Saltillo
Gobierno Municipal
2022 - 2024

ATLAS DE RIESGOS
DEL MUNICIPIO DE SALTILLO
2024



COAHUILA PA' DELANTE

Saltillo nos une.

IMPLAN
INSTITUTO MUNICIPAL DE PLANEACIÓN SALTILLO

Ing. Manolo Jiménez Salinas

Gobernador del Estado de Coahuila de Zaragoza

Ing. José María Fraustro Siller

Presidente Municipal de Saltillo

CP. Ricardo Sergio Álvarez García

Director General del Instituto Municipal de Planeación

Equipo técnico

IMPLAN

Mtro. Roberto Castañeda Tapia
Mtra. Elva Rosa Chavarría Hernández

Instituto de Geografía de la UNAM

Dra. María Teresa Sánchez Salazar
Biól. Armando Peralta Higuera
Geóg. Saraí Morales Reygadas
Mtro. Diego David Reygadas Prado
Mtro. Reynold González Vizcarra
Mtro. Luis Enrique Salvador Guzmán
Ing. Rodrigo Reygadas Reygadas
Mtro. Óscar Pole

Gobierno Municipal de Saltillo

Dirección de Protección Civil y Bomberos
Dirección de Desarrollo Urbano
Dirección de Obras Públicas e Infraestructura
Comisaría de Seguridad y Protección Ciudadana
Dirección de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable
Dirección de Salud Pública
Aguas de Saltillo
Dirección de Catastro Municipal
Dirección de Desarrollo Rural
Dirección de Servicios Públicos
Plantas Tratadoras de Aguas Residuales

Gobierno del estado de Coahuila

Secretaría de Salud
Secretaría de Economía
Subsecretaría de Protección Civil

Gobierno Federal

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Comisión Nacional del Agua
Guardia Nacional de los Estados Unidos Mexicanos

Instituciones de Educación Superior

Universidad Autónoma de Coahuila
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Organismos Empresariales

CANACINTRA
Comité Local de Ayuda Mutua de Derramadero

Saltillo
Gobierno Municipal
2022 - 2024

Saltillo nos une.

PRESENTACIÓN

ATLAS DE RIESGOS

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, septiembre de 2024



Este Atlas Municipal de Riesgos de Saltillo es una herramienta fundamental para la gestión integral en materia de prevención, planeación y preparación frente a situaciones de riesgo que puedan afectar a nuestra comunidad. La implementación de este Atlas será clave para garantizar la seguridad, así como protección de los habitantes de nuestro municipio.

Uno de los objetivos prioritarios de esta administración ha sido la actualización de este valioso instrumento. Con el apoyo del gobernador Manolo Jiménez Salinas, hemos logrado consolidar este propósito.

El Atlas Municipal de Riesgos, que hoy ponemos a disposición de las autoridades y de los habitantes de Saltillo, ha sido elaborado siguiendo los lineamientos del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). Esta versión actualizada incluye cinco capas de información que abordan tanto los riesgos naturales, es decir los geológicos e hidrometeorológicos, como los llamados antropogénicos, resultado de la acción humana, incluyendo los factores químico - tecnológicos, sanitario - ecológicos y socio - organizativos.

Con esta acción, el gobierno municipal cumple uno de sus principales compromisos plasmados en el Plan Municipal de Desarrollo, sentando las bases para un crecimiento más seguro, competitivo y con mayor certidumbre para todas las personas que viven en Saltillo.

Hoy, los actores involucrados en el desarrollo del municipio cuentan con una guía clara y de observancia obligatoria que, no solo nos permitirá mejorar nuestras capacidades preventivas, sino también responder de manera adecuada ante posibles emergencias.

En Saltillo, la seguridad y protección de nuestra gente es nuestra prioridad, porque Saltillo nos Une.

José María Fraustro Siller
Presidente Municipal de Saltillo
Gobierno Municipal 2022-2024

IMPLAN

INSTITUTO MUNICIPAL
DE PLANEACIÓN
SALTILLO



Saltillo, una ciudad en constante evolución, ha dado un paso decisivo para proteger la vida, la integridad y el patrimonio de los ciudadanos mediante la actualización de su Atlas de Riesgos, una herramienta fundamental para implementar estrategias que permitan prevenir y mitigar riesgos naturales, además de antropogénicos.

Utilizando tecnología de vanguardia, como la detección y medición por medio de láser (LiDAR, por sus siglas en inglés) así como el uso de álgebra de mapas en Sistemas de Información Geográfica, se logró la identificación de áreas vulnerables e infraestructura crítica, permitiendo con ello una toma de decisiones informada, así como oportuna.

Además, gracias a la colaboración de expertos en diversas disciplinas, y con el apoyo del Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México, se logró un documento con el análisis e interpretación de los resultados que arroja la tecnología, asimismo los contrasta con los datos históricos, sociales, estudios geológicos y modelos predictivos.

Mención y agradecimiento especial merece la participación ciudadana, la cual fue fundamental para enriquecer, también garantizar que el Atlas sea una herramienta efectiva para prevenir y responder a emergencias.

La sinergia entre el conocimiento experto, la participación ciudadana y la tecnología, impulsada por el presidente municipal, Ing. José María Fraustro Siller, hace de este Atlas una herramienta invaluable para proteger a nuestra comunidad y permite una planificación más estratégica, fortaleciendo la resiliencia de Saltillo con el claro objetivo de mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

Ricardo Álvarez García
Director General del
Instituto Municipal de Planeación

Índice

1 Introducción 17

2 Antecedentes 18

3 Objetivos 19

3.1 Objetivo General 19

3.2 Objetivos específicos 19

4 Equipo de trabajo multidisciplinario 20

5 Fase I. Marco teórico 25

5.1 Fundamentación jurídica 25

5.2 Plataforma web de participación 26

5.3 Mapa Interactivo 26

5.4 Identificación de usuarios y procesos 27

5.5 Mapa Base 28

5.6 Determinación de niveles de análisis y escalas de representación cartográfica 30

5.6.1 Niveles de análisis 30

5.7 Escalas de Representación Cartográfica 35

5.8 Caracterización de los elementos del medio natural 35

5.8.1 Fisiografía 35

5.8.2 Geomorfología 36

5.8.3 Geología 37

5.8.4 Edafología 38

5.8.5 Hidrografía e hidrología 39

5.8.6 Cuencas y subcuencas 43

5.8.7 Clima 43

5.8.8 Uso de suelo y vegetación 44

5.8.9 Áreas Naturales Protegidas 44

5.9 Caracterización de los elementos sociales, económicos y demográficos 45

5.9.1 Población 45

5.9.2 Densidad de población 45

5.9.3 Proyección de la población 45

5.9.4 Pirámide poblacional 47

5.9.5 Migración 47

5.9.6 Educación 48

5.9.7 Etnicidad 48

5.9.8 Discapacidad 49

5.9.9 Servicios de salud 49

5.10 Características económicas 49

5.10.1 Población Económicamente Activa (PEA) 49

5.10.2 Población Económicamente No Activa (PENA) 50

5.10.3 Acceso a bienes y servicios 50

5.11 Vivienda 51

5.11.1 Disponibilidad de vivienda 51

5.11.2 Servicios básicos de la vivienda 52

5.12 Equipamiento 52

5.12.1 Educación 52

5.12.2 Cultura 52

5.12.3 Salud 52

5.12.4 Asistencia social 53

5.12.5 Comercio 53

5.12.6 Recreación y deporte 53

5.12.7 Servicios Urbanos 53

5.12.8 Central de Autobuses 54

5.12.9 Aeropuerto 54

5.12.10 Industria 54

5.12.11 Turismo 54

5.13 Infraestructura 54
5.13.1 Agua Potable 54
5.13.2 Drenaje 55
5.13.3 Electrificación y Alumbrado Público 55
5.13.4 Pavimentación 55
5.13.5 Vialidad y transporte 55
5.14 Dinámica territorial y expansión de la mancha urbana 56
6 Fase II. Identificación de amenazas y peligros, ante fenómenos perturbadores de origen natural y antropogénico 59
6.1 Peligros ante fenómenos perturbadores de origen natural 59
6.1.1 Peligro ante fenómenos geológicos 59
6.1.2 Peligro ante fenómenos hidrometeorológicos 130
6.2 Peligros ante fenómenos perturbadores de origen antropogénico 207
6.2.1 Peligro por Fenómenos químico - tecnológicos 207
6.2.2 Almacenamiento de sustancias peligrosas 208
6.1.2 Transporte de sustancias peligrosas 229
6.1.3 Ductos de sustancias peligrosas 244
6.1.4 Incendios forestales 248
6.1.5 Fenómenos sanitario ecológicos 256
6.1.6 Contaminación de suelo, aire y agua 256
6.1.7 Epidemias y plagas 270
6.1.8 Fenómenos socio - organizativos 273
6.1.9 Concentraciones masivas de población 274
6.1.10 Accidentes terrestres, aéreos y marítimos 277
6.1.11 Demostraciones de inconformidad social 280
6.1.12 Interrupción y afectación de servicios básicos e infraestructura estratégica 282
7 Fase III. Sistemas expuestos y vulnerabilidad 286
7.1 Inventario de sistemas expuestos 286
7.2 Vulnerabilidad 299
7.2.1 Vulnerabilidad social 299
7.2.2 Vulnerabilidad física de la vivienda ante sismo y viento 326
7.2.3 Vulnerabilidad global 333
8 Fase IV. Riesgo / Exposición 346
8.1 Definición de índices de riesgo 346
8.1.1 Índices de riesgo ante fenómenos de origen geológico 347
8.1.2 Índices de riesgo ante fenómenos de origen hidrometeorológico 353
8.1.3 Índices de riesgo ante fenómenos de origen antropogénico 368
9 Fase V. Propuestas de estudios, obras y acciones 376
9.1 Propuestas de estudios, obras y acciones 376
9.1.1 Obras y estudios de mitigación 377
9.1.2 Proyectos, obras y estrategias para mitigar, riesgos por fenómenos geológicos 377
9.1.3 Proyectos, obras y estrategias para mitigar, el riesgo por fenómenos hidrometeorológicos 379
9.1.4 Proyectos, obras y estrategias para mitigar, el Riesgo por fenómenos químico - tecnológicos 389
9.1.5 Proyectos, obras y estrategias para mitigar el riesgo por fenómenos sanitario - ecológicos 391
9.1.6 Proyectos, obras y estrategias para mitigar, el riesgo por fenómenos socio-organizativos 394
10 Bibliografía 396



IMPLAN

INSTITUTO MUNICIPAL
DE PLANEACIÓN
SALTILLO

Actualización del Atlas de Riesgos del municipio de Saltillo, Coahuila

UNAM

IG
INSTITUTO DE
GEOGRAFÍA
U N A M

1 Introducción

Los seres humanos habitamos un planeta altamente dinámico, donde constantemente ocurren diversos fenómenos naturales. Estos son complejos procesos de transformación del medio ambiente que alteran continuamente el entorno en el que vivimos y nos desarrollamos (Smith, 2020). Estos fenómenos son esenciales para la conformación de las condiciones que han dado origen y mantienen en equilibrio a toda forma de vida (Brown, 2019).

Por ejemplo, los fenómenos naturales hidrometeorológicos regulan el clima y la distribución del agua, que es nuestro recurso más valioso (Miller y Johnson, 2018). Los fenómenos geológicos, como las erupciones volcánicas y los sismos, son necesarios para liberar la gran cantidad de energía que se genera en las capas internas del planeta. Además, son responsables de la formación de cadenas montañosas, donde se originan las corrientes de los ríos, a cuyos márgenes se desarrollaron las primeras grandes civilizaciones humanas (Johnson et al., 2021).

Sin embargo, estos fenómenos, aunque necesarios e inevitables, pueden afectar significativamente la vida de las personas, comunidades y sociedades debido a su magnitud, ubicación o duración. Cuando tales afectaciones tienen graves consecuencias para el desarrollo o la vida de las comunidades humanas, se les denomina desastres de origen natural (UNISDR, 2015).

Es importante destacar que, aunque los fenómenos naturales son inevitables, las catástrofes que resultan de ellos pueden ser mitigadas, controladas o prevenidas si los diversos actores de la sociedad, incluidos ciudadanos, gobiernos y autoridades, se preparan adecuadamente (Cutter, 2017). En este contexto, el estudio del riesgo y la vulnerabilidad social es crucial. Aunque no podemos evitar los fenómenos naturales, y en muchos casos ni siquiera sería deseable hacerlo, a menudo sí podemos evitar que se conviertan en desastres (Birkmann, 2006).

Los eventos desastrosos de los últimos años en México han puesto en evidencia las deficiencias en la prevención del riesgo, demostrando que la gestión en el país ha tenido mayoritariamente un enfoque **reactivo y no correctivo**; es decir, que se aplica para reaccionar y tomar medidas de emergencia ante un fenómeno que ya nos está impactando, esto con la intención de simplemente reducir las pérdidas, así como daños. Otras veces esa gestión reactiva ya no es posible y las comunidades afectadas solicitan *"declaratorias federales de desastre"* para la obtención de recursos que les permitan recuperar la infraestructura afectada.

Para afrontar esta problemática, nace la Gestión Integral del Riesgo de Desastres (GIRD) como el proceso de adopción de políticas, estrategias, además de prácticas orientadas a evitar y reducir los riesgos de desastres o minimizar sus efectos. La GIRD fomenta la reducción, así como la protección financiera de riesgos de desastres y promueve la mejora continua en las prácticas de preparación, respuesta y recuperación para los casos de desastres.

Este proceso tiene tres objetivos fundamentales: 1) conocer y transformar las necesidades y debilidades de una comunidad en respuestas puntuales y soluciones colectivas; 2) aumentar la seguridad humana, el bienestar, la calidad de vida, la resiliencia y el desarrollo sostenible, asimismo, 3) lograr la deconstrucción del riesgo.

Transformar la actual GIRD es un reto donde se busca que se incluya el manejo del riesgo en contraposición al manejo de la emergencia una vez ocurrido el desastre. Este reto debe tener valor y participación en los tres niveles de gobierno, así como la colaboración de todos los actores involucrados en la toma de decisiones, además de la práctica.

El eje de estructura y función de la GIRD debe ser muy claro: revertir la construcción social del riesgo y deconstruirla a través de la reducción de los factores de vulnerabilidad y exposición.

En este sentido, una de las herramientas fundamentales para alcanzar este objetivo es el Atlas de Riesgos, herramienta que no se debe limitar a una simple visión sincrónica del riesgo, debe constituir un Sistema Informático Dinámico de GIRD, y de referente obligado para la priorización de las acciones de reducción del riesgo y manejo de desastres (Medina et al., 2017).

Así mismo, la existencia, consistencia, observancia e internalización del Atlas de Riesgos deben asumirse como ejes rectores de los programas de Ordenamiento Territorial, Desarrollo Urbano y Usos de Suelo, que permita a los gobiernos municipales establecer y operar la vinculación con la gestión de los usos del suelo, la planificación urbana, los reglamentos de construcción, la infraestructura, además de los servicios básicos, los diversos programas de protección civil y de contingencia, así como la preparación del personal municipal y de la población ante escenarios de desastres.

