



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



SECRETARÍA DE GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGOS Y
PROTECCIÓN CIVIL DE LA CIUDAD DE MÉXICO
DIRECCIÓN GENERAL DE ANÁLISIS DE RIESGOS
DIRECCIÓN DE ALERTAS TEMPRANAS



Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil de la Ciudad de México

INDICADOR DE SUBSIDENCIA Y HUNDIMIENTO A NIVEL AGEB

Ana Daniela Villa Montes

Román Valverde Delgado

Fenómenos Naturales y Antropogénicos

Mayo, 2023



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



SECRETARÍA DE GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGOS Y
PROTECCIÓN CIVIL DE LA CIUDAD DE MÉXICO
DIRECCIÓN GENERAL DE ANÁLISIS DE RIESGOS
DIRECCIÓN DE ALERTAS TEMPRANAS



Contenido

1. Objetivo.....	3
2. Antecedentes.....	3
3. Introducción.....	4
4. Mapa base	6
5. Apartado Metodológico	6
5.1 Fuente de información:	6
5.2 Procedimiento:	7
6. Resultados	12
7. Conclusiones.....	23
8. Bibliografía.....	24



1. Objetivo

Elaborar el indicador de subsidencia y hundimiento para la Ciudad de México a nivel AGEB.

2. Antecedentes

La Ciudad de México es sede de varios fenómenos perturbadores y la falta de preparación ante ellos han causado diferentes desastres, es por ello que para poder tomar decisiones acertadas es importante poder evaluarlos.

Si bien es cierto que el fenómeno de hundimiento regional y todo lo que este implica es antiguo, su estudio y análisis continúa como un tema de actualidad, del que se ha realizado un gran número de estudios para poder comprenderlo. Por ejemplo en el año de 2013, se puso en marcha un Sistema de Monitoreo de la Piezometría y de los Hundimientos del Valle de México por Extracción de Agua Subterránea (SMIG, 2019).

Actualmente en el Atlas de Riesgos de la Ciudad de México se encuentran disponibles diversas capas de diferentes fenómenos, entre ellos, información relacionada a los sismos, fracturamiento, minas, socavones e incidentes (a través de la capa del REUSE), así como una capa de hundimiento regional. Esta última se utiliza para explicar las deformaciones de los estratos lacustres altamente compresibles localizados en el subsuelo de la ciudad, esto a consecuencia de la reducción piezométrica inducida por el bombeo profundo (Auvinet, 2008); generada por el Centro de Investigación en Geografía y Geomática “Ing. Jorge L. Tamayo A.C.”.



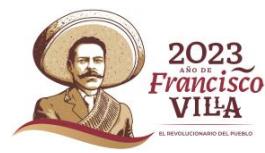
3. Introducción

Los sismos o la inestabilidad de laderas no son los únicos fenómenos geológicos que existen en la Ciudad de México, otros fenómenos tales como el hundimiento y la subsidencia, también impactan a la población en sus bienes y entorno.

Para poder comprender qué es el hundimiento se puede decir que “*es un movimiento vertical descendente de roca, suelo o material no consolidado, por acción y efecto de la gravedad, representa aquellas zonas en donde ha ocurrido colapso por gravedad, disolución y derrumbes de techos de cavernas naturales o hechas por el hombre, como por ejemplo las minas subterráneas en terrenos poco consolidados, también comprende hundimientos menores debido a compactación del terreno, por asentamiento diferenciales de rellenos heterogéneos o por reacomodo del suelo por sobre extracción de aguas subterráneas*” (Alanis, 2011).

“*La subsidencia hace referencia al hundimiento paulatino de la corteza terrestre, continental o submarina. Se pueden tener dos tipos de subsidencia: endógena que hace referencia a los movimientos de la superficie terrestre asociados a procesos geológicos internos, tales como pliegues, fallas, vulcanismo, etc. y el exógeno que se relaciona a la compactación natural o antrópica de los suelos. Las actividades extractivas de mineral en galerías subterráneas, la construcción de túneles, la extracción de fluidos, el descenso del nivel freático por estiajes prolongados, la disolución natural del terreno y lavado de materiales por efecto del agua, los procesos morfotectónicos y de sedimentos o los procesos de consolidación de suelos blandos u orgánicos, son algunas de las causas de los procesos de subsidencia*” (Tomás, Herrera, Delgado, & Peña, 2009).

Muchas veces este fenómeno se asocia con la explotación excesiva de los acuíferos, que conlleva al abatimiento de la presión del agua del subsuelo, que a su



vez se traduce en la compresión volumétrica por el proceso de consolidación, como se ha mencionado anteriormente en las definiciones de este fenómeno (CENAPRED, 2021).

Así mismo, de acuerdo al artículo publicado por el SMIG, en 2019, el “desarrollo demográfico de la cuenca de México ha creado una demanda acelerada de servicios, entre los que destaca el abastecimiento de agua potable. Como sabemos los materiales que conforman la estructura geológica de la cuenca de México son de origen volcánico y lacustre. Una de las formas más económicas de resolver el problema del abastecimiento de agua potable ha sido la explotación del acuífero de la cuenca. El bombeo induce abatimientos piezométricos que conducen a un aumento de los esfuerzos efectivos en los materiales del subsuelo que, a su vez, induce deformaciones y causa una subsidencia regional de gran magnitud. Este fenómeno de subsidencia persiste con efectos acumulados a través de los años que causan asentamientos totales y diferenciales considerables. El patrimonio inmobiliario histórico y reciente, así como instalaciones metropolitanas tan importantes como la red de agua potable, el metro y el Gran Canal, sufren los efectos, además del agrietamiento presente en varias partes de la ciudad es consecuencia de la subsidencia.”

De acuerdo a lo que se mencionó anteriormente, se tiene la interrelación entre varios fenómenos, en este tema, los sismos también están presentes, esto se debe a que son un factor importante que aceleran el proceso de hundimiento sin importar su origen (Alanis, 2011).

A partir de la información disponible en el Atlas de Riesgos de la Ciudad de México de hundimiento, minas, socavones, fracturas o grietas y sismos, se llevó a cabo el análisis y se realizaron las consideraciones necesarias de modo que permitiera generar el indicador de subsidencia y hundimiento en 5 niveles de peligro.



4. Mapa base

Con la finalidad de realizar la zonificación para la totalidad del territorio de la Ciudad de México, se realizó la suma de AGEB urbanos con la de polígonos rurales, a partir de la información de INEGI, 2020.

