



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

RIESGO POR HUNDIMIENTO Y
AGRIETAMIENTOS EN IZTAPALAPA, CDMX

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

LILIA GABRIELA ROMERO GONZÁLEZ

DIRECTORA DE TESIS:

MARY FRANCES RODRÍGUEZ VAN GORT



CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX



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

Después de tanto tiempo aquí estamos... Concluyendo este reto

Doy gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México, por haber sido mi hogar desde que ingresé a la Escuela Nacional Preparatoria Plantel N°4 "Vidal Castañeda y Nájera". Aún recuerdo aquella mañana, salí apresurada y nerviosa en compañía de mi madre a buscar la gaceta donde se publicarían los resultados del examen de selección, ¡Me quedé! definitivamente fue uno de los días más felices de mi vida, el pertenecer a ésta universidad es uno de los más grandes orgullos y el concluir ésta licenciatura una satisfacción indescriptible.

A la Facultad de Filosofía y Letras, particularmente al Colegio de Geografía el cual me brindo las herramientas necesarias en mi formación como geógrafa.

Al Instituto de Ingeniería, lugar donde pasé gran parte de la licenciatura y que influyó de manera importante en la profesional que soy ahora, lugar donde hice buenos amigos y encontré al amor de mi vida, el Ing. Julio César Carabela Hernández... ¡Lo logré mi amor!

A la Dra. Judith Ramos Hernández, gracias por confiar en mí desde el primer día aún sin conocerme y por haber compartido sus conocimientos y experiencia durante 3 años de trabajo.

A la Dra. Berenice Hernández Cruz, por haber iniciado conmigo este proyecto de investigación.

A la Dra. Mary Frances Rodríguez Van Gort por dirigir este trabajo, así como al Ing. Geól. Alberto Pérez Rojas, Mtro. Pastor Gerardo Ramírez, Mtro. José Manuel Espinoza y Dr. Habraham Navarro miembros del sínodo por sus valiosos comentarios.

A mis buenos amigos de la facultad, Mtro. Héctor Huerta, Lic. Esther Aldrete, Julio Romero y Erika Moreno, gracias por todos los momentos y enseñanzas compartidas en esta etapa.

A mi futura Mtra. Matilde Cruz, colega y de mis mejores amigas, gracias por darme ánimos cuando sentía que no podía ¡Tú también puedes!

A Claudia Tinoco, gracias por tu amistad, por interesarte en mi investigación y por estar conmigo aún en la distancia.

A mis compañeros de la Comisión Nacional del Agua, Ing. Luis Alberto Sánchez, Lic. Gerardo Martínez y Daniel Moreno por haberme ayudado cada uno a su manera a concluir esta etapa.

Hago una mención especial a mis padres, Guadalupe González y Alejandro Romero por haberme apoyado desde siempre y en todos los sentidos... Han sido buenos padres y aquí está el resultado.

A mis hermanos Marco y David, este logro va para ustedes también

Finalmente a Juana, mi viejita hermosa, mi segunda madre, aunque no estas físicamente, sé que desde el cielo compartes la misma felicidad y orgullo. Gracias por todo lo que hiciste por mí y por ser la mejor de las abuelas.

INDICE

INTRODUCCIÓN	8
I. MARCO CONCEPTUAL.....	10
1.1 Definición de peligro, vulnerabilidad y riesgo	10
1.2 Hundimientos.....	14
1.2.1 Génesis del hundimiento	14
1.2.2 Tipos de hundimiento	15
Hundimiento natural	15
Hundimiento por disolución subterránea.....	15
Hundimiento por tectónica	16
Hundimiento por flujo lateral.....	17
Hundimiento antrópico	18
Hundimiento por compactación.....	18
Hundimiento por carga.....	18
Hundimiento por extracción de fluidos	19
Hundimiento por hidrocompactación	19
Hundimiento minero o por construcción de obras subterráneas	20
1.3 Agrietamientos	21
1.3.1 Génesis del agrietamiento	21
1.3.2 Tipos de agrietamiento	23
II. ANTECEDENTES.....	25
2.1 Características físicas de la Cuenca de México.....	25
2.2 La Ciudad de México durante la época mexicana	27
2.3 Características físicas de Iztapalapa	34
III. METODOLOGÍA.....	39
3.1 Peligro.....	39
3.2 Caracterización de vulnerabilidad	44
3.2.1 Vulnerabilidad física	44
3.2.2 Vulnerabilidad social	52
3.2.3 Vulnerabilidad económica.....	59
3.2.4 Vulnerabilidad global	65
3.3 Caracterización del riesgo	67
CONCLUSIONES.....	69
ANEXO I	71
ANEXO II.....	85
BIBLIOGRAFÍA	89

INDICE DE MAPAS

- Mapa II.1 Localización de la Cuenca de México..... 25
- Mapa II.2 La Cuenca de México ayer y hoy 26
- Mapa II.3 Acuífero “Zona Metropolitana de la Ciudad de México” 27
- Mapa II.4 Plano firmado de Enrico Martinez en 1609 29
- Mapa II.5 Plano reconstructivo de la región de Tenochtitlán al comienzo de la conquista 32
- Mapa II.6 Ubicación de Iztapalapa, CDMX 35
- Mapa III.1 Peligros publicado en el Atlas de Riesgos de la delegación Iztapalapa 39
- Mapa III.2 Modificación al mapa de peligros por hundimiento publicado por la alcaldía de Iztapalapa..... 41
- Mapa III.3 Peligros por hundimiento y agrietamiento en Iztapalapa 43
- Mapa III.4 Viviendas particulares habitadas con piso de tierra..... 47
- Mapa III.5 Viviendas particulares habitadas con dos dormitorios y más 48
- Mapa III.6 Viviendas particulares habitadas que disponen de luz eléctrica, agua entubada en el ámbito de la vivienda y drenaje..... 49
- Mapa III.7 Mapa Geología..... 50
- Mapa III.8 Vulnerabilidad física..... 51
- Mapa III.9 Población con discapacidad 54
- Mapa III.10 Población de 0 a 4 años 55
- Mapa III.11 Población de 60 años y más..... 56
- Mapa III.12 Población de 15 años y más analfabeta 57
- Mapa III.13 Vulnerabilidad social 58
- Mapa III.14 Población no económicamente activa 61
- Mapa III.15 Población sin derechohabiencia a servicios de salud..... 62
- Mapa III.16 Viviendas particulares habitadas sin computadora ni internet..... 63
- Mapa III.17 Vulnerabilidad económica 64
- Mapa III.18 Vulnerabilidad global 66
- Mapa III.19 Riesgos por hundimiento y agrietamiento en Iztapalapa, CDMX..... 68

INDICE DE TABLAS

Tabla I.1 Tipos de vulnerabilidad.....	11
Tabla I.2 Vulnerabilidad según sus efectos	12
Tabla I.3 Registros de hundimientos en el mundo	14
Tabla I.4 Hundimiento natural y antrópico	15
Tabla I.5 Clasificación de grietas	21
Tabla II.1 Tipos de suelo en Iztapalapa.....	37
Tabla II.2 Unidades morfogénicas.....	38
Tabla III.1 Ponderación de hundimientos y agrietamientos en Iztapalapa.....	42
Tabla III.2 Clasificación de peligros por hundimiento y agrietamiento	42
Tabla III.3 Variables utilizadas en el mapa de vulnerabilidad física	46
Tabla III.4 Vulnerabilidad física.....	46
Tabla III.5 Clasificación de vulnerabilidad social.....	52
Tabla III.6 Variables utilizadas en el mapa de vulnerabilidad social	53
Tabla III.7 Clasificación de vulnerabilidad económica	59
Tabla III.8 Vulnerabilidad económica	60
Tabla III.9 Clasificación de vulnerabilidad global	65
Tabla III.10 Caracterización del riesgo.....	67

INDICE DE FIGURAS

- Figura I.1 Hundimiento por disolución subterránea 16
- Figura I.2 Hundimiento por tectónica 16
- Figura I.3 Hundimiento por erosión subterránea..... 17
- Figura I.4 Hundimiento por flujo lateral..... 17
- Figura I.5 Hundimiento por compactación 18
- Figura I.6 Hundimiento por carga 18
- Figura I.7 Hundimiento por extracción de fluidos..... 19
- Figura I.8 Hundimiento por hidrocompactación 20
- Figura I.9 Hundimiento minero..... 20
- Figura II.1 Tenochtitlán y el Albaradón de Nezahualcóyotl 28

INTRODUCCIÓN

La demanda de agua por parte de la creciente y desordenada población de la Ciudad de México ha generado diversos problemas, uno de los más representativos es sin duda el hundimiento diferencial, que a su vez desencadena agrietamientos, los cuales causan constantes daños a la infraestructura urbana.

En esta tesis se plantea la siguiente hipótesis: el hundimiento y los agrietamientos que se presentan en la alcaldía de Iztapalapa se originan por factores antrópicos como la sobreexplotación de los acuíferos y se intensifican por las propiedades físicas del suelo lacustre, con los cuales, las zonas con mayor riesgo se relacionan con las áreas en donde hay mayor desarrollo de hundimiento y, por ende, de agrietamientos, viéndose reflejado en pérdidas materiales y en casos extraordinarios de vidas humanas.

El objetivo principal de esta investigación es caracterizar el nivel de riesgo ante el hundimiento y los agrietamientos en el que se encuentra expuesta la población de Iztapalapa y el resultado pueda verse reflejado en un mapa y con ésto contribuir a la gestión de riesgos, principalmente los de tipo geológico y antrópico.

Este trabajo se conforma por tres capítulos y dos anexos:

En el primer capítulo se explican los conceptos básicos empleados en esta investigación, como lo es la definición de riesgo y los elementos que lo componen (peligro y vulnerabilidad), así como la génesis y tipos de hundimiento y agrietamientos.

En el segundo capítulo se describen las características físicas de la Cuenca de México, así como los antecedentes de hundimiento y agrietamientos a partir la época mexica.

En el tercer capítulo se desarrolla la metodología empleada para elaborar el mapa de riesgos, esto a partir de la caracterización de peligros y el cálculo de distintas vulnerabilidades, particularmente la física, económica y la social, y con base en éstas obtener la vulnerabilidad global.

En el primer anexo se explica el origen e importancia de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta de análisis y toma de decisiones, así como el procedimiento para la publicación del mapa de riesgos ante el hundimiento y los agrietamientos en Iztapalapa.

Finalmente, en el último anexo se incluyen fotografías que muestran los daños a la infraestructura y población generados por hundimiento y agrietamientos.

La cartografía resultante proporcionará las herramientas necesarias para una efectiva toma de decisiones en materia de Protección Civil, Obras y Servicios Urbanos, así como para la población misma, la cual será capaz de identificar las zonas con mayor riesgo y con ello, prevenir y mitigar la vulnerabilidad de éstos fenómenos.

I. MARCO CONCEPTUAL

1.1 Definición de peligro, vulnerabilidad y riesgo

Los primeros estudios formales acerca de los desastres con enfoque social fueron realizados en la década de los 40 por el geógrafo estadounidense Gilberto White. Su principal aporte consistió en la percepción social de las amenazas, las cuales influían en la toma de decisiones de una población para que su espacio de vida pudiese ser más seguro o menos peligroso; además, enfatiza la teoría de los desastres con causas tanto antrópicas como naturales.

Más tarde, en 1981, el arquitecto inglés Ian Davis muestra cierta preocupación por la relación desastres-vivienda. Davis escribe el libro “Arquitectura de emergencia”, obra dirigida principalmente a autoridades y planificadores responsables de los programas de prevención de desastres (Maskrey, 1993).

Generalmente el término “desastre” está asociado a las consecuencias y no a las causas que los originan. En 1979 las Naciones Unidas para el Socorro en Caso de Desastre (UNDRO), junto con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación y la Cultura (UNESCO), realizaron el evento “Desastres Naturales y Análisis de Vulnerabilidad”, en donde se convocaron a especialistas tanto de ciencias naturales como sociales con el objetivo de estandarizar una serie de definiciones relacionadas al tema de los desastres, ya que estos conceptos eran utilizados entre las diversas ciencias con ligeras diferencias; dichos términos han sido aceptados por la comunidad científica hasta la actualidad. Dentro de los conceptos analizados en dicha reunión, destacan los elementos que conforman el riesgo: peligro, amenaza y vulnerabilidad.

Frecuentemente se utilizan y son aceptados como sinónimos los términos de peligro y amenaza, ambos se relacionan entre sí, pero son distintos tanto cualitativa como cuantitativamente. La diferencia que radica entre estos dos conceptos es que, fenómenos de origen natural como son los sismos, tsunamis, erupciones volcánicas, procesos de remoción en masa, huracanes, inundaciones, sólo por mencionar algunos; han ocurrido desde siempre y representan un peligro por sí mismos, debido a que son potencialmente destructivos. Éstos fenómenos pueden ser permanentes o temporales y de magnitudes diferentes dependiendo de su ubicación geográfica.

La amenaza es un término cuantitativo que puede expresarse en función de la probabilidad que existe de que fenómenos de origen natural afecten a una población con cierto grado de vulnerabilidad, es decir, que ésta presente una incapacidad de recuperación para hacer frente a estos eventos.

Un ejemplo de ello son los asentamientos humanos cerca de la costa, de un volcán, o sobre una pendiente sin vegetación; viviendas construidas con materiales de baja calidad o sobre suelos blandos, el habitar zonas sísmicas, o simplemente el hecho de no contar con una ruta de evacuación, planes de emergencia; escasez de servicios de salud, educativos y/o alimenticios, etc.

Wilches-Chaux en Maskrey, 1993 discute y clasifica distintos tipos de vulnerabilidad que una sociedad puede enfrentar y que influyen en la concreción de condiciones de desastre. Tabla I.1

Tipo	Características
Física	Se refiere especialmente a la localización de los asentamientos humanos en zonas de riesgo, y a las deficiencias de su infraestructura.
Económica	Se expresa en desempleo, insuficiencia de ingresos, inestabilidad laboral, dificultad o imposibilidad total de acceso a los servicios formales de educación, de recreación y de salud.
Social	Nivel de cohesión interna que posee una comunidad.
Política	Nivel de autonomía que posee una comunidad para la toma de las decisiones que la afectan.
Técnica	Ausencia de diseños y estructuras sismo-resistentes en zonas propensas a terremotos.
Ideológica	Incapacidad de conocer la dinámica del mundo y considerar a los fenómenos naturales como castigos divinos.
Cultural	Ausencia de valores de cooperación y solidaridad.
Ecológica	Destrucción y sobreexplotación de los recursos naturales.
Institucional	Ausencia de comités y centros operativos de emergencia, entrenamiento permanente de personal directivo y de auxilio; consolidación y puesta a prueba de planes de contingencia y actualización de la normatividad vigente.

Tabla I.1 Tipos de vulnerabilidad

Elaboración propia con base en Wilches-Chaux en Maskrey, 1993

Entre más tipos de vulnerabilidad se presenten en un territorio, mayor será la probabilidad de convertirse en un desastre; resulta importante aclarar que los desastres no son naturales, sino socialmente contruidos, ya que la relación sociedad-naturaleza influye en la magnitud de los mismos.

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), categoriza la vulnerabilidad según sus efectos, considerando la ocurrencia de decesos y el monto económico de daños generados. Tabla 1.2

Vulnerabilidad	Efectos
Alta	Decesos Daños extraordinarios
Media	Sin decesos Daños moderados
Baja	Sin decesos Daños mínimos

Tabla 1.2 Vulnerabilidad según sus efectos
Elaboración propia con base en CENAPRED, 2018

Como se mencionó anteriormente, la conjunción de peligro y vulnerabilidad son los elementos que forman el riesgo.

El CENAPRED define a éste como:

“Probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades o sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores”.

Existen diversas clasificaciones de riesgo, el CENAPRED los clasifica con base en el agente perturbador que los produce, entre los que se encuentran:

- **Riesgos geológicos:** Fenómenos en los que intervienen la dinámica y materiales del interior o de la superficie terrestre: sismos, vulcanismo, tsunamis y movimientos de laderas y suelos.
- **Riesgos hidrometeorológicos:** Las fuertes precipitaciones pueden generar intensas corrientes de agua en ríos, flujos con sedimentos en las laderas de las montañas, procesos de remoción en masa capaces de transportar lodo, rocas, arena, árboles, y otros objetos que pueden generar daños en la infraestructura. Están asociados principalmente a los siguientes fenómenos: lluvias, granizadas, nevadas, heladas y sequías.

- **Riesgos químicos:** Se refieren a la probabilidad de que ocurra un incidente o accidente donde esté involucrada al menos una sustancia química, y que genere daños a la población, a sus bienes y al medio ambiente.

Es importante mencionar que el nivel de riesgo no necesariamente se encuentra en función de la amenaza. Un ejemplo de esto, es la manifestación de un huracán magnitud 5 (H5), que no causaría ningún riesgo si ocurriese en una isla desierta, ya que para producirse un desastre tiene que haber un impacto medible en el medio ambiente, ya sea social o económicamente, es decir, debe existir un sujeto que experimente el desastre, éste se reduce mediante la mitigación, la cual tiene como objetivo eliminar o minimizar la vulnerabilidad mediante medidas de prevención, como lo es la regulación de usos de suelo y la protección del medio ambiente; ésta adquiere gran importancia ya que disminuye la magnitud de los daños cuando el riesgo es inevitable.

Uno de los principales problemas que retrasan la mitigación de desastres es la concepción que tiene gran parte de la población acerca de éstos, pues consideran que fenómenos como la sequía, tsunamis, huracanes, deslizamientos, son producidos como castigos de fuerzas sobrenaturales que actúan en contra de los humanos, induciendo a la aceptación de los desastres, en donde la población se ve obligada sólo a conformarse con la solidaridad y atención pública en los momentos de crisis.

La UNDRO, en Maskrey, 1993 define a los desastres como:

“Evento identificable en el tiempo y el espacio, en el cual una comunidad ve afectado su funcionamiento normal, con pérdida de vidas y daños de magnitud en sus propiedades y servicios que impiden el cumplimiento de las actividades esenciales y normales de la sociedad”.

1.2 Hundimientos

El hundimiento o subsidencia del terreno, es el fenómeno que tiene lugar debido a la extracción de sólidos o fluidos del subsuelo, y se manifiesta en la compactación paulatina o súbita de la masa de suelo. Son comunes principalmente en cuencas sedimentarias, y generalmente está asociado a la extracción intensiva de agua subterránea. Este fenómeno no es exclusivo de Iztapalapa, a continuación, se describen brevemente algunos casos de estudio en diversas partes del mundo. Tabla I.3

Lugar	Hecho
Venecia	Ciudad construida sobre una serie de lagunas del Mar Adriático, sufre hundimientos estimados en 32 cm durante el presente siglo, estos son mayores que en la centuria pasada. Las inundaciones marinas, las actividades fabriles y la extracción de agua subterránea parecen ser las causas más importantes del deterioro, habiendo preocupación mundial por detener las anomalías y preservar los grandes tesoros artísticos de la ciudad, considerados patrimonio universal. En el año de 1973 el parlamento italiano aprobó un proyecto de obras de protección a la ciudad, con financiamiento extranjero por 500 millones de dólares.
Roma	Entre 1955-1970 registró un hundimiento total de 30 cm. Para explicar el fenómeno, se ha dicho que las lluvias han ido elevando paulatinamente el nivel de las aguas subterráneas que reblandecen el suelo, y que no fluyen hacia el Río Tiber, ya que éste río contiene hormigón en sus paredes.
Tokio	Se tienen registros que desde la Segunda Guerra Mundial se ha hundido más de 2 m. La causa principal es, la sobreexplotación de los acuíferos.
Shanghái	La causa del hundimiento es la extracción de agua subterránea para fines domésticos e industriales. Un informe presentado por el Servicio Geológico de la ciudad indica que de 1921-1965 el hundimiento fue de 2.63 m.

Tabla I.3 Registros de hundimientos en el mundo
Elaboración propia con base en Vázquez, 2002

1.2.1 Génesis del hundimiento

Lugo, 2011 identifica 3 causas del hundimiento:

- Compactación de arcillas asociado a la extracción de agua del subsuelo
- Hundimiento de un relieve kárstico, especialmente por la presencia de dolinas

- Hundimiento tectónico que ocurre en zonas activas, el cual puede ser un proceso rápido causado por un sismo

Estos fenómenos se originan por factores endógenos y exógenos.

Los factores endógenos son los procesos que se originan dentro de la corteza terrestre y se manifiestan mediante fallas, vulcanismo y pliegues. Los exógenos, se refieren a los que se originan cerca de la superficie terrestre, y son la expresión superficial de la compactación de depósitos profundos por causas naturales o antrópicas.

1.2.2 Tipos de hundimiento

Existen hundimientos de origen natural y antrópico. Tabla I.4

Hundimientos		Tipo
Disolución subterránea	Cloruro de Sodio	Natural
	Yeso	Natural
	Rocas carbónicas	Natural
Tectónica		Natural
Erosión subterránea		Natural
Flujo lateral	Rocas salinas	Natural
	Arcillas	Natural
Compactación	Carga	Antrópico
	Drenaje	Antrópico
	Vibración	Antrópico/Natural
	Extracción de fluidos	Antrópico
	Hidrocompactación	Antrópico
Construcción de obras subterráneas o galerías mineras		Antrópico

Tabla I.4 Hundimiento natural y antrópico
Elaboración propia con base en Lugo, 2011

Hundimiento natural

El hundimiento de tipo natural es generalmente un proceso muy lento, aunque con frecuencia se acelera por actividades antrópicas.

Hundimiento por disolución subterránea

El cloruro de sodio, el yeso y las rocas carbónicas son de los materiales más solubles que existen en la corteza terrestre, los cuales, al combinarse con agua y bajo determinadas condiciones, son capaces de generar grandes sistemas de huecos interconectados entre sí cuya deformación y colapso provocan el hundimiento del terreno. Figura I.1

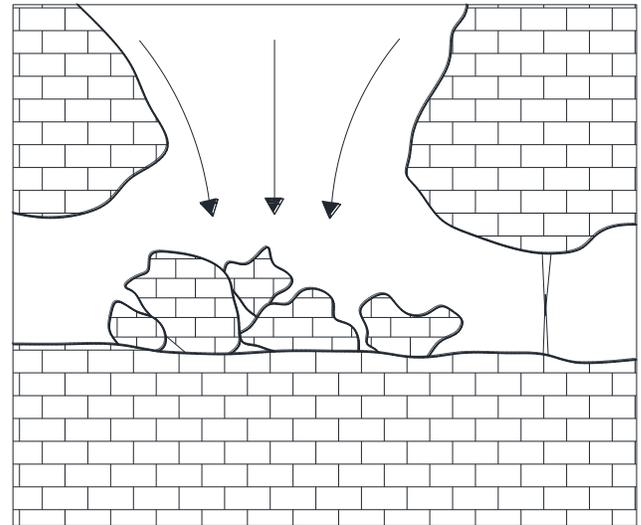
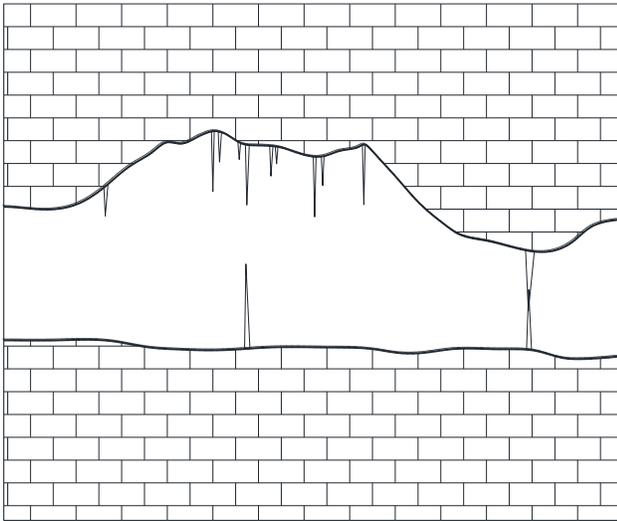


Figura I.1 Hundimiento por disolución subterránea
Elaboración propia con base en Tomas, 2009

Hundimiento por tectónica

El hundimiento tectónico es generado por fallas, generalmente suele ser muy lento y de pequeña magnitud (de pocos mm o décimas de mm al año) en comparación con otros tipos de hundimiento. Figura I.2

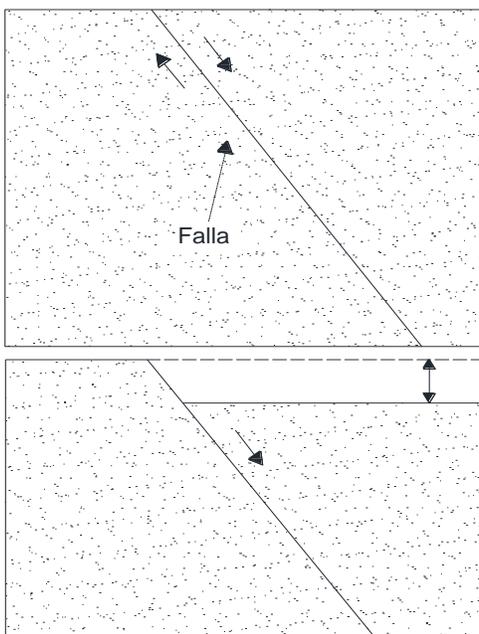


Figura I.2 Hundimiento por tectónica
Elaboración propia con base en Tomas, 2009

Hundimiento por erosión subterránea

Este tipo de hundimiento se produce mecánicamente por un arrastre de partículas de suelo causado por el flujo de agua subterránea, que durante su recorrido horizontal moviliza partículas de suelo, generando canales y, por lo tanto, colapsos del terreno.

En mecánica de suelos este proceso es conocido como tubificación o “piping”. Figura I.3

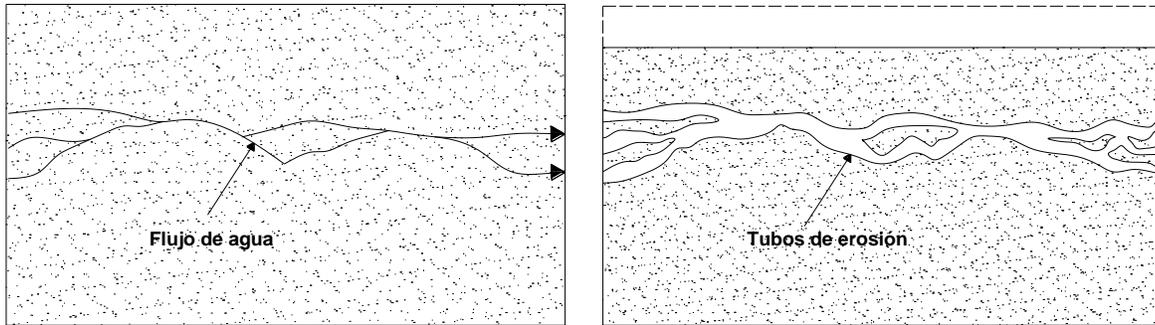


Figura I.3 Hundimiento por erosión subterránea
Elaboración propia con base en Tomas, 2009

Hundimiento por flujo lateral

En torno a diversas formaciones evaporíticas (a) se producen fenómenos de hundimiento asociados a la actividad diapírica. Este tipo de fenómenos de flujo lateral se ha observado en materiales arcillosos intercalados entre materiales más competentes como pizarras (b). Figura I.4

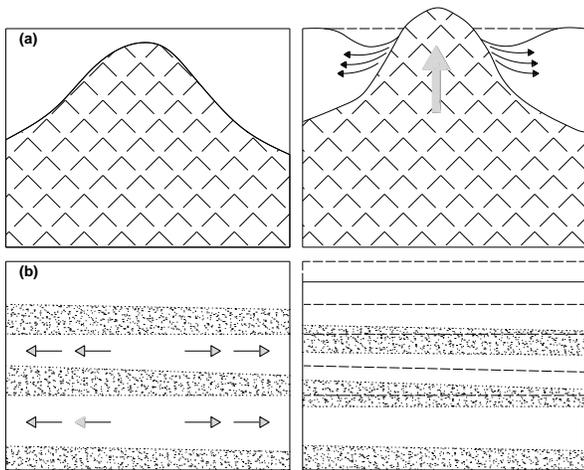


Figura I.4 Hundimiento por flujo lateral
Elaboración propia con base en Tomas, 2009

Hundimiento antrópico

Cuando el hundimiento es causado por el ser humano, éste se desarrolla en cortos períodos y pone en peligro a la infraestructura como vías de ferrocarril, carreteras, puentes, edificios, drenaje, agua potable, entre otros.