Bajo este contexto, el Instituto Municipal de Planeación de Saltillo (IMPLAN), determina la obligación de actualizar el Atlas de Riesgos del Municipio, derivado de la necesidad de reconocer la dinámica socio territorial actual que presenta la entidad, misma que un corto periodo de tiempo ha presentado cambios relevantes que se traducen en modificaciones en su medio natural, social, así como económico y que conducen a distintos niveles de exposición y vulnerabilidad que requieren atención urgente.

Por consiguiente, el Instituto de Geografía de la UNAM (IGg-UNAM) desarrolla el Atlas de Riesgos del Municipio de Saltillo, Coahuila, en adelante ARMSC, considerando el enfoque anteriormente expuesto y a partir de lo establecido en los lineamientos que establece la Secretaría de Desarrollo Agrario, Ordenamiento Territorial y Urbano (SEDATU) en los "Términos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos 2018" así como de la "Guía de Contenido Mínimo para la Elaboración del Atlas Nacional de Riesgos 2016" propuesta por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y las metodologías desarrolladas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA); y la "Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos.

Aunado a lo anterior, es importante mencionar, que como parte de la experiencia con la que cuenta el IGg-UNAM en el desarrollo de temas asociados a la GIRD y su relevante vinculación con la planeación territorial, así como ambiental para el

desarrollo sostenible, el presente ARMSC incorpora el Marco Metodológico para Atlas de Riesgos Orientados a la Planeación Metropolitana para la Gestión de Riesgos, la cual se fundamenta en las siguientes premisas:

- La función de los Atlas de Riesgos es **hacer accesible el conocimiento sobre el riesgo y sus componentes** para que, de manera coordinada diferentes actores puedan realizar las acciones conducentes a su reducción.
- El Atlas de Riesgos debe ser **diseñado de manera segmentada u orientada al usuario**, para que la información que el instrumento contiene sea adecuada a sus conocimientos, necesidades y atribuciones.
- Los Atlas de Riesgos **deben estructurarse en torno a los procesos claves de gestión integral del riesgo** en los que se busca incidir: generar conocimiento sobre el riesgo, prevenir el riesgo futuro, reducir el riesgo existente, preparar la respuesta, responder y rehabilitar, o recuperar y reconstruir.
- El diseño de un Atlas de Riesgos comienza por la **identificación de los usuarios** y sus necesidades, en segundo lugar, desarrolla el **cálculo o modelo de riesgo** a partir de los mejores insumos y conocimiento disponibles, posteriormente se debe trabajar en los mecanismos de despliegue geográfico y divulgación, además en los **productos idóneos para cada tipo de usuario**.
- Toda la información de los Atlas de Riesgos debe trabajarse bajo los **estándares de datos abiertos geoespaciales, los principios de apertura de datos y transparencia proactiva**, con las excepciones contempladas en el marco legal.
- La identificación de los usuarios y sus necesidades se hace a través de dos tipos diferentes de técnicas cualitativas: la de recolección de la información sobre los usuarios elegidos a través de un muestreo intencional y la sistematización de esta por medio de codificación (**clasificación a través de etiquetas temáticas**) para poder visualizar ordenadamente sus necesidades, intereses y expectativas.

Siguiendo la establecido en los Términos de Referencia para la Elaboración del Atlas de Riesgos del Municipio de Saltillo emitidos por el IMPLAN y que a su vez retoman la estructura que definen los Términos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos 2018 de la SEDATU, el ARMSC se ha dividido en las siguientes cinco fases:

- Fase I. Marco teórico
- Fase II. Identificación de amenazas y peligros, ante fenómenos perturbadores de origen natural y antropogénico
- Fase III. Vulnerabilidad
- Fase IV. Riesgo / Exposición
- Fase V. Propuesta de estudios, obras y acciones.

Estas cinco fases se estructuran para proporcionar una comprensión integral de los riesgos y vulnerabilidades que enfrenta el municipio de Saltillo. La Fase I establece los fundamentos teóricos necesarios para la elaboración del Atlas, proporcionando el marco conceptual y metodológico. En la Fase II, se realiza la identificación, así como la caracterización de las amenazas y peligros, tanto naturales como antropogénicos, que podrían afectar al municipio. La Fase III se centra en evaluar la vulnerabilidad de los elementos expuestos, como la población, infraestructura y recursos, frente a las amenazas identificadas.

La Fase IV integra la información recopilada en las fases anteriores para calcular los niveles de riesgo y exposición del municipio ante distintos escenarios de desastres. Finalmente, la Fase V propone estudios, obras, además de acciones concretas para la mitigación y gestión del riesgo, orientadas a reducir la vulnerabilidad, así como mejorar la capacidad de respuesta ante eventos adversos. Estas fases buscan, en conjunto, fortalecer la planificación, igualmente la toma de decisiones en materia de protección civil y desarrollo urbano, alineándose con las directrices establecidas por la SEDATU y las metodologías asentadas por el CENAPRED adaptados a las particularidades del municipio.

2 Antecedentes

Saltillo, la capital del estado de Coahuila, México, ha experimentado un importante crecimiento demográfico en las últimas décadas. Según el censo de población y vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en 2020, la población de Saltillo era de 879 mil 958 habitantes. Esto representa un crecimiento del 21.4% respecto al censo de 2010, cuando la población era de 724 mil 753 habitantes.

El crecimiento demográfico de Saltillo se debe a una serie de factores, entre los que destacan:

- La migración interna, ya que la ciudad es un importante centro económico y laboral que atrae a personas de otras partes del país.
- El crecimiento natural, ya que la tasa de natalidad en Saltillo es superior a la tasa de mortalidad.

El crecimiento demográfico de Saltillo ha tenido un impacto significativo en la ciudad. Ha provocado un aumento en la demanda de servicios públicos, como vivienda, educación, salud y transporte. También ha contribuido al desarrollo de la ciudad, ya que ha generado nuevas oportunidades de inversión, además de empleo.

Según las proyecciones del INEGI, la población de Saltillo continuará creciendo en las próximas décadas. Se estima que la población de la ciudad será de un millón 250 mil habitantes en 2030, mientras que para 2050 se valora en un millón 500 mil habitantes.

El crecimiento demográfico de Saltillo plantea una serie de retos para las autoridades municipales y estatales. Es necesario desarrollar políticas públicas que permitan atender las necesidades de la población, como la construcción de nuevas viviendas, la ampliación de la cobertura de servicios públicos y la creación de empleos.

Al reto asociado con el crecimiento poblacional que requiere una planeación del territorio eficiente e integral, se suman los efectos de los fenómenos perturbadores de origen natural que afectan el territorio.

De acuerdo con datos obtenidos de una revisión documental en diversas fuentes, se identifica que en años recientes el estado ha sido afectado por diversos fenómenos de origen natural que han ocasionado desastres, entre los que destacan las inundaciones, evento cuyos efectos causan los mayores daños. En 2007, 2010 y 2020, la ciudad fue afectada por fuertes lluvias que provocaron inundaciones en diversas colonias y fraccionamientos. En 2020, las lluvias que suscitaron las inundaciones fueron atípicas y superaron la capacidad hidráulica de los arroyos, igualmente de los ríos de la ciudad. Las inundaciones causaron daños en viviendas, comercios, infraestructura pública y cultivos con daños calculados por más de 100 millones de pesos (SPC del Estado de Coahuila, 2020).

Así mismo, las granizadas también son un fenómeno común en Saltillo. En 2015, una granizada de gran magnitud causó daños en viviendas, vehículos y cultivos e incluso el deceso de un menor de edad.

En 2023, se registraron dos sismos en Saltillo, uno de magnitud 4.0 y otro de magnitud 3.6. Los sismos no causaron daños materiales ni personales.

Otros desastres de origen natural que han afectado a Saltillo en los últimos 20 años incluyen incendios forestales, heladas y sequías.

Además de los desastres o eventos a causa de fenómenos de origen natural, en Saltillo, los desastres de origen antropogénico han sido significativos en los últimos años. Los incendios forestales han afectado áreas naturales, con pérdidas de flora y fauna. Los accidentes industriales han incluido derrames químicos y explosiones en fábricas, lo que ha generado evacuaciones, así como daños a la infraestructura. La contaminación del aire se ha exacerbado por la actividad industrial, además de la vehicular, mientras que la contaminación del agua y suelo ha sido un desafío continuo debido a la gestión inadecuada de residuos. También se han registrado plagas que afectan la agricultura, así también brotes de enfermedades que ponen en riesgo la salud pública y requieren respuestas coordinadas para su manejo, al igual que los fenómenos índole socio organizativo.

Estos fenómenos destacan la importancia de una planificación, además de la respuesta efectiva ante riesgos antropogénicos para mitigar sus impactos en la comunidad y el entorno.

Ante este panorama, en el año 2014 se desarrolló el Atlas de Riesgos para el municipio de Saltillo, Coahuila, elaborado por el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. Si bien este Atlas representa un esfuerzo importante en materia de identificación de riesgos derivados de fenómenos de origen natural, no aborda los riesgos de tipo antropogénico. Esta condición cobra relevancia considerando el crecimiento, desarrollo y dinámica territorial descrita anteriormente, por lo que resulta necesario considerar el análisis de estos aspectos para contar con un instrumento que contenga el análisis completo de las condiciones de riesgo que presenta el territorio municipal.

3 Objetivos

3.1 Objetivo General

Elaborar la actualización del Atlas de Riesgos del Municipio de Saltillo, para diagnosticar, analizar y detectar amenazas, peligros, vulnerabilidad, así como riesgos por fenómenos perturbadores de origen natural y humano que afecten al territorio, además de su población; y a la vez contribuir con una herramienta que coadyuve al crecimiento y ordenamiento territorial con perspectiva preventiva y sustentable.

3.2 Objetivos específicos

- Consolidar un equipo de trabajo multidisciplinario para la elaboración del Atlas de Riesgos del Municipio de Saltillo Coahuila.
- Actualizar el Atlas de Riesgos a partir de lo establecido en los manuales y normativas del CENAPRED, la SEDATU y CONAGUA.
- Identificar a los diferentes usuarios del Atlas de Riesgos y determinar sus necesidades, además de procesos particulares en relación con la herramienta.
- Identificar los fenómenos perturbadores de origen natural y antropogénico que presentan dinámicas extraterritoriales[1] que obedecen al fenómeno de conurbación y que requieren atención coordinada, así también evaluar el riesgo.
- Facilitar el acceso y análisis de información sobre los diversos peligros y amenazas que puedan afectar el territorio municipal
- Identificar las acciones de prevención y mitigación por fenómeno perturbador, estimando la población y el número de viviendas beneficiadas.

[1] Que está o se considera fuera de los límites territoriales de una jurisdicción.

-
- Enfatizar la geolocalización y clasificación de los arroyos, así también afluentes, con respecto a los riesgos hidrometereológicos
- En los riesgos geológicos hacer hincapié en el comportamiento de los suelos a raíz de los sismos que se han presentado.
- Recalcar los riesgos geológicos en relación con el comportamiento de los suelos a raíz de los sismos que se han presentado.
- Tener en cuenta los derechos de vía de los ductos de Pemex, líneas de CFE y gas natural.

4 Equipo de trabajo multidisciplinario

Para la óptima construcción del ARMSC, se formó un equipo de trabajo multidisciplinario compuesto por especialistas del IGg-UNAM, funcionarios de diversas áreas del municipio involucradas en la gestión del riesgo y el uso del instrumento, además de personal del IMPLAN como promotor del proyecto e Instituciones educativas como la Universidad Autónoma de Coahuila y la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Este grupo no solo recopiló información documental, sino también la experiencia práctica de los funcionarios, esencial para una comprensión profunda de la dinámica municipal. Además, brindó seguimiento, además de retroalimentación a lo largo del desarrollo del proyecto, asegurando que el Atlas reflejara las condiciones actuales de riesgo y fuera útil para la gestión local.

En el proceso de búsqueda y compilación de datos, los expertos en prevención de desastres actualizaron e interpretaron la información, logrando un Atlas que no solo identificó las áreas vulnerables, sino que también proporcionó recomendaciones prácticas para la mitigación y gestión del riesgo en Saltillo. Esta colaboración interdisciplinaria fue clave para crear una herramienta robusta, así como alineada con las necesidades del municipio, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones informadas y la planificación estratégica en la gestión del riesgo de desastres.

Con estos elementos se busca que la actualización del Atlas de Riesgos de Saltillo se convierta en una herramienta moderna y alineada con las necesidades actuales del municipio. Este esfuerzo conjunto permitirá identificar, además de evaluar los riesgos de manera integral e implementar estrategias preventivas, así como correctivas que promuevan un desarrollo urbano más seguro y resiliente.

Al incorporar enfoques multidisciplinarios y cumplir con las normativas vigentes, se fortalecerá la capacidad del municipio para enfrentar los desafíos actuales e incluso los futuros en la gestión integral de riesgos.



Fase I
Marco teórico

5 Fase I. Marco teórico

En esta fase se presenta y desarrolla la teoría que fundamenta el Atlas de Riesgos del Municipio de Saltillo Coahuila; realizando una revisión de la literatura y cartografía sobre el tema en diversas fuentes oficiales como el INEGI, CONAPO, CONEVAL, incluso *vox populi,* mediante las cuales sea posible detectar, extraer, así también recopilar la información de interés para construir el marco teórico vigoroso pertinente al proyecto.

Además de lo anterior, dentro de esta fase se incorpora la información obtenida de dos aspectos fundamentales: el trabajo de campo realizado como parte de la identificación de fenómenos perturbadores a los que está expuesto el territorio municipal, además del uso de la plataforma web, misma que contiene un mapa interactivo y una serie de aplicaciones tanto para captar información como para difundirla.

Las bases teóricas y sistémicas para la elaboración del Atlas de Riesgos, se fundamentan en los criterios de clasificación establecidos en los términos de referencia para la elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos 2018 de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU). También se basan en la Guía de Contenido Mínimo para la Elaboración del Atlas Nacional de Riesgos, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de noviembre de 2016, además de la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos 2014 del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).

Para identificar los fenómenos perturbadores, se realizó una recopilación e investigación documental de datos primarios obtenidos de las principales instituciones nacionales con información relevante sobre el municipio. Estas incluyen el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), el Servicio Geológico Mexicano (SGM), el Instituto Nacional Electoral (INE), y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), así como organismos equivalentes a nivel estatal y municipal; en particular la Secretaría de Protección Civil y Gestión Integral de Riesgos del municipio.

Posteriormente, los datos recopilados fueron procesados siguiendo las guías metodológicas del CENAPRED, aplicando los niveles correspondientes en cada caso, para zonificar las áreas de incidencia de los fenómenos, las áreas de vulnerabilidad y determinar el grado de riesgo predominante.

Con base en la identificación de los peligros, se analizó la vulnerabilidad de los diversos sistemas expuestos mediante recorridos de campo en sitios específicos. Además, se realizó una zonificación de riesgos para los diferentes fenómenos perturbadores utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG), lo que permitió generar cartografía digital y mapas impresos.

5.1 Fundamentación jurídica

La fundamentación jurídica del Atlas de Riesgos se basa en un marco legal y normativo que tiene como objetivo principal la gestión integral del riesgo de desastres. Este marco está diseñado para identificar, analizar, así como reducir los riesgos asociados a fenómenos naturales y antropogénicos, con el fin de proteger la vida, la salud, los bienes y el medio ambiente de la población.

1. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece en su Artículo 4º el derecho de toda persona a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. Además, en su Artículo 115, fracción III, otorga a los municipios la facultad de planear, así como regular el desarrollo urbano y el ordenamiento territorial, incluyendo la prevención, además de la mitigación de riesgos.

2. Ley General de Protección Civil

La Ley General de Protección Civil es uno de los pilares fundamentales en la elaboración del Atlas de Riesgos, ya que establece las bases para una coordinación efectiva entre los diferentes niveles de gobierno y la sociedad civil en materia de protección civil, enfocándose en la reducción de riesgos y la gestión integral del riesgo de desastres.

En su Artículo 19, se establece la obligación de los municipios de elaborar y actualizar su Atlas de Riesgos como una herramienta fundamental para la planeación del desarrollo urbano, además de la toma de decisiones.

3. Ley de Protección Civil del Estado de Coahuila de Zaragoza

La Ley de Protección Civil del Estado de Coahuila refuerza los lineamientos establecidos en la ley general, adaptándolos al contexto estatal. Esta ley establece en sus artículos la obligatoriedad para los municipios de desarrollar un Atlas de Riesgos que considere la identificación, también zonificación de las amenazas naturales y antropogénicas presentes en su territorio.

6. Normatividad Internacional

Además del marco normativo nacional, la elaboración del Atlas de Riesgos del municipio de Saltillo se alinea con los principios y recomendaciones de acuerdos internacionales como el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015 – 2030 que promueve la identificación y evaluación de riesgos como una medida esencial para reducir los impactos de los desastres.

La fundamentación jurídica del Atlas de Riesgos del municipio de Saltillo, Coahuila, se sustenta en una red de leyes, reglamentos y guías tanto a nivel federal como estatal, así como en directrices internacionales que promueven la gestión integral del riesgo de desastres.

Este marco jurídico no solo obliga, sino que también proporciona una guía técnica a los municipios para crear herramientas de planificación, como el Atlas de Riesgo, fundamentales para la protección de la población y el desarrollo sostenible del territorio.

5.2 Plataforma web de participación

Esta plataforma está diseñada para ampliar, promover y facilitar la participación e interacción tanto de los funcionarios del gobierno municipal como, en una etapa posterior, de diversos sectores de la sociedad civil y la zona conurbada de Saltillo.

Este enfoque tiene como objetivo crear un espacio digital en el que los actores gubernamentales puedan colaborar de manera más eficiente, intercambiando información, así como que la toma de decisiones sea de forma más transparente y ágil.

Figura 1. Interfaz de la plataforma de participación del ARMSC



Fuente: elaboración propia, IGg-UNAM, 2023.

Como se observa en la *Figura 1* la plataforma cuenta con tres elementos: formulario para la percepción del riesgo por parte de los ciudadanos, formulario para la capacidad de respuesta y mapa interactivo.

En lo que respecta a los dos formularios, corresponden a herramientas que permitieron captar información concreta y estructurada sobre la percepción del riesgo por parte de la población en general, así como sobre la capacidad de respuesta con la que cuenta la estructura municipal a través del área o áreas competentes.

Cabe resaltar que estos formularios se encuentran establecidos en la "Guía para Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos" en su componente específico para la Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social, por lo que su incorporación a la plataforma facilitó la aplicación, difusión y sistematización, además de obtener mayor cantidad de participaciones.

5.3 Mapa Interactivo

El Mapa Interactivo (MI) surge como una herramienta innovadora diseñada específicamente para la actualización del Atlas de Riesgos del Municipio de Saltillo, Coahuila. Su principal objetivo es recopilar información detallada sobre peligros y riesgos, obtenida directamente de los participantes en el proceso de actualización. Este proceso se lleva a cabo de manera sencilla e intuitiva a través de una interfaz web accesible.

En el proceso de desarrollo del Mapa Interactivo, se optó por utilizar las herramientas más potentes, además de confiables, todas respaldadas por licencias de código abierto y provenientes del ámbito del *software* de sistemas de información geográfica (SIG). En el corazón mismo del MI, se encuentra una robusta base de datos espacial, esencial para la gestión efectiva de datos geográficos.

Figura 2. Mapa Interactivo de participación para el ARMSC



Fuente: elaboración propia, IGg-UNAM, 2023.

Además, la plataforma permitirá descargar y analizar los datos obtenidos a partir de bases de datos y capas vectoriales con georreferencia, lo que facilitará su integración en diversos análisis, así como modelados. Esto es crucial para la construcción del ARMSC, ya que permite un manejo más eficiente de la información espacial.

5.4 Identificación de usuarios y procesos

El Atlas de Riesgos es un instrumento elaborado a partir de conocimiento científico que integra información sobre fenómenos perturbadores a los que está expuesta una comunidad y su entorno. Su estructura está diseñada como una plataforma informática apoyada en sistemas de información geográfica, así como bases de datos, donde el producto fundamental es un compendio cartográfico donde se reflejan diversos escenarios de riesgo a los que está expuesto un territorio; su uso se distribuye en diferentes áreas de conocimiento y sectores de la sociedad.

Por ello, en la Fase I de la construcción del Atlas de Riesgos del Municipio de Saltillo es primordial identificar a los usuarios que permitan adaptar el conocimiento existente a las diferentes tareas que tanto los actores como las dependencias trabajan en reducir las vulnerabilidades, conocer los peligros y las amenazas, para con ello mitigar el riesgo.

En el proceso de integrar un documento técnico como el que aquí se propone, es necesario incluir las experiencias y conocimiento que tienen las personas sobre los principales usos, también las problemáticas con relación a la consulta y aplicación del Atlas de Riesgos, así como su comprensión respecto a las experiencias, además de situaciones que han presenciado sobre los fenómenos perturbadores y sus efectos en el municipio de Saltillo.

La recolección de información de la identificación de usuarios y fenómenos perturbadores a partir de una técnica cualitativa como la entrevista, conceptualiza la función del Atlas más allá de un instrumento jurídico y de comunicación de riesgos, relaciona todas aquellas características técnicas que las personas identifican a partir de los elementos cartográficos, las necesidades en la administración, las atribuciones en el uso y el adecuado proceso de gestión integral de riesgo.

Derivado de este trabajo, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- **Identificación de usuarios y fenómenos perturbadores**: se identificaron tres grupos principales de usuarios del Atlas: funcionarios y especialistas, organizaciones de la sociedad civil, y el público en general. Cada grupo tiene diferentes niveles de interacción, además de necesidades con respecto al Atlas, lo que resalta la importancia de personalizar la información para facilitar su acceso y comprensión de todos los usuarios.
- **Valoración del Atlas de Riesgos**: los funcionarios valoran el Atlas como una herramienta técnica importante para la gestión del riesgo, aunque mencionan que a veces es difícil de entender. Las organizaciones de la sociedad civil lo consideran ventajoso para la comunidad, pero existe una falta de conocimiento sobre su uso. El público en general percibe el Atlas como un documento de difícil acceso y comprensión.

- **Recomendaciones para la mejora del Atlas**: se sugirió organizar la información por fenómenos y hacerla accesible mediante medios digitales. Se destaca la necesidad de un documento dinámico que sea fácil de usar, además de ser accesible para todas las dependencias y el público en general.
- **Problemas y áreas de oportunidad**: se identificaron barreras en el uso y acceso del Atlas, como la falta de actualización y la necesidad de una mejor difusión. Se recomendó estructurar el Atlas por fenómenos, así como zonas específicas y hacer capacitaciones para su uso.
- **Importancia del Atlas para la Gestión del Riesgo**: se concluye que el Atlas de Riesgos debe desempeñar un papel clave en la reducción de la vulnerabilidad, aumento de la prevención y el incremento de la resiliencia frente a los riesgos en Saltillo. Para cumplir su función, es esencial que la información esté desagregada por tipo de usuario y que se mejore su diseño cartográfico, lenguaje, así también los mecanismos de difusión.

El desarrollo de este apartado, las metodologías empleadas, así como los resultados específicos se presentan en el Anexo 2 del Atlas. Los aspectos relevantes y principales hallazgos se han considerado en el desarrollo y construcción de los productos que integran la actualización del Atlas de Riesgos del municipio de Saltillo.

5.5 Mapa Base

Atendiendo lo establecido en los términos de referencia, se diseñó el mapa base para el ARMSC, el cual corresponde al mapa que contiene las partes esenciales del terreno, necesarias para identificar las características de localización, además de los aspectos fundamentales del territorio y constituye la base para los mapas temáticos más detallados.

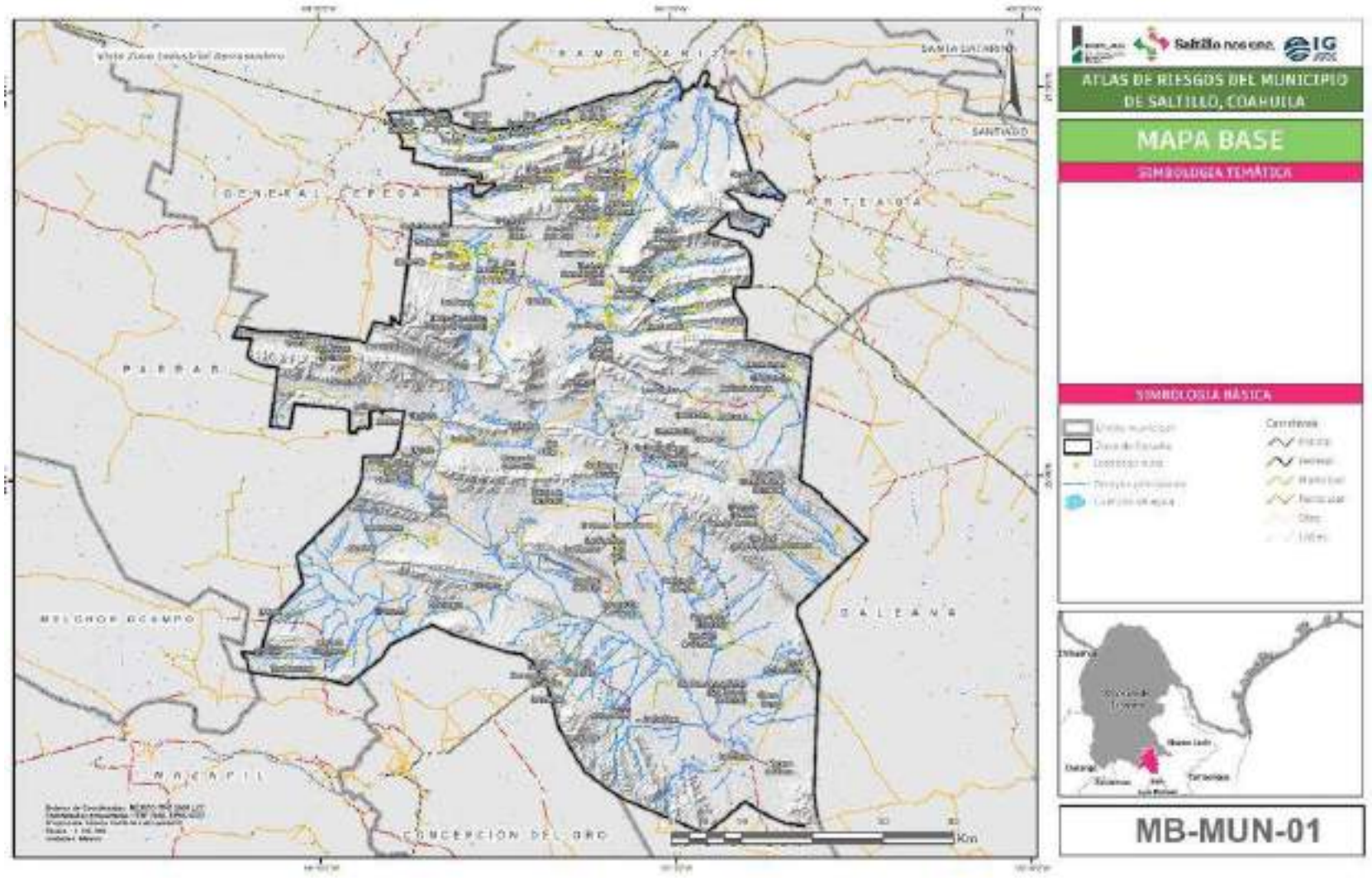
El contenido del mapa base se generó considerando que este debe adaptarse al tema que quiera representarse sobre él ya que tiene que ser funcional y el diseño debe ser consecuente con el contenido del mapa final. En el caso del ARMSC el mapa base permitirá la representación de la caracterización de los elementos del medio natural, sociales, económicos, demográficos, e identificación de peligros y/o riesgos, así como de aspectos de vulnerabilidad social y física.

Derivado de las condiciones que presenta el territorio municipal en cuanto a extensión, además de distribución de localidades rurales y urbanas, así como de otros elementos que lo conforman, se requirió establecer el mapa base en dos escalas que permitan la correcta apreciación de la representación de los diferentes temas.

Es importante mencionar que, las escalas determinadas que se explican a continuación, corresponden únicamente a las de representación cartográfica y se determinaron de acuerdo a la proporción que permitiera visualizar la totalidad del territorio municipal o de la zona urbana. No obstante, las escalas de análisis son mayores y varían dependiendo del fenómeno a estudiar.

De acuerdo con lo anterior, la escala municipal en la que es posible visualizar la totalidad del municipio de Saltillo a escala de representación cartográfica corresponde a 1: 450,000 (Mapa 1).

