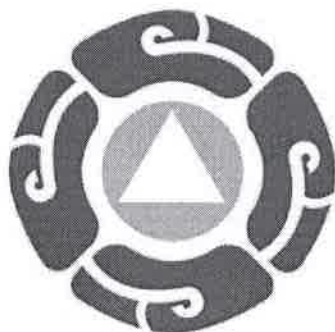




POTOSÍ
PARA LOS POTOSINOS
GOBIERNO DEL ESTADO 2021-2027



UASLP
Universidad Autónoma
de San Luis Potosí



PROTECCIÓN CIVIL
SAN LUIS POTOSÍ



Instituto de Geología

RIESGOS GEOLÓGICOS EN EL MUNICIPIO DE
SANTA CATARINA



POTOSÍ
PARA LOS POTOSINOS
GOBIERNO DEL ESTADO 2023-2027

SGG
SECRETARÍA GENERAL
DE GOBIERNO

**GOBIERNO DEL ESTADO DE SAN LUIS
POTOSÍ**

Lic. Ricardo Gallardo Cardona
Gobernador Constitucional del Estado
de San Luis Potosí

Lic. José Guadalupe Torres Sánchez
Secretario General de Gobierno

CMDT. Mauricio Ordaz Flores
Encargado del Despacho de la Coordinación
Estatad de Protección Civil

Coordinación Estatal de Protección
Civil de San Luis Potosí
Lago Danés No. 100
Fracc. Los Lagos
C.P. 78421 San Luis Potosí, S.L.P.

Riesgos Geológicos en el
Municipio de Santa Catarina

Subdirector de operaciones
Cesar Manuel Rocha Moreno

Área Operaciones

Ing. Jorge Uriel Cruz Castillo
Ing. Diana Ramírez Guerrero
Ing. Dafne Mota Navarro
F.M. Ignacio Antonio Aguirre
Dr. Valentina Castellanos Rodríguez

San Luis Potosí, S.L.P., México, abril de 2022

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS
POTOSÍ**

Dr. Javier Alejandro Zermeño Guerra
Rector

Mtro. Federico Arturo Garza Herrera
Secretario General

Dr. Rubén Alfonso López Doncel
Director del Instituto de Geología

Dr. José Rafael Barboza Gudiño
Por el apoyo durante su Gestión como Director
del Instituto de Geología.

PRESENTACIÓN

La Coordinación Estatal de Protección Civil del Estado de San Luis Potosí presenta el trabajo elaborado por el Área Operaciones, en estrecha colaboración del Instituto de Geología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

El propósito de este material es el de informar a las autoridades municipales de Protección Civil sobre las amenazas y riesgos geológicos en el Estado y en particular en su municipio, con la finalidad de que se tomen las medidas preventivas pertinentes para salvaguardar a la población, diseñar programas de prevención y mitigación de desastres, así como favorecer un crecimiento ordenado y seguro de las Regiones motivo del presente.

El Estado de San Luis Potosí presenta diferentes amenazas y riesgos geológicos debido a su geomorfología, edafología, litología e hidrología, motivo de la importancia de dichos estudios, principalmente en las regiones Media y Huasteca.

PRÓLOGO

Hoy en día es evidente la constante preocupación de la población sobre los diferentes fenómenos presentados en nuestro entorno, dicha preocupación se deriva por la falta de conocimiento respecto al origen que los provoca así como el temor de encontrarse establecidos en zonas poco seguras. Siendo importante resaltar, que ellos mismos son vulnerables al desconocer el cómo actuar ante cualquier amenaza inminente.

Es así, cuando se convierte una necesidad fundamental el promover el conocimiento y la continua capacitación respecto a dichos temas, sin dejar a un lado que, las funciones de la protección civil son meramente preventivas y de coordinación, es decir, se trata de arbitrar todos los medios para evitar que se produzca una catástrofe o desastre que ponga en peligro a la población.

Los resultados obtenidos mediante las diferentes campañas de investigación en conjunto con el Instituto de Geología, permitirán tomar decisiones más certeras a las autoridades; y sin duda, este material, que conjunta elementos teóricos generales en los campos de la Geología y Sismología principalmente, constituye una referencia técnica no solo para quienes nos encontramos encargados de expedir el presente documento, sino para todos aquellos Directores de Protección Civil en cada municipio del Estado y dependencias del sector público federal y local.

La fecha de actualización del mismo es del mes de junio de 2020, por lo cual es un compromiso de cada uno de los encargados en materia de protección civil, el contribuir a alimentarlo con base a los hechos que se susciten día con día, siempre con la misión de beneficiar a la población. Se entiende también que los trabajos de investigación serán continuos y permanentes y, periódicamente, se verá modificada la información proporcionada en el presente trabajo.

*Área Operaciones
Coordinación Estatal de Protección Civil
San Luis Potosí, S.L.P, julio 2020*

ÍNDICE

Introducción.....	1
I. Amenazas y riesgos geológicos en el Estado de San Luis Potosí.....	3
I.1. Generalidades	4
I.2. Geomorfología	6
I.3. Amenazas y riesgos geológicos	9
I.3.1. Fallas y fracturas	9
I.3.2. Estructuras kársticas y riesgo potencial.....	11
I.3.2.1. Tipos de karst.....	14
I.3.3. Riesgo por deslizamiento de laderas y taludes inestables.....	19
I.3.4. Sismicidad en el Estado de San Luis Potosí	24
I.3.4.1. Regiones de influencia sísmica	31
I.3.4.2. Posibles estructuras sismogénicas	32
II. Peligros y Riesgos Geológicos en el Municipio de Santa Catarina.....	36
II.1. Generalidades.....	37
II.2. Geología.....	38
II.3. Geomorfología	39
II.4. Fallas y fracturas.....	40
II.5. Estructuras kársticas y riesgo potencial	44
II.6. Sismicidad en el municipio de Santa Catarina (1976–2020).....	47
II.7. Deslizamiento de laderas y taludes inestables	51
III. Bibliografía	54

Introducción

Debemos entender que la Tierra constituye un reto, al ser un ente dinámico con muchas partes que interaccionan entre sí. En el transcurso de su larga y compleja existencia, la Tierra ha ido cambiando. Lo que generalmente no se comprende es que en algunas ocasiones los cambios pueden ser rápidos y violentos, como cuando se producen deslizamientos o erupciones volcánicas. Pero a menudo, los cambios tienen lugar de una manera tan lenta que no se aprecian durante toda una vida.

Es entonces que la población día a día está expuesta ante el dinamismo de la Tierra, es decir, a los fenómenos de origen natural que tras su paso no respetan regiones habitadas, simplemente ocurren. Por ello una adecuada educación de protección civil permitirá tener individuos preparados y menos vulnerables a un siniestro.

Los Fenómenos Geológicos se describen en la Ley General de Protección Civil (DOF, 2012), como agentes perturbadores que tienen como causa directa las acciones y movimientos de la corteza terrestre. A esta categoría pertenecen los sismos, las erupciones volcánicas, los tsunamis, la inestabilidad de laderas, los flujos, los caídos o derrumbes, los hundimientos, la subsidencia y los agrietamientos (última Reforma DOF 23-06-2017).

Por lo anterior resalta la importancia de contar con trabajos de investigación que cubran las áreas más vulnerables del Estado, con la finalidad de mejorar la toma de decisiones en cuanto al desarrollo urbano y el proveer las herramientas necesarias a la población que se identifique en amenaza.

La carpeta de Riesgos Geológicos, es uno de los productos obtenidos dentro del programa de inversión denominado "Integración de sistemas e infraestructura de monitoreo geofísico para identificar los riesgos geológicos en centros poblaciones de las zonas Media y Huasteca en el Estado de San Luis Potosí", el cual se encuentra financiado mediante el convenio de colaboración entre el Fondo para la Prevención de Desastres (FOPREDEN) y el Gobierno del Estado de San Luis Potosí a través de la Coordinación Estatal de Protección Civil, mismo que data del año 2008, y en el que participaron el Instituto de Geología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, el Servicio Sismológico Nacional de la UNAM, el Centro de Geociencias de

la UNAM-Campus Juriquilla, Qro., así como el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).

El contenido de la presente consiste en un apartado general de riesgos en el Estado, lo cual permitirá conocer a grandes rasgos sobre los fenómenos geológicos a escala estatal así como el mantener informada a la comunidad sobre los fenómenos existentes en su entorno; y un apartado de riesgos geológicos del municipio, acompañado de medidas preventivas y recomendaciones en caso de presentarse alguno de los fenómenos englobados en el presente material. Asimismo, gracias a los estudios realizados, será posible identificar centros poblacionales vulnerables a fin de implementar los programas preventivos necesarios e incidir positivamente en la planeación del desarrollo urbano.

De acuerdo a los objetivos iniciales en dicho programa, resalta el llevar a cabo un monitoreo adecuado de la Sismicidad en el Estado y sus alrededores, gracias a los equipos adquiridos por el proyecto, mismos que se caracterizan por tener una gran sensibilidad. Cabe resaltar que la Región Media es la zona con mayor microsismicidad (sismos de magnitud menor a 3.0) y macrosismicidad, según registros del Servicio Sismológico Nacional (SSN), y que por las condiciones de la región se infieren a ser originados por derrumbes provocados por la abundancia de karst. Guadalcázar es el municipio con mayor cantidad de sismos registrados en el Estado (17), seguido por los municipios de Rioverde y Santa Catarina (16) en el periodo comprendido de enero de 1976 a junio de 2020.

Además será posible localizar con mayor precisión la magnitud e intensidad de cualquier evento de esta naturaleza que se presente en la zona de estudio, determinando con esto el posible daño potencial que pueda generar hacia las comunidades dependiendo de la densidad de población. San Luis Potosí ha dado un gran paso. La información generada será de gran valor a nivel nacional, ya que contribuirá a la red sísmica del país; tanto la población como el campo de investigación se verán beneficiados al disponer de información en tiempo real, que les ayudará a tomar decisiones y llevar a cabo actividades de logística y planeación que reduzcan los riesgos provocados por los fenómenos geológicos.

I. Amenazas y riesgos geológicos en el Estado de San Luis Potosí



I.1. Generalidades

Ubicación

El estado de San Luis Potosí se localiza en la altiplanicie central mexicana, entre los paralelos 21°09'35" y 24°33'09" de latitud norte y los meridianos 98°19'52" y 102° 17' 51" de longitud oeste.

Sus colindancias son: al noreste con Nuevo León y Tamaulipas; al este con Veracruz y Tamaulipas; al sur con Hidalgo, Querétaro y Guanajuato; y al oeste con Zacatecas. La superficie total del estado es de 61,165 km² y representa aproximadamente el 3.12% de la superficie total del país (Figura 1).

Municipios

El estado de San Luis Potosí está constituido por 58 municipios en 4 regiones (Figura 1):

-Zona Altiplano (Catorce, Cedral, Charcas, Guadalcázar, Matehuala, Moctezuma, Salinas de Hidalgo, Sto. Domingo, Vanegas, Venado, Villa de Arista, Villa de Guadalupe, Villa Hidalgo, Villa de la Paz, Villa de Ramos).

-Zona Centro (Ahuaculco, Armadillo de los Infante, Cerro de San Pedro, Mexquitic de Carmona, San Luis Potosí, Sta. Ma. Del Río, Soledad de Graciano Sánchez, Tierra Nueva, Villa de Arriaga, Villa de Reyes, Villa de Zaragoza).

-Zona Media (Alaquines, Cárdenas, Cerritos, Cd. Del Maíz, Cd. Fernández, Lagunillas, Rayón, Rioverde, Santa Catarina, San Ciro de Acosta, San Nicolás Tolentino).

-Zona Huasteca (Aquismón, Axtla de Terrazas, Cd. Valles, Coxcatlán, Ébano, El Naranjo, Huehuetlán, Matlapa, San Antonio, San Martín Chalchicuautla, San Vicente Tancuayalab, Tamasopo, Tamazunchale, Tampacán, Tampamolón Corona, Tamuín, Tancanhuitz de Santos, Tanlajás, Tanquián de Escobedo, Xilitla).

Población (INEGI, 2015): 2,717,820 habitantes

Densidad de población: 42.6 hab/km²

Altitud media: 1,638 m.s.n.m.

Altitud máxima: 3,180 m.s.n.m.

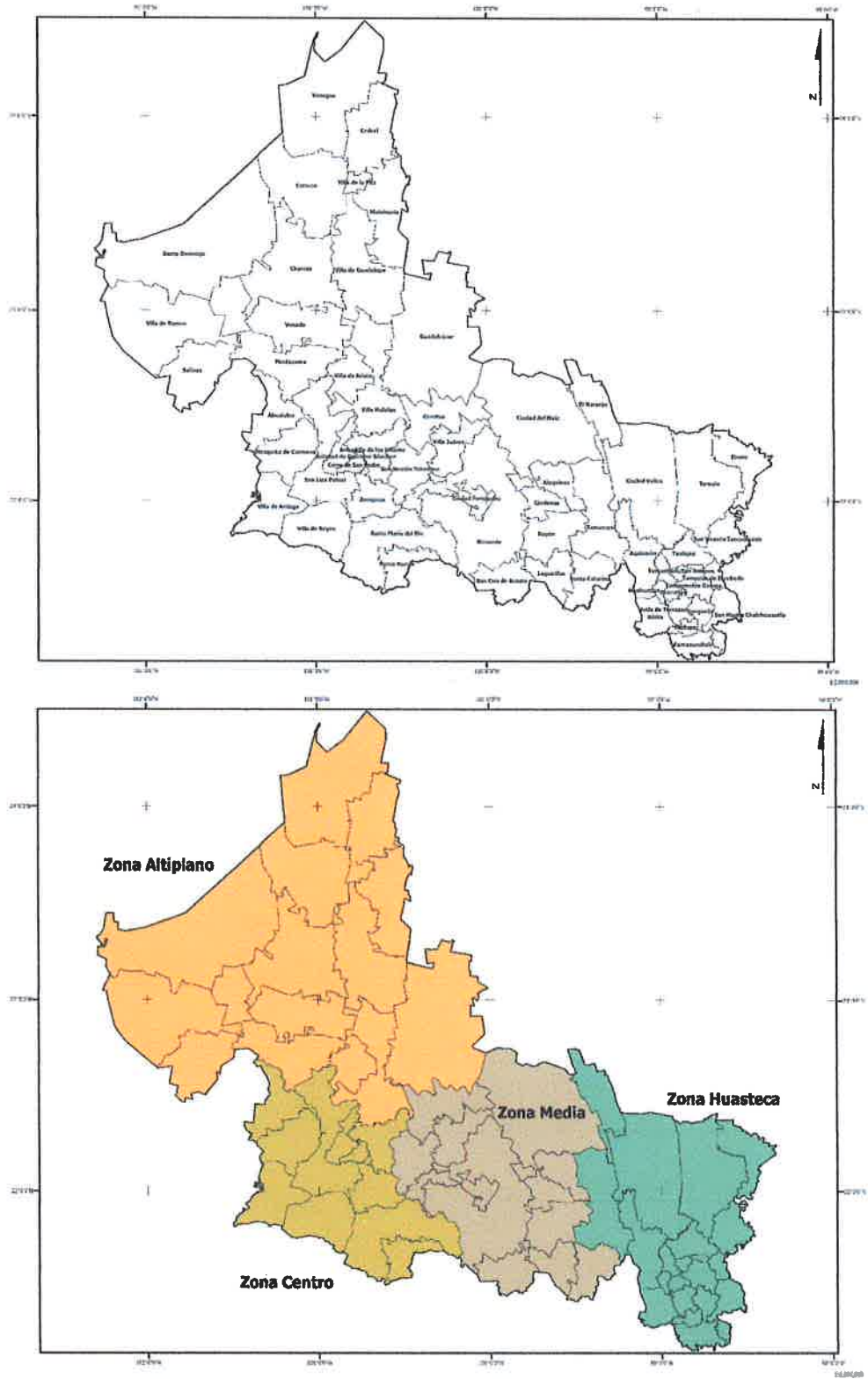


Figura 1. Municipios del Estado de San Luis Potosí.

I.2.Geomorfología

La geomorfología se considera un factor condicionante para la identificación de sitios con riesgo por deslizamiento. En el estado se observan diversas geoformas como sierras, llanuras, lomeríos, bajadas, valles y cañones, siendo las tres primeras las más predominantes en gran parte del territorio potosino y las geoformas más características donde se puede presentar un deslizamiento.

Las geoformas son muy variadas en la región ya que depende de diversos factores (composición, estructura, terreno, clima, escorrentías entre otros) que van estableciendo la superficie terrestre y su variación de las diferentes formas del relieve.

Las Regiones Media y Huasteca están incluidas dentro de las provincias Sierra Madre Oriental en su mayor parte, y solamente la Región Huasteca cae en la Llanura Costera del Golfo Norte.

En general, la provincia Sierra Madre Oriental está conformada por un conjunto de sierras plegadas con altitudes que varían entre los 2,000 y 3,000 msnm, comprendiendo un 57.08% de la superficie total del Estado (INEGI, 1985). Debido a la predominancia de calizas en la región, se han producido particularmente en la porción media y sur considerables manifestaciones de karst, y la intensa infiltración del agua en el subsuelo ha formado extensos sistemas de cavernas y abundantes manantiales (INEGI, 1985). Suelen formarse algunas dolinas e inclusive hundimientos más grandes y mogotes (elevaciones del terreno, prominentes y aisladas), ocasionalmente de gran altura y de formas caprichosas, que se pueden observar en el Valle de los Fantasma (SGM, 2007).

II.2.1 Geoformas:

Las geoformas representativas en el estado se observan en la Figura 2.

- Bajada.-** La bajadas son escasas en las regiones Media y Huasteca, presentándose unas pequeñas áreas al norte- oriente y norte-poniente.
- Cañón.-** Se encuentra en muy pocas porciones al sur de la Zona Media y muy limitada al sur-oriente de la Zona Huasteca.
- Llanura.-** La mayor proporción se localiza en la fracción centro, norte y sur de la Zona Media correspondiendo con las partes bajas. A su vez, la Zona Huasteca se encuentra en menor cantidad en el municipio de Ébano y Tamuín.
- Lomerío.-** Con mayor proporción en la Zona Huasteca abarcando la porción centro y norte.
- Sierra.-** En la zona media se ubica en la parte occidental, oriental y meridional y en la Zona Huasteca en la porción sur y poniente, abarcando los lugares más altos correspondiendo a rocas calizas marinas.
- Valle.-** Ubicado en pequeñas porciones en la Zona Huasteca en la parte sureste y noroeste, en la zona media en muy pequeña fracción al noroeste.
- Meseta.-** Se localiza en menor proporción en la parte oeste del Estado y una minoría en la porción oriental.