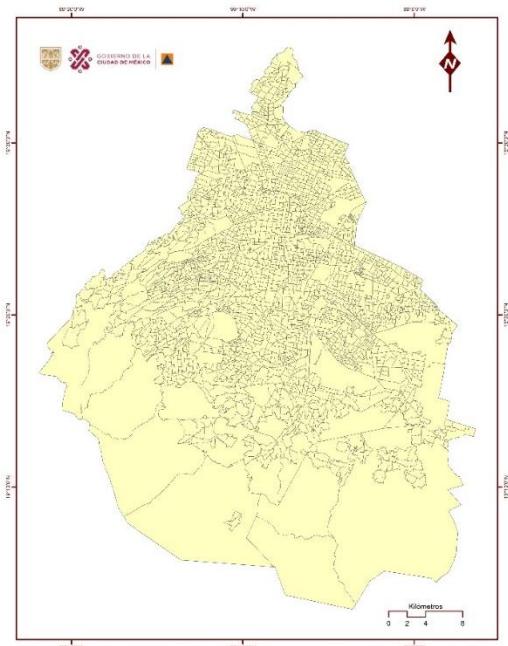


Figura 1. Mapa base de AGEB, fuente: SGIRPC, 2023

5. Apartado Metodológico

5.1 Fuente de información:

La información empleada para la elaboración del presente indicador se obtuvo del Atlas de Riesgos de la Ciudad de México (SGIRPC, 2022). La cual corresponde a las capas de hundimiento (Centro de Investigación en Geografía y Geomática “Ing. Jorge L. Tamayo A.C.”), fracturas y grietas (de aquí en adelante nos referiremos a esta capa con el nombre de fracturamiento), minas, REUSE (Incidentes registrados por hundimientos), socavones y sismos.



5.2 Procedimiento:

Con el fin de obtener el indicador se realizó el análisis de la información y se tomaron las consideraciones necesarias para calificar cada AGEB. Para ello se tomó como capa principal la correspondiente a hundimiento, a fin de determinar la proporción de contribuciones de área para aquellos que no presentan dato, para 2-10 cm/año, 11-10 cm/año y 21-30 cm/año, dándole un mayor peso y que estas se priorizaran de acuerdo si la contribución de área es de más de 20% a las curvas de 11-10 cm/año y 21-30 cm/año, así mismo, se consideró si en el AGEB existe fracturamiento o grietas, minas, socavones, o se tiene registro de incidentes por hundimientos en la capa del REUSE, o sismos (como factor detonante).

Los rangos de valores que se emplearon para minas, socavones y fracturamiento que se presentan en las tablas de la 1 a la 10, se establecieron de acuerdo a su distribución en cada AGEB.

Para el caso de fracturamiento antes de realizar los rangos, se procedió a la suma total de las longitudes en km que se ubican en cada AGEB y posteriormente se dividió entre el área total del AGEB, es decir, $\frac{\sum l}{A}$, donde $\sum l$ es la suma total de las longitudes del fracturamiento en el AGEB en km, y A es el área total del AGEB en km^2 , todo esto con el propósito de tener una referencia de la abundancia espacial del fracturamiento.

A continuación, se presenta las tablas donde se muestra las consideraciones para poder realizar la calificación:



Tabla 1. Consideraciones para realizar la calificación, sin valores de hundimiento, ni información de minas y socavones.

Socavones	Minas	Fracturamiento (1/km)	Valor de Hundimiento (cm/año)	Calificación	Descripción de las consideraciones
No se tiene dato	No se tiene dato	Mayor o igual a 0.4 y menor a 10	No se tiene dato	Medio	No se cuenta con información de la capa de hundimiento en el AGEBC, se tiene fracturamiento mayor o igual a 0.4 y menor a 10, no se tiene registro de minas, ni socavones, es posible que exista registro de incidentes por hundimiento del REUSE, o de antecedente de sismos en el AGEBC como factor detonante.
No se tiene dato	No se tiene dato	Menor a 0.4	No se tiene dato	Bajo	No se cuenta con información de la capa de hundimiento en el AGEBC, el fracturamiento es menor a 0.4, se puede tener antecedente de sismos en el AGEBC como factor detonante.
No se tiene dato	No se tiene dato	No se tiene dato	No se tiene dato	No se tiene dato (S/D)	No se cuenta con información de la capa de hundimiento, minas, socavones, fracturamiento, ni incidentes por hundimiento registrados en el REUSE.

Tabla 2. Consideraciones para realizar la calificación, sin valores de hundimiento, ni información de fracturamiento.

Socavones	Minas	Fracturamiento (1/km)	Valor de Hundimiento (cm/año)	Calificación	Descripción de las consideraciones
2-3	4-6	No se tiene dato	No se tiene dato	Bajo	No se cuenta con información de la capa de hundimiento en el AGEBC, tampoco se tiene dato de fracturamiento, sin embargo, se tiene presencia de 4-6 minas o de 2-3 socavones, o la combinación de alguno de los anteriores, puede existir algún incidente por hundimiento del REUSE o antecedente de sismos en el AGEBC como factor detonante.
2-3	1-3	No se tiene dato	No se tiene dato	Bajo	No se cuenta con información de la capa de hundimiento en el AGEBC, tampoco se tiene dato de fracturamiento, sin embargo, hay presencia de 1-3 minas o de 2-3 socavones, o la combinación de alguno de los anteriores, es posible la existencia de algún incidente por hundimiento del REUSE o antecedente de sismos en el AGEBC como factor detonante.
1	1-3	No se tiene dato	No se tiene dato	Muy Bajo	No se cuenta con información de la capa de hundimiento en el AGEBC, ni dato de fracturamiento, no obstante, se tiene presencia de 1-3 minas o 1 socavón, o se cuenta con dato de algún incidente por hundimiento del REUSE, o la combinación de alguno de los anteriores, se puede tener antecedente de sismos en el AGEBC como factor detonante.

Tabla 3. Consideraciones para realizar la calificación, sin valores de hundimiento parte 1.

Socavones	Minas	Fracturamiento (1/km)	Valor de Hundimiento (cm/año)	Calificación	Descripción de las consideraciones
Igual o mayor a 1	4-6	Mayor o igual a 0.4 y menor a 10	No se tiene dato	Alto	No se cuenta con información de la capa de hundimiento en el AGEBC, el fracturamiento es mayor o igual a 0.4 y menor a 10, hay registro de 4-6 minas y presencia de socavones, se puede tener antecedente de sismos en el AGEBC como factor detonante.
No se tiene dato	4-6	Mayor o igual a 0.4 y menor a 10	No se tiene dato	Medio	No se cuenta con información de la capa de hundimiento en el AGEBC, se tiene fracturamiento mayor o igual a 0.4 y menor a 10, con registro de 4-6 minas, es posible que exista registro de incidentes por hundimiento del REUSE o antecedente de sismos en el AGEBC como factor detonante.
No se tiene dato	1-3	Mayor o igual a 0.4 y menor a 10	No se tiene dato	Medio	No se cuenta con información de la capa de hundimiento en el AGEBC, se tiene fracturamiento mayor o igual a 0.4 y menor a 10, se tiene registro de 1-3 minas, es posible que exista registro de incidentes por hundimiento del REUSE o antecedente de sismos en el AGEBC como factor detonante.
No se tiene dato	1-3	Menor a 0.4	No se tiene dato	Bajo	No se cuenta con información de la capa de hundimiento en el AGEBC, el fracturamiento es menor a 0.4, hay presencia 1-3 minas, puede existir algún incidente por hundimiento del REUSE o antecedente de sismos en el AGEBC como factor detonante.

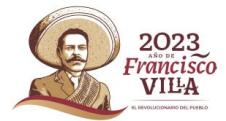


Tabla 4. Consideraciones para realizar la calificación, sin valores de hundimiento parte 2.