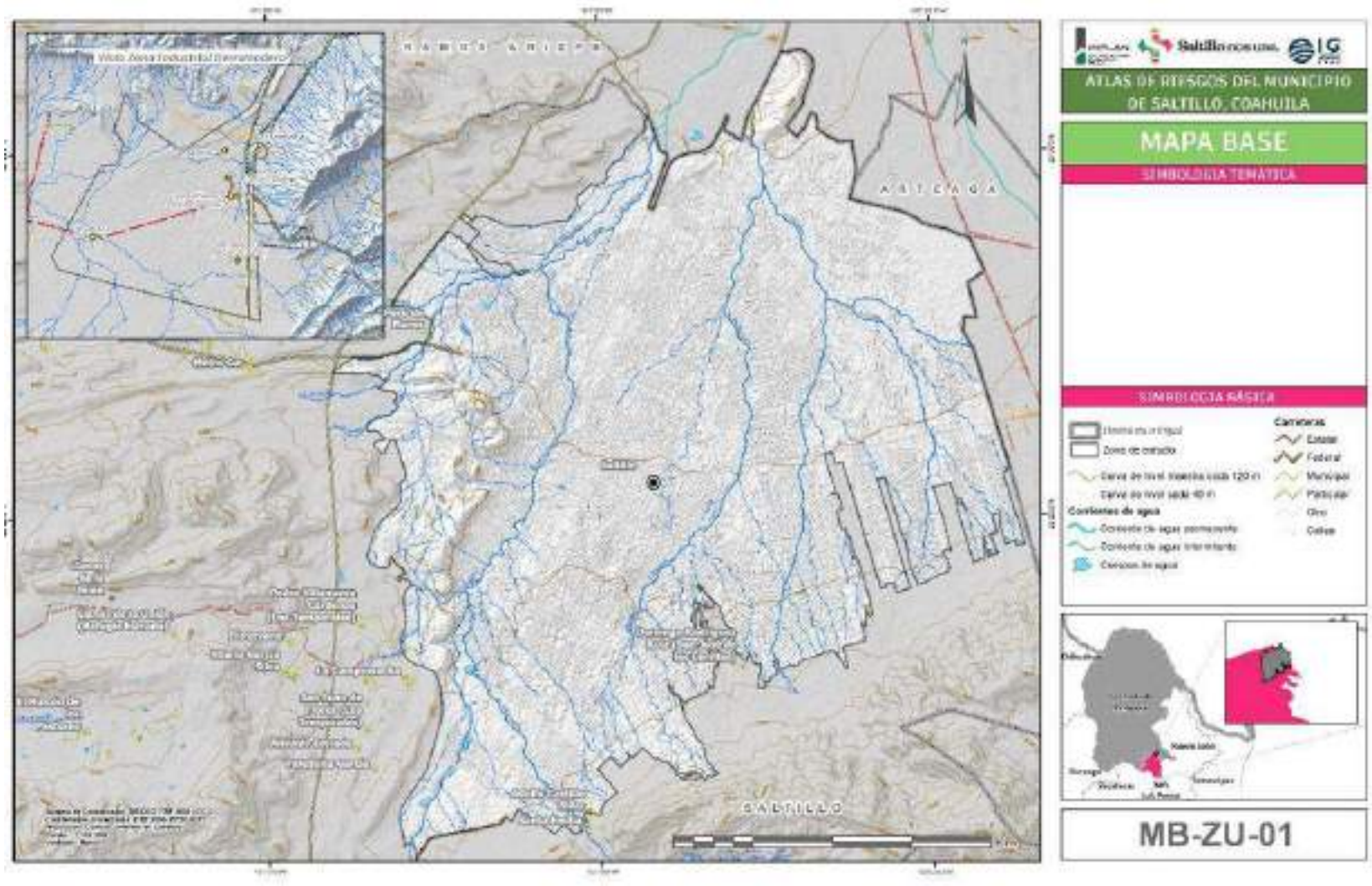
Mapa 1. Mapa base del ARMSC escala municipal



Fuente: elaboración propia a partir de datos de INEGI, 2022.

La segunda, corresponde a la escala de cabecera municipal en la que se visualiza el espacio ocupado por la zona urbana de la ciudad de Saltillo y que corresponde a una escala de representación cartográfica 1: 100, 000 (Mapa 2).

Mapa 2. Mapa base del ARMSC escala cabecera municipal



Fuente: elaboración propia a partir de datos de INEGI, 2022.

5.6 Determinación de niveles de análisis y escalas de representación cartográfica

5.6.1 Niveles de análisis

Los niveles de análisis de los fenómenos perturbadores están definidos por dos elementos: la probabilidad de ocurrencia de los peligros en el territorio municipal y la disponibilidad de datos requeridos para el análisis de este.

Los niveles de análisis están relacionados con los métodos de estudio, los cuales se refieren a los planteamientos metodológicos que existen para obtener información precisa y en diferentes escalas de trabajo acerca de los sistemas perturbadores de origen natural que afectan el territorio.

La determinación del nivel de análisis sigue un desarrollo jerárquico de métodos, que abarcan desde los más simples hasta los más complejos, según la metodología utilizada.

Los Términos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos de la SEDATU (2018) definen distintos niveles de análisis para estudiar fenómenos perturbadores de origen natural. El enfoque se organiza de forma progresiva, donde el "Método 1" corresponde al nivel más básico de estudio, enfocado en la recopilación de información esencial. A medida que el número de método aumenta, también lo hace la complejidad del análisis, con el "Método 2" proporcionando una mayor profundidad, además de precisión que el primero y así sucesivamente.

Esta estructura permite que el análisis de los riesgos se ajuste a las características específicas del área de estudio. Con cada nivel superior, se incrementa la cantidad de variables y la complejidad técnica, lo que resulta en un estudio más detallado, así como preciso. Este enfoque progresivo garantiza que el Atlas de Riesgos esté basado en información acorde a la realidad local, permitiendo una mejor implementación de medidas preventivas y de mitigación.

A continuación, se presentan los fenómenos perturbadores y el nivel de análisis en el que se abordarán.

La información obtenida a través de talleres, mesas de trabajo, y recorridos de campo organizados por las autoridades municipales refleja los problemas críticos en el territorio, destacando los fenómenos de mayor incidencia como las inundaciones (lluvias extremas, inundaciones fluviales y pluviales) y los riesgos de caídos, derrumbes e inestabilidad de laderas. Estos eventos son los más recurrentes por lo que representan un peligro significativo para la población local.

En contraste, otros fenómenos perturbadores de origen natural, como vulcanismo, tsunamis y tornados, tienen una baja probabilidad de ocurrencia. Sin embargo, fenómenos como sismos, sequías, además de ciclones tropicales pueden afectar todo el territorio, aunque su impacto es menos frecuente. Fenómenos como las heladas, tornados, así como tormentas de granizo o nieve tienen una ocurrencia aleatoria, lo que dificulta su predicción y modelación precisa debido a la limitada disponibilidad de datos, por lo que se aborda su análisis de manera más general.

Peligros geológicos - sismos

Este subtipo de peligro tendrá un análisis de nivel 1 debido a que dadas las condiciones geográficas y ubicación del municipio, ya se cuenta con antecedentes geológicos, además de sísmicos que permiten generar una cartografía regional al igual que local de este peligro; sin embargo, se revisará la posibilidad de complementar la cartografía con información que logren proporcionar las dependencias como Protección Civil, sobre sismos que se tengan reportados o registrados (

Tabla 1).

Tabla 1. Método de análisis para peligro por sismos

Aspecto	Alcance
Método	Se generará una base de datos de los registros símicos del Servicio Sismológico Nacional para el área del municipio con fechas, epicentros y profundidades para categorizar los peligros sísmicos por zona dentro del área del municipio.
Evidencias	Se compilará toda la información existente sobre los peligros en el área del municipio. A través de visitas de campo y recorridos con el personal de Protección Civil municipal, se recopilará información actualizada y georreferenciada sobre epicentros y las afectaciones de los sismos a la infraestructura y la población.
Observaciones	Se complementará la información con sismos locales registrados en zonas puntuales del municipio para generar un análisis más robusto ante el peligro sísmico en el municipio.

Fuente: elaboración propia.

Peligros geológicos - inestabilidad de laderas

Este subtipo de peligro se analizará a nivel 2, utilizando información ya existente proporcionada por el municipio, así como las fuentes de datos oficiales para complementarse con trabajo de campo para la caracterización de elementos geológicos y geomorfológicos con el objetivo de generar cartografía a detalle, así como temática sobre este peligro. Se enfatizará el análisis en la zona urbana cercana a laderas del municipio que es donde este fenómeno pudiese tener mayores afectaciones a la población (Tabla 2).

Tabla 2. Método de análisis para peligro por inestabilidad de laderas

Aspecto	Alcance
Método	Se realizará una caracterización geológica de litología, geología estructural y morfología de las zonas susceptibles al deslizamiento de laderas para complementar la base de datos existente, para con esto generar cartografía detallada sobre las pendientes, así como los materiales susceptibles a generar deslizamientos que permita caracterizar las zonas con peligro dentro del municipio
Evidencias	A través de visitas a campo se corroboró las zonas que pueden ser afectadas por este peligro y se complementó con los datos históricos sobre deslizamientos en algunas áreas del municipio, con lo cual se generará cartografía para categorizar, clasificar, además de tener una distribución espacial de los deslizamientos en relación con la población expuesta.
Observaciones	Los resultados obtenidos se complementarán con información sobre arroyos de temporal que estén presentes en estas zonas y que potencialicen el peligro.

Fuente: elaboración propia.

Peligros geológicos - derrumbes

En subtipo de peligro se analizará a nivel 2, estudiando la información que ya existe proporcionada por el municipio, así como de fuentes de datos oficiales para ser complementada con trabajo de campo para la caracterización de elementos geológicos estructurales y litológicos con el objetivo de identificar el peligro por derrumbes generando su respectiva cartografía temática.

Se enfatizará el análisis en la zona urbana cercana a las áreas con presencia de bloques cercanos a asentamientos humanos del municipio, que es donde este fenómeno pudiese tener mayores afectaciones a la población (Tabla 3).

Tabla 3. Método de análisis para peligro por derrumbes

Aspecto	Alcance
Método	Se llevará a cabo una caracterización de la geología estructural y la litología de las zonas susceptibles a desprendimientos de bloques, para complementar la base de datos existente y generar mapas detallados de las áreas con mayor riesgo de derrumbes o deslizamientos en el municipio
Evidencias	Se obtuvo información sobre este peligro en las visitas a campo y se corroboraron las zonas que pueden ser afectadas por este peligro, con lo que se generará cartografía para clasificar, así como dar pie a una distribución espacial y caracterización los sitios con susceptibilidad a procesos de caídos o vuelcos.
Observaciones	Los resultados obtenidos se complementarán con información sobre arroyos de temporal que estén presentes en estas zonas y que potencialicen el peligro.

Fuente: elaboración propia.

Peligros geológicos - agrietamientos

Este subtipo de peligro geológico será abordado en un Nivel 1, ya que durante la visita de campo, se detectó la presencia de este peligro en una localidad rural del municipio. Sin embargo, se procederá a revisar la información disponible y documentada sobre casos similares en el municipio para determinar si existen registros adicionales que justifiquen un análisis más profundo o la aplicación de un enfoque más detallado (Tabla 4).

Tabla 4. Método de análisis para peligro por Agrietamientos

Aspecto	Alcance
Método	Se generará el índice estandarizado de donde se documentarán los casos presentes de este fenómeno y se acudirá a campo a verificar la información que se recabe para su posterior expresión geoespacial.

Aspecto	Alcance
Evidencias	A través de entrevistas abiertas con personal de Desarrollo Rural del municipio se dio a conocer que existe un agrietamiento en una localidad rural del municipio, la cual ya fue registrada en la plataforma web que se generó para tal fin. Dicha información se requiere verificar en campo y con acompañamiento de Protección Civil del municipio
Observaciones	Los resultados se correlacionarán con datos de fallas y fracturas del municipio

Fuente: elaboración propia.

Peligros hidrometereológicos - ondas cálidas y gélidas

Para este subtipo de fenómeno, el análisis se realizará en un nivel 1, ya que debido a la ubicación del municipio, es un fenómeno con el cual la población ya está familiarizada. Sin embargo, podría elevarse el análisis a un nivel 2 si los datos disponibles para los últimos 30 años de observaciones muestran consistencia en su comportamiento.

Además se vería complementado por la incorporación de información proveniente de CENAPRED y las declaratorias de desastres emitidas a lo largo de dicho periodo, lo cual permitiría un enfoque más detallado y específico sobre la afectación que dicho fenómeno puede generar en el municipio (Tabla 5).

Tabla 5.Método de análisis para peligro por Ondas cálidas y gélidas

Aspecto	Alcance
Método	Se creará una base de datos climatológica para registrar las temperaturas máximas, mínimas y extremas, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la interpolación de isolíneas para estas variables.
Evidencias	A través de entrevistas abiertas con personal de Protección Civil del municipio se dio a conocer que los efectos del calentamiento global del planeta han propiciado que en los últimos años se hayan alcanzado temperaturas por arriba de los 40 grados centígrados.
Observaciones	La información se complementará con evidencias fotográficas, si están disponibles, especialmente en áreas como salud (por ejemplo, personas tratadas por golpes de calor o hipotermia).

Fuente: elaboración propia.

Peligros hidrometereológicos - sequías

Este subtipo de peligro se analizará a nivel 2, empleando información de datos climatológicos recomendados por SEDATU (2016) para el nivel 1. Se enfatizará el análisis en la zona rural del municipio que es donde este fenómeno tiene mayores efectos potenciales en las actividades productivas (Tabla 6).

Tabla 6. Método de análisis para peligro por sequías

Aspecto	Alcance
Método	Se generará el índice estandarizado de precipitación del monitor de sequía del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y el índice de Palmer.
Evidencias	A través de entrevistas abiertas con personal de Desarrollo Rural del municipio, se dio a conocer que los efectos del calentamiento global del planeta han propiciado que en los últimos dos años se hayan presentado sequías atípicas.
Observaciones	Los resultados se complementarán con los datos del monitor de sequía de SMN-CONAGUA.

Fuente: elaboración propia.

Peligros hidrometereológicos - tormentas de granizo

Como en el caso de las heladas, el análisis que se propone efectuar a nivel 1; derivado de la disponibilidad de información que se pueda captar de parte de las áreas de Protección Civil, de Desarrollo Rural y de Cambio Climático, además de los datos oficiales disponibles en fuentes públicas (Tabla 7).

Tabla 7. Método de análisis para peligro por tormentas de granizo

Aspecto	Alcance
Método	Se creará una base de datos climatológica de los últimos 30 años que registre los días con granizo. Con esta información se obtendrán las isolíneas de este fenómeno, utilizando el método de interpolación Kriging.

Aspecto	Alcance
Evidencias	A través de entrevistas abiertas con personal de Protección Civil del municipio, se dio a conocer que los en los últimos años la presencia y tamaño de los granizos ha incrementado, afectando a viviendas precarias en el municipio. Se espera información sobre este tema por parte del área de Protección Civil, así como de Desarrollo Rural del municipio
Observaciones	Los resultados se complementarán con los datos de los mapas de índices de riesgo a escala municipal generados por CENAPRED

Fuente: elaboración propia.

Peligros hidrometereológicos - ciclones, depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes

Para este tipo de subtipo, se propone realizar un análisis de nivel 1. Aunque se tiene registro de su presencia, ha sido esporádica y sus efectos están vinculados al peligro de inundaciones, el cual se analizará en detalle. Además, debido a la lejanía del municipio respecto a las costas, no se presentan efectos como vientos severos o mareas de tormenta (Tabla 8).

Tabla 8. Método de análisis para peligro por ciclones, depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes

Aspecto	Alcance
Método	Se efectuará un registro histórico de estos eventos que han afectado al municipio y el tipo de daños que se generaron; para su posterior expresión espacial, además de efectuar entrevistas mediante una aplicación web.
Evidencias	Se espera contar con evidencias de este fenómeno en los registros de Protección Civil y Obras Públicas del municipio; en relación directa con las inundaciones.
Observaciones	Los resultados se complementarán con los datos de los mapas de índices de riesgo a escala municipal generados por CENAPRED.

Fuente: elaboración propia.

Peligros hidrometereológicos - tornados

Este subtipo se analizará a nivel 1, debido a su poca presencia en el municipio; no obstante, se relacionará con datos que puedan existir sobre tolvaneras que tiene mayor expresión en la zona rural de la entidad (Tabla 9).