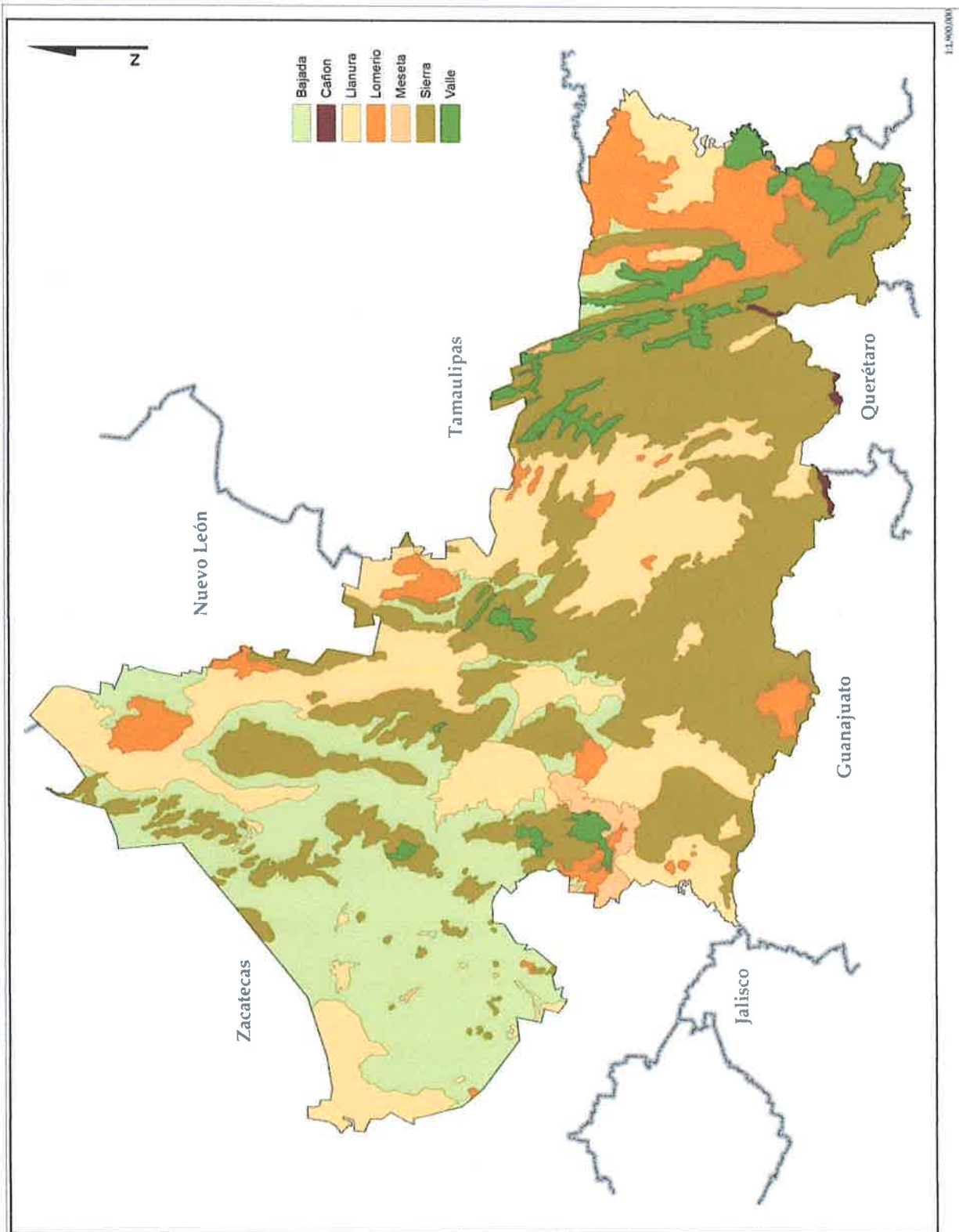


Figura 2. Geomorfología en el Estado (elaboración propia con información de INEGI, 2009).

I.3. Amenazas y riesgos geológicos

I.3.1. Fallas y fracturas

Una falla geológica es una discontinuidad (fractura o grieta) entre dos bloques de roca que ha sido desplazada uno con respecto del otro como producto de rasgos de origen tectónico (movimientos de la corteza), esfuerzos regionales o esfuerzos locales. El desplazamiento reconocible de una falla va desde unos pocos centímetros hasta kilómetros.

Las fallas pueden ser de tres tipos:

a) Inversas: un bloque está fijo y el otro (techo) se desplaza hacia arriba, como producto de esfuerzos compresivos (Figura 3.a).

b) Normales: uno de los bloques se desliza hacia abajo (techo) en relación a uno fijo; producto de una extensión (Figura 3.b); y

c) Transcurrentes: cuyo desplazamiento es horizontal (Figura 3.c).

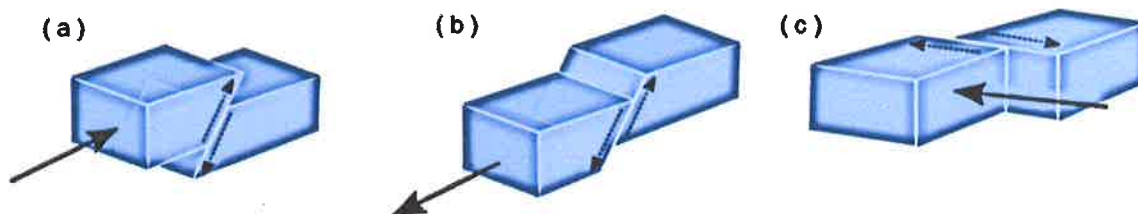


Figura 3. Tipos de fallas geológicas (tomado de Petit, 1987; Doblas, 1998).

De manera progresiva las fallas detectadas en la superficie se generan por el fenómeno de subsidencia, éste último provocado por la compactación del material que rellena a las cuencas sedimentarias debido a la extracción de grandes volúmenes de agua del subsuelo (Arzate-Flores *et al.*, 2006). Por esto, en los últimos 25 años se ha acelerado el crecimiento de la población y a su vez la perforación de pozos profundos, lo que ha ocasionado la sobreexplotación de los acuíferos y los asentamientos diferenciales del terreno en zonas urbanas (IG, 2018). Por lo tanto, los hundimientos generan agrietamientos y fallas o fracturas que dañan a la infraestructura urbana, líneas de comunicación y conducción o a los campos de cultivo y ocasionalmente representan peligros o riesgo para la población (IG, 2018).

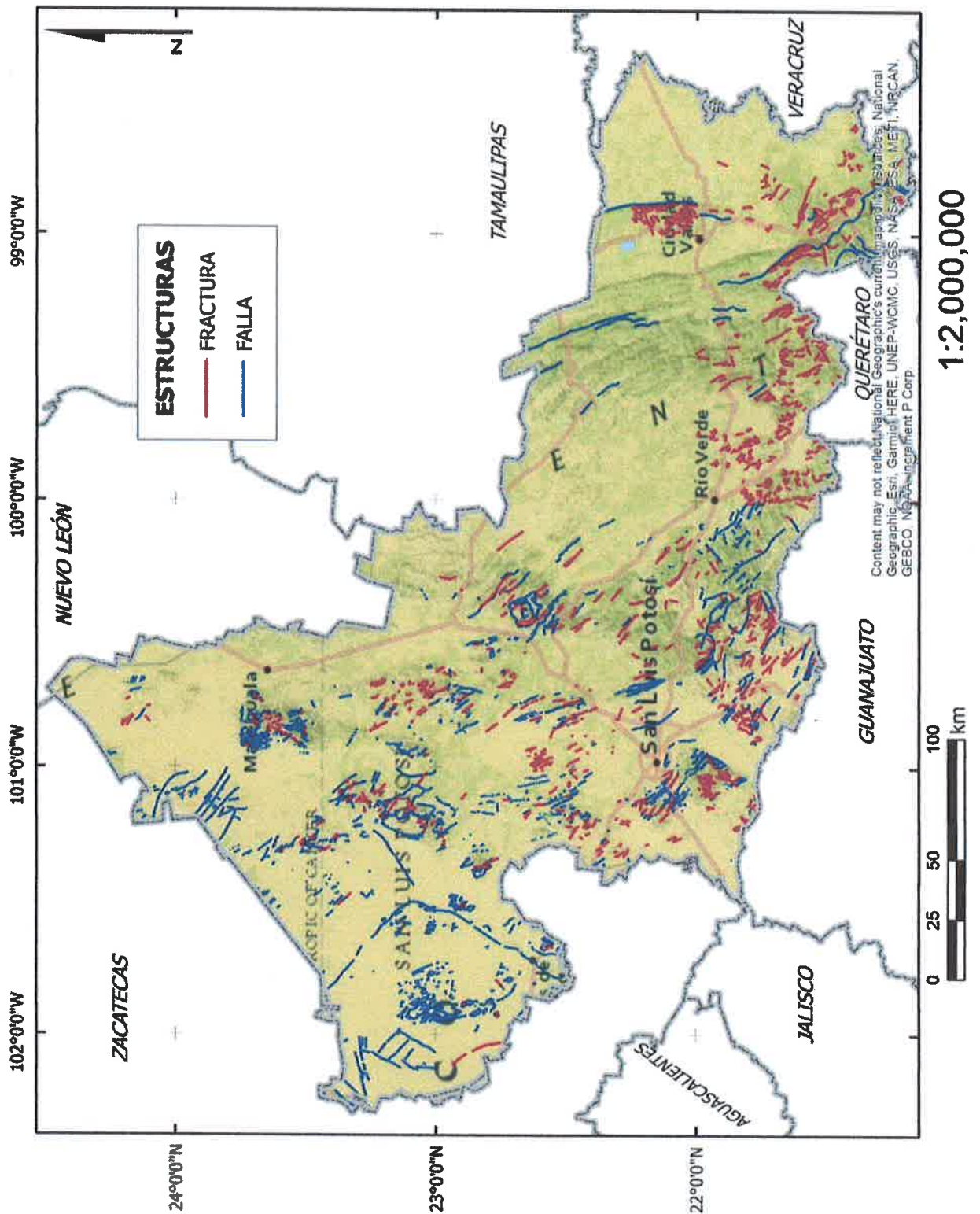


Figura 4. Fallas y fracturas en el Estado (elaboración propia con información del SGM, Actualización del Atlas de Riesgos para el municipio de SLP y salidas técnicas por la CEPC).

I.3.2. Estructuras kársticas y riesgo potencial

La porción central y el sureste del Estado de San Luis Potosí, se caracterizan por la presencia de la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental (Figura 5), la cual fundamentalmente se encuentra compuesta por rocas sedimentarias marinas, entre las que predominan las rocas calizas, produciendo en la porción media y sur manifestaciones de karst.

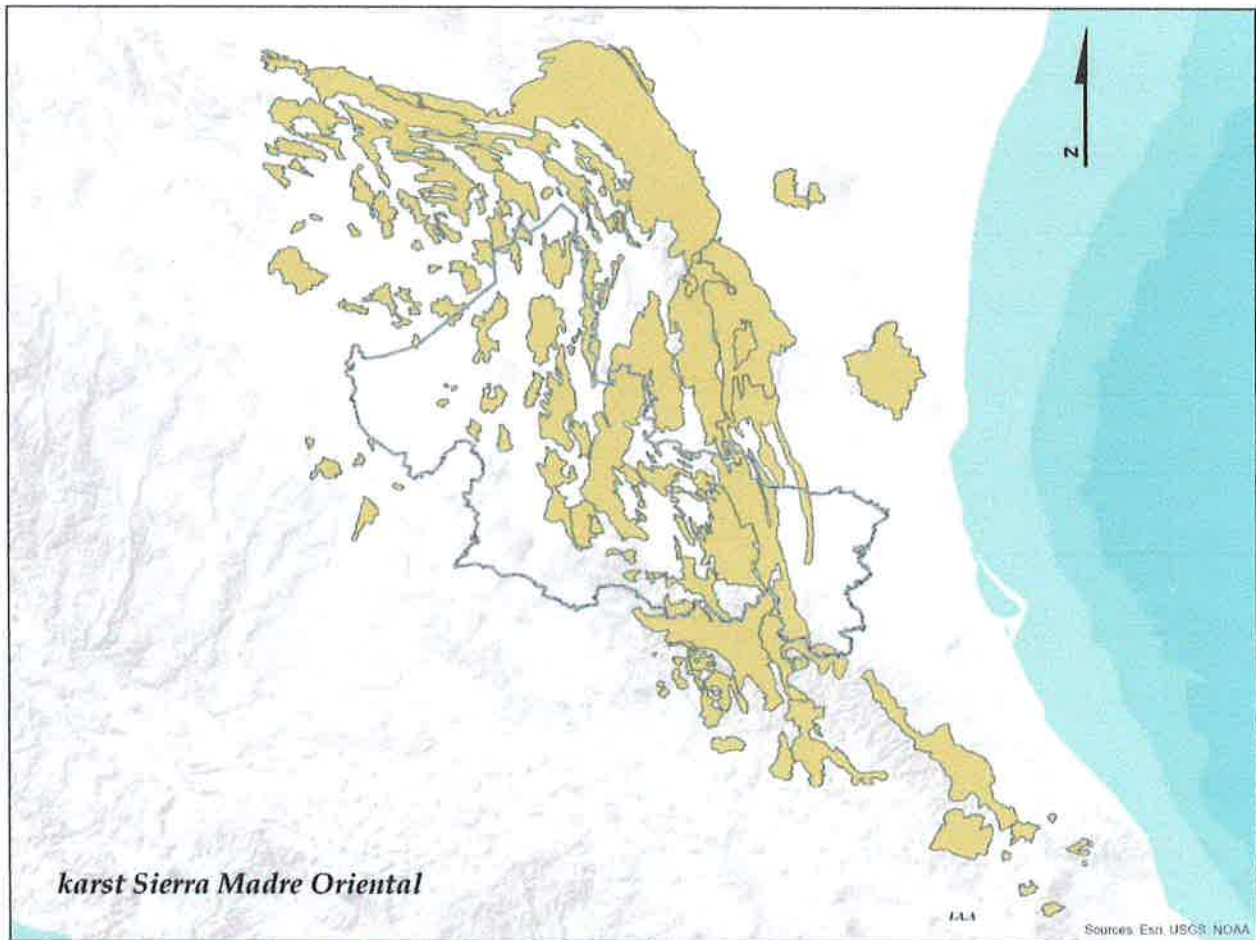


Figura 5. Distribución del karst en la Sierra Madre Oriental (elaboración propia con información del CENAPRED).

Con el nombre de relieve kárstico o karst, se conoce a una forma de relieve originada por la meteorización química de rocas como la caliza, dolomía o yeso, entre otras (Tarbuck y Lutgens, 2005). Básicamente, tal fenómeno ocurre al combinarse la lluvia con el bióxido de carbono de la atmósfera, formando una mezcla ligeramente ácida capaz de disolver la roca caliza, y posteriormente, ocasiona precipitaciones de CaCO_3 en el interior de las cuevas (Gunn, 2004). Tanto las aguas superficiales como las subterráneas van disolviendo la roca, creando diversas formas kársticas (Gunn, 2004).

En las etapas de formación de un paisaje *kárstico* el agua de lluvia se infiltra a través de la roca caliza a lo largo de planos o espacios donde pueda seguir su camino. La actividad de la disolución crea cavernas en el nivel freático, las que gradualmente van aumentando de tamaño en la profundidad. Por estructuras como las dolinas, se canalizan las corrientes superficiales (ríos) por debajo del terreno, que con el paso del tiempo, aumentan el tamaño de las cavernas (Gunn, 2004).

Dentro de las formas *kársticas* originadas tenemos las dolinas (Figura 6), que son depresiones superficiales que pueden formarse de manera gradual como abrupta, siendo las últimas de mayor importancia por su peligro potencial en zonas habitadas, pudiendo ocasionar sin advertencia alguna el desplome del techo de una gruta, constituyendo un riesgo geológico alto (Tarbuck y Lutgens, 2005).

Tal fenómeno tiene un poder altamente destructivo al causar hundimientos violentos del suelo como socavones (Figura 7), así como fallas estructurales en viviendas e infraestructura urbana y derrumbes repentinos de cavernas subterráneas.

En general, las zonas áridas y semiáridas son demasiado secas para desarrollar topografía kárstica, como en el caso de las Regiones Altiplano y Centro (Tarbuck y Lutgens, 2005).

Dentro los tipos de *karst* mencionados en el presente trabajo, resaltan las zonas donde aparecen principalmente los tipos karst tropical y karst cálido sub-húmedo en las regiones Media y Huasteca, debido a las condiciones de alta humedad y presencia de agua, así como la existencia de roca caliza; siendo necesarios estudios de sondeos eléctricos verticales, que descarten la presencia de cavernas principalmente en zonas pobladas.



Figura 6. Paisaje kárstico donde se observan estructuras como dolinas (o torcas), simas (aberturas estrechas que comunican la superficie con las galerías subterráneas), cuevas y galerías (estructura subterránea construida para alcanzar un acuífero). (Tomada de Geología, 2012).

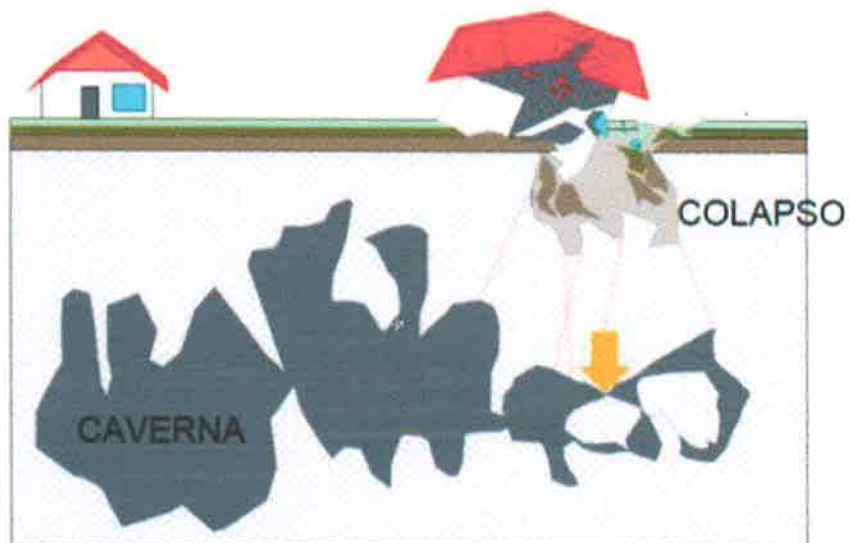


Figura 7. Esquema que representa un colapso y la afectación estructural de una vivienda, debido a un asentamiento hacia la profundidad en un ambiente kárstico.

I.3.2.1. Tipos de karst

Karst semiárido fósil o inactivo

Este karst (Figura 8) ocupa tan solo una pequeña área en el norte del Estado en el municipio de Vanegas, en su límite con los estados de Nuevo León y Zacatecas. No hay localidades urbanas dentro del área. Por lo tanto, el riesgo por karsticidad es bajo.

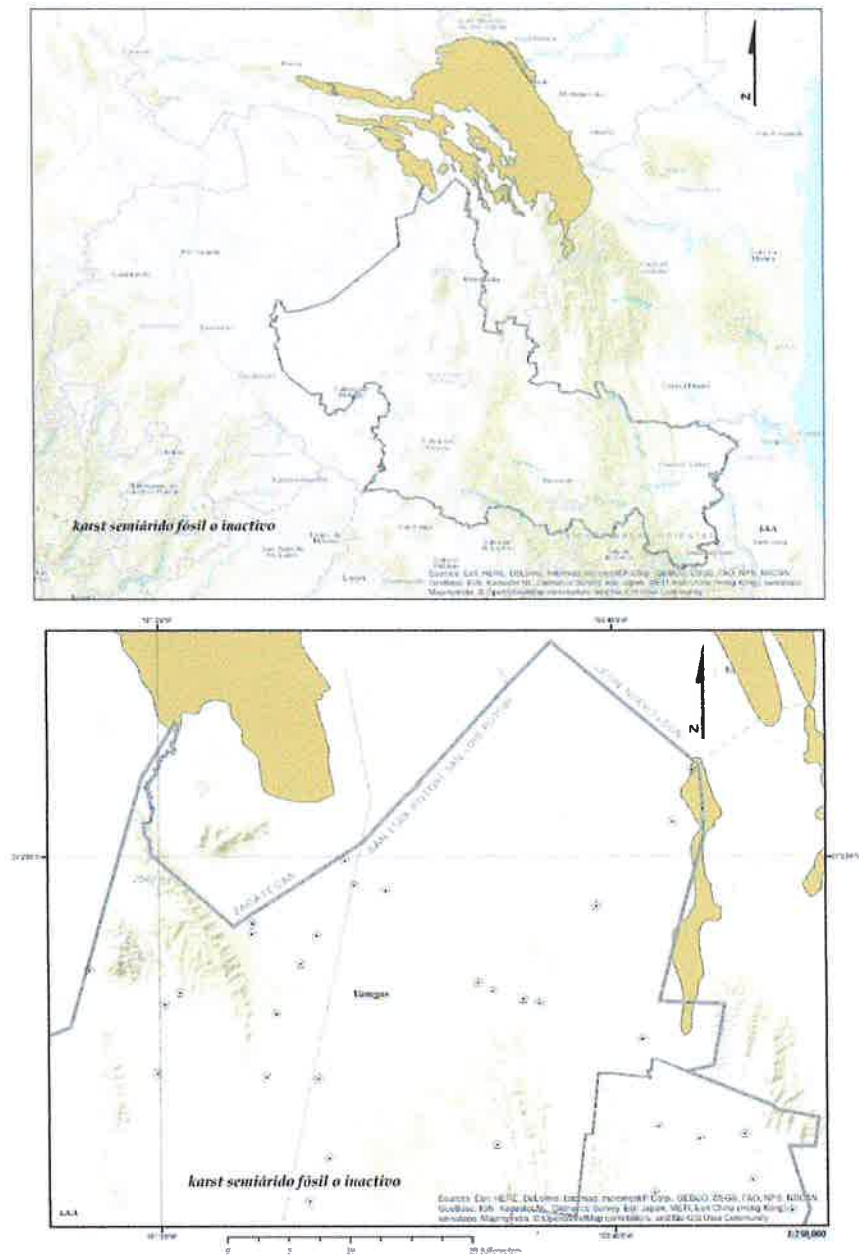


Figura 8. Distribución del karst semiárido fósil (elaboración propia con información del CENAPRED).