Socavones	Minas	Fracturamiento (1/km)	Valor de Hundimiento (cm/año)	Calificación	Descripción de las consideraciones
1	1-3	Mayor o igual a 0.4 y menor a 10	No se tiene dato	Medio	No se cuenta con información de la capa de hundimiento en el AGEB, se tiene fracturamiento mayor o igual a 0.4 y menor a 10, y además se tiene registro de 1-3 minas y antecedente de 1 socavón, es posible que exista registro de incidentes por hundimiento del REUSE o antecedente de sismos en el AGEB como factor detonante.
1	1-3	Menor a 0.4	No se tiene dato	Bajo	No se cuenta con información de la capa de hundimiento en el AGEB, el fracturamiento es menor a 0.4, hay antecedente de 1 socavón y de 1-3 minas, o algún incidente por hundimiento del REUSE, se puede tener antecedente de sismos en el AGEB como factor detonante.

Tabla 5. Consideraciones para realizar la calificación, sin valores de hundimiento parte 3.

Socavones	Minas	Fracturamiento (1/km)	Valor de Hundimiento (cm/año)	Calificación	Descripción de las consideraciones
4 o más	7 o más	10 o más	No se tiene dato	Muy Alto	No se cuenta con información de la capa de hundimiento en el AGEB, sin embargo, el fracturamiento es igual a 10 o más; o hay registro de 7 minas o más; o se tiene antecedente en el AGEB de 4 o más socavones; o la combinación de alguno de los anteriores.
2-3	Igual o mayor a 1	Mayor o igual a 0.4 y menor a 10	No se tiene dato	Alto	No se cuenta con información de la capa de hundimiento en el AGEB, el fracturamiento es mayor o igual a 0.4 y menor a 10, con antecedente de 2-3 socavones y presencia de minas, se puede tener antecedente de sismos en el AGEB como factor detonante.
2-3	No se tiene dato	Mayor o igual a 0.4 y menor a 10	No se tiene dato	Medio	No se cuenta con información de la capa de hundimiento en el AGEB, se tiene fracturamiento mayor o igual a 0.4 y menor a 10 y hay registro de antecedente de 2-3 socavones, se puede tener antecedente de sismos en el AGEB como factor detonante.
1	No se tiene dato	Mayor o igual a 0.4 y menor a 10	No se tiene dato	Medio	No se cuenta con información de la capa de hundimiento en el AGEB, se tiene fracturamiento mayor o igual a 0.4 y menor a 10, se tiene antecedente de 1 socavón, es posible que exista registro de incidentes por hundimiento del REUSE, además es posible que exista antecedente de sismos en el AGEB como factor detonante.
1	No se tiene dato	Menor a 0.4	No se tiene dato	Bajo	No se cuenta con información de la capa de hundimiento en el AGEB, el fracturamiento es menor a 0.4, hay antecedente de 1 socavón, puede existir algún incidente por hundimiento del REUSE o antecedente de sismos en el AGEB como factor detonante.

Tabla 6. Consideraciones para realizar la calificación, con valores de hundimiento de 2-10 cm/año y sin información de minas.

Socavones	Minas	Fracturamiento (1/km)	Valor de Hundimiento (cm/año)	Calificación	Descripción de las consideraciones
2-3	No se tiene dato	Menor a 0.4	2-10	Medio	El valor de hundimiento en el AGEB es de 2-10 cm/año, se tiene fracturamiento menor a 0.4 y antecedente de 2-3 socavones, además es posible que exista antecedente de sismos en el AGEB como factor detonante.
2-3	No se tiene dato	No se tiene dato	2-10	Medio	El valor de hundimiento en el AGEB es de 2-10 cm/año, se tiene antecedente de 2-3 socavones, sin dato de fracturamiento, además es posible que exista antecedente incidentes por hundimiento registrados en el REUSE o de sismos en el AGEB como factor detonante.
No se tiene dato	No se tiene dato	No se tiene dato	2-10	Medio	El valor de hundimiento en el AGEB es de 2-10 cm/año, no se cuenta con información de minas, socavones y fracturamiento, se pueden tener incidentes por hundimiento registrados en el REUSE.



Tabla 7. Consideraciones para realizar la calificación, con valores de hundimiento de 2-10 cm/año parte 1.

Socavones	Minas	Fracturamiento (1/km)	Valor de Hundimiento (cm/año)	Calificación	Descripción de las consideraciones
2-3	Puede o no	Mayor o igual a 0.4 y menor a 10	2-10	Alto	El valor de hundimiento es de 2-10 cm/año, el fracturamiento es mayor o igual a 0.4 y menor a 10 y hay antecedente de 2-3 socavones, es posible la existencia de registro de minas, se puede tener registro de sismos en el AGEB como factor detonante.
1	Puede o no	Mayor o igual a 0.4 y menor a 10	2-10	Medio	El valor de hundimiento en el AGEB es de 2-10 cm/año, se tiene fracturamiento mayor o igual a 0.4 y menor a 10, y antecedente de 1 socavón, es posible la existencia del registro de minas o incidentes por hundimiento del REUSE o se puede tener antecedente de sismos en el AGEB como factor detonante.
1	Puede o no	Menor a 0.4	2-10	Medio	El valor de hundimiento en el AGEB es de 2-10 cm/año, se tiene fracturamiento menor a 0.4 y antecedente de 1 socavón, es posible la existencia de registro de minas o incidentes por hundimiento del REUSE o antecedente de sismos en el AGEB como factor detonante.
1	Puede o no	No se tiene dato	2-10	Medio	El valor de hundimiento en el AGEB es de 2-10 cm/año, con antecedente de 1 socavón, sin dato de fracturamiento, además es posible que exista antecedente de minas o incidentes por hundimiento registrados en el REUSE o sismos en el AGEB como factor detonante.

Tabla 8. Consideraciones para realizar la calificación, con valores de hundimiento de 2-10 cm/año parte 2.

Socavones	Minas	Fracturamiento (1/km)	Valor de Hundimiento (cm/año)	Calificación	Descripción de las consideraciones
4 o más	7 o más	10 o más	2-10	Muy Alto	El valor de hundimiento es de 2-10 cm/año en el AGEB, el fracturamiento es igual a 10 o más; o existen 7 minas o más; o se tiene antecedente 4 o más socavones; se puede tener incidentes por hundimiento registrados en el REUSE o antecedente de sismos en el AGEB como factor detonante.
Puede o no	4-6	Mayor o igual a 0.4 y menor a 10	2-10	Alto	El valor de hundimiento es de 2-10 cm/año, el fracturamiento es mayor o igual a 0.4 y menor a 10 y se tiene registro de 4-6 minas, además es posible que exista antecedente de socavones, se puede tener registro de sismos en el AGEB como factor detonante.
Puede o no	1-3	Mayor o igual a 0.4 y menor a 10	2-10	Medio	El valor de hundimiento en el AGEB es de 2-10 cm/año, se tiene fracturamiento mayor o igual a 0.4 y menor a 10 y hay registro de 1-3 minas y puede haber registro de la ocurrencia de algún socavón o incidentes por hundimiento registrados en el REUSE. Se puede tener antecedente de sismos en el AGEB como factor detonante.
Puede o no	1-3	Menor a 0.4	2-10	Medio	El valor de hundimiento en el AGEB es de 2-10 cm/año, se tiene fracturamiento menor a 0.4 y registro de 1-3 minas, se puede tener antecedente de socavones o incidentes por hundimiento registrados en el REUSE. Además es posible que exista antecedente de sismos en el AGEB como factor detonante.
Puede o no	1-3	No se tiene dato	2-10	Medio	El valor de hundimiento en el AGEB es de 2-10 cm/año, se tiene registro de 1-3 minas, se puede tener antecedente de socavones o incidentes por hundimiento registrados en el REUSE, sin dato de fracturamiento. Además es posible que exista antecedente de sismos en el AGEB como factor detonante.