Tabla 9. Método de análisis para peligro por tornados

Aspecto	Alcance
Método	Se aplicarán entrevistas con técnicos de campo del área de Desarrollo Rural y se verificarán en campo los efectos de este tipo de fenómeno. Las entrevistas se complementarán mediate el uso de una aplicación web.
Evidencias	A través de entrevistas abiertas con personal de Desarrollo Rural del municipio se dio a conocer que al parecer el fenómeno de tornados se ha presentado en un par de ocasiones, mientras que las tolvaneras son más frecuentes, lo cual se verificará en visita de campo para su registro geoespacial.
Observaciones	Los resultados se complementarán con los datos del Atlas Nacional de Riesgos sobre el mapa de presencia de tornados en municipios de México.

Fuente: elaboración propia.

Peligros hidrometereológicos - Inundaciones

En el caso de los peligros hidrometeorológicos, específicamente el subtipo de inundaciones pluviales, se aplicará un nivel de análisis 3. Esto se debe a que dicho fenómeno representa uno de los peligros más significativos para el municipio de Saltillo, particularmente en el área urbana.

La intensidad y frecuencia de las lluvias torrenciales, combinadas con la urbanización, así como posibles deficiencias en la infraestructura de drenaje, hacen que las inundaciones pluviales tengan un alto impacto en la población, además en el entorno urbano (

Tabla 10).

Tabla 10. Método de análisis para peligro por inundaciones

Aspecto	Alcance
Método	Se generarán modelos de superficie y de terreno con base en tecnología LIDAR que servirán de base para la determinación de cuencas de captación, morfometría de estas y la modelación matemática de tiempos de concentración (Kirpich), cálculos de gastos líquidos y sólidos, además de modelación de avenidas máximas extraordinarias en cauces de la zona urbana y zonificación de áreas potenciales de inundación para periodos de retorno de dos, cinco, 10, 20, 50 y 100 años.
Evidencias	Se cuenta con datos georreferenciados, además de fotográficos de este tipo de fenómeno proporcionados por Protección Civil y Obras Públicas municipales.
Observaciones	La información de campo recabada permitirá el modelado inicial, que se verificará en una segunda visita de campo.

Fuente: elaboración propia.

Peligros químico - tecnológicos

Este tipo de peligros y sus subtipos en el municipio de Saltillo serán inicialmente abordados en un nivel de análisis 1, debido a que la amplia gama de actividades industriales presentes en la entidad y su área conurbada requiere más tiempo para obtener información detallada de las empresas involucradas. Este aspecto fue discutido con el personal del IMPLAN Saltillo, quienes destacaron la necesidad de contar con datos más completos antes de realizar análisis más avanzados.

No obstante, si la información recabada de las empresas y las actividades industriales es suficiente, se podría elevar el análisis a un nivel 2, lo que permitiría una evaluación más precisa de los riesgos asociados a estas actividades, así como su impacto potencial en la región. Esto dependerá de la disponibilidad, además de la calidad de los datos obtenidos en futuras fases del estudio.

Tabla 11. Método de análisis para peligro por inundaciones

Aspecto	Alcance
Método	Se efectuará un registro de las actividades industriales que pueden generar peligro, tanto en sus procesos de fabricación, como en los productos que generan, además de sus medios de transportación. También se efectuarán entrevistas mediante una aplicación web.
Evidencias	Se cuenta con información del DENUE, así como de Protección Civil sobre eventos asociados a fuentes químico-tecnológicos, además de capas georreferenciadas de ductos de gas natural y de Pemex.
Observaciones	Los productos del análisis de este tipo de fenómenos se presentarán por subtipo.

Fuente: elaboración propia.

Peligros socio - organizativos

Los peligros socio - organizativos se refieren a amenazas o riesgos derivados de aspectos sociales, organizativos o estructurales en una comunidad o sociedad. Estos pueden manifestarse a través de conflictos sociales, tensiones políticas, desigualdades económicas, falta de cohesión social, problemas en la estructura institucional o incluso fallas en la organización comunitaria.

Estos factores pueden influir en la vulnerabilidad de una comunidad frente a desastres naturales, eventos adversos o emergencias, afectando su capacidad de respuesta y recuperación.

En Saltillo, este tipo de fenómeno se analizará de acuerdo con lo recomendado por la guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos elaborada por el Centro Nacional de Prevención de Desastres, en el apartado **"**VIII. Fenómenos Socioorganizativos" donde se dice que puede realizarse a nivel localidad y municipal.

Para el caso del presente Atlas, este análisis se llevará a cabo de las dos formas recomendadas. Debido a la disponibilidad, así como las características de la información, este fenómeno se abordará hasta el análisis de susceptibilidad de acuerdo con lo establecido en la guía mencionada.

Peligros sanitario - ecológicos

Cuando se producen cambios drásticos en el equilibrio de los ecosistemas, los organismos no son capaces de adaptarse con la rapidez que exige el cambio, entonces se ven afectadas las especies más vulnerables y se presentan cambios bruscos en las relaciones de todo el ecosistema por lo cual, se pueden presentar fenómenos sanitarios como epidemias, plagas, contaminación de agua, aire, suelo y alimentos.

En Saltillo este tipo de fenómeno se analizará de acuerdo con lo recomendado por la guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos elaborada por el Centro Nacional de Prevención de Desastres, en el apartado **"**VII. Fenómenos Sanitario ecológicos" donde se indica que puede hacerse a nivel localidad y municipal, para el caso del presente Atlas, este análisis se llevará a cabo de las dos formas recomendadas.

Debido a la disponibilidad y características de la información, este fenómeno se abordará hasta el análisis de susceptibilidad de acuerdo con lo establecido en la guía mencionada.

5.7 Escalas de Representación Cartográfica

En cuanto a las escalas de representación cartográfica, el Atlas de Riesgos Municipales de Saltillo (ARMSC) se integrará en dos niveles. El primero será el nivel municipal (regional), donde se representará la totalidad del territorio municipal y se evaluarán todos los fenómenos perturbadores, independientemente de su probabilidad de ocurrencia. Para este nivel, se ha definido una escala de representación de 1:450,000, mientras que la escala geográfica de análisis será más detallada, con una proporción de 1:50,000 para abarcar adecuadamente el territorio municipal.

El segundo nivel será el de "detalle", que se centrará en la ciudad de Saltillo y las áreas clave relacionadas con la infraestructura carretera. En este nivel se analizarán fenómenos como caídos o derrumbes, fallas y fracturas, e inundaciones fluviales y pluviales. La escala cartográfica de análisis variará según el área abordada, oscilando entre 1:15,000 y 1:5,000, mientras que su escala de representación será de 1:100,000. Este enfoque asegura que las zonas de mayor riesgo se estudien con el nivel de detalle necesario para implementar medidas de mitigación eficaces.

5.8 Caracterización de los elementos del medio natural

5.8.1 Fisiografía

El municipio de Saltillo alberga a la Sierra Madre Oriental, el territorio es atravesado de este - oeste por este sistema montañoso, justo al sur de la zona metropolitana por la Sierra de Zapalinamé, y al oeste de esta la Sierra de Playa Madero, la cual se continúa hacia el oeste en el municipio de Parras de la Fuente. En la porción sureste del territorio municipal se encuentran las sierras de El Astillero y Matehuapil, mientras que en la región suroeste esta las sierras de Texas, Zuloaga y La Prieta (Atlas de Riesgos de Saltillo, Coahuila 2014).

Las elevaciones máximas se encuentran en la Sierra de La Concordia al oeste del municipio, alcanzando una elevación de más de 3 mil 100 m.s.n.m. mientras que las elevaciones más bajas se encuentran en la zona urbana llegando a los mil 400 m.s.n.m., adicional a las cotas mínimas en la porción sureste del municipio se localizan grandes extensiones muy planas que dan origen a una cuenca endorreica que drena a la denominada Laguna El Hundido con elevación cercana a los mil 720 m.s.n.m.

Mientras que en la zona suroeste hay otra área con topografía muy plana con una elevación de alrededor de mil 650 m.s.n.m., que drena a la laguna Tecolotes. La topografía de la zona urbana del municipio está constituida por la Sierra de Zapalinamé hacia el sur, y las sierras del Asta y Palma Gorda hacia el oeste. Las elevaciones varían desde los mil 420 m.s.n.m. en la porción noreste del área urbana, hasta los dos mil 20 m.s.n.m. al pie de monte de la sierra de Zapalinamé (Atlas de Riesgos de Saltillo, Coahuila 2014).

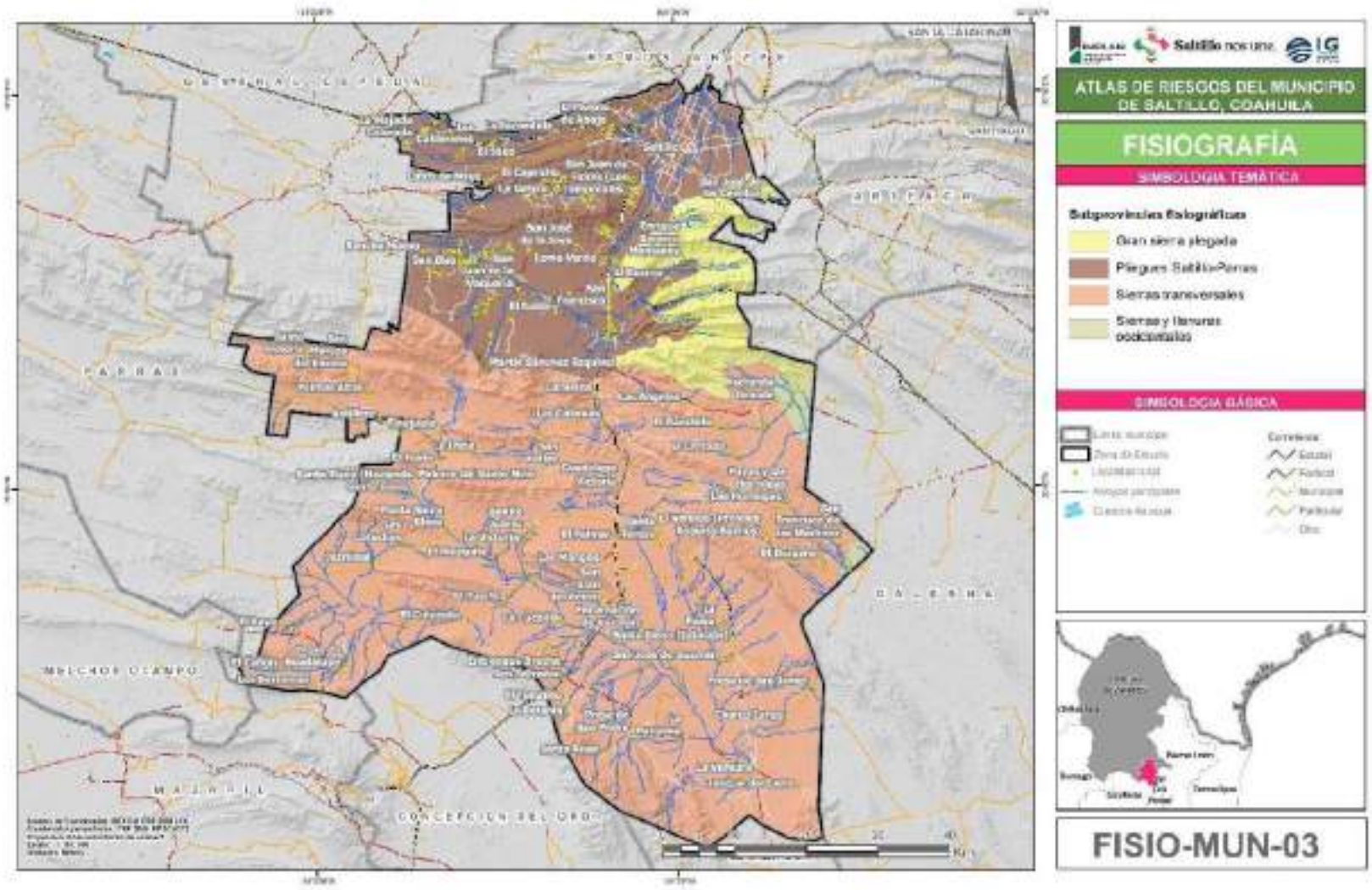
El territorio municipal está en cuatro subprovincias fisiográficas distintas como se muestra en la Tabla 12 y en el *Mapa 3*.

Tabla 12. Subprovincias fisiográficas de Saltillo.

Subprovincias	ÁREA (ha)	Porcentaje
Gran sierra plegada	129896.59	23.11
pliegues Saltillo-Parras	389807.41	69.34
Sierras Transversales	37403.24	6.65
Sierras y Llanuras occidentales	5040.57	0.90

Fuente: Elaboración propia con información de INEGI

Mapa 3. Subprovincias Fisiográficas para el municipio de Saltillo



Fuente: elaboración propia con información de INEGI.

5.8.2 Geomorfología

Las características geomorfológicas de la región se encuentran asociadas al relieve distintivo de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental, que destaca por sus altas cadenas montañosas formadas por anticlinales y sinclinales, compuestos por rocas sedimentarias del Mesozoico, y cubiertas por delgadas capas de suelos residuales.

El municipio de Saltillo se encuentra ubicado en la provincia fisiográfica de Sierra Madre Oriental y en las subprovincias de Pliegues Saltillo-Parras, Gran Sierra Plegada, Sierras Transversales y Sierras, además de Llanuras Occidentales. El territorio del municipio está cubierto por geoformas del sistema cárstico y de piedemonte (Tabla 13).

Tabla 13. Geoformas del municipio de Saltillo

Grupos	Geoformas
Llanuras Lacustres	Llanura Lacustre Interior
Montañas de plegamiento	Elevaciones Bajas y/o Lomeríos
	Premontaña
	Montaña
Sierras	Montaña Bloque
Sistema de piedemonte	Abanicos Aluviales
	Rampa Acumulativa con procesos de sedimentación
	Rampa Erosiva con procesos de socavación
Sistema Fluvial	Valle Aluvial
	Valle Amplio
	Valle de Montaña
	Valle Intermontano
Sistema cárstico	Relieve Cárstico Denudatorio
Planicies	Relieve Mesiforme de estructura tabular

Fuente: tomado del Atlas de Riesgos de Saltillo, Coahuila 2014.

El área urbana del municipio se encuentra localizada en la subprovincia de los Pliegues Saltillo - Parras la cual presenta un conjunto de sistemas de topoformas (*Tabla 14)* que varían desde las llanuras, valles extendidos, lomeríos suaves, abruptos y pequeñas sierras que están orientadas en dirección este-oeste. *Al estar* enclavada en una zona árida, su paisaje es típico del desierto, aunque es fácil observar en las cumbres topográficas bosques de pinos y encinos. Se trata de un conjunto de valles orientados de este a oeste y limitados al norte y al sur por flancos residuales de anticlinales erosionados. Entre las topoformas más relevantes se encuentran las Elevaciones bajas con lomeríos, Rampa Acumulativa con procesos de sedimentación y Rampa acumulativa con procesos de socavación lateral.

La primera topoforma rodea a las otras dos y está ubicada al sur, suroeste y este del área urbana, correspondiendo a las zonas de pie de monte de la Sierra de Zapalinamé, produciendo un drenaje casi paralelo en dirección al noreste, dando origen a los procesos de sedimentación que están representados por la segunda topoforma antes mencionada.