Calizas no karstificadas

Este karst (Figura 9) se encuentra en algunas partes de la región altiplano y en menor medida en la región centro del Estado. Localidades urbanas dentro del área son: Moctezuma, Villa Hidalgo, Armadillo de los Infante y Cerro de San Pedro. El riesgo de karsticidad es bajo.

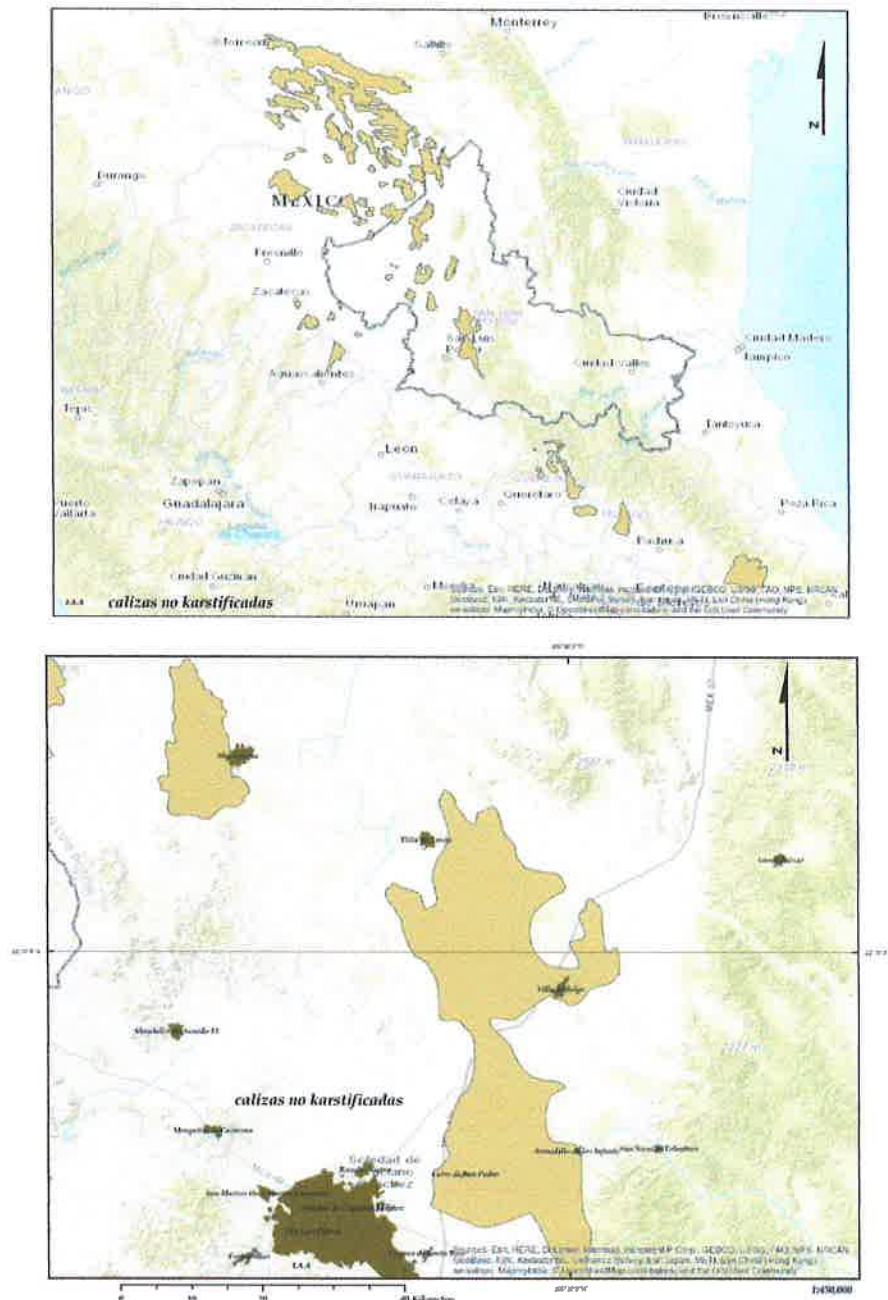


Figura 9. Distribución de calizas no karstificadas (elaboración propia con información del CENAPRED).

Karst bosque lluvioso

Este tipo de karst (Figura 10) se presenta tan solo en una pequeña área de la Huasteca norte, al noroeste del municipio de El Naranjo casi en los límites con el estado de Tamaulipas, y en la Huasteca sur, al suroeste de Xilitla en los límites con el estado de Querétaro. No hay localidades urbanas dentro de las áreas identificadas. El riesgo de karsticidad es de grado medio.

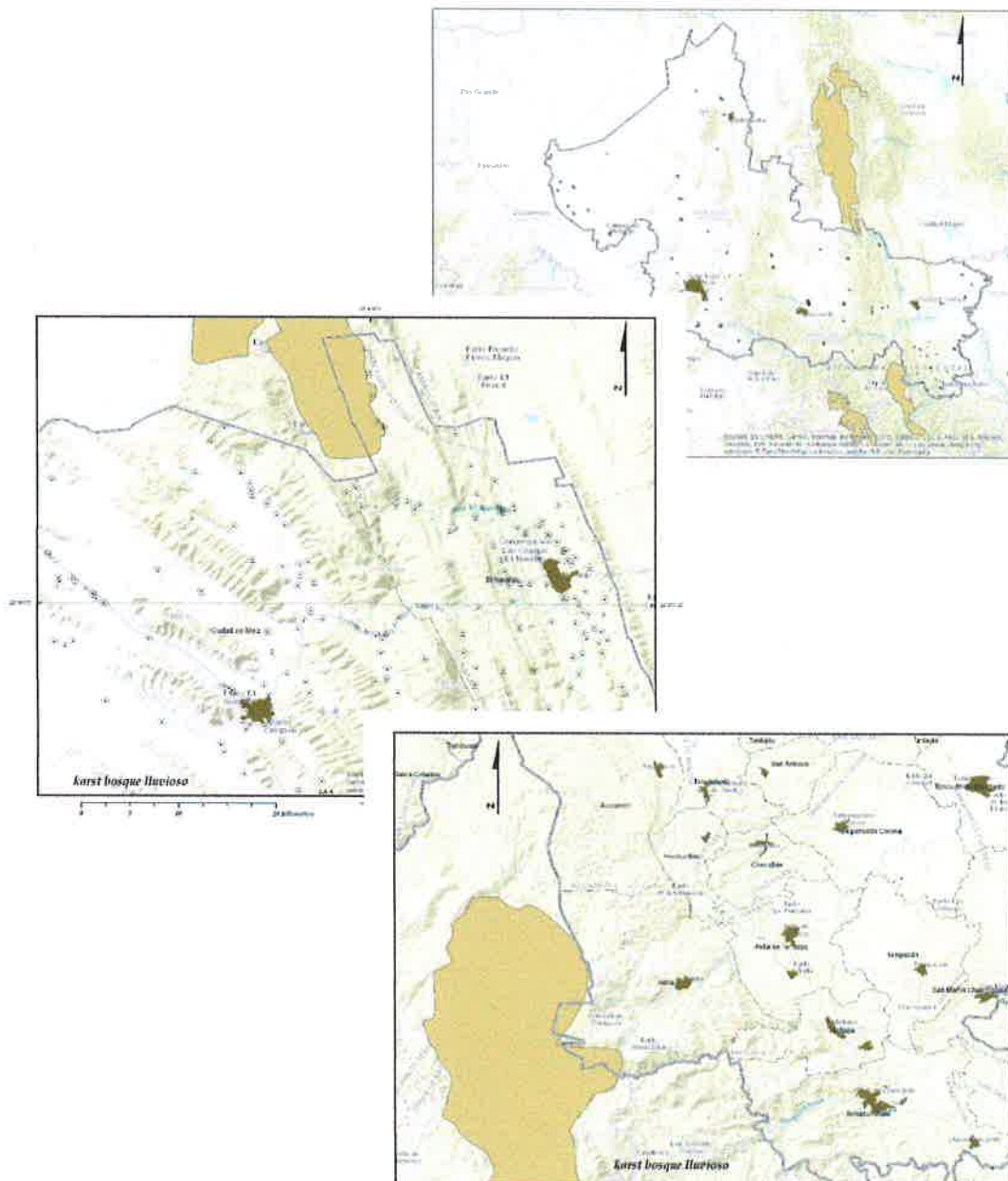


Figura 10. Distribución de karst bosque lluvioso (elaboración propia con información del CENAPRED).

Karst cálido subhúmedo

Este karst se encuentra presente en las cuatro regiones del estado. Dentro de este tipo de karst (Figura 11) se encuentran las localidades urbanas de los municipios de Villa Juárez, San Ciro de Acosta, Villa de La Paz, Catorce, Guadalcázar, Armadillo de los Infante, San Nicolás Tolentino, Cerritos, Lagunillas, Rayón, Alaquines, Cárdenas, Ciudad del Maíz, Tamasopo, Agua Buena y Tambaca. En estas zonas el fenómeno de karsticidad se presenta de manera moderada. Por lo tanto el riesgo de karsticidad es de grado medio.

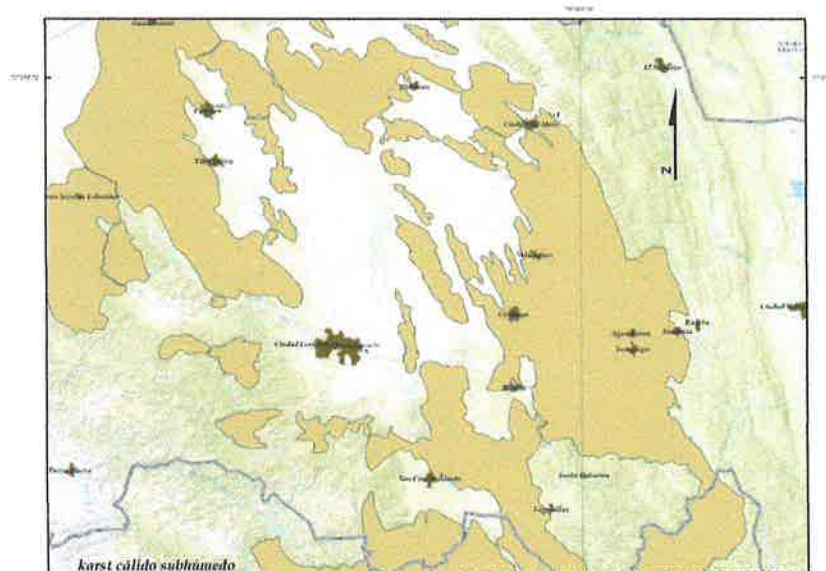
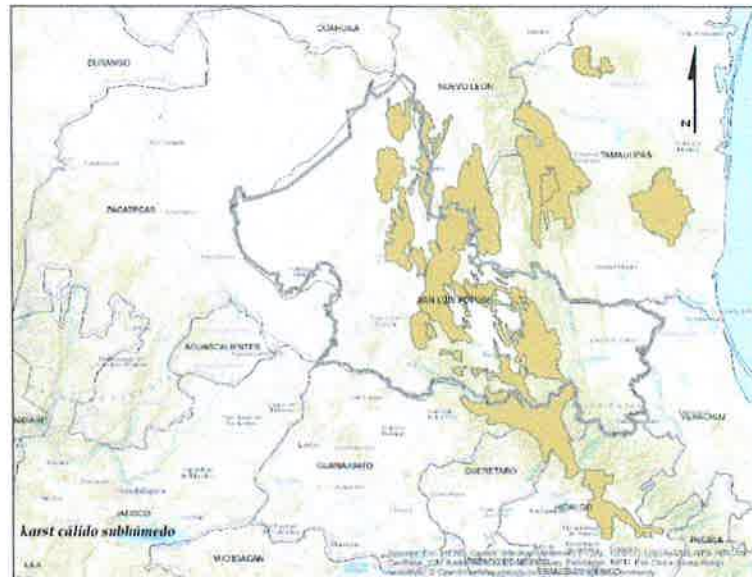


Figura 11. Distribución de karst cálido subhúmedo (elaboración propia con información del CENAPRED).

Karst tropical

Es en esta zona donde se presenta más el fenómeno de karsticidad y se encuentra principalmente en la región Huasteca (Figura 12). Localidades urbanas dentro del área son: El Naranjo, Rascón, Aquismón, Xilitla y Tamazunchale. Si bien existen pocas localidades urbanas dentro del área de influencia, sí existe un gran número de localidades rurales puntuales. Queda pendiente hacer estudios de campo en esas localidades para determinar el grado de karsticidad y riesgo en dichas localidades.

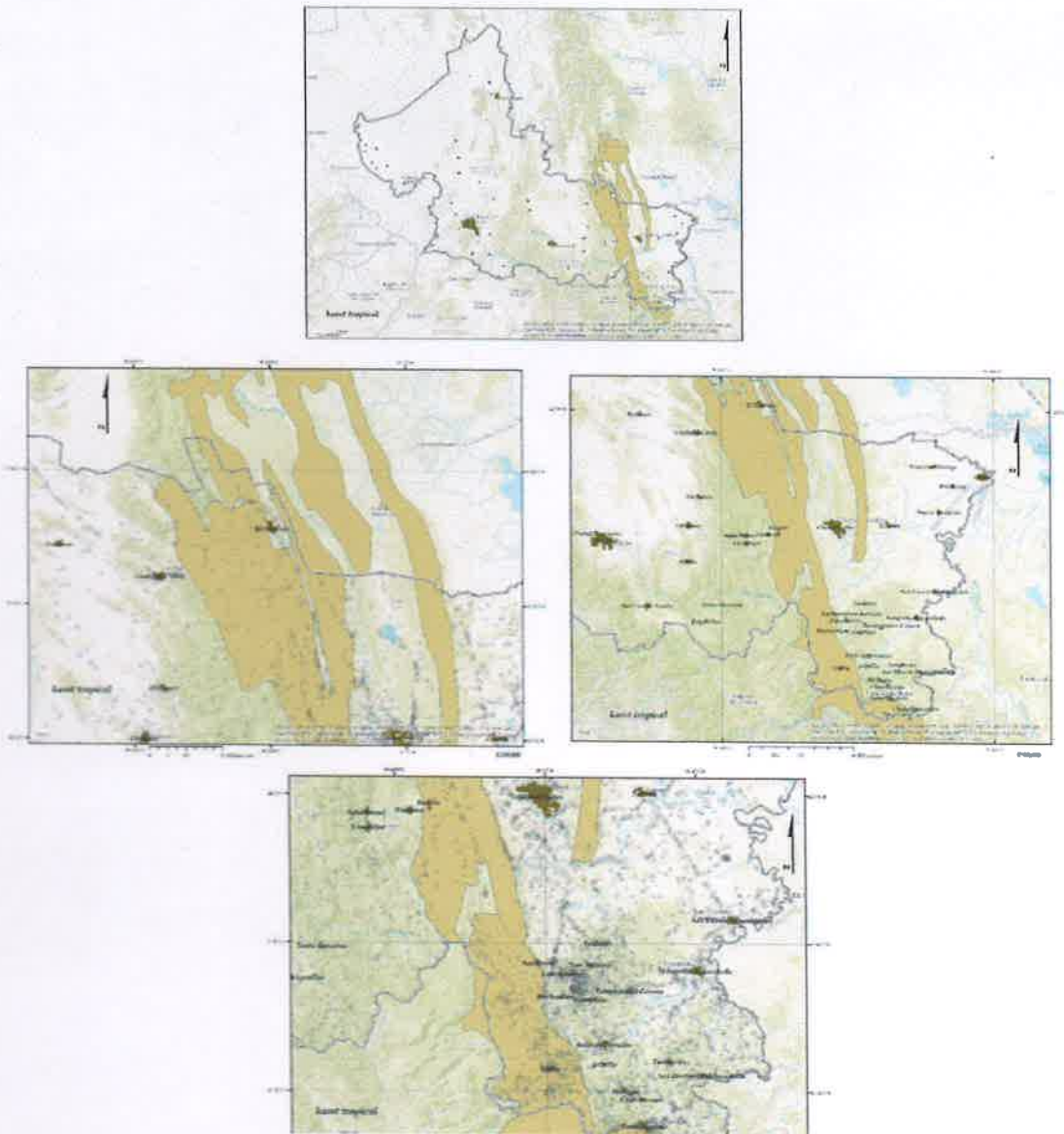


Figura 12. Distribución de karst tropical (elaboración propia con información del CENAPRED).

I.3.3. Riesgo por deslizamiento de laderas y taludes inestables

Los deslizamientos en masa son fenómenos más factibles de ocurrir en áreas con relieve considerable, aunque dándose las condiciones propicias del tipo de material y humedad, pueden suceder deslizamientos en áreas topográficamente poco accidentadas, con pendientes de pocos grados.

Los tipos de movimientos que puede tener una ladera inestable son tres principalmente:

- Los **caídos o derrumbes**, son movimientos abruptos de suelos y fragmentos aislados de rocas que se originan en pendientes pronunciadas y acantilados, por lo que el movimiento es de caída libre, rodando y rebotando (CENAPRED, 2005; Figura 13.A).
- Los **deslizamientos** son movimiento de masas de suelo sobre una o varias superficies de falla, los cuales tienen un alto potencial de destrucción (CENAPRED, 2005; Figura 13.B).
- Los **flujos**, consisten en movimientos de suelos y/o fragmentos de roca pendiente abajo de una ladera, en donde sus granos o fragmentos tienen movimientos dentro de la masa que se desliza; casi siempre ocurren tras lluvias muy intensas, encausándose por barrancas, cañadas y valles, destruyendo lo que encuentran a su paso (CENAPRED, 2005; Figura 13.C).

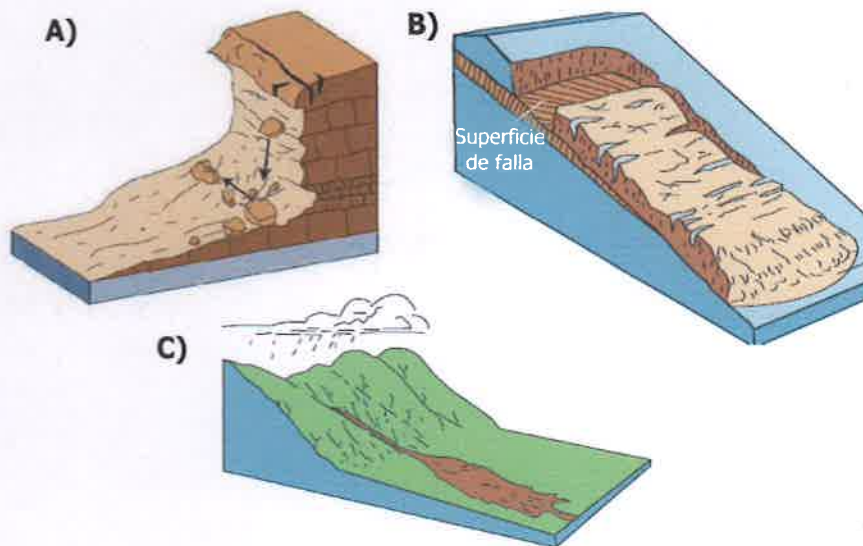


Figura 13. Tipos de movimientos en la inestabilidad de laderas. A) Caído de bloques, B) Deslizamiento, C) Flujos de lodo. (Imágenes tomadas de USGS, 2008).