Hundimiento por compactación

Las vibraciones producidas por sismos, erupciones, explosiones u otras causas pueden causar la densificación de terrenos granulares sueltos por reajuste de partículas. Figura I.5

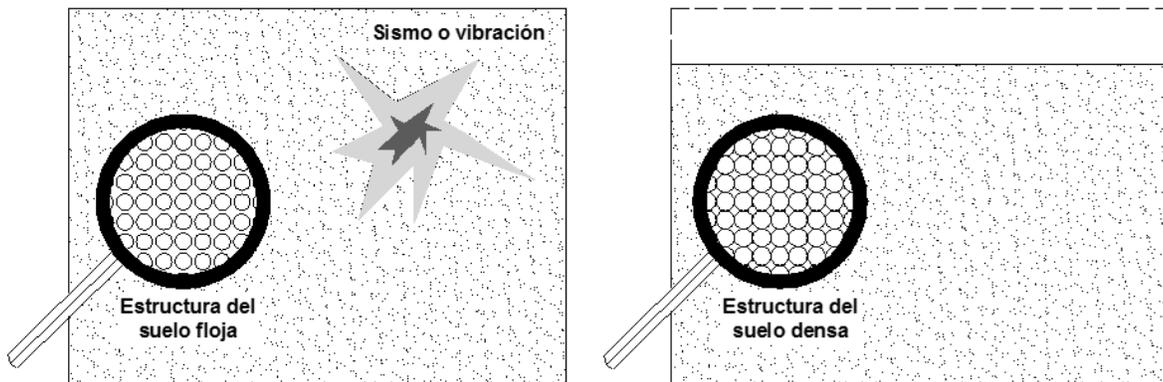


Figura I.5 Hundimiento por compactación
Elaboración propia con base en Tomas, 2009

Hundimiento por carga

El peso de la acumulación natural de sedimentos o determinados tipos de cimentaciones puede ocasionar la consolidación del terreno. Figura I.6

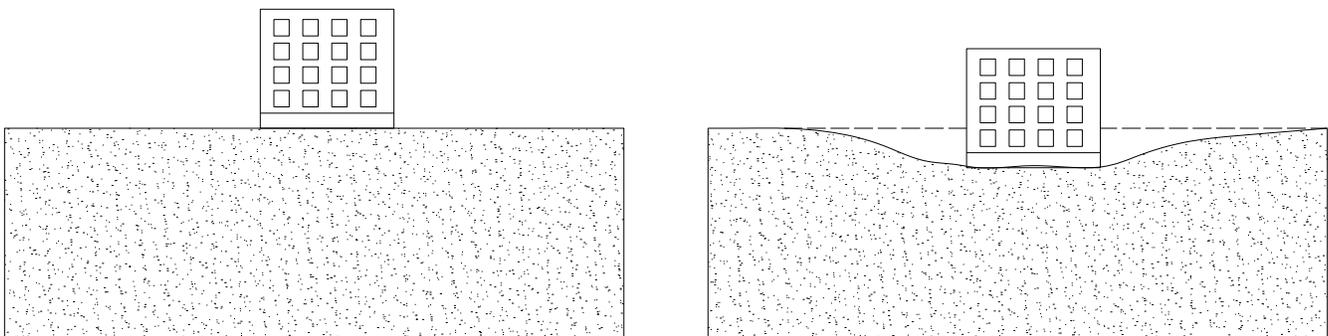


Figura I.6 Hundimiento por carga
Elaboración propia con base en Tomas, 2009

Hundimiento por extracción de fluidos

Los hundimientos causados por extracción de agua, gas o petróleo se pueden presentar de forma homogénea o diferencial, dependiendo de las características litológicas del sitio. Figura I.7

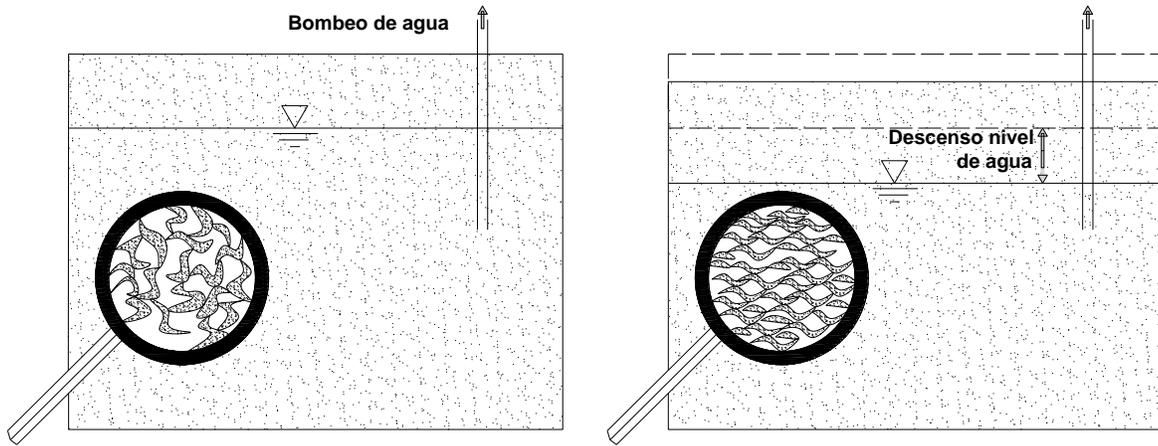


Figura I.7 Hundimiento por extracción de fluidos
Elaboración propia con base en Tomas, 2009

Hundimiento por hidrocompactación

La hidrocompactación es un fenómeno que consiste en el asentamiento que se produce en determinados tipos de suelo, con un bajo contenido de humedad y situados sobre el nivel freático.

La presencia de agua puede causar dos tipos de efectos en este tipo de suelos, la disolución de los enlaces entre partículas o la pérdida de las tensiones capilares que en ambos casos sostienen las partículas de suelo para configurar su estructura. Figura I.8

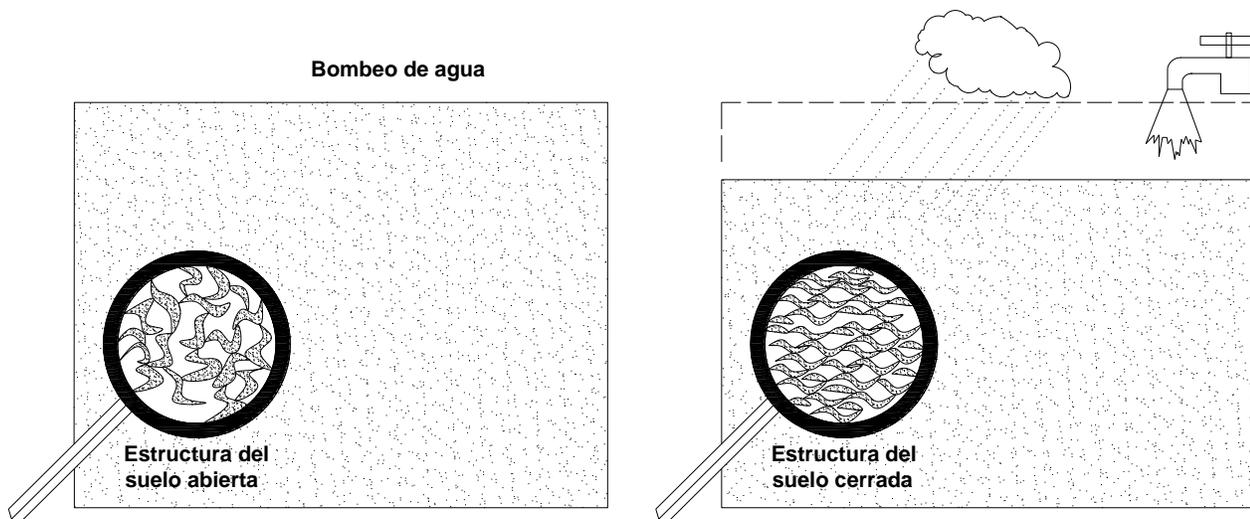


Figura I.8 Hundimiento por hidrocompactación
Elaboración propia con base en Tomas, 2009

Hundimiento minero o por construcción de obras subterráneas

Este tipo de hundimiento consiste en el abatimiento del terreno por la deformación y/o colapso de galerías generadas para la extracción de minerales o la construcción de túneles al intentar ocupar el suelo el vacío generado los terrenos circundantes. Figura I.9

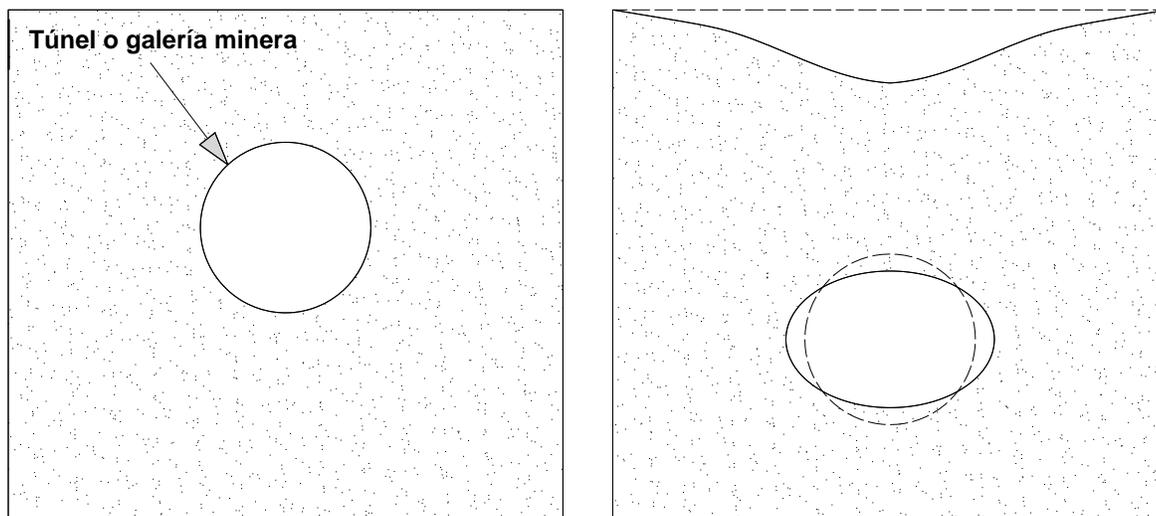


Figura I.9 Hundimiento minero
Elaboración propia con base en Tomas, 2009

1.3 Agrietamientos

Lugo, 2011 define el agrietamiento como "Ruptura longitudinal de las rocas o el hielo, sin desplazamiento de las porciones que se separan". Las grietas pueden ser de origen tectónico y no tectónico; y son clasificadas en dos tipos. Tabla I.5

Grietas de glaciar (Surgen en el glaciar debido a su movimiento).	Laterales	Se forman a causa de la tensión provocada por velocidad diferencial, mayor en la zona axial que en las márgenes.
	Transversales	Se forman por accidentes en el lecho, del tipo de escarpes y superficies niveladas. Las grietas transversales mayores se encuentran en el lugar de las cascadas de hielo, donde se forman los picos de hielo.
	Longitudinales	Se forman donde a una porción estrecha del valle, le sigue otra amplia. Es característica la grieta transversal, en el contacto entre el área de acumulación y la pared vertical posterior del circo.
Grietas poligonales	Son aquéllas que se forman al desecarse y compactarse los lodos arcillosos o calcáreos ricos en agua de infiltración. Las grietas poligonales desmembran la superficie de la capa en que se forman porciones poligonales irregulares. En algunas arcillas, son conocidas grietas poligonales de profundidad de hasta 3 m y una anchura de 10-15 cm. Pueden ser rectas y curvas. En sección transversal se encuentran en escuadra, en forma de V.	

Tabla I.5 Clasificación de grietas

Elaboración propia con base en Lugo, 2011

1.3.1 Génesis del agrietamiento

En 1947, el Ing. Nabor Carrillo propuso que la génesis del agrietamiento comienza con el abatimiento de las presiones hidrostáticas en la masa de arcilla; este cambio de presión se refleja en la parte superior del estrato arcilloso. Cuando la lluvia llega a formar una delgada lámina de agua sobre el estrato arcilloso, las tensiones en el agua se disipan y, por lo tanto, también las correspondientes compresiones en la fase sólida disminuyen. Posteriormente, se elimina el flujo horizontal del estrato permeable como causa de las tensiones del agua en la parte superior del estrato, sustituyéndolo por una intensa y prolongada

evaporación superficial por acción solar. En estas condiciones, se produce a través del tiempo un proceso de consolidación vertical por secado, que genera tensiones crecientes en el agua y compresiones crecientes en el suelo. Cuando se presenta una fuerte lluvia, capaz de destruir los meniscos formados en los espacios intersticiales de la superficie del estrato, se transfieren súbitamente los esfuerzos de tensión del agua al suelo, produciéndose así las grietas (Ávila, 2002).

Según Irwin, en Arana, 2002 existen tres etapas en el desarrollo del agrietamiento:

Se presenta una abertura simétrica; el desplazamiento relativo entre las caras correspondientes, es perpendicular a la superficie de la fractura; las grietas se generan por tensión, separándose entre sí las caras de la grieta.

La separación es asimétrica con desplazamientos tangenciales relativos y perpendiculares al frente de las grietas; el agrietamiento se genera por cortante; las caras de las grietas se deslizan una sobre otra en dirección perpendicular al vértice.

La separación es nuevamente asimétrica, con deslizamientos tangenciales relativos paralelos al frente de la grieta; bajo el efecto de esfuerzos inducidos por torsión, las superficies de las grietas se deslizan una sobre la otra, en dirección paralela al vértice.

Carreón, 2011 identifica los siguientes factores naturales que pueden generar agrietamientos:

- Hundimiento natural de una cuenca lacustre por consolidación natural y/o descomposición de materia orgánica.
- Desecación del suelo por variaciones climáticas.
- Asociación con el fallamiento regional del basamento rocoso.
- Heterogeneidad mecánica de la secuencia geológica.
- Actividad sísmica.

Los factores generadores de agrietamientos asociados a actividades antrópicas incluyen:

- Extracción intensa y constante de agua subterránea de manera regional.
- Excesivas cargas estáticas impuestas por la infraestructura urbana.

- Cargas dinámicas impuestas por el tráfico excesivo.
- Extracción de materiales pétreos, gas o petróleo del subsuelo.

La misma autora menciona que los factores que pueden disparar o provocar una ruptura súbita en los materiales del subsuelo pueden ser de origen natural o antrópico, como los siguientes:

- Cambios bruscos en el régimen hídrico del subsuelo asociado a lluvias torrenciales, fugas de agua o infiltración de otras fuentes de agua superficial.
- Actividad sísmica (natural o inducida).
- Extracción excesiva de agua subterránea en puntos localizados.
- Sobrecarga dinámica (vehicular) o estática (estructuras urbanas) del subsuelo.
- Inyección de agua hacia el subsuelo (fracturamiento hidráulico).
- Concentración de la deformación por hundimiento diferencial, sobre todo en zonas de pendiente mayor a 10 grados.

1.3.2 Tipos de agrietamiento

En condiciones edafológicas similares a las del sur de la Cuenca de México, Carreón del Centro de Geociencias de la UNAM clasifica las grietas o fracturas de acuerdo con el proceso geológico que da origen a la vulnerabilidad natural del medio y a la magnitud de su afectación:

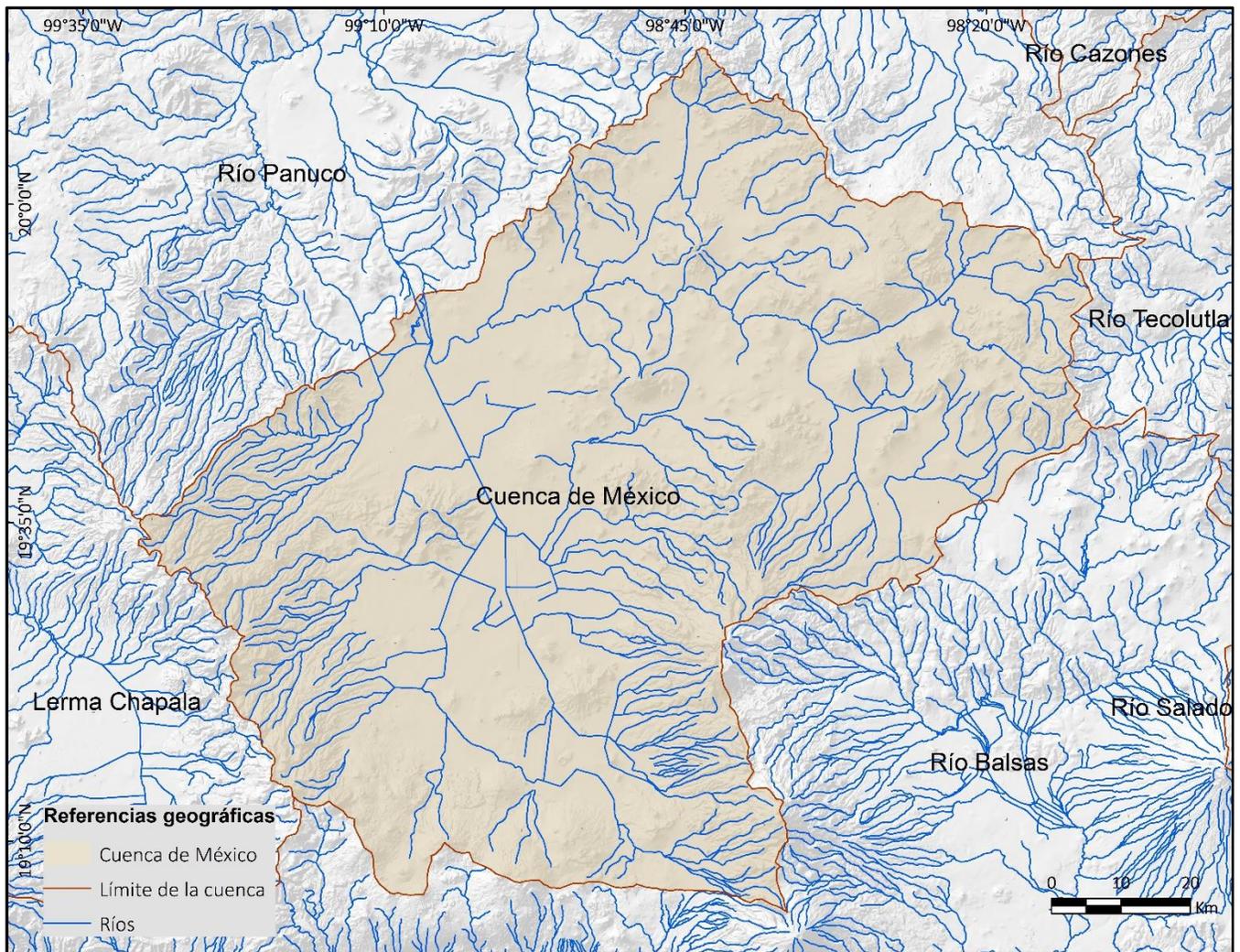
- **Fracturas por deformación diferencial de extensión variable:** En superficie afectan principalmente a la secuencia sedimentaria somera. La deformación puede ser plástica o por contrastes de rigidez en zonas de contacto. Estas discontinuidades no presentan una dirección preferencial, pueden mostrarse erráticas o propagarse de acuerdo con las condiciones de carga en superficie; generalmente bordean las zonas más rígidas. Estas fracturas se pueden mitigar con las soluciones geotécnicas convencionales (adecuación de cimentaciones, rellenos, etc.).

- **Fracturas locales en materiales colapsables de materiales no cohesivos:** Generalmente forman socavamientos superficiales y se propagan por zonas de debilidad preexistentes. Estas fracturas se pueden mitigar evitando fugas e infiltraciones y rellenando con el material adecuado.
- **Fracturas de orden intermedio:** Afectan secuencias de orden hidrogeológico y se originan por la desestabilización mecánica que origina una extracción excesiva de agua subterránea en zonas localizadas. La mejor medida de mitigación es el monitoreo de la deformación y del flujo de agua subterránea para eventualmente disminuir el caudal extraído o cambiar de sitio los pozos.
- **Fracturas de orden regional:** Se asocian al fallamiento del basamento rocoso, éstas se propagan de profundidades mayores a los 500 metros hacia la superficie buscando zonas de debilidad como contactos litológicos o fracturas existentes.

II. ANTECEDENTES

2.1 Características físicas de la Cuenca de México

La Cuenca de México es de tipo endorreica y de contorno irregular, la cual se encuentra asentada sobre una planicie lacustre con altitud promedio de 2,200 msnm, su suelo se compone principalmente de sedimentos lacustres de origen volcánico. Limita con las siguientes cuencas hidrográficas: al norte con la cuenca del río Pánuco, al sur con la cuenca de Río Balsas, al este con la cuenca del Río Teocolutla y al oeste con la cuenca Lerma Chapala. Mapa II.1

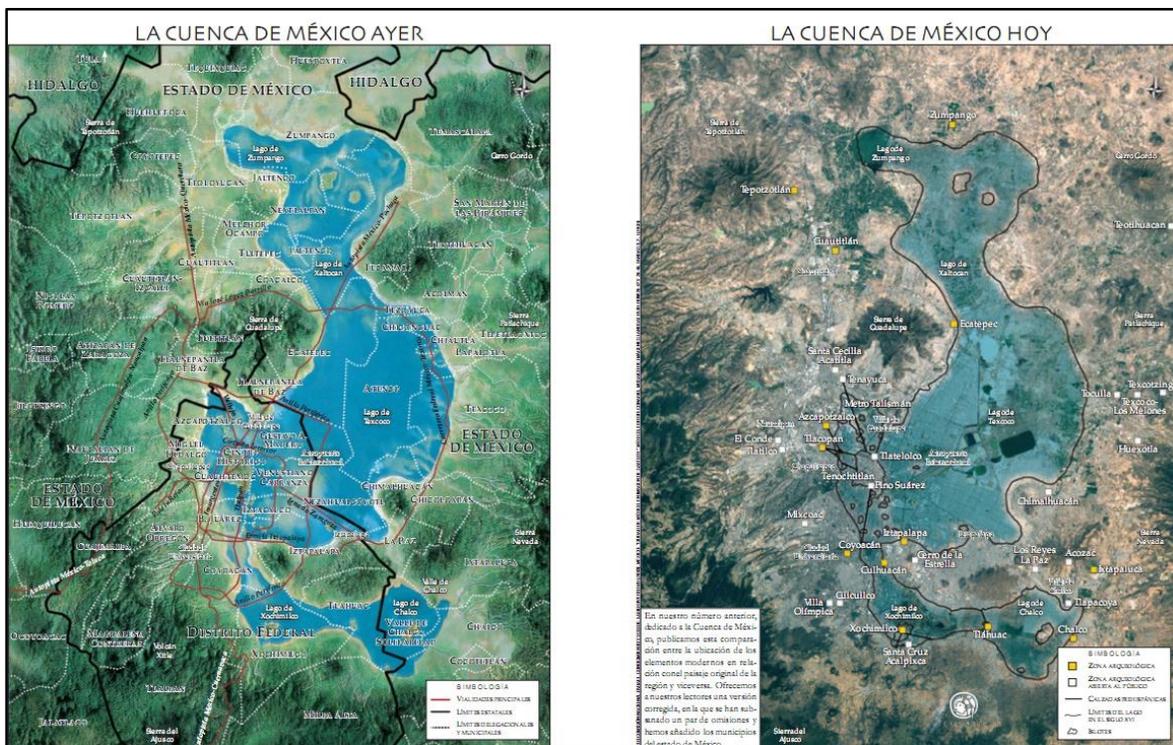


Mapa II.1 Localización de la Cuenca de México.

Elaboración propia con base en Sistema Nacional de Información del Agua, CONAGUA, 2018

Tiene un área de 9,600 km², la planicie central de la Cuenca de México está rodeada por sierras volcánicas, siendo las del sur las más importantes (Sierra Chichinautzin).