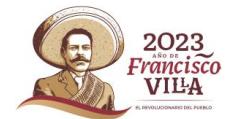


Tabla 9. Consideraciones para realizar la calificación, con valores de hundimiento de 11-20 cm/año.

Socavones	Minas	Fracturamiento (1/km)	Valor de Hundimiento (cm/año)	Calificación	Descripción de las consideraciones
4 o más	7 o más	10 o más	11-20	Muy Alto	El valor de hundimiento es de 11-20 cm/año en el AGEB, el fracturamiento es igual a 10 o más; o existen de 7 minas o más; o se tiene antecedente de 4 o más socavones; se puede tener incidentes por hundimiento registrados en el REUSE o antecedente de sismos en el AGEB como factor detonante.
Menos de 4	Menos de 7	Menor a 10	11-20	Alto	El valor de hundimiento es de 11-20 cm/año en el AGEB, el fracturamiento es menor a 10; o hay menos de 7 minas; o menos de 4 socavones; o incidentes por hundimiento registrados en el REUSE; o la combinación de alguna de las anteriores; además se puede tener antecedente de sismos en el AGEB como factor detonante.
No se tiene dato	No se tiene dato	No se tiene dato	11-20	Alto	El valor de hundimiento es de 11-20 cm/año en el AGEB, sin fracturamiento, ni la presencia de minas o antecedente de incidentes por socavones y sin incidentes por hundimiento registrados en el REUSE,

Tabla 10. Consideraciones para realizar la calificación, con valores de hundimiento de 21-30 cm/año.

Socavones	Minas	Fracturamiento (1/km)	Valor de Hundimiento (cm/año)	Calificación	Descripción de las consideraciones
Cualquier cantidad	Cualquier cantidad	Cualquier cantidad	21-30	Muy Alto	El valor de hundimiento es de 21-30 cm/año en el AGEB, hay minas o socavones; o incidentes por hundimiento registrados en el REUSE; o fracturamiento; o la combinación de alguna de las anteriores; se puede tener antecedente de sismos en el AGEB como factor detonante.
No se tiene dato	No se tiene dato	No se tiene dato	21-30	Muy Alto	El valor de hundimiento es de 21-30 cm/año en el AGEB, sin la presencia de minas, socavones, incidentes por hundimiento registrados en el REUSE, ni fracturamiento.



6. Resultados

La información utilizada para la obtención del indicador se presenta a continuación:

De la capa de hundimiento generada por el Centro de Investigación en Geografía y Geomática “Ing. Jorge L. Tamayo A.C.”, de los resultados que obtuvieron (ver figura 2) muestran que la zona de más rápido hundimiento tiene cierta coincidencia con los conos de abatimiento, a excepción de la zona del Lago de Texcoco donde el factor que domina en el proceso de hundimiento es la poca consolidación previa de los suelos (Centrogeo, 2004).

Cecilio Robelo 3, El Parque, Venustiano Carranza, 15960, Ciudad de México
C.P. 15960
Tel. 55 5036 3000

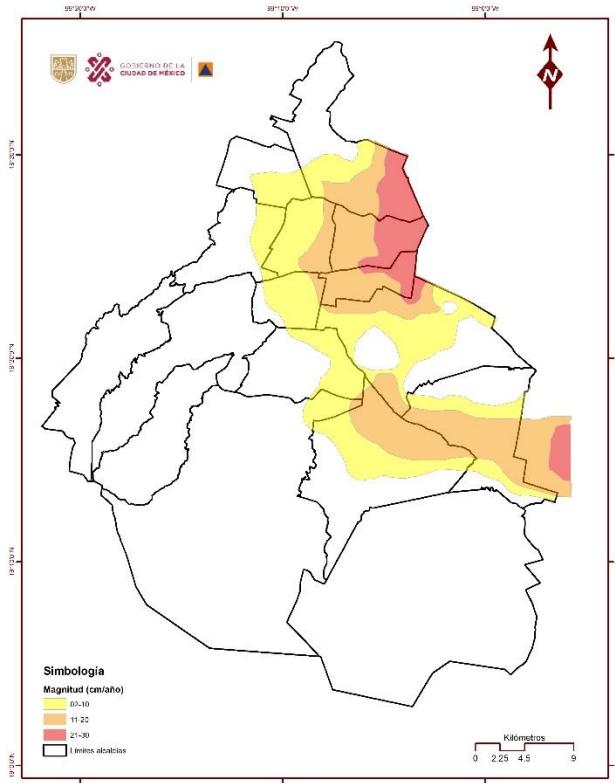


Figura 2: Capa de hundimiento.

Fuente: <https://www.atlas.cdmx.gob.mx/datosabiertos2.html>



En cuanto a la capa del Atlas de Riesgos de la Ciudad de México de fracturamiento, mostrado en la siguiente figura, se puede observar la presencia de este fenómeno geológico en gran parte de la ciudad, el cual se relaciona estrechamente con el fenómeno de hundimiento y subsidencia. En función de la información analizada disponible se tiene que la alcaldía con mayor concentración de fracturamiento en su territorio es la alcaldía Cuauhtémoc.

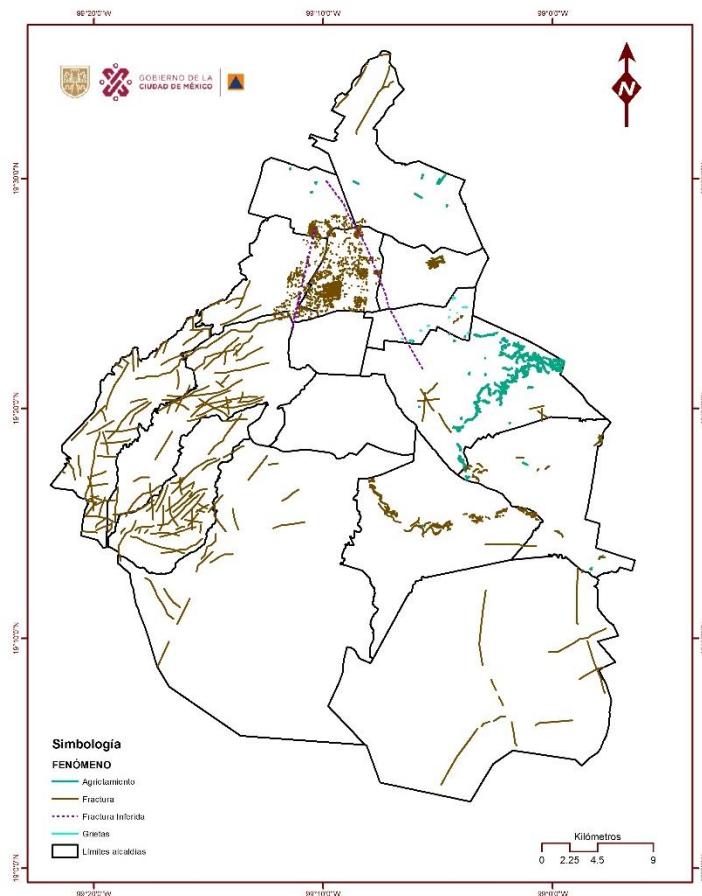


Figura 3: Fracturamiento en la Ciudad de México.
Fuente: <https://www.atlas.cdmx.gob.mx/datosabiertos2.html>



Por otro lado, las minas, como una de las causas de la subsidencia, están presentes en varias alcaldías como se puede ver en la siguiente figura. De la información contenida en la capa de minas, disponible en el Atlas de Riesgos de la Ciudad de México, a partir de las cartas geológicas de INEGI, se tiene que la alcaldía Álvaro Obregón es la que cuenta con un mayor registro, con un total de 76 minas.