Diversos son los factores que pueden llegar a influir en la aceleración de los procesos de inestabilidad de laderas, ya sea por el resultado de la combinación de los mismos, o simplemente por la ocurrencia de factores de origen natural así como los causados por el hombre. Entre los primeros destaca el clima, el cual influye directamente en la temperatura, humedad y principalmente, la lluvia (CENAPRED, 2005). Rara vez actúa solo un factor, más bien, la combinación de factores condicionantes (los que inciden en el proceso) y desencadenantes (los que activan el proceso).

Los factores condicionantes son de origen geológico (litología y estructuras), climáticos, estructurales, topográficos, geomorfológicos, el tipo de vegetación, erosión, cambio del nivel freático de las aguas subterráneas, entre otros (CENAPRED, 2005).

En cuanto a los factores desencadenantes se incluyen los naturales y los de origen humano; los primeros se relacionan con las fuertes precipitaciones, inundaciones, volcanismo, sismicidad y cambios de volumen (hielo-deshielo). Dentro de los factores mismos provocados por el hombre se tiene: el aumento de peso de talud por acumulación de escombros o construcciones, excavación de materiales del pie de talud, creación de taludes artificiales, deforestación de taludes y explosiones realizadas en la construcción de minas o carreteras (CENAPRED, 2005).

Sin embargo, existe un alto riesgo en cualquier población que se encuentre asentada sobre las laderas de los cerros y que cuenten con un tipo de suelo arcilloso, por lo que comúnmente estos riesgos se presentan en la Región Media y Huasteca. También, en las áreas peri-urbanas, los movimientos de masa tienen una mayor probabilidad de ocurrir, desencadenados por lluvias intensas, eventos sísmicos o interferencia del hombre (Montiel *et al.*, 2007).

El estudio de Domínguez-Morales *et al.* (2016), presenta el Mapa de Regiones Potenciales de Deslizamiento (Figura 14), en el cual los municipios de El Naranjo y Ciudad Valles caen dentro de la zona identificada como Golfo Norte.



Figura 14. Regiones potenciales de deslizamiento (Tomado del Atlas Nacional de Riesgos, CENAPRED).

En el Mapa Nacional de Susceptibilidad por Inestabilidad de Laderas (Figura 15) se identifican Regiones de México más susceptibles a la ocurrencia de este tipo de fenómenos.

La susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica qué tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste para que pueda ocurrir inestabilidad, refiriéndose a factores condicionantes a los materiales naturales de la ladera, sin considerar factores desencadenantes como la precipitación o la sismicidad (CENAPRED, 2005). Por lo cual solo consideran como principales factores a las capas de geología (litología), topografía (pendientes pronunciadas) y el uso de suelo y vegetación. Una gran porción de la Región Huasteca se considera el grado de riesgo de alto a medio, más notable en las zonas de sierras o de topografía abrupta.

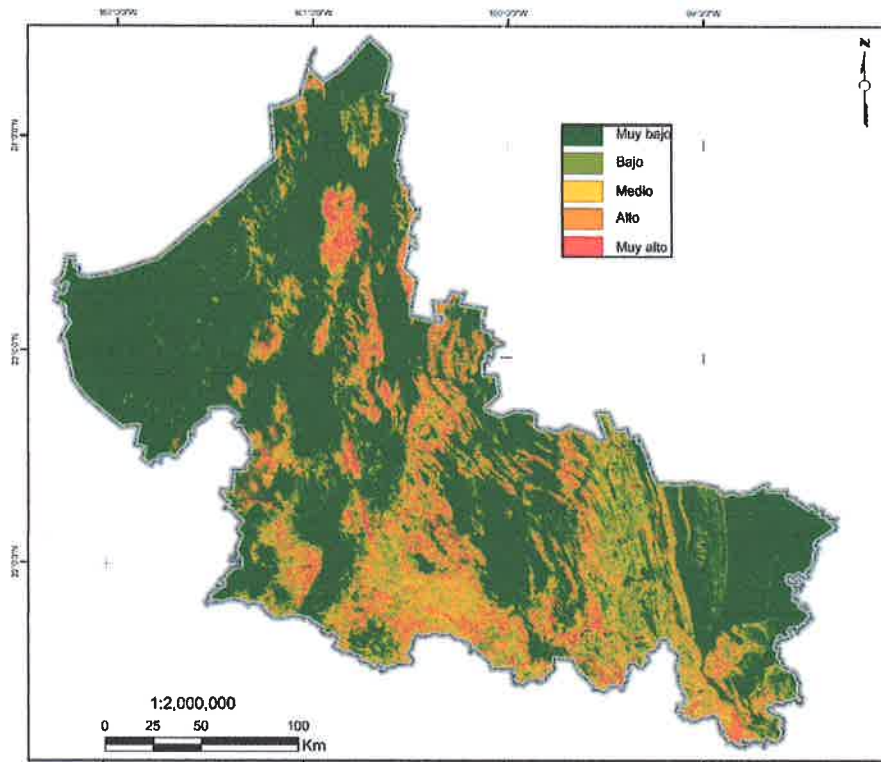


Figura 15. Mapa Nacional de Susceptibilidad por Inestabilidad de Laderas (Tomado del Atlas Nacional de Riesgos, CENAPRED).

Con base a lo anterior, se realizó un análisis con el objetivo de identificar sitios que son susceptibles a sufrir estos procesos, o bien, lugares que se identifican como de alto riesgo por el hecho de que han ocurrido, siendo representados en un mapa de riesgos por deslizamientos de laderas y taludes (Figura 16). Lo anterior mediante el análisis de la combinación de condiciones geológicas (fallas, fracturas y litología), hidrogeológicas, estructuras geomorfológicas (la modificación de éstas por procesos geodinámicos), el nivel de la pendiente, por el tipo de uso de suelo, considerando el clima, intensidad de la precipitación, zonas con presencia de sismicidad, tipo de suelo existente (vertisoles, por ejemplo, debido a que tienden a ser suelos expandibles por su composición de arcillas), vegetación, así como por el grado de erosión provocado por asentamientos poblacionales.

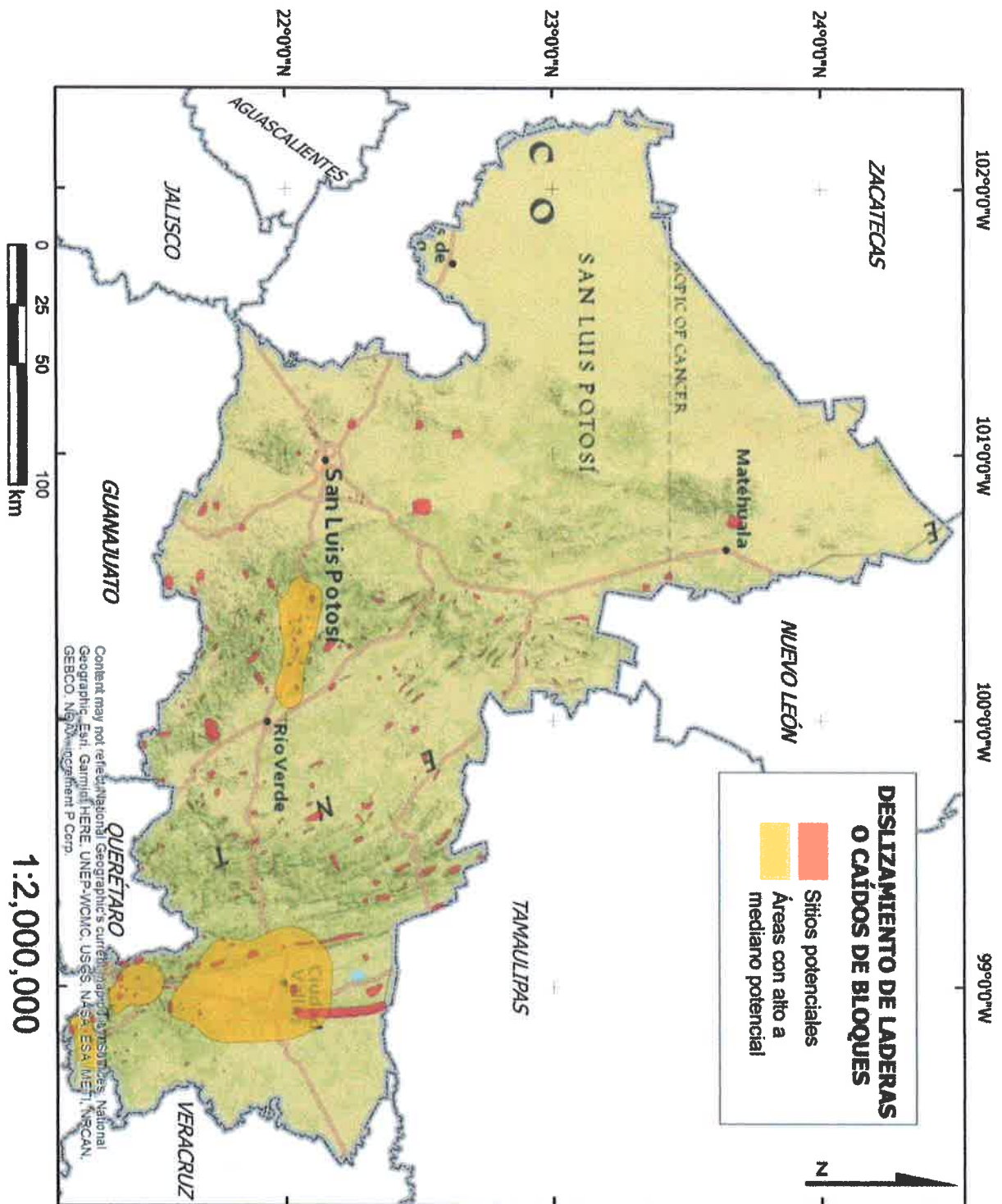


Figura 16. Mapa de deslizamiento de laderas.

I.3.4. Sismicidad en el Estado de San Luis Potosí

La República Mexicana está situada en una de las regiones sísmicamente más activas del mundo, enclavada dentro del área conocida como el Cinturón Circumpacífico donde se concentra la mayor actividad sísmica del planeta. De acuerdo a la clasificación de la CFE (2015), el país se clasifica en cuatro diferentes regiones sísmicas (Figura 17).

A su vez, con fines de diseño antisísmico, se describen las siguientes zonas en la República Mexicana (SGM, 2017):

- La **zona A** es una zona donde no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores.
- Las **zonas B y C** son zonas intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones, sin sobrepasar el 70% de la aceleración del suelo.
- La **zona D** es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, y que la ocurrencia de sismos es muy frecuente. Las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad.



Figura 17. Regionalización sísmica de la República Mexicana (elaboración propia con información de la CFE, 2017).

De acuerdo a ésta regionalización, nuestro Estado se encuentra prácticamente en su totalidad en la zona A y una pequeña parte en la zona B, lo que implica una baja sismicidad, en comparación a las regiones C y D que presentan una gran actividad sísmica (Figura 18).

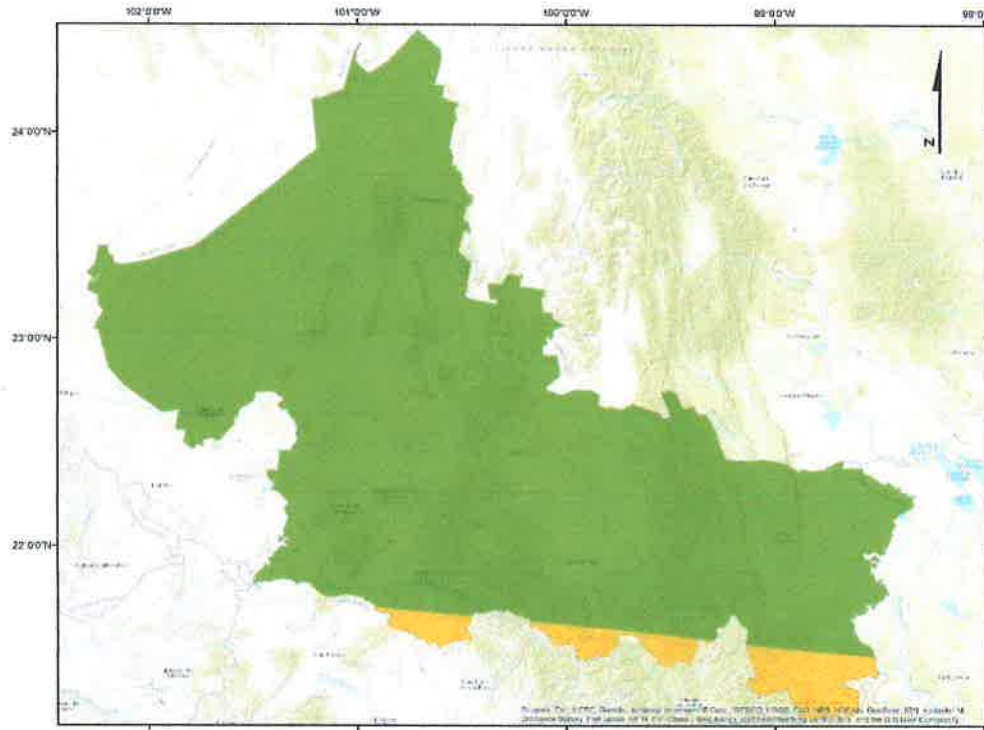


Figura 18. Regionalización sísmica para el Estado de San Luis Potosí (elaboración propia con información de la CFE, 2017).

Históricamente varias zonas del Centro y Norte del país han tenido manifestaciones sísmicas de diferentes intensidades. Inclusive en las épocas precolombinas y de la colonia se tienen registros de actividad sísmica, pero las limitaciones técnicas y teóricas documentaron datos imprecisos (Gómez-González y Barboza-Gudiño, 2005) en gran parte del siglo pasado.

San Luis Potosí no es un estado exento de sismicidad. Esta conclusión se fundamenta en la sismicidad histórica, algunas otras secuencias sísmicas ocurridas recientemente, y reportes del Servicio Sismológico Nacional (SSN) desde enero de 1976 hasta junio de 2020 (Figura 19) que indican actividad sísmica moderada. Las magnitudes registradas van desde 3.3 hasta 4.9, aunque existe actividad microsísmica con magnitudes menores a 3.0.

Con base a datos obtenidos por el SSN, los municipios que han presentado mayor actividad sísmica son: Santa Catarina, Rioverde, Guadalcázar, Rayón, Cd. Fernández, Cd del Maíz, Tamasopo, Lagunillas y Cd. Valles (Figura 20). Las Regiones Media y Huasteca presentan la mayor proporción de sismos, lo que conlleva a un mayor riesgo para las comunidades.

Es importante considerar que los eventos sísmicos originados en otras partes del país, pueden tener influencia en el estado de San Luis Potosí pudiendo causar efectos locales. Ésta actividad sísmica tiene el potencial de desencadenar amenazas geológicas identificadas como deslizamientos en laderas inestables.

La ocurrencia de episodios aleatorios de sismicidad puede estar relacionado con la posible presencia de varias fallas regionales potencialmente activas. Sin embargo, no todos los sismos registrados son de origen tectónico, algunos tienen su origen en colapsos subterráneos derivado al fenómeno de *karsticidad*, explosiones generadas por el hombre, deslizamientos de tierra, entre otras causas.

En las siguientes páginas es posible observar diversos gráficos que representan el comportamiento de los sismos generados en el periodo 1976 al 2020. El gráfico de la Figura 21 muestra los años en el eje vertical, y sobre el eje horizontal, las frecuencias promedio, siendo notable el aumento de cantidad de sismos presentados a partir del año 2011 a comparación de los 30 años anteriores; y en el año 2017 la frecuencia más alta con 21 sismos detectados en el Estado.

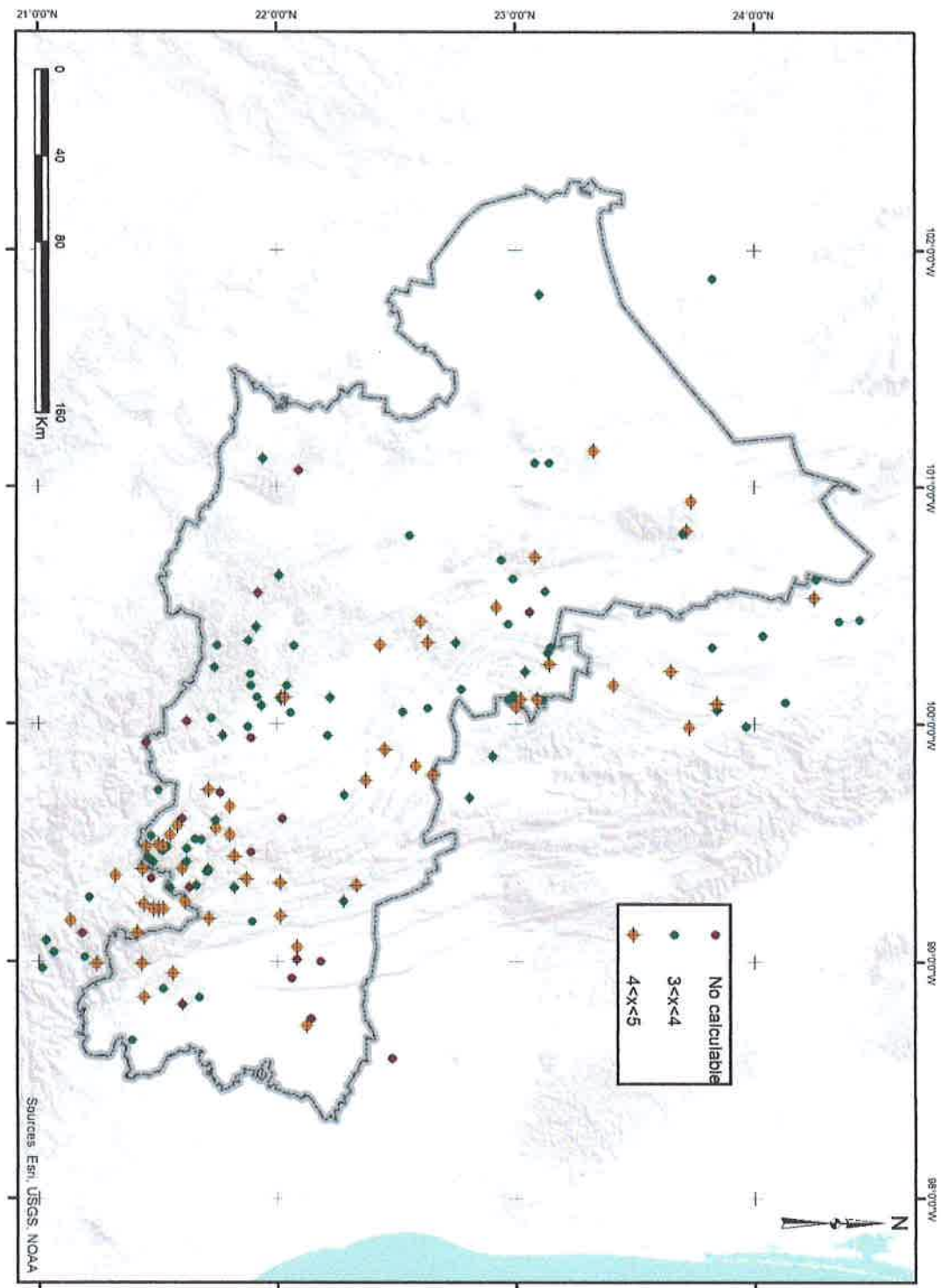


Figura 19. Localización de epicentros en el Estado, de magnitudes mayores a 3.0 en el periodo comprendido de enero de 1976 a junio de 2020.