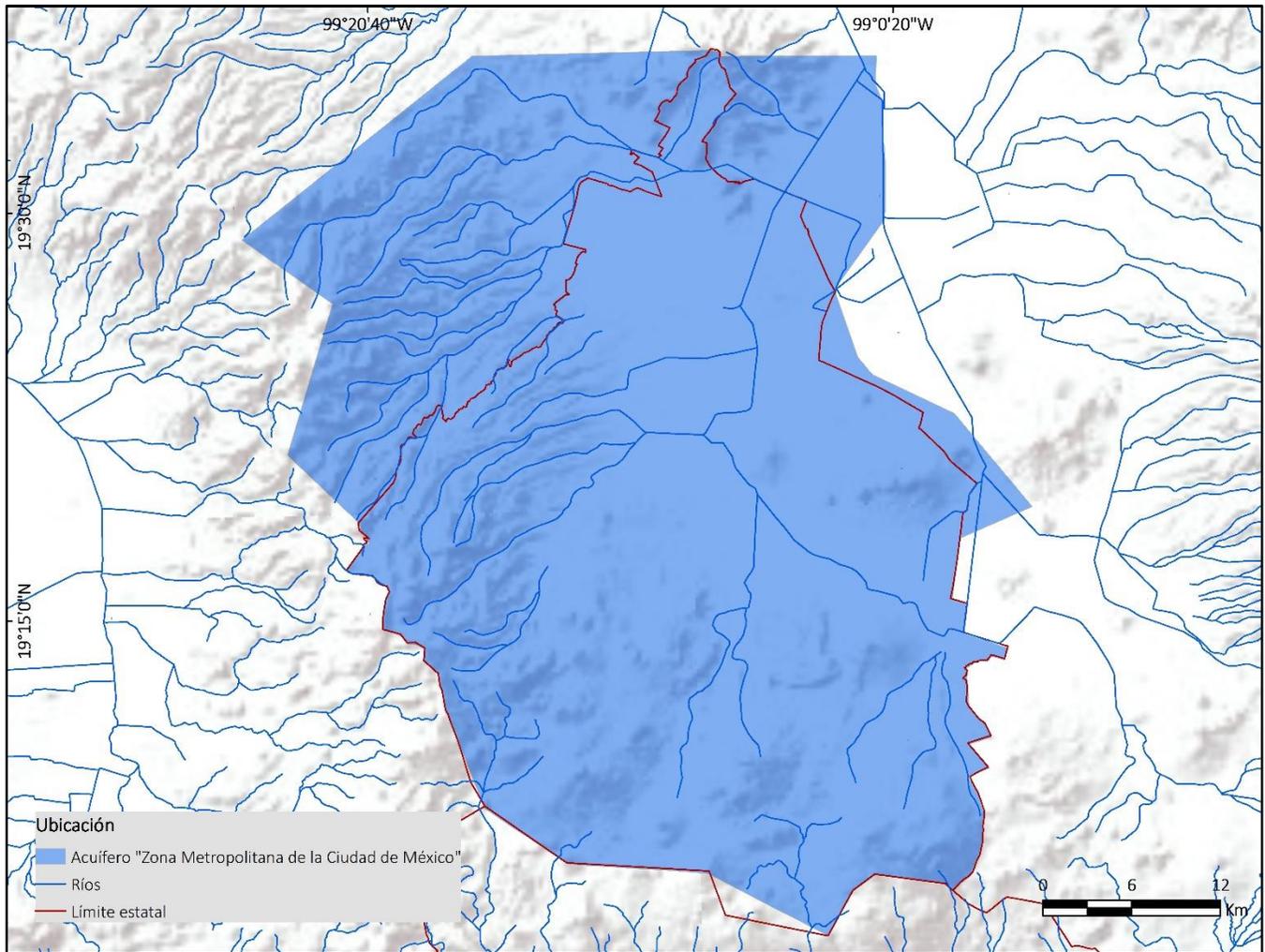
Las elevaciones que destacan son: el Popocatepetl con 5,438 msnm, el Iztaccíhuatl con 5,286 msnm y el Ajusco con 4,153 msnm; con una cadena de montañas y sierras tan elevadas, es natural que descienda desde hace siglos el agua de aproximadamente 48 ríos aún existentes; ésta agua llegó a formar en las partes más bajas de dicha cuenca cuatro áreas lacustres. La primera y más grande, que delimitaba lo que se conoce como el Valle de México, se integró con los cinco antiguos lagos cuyos nombres son: Chalco, Xochimilco, Texcoco, San Cristobal-Xaltocán y Zumpango (Legorreta, 2006). Mapa II.2



Mapa II.2 La Cuenca de México ayer y hoy
 Imagen tomada de Fundación UNAM, 2018

Desde el punto de vista geológico, la Cuenca de México se formó hace 600 mil años, cuando la Sierra Chichinautzin, que divide actualmente a la Cuenca de México de la Cuenca de Morelos, bloqueó el antiguo drenaje de los ríos Salado y Cuautla, los cuales escurrían hacia el Océano Pacífico. Las lavas que depositó el vulcanismo de las Sierras Nevada, de Las Cruces y, posteriormente, la Sierra del Chichinautzin, formaron la base en donde se acumularían los depósitos fluvio-lacustres que constituyen en la actualidad el acuífero

superior de la Cuenca de México, el cual tiene entre 600 ó 700 m de espesor, y en donde se emplaza la actual Ciudad de México (SACMEX, 2012). Mapa II.3



Mapa II.3 Acuífero "Zona Metropolitana de la Ciudad de México"
Elaboración propia con base en Sistema Nacional del Agua, CONAGUA, 2018

2.2 La Ciudad de México durante la época mexica

El centro de la actual Ciudad de México corresponde a lo que fue el centro de Tenochtitlán, ciudad fundada en 1325 por la civilización mexica; no se tiene certeza de la razón por la cual eligieron ese sitio; sin embargo, en el código "Tira de la Peregrinación", se narra cronológicamente los lugares y acontecimientos más importantes desde su salida de Aztlán hasta su llegada a Tenochtitlán. Durante su viaje fueron guiados por el Dios Huitzilopochtli, buscando la señal que les indicara el lugar donde debían

establecerse, y así fue hasta llegar al Lago de Texcoco, sitio donde encontraron el águila sobre el nopal devorando una serpiente.

Los mexicas tenían un amplio respeto y conocimiento por el agua, pues supieron aprovechar de manera óptima y equilibrada los recursos que les proporcionaba la naturaleza, por medio de ingeniosos sistemas de cultivo como lo son las chinampas (manzanas de tierra fértil), esta tecnología favoreció de manera importante el crecimiento de la población, ya que con ésto se garantizaba su alimentación, además de ser utilizadas como vías de comunicación y drenaje.

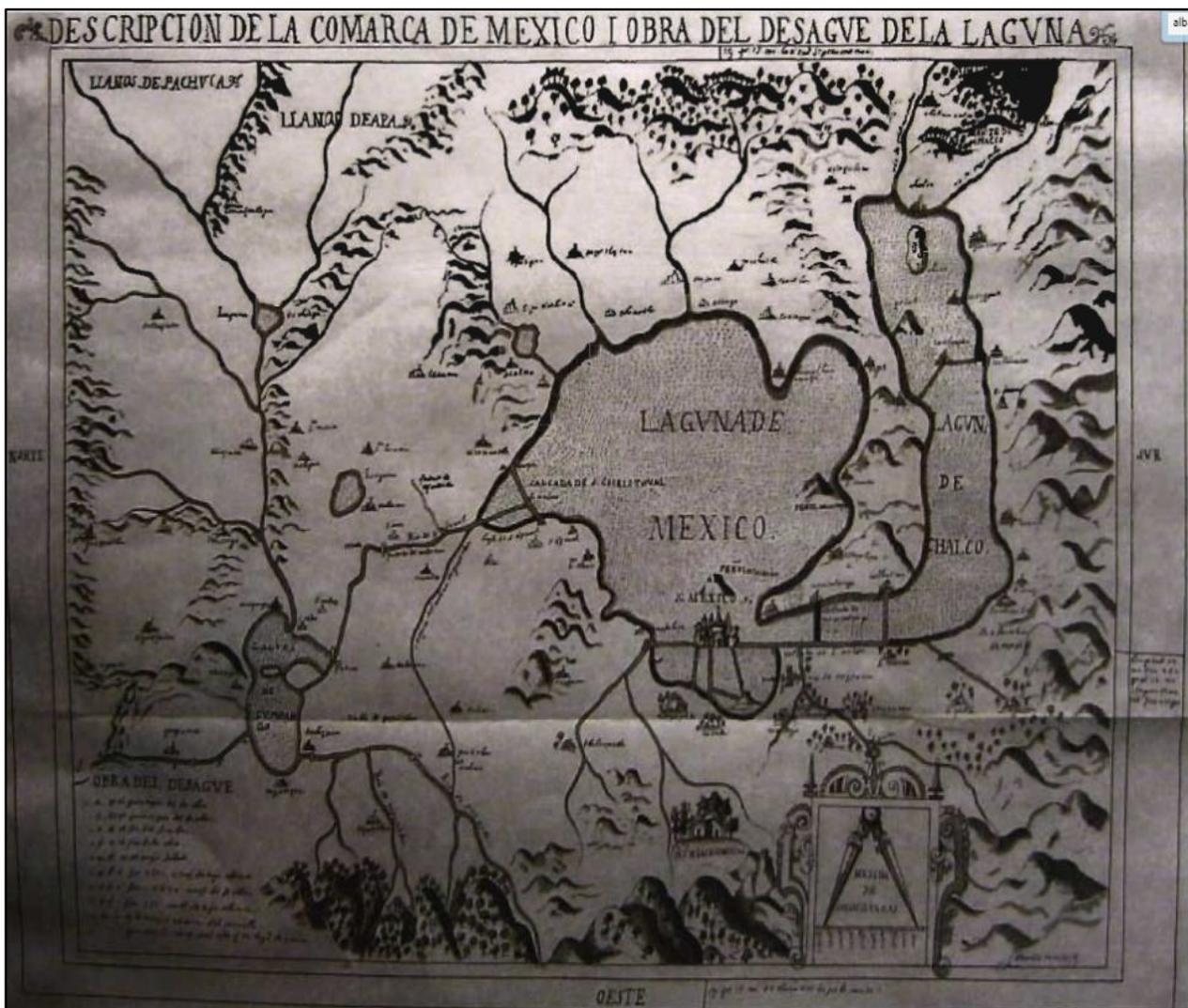
Ésta civilización también realizó importantes obras de ingeniería, las cuales les permitieron controlar las aguas de los lagos y abastecer de agua dulce a sus ciudades. Un ejemplo de estas obras es el albarradón de Nezahualcóyotl construido en 1449, el cual tenía 16 km de longitud y 7 m de ancho. Figura II.1



Figura II.1 Tenochtitlán y el Albarradón de Nezahualcóyotl
Imagen tomada de 4cdsgomezsantiago, 2018

El 13 de agosto de 1521 está marcado en la historia como la caída de Tenochtitlán. Los conquistadores españoles no supieron convivir con el recurso agua y la consideraron como un enemigo al que había que destruir, por este motivo Hernán Cortes decidió fundar la capital de la Nueva España en el mismo territorio como símbolo de la derrota del imperio mexica, lo cual conllevó a que se enfrentaran frecuentemente a la problemática de las inundaciones.

Para combatir este problema, los conquistadores mandaron a construir el “Túnel de Huehuetoca” y “Tajo de Nochistongo”, las cuales son consideradas las obras más importantes de la época colonial, éstos proyectos fueron presentados originalmente por Francisco Gudiel en 1555 y retomados más tarde por el cosmógrafo Enrico Martínez en 1608; el objetivo de estas construcciones consistía en disminuir el agua que se vertía en el Lago de Texcoco y trasladar el agua por 300 kilómetros hasta el mar en el Golfo de México. Sin embargo, la solución sólo fue momentánea más no definitiva, ya que en 1629 la ciudad quedó destruida por una inundación permaneciendo las aguas hasta 1634 dejando en claro que Tenochtitlán no fue ni es un territorio apropiado para la construcción de palacios. Mapa II.4



Mapa II.4 Plano firmado de Enrico Martínez en 1609
Imagen tomada de Legorreta, 2006

1.3 Hundimiento y agrietamiento en la Ciudad de México

En la Ciudad de México existen registros de riesgos geológicos e hidrometeorológicos aún antes de la conquista; sin embargo, son los riesgos por hundimiento y agrietamientos los que tienen mayor relevancia, sobre todo, posterior a la desecación del Lago de Tenochtitlán SEDESOL, 2011. Mapa II.5

Díaz, 2006 menciona que el subsuelo de la ciudad de México tiene propiedades únicas. El contenido de agua es mayor a 400 %, el índice de plasticidad excede 300% y el índice de compresión C_c puede llegar a un valor de 10, cuando en la mayoría de los suelos es menor a 1. Lo anterior, ubica a los sedimentos lacustres de la ciudad de México como altamente compresibles, lo que ha dado lugar a intrincados problemas de cimentación para la construcción de edificios elevados y de gran peso en la ciudad de México.

En 1902, era clara la ubicación de dos zonas importantes con presencia de cuerpos de agua, como reductos del antiguo lago, al sur y noreste del territorio de la capital, con el paso del tiempo, éstas zonas ya desecadas, se han convertido en zonas de agrietamiento y en ellas se encuentra una importante ocupación urbana (SEDESOL, 2011).

En 1924 Karl Terzaghi generó importantes aportes al conocimiento de los hundimientos, pues fue el primero en estudiar la dinámica de este fenómeno con su teoría de “Consolidación de arcillas”; bajo este sustento el Dr. Nabor Carrillo establece la Mecánica de Suelos en México, demostrando que la causa principal de éste fenómeno, es la extracción excesiva de agua por bombeo, lo que preocupa a las autoridades, quiénes deciden apoyar a las investigaciones del Laboratorio de Ingenieros Civiles Asociados S.A. de C.V.

Los primeros registros de hundimientos en la Ciudad de México los realizó el Ingeniero Roberto Gayol en 1925, reportando un descenso en la Catedral con respecto al Banco de Nivel localizado en Atzacolco, lo cual conllevó a enfrentar serios problemas de inundaciones debido al daño que sufría el alcantarillado.

Otra contribución importante para el estudio del hundimiento de la Ciudad de México se le debe a los Ingenieros Fernando Hiriart, Raúl Sandoval y Raúl J. Marsal, quienes reconstruyeron el hundimiento desde finales del siglo pasado elaborando el “Plano de la Zonificación Geotécnica de la Ciudad de México”.

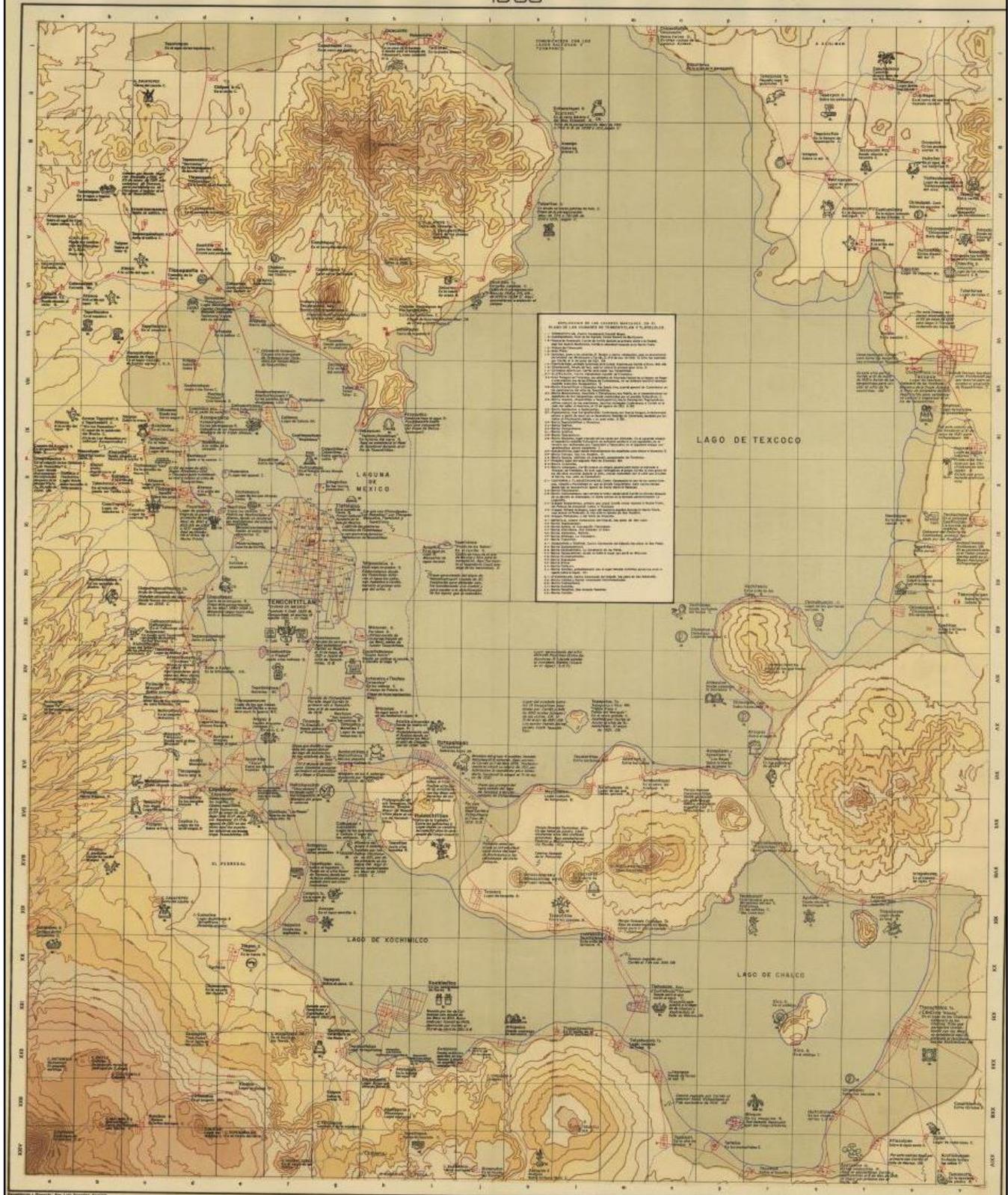
En 1945, el Instituto Nacional de Investigación Científica (INIC) elaboró los primeros estudios para realizar un programa de muestreo de la corteza arcillosa. El proyecto no contó con los recursos suficientes y se optó por buscar apoyo económico en el sector privado, el cual fue otorgado por la compañía de Ingenieros Civiles y Asociados (ICA), empresa dedicada a la construcción de edificios, misma que realizó diversos estudios para obtener información del subsuelo y así resolver los problemas de cimentación que se presentaban en la ciudad (Marsal, 1992).

PLANO RECONSTRUCTIVO DE LA REGION DE TENOCHTITLAN
AL COMIENZO DE LA CONQUISTA

ARQUITECTO LUIS GONZALEZ APARICIO

ESCALA 1:60,000

1968



Mapa II.5 Plano reconstructivo de la región de Tenochtitlán al comienzo de la conquista
Imagen tomada de SIAP, 2018

Entre las actividades que se realizaron entre los años 1947 y 1952 se llevaron a cabo una gran cantidad de sondeos, así como más de 10,000 muestras extraídas del subsuelo para generar un modelo que mostrara la constitución y distribución de los materiales. Además, se instalaron estaciones piezométricas en diversos puntos de la ciudad para conocer las anomalías en las presiones hidrostáticas y su relación con el hundimiento, nivelaciones periódicas de la superficie urbana con respecto a antiguos bancos de nivel, para conocer la dinámica, evolución y velocidad del hundimiento (Marsal, 1992).

De uno a dos años después de que en 1957 se pusiera en operación la primera etapa de los aprovechamientos de agua potable ubicados en la zona Oriente del Valle de México con el bombeo de $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ en los alrededores del Peñón Marqués, aparecieron las primeras fracturas o grietas en la periferia de dicho edificio volcánico. Para la década de 1970 ya se reportaban los efectos de fracturas en su flanco suroeste y en 1982 se documentaron los efectos del agrietamiento cercanos a la avenida Ermita Iztapalapa (SEDESOL, 2011).

Actualmente, el estudio de los hundimientos es un tema de gran relevancia en el ámbito científico, llevándose a cabo reuniones internacionales para tratar esta problemática. Algunos de estos son el "Primer Simposio Internacional de Hundimiento de Terreno", el cual se realizó en Tokio, Japón en 1969, mientras que en el 2010 el mismo Simposio se llevó a cabo en la Ciudad de Querétaro, México, en donde el tema principal fue el impacto negativo que este fenómeno genera a la infraestructura.

El estudio de los hundimientos es incluido en proyectos de la UNESCO, así como la Década Internacional Hidrológica (1964) y el Programa Internacional Hidrológico.

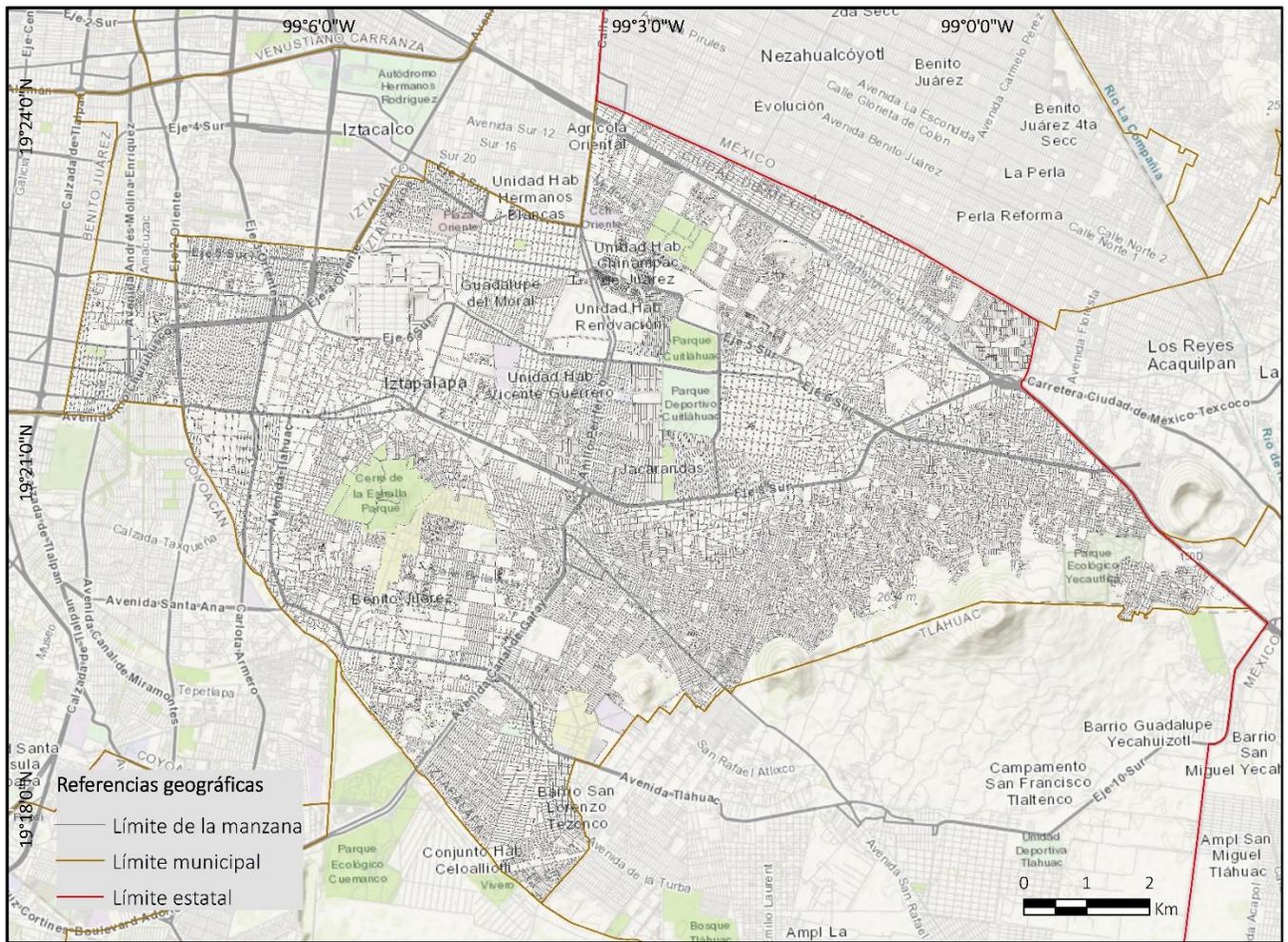
En el año 2008 se pone en operación en la Ciudad de México, específicamente en la alcaldía de Iztapalapa el Centro de Monitoreo y Agrietamiento del Subsuelo, ésto a través de un convenio entre el Gobierno de la Ciudad de México y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), bajo el proyecto: "Análisis de los mecanismos de fracturamiento del subsuelo" encabezado por la Dra. Dora Carreón. En él se realiza el constante monitoreo de grietas para mejorar el conocimiento de las causas que los originan y emitir recomendaciones para prevenir o mitigar sus posibles daños.

Legorreta, 2006 identifica cinco consecuencias de los hundimientos en la Ciudad de México:

- 1.- Pérdida de pendiente del Gran Canal del Desagüe, uno de los drenajes más importantes de la ciudad, específicamente en los primeros 20 kilómetros de San Lázaro hacia Zumpango. En 1900 la pendiente tenía 16.2 centímetros por kilómetro, en 1951 bajo a 11.7 y para 1993 se redujo a cero. Es decir, el agua del drenaje que a principios de siglo XX se desalojaba por gravedad, a finales del mismo tendía a regresar a la ciudad. Independientemente del descenso de la pendiente, el Gran Canal se hunde veinte centímetros por año en sus primeros 12 kilómetros.
- 2.- Fracturas en drenaje secundario, lo cual provoca el desperdicio de agua potable y en algunos casos mezcla de aguas negras contaminando los mantos freáticos.
- 3.- Posible presencia de hidrocarburos en el subsuelo y mantos freáticos superficiales.
- 4.- Agrietamientos en el subsuelo.
- 5.- Daños causados a estructuras de los edificios, monumentos.

2.3 Características físicas de Iztapalapa

La alcaldía de Iztapalapa se localiza en la porción sur de la Cuenca de México, al oriente de la Ciudad de México. Sus coordenadas geográficas son: 19°24' y 19°17' de latitud norte, y entre 98°58' y 99°08' de longitud oeste. Colinda al norte con la alcaldía de Iztacalco y el municipio de Nezahualcóyotl, al este con los municipios de La Paz y Valle de Chalco Solidaridad correspondientes al Estado de México; al sur con las alcaldías de Tláhuac y Xochimilco; y al oeste con las alcaldías Coyoacán y Benito Juárez. Mapa II.6



Mapa II.6 Ubicación de Iztapalapa, CDMX
 Elaboración propia con base en Sistema de Consulta de Información Censal, 2010

Tiene una extensión de 116 km², de acuerdo con la encuesta intercensal del 2015, cuenta con una población de 1,827,868 habitantes convirtiéndola en la demarcación con mayor densidad no solo de la ciudad sino del país. Iztapalapa incrementó su población principalmente en las décadas de 1960 y 1970 debido a las migraciones de distintos estados en busca de una mejor calidad de vida, lo que conllevó a la construcción de numerosas viviendas y conjuntos habitacionales en zonas no aptas para el establecimiento de éstas.

Gran parte de Iztapalapa se encuentra sobre una planicie con una altitud promedio de 2,240 msnm. Las principales elevaciones que se localizan en Iztapalapa son: los edificios volcánicos de la Sierra de Santa Catarina, Cerro de la Estrella y El Peñón del Marqués.

Según el INEGI, 2018 el clima de Iztapalapa es templado subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual varía de 12°C, en las partes más altas a una altitud que va de 2,250 metros a 18°C en las de menor altitud.

Ramírez, en SEDESOL, 2011 refiere que Iztapalapa posee extensas baterías de pozos, las cuales, explotan agua subterránea para distintas zonas de la Ciudad de México. Hidrográficamente, Iztapalapa contaba con un vasto número de corrientes superficiales, tal es el caso del Río Churubusco, que se unía con el río de la Piedad formaban el Río Unido, la actual calzada de la Viga, anteriormente fue un colector de las aguas de los canales de Chalco, Tezontle, Del Moral. Sin embargo, en la actualidad no existen depósitos naturales de agua debido a la pavimentación urbana.

En lo que respecta a las características edafológicas, en el área de estudio se presentan los siguientes tipos de suelo. Tabla II.1

Tipo de suelo	Área (km ²)	(%)	Descripción
Hh+Hg+Zm/2/n Feozem	55.57	48.93	Combinación de un feozem háplico+feozem gleyco+solonchack mólico de textura media, sódico. Ocupa la porción poniente y norponiente, así como una pequeña porción nor oriente y sur. Se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes. Con una capa saturada de agua al menos alguna época del año. Esta capa es de color gris, verde o azulado y se mancha de rojo cuando se expone al aire, son poco susceptibles a la erosión.
Hh+Re/2/P Feozem	11.77	10.37	Combinación de feozem háplico+regozol eútrico, de textura media y fase pedregosa. Se localiza en la zona oriente a lo largo del límite sur oriente. Es ligeramente ácido a alcalino y más fértil que los suelos dísticos (suelos ácidos, ricos en nitrógeno pero pobres en otros nutrientes importantes para las plantas).
Hh/2 Feozem	1.12	0.98	Es un suelo feozem háplico de textura media. Este tipo de suelos se localizan en una pequeña porción en el límite nor poniente de la

			alcaldía. Se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes.
Zg+Zm/3n Solonchack	45.11	39.72	Es un suelo feozem háplico de textura media. Éste tipo de suelos se localizan en una pequeña porción en el límite nor poniente del territorio. Se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes.
Total	113.57	100	Combinación de solonchack gleyco+solonchack mólico de textura fina, sódico. Se ubica en la porción centro norte. Es un suelo salino en todo o alguna parte del suelo. Se presenta en zonas donde se acumula salitre, tales como lagunas y en las partes más bajas de los valles llanos, con una capa saturada de agua al menos alguna época del año, la capa es de color gris, verde o azulado y se mancha de rojo cuando se expone al aire.