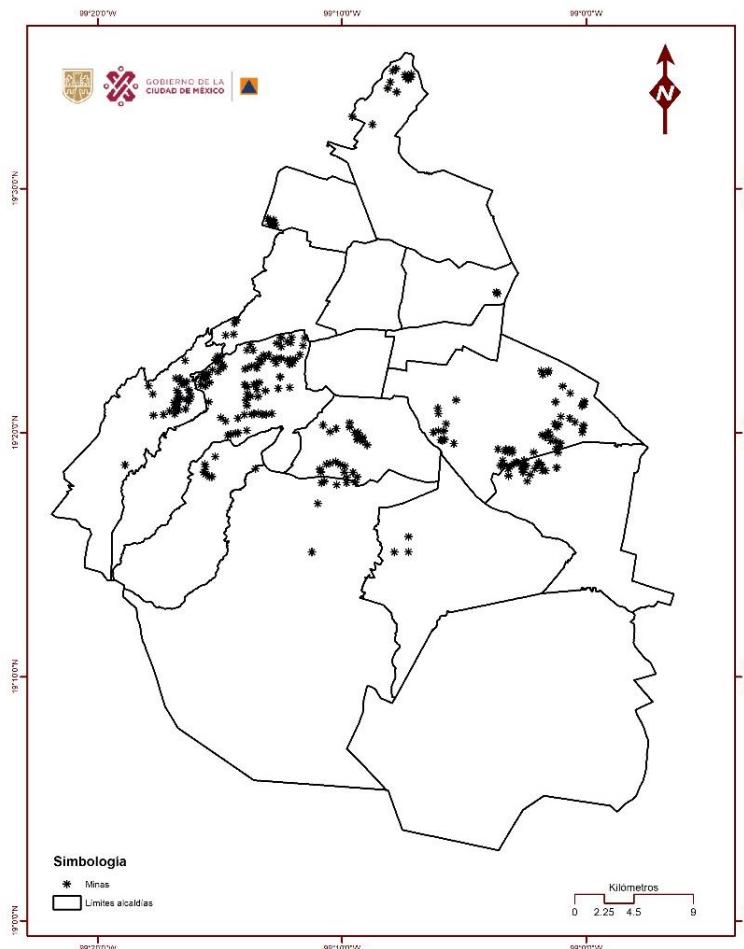


Figura 4: Minas en la CDMX.

Fuente: <https://www.atlas.cdmx.gob.mx/datosabiertos2.html>



Los socavones generalmente ocurren debido a la erosión que provoca el agua subterránea y que al paso del tiempo genera un colapso o hundimiento, sin embargo, también se asocia a otros factores como por ejemplo la degradación de la superficie, entre otros, para este caso se utilizó la información disponible de incidentes registrados de 2017-2020, los cuales se distribuyen a lo largo de la ciudad. La alcaldía Iztapalapa es la que cuenta con el mayor registro de incidentes en ese periodo, seguido de la alcaldía Gustavo A. Madero.

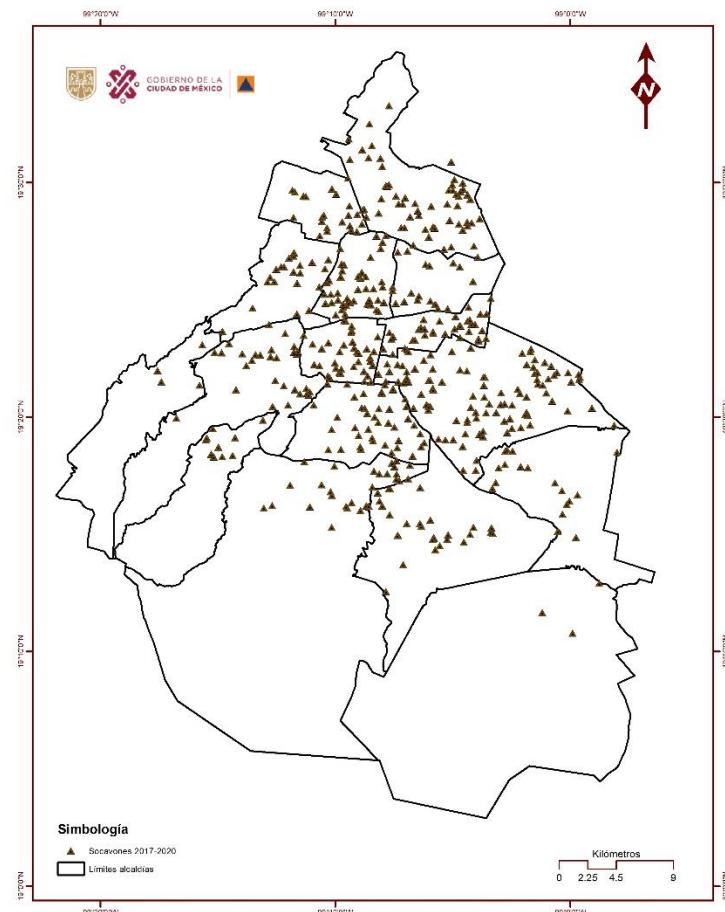


Figura 5: Socavones 2017-2020.
Fuente: <https://www.atlas.cdmx.gob.mx/datosabiertos2.html>



Aunado a la demás información presentada, se tomaron en cuenta los incidentes registrados como hundimiento, en el apartado de “Taxonomía” del Registro Único de Situaciones de Emergencia (REUSE), el cual contiene información de los distintos fenómenos perturbadores desde el 2018 hasta julio de 2022. Del total de incidentes únicamente 20 corresponden a hundimientos distribuidos como se puede apreciar en la siguiente figura.