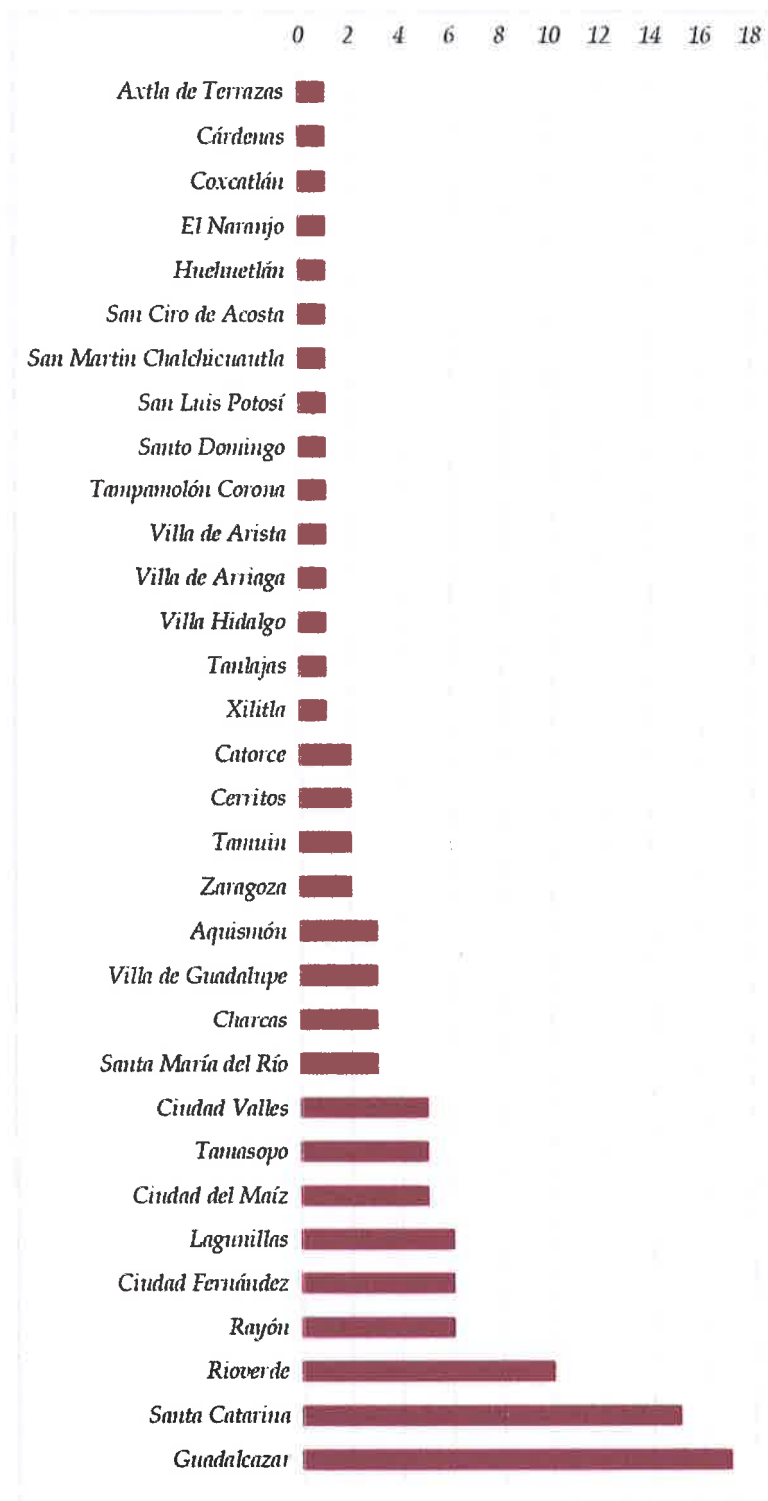


Figura 20. Sismicidad por municipio (periodo enero de 1976 a junio de 2020).

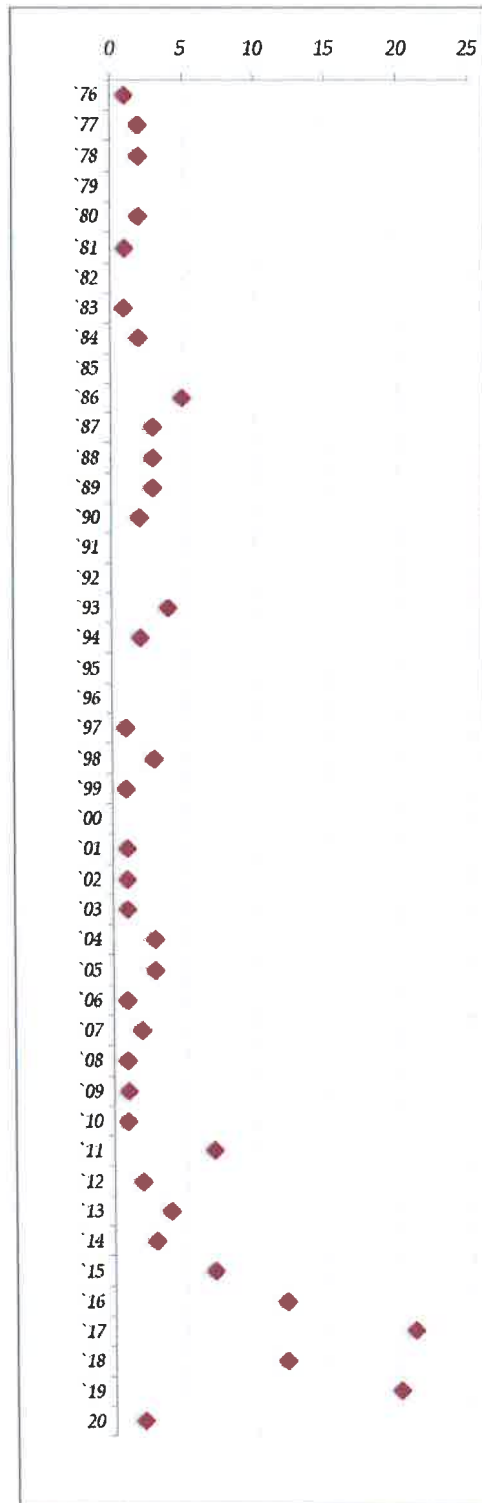


Figura 21. Frecuencia anual de sismos en el Estado (periodo enero de 1976 a junio de 2020).

La Región Media ha sido la zona con mayor cantidad de sismos, seguida por la región Huasteca (Figura 22).

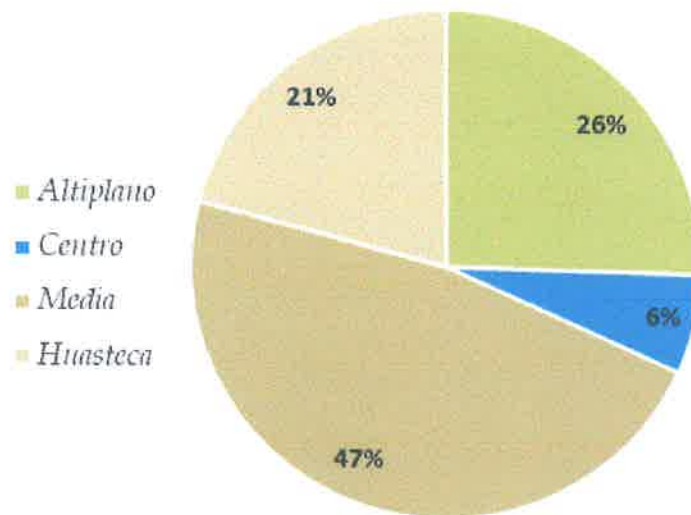


Figura 22. Sismos por región (enero 1976 a junio 2020).

El 50% de los sismos registrados están entre magnitudes desde 3 a 4, el 35% entre magnitudes de 4 a 5, y 15% se tienen localizados con magnitud no calculada debido a falta de cobertura en la región (Figura 23).

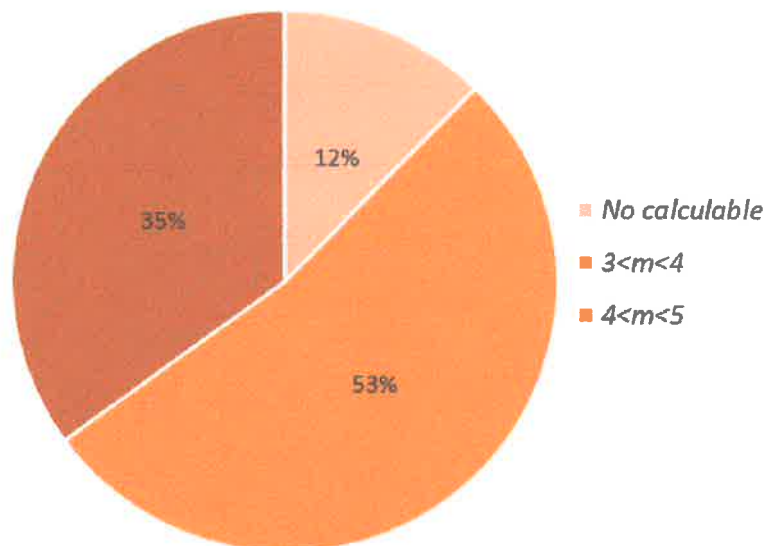


Figura 23. Magnitudes registradas en el Estado.

I.3.4.1. Regiones de influencia sísmica

Con base en los antecedentes de sismicidad en el Estado y a falta de instrumentación para determinar el área geográfica de influencia sísmica se asignó un *buffer* con un radio de 10 km con respecto a los epicentros identificados (Figura 24).

El área de influencia en el estado, es mayormente en las Regiones Media y Huasteca. La intensidad del sismo es menor conforme se incrementa la distancia medida respecto al epicentro.

Es posible reconocer sobre los mapas de epicentros del estado y áreas de influencia algunas estructuras o alineaciones N-NW que atraviesan el estado en su parte media (altiplano norte-zona media-zona huasteca sur; Sánchez-García, 2009). Estas alineaciones de epicentros coinciden burdamente o en algunos casos de forma bastante sugestiva con centros de vulcanismo cuaternario, suponer a estas alineaciones como posibles regiones de fallas o de fracturamiento cortical en las cuales no hay indicios de actividad volcánica reciente pero sí de posibles esfuerzos o deformación que han venido generando los sismos de baja magnitud (Gómez-González y Barboza-Gudiño, 2005; Sánchez-García, 2009).

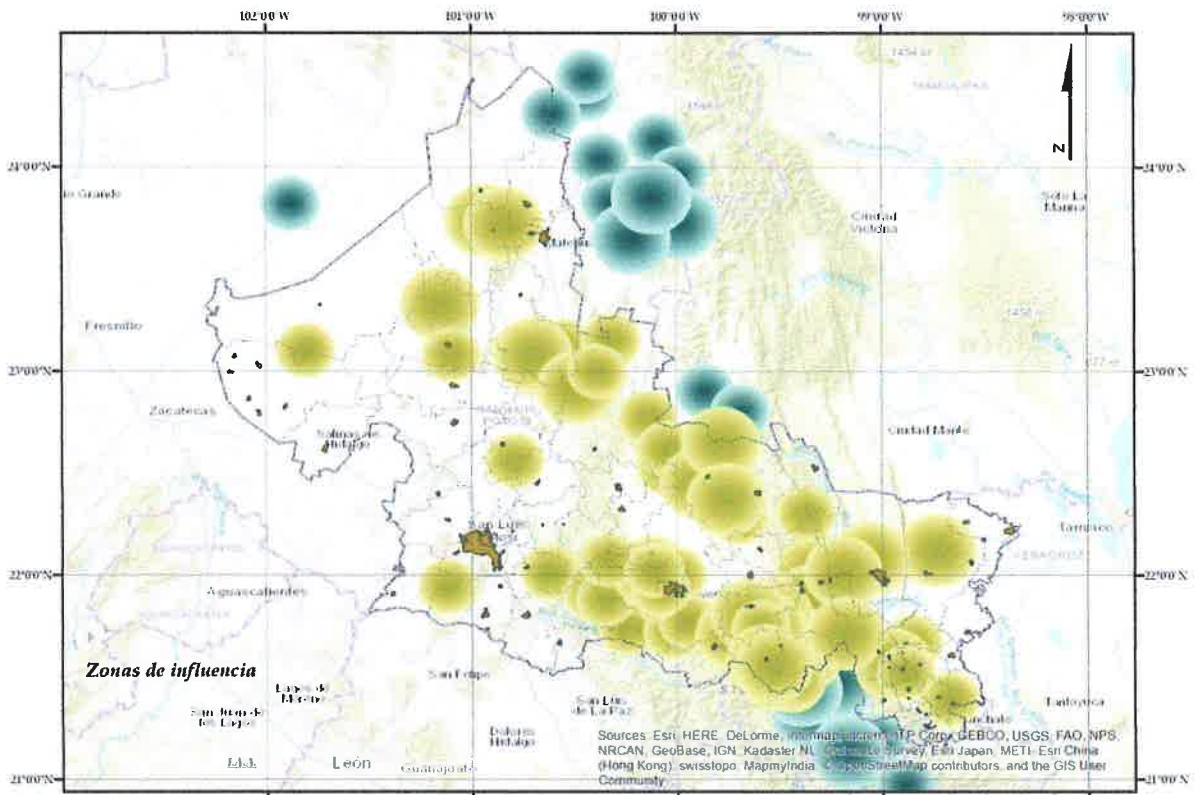


Figura 24. Áreas de influencia sísmica por sismogénesis en el Estado y en estados colindantes.

I.3.4.2. Posibles estructuras sismogénicas

De acuerdo con la integración de datos de sismos históricos en el Estado registrados por el Servicio Sismológico Nacional, y con base a los centros volcánicos recientes (Plio-Cuaternario) de composición basáltica y basanítica se asocian entre sí, llegando a interpretar lineamientos regionales (Sánchez-García, 2009). Los lineamientos de las posibles estructuras sismogénicas atraviesan principalmente la Región Media del Estado, con una orientación general N25°-30°W, y son paralelos y distales entre sí (Figura 25; Sánchez-García, 2009). Sin embargo, no hay evidencia de un vulcanismo activo, se puede interpretar una posible deformación aunque muy baja con posibles fallas o fracturamiento en la corteza (Gómez-González y Barboza-Gudiño, 2005; Sánchez-García, 2009). Otro origen que llegara a presentar estos movimientos telúricos dentro de la Sierra Madre Oriental, es por la presencia de posibles colapsos de cavernas dando lugar a nuevo relieve kárstico o dolinas.

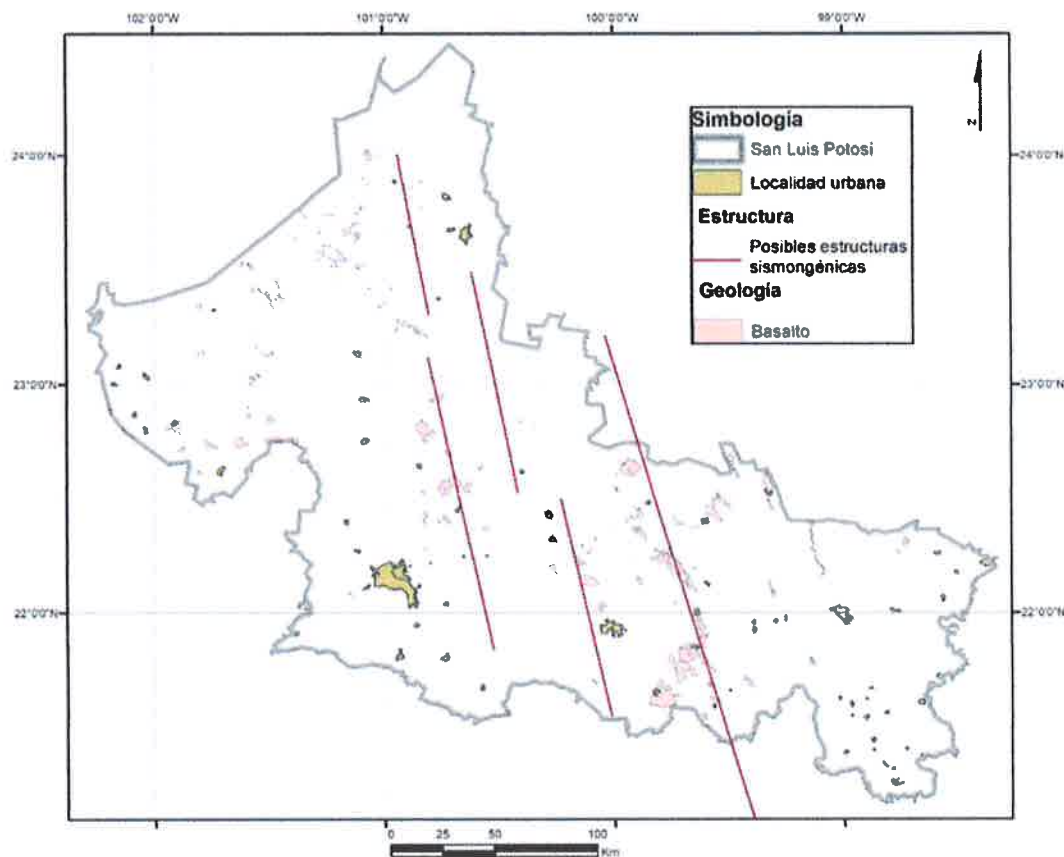


Figura 25. Posibles estructuras sismogénicas identificadas en el Estado (elaboración con información del IG de la UASLP y Sánchez-García, 2009).

I.3.4.3. Intensidad sísmica, Escala modificada de Mercalli

Esta escala sirve para medir la intensidad de un sismo según como lo percibe la gente, es una escala cualitativa y no depende de la medida o energía liberada por el sismo. La relación entre la intensidad de Mercalli y la magnitud del sismo es variable dependiendo de la percepción de las personas, de las condiciones del lugar como tipo de suelo, tipo de construcciones, densidad de población, entre otras.

Tabla de intensidad de Mercalli modificada (Wood & Neumann, 1931)	
Grado	Descripción
I	No sentido excepto por algunas personas bajo circunstancias especialmente favorables.
II	Sentido solo por muy pocas personas en posición de descanso, especialmente en los pisos altos de los edificios. Objetos suspendidos pueden oscilar delicadamente.
III	Sentido muy levemente en interiores, especialmente en los pisos altos de edificios, pero mucha gente no lo reconoce como un sismo. Automóviles parados pueden balancearse ligeramente.
IV	Vibraciones parecidas al paso de un camión. Duración apreciable. Durante el día sentido en interiores por muchos, al aire libre por algunos. Por la noche algunos se despiertan. Platos, ventanas, puertas son agitados; las paredes crujen. Sensación como si un camión pesado chocara contra el edificio. Automóviles parados se balancean apreciablemente.
V	Sentidos por casi todos, muchos se despiertan. Algunos platos, ventanas y similares son rotos; grietas en el revestimiento en algunos sitios. Objetos inestables volcados. Algunas veces se aprecia balanceo de árboles, postes y otros objetos altos. Los péndulos de los relojes pueden pararse.
VI	Sentido por todos, muchos se asustan y salen al exterior. Algún mueble pesado se mueve; algunos casos de caída de revestimientos y chimeneas dañadas. Daño leve.