Tabla II.1 Tipos de suelo en Iztapalapa

Elaboración propia con base en SEDESOL, 2011

Tapia y López, en SEDESOL, 2011; identifican cinco unidades morfogénicas en Iztapalapa. Tabla II.2

Tipo de relieve	Origen	Edades	Geometría	Representación
Laderas y montaña	Endógeno volcánico	Terciario Superior-Cuaternario (0-5 m.a)	Compuestas principalmente por conos volcánicos y derrames de lava. Presentan rocas básicas e intermedias, lavas andesíticas, dacíticas, riódacíticas y tobas, con material piroclástico de flujo y caída. Presentan superficies cumbresales redondeadas con una altitud media de 2450 a 2750 y una altura dominante de 510 m	Sierra de Santa Catarina y el Cerro de la Estrella.
			Dominan las tobas, cenizas y depósitos piroclásticos de flujo y de caída. Están compuestos de rocas basálticas y basáltico-andesitas. Presentan	

Lomeríos	Endógeno volcánico modelado	Cuaternario (0-2 m.a.)	estructuras disyuntivas generadas por movimientos tectónicos actuales (fallas). Presentan una altitud de 2350 a 2370 y una altura relativa de 132 a 214 m.	Peñón del Marqués y Yuhualixqui
Planicie lacustre	Exógeno acumulativo	Cuaternario (0-2 m.a.)	Compuesta de sedimentos lacustres que provienen del acarreo que produce el agua de los cauces de montaña, desde los depósitos piroclásticos de explosiones recientes de los volcanes cuaternarios de los alrededores. Presenta una altitud de 2241 m.	Ocupa el 81% del territorio de la alcaldía
Piedemonte	Exógeno acumulativo	Cuaternario (0 a 2 m.a.)	Compuestas de lavas, tobas, cenizas y depósitos epiclásticos de flujo; algunos presentan forma de abanico con una composición de basalto y basalto-andesita. También se caracterizan por presentar tectonismo activo que se manifiesta por la presencia de fallas	Laderas de la Sierra de Santa Catarina, Cerro de la Estrella, Cerro La Caldera y Peñón Marques
Planicie aluvial	Acumulativo	Cuaternario (0 a 2 m.a.)	Originado por procesos gravitacionales y fluviales. Algunas se caracterizan por estar formadas por depósitos de lahar retrabajados, y por secuencias piroclásticas de caída y de flujo, así mismo de tobas eólicas y brechas de pómez.	Alrededores del Cerro de la Estrella y la Sierra de Santa Catarina.

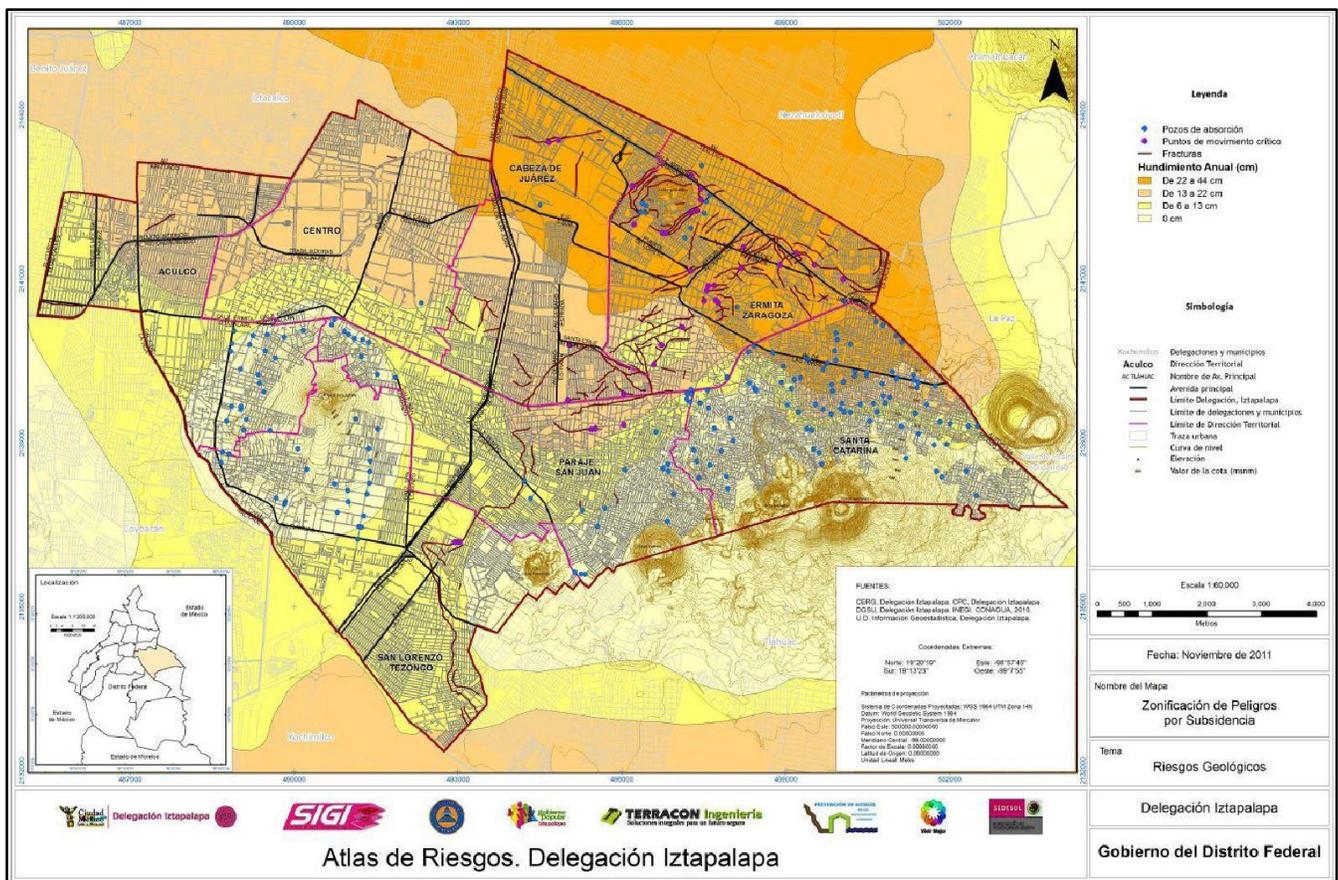
Tabla II.2 Unidades morfogénicas
Elaboración propia con base en SEDESOL, 2011

III. METODOLOGÍA

3.1 Peligro

El fenómeno de hundimiento y agrietamientos se presenta en la mayor parte de Iztapalapa; sin embargo, estos no se comportan de manera homogénea debido a la influencia que tienen los edificios volcánicos correspondientes al Cerro de la Estrella, la Sierra de Santa Catarina y conos asociados.

Para elaborar el mapa de peligros, se emplearon las variables de velocidad de hundimiento (publicadas en el Atlas de Riesgos Naturales de la Delegación Iztapalapa, 2011), el registro de 327 grietas las cuales se encuentran actualizadas al año 2017, así como las zonas vulnerables a presentar este tipo de fenómenos basado en estudios geofísicos (éstas últimas variables se encuentran publicadas en el Atlas Nacional de Riesgos de CENAPRED). Mapa III.1



Mapa III.1 Peligros publicado en el Atlas de Riesgos de la delegación Iztapalapa SEDESOL, 2011

Las variables anteriormente mencionadas son registradas por especialistas de la alcaldía de la siguiente manera:

1.- Análisis con el Georadar o Radar de Penetración Terrestre (RPT): Se realizan estudios electromagnéticos a una profundidad de hasta 7 metros (perfiles de radar), e indica en tiempo real la conformación del subsuelo.

2.- Estudios geofísicos: Por medio del equipo de Propagación de Ondas Mecánicas (POM), se efectúan estudios que reflejan la estructura del subsuelo hasta 20 metros de profundidad.

3.- Estudios Topográficos: Permite determinar las deformaciones de la superficie.

4.- Cartografía y Geoposicionamiento (GPS). Por medio de imágenes satelitales, GPS y brújulas, se realizan mapas que permiten una ubicación precisa de las zonas y las trayectorias de los fracturamientos.

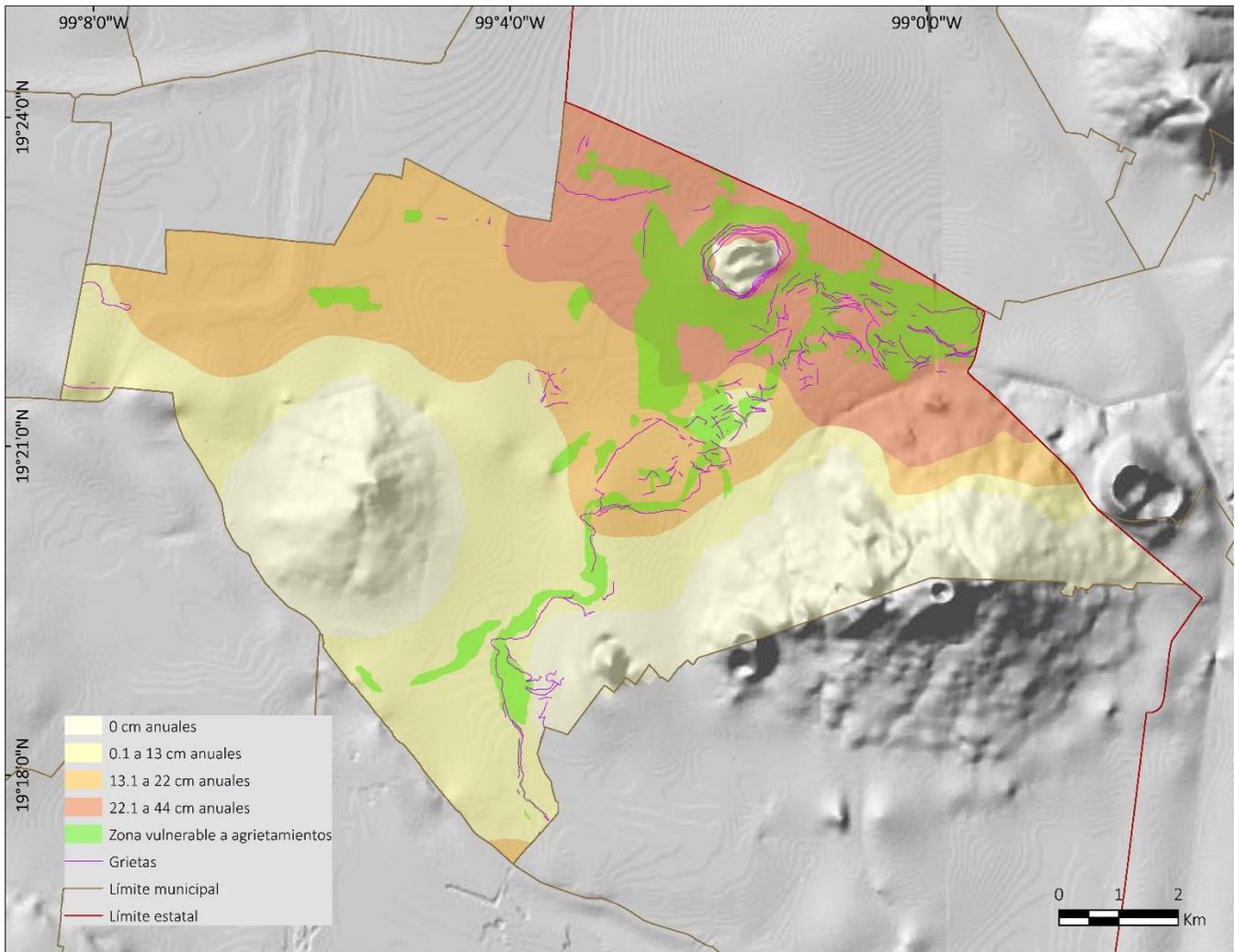
5.- Análisis y caracterización del suelo: Se toman muestras en excavaciones para estudiar la composición y propiedades del mismo. Éstas son analizadas y caracterizadas por el Centro de Geociencias de la UNAM.

6.- Procesamiento e interpretación de datos: Con la información generada en las etapas previas y junto con el Centro de Geociencias, se realiza un análisis para identificar los factores que determinan los fracturamientos en las zonas de estudio.

7.- Informes y recomendaciones: Con base en los análisis efectuados, el Centro de Monitoreo de Fracturamiento del Subsuelo recomienda a las autoridades las acciones a seguir para mitigar los efectos de los fracturamientos. Adicionalmente, se realizan actividades de difusión de los resultados obtenidos.

A partir de los resultados publicados en el Atlas de Riesgos Naturales de Iztapalapa, 2011 se realizó una modificación al mapa de peligros generado por la alcaldía, específicamente en la zona del Peñón, ya que la fuente original lo regionaliza con un hundimiento de 22 a 44 centímetros anuales, sin embargo, de acuerdo con la geología de esa zona indica que éste es un cono volcánico, por lo cual se infiere que no se hunde, apoyando esta teoría a la forma radial en la que se desarrollan los agrietamientos.

También se reclasificaron los rangos de hundimiento propuestos por la alcaldía ya que no existe la clasificación de 0 a 5 centímetros anuales, sin embargo si se muestra el valor en el mapa por lo que se agrupó en el rango de 0.1 a 13 centímetros anuales. Mapa III.2



Mapa III.2 Modificación al mapa de peligros por hundimiento publicado por la alcaldía de Iztapalapa
Elaboración propia con base en SEDESOL (2011) y CENAPRED (2018)

Una vez teniendo identificadas las diferentes velocidades de hundimiento y la ubicación de agrietamientos se realizó el mapa de peligros ponderando las variables como se muestra en la Tabla III.1

Variable	Ponderación	Justificación
Hundimiento de 0 cm anuales y sin manifestación de agrietamientos	0	Asociado a manzanas asentadas en zonas volcánicas, por lo tanto no presentan hundimientos ni agrietamientos.
Hundimiento de 0.1 a 13 anuales	1	Manzanas que presentan un hundimiento lento.
Hundimiento de 13.1 a 22 anuales	2	Manzanas con hundimiento medio.

Hundimiento de 22 a 44 cm anuales	3	Manzanas con hundimiento rápido.
Manzana ubicada en 2 o más zonas de hundimiento	4	Manzanas ubicadas en 2 o más zonas de hundimiento, lo cual acelera el desarrollo de grietas.
Presencia de grietas	8	Las manzanas que tienen registro de agrietamiento, son vulnerables a cualquier tipo de peligro.
Manzana ubicada en zona susceptible a desarrollo de agrietamientos	4	Zona susceptible a desarrollo de hundimientos basados en estudios geofísicos.

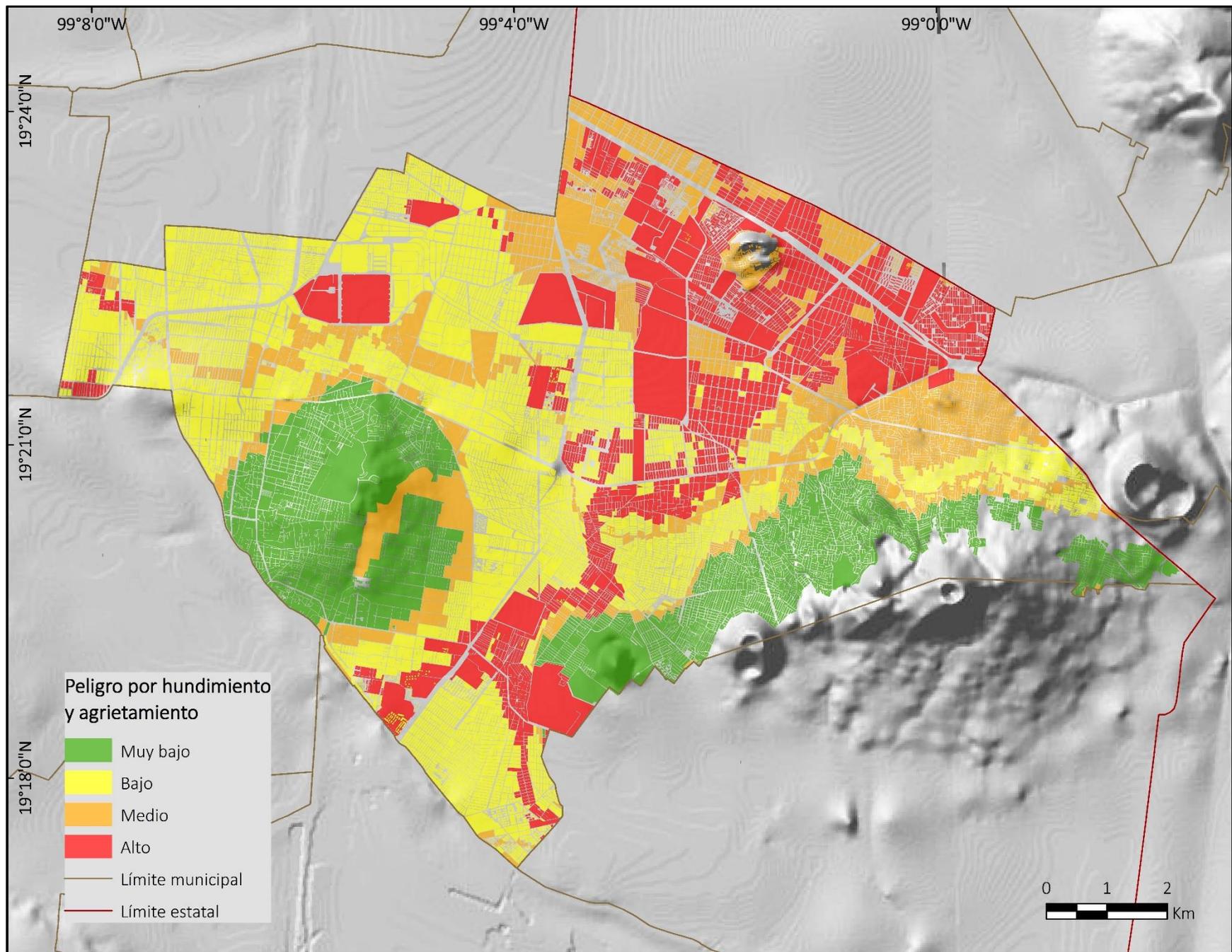
Tabla III.1 Ponderación de hundimientos y agrietamientos en Iztapalapa

Posteriormente, se generó el mapa de peligros considerando las siguientes clasificaciones. Tabla III.2

Clasificación de peligro	Puntuación	Manzanas
Muy bajo	0	3,104
Bajo	1 a 2	6,030
Medio	3 a 4	2,778
Alto	Más de 5	2,482

Tabla III.2 Clasificación de peligros por hundimiento y agrietamiento

Son claras las zonas de peligro muy bajo y bajo las cuales corresponden a áreas volcánicas y sus cercanías. Sin embargo, el mayor peligro se presenta en las manzanas asentadas en planicies lacustres, donde el terreno es inestable y susceptible a cualquier tipo de peligros. Mapa III.3



Mapa III.3 Peligros por hundimiento y agrietamiento en Iztapalapa
 Elaboración propia con base en SEDESOL (2011), INEGI (2010) y CENAPRED (2018)

3.2 Caracterización de vulnerabilidad

Los indicadores empleados para el cálculo de vulnerabilidad se obtuvieron del SCINCE (Sistema para la Consulta de Información Censal, 2010) el cual contiene las características sociodemográficas de la población y las viviendas del país, captados por el Censo de Población y Vivienda, 2010. Una vez estimada la vulnerabilidad física, económica y social se calculó la vulnerabilidad global la cual es la base para la caracterización del riesgo.

3.2.1 Vulnerabilidad física

La vulnerabilidad física es de las más estudiadas, y como se mencionó con anterioridad, se refiere a las condiciones físicas de las viviendas.

Las variables utilizadas para generar el mapa de vulnerabilidad física son las contenidas en la Tabla III.3.

Ante el fenómeno de hundimientos y agrietamientos, Iztapalapa tiene una vulnerabilidad física media en la mayor parte de su territorio, es decir, que un gran número de manzanas tienen una gran cantidad de viviendas con 2 o más dormitorios lo cual incrementa el peso del asentamiento acelerando el hundimiento principalmente en las zonas lacustres o de transición, además de contar con viviendas con servicios de luz eléctrica, agua y drenaje, lo cual incrementa el costo económico de la misma y generando una mayor pérdida en caso de ocurrir un desastre. Mapa III.3

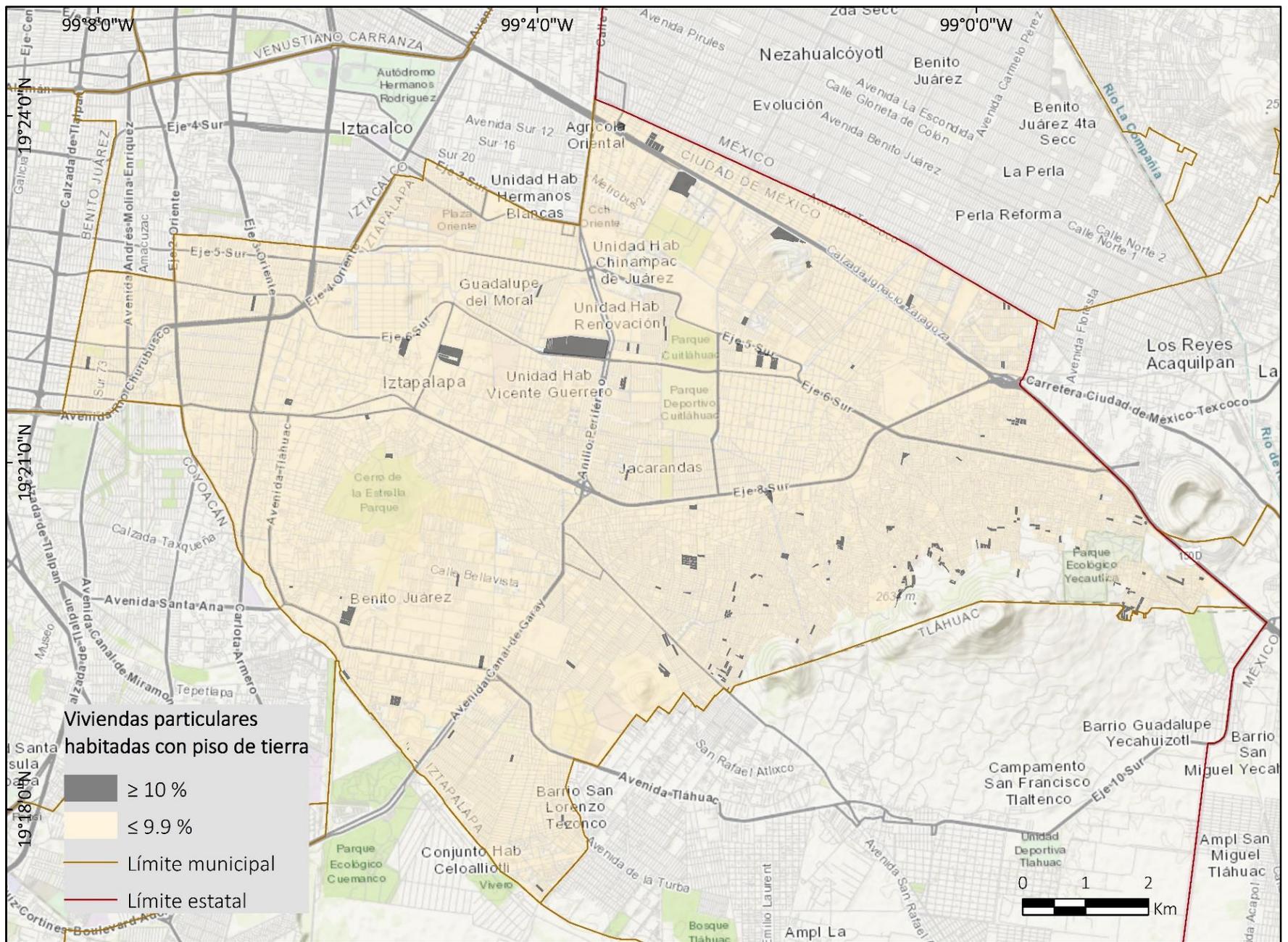
Clave SCINCE	Indicador	Descripción	Justificación	Rangos	Manzanas
VIV6	Viviendas particulares habitadas con piso de tierra	Viviendas particulares habitadas con piso de tierra. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	Las viviendas que cuentan con esta característica, son más vulnerables ante cualquier tipo de peligro.	≥ 10 %	175
				≤ 49.9 %	14,388
VIV8	Viviendas particulares habitadas con dos dormitorios y mas	Viviendas particulares habitadas que usan para dormir entre 2 y 25 cuartos. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente departamento en edificio, vivienda en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	Debido a que no se cuenta con información detallada, se asume que entre mayor sea el número de cuartos por vivienda, mayor será el peso de la vivienda sobre el terreno y por ende más vulnerable ante hundimientos.	≥ 50 %	11,878
				≤ 49.9 %	2,516
	Viviendas particulares	Viviendas particulares habitadas que tienen luz eléctrica, agua entubada dentro o fuera de la vivienda, pero dentro del terreno, así como drenaje. Comprende las viviendas particulares		≥ 50 %	13,514

VIV24	habitadas que disponen de luz eléctrica, agua entubada en el ámbito de la vivienda y drenaje	para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	Si la vivienda cuenta con estos servicios se asume a que el costo de la vivienda es elevado y por lo tanto una mayor pérdida.	≤ 49.9 %	880
Geología	Volcánica	Material volcánico	Zona estable	0	4,410
	Lacustre	Suele estar conformado por arcillas y limos	Zona inestable	1	7,421
	Transición	Combinación de material volcánico y lacustre	Zona inestable	2	1,287
	2 o más zonas	Manzana ubicada en dos o más zonas	Zona inestable	3	1,276