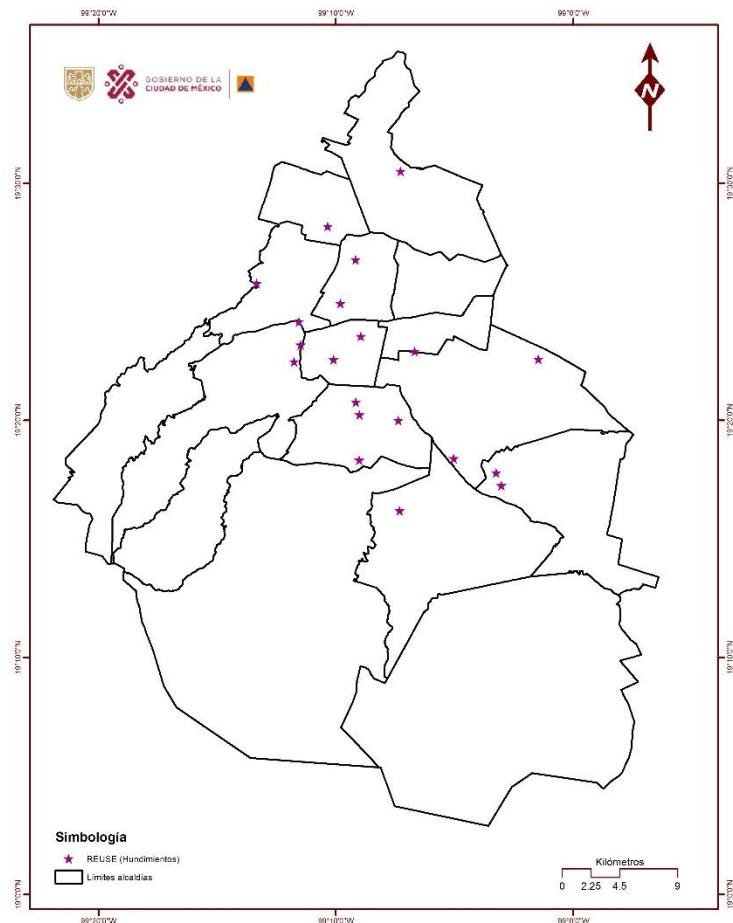


Figura 6: Información del REUSE de incidentes reportados por hundimiento.

Fuente: <https://www.atlas.cdmx.gob.mx/datosabiertos2.html>



Los sismos se contemplaron debido a que son un factor importante que acelera el proceso de hundimiento sin importar su origen. Para este caso se tomaron en cuenta aquellos ocurridos dentro de la Ciudad de México en el periodo de julio de 1974 a marzo de 2022.

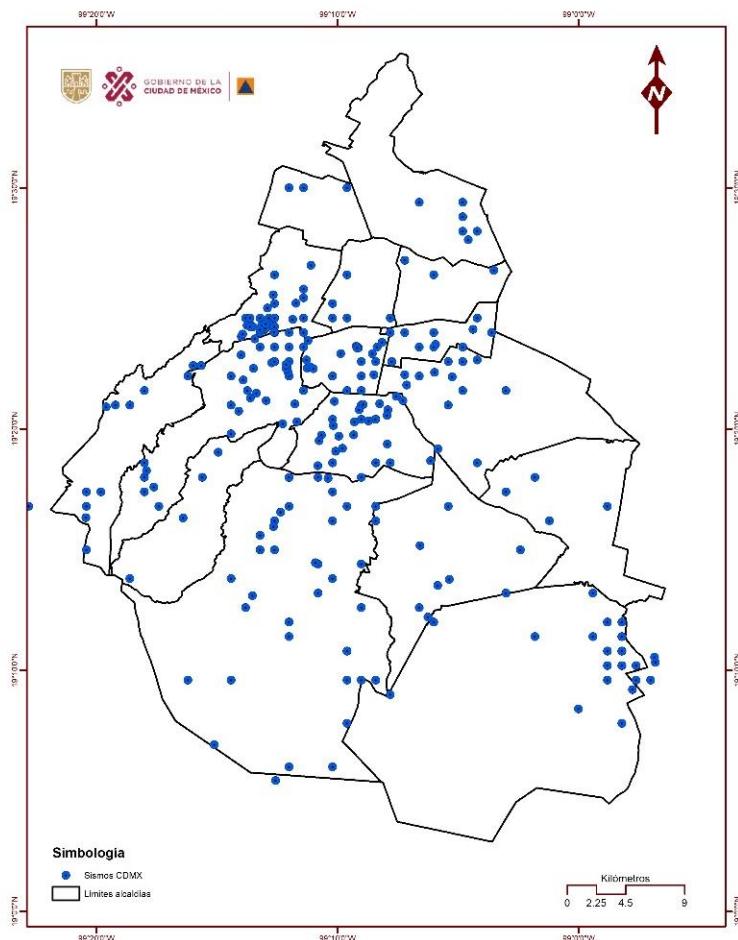


Figura 7: Sismos ocurridos en la Ciudad de México.
Fuente: <https://www.atlas.cdmx.gob.mx/datosabiertos2.html>



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



SECRETARÍA DE GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGOS Y
PROTECCIÓN CIVIL DE LA CIUDAD DE MÉXICO
DIRECCIÓN GENERAL DE ANÁLISIS DE RIESGOS
DIRECCIÓN DE ALERTAS TEMPRANAS



Finalmente se obtuvo el indicador de subsidencia y hundimiento de la Ciudad de México, el cual se puede ver en la siguiente figura.