Grado	Descripción
VII	Todo el mundo corre al exterior. Daño insignificante en edificios de buen diseño y construcción; leve a moderado en estructuras pobremente construidas o mal diseñadas; se rompen algunas chimeneas. Notado por personas que conducen automóviles.
VIII	Daño leve en estructuras diseñadas especialmente; considerables en edificios corrientes sólidos, con colapso parcial; grande en estructuras de construcción pobre. Paredes separadas de la estructura. Caída de chimeneas, rimeros de fábricas, columnas, monumentos y paredes. Muebles pesados volcados. Eyección de arena y barro en pequeñas cantidades. Cambios en pozos de agua. Conductores de automóviles entorpecidos.
IX	Daño considerable en estructuras de diseño especial; estructuras con armaduras bien diseñadas se alejan de la vertical; daño grande en edificios sólidos con colapsó parcial. Los edificios se desplazan de los cimientos. Grietas visibles en el suelo. Tuberías subterráneas rotas.
X	Algunos edificios bien contruidos en madera destruidos; la mayoría de las obras de estructura de ladrillo, destruidas con los cimientos; suelo muy agrietado. Carriles torcidos. Corrimientos de tierra considerables en las orillas de los ríos y en laderas escarpadas. Movimientos de arena y barro. Agua salpicada y derramada sobre las orillas.
XI	Pocas o ninguna obra de albañilería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el suelo. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio. La tierra se hunde y el suelo se desliza en terrenos blandos. Carriles muy retorcidos.
XII	Destrucción total, se ven ondas sobre las superficies del suelo. Líneas de mira (visuales) y de nivel deformadas. Objetos lanzados al aire.

Escala de Richter

Escala de Richter. La escala sismológica de Richter o escala de magnitud local (ML), es una escala logarítmica arbitraria que asigna un número para cuantificar la energía liberada en un terremoto, denominada así en honor del sismólogo estadounidense Charles Richter (1900-1985). Esta escala mide la energía del terremoto en el hipocentro o foco y sigue una escala de intensidades que aumenta exponencialmente de un valor al siguiente (Figura 26). Lo anterior se refiere a ser una escala logarítmica ya que la magnitud de un sismo aumenta 10 veces de un grado al siguiente. Por ejemplo, un temblor de grado 5 es 10 veces más intenso que uno de grado 4 y un temblor de grado 8 no es el doble de intenso que uno de grado 4, sino 10000 más fuerte.

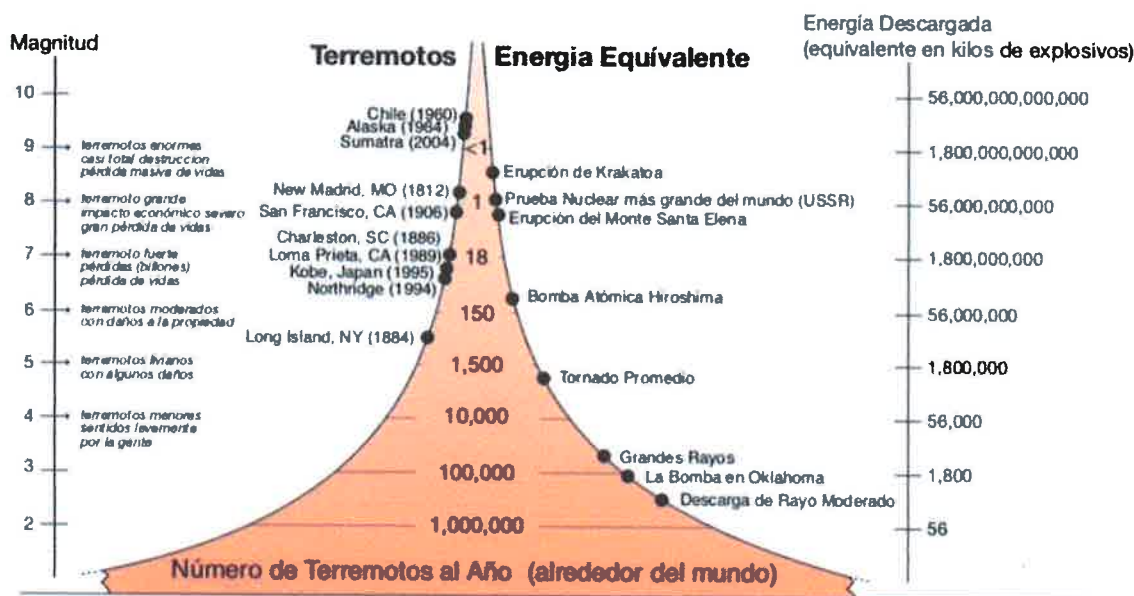


Figura 26. Relación Magnitud-Energía descargada según la Escala Sísmica de Richter. Frecuencia de ocurrencia de terremotos según su magnitud (tomado de Incorporated Research Institutions for Seismology; https://www.iris.edu/hq/inclass/fact-sheet/how_often_do_earthquakes_occur).

A diferencia de la escala de Mercalli, esta escala mide de una manera numérica la magnitud de un sismo. Por ejemplo, si ocurre un sismo de magnitud 4 puede ocasionar un sismo de grado V o VII en la escala de Mercalli.

II. Peligros y Riesgos Geológicos en el Municipio de Santa Catarina

II.1. Generalidades

Con base a datos del INEGI (2009) la ubicación del municipio de Santa Catarina es la siguiente:

Coordenadas	Entre los paralelos 21° 44' y 21° 25' de latitud norte; los meridianos 99° 14' y 99° 34' de longitud oeste; altitud entre 100 y 1 850 m.
Colindancias	Colinda al norte con los municipios de Rayón y Tamasopo; al este con el municipio de Tamasopo y el estado de Querétaro; al sur con el estado de Querétaro; al oeste con el estado de Querétaro y el municipio de Lagunillas. Ocupa el 1% de la superficie del estado.
Otros datos	Cuenta con 99 localidades y una población total de 10 910 habitantes.

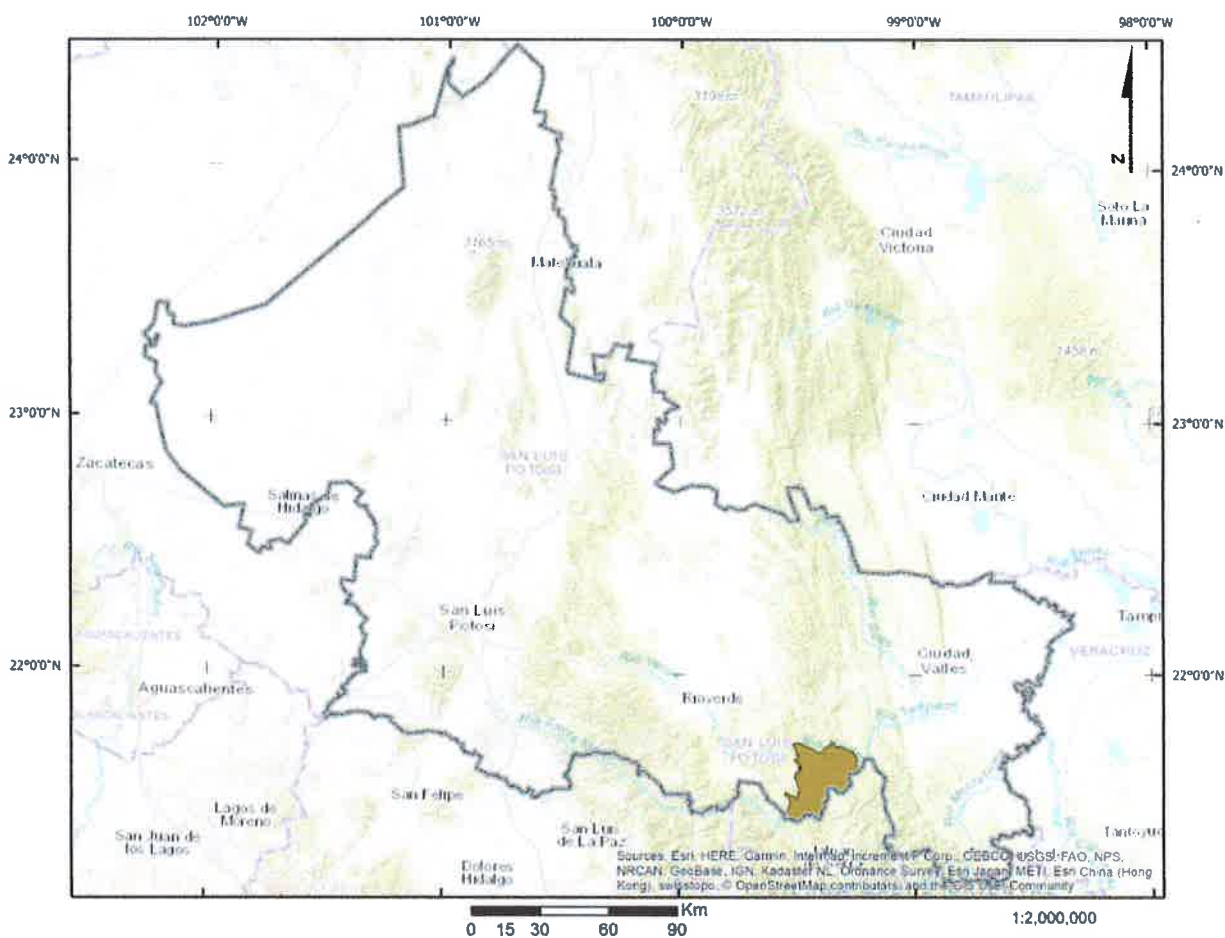


Figura 27. Localización del municipio de Santa Catarina, ubicado en la Región Media.

II.2. Geología

En Santa Catarina, distribuido por todo el municipio, predominan las rocas sedimentarias, principalmente caliza y lutita-arenisca de edad Cretácica. Además, en el norte y en menor proporción presenta rocas ígneas extrusivas principalmente basaltos del Cuaternario (Figura 28).

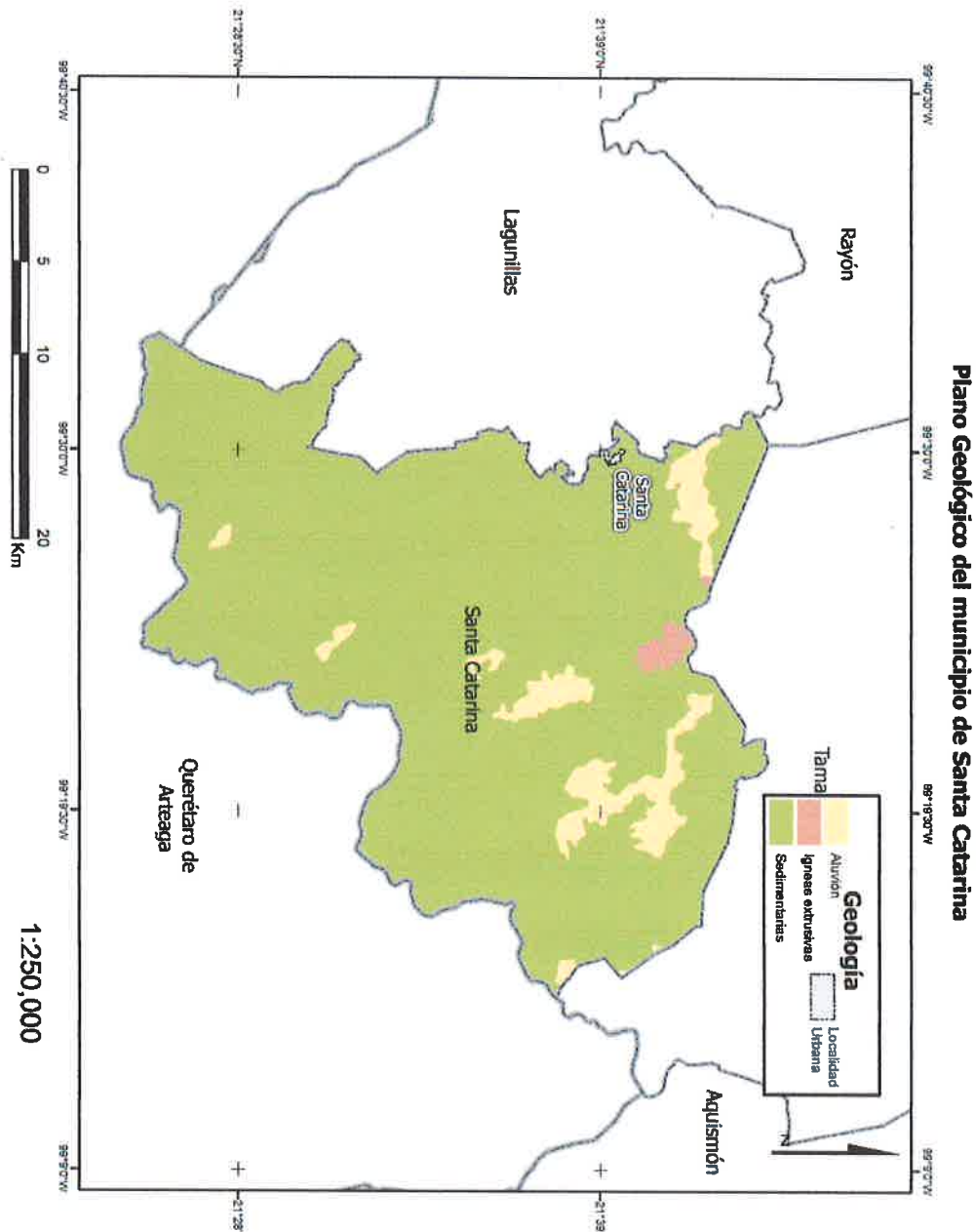


Figura 28. Geología del municipio de Santa Catarina (elaboración propia con información del SGM).

II.3. Geomorfología

En el municipio predominan las sierras en la mayor extensión del municipio. En menor proporción hacia el sur presenta cañón típico. Fisiográficamente, se encuentra en la Sierra Madre Oriental (Figura 29).

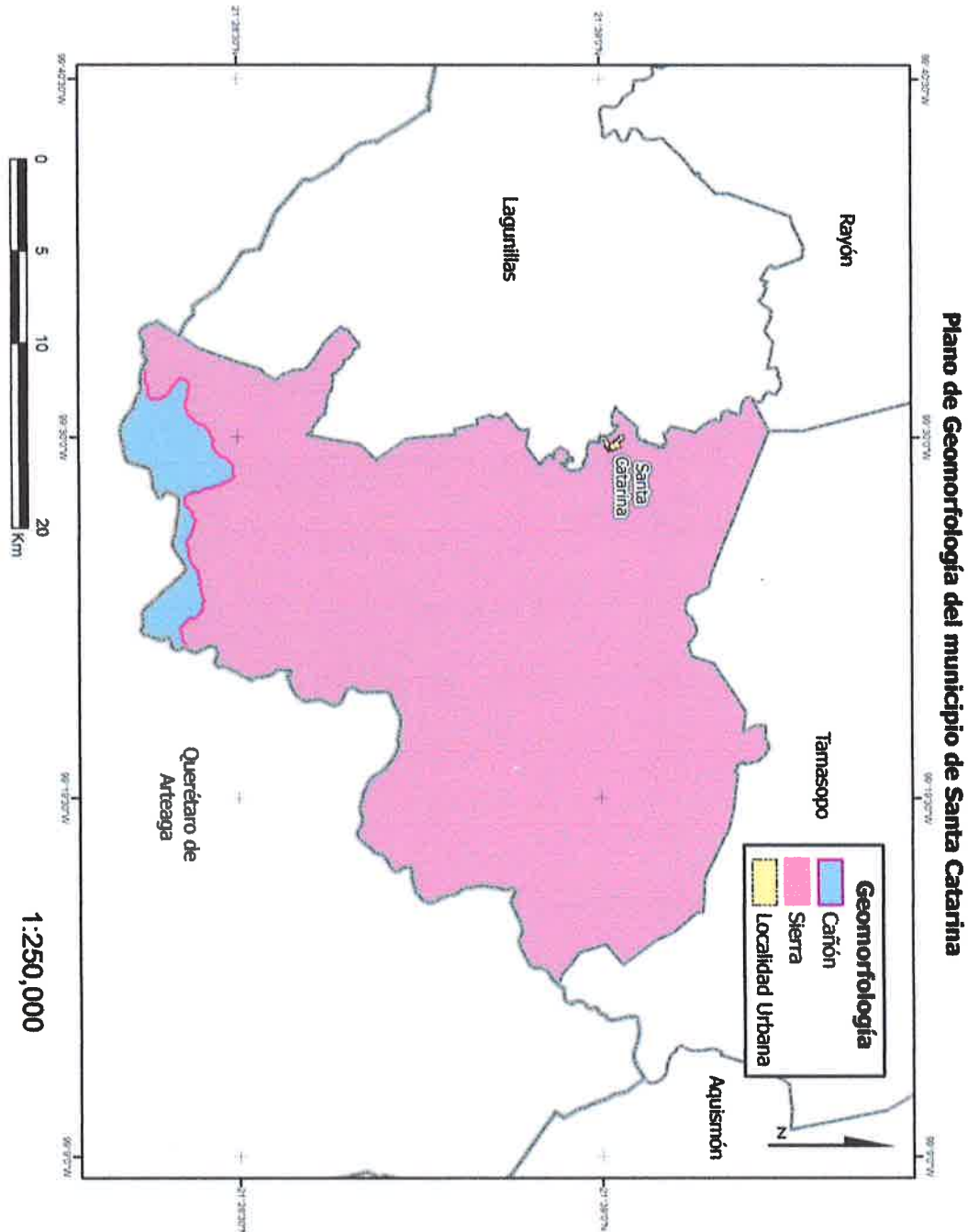


Figura 29. Geomorfología del municipio de Santa Catarina (elaboración propia con información de INEGI, 2009).

II.4. Fallas y fracturas

Como anteriormente se mencionó, una falla es una fractura o grieta que aparece en la superficie, la cual se clasifica dependiendo al tipo de esfuerzo que la haya generado. Las fallas son producto de las fuerzas tectónicas originadas del interior de la Tierra, que provocan una rotura en la corteza. En diversas ocasiones es difícil comprender que la Tierra ha sufrido cambios desde el primer día de su formación, teniendo 4,500 millones de años de vida, ha pasado por procesos progresivos como la subducción de una placa, la creación de corteza continental, que a su vez ocasiona la formación de montañas, formando a la Tierra como la conocemos hoy en día.

De manera general las fallas se ven proyectadas en la superficie como agrietamientos, hundimientos o fracturas. En diversos casos las fallas han tenido una reactivación, en las que se ha identificado como una causa principal el asentamiento del terreno natural, relacionado con colapsos de cavernas o por vestigios de fallas antiguas; combinado también con la inestabilidad de un terreno que posiblemente no debió ser considerado para construir.

Riesgos

- Las fallas o fracturas pueden ocasionar daños estructurales en viviendas o edificios, presentando grietas sobre paredes, piso o techo.
- Sobre calles genera deterioros en el pavimento, haciendo que el terreno comience a hundirse formando una depresión.

En el plano de riesgo para fallas y fracturas se señala la zona de alto riesgo para este fenómeno (Figura 30). En Santa Catarina se tiene registro de diversas fracturas distribuidas por todo el municipio (Figura 31). Por el momento no se tiene registro de fallas aunque no se descarta la posible existencia.