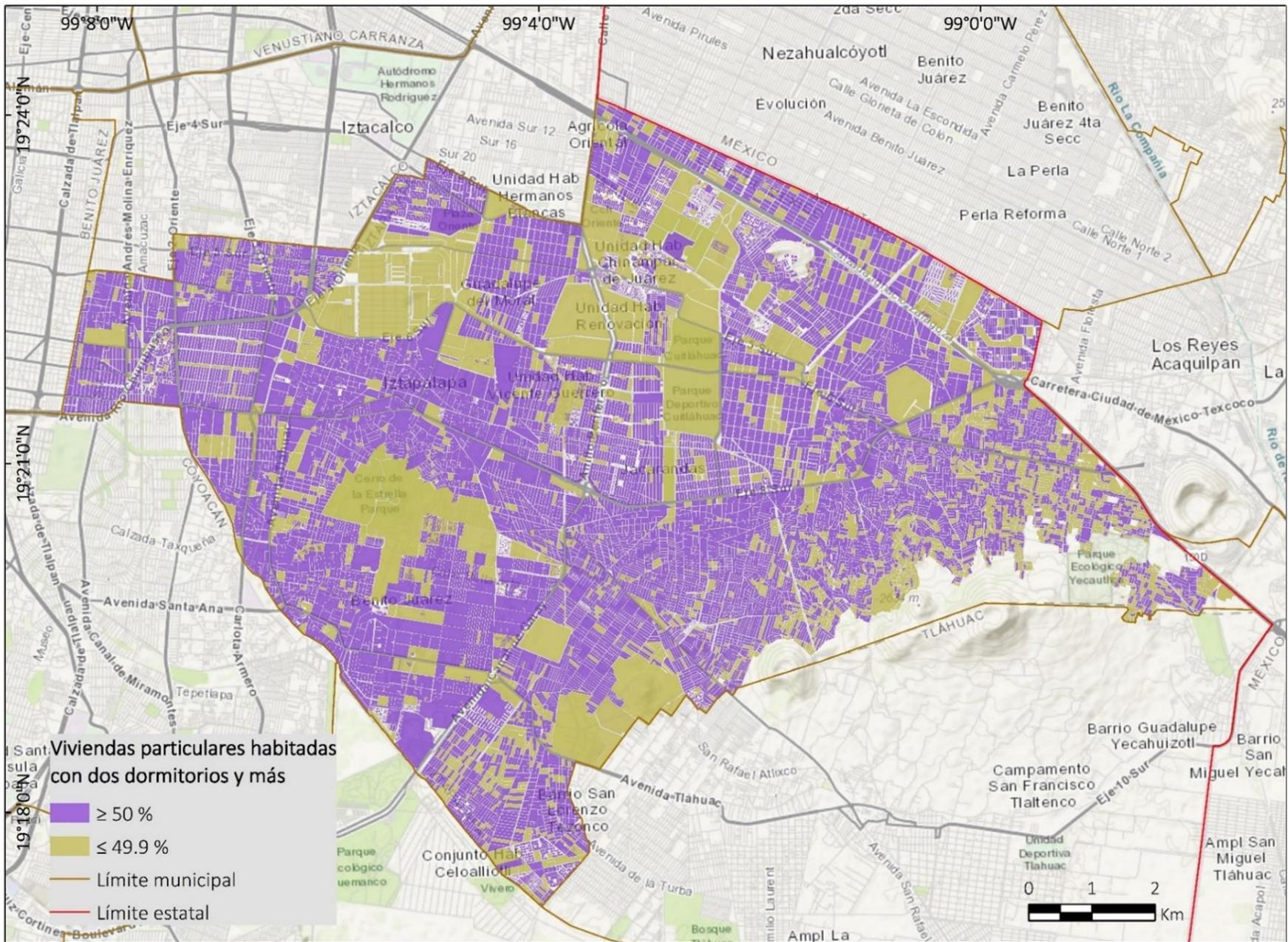
Tabla III.3 Variables utilizadas en el mapa de vulnerabilidad física

Clasificación	Puntuación	Manzanas
Muy baja	0	141
Baja	1 a 2	5,297
Media	2 a 4	7,932
Alta	5 o más	1,024

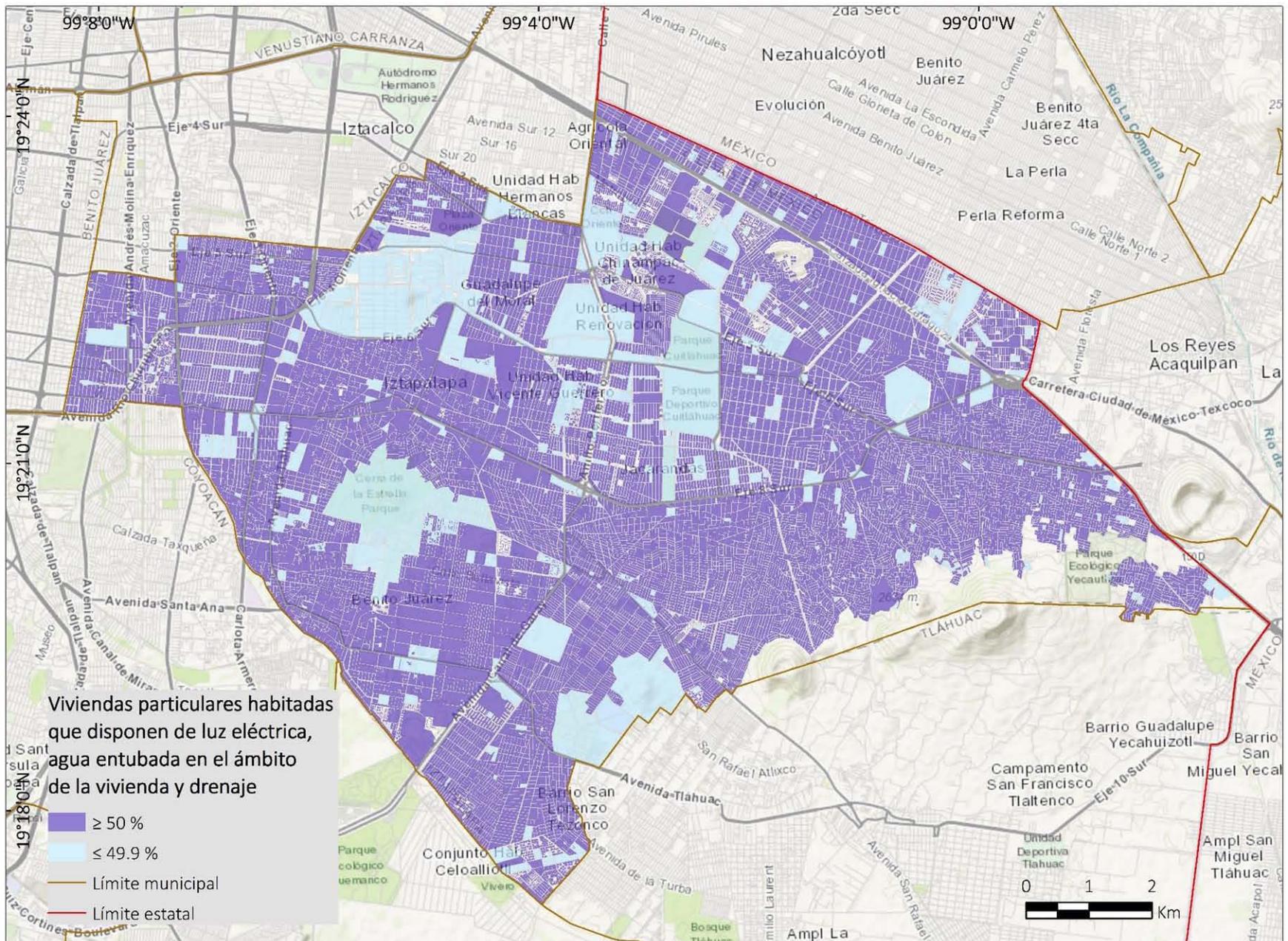
Tabla III.4 Vulnerabilidad física



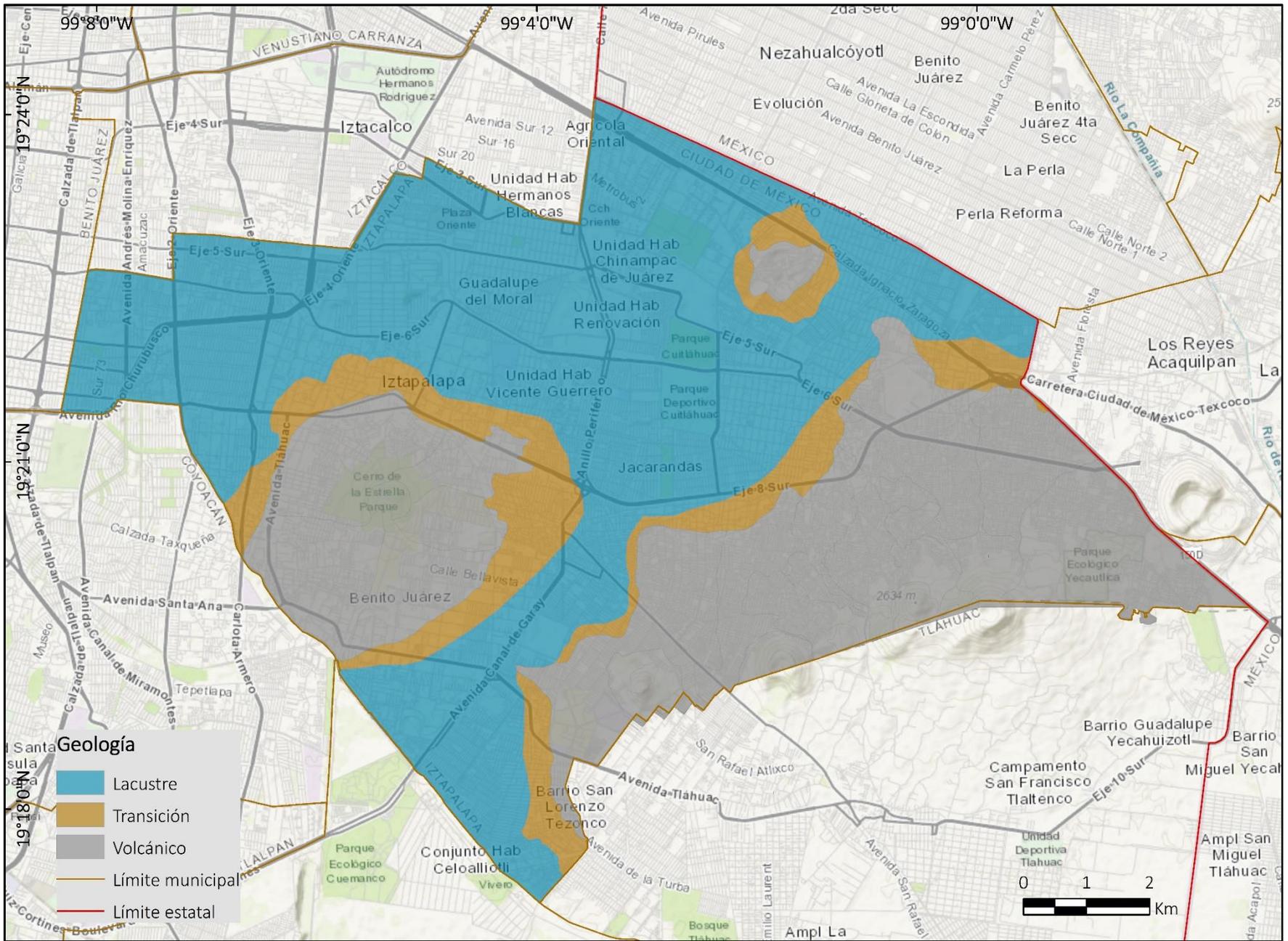
Mapa III.4 Viviendas particulares habitadas con piso de tierra
 Elaboración propia con base en SCINCE, 2010



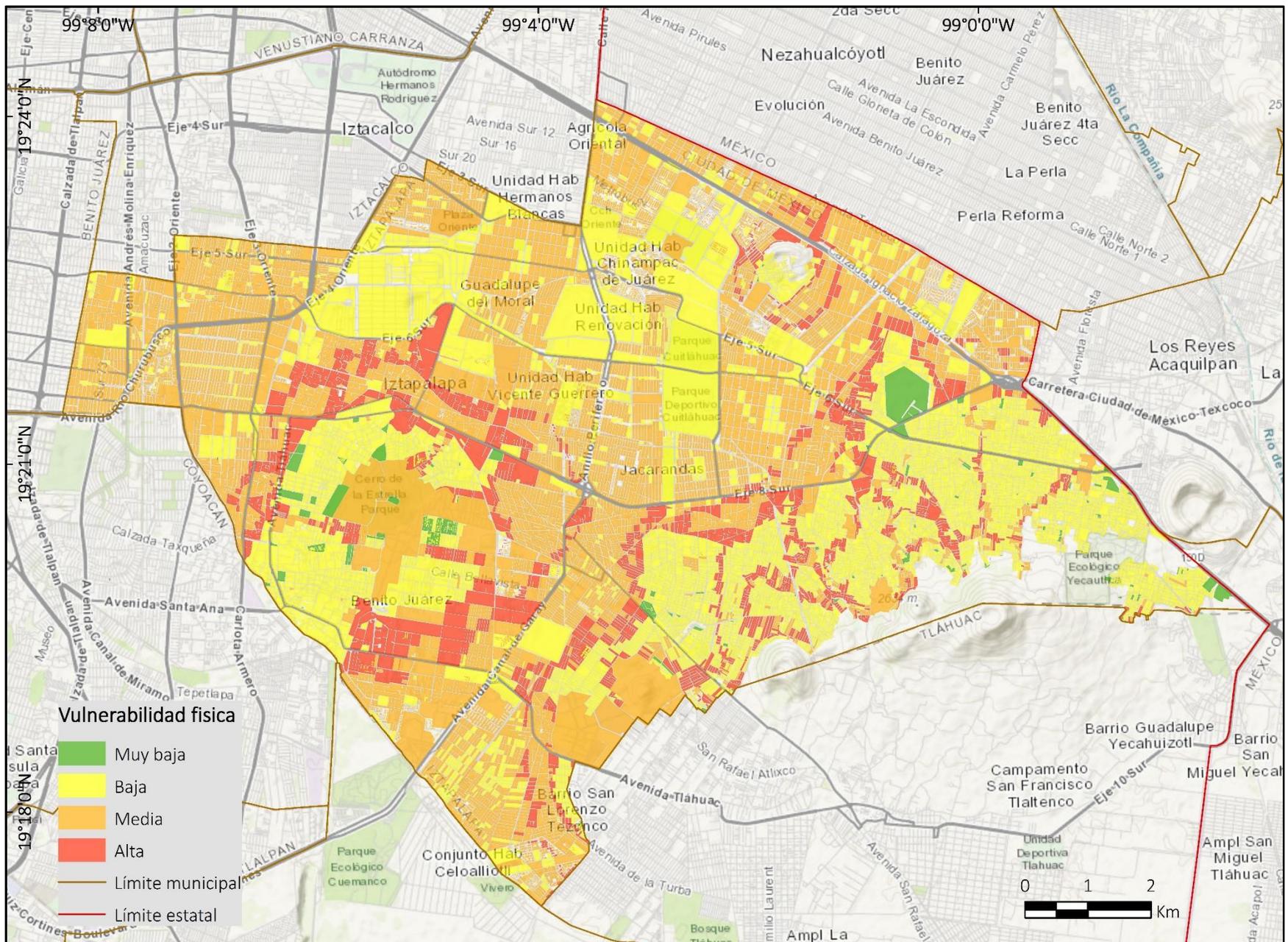
Mapa III.5 Viviendas particulares habitadas con dos dormitorios y más
 Elaboración propia con base en SCINCE, 2010



Mapa III.6 Viviendas particulares habitadas que disponen de luz eléctrica, agua entubada en el ámbito de la vivienda y drenaje
Elaboración propia con base en SCINCE, 2010



Mapa III.7 Mapa Geología



Mapa III.8 Vulnerabilidad física
Elaboración propia con base en SCINCE, 2010

3.2.2 Vulnerabilidad social

La vulnerabilidad social se refiere al nivel de cohesión interna que posee una comunidad. Para estimar éste tipo de vulnerabilidad se emplearon las variables contenidas en la Tabla III.5.

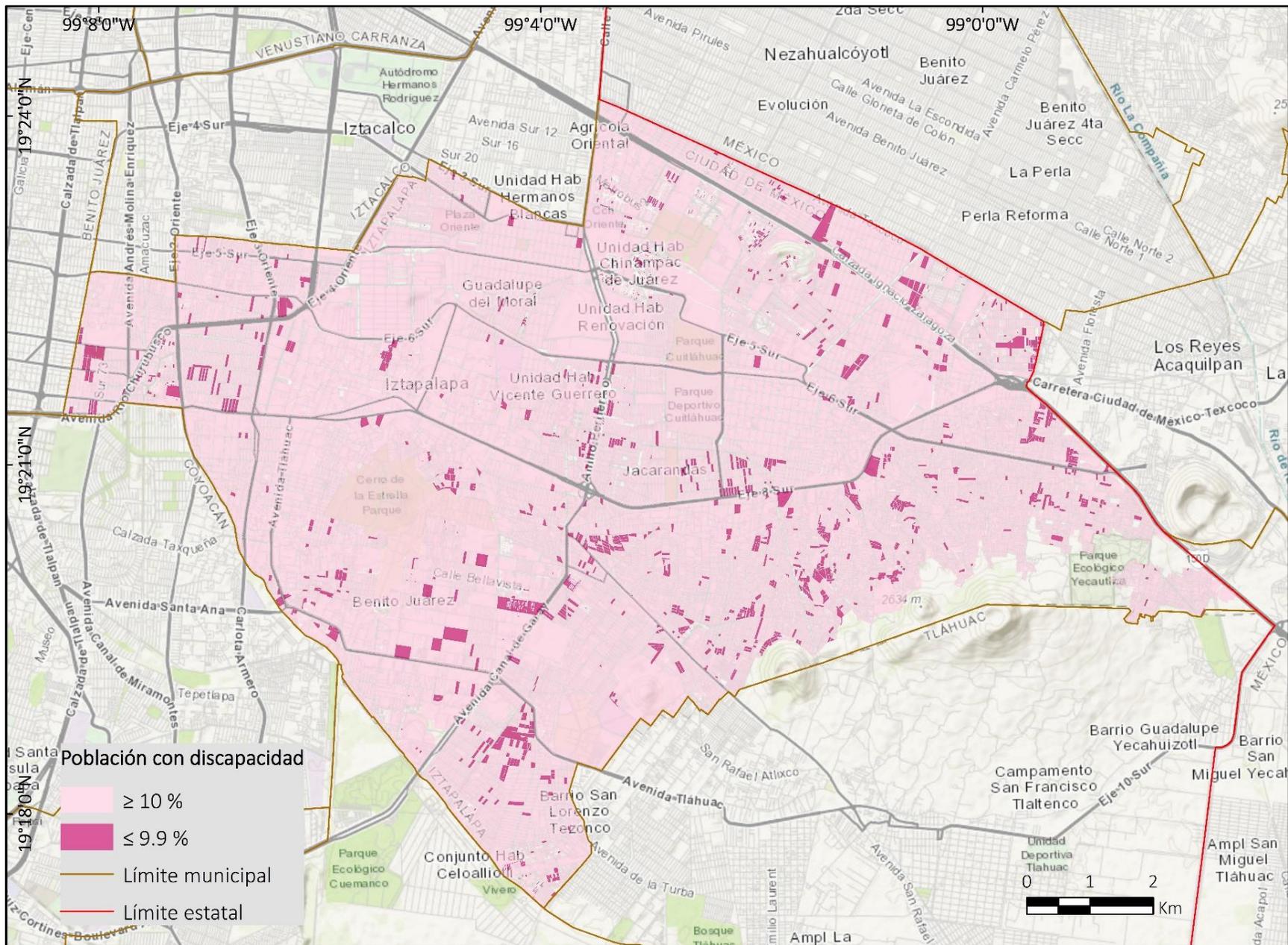
VARIABLES	Ponderación	Nivel de vulnerabilidad	Manzanas
0	0	Muy baja	6,030
1	1	Baja	6,839
2	2	Media	1,396
Más de 3	3	Alta	129

Tabla III.5 Clasificación de vulnerabilidad social

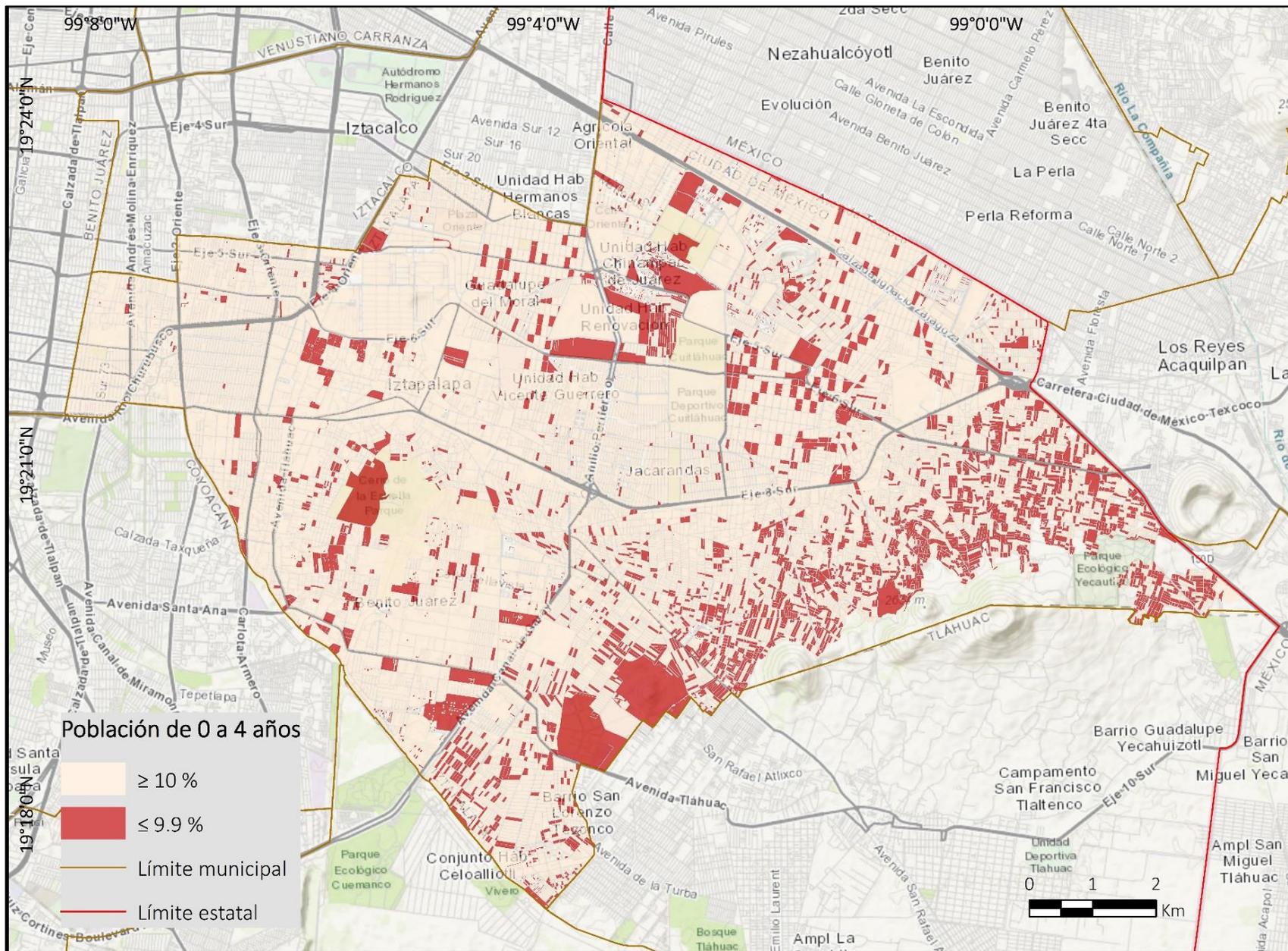
Iztapalapa tiene una alta densidad de población, los resultados muestran una heterogeneidad en su vulnerabilidad social, la mayoría de las manzanas tienen una clasificación baja y muy baja, es decir, que en la mayoría de las manzanas presenta sólo una de las variables empleadas en esta medición, y si lo presenta es menor al 10 %.

Clave del indicador en el SCINCE	Indicador	Descripción	Justificación	Rangos	Manzanas
DISC1	Población con discapacidad	Personas que tienen dificultad para el desempeño y/o realizaron de tareas básicas de la vida cotidiana	Requiere de mayor atención y recursos económicos y que necesariamente involucra la participación de otra persona para apoyarlo, en especial ante alguna contingencia	≥ 10 %	1,197
				≤ 9.9 %	13,197
POB3	Población de 0 a 4 años	Personas de 0 a 4 años	Requiere de mayor atención y recursos económicos y que necesariamente involucra la participación de otra persona para apoyarlo, en especial ante alguna contingencia	≥ 10 %	3,252
				≤ 9.9 %	11,142
POB23	Población de 60 años y más	Personas de 60 a 130 años	Requiere de mayor atención y recursos económicos y que necesariamente involucra la participación de otra persona para apoyarlo, en especial ante alguna contingencia	≥ 10 %	5,315
				≤ 9.9 %	9,079
EDU28	Población de 15 años y más analfabeta	Personas de 15 a 130 años de edad que no saben leer ni escribir	Generalmente representa menor nivel económico y en caso de seguir instrucciones ante una contingencia puede verse desfavorecido	≥ 10 %	263
				≤ 9.9 %	14,131

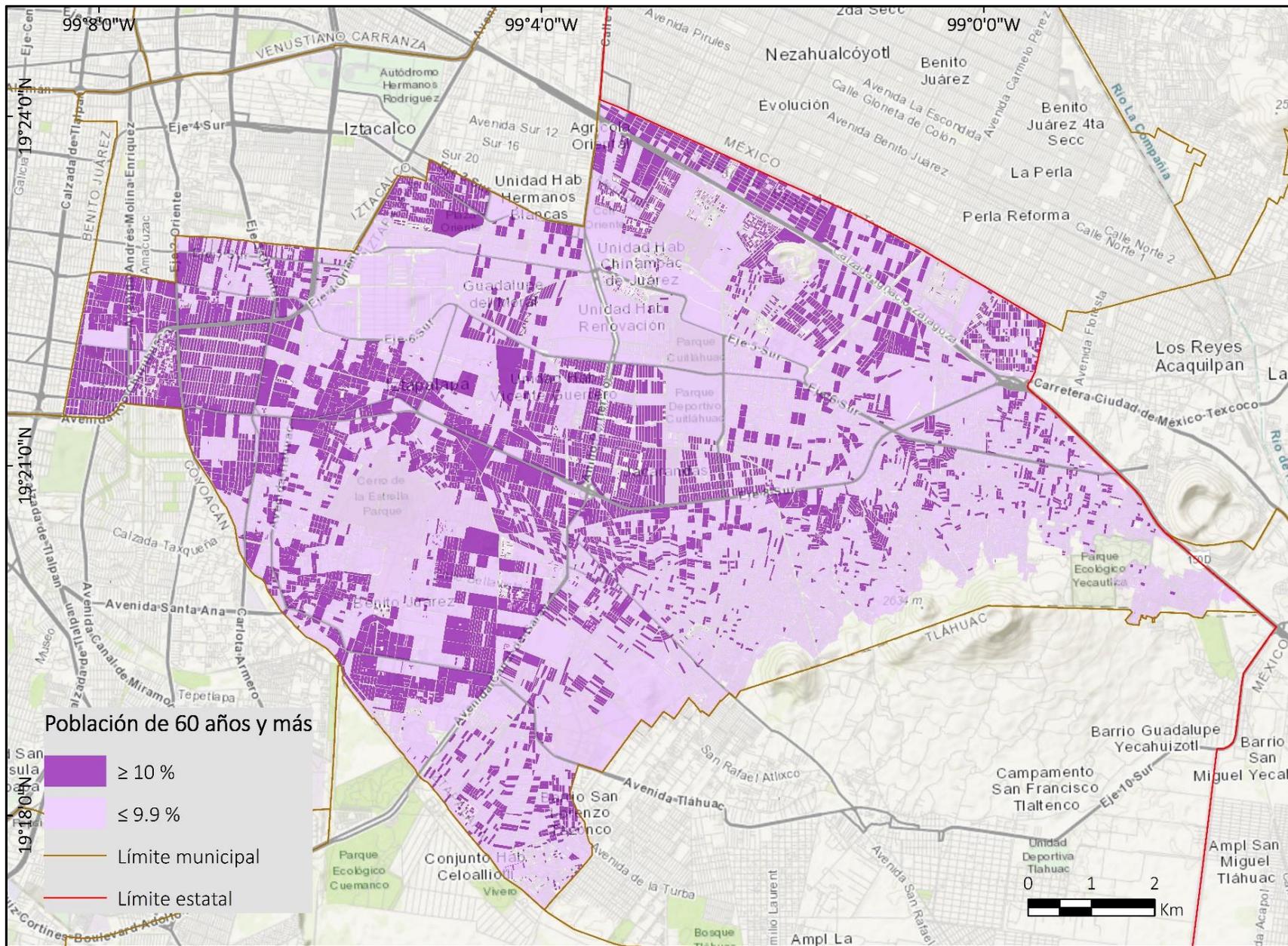
Tabla III.6 Variables utilizadas en el mapa de vulnerabilidad social
Elaboración propia con base en SCINCE, 2010