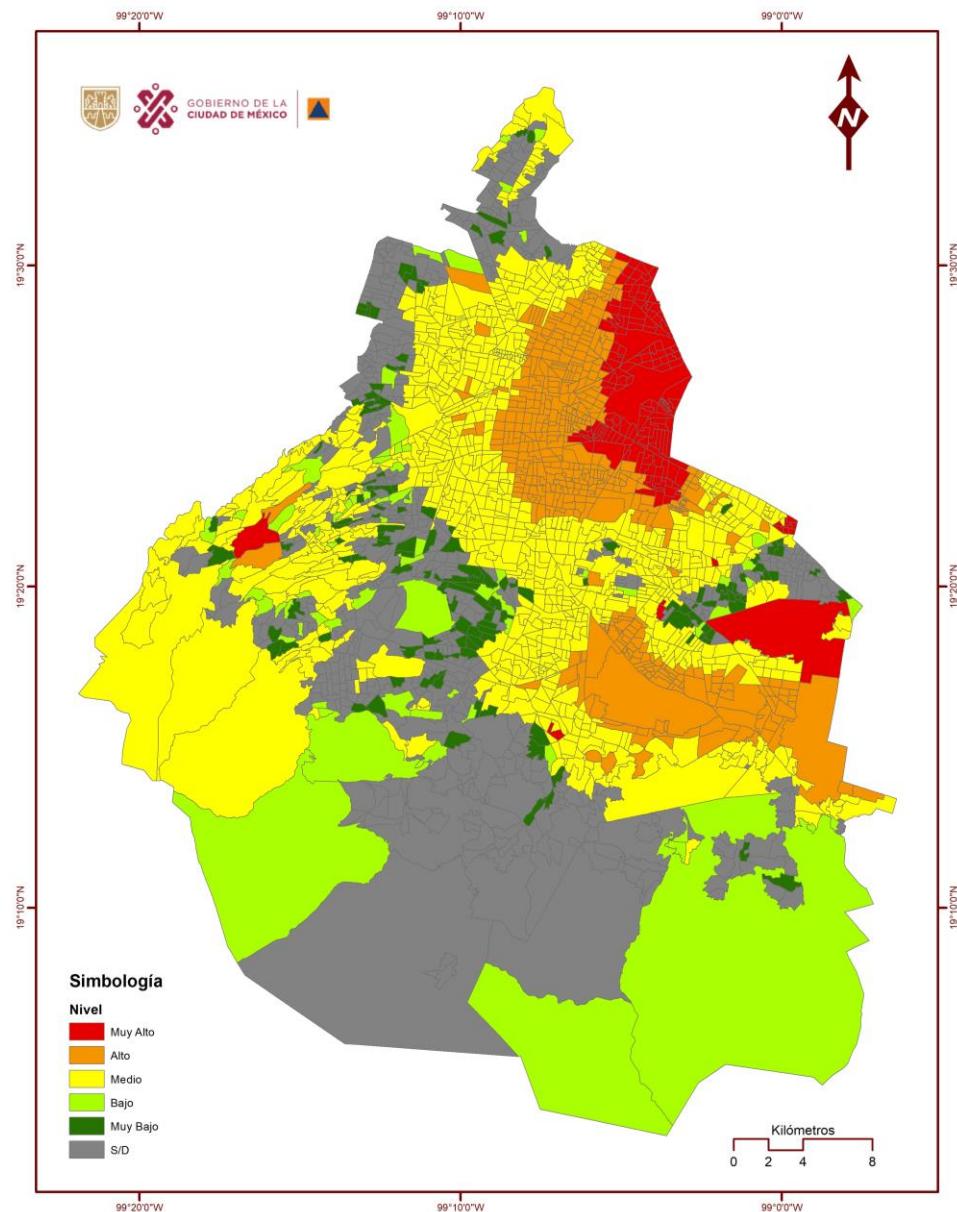


Figura 8: Indicador de subsidencia y hundimiento.
Fuente: Elaboración propia



En la siguiente figura se tiene el indicador obtenido para los AGEBS urbanos y polígonos rurales, superpuesto con la información empleada en su construcción.

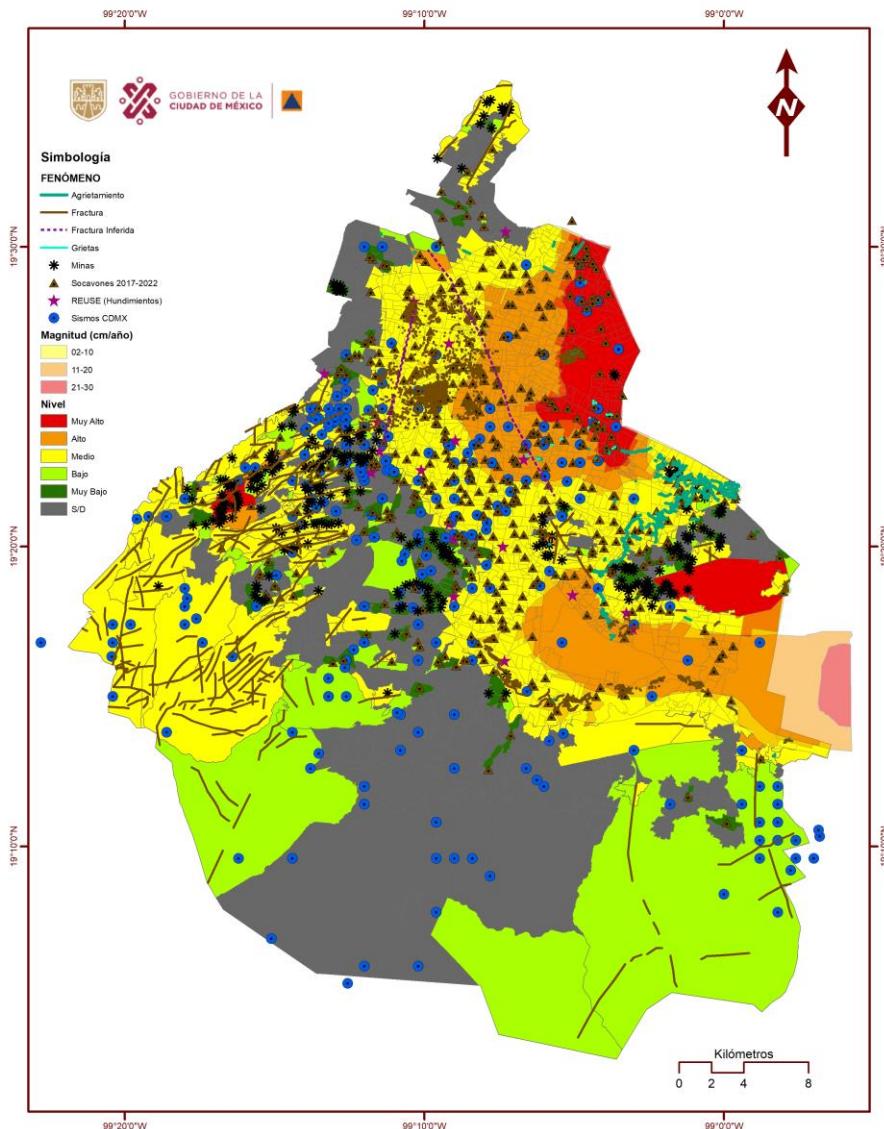


Figura 9: Indicador de subsidencia y hundimiento e información empleada en su construcción.
Fuente: Elaboración propia



Para efectos comparativos, a continuación, se muestran algunos ejemplos de la información existente en un AGEB, con el color indicativo del nivel de peligro con el que se clasificó.

Ejemplos de calificación	Descripción
Este mapa muestra dos Áreas Geológicas de Especial Interés (AGEB) con IDs 1544 y 1553. El AGEB 1544 es de color rojo intenso, lo que indica una clasificación "Muy Alto". El AGEB 1553 es de color naranja, lo que indica una clasificación "Alto". Ambos AGEB presentan valores de subsidencia y hundimiento, así como registros de minas, fracturamiento y socavones.	<p>En el caso del AGEB con ID 1544, se calificó como “Muy Alto”, a pesar de que no tiene valor de hundimiento, cuenta con un registro de 14 minas.</p> <p>Para el AGEB con ID 1553, este se calificó como “Alto”, no tienen valor de hundimiento, sin embargo, cuenta con registro de 4 minas, fracturamiento y 1 socavón.</p>
Este mapa muestra tres AGEB: 2436 (rojo), 2446 (naranja) y 312 (verde). El AGEB 2436 tiene una clasificación "Medio" y muestra presencia de fracturamiento. Los AGEB 2446 y 312 tienen una clasificación "Bajo" y muestran valores de subsidencia y hundimiento.	<p>El caso del AGEB con ID 2436, con calificación “Medio” no presenta hundimiento, sin embargo, tiene presencia de fracturamiento de 1.39 (1/km).</p> <p>Para el AGEB con ID 2446 con calificación de “Bajo”, este no tiene valor de hundimiento, pero el fracturamiento es de 0.28 (1/km).</p> <p>En el caso del AGEB con ID 312 también con calificación “Medio”, el fracturamiento es de 0.435 (1/km).</p>