Tabla 14. Topoformas del municipio de Saltillo

Tipo	Descripción
Bajada	Bajada con lomerío
Bajada	Bajada con Sierras
Bajada	Bajada típica
Llanura	Llanura aluvial
Llanura	Llanura aluvial con lomerío
Llanura	Llanura aluvial salina
Llanura	Llanura baja de piso rocoso o cementado con lomerío
Llanura	Llanura desértica de piso rocoso o cementado
Sierra	Sierra compleja
Sierra	Sierra compleja con bajadas
Sierra	Sierra compleja con lomerío
Sierra	Sierra plegada
Sierra	Sierra plegada-flexionada
Valle	Valle intermontano

Fuente: elaboración propia con información de INEGI

Particularmente en la zona urbana, se tiene un amplio valle de origen aluvial y coluvial, cuya inclinación decrece notablemente de sur a norte hasta formar una planicie con pendiente muy suave. Esta superficie se encuentra disectada por numerosos arroyos que tienen sus cabeceras en las sierras que le circundan, tales como: Las sierras de El Asta, El Pinal y Palma Gorda situadas en la porción occidental del valle; y las sierras de Zapalinamé, La Nieve y San Lucas, en la parte oriental del mismo.

El drenaje que forma esta microcuenca muestra un patrón de tipo dendrítico radial de régimen efímero que converge cerca del extremo norte del límite municipal en la loma La Cruz, ya dentro del municipio de Ramos Arizpe y su traza se ve normada por la presencia de números abanicos aluviales y coluviales coalescentes.

Emergiendo dentro de los depósitos aluviales, se observan pequeñas elevaciones formadas principalmente por estratos laminares de lutita apizarrada o argilita, alternadas con calizas de poco espesor. Ambos miembros litológicos se encuentran muy deformados y fracturados, observándose en algunos casos que a través de las fracturas fueron inyectadas soluciones carbonatadas (calcita), formado vetas que llegan a los 20 cm de espesor.

También sobresalen algunas terrazas aluviales, principalmente en la porción noreste de la ciudad, formadas por conglomerados calizos, matriz soportados en un limo arcillo-arenoso, que evidencia una variación climática antigua o paleoclima más lluvioso.

Esta condición es relevante para entender el proceso de acumulación de aguas de lluvia en el norte del municipio y principalmente en el área urbana de este. En la zona rural del municipio, aparecen varias áreas identificadas como Llanura lacustre interior, lo que representa zonas de potencial inundación, ya que al ser zonas muy planas son empeladas para distintas actividades agrícolas y pecuarias.

5.8.3 Geología

Con base en la información geológica antecedente, la litología del área de estudio consiste en una cubierta sedimentaria marina depositada durante el Cretácico Tardío (Formación Cerro del Pueblo), compuesta en su base por lutitas carbonosas y argilitas de color negro a gris oscuro, que forman capas de delgadas a laminares, físiles, con aspecto astilloso, además de muy fracturadas.

Al intemperismo ofrecen un aspecto masivo debido a que la fractura astillosa o esquistosidad tipo lápiz oculta los planos de estratificación. Por otra parte, se tienen capas de caliza microcristalina dispuestas de forma alternada en estratos que varían en su espesor de delgados a gruesos, de color gris en muestras frescas y pardo - amarillentas al intemperismo.

Los amplios plegamientos de este grupo geológico han dado forma a las sierras y elevaciones que se localizan en la parte occidental de la ciudad de Saltillo, al cual se ha denominado Anticlinorio de Arteaga. Dichos plegamientos desaparecen abruptamente en el valle de la ciudad citada, bajo un relleno de depósitos coluviales, así como aluviales, emergiendo dentro de la misma, como pequeñas elevaciones donde las rocas se encuentran muy deformadas, además de fracturadas, presentando una estructura apizarrada y numerosas vetas de calcita, lo cual evidencia la presencia de una falla regional que separa al Terreno Coahuila del Terreno Sierra Madre Oriental.

La geología municipal se compone principalmente de rocas sedimentarias marinas y palustres marinas, areniscas y conglomerados polimícticos, cuyas edades varían del Mesozoico Jurásico al Cenozoico Cuaternario, predominando suelos aluviales 54%, seguidos de caliza 24%, lutita - arenisca 10%, conglomerado 9%, caliza-lutita 1%, lutita 1% y monzonita 1%.

Las estructuras formadas por las rocas de esta provincia son principalmente plegamientos de rocas sedimentarias, con ejes que siguen una orientación noroeste-sureste. Todas estas formaciones crean parte del sistema de la Sierra Madre Occidental, hay una concentración de puntos con echados de 80° a 90° en las sierras de Zapalinamé, Molano, Los Ángeles, El Duraznillo y El Fraile. Rocas con echados de entre 60° a 80° se encuentran en el noreste del municipio Sierras El Pinal, Palma Gorda, así como las sierras de El Chorradero, El Jabalí, El Fraile, El Mezquite.

En lo que respecta al área urbana del municipio encontramos rocas con echados de 30° a 60° predominantemente, tanto en la sierra de Zapalinamé, como en la de El Pinal y Palma Gorda (Atlas de Riesgos de Saltillo, Coahuila 2014).

La combinación de estas litologías, así como el plegamiento antes mencionado da origen a las estructuras geológicas presentes en el municipio de Saltillo, las cuales consisten principalmente de fallas y fracturas concentradas en la porción norte y centro del municipio. Esta combinación más el fracturamiento representan una combinación muy importante al analizarse los peligros geológicos, en particular aquellos relacionados con los derrumbes, además de caídos.

5.8.4 Edafología

Acorde a la *S*erie II de INEGI (2013) los suelos presentes en el área municipal son Feozem calcárico, Fluvisol calcárico, Litosol, Regosol calcárico, Rendzina, Solonchak órtico, Xerosol cálcico y Xerosol háplico (Tabla 15).

Tabla 15. Suelos del municipio de Saltillo

Tipo suelo	Superficie (Ha)	Porcentaje
Feozem calcárico	14955.73	2.66
Fluvisol calcárico	2557.47	0.45
Litosol	297009.19	52.83
Regosol calcárico	24794.80	4.41
Rendzina	27857.19	4.96
Solonchak órtico	12995.30	2.31
Xerosol cálcico	127277.32	22.64
Xerosol háplico	54701.56	9.73

Fuente: elaboración propia con información de la Serie II de INEGI (2013).

De acuerdo con la fuente mencionada, los suelos con mayor presencia en el municipio de Saltillo son los litosoles que ocupan poco más de la mitad de la superficie de la entidad (52.83%), seguidos de los suelos tipo Xerosol los cuales se distribuyen en el 32.37 % del municipio.

Por otra parte, en el Atlas de Riesgos de Saltillo (2014) se presenta la edafología con mayor detalle, en donde la superficie por tipo de suelo se aprecia en la Tabla 16, observado que para esta fuente el suelo con mayor superficie es el de tipo Xerosol con el 41.7%, seguido del suelo tipo litosol con el 35.56%.

Tabla 16. Superficies por tipo de suelo en el municipio de Saltillo.

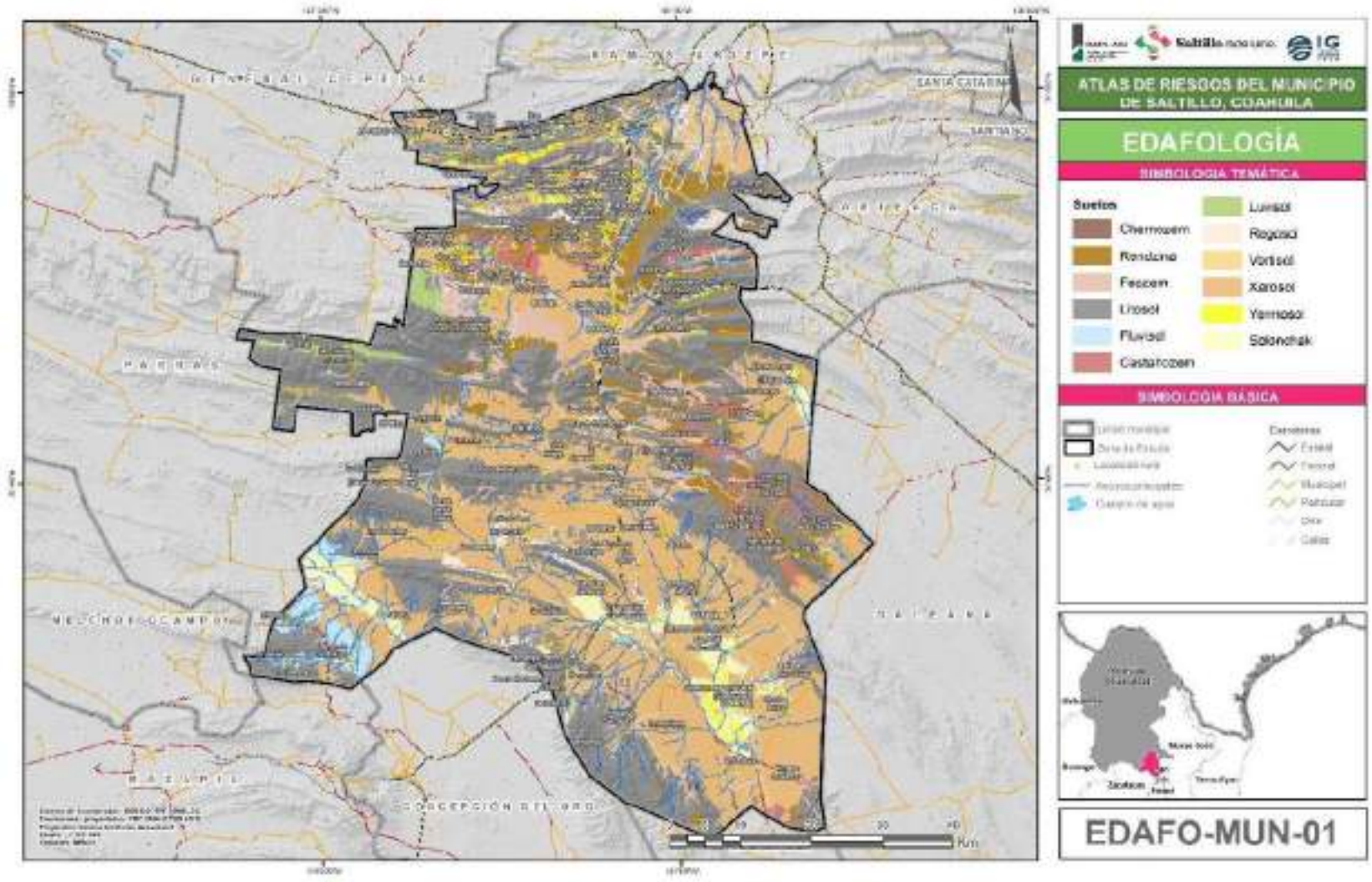
Tipo suelo	Superficie (Ha)	Porcentaje
Castañozem	16251.93484	2.87
Chernozen	93.285972	0.02
Feozem	23952.39546	4.23
Fluvisol	8573.940321	1.51
Litosol	201568.6718	35.56
Luvisol	4666.76455	0.82
Regosol	10232.56739	1.81
Rendzina	40017.43355	7.06
Solonchak	19227.48283	3.39
Vertisol	976.381686	0.17
Xerosol	236379.8249	41.70
Yermosol	4873.907372	0.86

Fuente: elaboración propia con base en datos del Atlas de Riesgos de Saltillo 2014.

Geográficamente, la distribución de los suelos está altamente relacionada con la topografía. Los Litosoles se encuentran en todo el país desde las sierras, barrancas, lomeríos y en algunos terrenos planos, siendo un claro ejemplo de esto su distribución en el municipio de Saltillo. Se asocian a todos los climas con muy diversos tipos de vegetación, mientras que los demás tipos de suelos se localizan en terrenos planos o de poca pendiente.

Es conveniente precisar que los suelos de tipo Xerosol, se asocian a texturas arcillosas en la que el drenaje es lento, lo que los vuelven susceptibles a inundaciones, especialmente cuando las lluvias son intensas y de corta duración, estando presentes en la cabecera municipal, también en la zona sur de esta en donde se encuentran en proceso de desarrollo parques industriales, así como su correspondiente urbanización (Figura 3).

Figura 3. Edafología del municipio de Saltillo



Fuente: elaboración propia con base en la información del Atlas de Riesgos de Saltillo 2014.

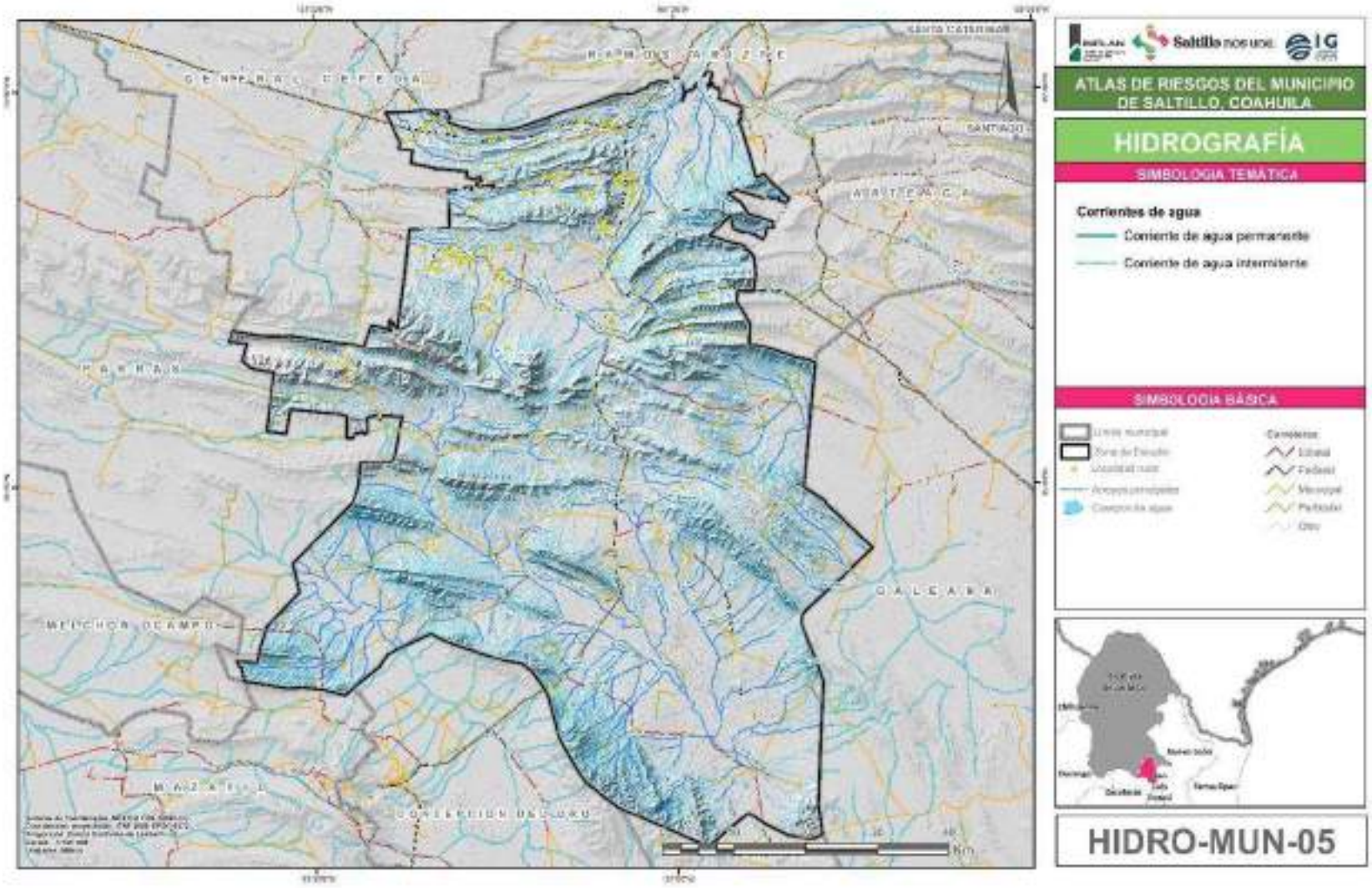
5.8.5 Hidrografía e hidrología

En el territorio municipal no existen escurrimientos permanentes por lo que todos los escurrimientos corresponden a arroyos que se generan a partir de los escurrimientos de la sierra de Zapalinamé. Los principales escurrimientos son Arroyo Salto del Moro localizado al sur del territorio municipal, arroyo Los Cuatitos al suroeste del territorio municipal, Arroyo San Juan de la Vaquería al oeste del territorio municipal (Atlas de Riesgos de Saltillo, Coahuila 2014).