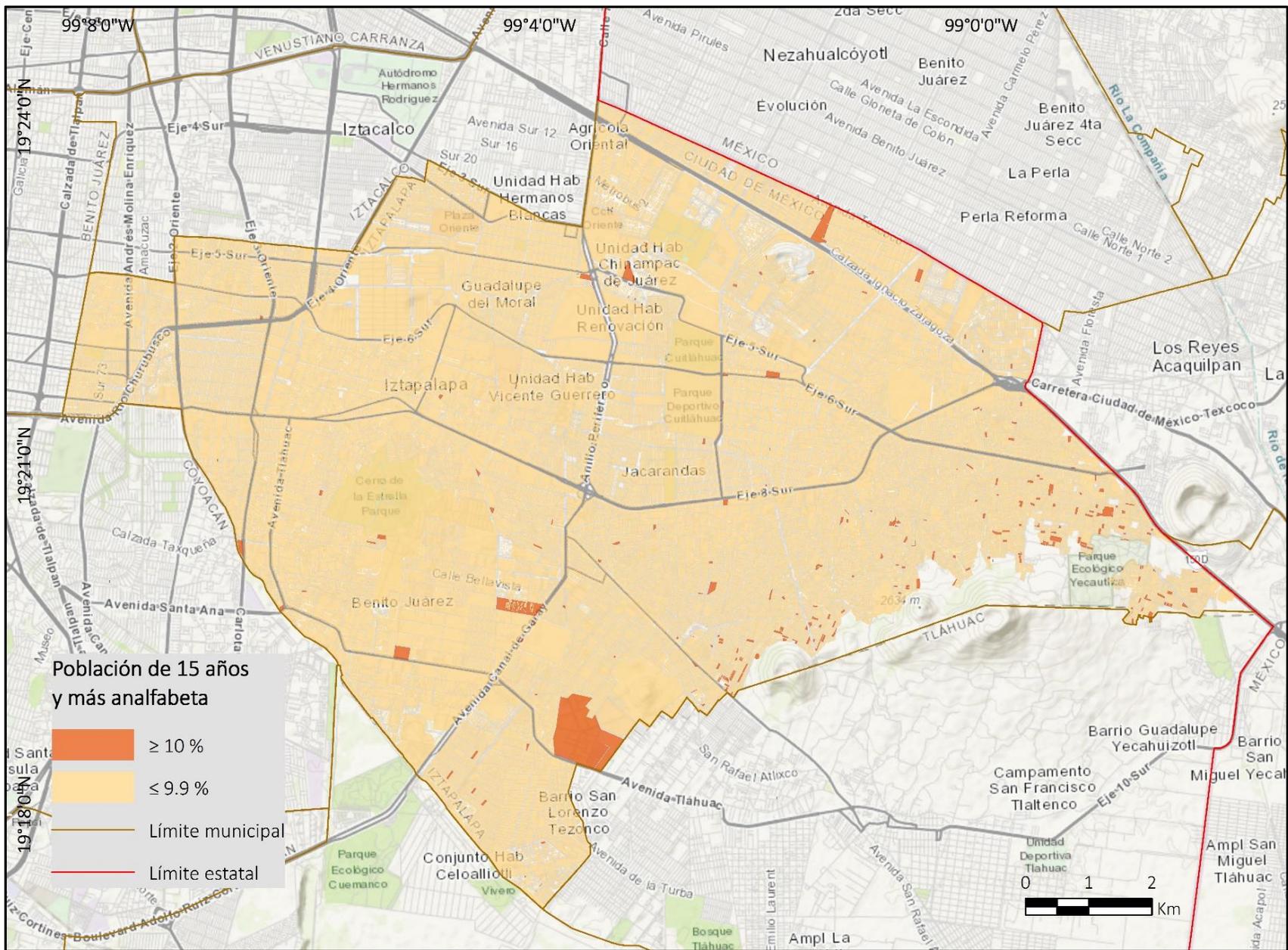
Mapa III.9 Población con discapacidad
 Elaboración propia con base en SCINCE, 2010



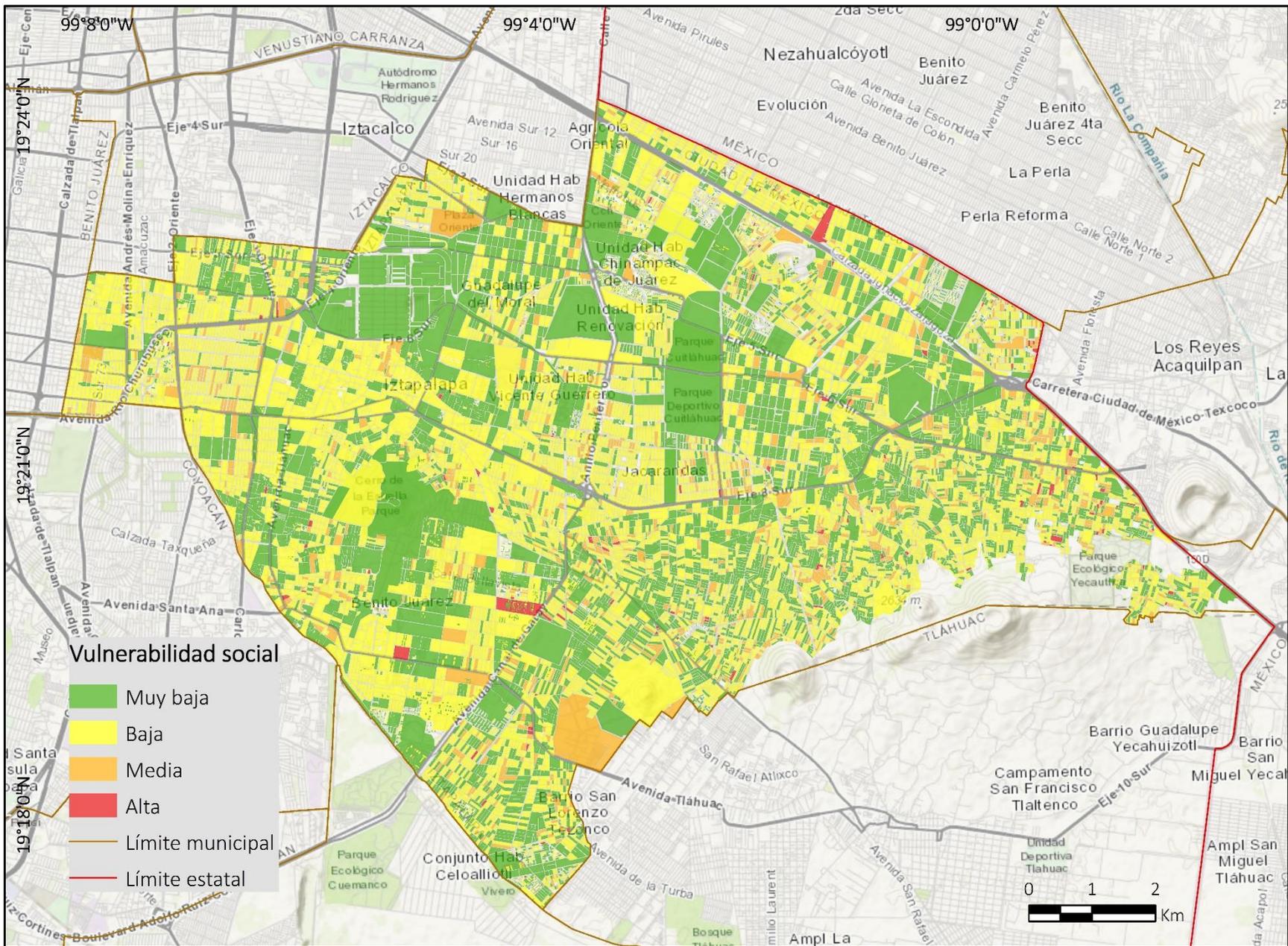
Mapa III.10 Población de 0 a 4 años
Elaboración propia con base en SCINCE. 2010



Mapa III.11 Población de 60 años y más
Elaboración propia con base en SCINCE, 2011



Mapa III.12 Población de 15 años y más analfabeta
Elaboración propia con base en SCINCE, 2010



Mapa III.13 Vulnerabilidad social
 Elaboración propia con base en SCINCE, 2010

3.2.3 Vulnerabilidad económica

La vulnerabilidad económica se expresa en desempleo, insuficiencia de ingresos, inestabilidad laboral, dificultad o imposibilidad total de acceso a los servicios formales de educación, de recreación y de salud.

Las variables utilizadas para el cálculo de la vulnerabilidad económica se muestran en la Tabla III.7

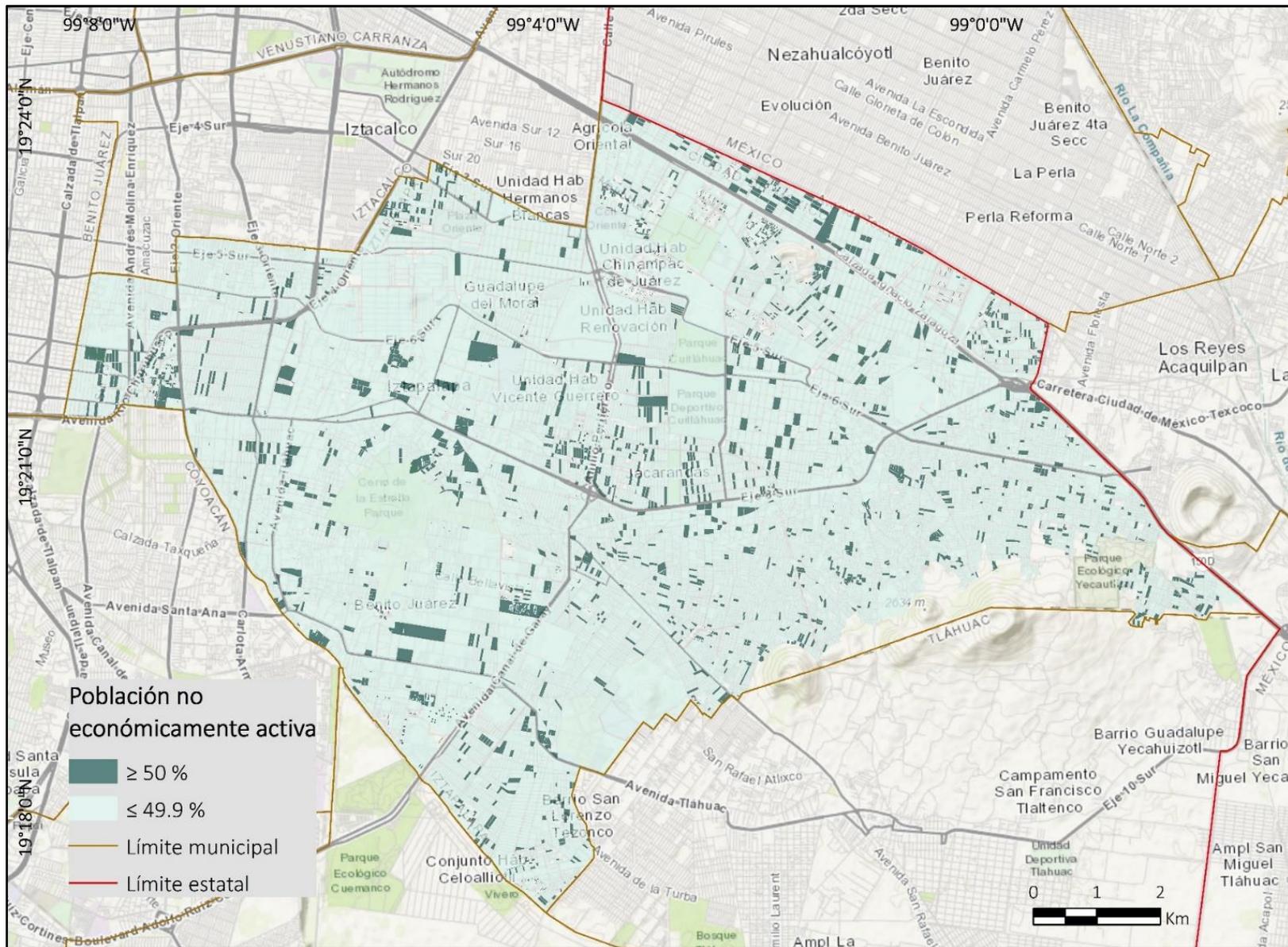
La mayor parte de Iztapalapa presenta una vulnerabilidad económica muy baja y baja, es decir, que presenta al menos una variable utilizada en el análisis, mientras que en la zona de la Sierra de Santa Catarina y Peñón del Marques presentan 2 variables con una clasificación de vulnerabilidad media.

Variables	Ponderación	Nivel de vulnerabilidad	Manzanas
0	0	Muy baja	4,034
1	1	Baja	6,953
2	2	Media	3,035
3	3	Alta	372

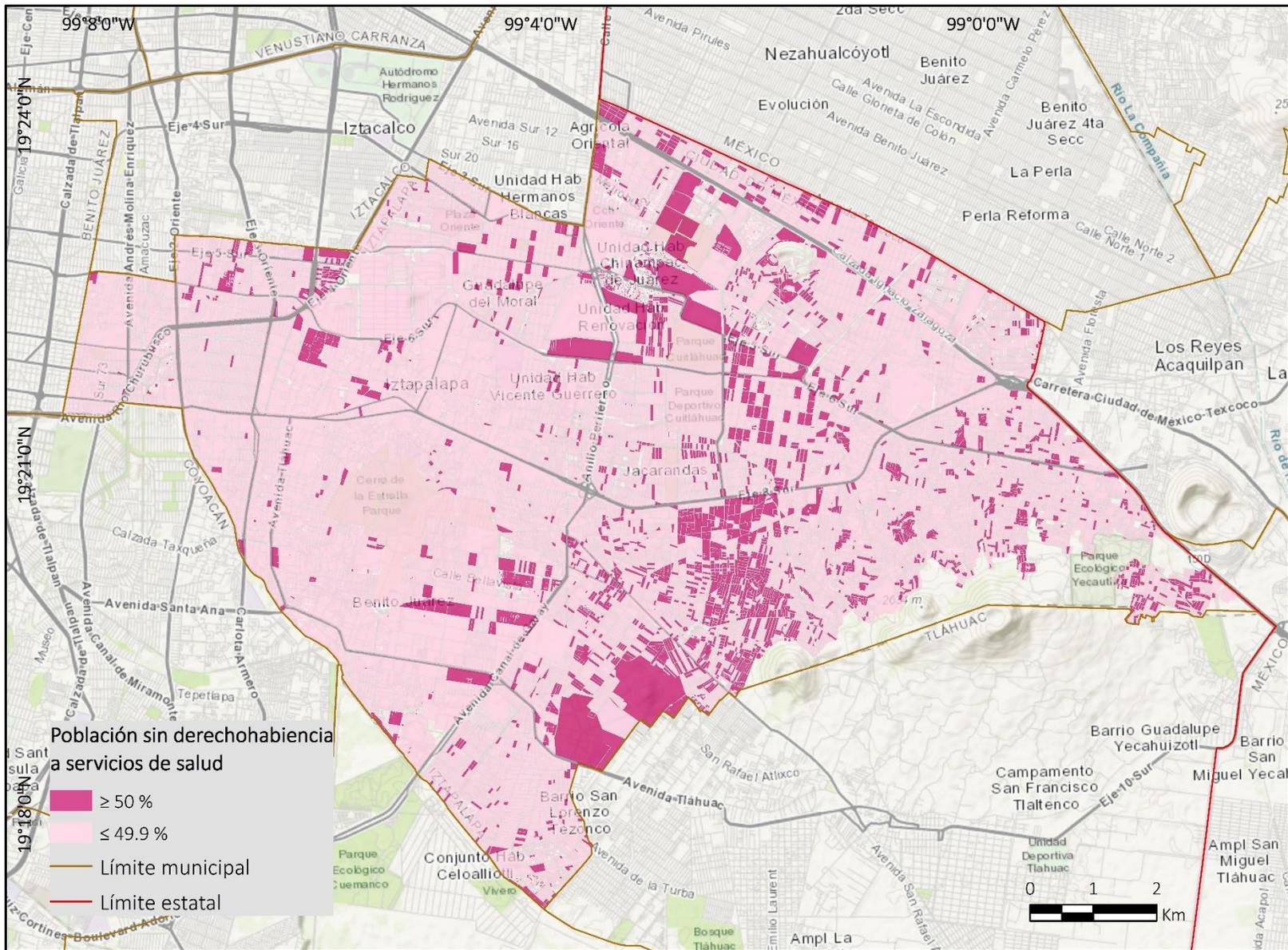
Tabla III.7 Clasificación de vulnerabilidad económica

Clave SCINCE	Indicador	Descripción	Justificación	Rangos	Manzanas
ECO28	Población no económicamente activa	Personas de 12 años y más pensionadas o jubiladas, estudiantes, dedicadas a los quehaceres del hogar, que tienen alguna limitación física o permanente que les impide trabajar	Denota bajo nivel económico	≥ 50 %	2,536
				≤ 49.9 %	11,858
SALUD2	Población sin derechohabencia a servicios de salud	Total de personas que no tienen derecho a recibir servicios médicos en ninguna institución pública o privada	No contar con servicio médico institucional representa un bajo nivel de protección del estado en el ámbito de la salud, que al conjugarse con un bajo ingreso, aumenta la vulnerabilidad	≥ 50 %	2,531
				≤ 49.9 %	11,863
VIV39	Viviendas particulares habitadas sin computadora ni internet	Viviendas particulares habitadas que no tienen computadora ni internet. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda clasificadas como independiente, departamento en edificio, vivienda en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda	Actualmente el internet es medio de comunicación más utilizado pues permite estar en contacto con vecinos y familiares además de ser fuente de información de contingencias	≥ 50 %	9,072

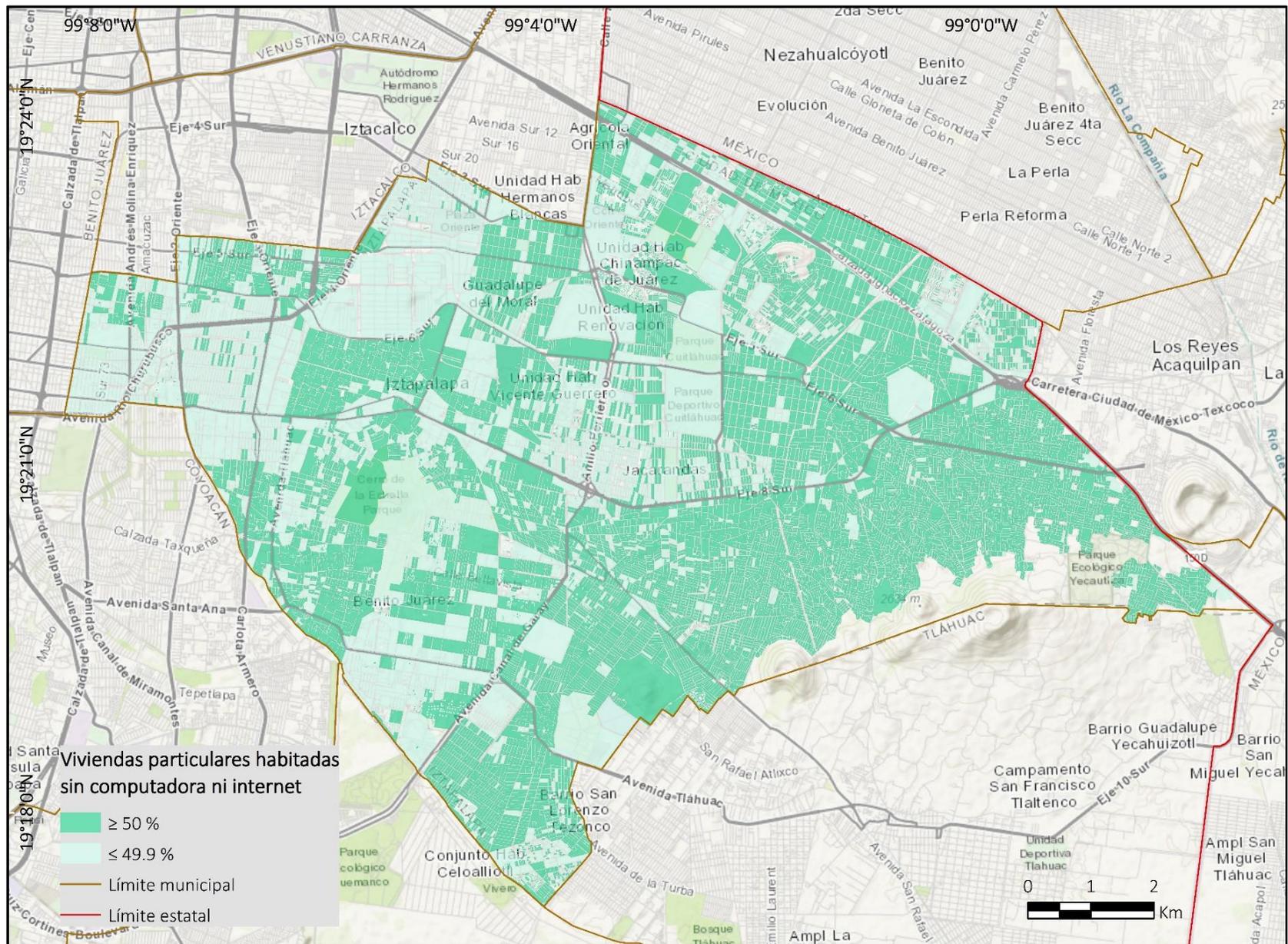
Tabla III.8 Vulnerabilidad económica



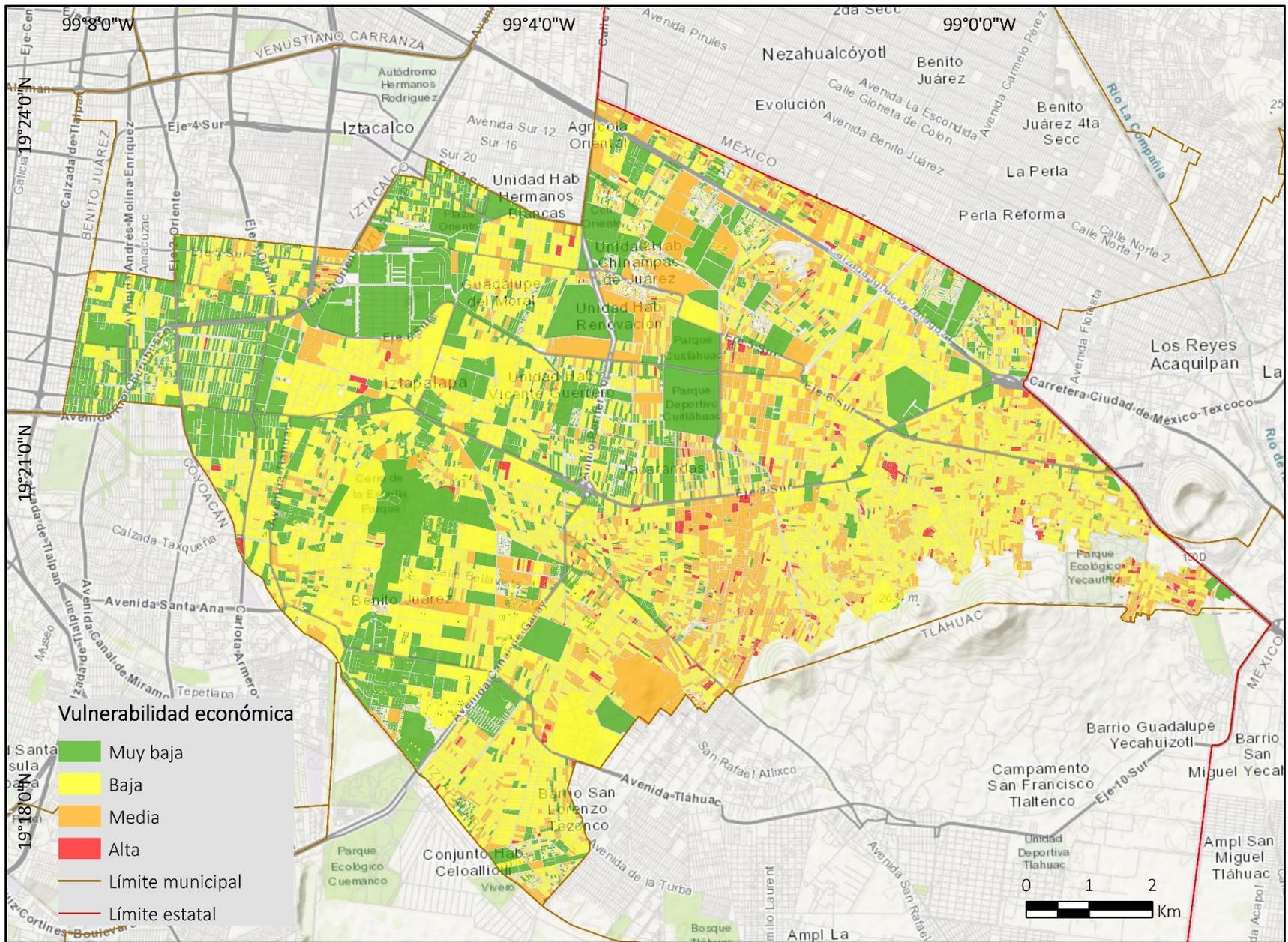
Mapa III.14 Población no económicamente activa
 Elaboración propia con base en SCINCE, 2011



Mapa III.15 Población sin derechohabencia a servicios de salud
Elaboración propia con base en SCINCE, 2011



Mapa III.16 Viviendas particulares habitadas sin computadora ni internet
Elaboración propia con base en SCINCE, 2010



Mapa III.17 Vulnerabilidad económica
Elaboración propia con base en SCINCE, 2010

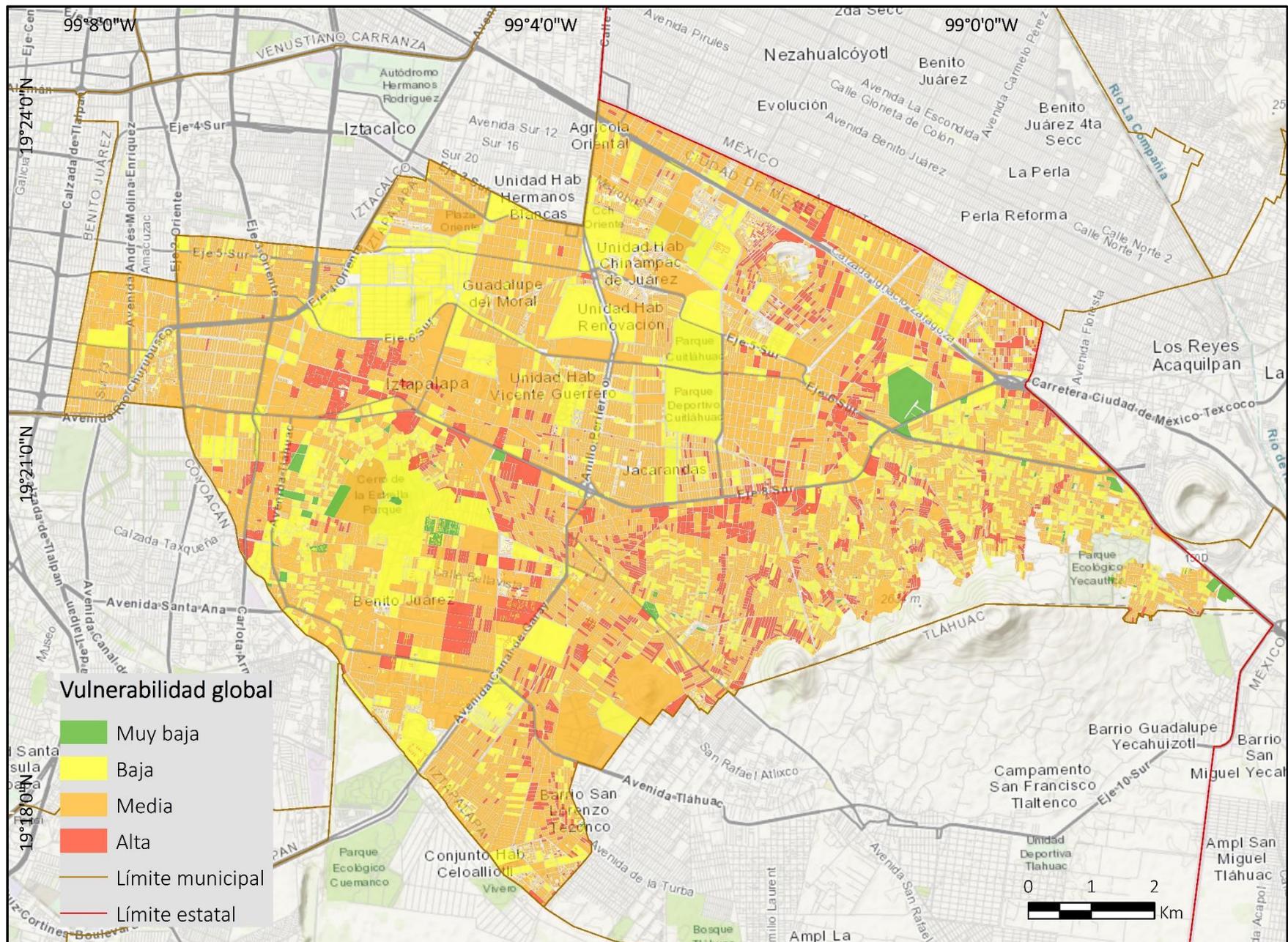
3.2.4 Vulnerabilidad global

A partir de los 3 tipos de vulnerabilidades calculados anteriormente (física, económica y social) se generó el mapa de vulnerabilidad global, el cual consistió en realizar la suma de todas las variables empleadas de la siguiente manera:

Variables	Clasificación de vulnerabilidad	Manzanas
0	Muy baja	113
1 a 3	Baja	3,624
4 a 6	Media	9,346
Mayor o igual a 7	Alta	1,311

Tabla III.9 Clasificación de vulnerabilidad global

La mayor parte de la población en Iztapalapa presenta una vulnerabilidad global con clasificación media, es decir que cada manzana en promedio presenta de 4 a 6 a variables empleadas en el análisis.