Plano de Fallas y fracturas del municipio de Santa Catarina

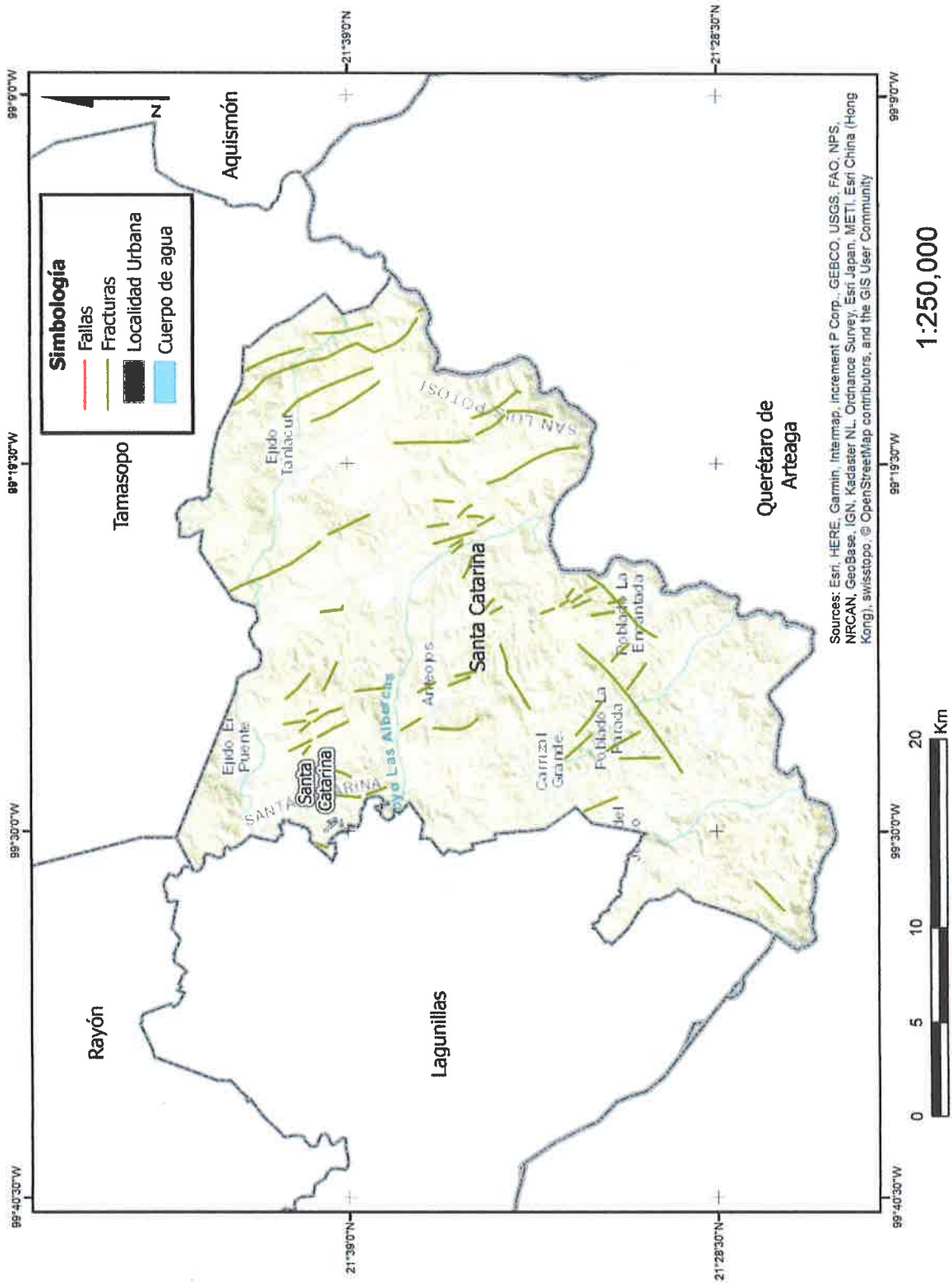


Figura 30. Plano de Fallas y fracturas (elaboración propia con información de INEGI y el SGM).

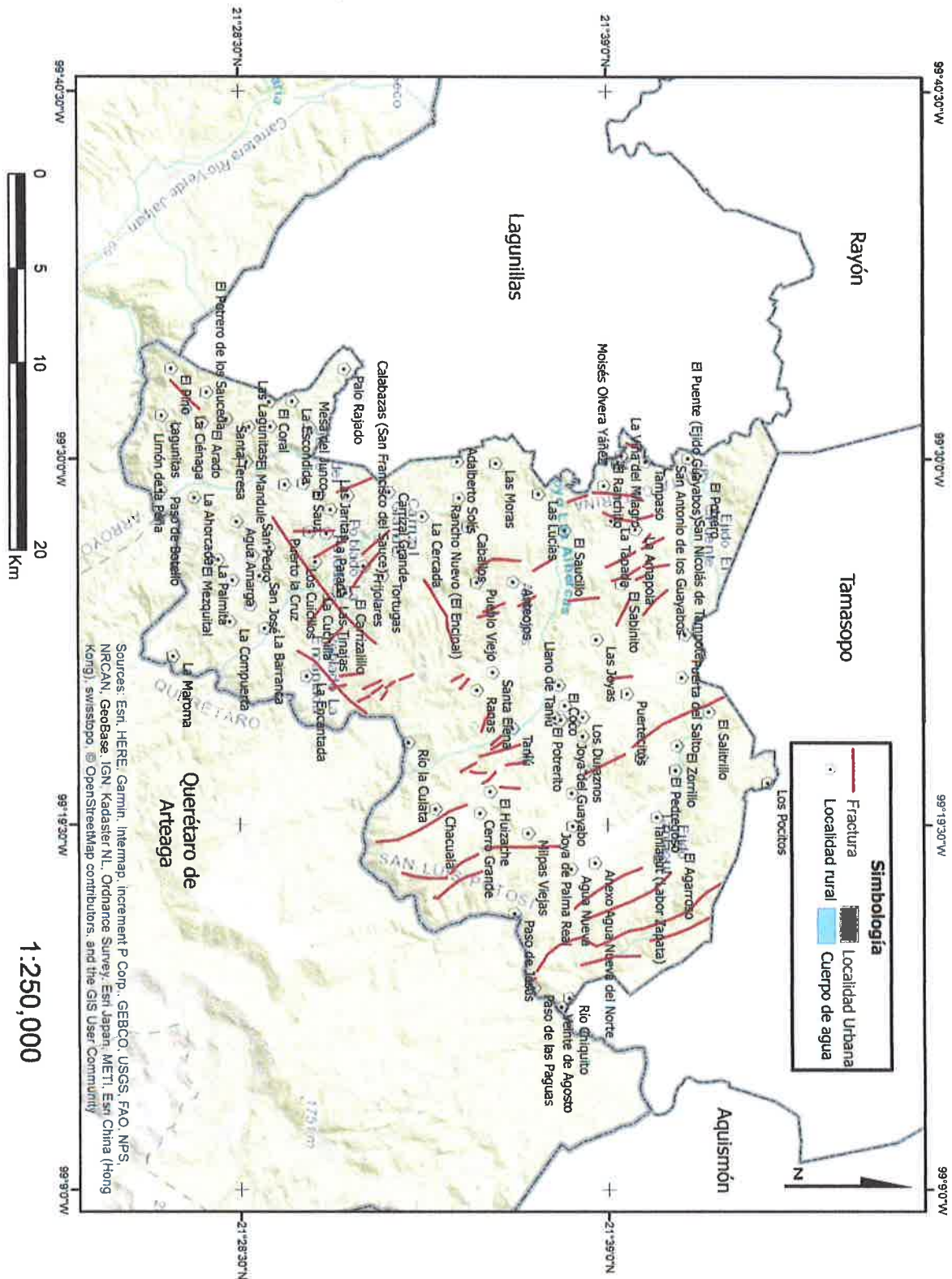


Figura 31. Plano de Fallas y fracturas con localidades (elaboración propia con información de INEGI y el SGM).

Recomendaciones en caso de agrietamientos o hundimientos:

Las recomendaciones propuestas ante este fenómeno son:

- En los sitios donde aparecen agrietamientos, rellenar los mismos para evitar accidentes y tener un constante monitoreo de la velocidad de crecimiento de las grietas, así como de la aparición de nuevas.
- Evitar la construcción de cualquier obra civil o vivienda a una distancia de 25 m por cada lado a partir del agrietamiento o falla.
- Solicitar el apoyo de especialistas geo-hidrólogos y en mecánica de suelos para determinar las medidas a tomar.
- Llevar a cabo un monitoreo en los niveles del agua en pozos con el fin de llevar un control de la extracción e infiltración, para evitar la aparición de agrietamientos en superficie o asentamiento del terreno.

II.5. Estructuras kársticas y riesgo potencial

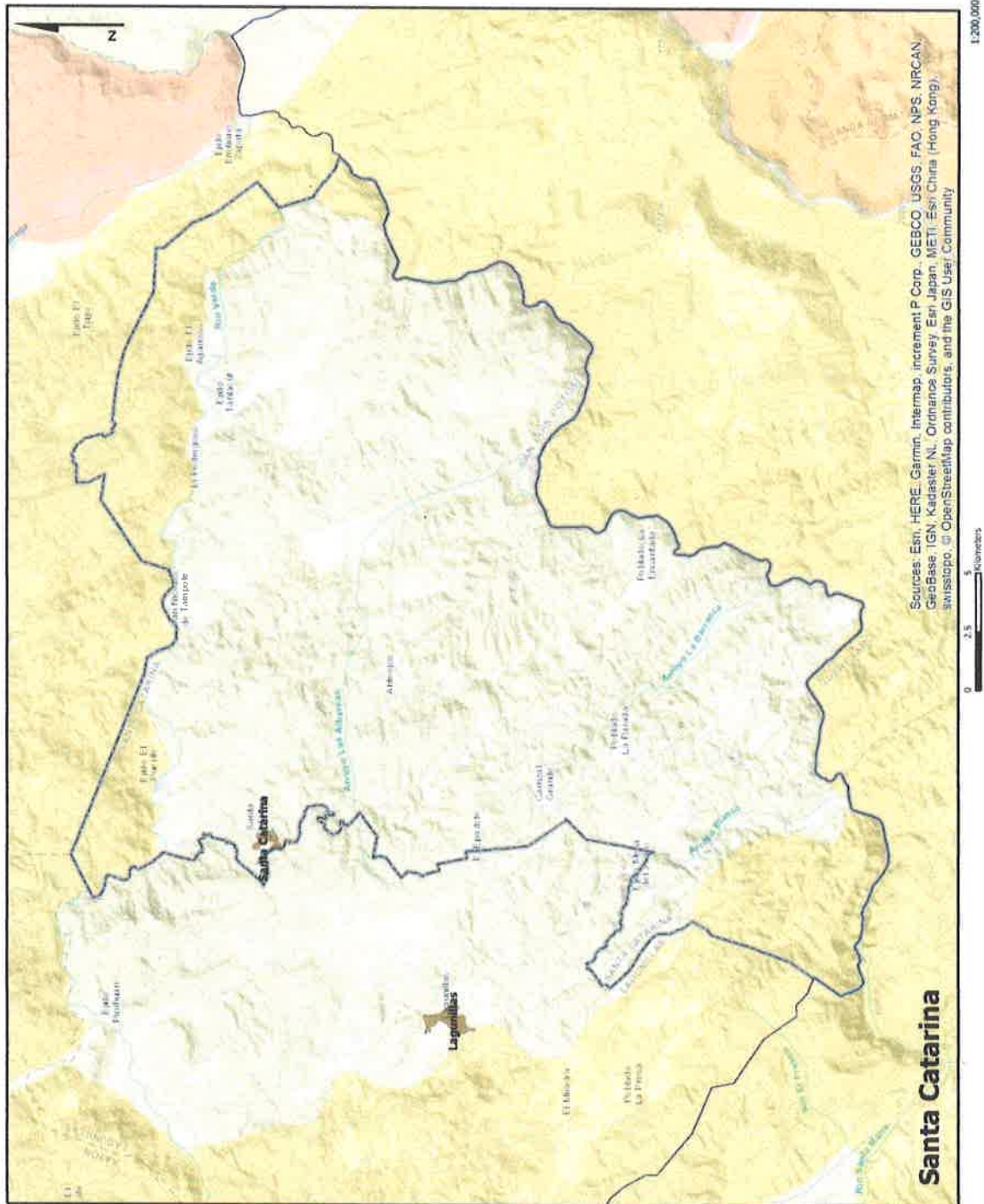
En las áreas de karsticidad tropical (abundancia de rocas calizas que se disuelven con aguas subterráneas o de temporal) se presentan con frecuencia cuevas superficiales o cavernas subterráneas. En las zonas de karst tropicales existe mayor riesgo de colapsos, ya que en éstas regiones son más susceptibles de ocurrir, en parte por la lluvia de temporal y por las aguas subterráneas. En Santa Catarina predomina el tipo de karst cálido subhúmedo. Además, hacen falta estudios formales de los lugares de Santa Catarina donde se presenta la karsticidad para descartar o hacer énfasis en zonas donde logran existir (Figuras 32 y 33).

Riesgos

- Debido a que la karsticidad corresponde a la disolución de la roca, por consecuencia produce el desgaste de la roca a profundidad provocando en la superficie daños estructurales a viviendas e infraestructura y hundimiento progresivamente lento en el terreno o de manera repentina.
- Provoca la infiltración rápida del agua de lluvia cuando encuentra una entrada hacia alguna caverna.
- Causa una alteración de los niveles de agua subterránea provocando la formación de nuevas cavidades.
- El colapso súbito de alguna cavidad puede generar ondas que al viajar a superficie, pueden sentirse como un sismo de variada magnitud.

Recomendaciones:

- Realizar estudios de sondeos eléctricos geofísicos para determinar lugares con cavidades subterráneas.
- Hacer un mapeo general del municipio para detectar cuevas superficiales.
- Evitar construcciones en lugares débiles por el tipo de suelo o cercanas a cuevas o grietas.
- No descargar drenajes en Regiones de hundimientos, terrenos agrietados, cuevas o cavernas.
- Monitorear si existe deformación de estructuras en viviendas, hundimientos, grietas y acumulación de agua.
- Precisar estudios de flujo de agua subterránea.



45

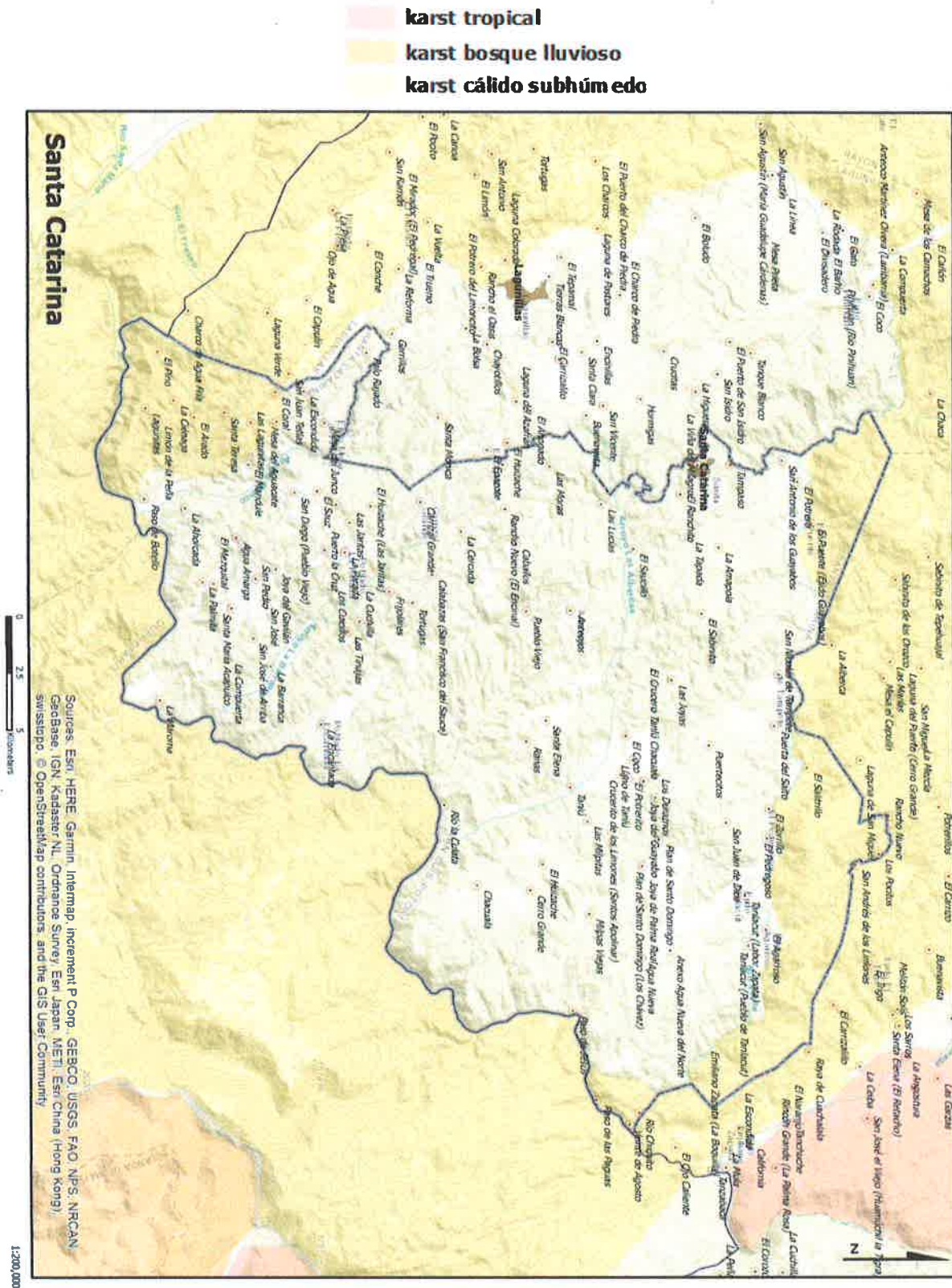


Figura 33. Karsticidad en el municipio de Santa Catarina (elaboración propia con información del CENAPRED).

II.6. Sismicidad en el municipio de Santa Catarina (1976–2020)

Desde 1976 hasta junio de 2020, el Servicio Sismológico Nacional (SSN) ha registrado dieciséis sismos en Santa Catarina. Esto no implica que no ocurran más sismos, sino que el SSN sólo registra los sismos con magnitudes mayores a 3.0, y rara vez se sienten los de menor magnitud.

Por otro lado, sismos provenientes de la Zona Media del estado de San Luis Potosí y del estado de Querétaro podrían afectar al municipio (Figura 34).

