independiente*, UNAM, México, 289 p.
- Lugo J., Pérez A., Rojas M. (1991), "Formación de grietas en la margen del antiguo lago al oriente de la cuenca de México". *Geofísica Internacional*, Vol. 30, p. 87-95.

- , Zamorano J., García A. (2001), "Direct and indirect anthropogenic modifications in the basin of México". En: P.T. Bobrowsky (Ed.): Geonevironmental mapping; method, theory and practice, p. 411-427, A.A. Balkema, Rotterdam, 750 p.
- Martin del Pozzo, A.L. (1981), "Monogenetic volcanism in Sierra Chichinautzin", México, *Boletín Volcanologique*, 45, p. 9-24.
- Martorell R., Sáen R. (2003), "Programa de preparativos para situaciones de emergencia y coordinación del socorro en casos de desastre de la OPS/OMS", *EIR informa*, No. 3, www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc147271/html.
- Matías, R. (2001), *Riesgos geológicos asociados a la sobreexplotación del agua subterránea en la zona centro y oriente de ciudad Nezahualcoyotl Edo. de México*, Tesis de ingeniero geólogo, UNAM.
- Mazari M. (1990), *Hundimiento de la Ciudad de México*, COLMEX, México, p. 1-15.
- Mooser, F. (1963), "Historia tectónica de la Cuenca de México", *Boletín de La Asociación Mexicana Geológica y Petrológica*, No. 15, p. 239-245
- (1975), "Historia Geológica de la cuenca de México", *Memorias de las obras del drenaje profundo. Departamento del Distrito Federal*. México P. 9-30.
- (1981), "Geología de la cuenca de México", *Atlas de la ciudad de México*, Departamento del Distrito Federal. México. p. 23-26.
- Moreno, J. (2002), *Teoría de la evidencia de Dempster-Shafer*, Curso de razonamiento bajo incertidumbre, ESTI, UAM.
- Muller F. (1990), "La cerámica de Cuicuilco: un rescate arqueológico", *Serie Arqueología*, INAH, México, 60 p.

- Murillo, M. (1993), *Guía para elaborar mapas de amenazas y recursos*, Comisión Nacional de Emergencia, Dirección de Planes y Operación, México, 31 p.
- Murillo R. (2000), *Sobreexplotación del acuífero de la cuenca del Valle de México: efectos y alternativas*, Comisión Nacional del Agua, México.
- Núñez F., Galván G., Cruz R. (2003), “Estudio Reciente de los hundimientos en la ciudad de México”, *Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos*, Vol. 19, p. 26-32.
- Ortega, A. (2000), *Antecedentes de la ciudad de México*, Universidad Nacional Autónoma de México, Servicio Geológico Metropolitano. 3 p.
- Ovando E., Montiel E. (1989), *Estudio sobre el problema del agrietamiento en la unidad habitacional Cananea Ixtapalapa, D. F.*, Secretaria de Desarrollo Urbano y Vivienda, México.
- Paniagua W. (1991), “Arietamiento de Suelos”, *Memorias sobre el agrietamiento de la Ciudad de México*, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, México, p. 72-80.
- Pastor, B. (1997), *Delegación política: Tláhuac*, DDF, Porrúa, México, 230 p.
- Pérez M. (1997), La Cuenca de México: Preclásico Tardío, Las primeras ciudades, *Arqueología mexicana*, Vol. XV, No. 86, México, p. 40-43.
- Ramírez J. (1976), *Memoria acerca de las obras e inundaciones en la Ciudad de México*, INAH, México, 130 p.
- Reyes A. (1988), *Tláhuac, monografía*, DDF, México, 210 p.
- Reyes, J. (2005), “Toma de decisiones mediante técnicas de razonamiento incierto”, Ingenierías, Vol. VIII, No. 28.

- Riquelme D. (1974), "Fracturas del Fraccionamiento Los Olivos en la región cercana al volcán San Lorenzo o San Nicolas, Tlahuac", *Anuario de Geografía*, Vol. 14, p. 67-72.
- Rivera A., Ledoux E. y Marsily G. (1991), "Nonlinear modeling of groundwater flow and total subsidence of the Mexico city aquifer-aquitard system", *Land Subsidence*, No. 20, p.44-58.
- Rojas T. (2004), "Las cuencas lacustres del altiplano central", *Arqueología mexicana*, Vol. XII, núm. 68, México, p. 19-27.
- Santoyo E., Gutierrez C., (1982) Estratigrafía y muestreo inalterado de los suelos lacustres del valle de México, Documento de la DGCOH, México, 9 p.
- Schlaepfer C. (1968), *Hoja México 14 Q- h5, con resumen de la geología*, Distrito Federal y Estados de México y Morelos. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología.
- SMMS (1991), *Memorias de la reunión sobre agrietamiento de suelos*, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, México, 120 p.
- Solis F. (1992), "El diseño urbano de México-Tenochtitlán", *Revista de la Universidad Nacional Autónoma de México*, Vol. 15, P. 12-16.
- Trenhaile, A. (2004), *Geomorphology. A Canadian Perspective*. Oxford University, Canadá, 400 p.
- Trinidad B. (1998). *La desecación del lago de Chalco y sus implicaciones*, Colegio Mexiquense, Estado de México, México 125 p.

Vázquez S. y Jaimes, P. (1989), "Geología de la cuenca de México", *Revista Geofísica Internacional*, Instituto de Geofísica. Universidad Nacional Autónoma de México. Vol. 28, No. 2, p.133-190.

Vela E. (2003), "Guía de viajeros: La ciudad de México vista desde el agua", *Arqueología Mexicana* No. 60, p. 81-87.

Velásquez L. (1990), *La explotación geohidrológica en México*, Subgerencia de Explotación Geohidrológica, Comisión Nacional del Agua, México.

Waltam A. (1989), *Ground Subsidence*, Ed. Blackie, Londres, p. 7-55.

Zamorano J. (1990), Análisis ingeniero geomorfológico de la Cuenca de México. Tesis Doctoral, Universidad Estatal de Moscú.

Páginas electrónicas:

- <http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones>. El Desafío del Agua en México: Avances y Perspectivas, (29/08/06).
- CONAGUA, 2000 <http://www.conagua.gob.mx>, 2000, (15/08/05).
- LA RED, 2005 <http://www.estrucplan.com.ar/Art.1129>, (10/11/05).
- INEGI, 2005 <http://www.inegi.gob.mx>, (05/06/05).