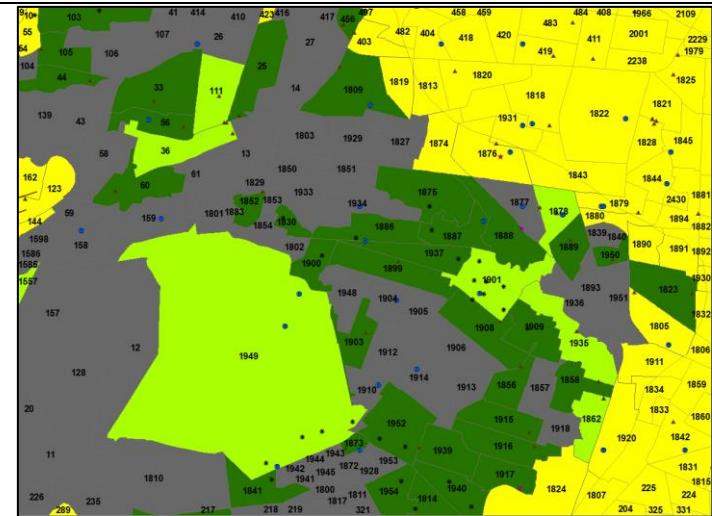


Figura 12: Indicador de subsidencia y hundimiento e información adicional para AGEB con calificación “Muy Bajo”

En el caso de los AGEB con calificación "Muy Bajo", y que no tienen contribución de la capa de hundimiento, presentan dato de algún incidente por hundimiento del REUSE o antecedente de 1 socavón o registro de 1-3 minas, o la combinación de alguno de los anteriores, sin dato de fracturamiento, se puede tener antecedente de sismos en el AGEB como factor detonante.

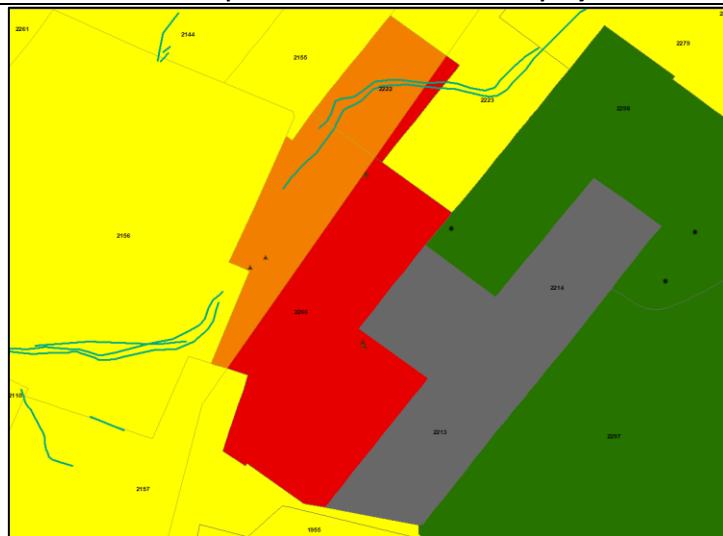


Figura 13: Indicador de subsidencia y hundimiento e información adicional en el AGEB con ID 2266 y 2222.

En el caso del AGEB con ID 2266 y 2222, se calificaron como "Muy Alto", ya que tienen contribución de la capa de hundimiento con valor de 2-10 cm/año, sin embargo, para el primer caso también tiene antecedente de 6 socavones, mientras que el segundo presenta fracturamiento de 10.2 (1/km).

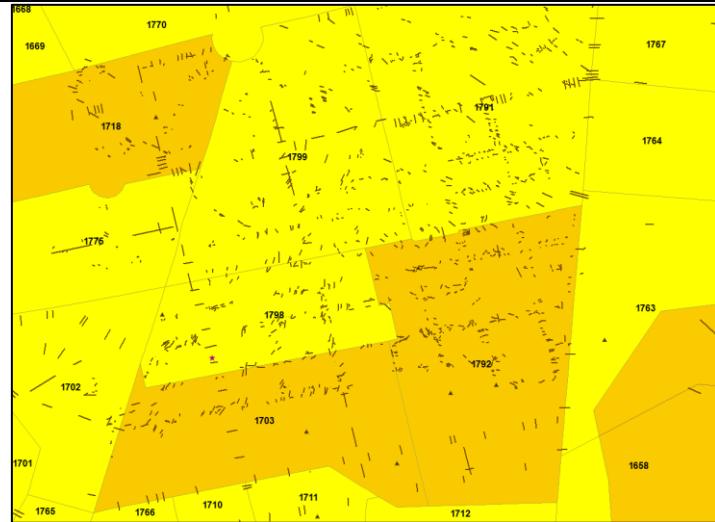


Figura 14: Indicador de subsidencia y hundimiento e información adicional AGEB con ID 1703, 1798, 1799.

En el caso del AGEB con ID 1703, se calificó como "Alto", debido a que tiene contribución de la capa de hundimiento con valor de 2-10 cm/año, sin embargo, además cuenta fracturamiento de 5.52 (1/km) y antecedente de 2 socavones, en el caso del ID 1798 y 1799 calificados como "Medio", a pesar de que el fracturamiento es de 9.77 (1/km) y 7.4 (1/km) respectivamente, solo existe antecedente de 1 socavón o ninguno.



7. Conclusiones

Se construyó el indicador de subsidencia y hundimiento, al considerar los AGEB urbanos y polígonos rurales de la Ciudad de México. Con el fin de poder tener información disponible de las principales zonas que pueden ser afectadas por subsidencia y hundimiento dentro de la ciudad, y que puede permitir realizar una caracterización del peligro.

Con la obtención del indicador que califica en 5 niveles (Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto o si carece de información) el nivel de peligro al que se encuentran los AGEB, por la presencia del fenómeno de subsidencia y hundimiento, se puede tener una idea general de la situación en la que se encuentra cada una de estas unidades espaciales.

En el presente indicador hace falta la incorporación de mayor información para poder realizar un análisis del peligro mucho más preciso, es una herramienta perfectible, y que puede ayudar a la comprensión de manera general del peligro al que está expuesto cada AGEB por este fenómeno. Es importante mantener esta herramienta en constante actualización y en él se incorpore cada vez mayor información de diferentes factores que pueda contribuir a su mejora.



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



SECRETARÍA DE GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGOS Y
PROTECCIÓN CIVIL DE LA CIUDAD DE MÉXICO
DIRECCIÓN GENERAL DE ANÁLISIS DE RIESGOS
DIRECCIÓN DE ALERTAS TEMPRANAS



8. Bibliografía

- Alanis, A. (2011). *Tesis de Maestría en Ciencias en Geología: Identificación y descripción de riesgos geológicos por hundimientos al poniente de la Ciudad de México*. Ciudad de México: IPN.
- CENAPRED. (2021). *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos: Fenómenos Geológicos*. Ciudad de México.
- Centrogeo. (2004). *Los Riesgos Naturales Inherentes a la Cuenca de México*. Obtenido de <http://mapas.centrogeo.org.mx/geocm/GeoTexto/0501.htm>
- SGIRPC. (2022). *Atlas de Riesgos de la Ciudad de México*. Obtenido de <https://www.atlas.cdmx.gob.mx/principal/inicio>
- SMIG. (2019). Hundimiento regional en el Valle de México. *Geotecnia*(252), 21-24.
- Tomás, R., Herrera, G., Delgado, J., & Peña, F. (2009). *Subsidencia del terreno*. CORE.