Mapa III.18 Vulnerabilidad global
Elaboración propia con base en SCINCE, 2010

3.3 Caracterización del riesgo

Con los mapas anteriormente elaborados (peligro y vulnerabilidad global) se aplicó la fórmula del riesgo:

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad}$$

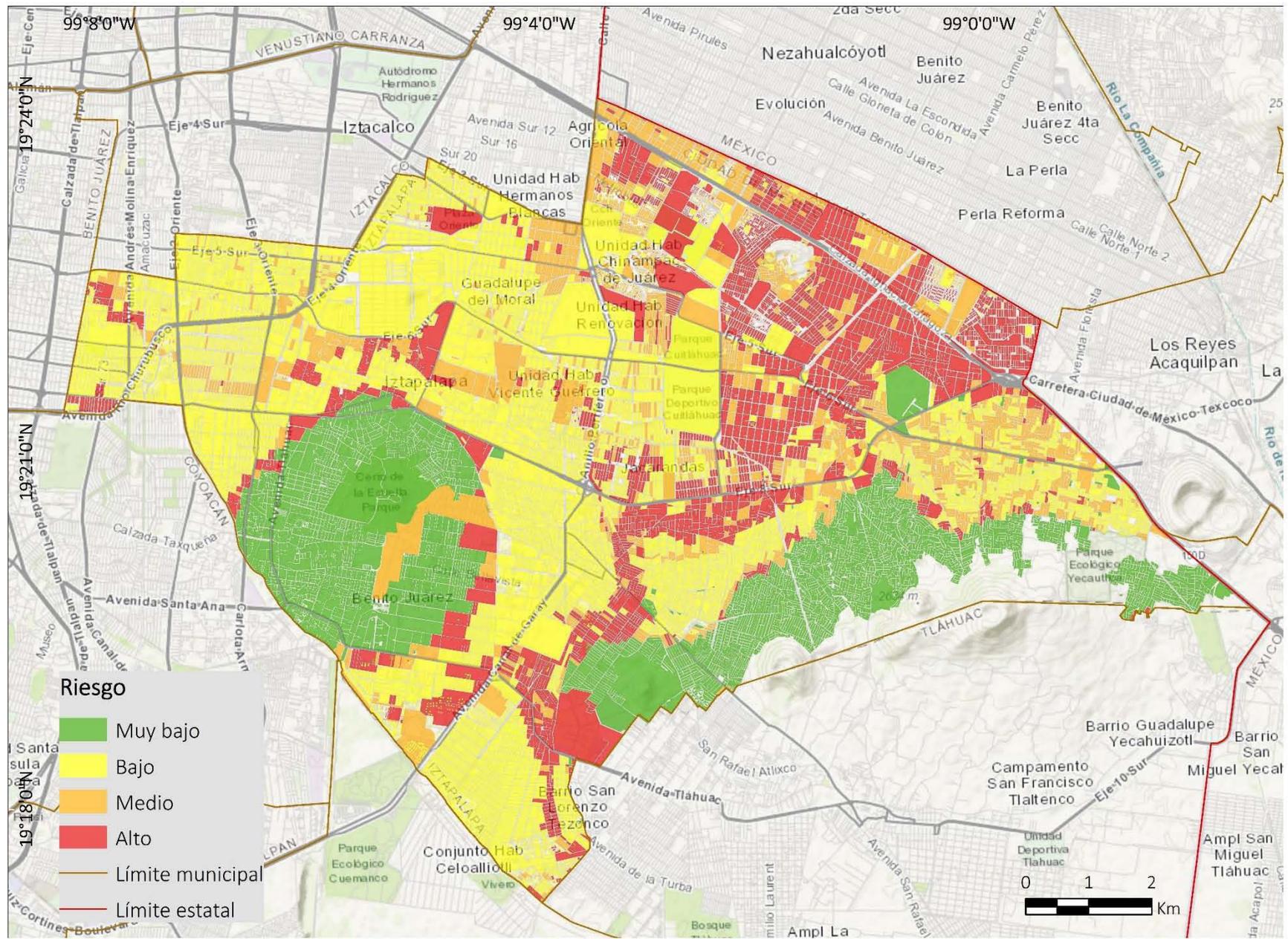
Al aplicar la fórmula resultan muy claras las zonas con riesgo muy bajo, las cuales se encuentran asociadas al área volcánica correspondiente al Cerro de la Estrella, Sierra de Santa Catarina y conos asociados. En estas zonas no hay ocurrencia de hundimientos ni agrietamientos.

Las zonas de riesgo medio y alto corresponden a la zona de transición y lacustre.

Una vez aplicada la fórmula del riesgo se obtuvo el siguiente resultado:

Puntos	Nivel de riesgo	Manzanas
0	Muy bajo	3,153
1 a 10	Bajo	6,281
11 a 20	Medio	2,453
Mayor a 20	Alto	2,507

Tabla III.10 Caracterización del riesgo



Mapa III.19 Riesgos por hundimiento y agrietamiento en Iztapalapa, CDMX
 Elaboración propia con base en SCINCE, 2010

CONCLUSIONES

La Tierra es un planeta dinámico, el cual experimenta constantes cambios mediante procesos endógenos y exógenos, muchas veces acelerados antrópicamente. Un gran error de la población es olvidar que estas manifestaciones son naturales y que los desastres son socialmente contruidos.

En Iztapalapa, el tipo de material en el subsuelo y la explotación de los mantos acuíferos son clave importante en la manifestación de hundimientos y agrietamientos, por lo tanto, resulta de gran importancia continuar con el registro y monitoreo periódico del hundimiento y agrietamiento, pues sólo de esta forma se podrá conocer de manera más significativa la dinámica que tienen éstos y bajo ninguna circunstancia debe interrumpirse, como generalmente se hace en cambios de administración política.

Los mapas de riesgo son una herramienta que no asegura lo que va a suceder pero sí permiten entender lo que podría ocurrir en un futuro y así tomar las medidas necesarias para prevenir un desastre. Estos fenómenos afectan de manera distinta a la población dependiendo de su nivel socio económico, ya que la población afectada invierte una parte significativa de sus ingresos en reparaciones constantes en sus viviendas.

Desde el 2008 la alcaldía de Iztapalapa cuenta con un Centro de Monitoreo de Fracturamiento del Subsuelo, equipado de personal e instrumentación especializado. La información que se genera en este lugar permite conocer el desarrollo de este fenómeno; sin embargo, el acceso a ésta es restringida para la población, lo cual no debería ser así pues es ella quien experimenta constantes afectaciones por este tipo de riesgos. Por tal motivo, se sugiere que se realicen campañas de concientización para que los habitantes conozcan las características y condiciones del suelo en el que se encuentran sus viviendas, pues los agrietamientos hacen a la infraestructura más susceptible a cualquier tipo de peligro.

Esta tesis cumple con la hipótesis inicialmente planteada, ya que el resultado cartográfico muestra que efectivamente, los hundimientos y agrietamientos que se presentan en Iztapalapa se originan por factores antrópicos, como lo es la sobrepoblación la cual demanda cada vez más recursos

hídricos conllevando a la sobreexplotación de los acuíferos, y se intensifica por las propiedades naturales del suelo lacustre, en las cuales, las zonas con mayor riesgo se relacionan a las áreas en donde hay mayor desarrollo de hundimientos y, por ende, de agrietamientos.

También se cumplen con los objetivos ya que se logró caracterizar el nivel de riesgo en el que se encuentra expuesta la población de Iztapalapa y también es posible consultar el resultado de esta investigación mediante un mapa.

ANEXO I

SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y GEOGRAFICA Y LA GESTIÓN DE RIESGOS

Sistemas de Información Geográfica

Definición

El término Sistema de Información Geográfica (SIG), engloba la integración de distintas áreas del conocimiento y se presta a confusión por carecer de una definición mundialmente aceptada.

Algunos autores definen los SIG de la siguiente manera:

“Sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelización y presentación de datos referenciados espacialmente para la resolución de problemas complejos de planificación y gestión”. (NCGIA, 1990)

“Sistema basado en el ordenador que proporciona los cuatro siguientes conjuntos de capacidades para el manejo de datos georreferenciados: entrada de datos, gestión de los datos, manipulación y análisis y salida de los datos” (Aronnof, 1991).

“Modelo informatizado del mundo real, descrito en un sistema de referencia ligado a la Tierra, establecido para satisfacer unas necesidades de información específicas respondiendo a un conjunto de preguntas en concreto” (Rodríguez, 1993).

“Caja de experimentación” que permite al analista o al gestor territorial trabajar o plantearse diferentes escenarios virtuales de una determinada región, por una parte los que se producirán con la ejecución de ciertas políticas o los que ocurrirían siguiendo determinadas tendencias” (Bosque, 1997)

En las definiciones anteriores, la mayoría de los autores coincide que los Sistemas de Información Geográfica, se han posicionado como una tecnología capaz de capturar, almacenar, manipular, analizar, modelar y presentar datos georreferenciados. Sin embargo, es importante mencionar que un SIG no solamente es un programa para elaborar cartografía por computadora, ni un software de tipo CAD, ya que aunque genera mapas y tiene ciertas funciones para dibujar, lo que distingue a los SIG de otros

programas es su capacidad para almacenar una gran cantidad de información georreferenciada y el análisis de la misma, lo cual lo convierte en una herramienta efectiva para la toma de decisiones.

Antecedentes de los Sistemas de Información Geográfica

Desde las más tempranas civilizaciones, los navegantes, comerciantes y viajeros han recopilado información para que ésta pueda ser representada mediante mapas, y con esto tener un mejor conocimiento y manejo del territorio.

La demanda de mapas topográficos y de recursos naturales aceleró el desarrollo de técnicas cartográficas con mejor precisión durante el siglo XX, por lo que los SIG pueden considerarse como una herramienta relativamente reciente.

El primer SIG en elaborarse fue el CGIS (Sistema de Información Geográfica de Canadá), desarrollado en 1962 por Roger Tomlinson en Ottawa, Canadá. El objetivo inicial de este SIG era almacenar, analizar y manipular los datos recabados para el Inventario de Tierras de Canadá. Éste incluía información de tipos y usos de suelo, agricultura, aves acuáticas, vida silvestre manejados a una escala de 1: 50 000.

En 1991, Coppock y Rhind identificaron inicialmente 4 periodos que marcaron el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica.

Etapa	Fecha	Descripción
1ra etapa	1962 – 1975	Digitalización de la cartografía existente y empleo de la técnica de superposición manual de mapas propuesta por Mc Harg, la cual puede ser considerada como la base del actual modelado espacial en los SIG.
2da etapa	1973 – 1982	Diseño de las primeras estructuras de datos topológicos para representar los datos espaciales. Continúa la tendencia del periodo inicial de la cartografía automatizada, pero con un mayor énfasis en la descripción de los atributos, con lo que se lograron mejores resultados analógicos que en la fase anterior.
3ra etapa	1982 – 1991	Surgen diversas empresas dedicadas a la generación de SIG, tales como ESRI, Intergraph, Erdas, Ilwis. Además, algunos laboratorios pertenecientes a universidades, desarrollan sus propios paquetes, como IDRISI de la Universidad de Clark.
4ta etapa	1991	Desarrollo de análisis de decisión en los SIG, por medio de la integración de técnicas y programas compatibles, para utilizar a plenitud el potencial de esta herramienta en cuanto a rapidez, volumen y procesamiento de datos espaciales y temáticos.

Desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica
 Elaboración propia con base en Gómez, 2006

Actualmente los SIG, se caracterizan por el relativo bajo costo de la información geográfica, debido a la difusión de datos a todos los niveles; así como a la diversificación y especialización de instrumentos para obtener datos, por lo que son demandados por distintas áreas del conocimiento por sus múltiples aplicaciones.

Elementos de un Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica están conformados por cuatro elementos:

Hardware

Software

Usuario

Datos geográficos

El hardware es la parte física del SIG, la cual suele ser una computadora o algún dispositivo electrónico, éste realiza operaciones y la manipulación de datos.

El software son los programas que hacen posible la realización de tareas específicas dentro de una computadora.

El usuario es el elemento más importante en un Sistema de Información Geográfica, pues es representado por las personas encargadas del diseño, implementación y uso de esta herramienta.

Los datos geográficos son entidades espacio temporales que describen y cuantifican la distribución, el estado y los vínculos de los distintos fenómenos y objetos naturales o sociales IGAC, 1998, en Olaya 2013. Estos pueden ser sintetizados, analizados y representados cartográficamente a través de los Sistemas de Información Geográfica, ya que a diferencia de otras bases de datos especializados, los datos geográficos cuentan con la característica (X, Y) y una temática (Z), en la cual se asientan operaciones para resolver un problema, ya que por sí solos no son capaces de dar solución a éste.

Según Aronoff, 1989 los datos geográficos tienen las siguientes características:

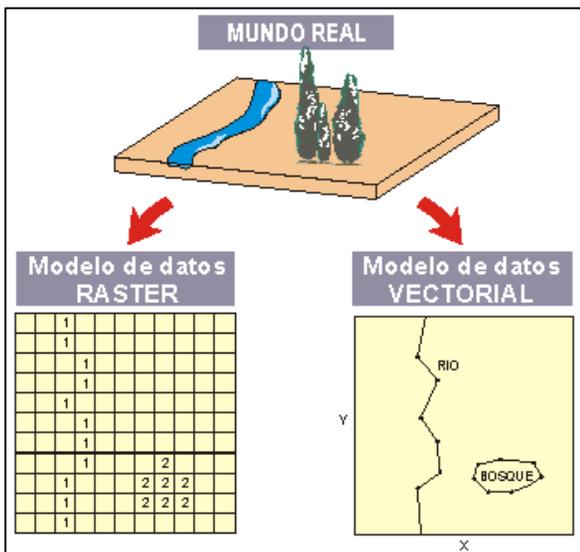
Posición: Ubicación con respecto a un sistema de coordenadas.

Atributos temáticos: Proporcionan características de una entidad geográfica.

Relaciones espaciales: Tipo de conexiones resultantes entre entidades geográficas.

Tiempo: Imprime a los datos una capacidad comparativa en la escala cronológica.

Para construir un Sistema de Información Geográfica es necesario introducir información geográfica y realizar una modelación de la realidad. Los dos modelos de datos más empleados son el vectorial y el ráster.



Representación vectorial y ráster
Tomada de Catalonia, 2018

En el modelo vectorial, la información del mundo real es representada por puntos, líneas y polígonos. Para el caso del modelo ráster, el espacio es representado por un conjunto de unidades espaciales llamadas celdas o píxeles, los cuales son unidades homogéneas de información espacial y se encuentran ordenados en filas y columnas.

Clasificación	Pregunta	Ejemplos
1	¿Qué hay en un territorio o que rasgos posee el mismo?	Cultivos, vegetación, temperatura, pendiente, población, colegios.
2	¿Dónde hay un hecho concreto u ocurre tal o cual fenómeno?	Lugares donde ha helado, presencia de hundimientos, agrietamientos, deslizamientos.
3	¿Qué distribución espacial tiene tal fenómeno?	Contaminación por ozono, riesgo de incendio, epidemias
4	¿Qué tendencias o cambios temporales han ocurrido en el territorio?	Cómo ha cambiado el espacio urbano entre dos fechas, evolución de una pendiente, e incremento de la población
5	¿Qué ruta seguir para un desplazamiento?	Trayectos más cortos, diseño de rutas de evacuación.
6	¿Qué pasaría en el territorio si ocurre tal condición?	Qué zonas se encuentran en riesgo por hundimiento y agrietamiento del terreno.

Acciones que realiza un Sistema de Información Geográfica
Elaboración propia con base en Moreno, 2008

Con la combinación del hardware, software, datos y el usuario, el sistema será capaz de dar solución al problema planteado.

Gómez, 2006 clasifica las funciones de los SIG en cuatro conjuntos

- **Entrada de información**

Es la etapa fundamental para disponer de una base de datos potentes, operativos, libres de errores y versátiles. Las fuentes de información frecuentes en los SIG son mapas analógicos, imágenes satelitales, fotografías aéreas, lo que implica que la información debe ser corregida para que pueda introducirse al sistema.

- **Gestión de datos**

Esta función abarca las operaciones de almacenamiento y recuperación de la información de la base de datos, es decir, los aspectos concernientes a la forma en que se organizan los datos espaciales y temáticos.

Transformación y análisis de datos

Esta función es el aspecto fundamental de los SIG, pues aquí radica todo su potencial operativo. Las funciones de transformación y análisis de datos son las que generan “nuevos” datos a partir de los existentes originalmente.

- **Salida de datos**

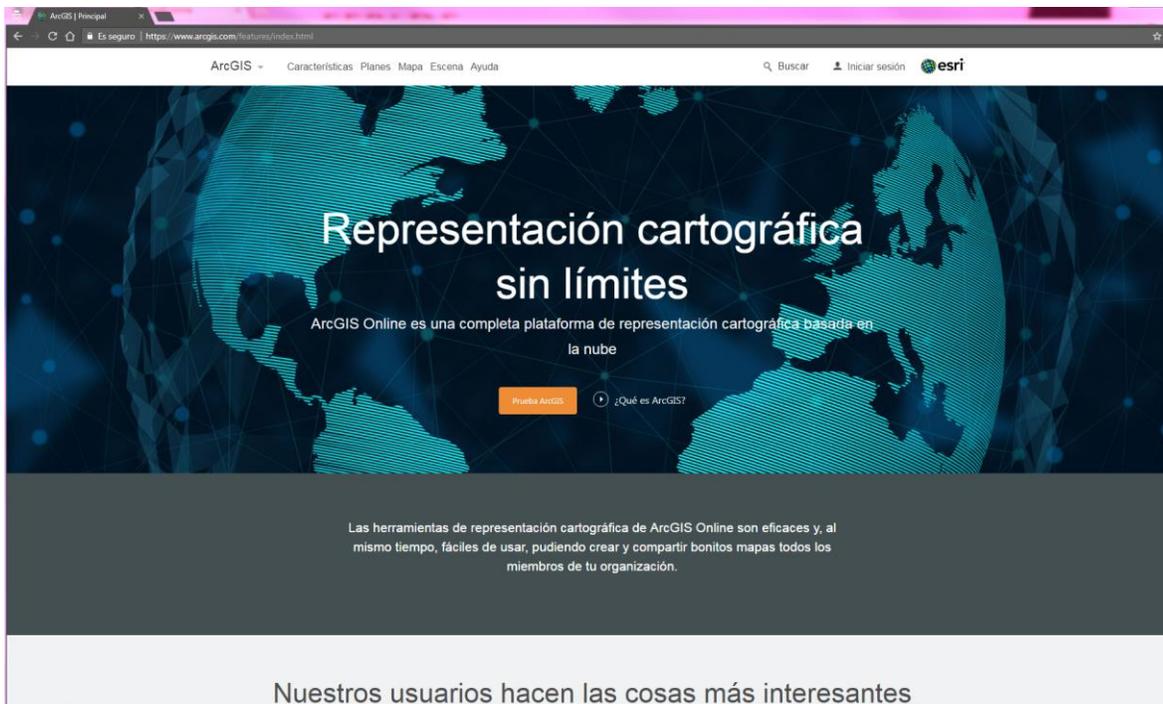
Las salidas de datos más frecuentes son: mapas analógicos, tablas de valores, gráficos, representaciones en 3D, con estas salidas es posible representar la información contenida en la base de datos.

Metodología para la publicación del mapa digital “Riesgos por hundimiento y agrietamiento en Iztapalapa, CDMX”

Un mapa digital es el conjunto de datos representados espacialmente y almacenados en un ordenador. En este caso se utilizó la plataforma de ArcGIS Online, el cual es un sistema SIG web que permite usar, crear y compartir mapas desde cualquier computadora.

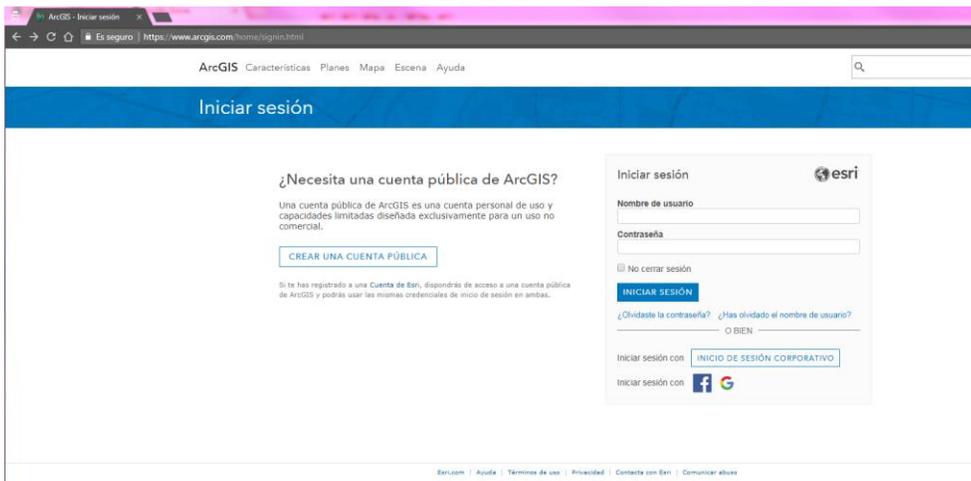
Para la publicación de mapas en esta plataforma es necesario registrarse en la siguiente dirección:

1.-ArcGIS Online <https://www.arcgis.com>



Plataforma ArcGIS Online

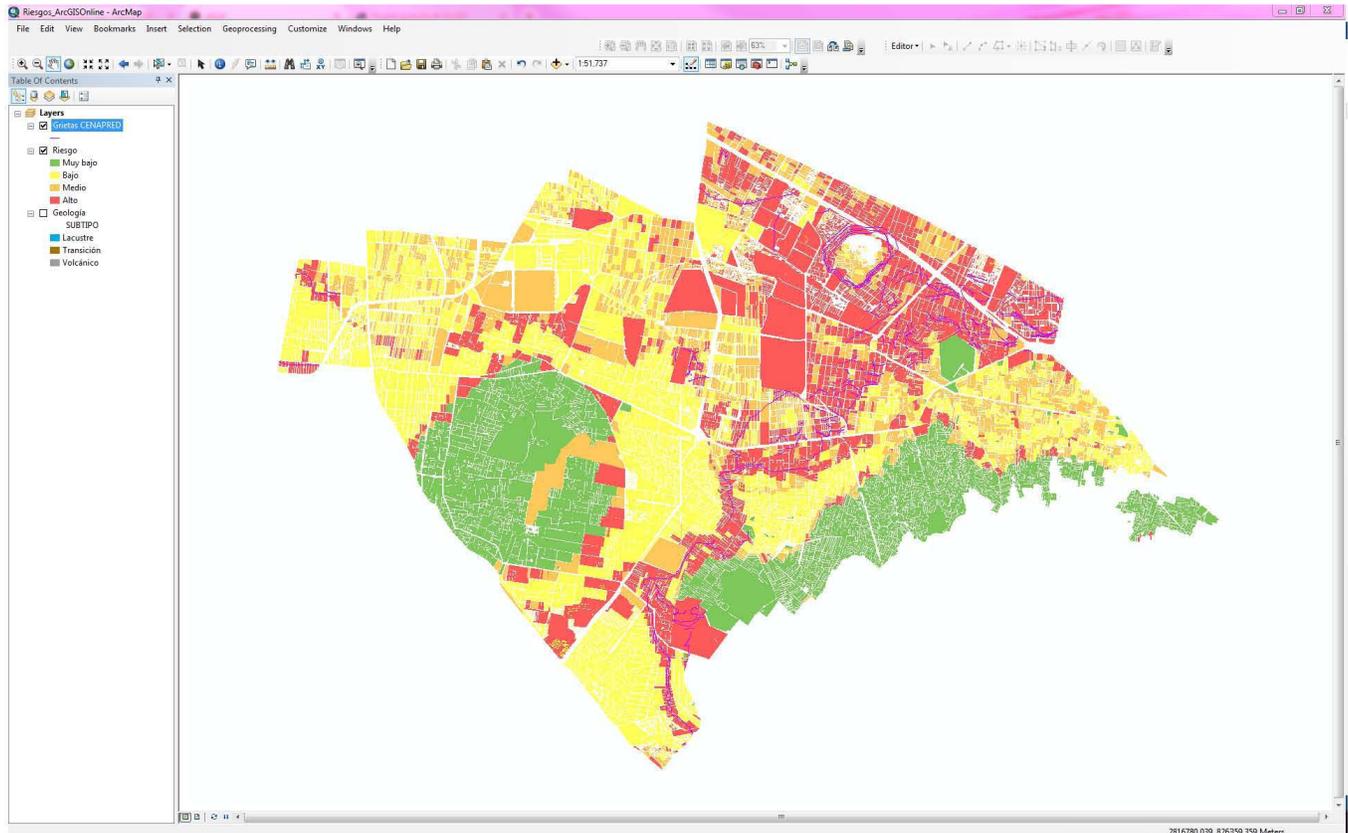
2.- Crear una cuenta ya sea pública o corporativa; la primera es una cuenta personal, gratuita, de uso y capacidades limitadas diseñada exclusivamente para uso no comercial; la segunda tiene un costo económico la cual permite tener acceso a todas las herramientas cartográficas disponibles.