En lo que respecta a la zona urbana, se encuentran varios arroyos que como se mencionó drenan desde la Sierra de Zapalinamé que se localiza al sur del área urbana y Sierra del Asta, la cual se localiza al oeste de la ciudad. El arroyo del pueblo atraviesa toda el área urbana de la ciudad de Saltillo en dirección al norte; por la zona oeste de la ciudad; en tanto que el arroyo de Ceballos recorre la ciudad en la misma dirección norte por la parte centro de la ciudad, mientras que el arroyo Del Cuatro, hace lo propio por la zona este del área urbana de la ciudad de Saltillo.

Estos arroyos antes mencionados son los más importantes, ya que son los que generan afectaciones a la población; sin embargo, hay presencia de otros que en menor escala también llegan a impactar a la población. Estos arroyos son: arroyo Del león, Martillo, La Esperanza, Santa Teresa, San Lorenzo, Presa Los Narro, Blanco y Mimbre. Todos estos escurrimientos confluyen fuera del territorio municipal, poco antes de la zona urbanizada de Ramos Arizpe (Atlas de Riesgos de Saltillo, Coahuila 2014), en el Mapa 4 se presenta la hidrografía superficial del municipio de Saltillo.

Mapa 4. Hidrografía superficial del municipio de Saltillo



Fuente: elaboración propia con información de INEGI.

Parte de la problemática está relacionada con la fisiografía de la zona de estudio, pero en lo que respecta a la zona metropolitana. Otro de los aspectos que la acrecienta son las invasiones de los cauces de los arroyos por asentamientos humanos (regulares e irregulares), el relleno de los cauces con materiales de desecho, (en muchas ocasiones con la autorización de las autoridades); así como el extendido uso de los arroyos como tiraderos clandestinos (Atlas de Riesgos de Saltillo, Coahuila 2014).

Los aspectos anteriores fueron corroborados en campo con visitas a secciones de los cauces de estos arroyos, así también con datos de sitios de disposición no autorizados de basura proporcionados por el IMPLAN de Saltillo y que se presentan en el apartado de peligros de origen sanitario ecológico, así como el análisis de la información histórica de afectaciones de estos arroyos durante eventos atípicos o de temporada de lluvias y datos proporcionados por Protección Civil del municipio de Saltillo, mediante los cuales se coincidió que existen peligros de crecidas e inundaciones a lo largo del cauce de los arroyos que atraviesan la ciudad, así como encharcamientos en las zonas planas a donde drena buena parte de estos escurrimientos.

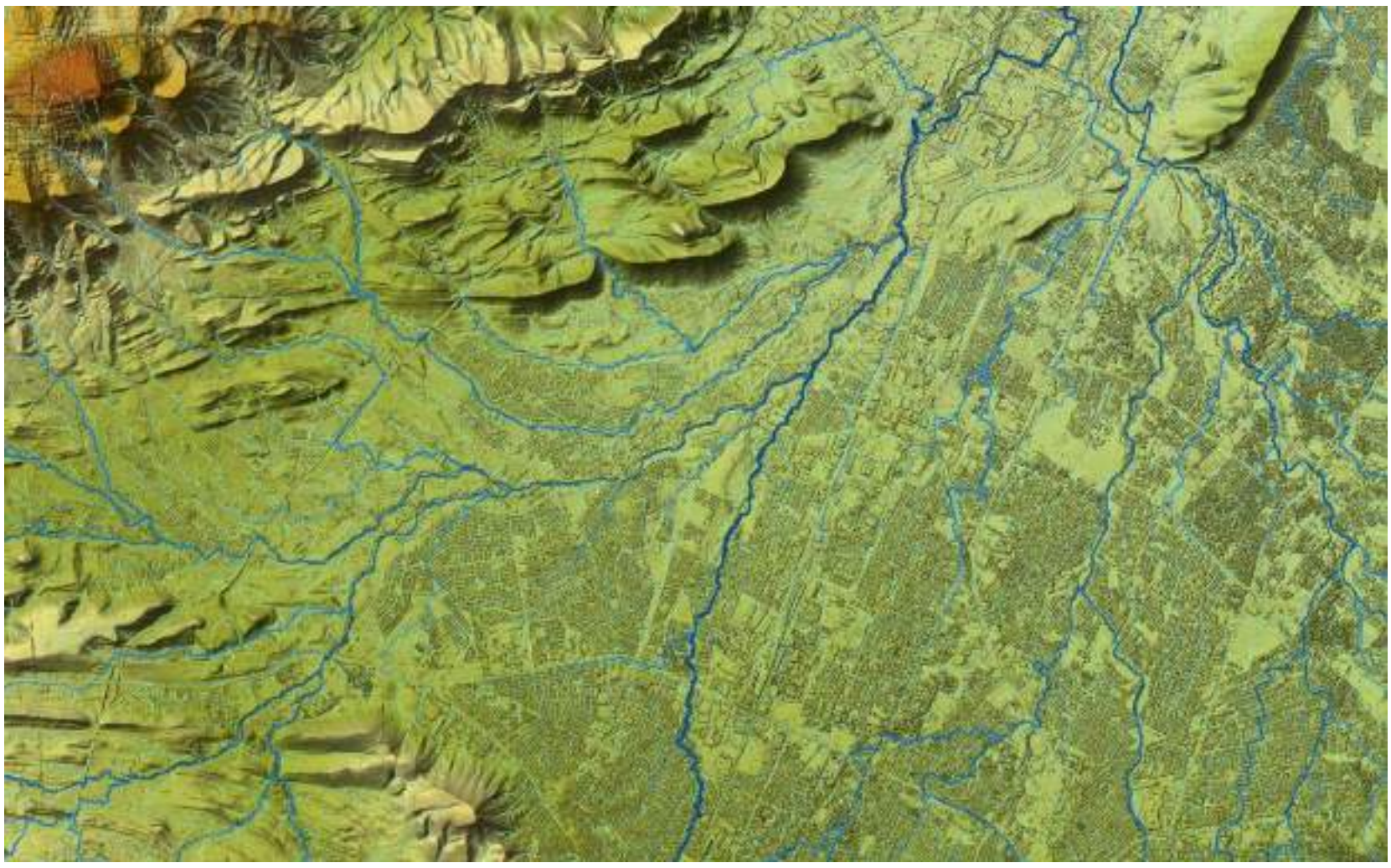
Mediante el levantamiento de datos LIDAR fue posible generar una red hidrográfica de amplio detalle, la cual permitirá realizar los diversos análisis relacionados con la dinámica hidrológica del municipio de manera más profunda y con mejores resultados (Figura 4).

La problemática de la zona rural está más relacionada con los cambios de la cobertura del suelo en las partes altas de las cuencas hidrológicas, lo que aumenta los escurrimientos superficiales durante los eventos de tormenta, generando inundaciones y encharcamientos en las tierras bajas de las cuencas.

Es importante mencionar que estos peligros se han potencializado debido a la creciente mancha urbana de la ciudad de Saltillo, ya que los cauces naturales de estos arroyos se han visto obstaculizados por nuevas colonias o desarrollos habitacionales, en muchos casos regulares y algunos otros irregulares, los cuales han derivado en que los arroyos busquen nuevos cauces generando inundaciones en varios puntos de la ciudad. Otro factor es el derivado del cambio climático, proceso que modifica los patrones climáticos regionales, con la posibilidad de que eventos de lluvia muy severos puedan incrementar tanto su frecuencia, como su magnitud.

De acuerdo con el Atlas de Riesgos de Saltillo (2014), no existen mediciones de gasto de estos escurrimientos y por tanto se presentará el modelado de los principales arroyos que generan las inundaciones en el apartado de peligros por inundaciones pluviales de este estudio.

Figura 4. Ejemplo de red hidrográfica generada a partir de datos LIDAR en el municipio de Saltillo.



Fuente: elaboración propia, 2024.

En cuanto a la hidrografía e hidrología subterránea, el territorio municipal y su zona de influencia cuenta con cinco acuíferos (Tabla 17) que son los encargados de abastecer el recurso hídrico a la zona urbana de la ciudad de saltillo, así como a parques industriales y zona rural.

Tabla 17. Acuíferos del municipio de Saltillo

Acuíferos
Saltillo Sur,
Cañón del Derramadero
Saltillo - Ramos Arizpe
Región Manzanera - Zapalinamé
General Cepeda – Sauceda

Fuente: elaboración propia con información de CONGUA.

A continuación, se presentan las características más relevantes de cada acuífero acorde a lo publicado por Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para cada uno de estos.

Acuífero Saltillo Sur. De manera general, las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. El volumen de extracción estimado por la CONAGUA es de 14.6 hm3/año, de los cuales el 9.2 hm^3 (63.0%) se destinan al suministro de agua potable para la ciudad de Saltillo y las comunidades de la región, 4.9 más (33.6%) para uso agrícola y 0.5 hm^3 (3.4%) para uso doméstico - abrevadero. Para efectos prácticos, el área de balance se dividió en dos zonas: Astillero - Carneros Carneros (430 km^2) y Presa de Los Muchachos-La Ventura (mil 235 km^2).

De acuerdo con la metodología indicada en la norma mencionada, el cálculo se obtiene restando del volumen de recarga total media anual **(R)**, el valor de la descarga natural comprometida **(DNC)** y el volumen de extracción de aguas subterráneas **(VEAS)**.

DMA = R – DNC – VEAS
DMA = 13.4 – 0.0 – 40.165074
DMA = -26.765074 hm^3/año.

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de 26 millones 765 mil 74 m^3 anuales.

Acuífero Cañón del Derramadero. De los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos, se determina que los valores de concentración de sólidos totales disueltos (STD) varían de 97 a 2 mil 385 mg/l, algunas de las cuales superan el límite máximo permisible de mil mg/l establecido por la modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. De acuerdo con la información del censo de aprovechamiento realizado como parte del estudio llevado a cabo en 2014, se registró la existencia de 387 aprovechamientos del agua subterránea, de los cuales 378 son pozos, tres norias

y seis manantiales; del total de aprovechamientos, 167 se encuentran activos (161 pozos y seis manantiales) y 220 se encuentran inactivos (217 pozos y tres norias).

De los 167 aprovechamientos activos, 99 son para uso agrícola, 27 para uso público-urbano, cuatro para uso industrial, 28 para uso doméstico - pecuario y los nueve restantes para otros usos. Del volumen total, 20.0 hm^3 anuales se extraen del acuífero aluvial y 11.5 hm^3 más de las calizas para abastecimiento de agua potable de la ciudad de Saltillo.

De acuerdo con la metodología indicada en la norma mencionada, el cálculo se obtiene restando del volumen de recarga total media anual **(R)**, el valor de la descarga natural comprometida **(DNC)** y el volumen de extracción de aguas subterráneas **(VEAS)**.

DMA = R – DNC – VEAS
DMA = 31.6 – 5.1 – 29.238602
DMA = -2.738602 hm^3/año

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de 2 millones 738 mil 602 m^3 anuales.

Acuífero Saltillo-Ramos Arizpe. De los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos, se determina que los valores de concentración de sólidos totales disueltos (STD) varían de 395 a mil 840 mg/l, algunas de las cuales superan el límite máximo permisible de mil mg/l establecido por la modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. De acuerdo con la información del censo de aprovechamiento realizado como parte del estudio llevado a cabo en 2007, se registró la existencia de 853 aprovechamientos del agua subterránea, de los cuales 803 son pozos, 43 norias y siete manantiales.

Del total de aprovechamientos, 549 se encuentran activos y 304 se encuentran inactivos (287 pozos, 15 norias y dos manantiales). El volumen de extracción por bombeo asciende a 63.8 hm^3/año, de los cuales 45.5 hm^3/año (71.3%) son para uso público urbano (9.5 hm^3 del valle y 36.0 hm^3 de las calizas), 5.7 hm^3/año (8.9%) corresponden al uso agrícola, 9.3 hm^3/año (14.6%) al uso industrial, 1.3 hm^3/año (2.0%) al uso doméstico-pecuario, 1.6 hm^3/año (2.6%) para servicios y 0.4 hm^3/año (0.6%) para otros usos. Adicionalmente, a través de los siete manantiales se descarga un volumen de 33 lps, que equivalen a 1.0 hm^3 anuales, destinado principalmente para usos público - urbano y agrícola.

De acuerdo con la metodología indicada en la norma mencionada, el cálculo se obtiene restando del volumen de recarga total media anual **(R)**, el valor de la descarga natural comprometida **(DNC)** y el volumen de extracción de aguas subterráneas **(VEAS)**.

DMA = R – DNC – VEAS
DMA = 65.9 – 2.7 – 118.112811
DMA = -54.912811 hm^3/año.

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de 54 millones 912 mil 811 m^3 anuales.

Acuífero Región Manzanera Zapalinamé . En general el agua de los acuíferos de la región es de buena calidad para uso potable con respecto a cloruros, sulfatos, sólidos totales disueltos y nitratos. Excepto las áreas locales ya mencionadas con altas concentraciones de nitratos que rebasan el límite permisible que marca la normatividad de 10 mg/l. Así como, las áreas locales que superan el límite permisible de sulfatos (600 mg/l) y STD (mil mg/l) para uso potable que se encuentran en la parte oriente del Valle El Carmen, centro-oriente del Valle El Tunal y sureste del Valle de San Antonio de las Alazanas. Considerando que en la región han prevalecido durante varios años las actividades agrícolas, se interpreta que las altas concentraciones de nitratos pueden indicar contaminación difusa en forma local debido al uso de fertilizantes.

Las características de los aprovechamientos que explotan el acuífero se obtuvieron del censo realizado por CNA (1997). Durante la realización de este censo fueron visitados un total de 657 aprovechamientos, de los cuales 651 son pozos, cinco norias y un manantial. Del total de pozos 215 fueron inactivos y 436 activos. Dentro de los activos, por el uso del agua el 98% son agrícolas y el 2% restante domésticos y pecuarios.