Fecha	Hora	Georreferencia	Profundidad	Magnitud	Referencia
20-05-1986	12:57:58	21.63°-99.31°	33 km	No calculable	50 km Suroeste Cd Valles
10-03-1998	20:06:32	21.6°-99.39°	5 km	4.1	51 km sureste Cárdenas
11-03-1998	10:23:18	21.48°-99.42°	5 km	3.5	62 km Sureste Cárdenas
27-12-2011	02:04:48	21.66°-99.32°	5 km	3.8	48 km Sureste Cárdenas
08-03-2015	17:37:01	21.47°-99.52°	5 km	3.8	59 km Sureste Cárdenas
27-09-2015	14:13:50	21.46°-99.43°	5 km	3.7	63 km Sureste Cárdenas
10-07-2016	07:58:40	21.61°-99.47°	5 km	3.6	45 km Sureste Cárdenas
02-10-2016	20:11:27	21.70°-99.37°	20 km	3.8	43 km Sureste Cárdenas
03-04-2017	11:32:48	21.53°-99.48°	5 km	3.9	54 km Sureste Cárdenas
03-08-2017	15:57:51	21.51°-99.46°	5 km	3.8	56 km Sureste Cárdenas
11-10-2019	17:02:42	21.54°-99.31°	5 km	3.9	57 km Suroeste Cd. Valles
27-10-2019	05:14:27	21.57°-99.40°	3.8 km	4.1	53 km Sureste Cárdenas
28-10-2019	06:44:56	21.57°-99.32°	5 km	4	55 km Suroeste Cárdenas

Fecha	Hora	Georreferencia	Profundidad	Magnitud	Referencia
28-12-2019	20:34:55	21.71°-99.38°	5 km	3.8	42 km Sureste Cárdenas
28-12-2019	20:44:15	21.61°-99.41°	5 km	3.7	48 km Sureste Cárdenas
05-03-2020	21:52:25	21.52°-99.48°	10 km	4	55 km Sureste Cárdenas

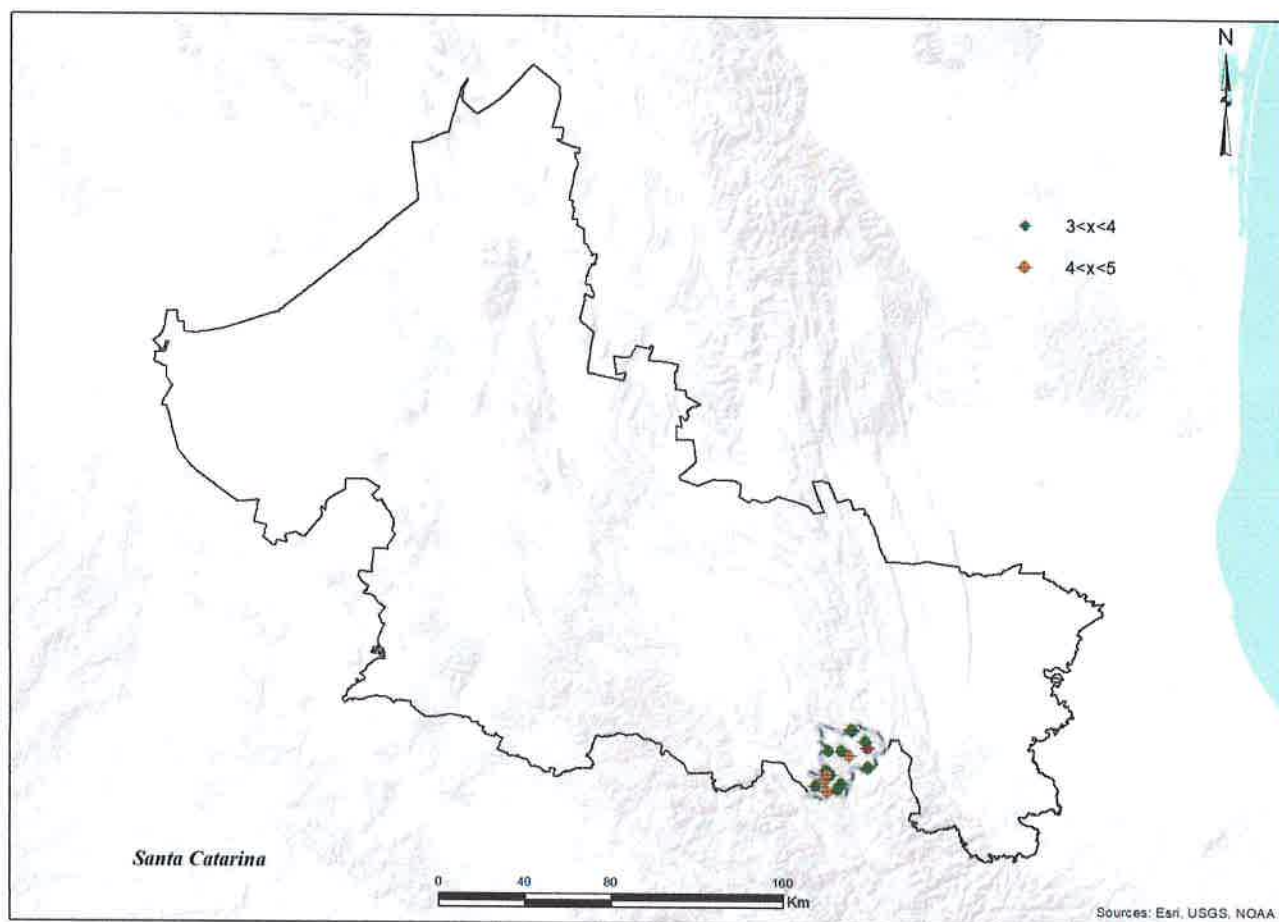


Figura 34. Localización de epicentros en el municipio de Santa Catarina (Fuente: SSN).

En las figuras 35, se puede apreciar que prácticamente todo el municipio de Santa Catarina se encuentra bajo influencia sísmica, ya sea por sismo génesis o por sismos ocurridos en los municipios cercanos. Las áreas de influencia (marcada en círculos verdes) cubren un radio aproximado de 10 km como influencia mínima perimetral. El color más oscuro representa las áreas que reciben mayor influencia. Además, el municipio es de los principales en presentar mayor sismicidad en el estado.

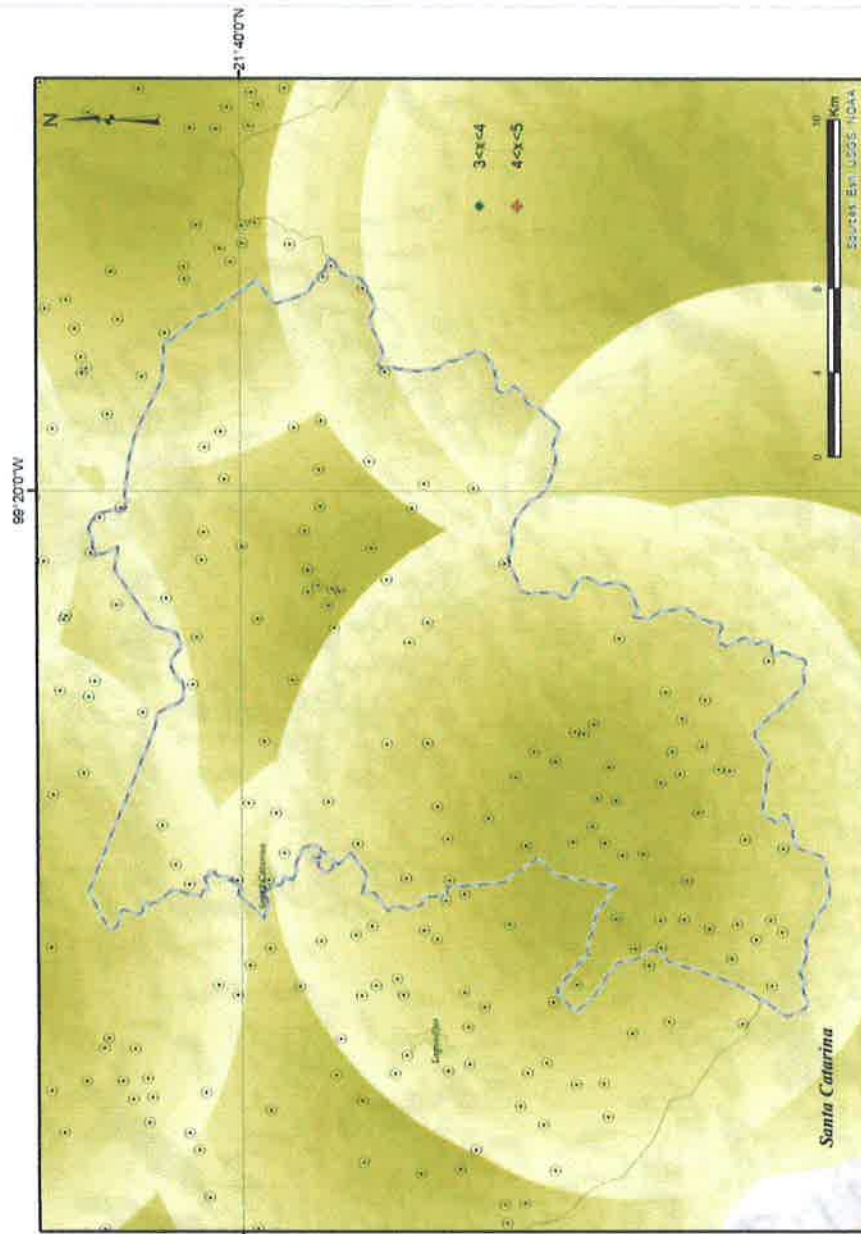


Figura 35. Áreas de influencia sísmica (elaboración propia con información del SSN).

Recomendaciones:

- Monitorear y anotar los hechos más relevantes que se presenten tales como: nuevos temblores, aumento o descenso del nivel del agua de los pozos en nacimientos de agua, deslizamientos de roca o suelos, hundimientos o agrietamientos del terreno.
- Realizar simulacros de evacuación en escuelas y lugares de concentración masiva.
- Informar a la población sobre Regiones afectadas por sismos en el municipio, los cuales son de baja intensidad.
- Orientar a los habitantes sobre las medidas de protección que deben tomarse en casa o áreas de trabajo, antes, durante y después de un sismo:
 - a) *Antes:* Identificar espacios vulnerables así como los más seguros para protegerse; revisar periódicamente instalaciones de gas y electricidad, evitar modificar viviendas sin la asesoría de un especialista en construcción; contar con botiquín de primeros auxilios; proporcionar números telefónicos de emergencia (Cruz Roja, Bomberos, Protección Civil, hospitales, policía, etc.) y reconocer salidas de emergencia manteniéndolas libres.
 - b) *Durante:* Conservar la calma dando indicaciones de Regiones seguras previamente identificadas como mantenerse alejado de libreros, ventanas, objetos colgantes, gabinetes, estufas, braseros, radiadores o cualquier cosa caliente; de ser posible, cerrar llaves de gas, desconectar alimentación eléctrica y evitar encender cualquier fuente de incendio.
 - c) *Después:* Proporcionar apoyo a la población con una verificación de los daños así como recomendar no tocar o pisar cualquier cable caído o suelto; no encender cerillos o cualquier inflamable, hasta asegurarse de no existir una fuga .
- Mantener informada a la población mediante radio, televisión, internet o periódico sobre los sucesos ocurridos y el momento oportuno para regresar a sus viviendas.
- En caso de sismo, clasificar la intensidad con base a la escala de Mercalli, de acuerdo a la forma en que fue percibida por la población.

II.7. Deslizamiento de laderas y taludes inestables

Debido a la geomorfología de Santa Catarina, donde predomina la sierra, hay lugares susceptibles para el desencadenamiento de los deslizamientos de tierra y/o peñascos (rocas de gran masa), principalmente con la lluvia de temporal y debido al tipo de suelo, en su mayoría arcilloso y de sedimentos sueltos o poco consolidados como las rocas calizas (Figura 36). Primordialmente corren riesgo las comunidades asentadas sobre laderas, debido a las condiciones de la Zona el proceso no se presenta de manera acelerada, sólo se puede decir que el riesgo está presente. Las áreas en color rojo en el mapa anexo muestran las zonas potencialmente riesgosas.

Riesgos

Los deslizamientos de laderas pueden causar daños de diversas maneras. Cuando las viviendas se encuentran sobre las laderas inestables es posible el desplazamiento del terreno, patrón de grietas y rompimiento generalizados de muros, árboles y pisos.

Los indicios de inestabilidad de laderas pueden ser:

- Presencia de una mayor infiltración en suelos donde generalmente no había humedad.
- Desarrollo de nuevas fisuras, grietas o deformaciones en las superficies naturales y artificiales del terreno, como asfalto adoquín banquetta etc.
- Inclinación de árboles, cercas, muros, postes que antes se encontraban en posición vertical.
- Formación de escarpes o escalonamientos.
- Ruptura de tubos de agua y otras estructuras subterráneas.

En la figura 36 se marcan las zonas con un mayor riesgo potencial a ocurrir un deslizamiento de laderas.

Plano de potencial a deslizamiento de laderas o caída de bloques para el municipio de Santa Catarina

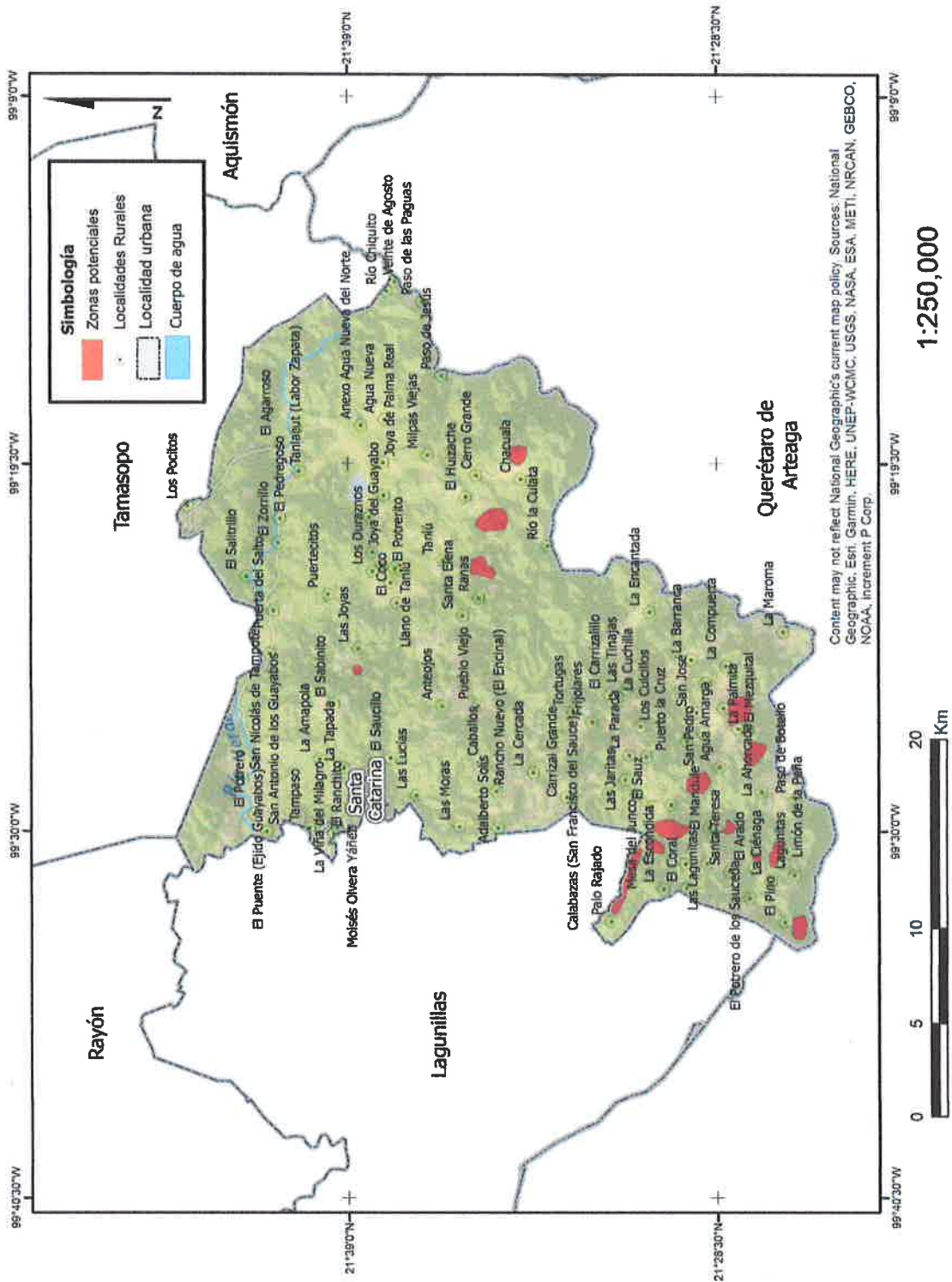


Figura 36. Plano de potencial a deslizamiento de laderas o caídas de bloques para el municipio de Santa Catarina (Fuente: recursos tomados de INEGI).

Recomendaciones:

- Evitar que el agua se infiltre cerca de áreas con presencia de deslizamientos, para ello se deberán construir drenes superficiales en los flancos del posible deslizamiento.
- Retirar rocas en la parte superior del relleno y reconfigurarlo con bermas y terrazas (escalones) para abatir el talud (escarpe principal) a causa del deslizamiento.
- Realizar estudios geotécnicos mediante monitoreo de los taludes con riesgo a deslizarse.
- Monitoreo topográfico para las viviendas aledañas a deslizamientos por medio de puntos de control en cada vivienda incluyendo las de la parte alta de la ladera
- Legislar el uso y explotación de los bancos de materiales, que existan en el municipio.
- Las viviendas que se ubiquen alrededor del deslizamiento podrán ser ocupadas siempre y cuando el monitoreo topográfico indique que no están sufriendo deslizamiento, así como que se confirmen que están cimentadas sobre roca firme, de lo contrario deben ser reubicadas.
- Preparación de un albergue ante cualquier eventualidad que pudiera surgir durante la temporada de lluvias.
- La implementación de medidas para la estabilización de Regiones de deslizamientos, como muros de contención, debe ser con base en estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos de mayor alcance.
- Realizar estudios geotécnicos mediante monitoreo de los taludes con riesgo a deslizarse.
- Considerar la construcción de viviendas con base al plano de riesgos para deslizamientos del terreno.
- No excavar las laderas de los cerros en forma de cortes y terrazas sin autorización.
- No cortar los árboles ni destruir la vegetación natural, por ejemplo modificaciones por áreas de cultivo, de vivienda, entre otras.
- En caso de asentamientos sobre laderas revisar constantemente los drenajes domésticos, así como dar mantenimiento. Si se presenta una fuga de agua dar atención inmediata con el fin de que no se reblandezca el terreno.
- Monitorear las laderas en épocas de lluvias, revisando cualquier agrietamiento o hundimiento, colocando testigos para observar su comportamiento.

III. Bibliografía

- Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2005, Serie Fascículos: Inestabilidad de laderas., México, D.F.
- Comisión Federal de Electricidad, 2015, Manual de Diseño de Obras Civiles Diseño por Sismo. Capítulo C.1.3: Diseño por Sismos.
- Doblas Miguel, 1998 Slickenside kinematic indicators. Tectonophysics 295 pp.187–197.
- Domínguez-Morales, L., Castañeda-Martínez, A. y González-Huesca, A.E., 2016, Análisis de umbrales de lluvia que detonan deslizamientos y sus posibles aplicaciones en un Sistema de Alerta Temprana por Inestabilidad de laderas. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), Coordinación de Protección Civil, Sistema Nacional de Protección Civil. Febrero 2016.
- Gómez-González, J.M., Barboza-Gudiño, J.R., 2005, Sismicidad en el Estado de San Luis Potosí, Folleto Técnico 129, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla, Queretaro y Universidad Autónoma de San Luis Potosí, agosto de 2008.
- Gunn John, 2004, Encyclopedia of Caves and Karst Science. New York, NY. Taylor & Francis Books, Inc
- Instituto de Geofísica de la Universidad Autónoma de México (1998-2019). Últimos Sismos. Ciudad de México, México: Servicio Sismológico Nacional (SSN). Recuperado de <http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/ultimos/>.
- Instituto de Geología (IG), 2018, Actualización del Atlas de Riesgos para el Municipio de San Luis Potosí y su zona conurbada, Versión final. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, pp. 96.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1985, Síntesis de Información Geográfica del Estado de San Luis Potosí. México, D.F., febrero de 1985.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2009, Prontuarios de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos.
- Montiel-A., K., Maldonado-B., H. y Gouveia-M., E.L., 2007, Amenaza por inestabilidad de las laderas en la cuenca del río Mocoy. Andes venezolanos, Espacio y Desarrollo N° 19, 2007, pp. 119-134 (ISSN 1016-9148).
- Pettit J. P., 1987, Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks, Journal of Structural Geology, Vol. 9, No. 5/6, pp. 597 to 608
- Sánchez-García, A.C., 2009, Descripción de posibles fallas sismogénicas en la Zona Media del Estado de San Luis Potosí, SLP. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería, Área Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 1997, Carta Geológica-Minera Ciudad Mante F14-7. Escala 1:250, 000.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 1997, Carta Geológica-Minera Ciudad Mante F14-8. Escala 1:250, 000. Gobierno del Estado de San Luis Potosí.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 1998, Carta Geológica-Minera Ciudad Mante F14-4. Escala 1:250, 000. Gobierno del Estado de San Luis Potosí.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 1999, Carta Geológica-Minera Ciudad Mante F14-5. Escala 1:250, 000. Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2007, Monografía Geológico-Minera del Estado de

San Luis Potosí (Capítulos I y IV): Coordinación General de Minería, Pachuca, Hidalgo.

- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 22 de marzo de 2017. Riesgos Geológicos: Sismología de México. México: SGM. Recuperado de: <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Sismologia-de-Mexico.html>
- Tarbuck Edward J. y Lutgens Frederick K., 2005, Ciencias de la Tierra, 8ª edición. Pearson Educación S. A., Madrid
- United States Geological Survey, 2008, The Landslide Handbook-A guide to understanding landslides. U.S. Department of the Interior and U.S. Geological Survey. Circular 1325, Virginia: 2008.
- Wood H.O. y Neumann F., 1931, Modified Mercalli intensity scale of 1931 Seismological Society of America Bulletin, 21, 4, 277-283.