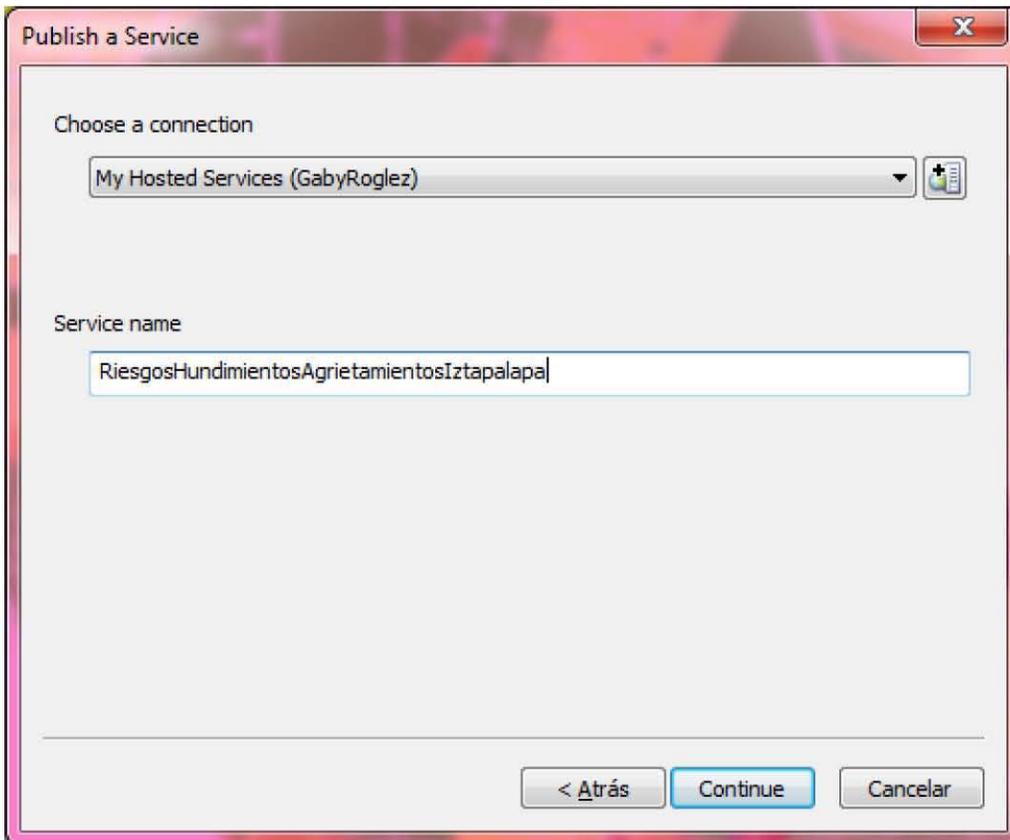
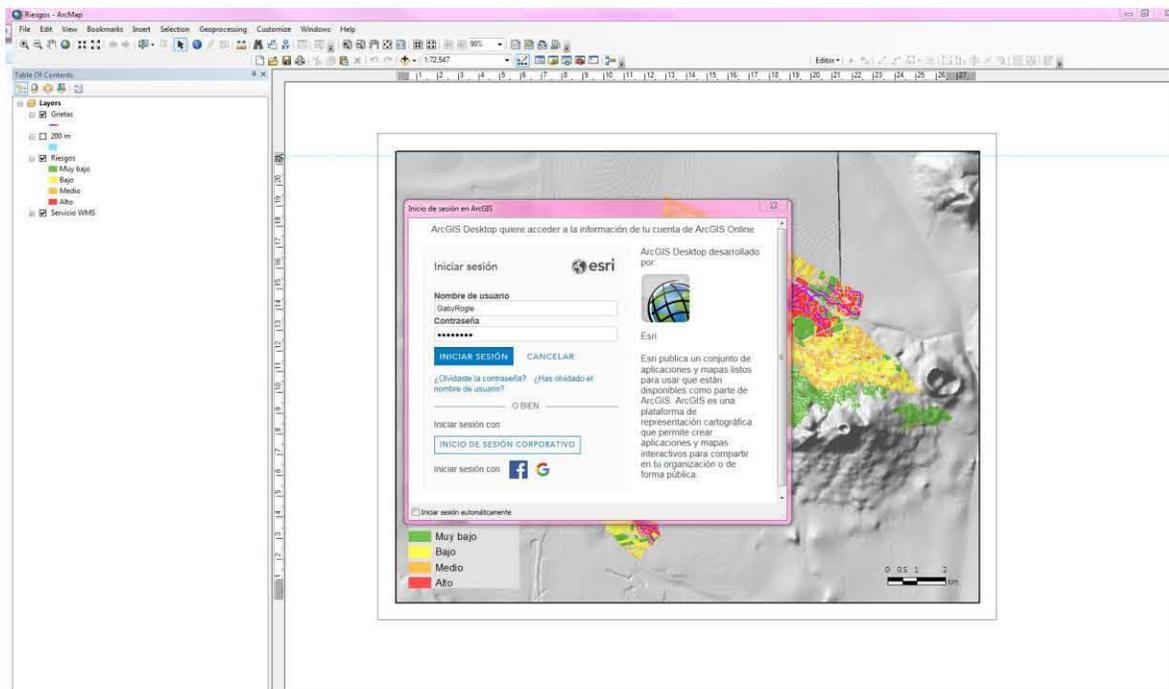


Registro en ArcGIS Online

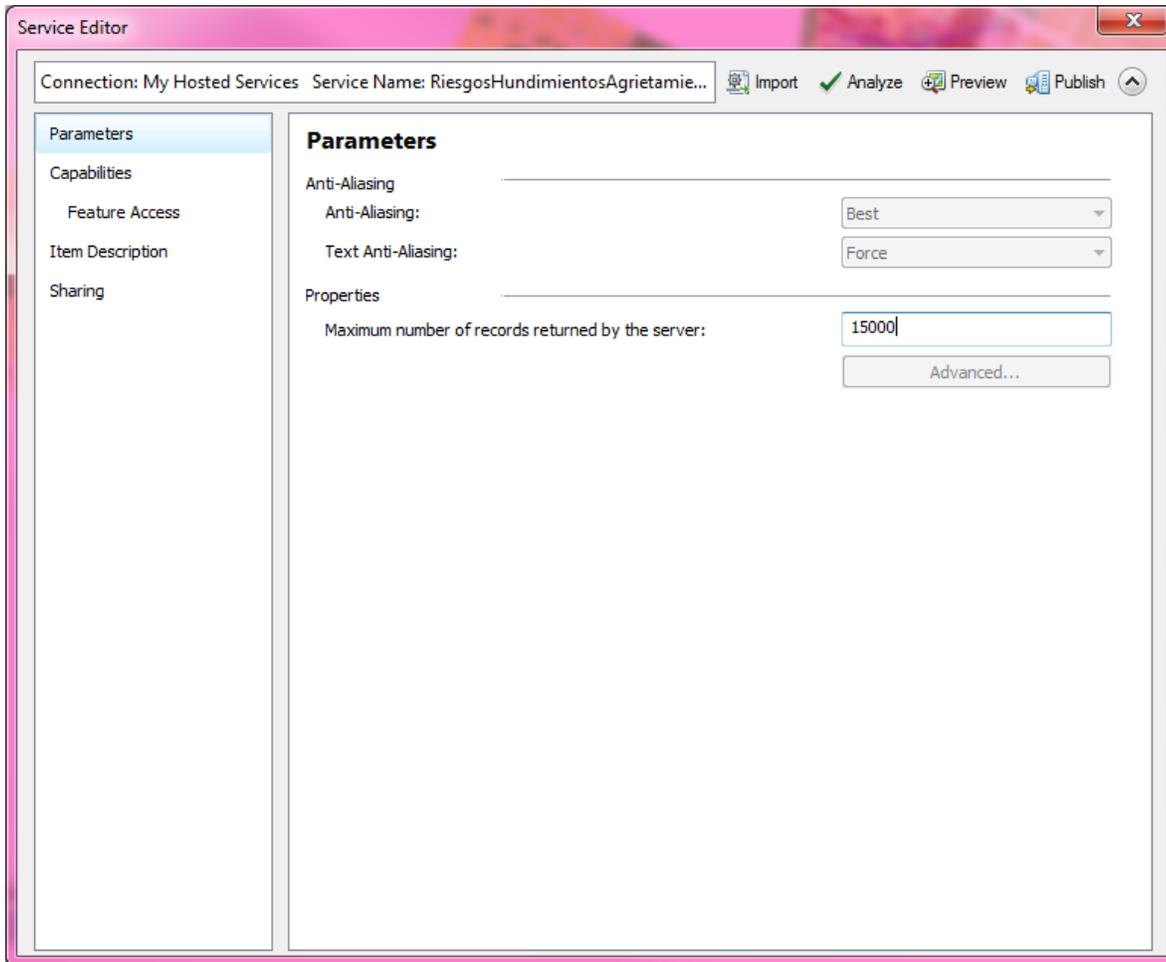
En este caso, se utilizará una cuenta corporativa.

3.- Para realizar la publicación del mapa final en esta plataforma, se recomienda dar diseño y estructura desde ArcGIS Desktop. Posteriormente, iniciar sesión con las credenciales de ArcGIS Online en ArcGIS Desktop

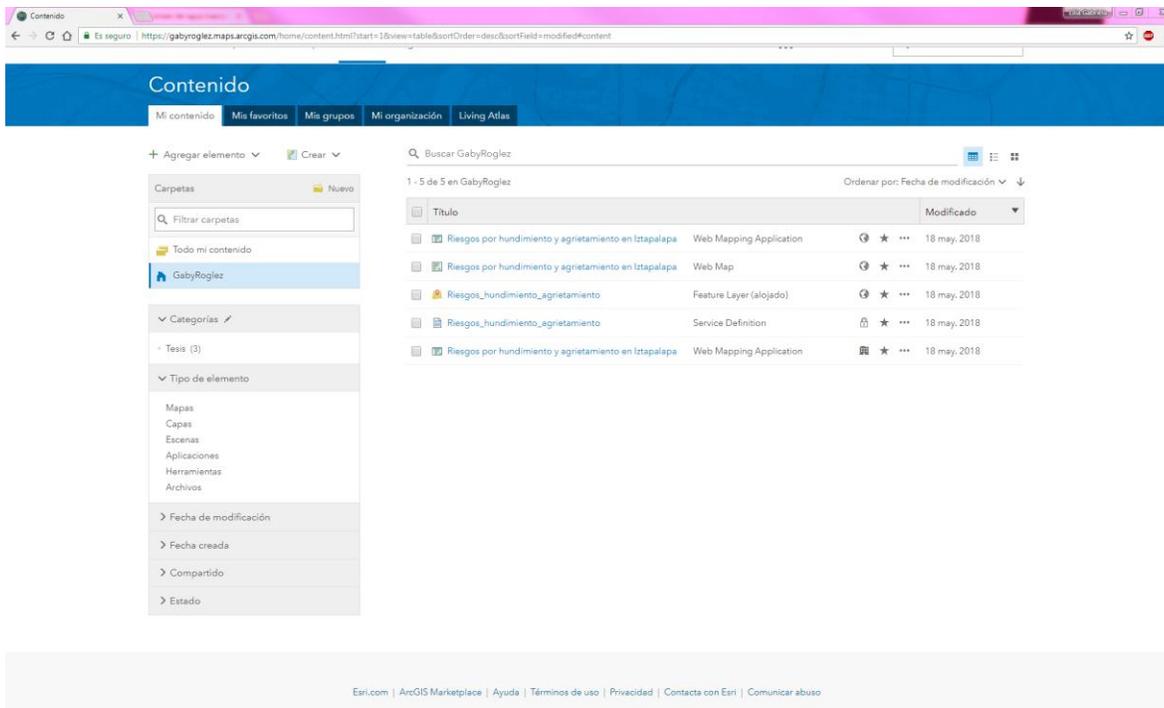




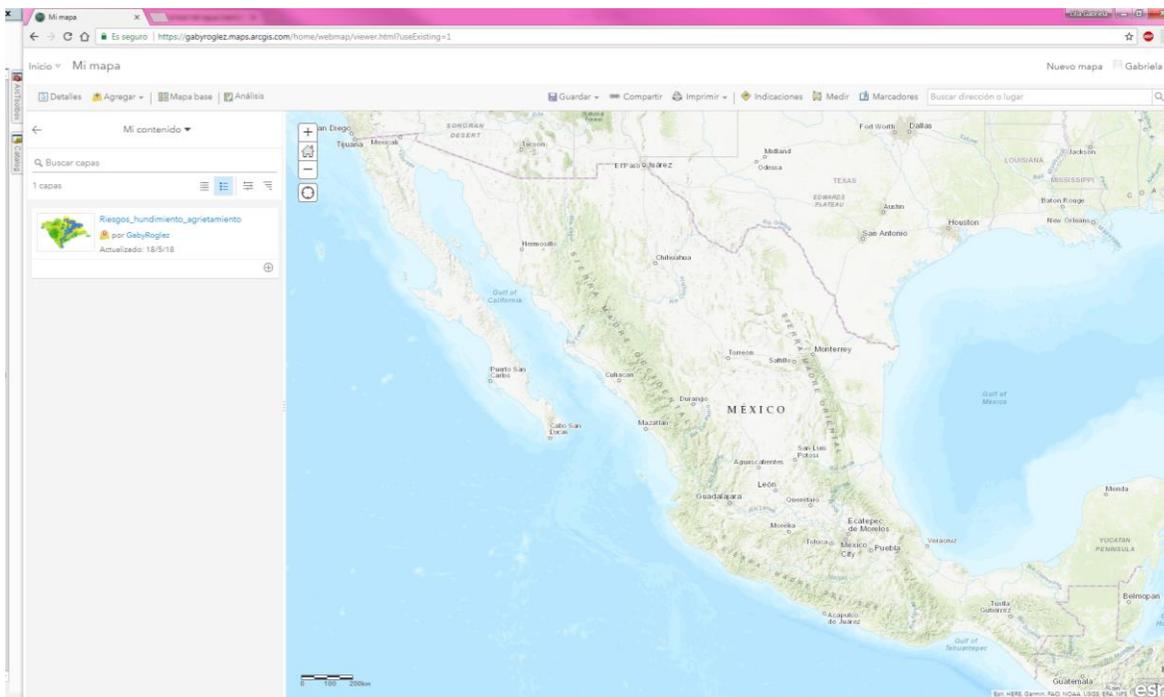
4.- Antes de publicar se requieren configurar los parámetros solicitados dentro de la plataforma ArcGIS Desktop



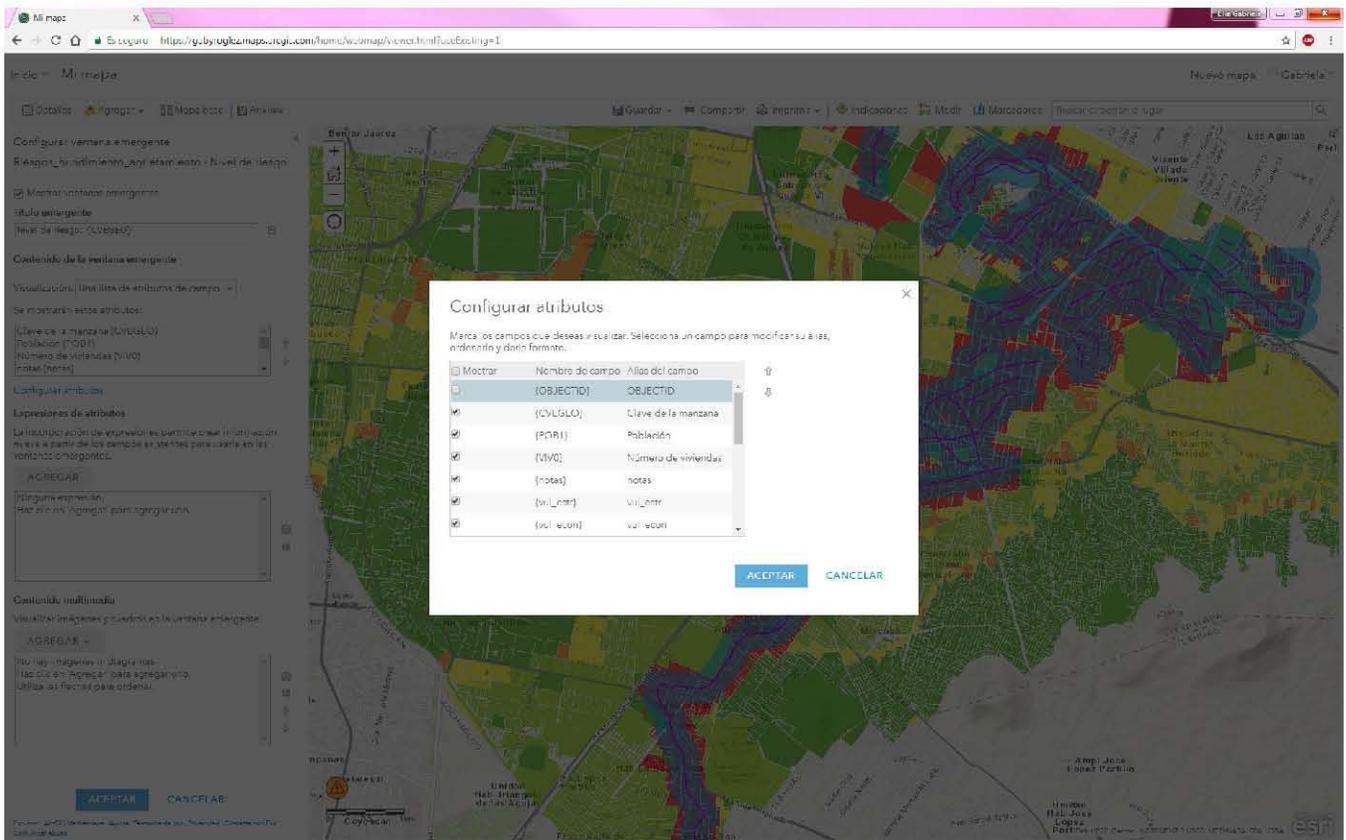
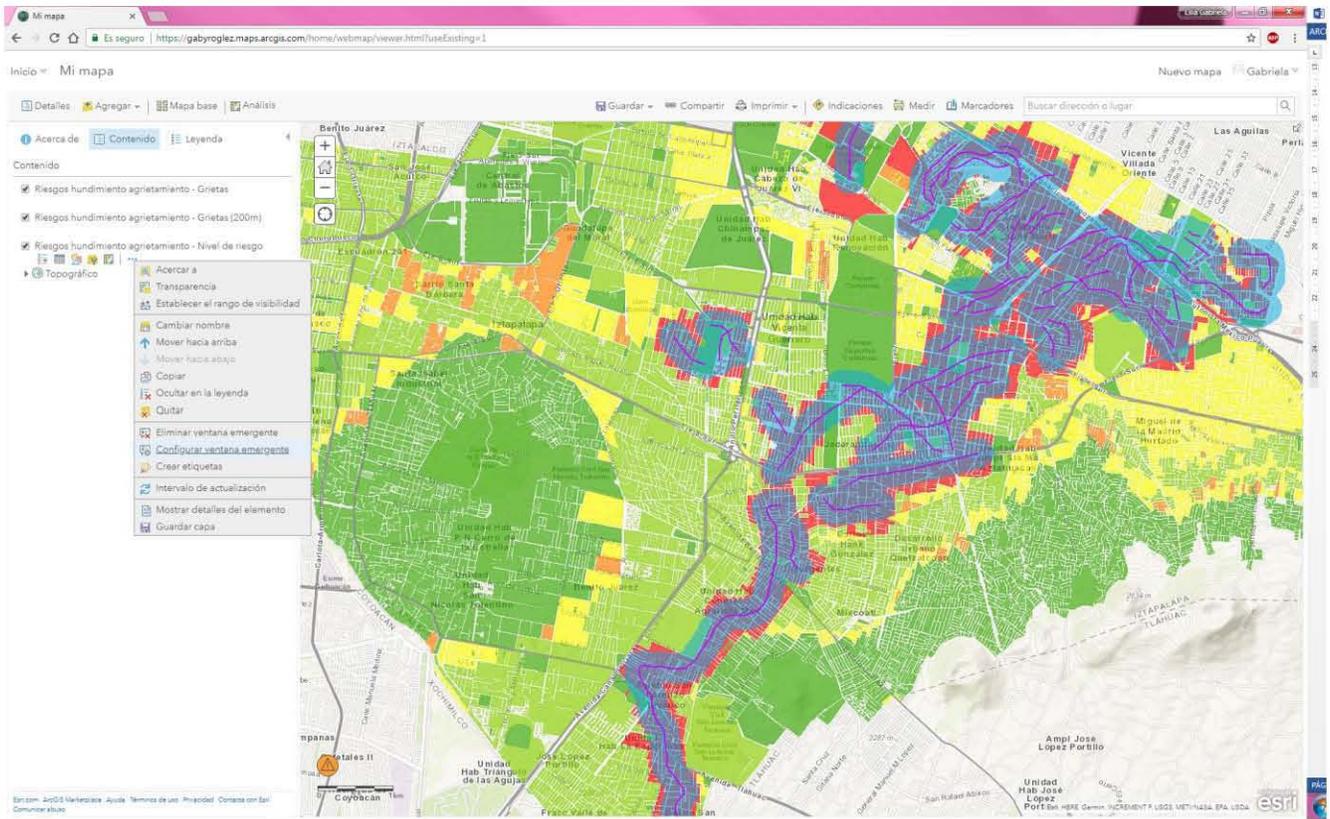
5.- Se procede a publicar el mapa para después dirigirse a la plataforma de ArcGIS Online



Visualización del mapa compartido dentro de ArcGIS Online



6.- Se importan las capas del mapa generado dentro de ArcGIS Online se configuran las variables que se mostrarán en el tooltip



ANEXO II



Las calles y banquetas son reparadas constantemente, lo que impide identificar el hundimiento real.



La separación en los muros llega a medir hasta 5 cm.



Hotel ubicado en la calle Filomeno Mata en la Colonia Santa María Aztahuacán



Esta vivienda ubicada en Filomeno Mata, construyo castillos como medida de mitigación sin embargo no dio resultado.



Actualmente manzanas enteras son Propiedad Federal debido al alto riesgo



Se pueden observar pequeñas socavaciones, vecinos del lugar se encargan de rellenarlos cuando estos aparecen.



Socavón causa de un agrietamiento.



Los servicios se ven interrumpidos a causa del agrietamiento pudiendo causar otro tipo de riesgo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aceves (2006). Determinación de peligros volcánicos aplicando técnicas de evaluación multicriterio y SIG en el área del Nevado de Toluca, centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, pp. 113-124.
- Arana (2003). *Mécanica de Fractura*. Universidad del País Vasco. pp. 13-15
- Aronoff (1989). *Geographical Information Systems: A management perspective*.
- Arzate (2006). Informe Final. Estudio Geológico-Geofísico para la evaluación de hundimientos y agrietamientos en el área Metropolitana de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez. pp 46-58
- Carreón (2011). Mecanismos de fracturamiento de depósitos arcillosos en zonas urbanas. Caso de deformación diferencial en Chalco, Estado de México pp. 1-14.
- Catalonia (2018). Obtenido de: http://www.catalonia.org/cartografia/Clase_08/Sistemas_SIG/What_is_GIS_01.html
- CENAPRED (2001). Atlas Nacional de Riesgos. pp. 80-84.
- CONAGUA (2018). Sistema Nacional del Agua. En línea <http://sina.conagua.gob.mx/sina/>
- Corapcioglu (1984). Land subsidence a state of the art review.
- Cortines (1955). Informe presidencial. México. pp. 7, 44, 97, 150, 212, 279
- Díaz (2006). Los suelos lacustres de la ciudad de México. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*. pp 111-129.
- Fundación UNAM. Obtenido de: <http://www.fundacionunam.org.mx/ecopuma/la-unam-te-explica-la-historia-hidrologica-de-la-cuenca-de-mexico/>
- INEEC (2018) Obtenido de <http://www.publicaciones.inecc.gob.mx/libros/639/peligros.pdf>
- INEGI (2010) Obtenido de <http://gaia.inegi.org.mx/scince2/viewer.html>
- Ezcurra (1992). Crecimiento y colapso en la Cuenca del Valle de México. *Revista Ciencias*. pp 12-27
- González (2018). Skyscrapercity. Obtenido de <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1109627&page=5>
- Hernández (2007). Zonificación de riesgos por hundimiento y agrietamiento al noroeste de la delegación Tlahuac. pp 31-51.
- INEGI. (2018). Sistema para la Consultade Información Censal 2010. Obtenido de <http://gaia.inegi.org.mx/scince2/>

- Lario (2015). Estudio y análisis de la subsidencia del terreno en la cuenca del Alto Guadalupe. Investigaciones previas, evolución, causas y consecuencias. pp 17-46
- Legorreta (2006). El agua y la ciudad de México. De Tenochtitlán a la megalópolis del siglo XXI. pp 18-20, 27, 110, 122, 124).
- López (2018) Mesoweb. Obtenido de http://www.mesoweb.com/about/articles/Altiplano_mexica.pdf
- Lugo (2011). Diccionario geomorfológico. pp 211, 375
- Marsal (1992). El subsuelo de la Ciudad de México. pp 311-402.
- Maskrey. (1993). Los desastres no son naturales. La Red. pp 6-41
- Mosser (1987). Atlas de la Ciudad de México. pp 23-29
- Piers (1996). Vulnerabilidad: El entorno social, político y económico de los desastres. Perú: LA RED.
- Rodríguez (2015). Cuantificación del riesgo asociado al peligro de inundación en Motozintla Mendoza, Chiapas. pp 20-30
- Rodríguez (2017). Factores de vulnerabilidad en la construcción del riesgo. pp 1-19
- SACMEX. (2012). El gran reto del agua en la Ciudad de México. Pasado, presente y perspectivas de solución para una de las ciudades más complejas de mundo. p 14.
- SEDESOL. (2011). Atlas de riesgos naturales de la Delegación Iztapalapa. pp. 13-27, 40,53
- SGM (2018). Estudio de riesgos por hundimiento en la zona urbana y conurbada de la ciudad de Ameca. Obtenido de studylib: <http://studylib.es/doc/7417836/estudio-de-riesgos-por-hundimiento-en-la-zona-urbana-y-co...>
- Tomas. (2009). Subsidencia del terreno. Enseñanzas de Ciencias de la Tierra.
- Vázquez (2002). La subsidencia en Murcia. Implicaciones y consecuencias en la edificación. pp. 32-49
- 4cdgomezsantiago (2018). Obtenido de: <http://4cdsgomezsantiago.blogspot.mx/2016/03/obra-hidraulica-dique-o-albarradon-de.html>