De acuerdo con la metodología indicada en la norma mencionada, el cálculo se obtiene restando del volumen de recarga total media anual **(R)**, el valor de la descarga natural comprometida **(DNC)** y el volumen de extracción de aguas subterráneas **(VEAS)**.

DMA = R – DNC – VEAS
DMA = 55.2 – 3.6 – 89.741433
DMA = -38.141433 hm^3/año.

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de 38 millones141 mil 433 m^3 anuales.

Acuífero General Cepeda - Sauceda. De acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos, algunos de los aprovechamientos sobrepasan el límite de sólidos totales disueltos que es de mil mg/l, establecido por la modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. De acuerdo con los resultados del censo realizado en 2010, se registraron un total de 618 aprovechamientos del agua subterránea, de los cuales 580 pozos y 21 norias, 13 manantiales, cuatro tajos y una galería filtrante; de ellos 467 se consideran activos y 151 inactivos.

De las obras activas, 363 (77.7 %) se destinan a uso agrícola, 75 (16.1%) a uso público - urbano, 24 (5.1%) para uso doméstico - pecuario, 4 (0.9%) para uso industrial y uno (0.2%) sin uso. El volumen de extracción calculado es de 80.4 hm^3 anuales, de los cuales 67.0 hm^3 (83.3%) se destinan a uso agrícola, 10.9 hm^3 (13.6%) al uso público - urbano, 0.4 hm^3 (0.5%) para uso doméstico-pecuario y 2.1 hm^3 (2.6%) para uso industrial.

De acuerdo con la metodología indicada en la norma mencionada, el cálculo se obtiene restando del volumen de recarga total media anual **(R)**, el valor de la descarga natural comprometida **(DNC)** y el volumen de extracción de aguas subterráneas **(VEAS)**.

DMA = R – DNC – VEAS
DMA = 113.4– 30.5 – 146.895188
DMA = -63.995188 hm^3 anuales

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de 63 millones 995 mil 188 m^3 anuales.

5.8.6 Cuencas y subcuencas

Acorde con INEGI el municipio de Saltillo se encuentra dentro de tres regiones hidrológicas las cuales son: El Salado, Bravo - Conchos y Nasas – Aguanaval; las cuencas que se encuentran dentro del territorio municipal se desprenden de estas regiones hidrológicas antes mencionadas.

En la parte norte del municipio se encuentra la cuenca del Río San Juan, al sur la cuenca de la Sierra de Rodríguez y es importante mencionar que la Sierra de Zapalinamé es el parteaguas de estas dos cuencas. Estas ocupan la mayor parte de la superficie municipal y son las más fundamentales. Las otras cuencas son las de San Pablo y otras, Matehuala y Lago de Mayrán y Viesca.

A su vez, las subcuencas localizadas en el territorio municipal son: El Porvenir - Águila, La Casita - El Rosario, Pino Solo - Saltillo, y San José del Valle - Arroyo Grande, pertenecientes a la cuenca del Río Bravo - San Juan. En la cuenca de la Sierra de Rodríguez se encuentran las subcuencas de Potrero San Isidro, Sierra Buñuelos, además de la de Estanque de Bonanza. En la cuenca de las lagunas de Mayrán y Viesca, están las subcuencas de Laguna de Viesca y Estanque de León - Tanque Nuevo. Para la cuenca de San Pablo y otras, están las subcuencas de San Nicolás, también la de Puerto Flores. Finalmente, en la cuenca de Matehuala se localiza la subcuenca de El Soldado.

De acuerdo con lo anterior, el municipio de Saltillo alberga cuencas y subcuencas que dan origen a ríos de importancia regional, pero todos estos están fuera del área del territorio municipal, por lo que no hay presencia de ríos perenes en el municipio, esto genera que solo haya corrientes intermitentes en época de lluvias o por fenómenos hidrometeorológicos diversos.

5.8.7 Clima

El municipio tiene seis tipos de clima: muy seco semicálido (BWhw), seco semicálido (BS0hx'), seco templado (BS0kx'), seco templado BS0kw(x'), Semifrío subhúmedo C(E)x', semiseco templado (BS1kx'), semiseco templado (BS1kw) y templado subhúmedo (Cx').

Las condiciones topográficas originadas por la presencia de la Sierra Madre Oriental en el centro del municipio, dando origen a climas de tipo templado en la zona centro, por las elevaciones de la sierra. Al norte del municipio se encuentran climas del tipo seco. Al sur también predominan los climas secos, siendo los más frecuentes los de tipo BS1kx', BSokx' y BSohx' (semiseco templado con lluvias escasas todo el año seco templado con lluvias escasas todo el año y seco semicálido, con lluvias de verano respectivamente).

Otros tipos de climas presentes en la porción suroeste del municipio son los de tipo BSohw, BWhw y BS1kw (seco semicálido con lluvias de verano, seco templado con lluvias escasas todo el año y semiseco templado, con lluvias de verano respectivamente.

El área urbana tiene un clima predominantemente seco, correspondiente a los tipos BS1kx', BSokx' y BSohx' (Semiseco templado con lluvias escasas todo el año; seco templado con lluvias escasas todo el año y seco semicálido con lluvias de verano). La distribución de la temperatura y precipitación a lo largo del año se concentra en los meses de junio a septiembre, coincidiendo con los máximos de temperatura.

Tabla 18. Estaciones climatológicas del municipio de Saltillo

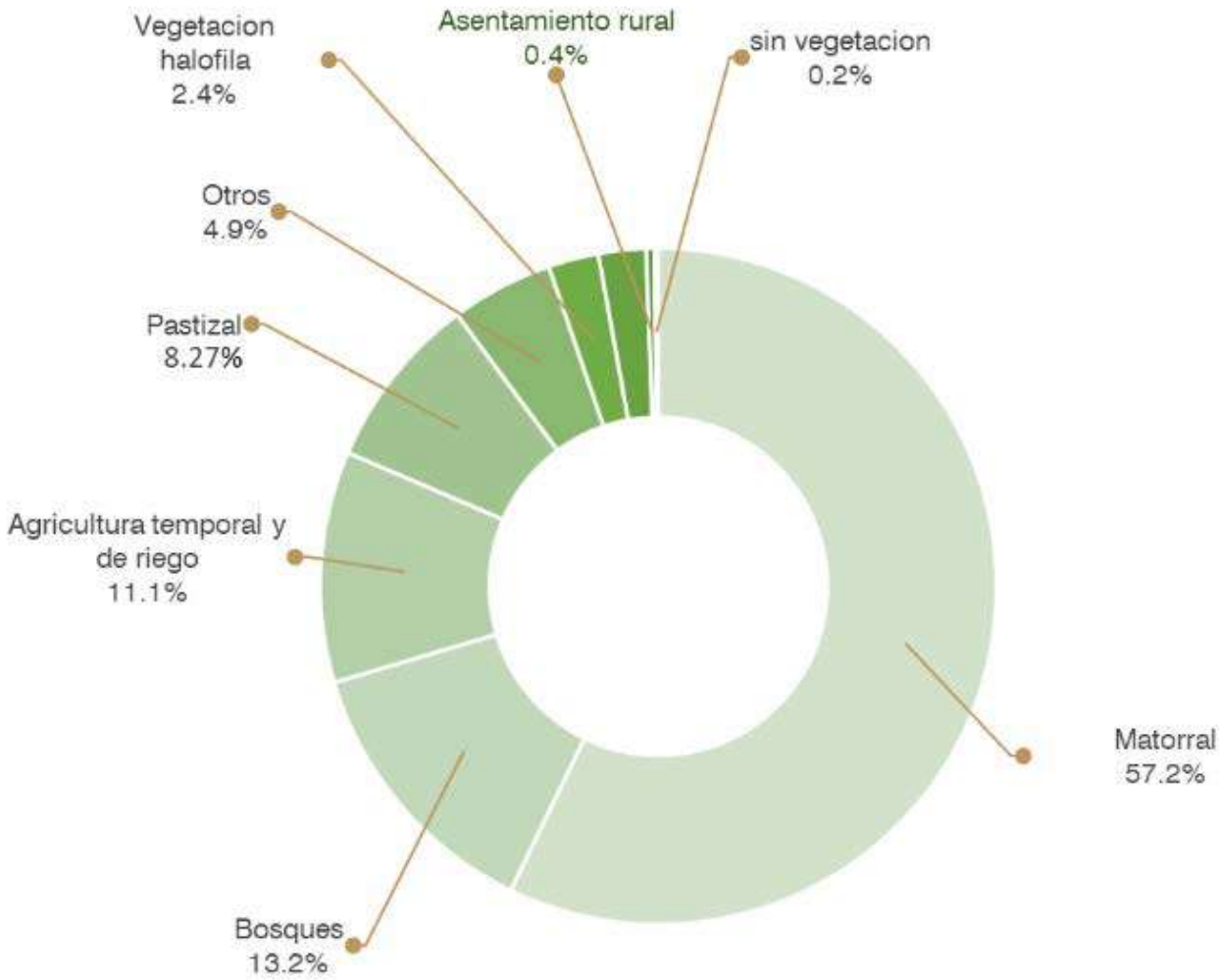
Estación	Clave
Carneros	05081
E.T.A. 010 Derramadero	05060
Gomez Farias	05141
La Ventura	05175
Las Hormigas	05136
Saltillo (DGE)	05048
Saltillo (OBS)	05034
San Juan de la Vaquería	05145

Fuente: elaboración propia con información de CONAGUA.

5.8.8 Uso de suelo y vegetación

Acorde a la información del INEGI, el municipio de Saltillo cuenta con distintos tipos de vegetación entre los que destacan los matorrales, hay extensas áreas de agricultura, tanto de temporal como riego, esta última dedicada a la producción de manzanos y nogales. A lo largo de la Sierra Madre Oriental se localizan áreas de bosques de pino, encino, ayarín y táscate. Sin embargo, otro tipo de vegetación y uso de suelo comprenden el resto del territorio municipal, los cuales se muestran en la Gráfica 1.

Gráfica 1. Usos de suelo y Vegetación del Municipio de Saltillo



Fuente: elaboración propia con información de INEGI.

5.8.9 Áreas Naturales Protegidas

El estado de Coahuila de Zaragoza actualmente ocupa el tercer lugar a nivel nacional en superficie cubierta por Áreas Naturales Protegidas (ANP) terrestres con 2 millones 696 mil 974.81 hectáreas, cuenta actualmente con 37 ANP estatales.

En la zona del municipio de Saltillo la única ANP presente es la Sierra de Zapalinamé, esta ANP también se encuentra registrada como una de las AICAs (Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves), corresponde el AICA 234 con superficie de 40 mil 388.00 Ha. La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) considera que Zapalinamé cumple con las características de importancia para la investigación científica, así como zona de recreación de los habitantes de la ciudad de Saltillo. Sin embargo, por su cercanía con la ciudad, el área de Zapalinamé se encuentra bajo presión constante de los desarrolladores y de posesionarios de tierras, además de expuesta a los incendios forestales.

Otras áreas dentro del municipio que son consideradas de importancia para la conservación de los recursos naturales son: Praderas de Tokio, Sierra de Arteaga y los Humedales Intermitentes del Desierto. En el caso de Praderas de Tokio, es considerada un AICA por la CONABIO y es reconocida por varias asociaciones gubernamentales como un corredor biológico; no obstante, actualmente no cuenta con ningún esquema de protección estatal o federal como ANP. El área cuenta con una superficie de 504 mil 730 Ha, donde de acuerdo con la ficha de la CONABIO, se registran 210 especies de importancia.

Además de las áreas de importancia a nivel municipal, en el territorio conurbado de Saltillo se han concretado en acuerdos gubernamentales de áreas de conservación para el esparcimiento y educación ambiental de la población saltillense dentro de la zona metropolitana, tales como: El Gran Bosque, el cual es un Parque Estatal dentro de un predio de 51.40 Ha, administrado por la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Coahuila, con la participación del Patronato del Bosque Urbano, el Ejercito Mexicano y las dependencias que conforme a la Ley resulten aplicables.

El Gran Bosque Urbano representa el área verde urbana más grande de Saltillo. Un espacio con vegetación característica del estado, el cual alberga pinos, encinos, fresnos, palos blancos y pirul. Es un predio que ha sido manejado con acciones de reforestación desde hace más de una década; actualmente cuenta con 7 mil 200 árboles.

5.9 Caracterización de los elementos sociales, económicos y demográficos

5.9.1 Población

De acuerdo con la información recabada por el Censo de Población y Vivienda del año 2020, el estado de Coahuila de Zaragoza tiene una población 3 millones 146 mil 77 habitantes que, representan el 2.49% respecto de la población nacional distribuidos en 38 municipios. En este sentido el municipio de Saltillo, siendo la capital del estado con sus 879 mil 958 habitantes (50.2% mujeres y 49.8% hombres) representan el 27.9% de la población con respecto al Estado y el 0.69% respecto al total nacional, además de ocupar el primer lugar estatal por número de habitantes, seguido de Torreón y Monclova con 22.91% y 7.56% respectivamente.

La población saltillense se distribuye en un total de 305 localidades[2], 304 consideradas de tipo rural y una urbana (Saltillo capital), destacan de entre ellas 27 que poseen una población de más de 150 habitantes (Tabla 19) en las que la población femenina se encuentra por encima de la masculina en 0.4%, es decir existen en 4 mil 575 más mujeres que hombres.

Tabla 19. Población total y por sexo en localidades de más de 150 habitantes en 2020

Localidad	Población Total	Mujeres	Hombres
Saltillo	864431	434753	429678
Agua Nueva	1566	770	796
San Juan de la Vaquería	1330	676	654
El Derramadero	962	445	517
Providencia	533	259	274
San Francisco del Ejido	496	248	248
Presa de los Muchachos	423	214	209
Santa Teresa de los Muchachos	417	204	213
Chapula	412	192	220
Presa de San Pedro	378	185	193
Guadalupe Victoria	348	170	178
Hedionda Grande	340	171	169
Rancho Nuevo	338	166	172
La Ventura	323	151	172
Puebla	318	151	167
La Encantada	310	151	159
Zacatera	228	104	124
Buñuelos	215	98	117
San Miguel (San Miguel del Banco)	199	94	105
Nuevo Gómez Farías	198	96	102
Plan de Ayala	195	91	104
Las Mangas	184	103	81
Puyas y las Hormigas (Las Hormigas)	182	93	89
Carneros	179	85	94
Cuautla	169	81	88
Tanque del Cerro	169	77	92
Gómez Farías	151	78	73

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI, 2020.

5.9.2 Densidad de población

Con información obtenida del Marco Geoestadístico Nacional, a nivel municipal, Saltillo tiene una superficie de 5 mil 562.30 km^2 y representa el 3.7% de la superficie total estatal. Con dicha superficie la densidad de población municipal se encuentra aproximadamente en 158 hab/km^2, este dato revela que se encuentra muy por encima de la densidad de población estatal que se encuentra en 21 hab/km^2.

En relación con lo anterior, la zona conurbada del municipio, es decir, Saltillo capital tiene una superficie de 192.8 km^2 lo que permite estimar una densidad poblacional de 4 mil 483.56 hab/km^2 dato que se incrementa 28 veces si se compara con el promedio de densidad poblacional de toda la demarcación municipal.

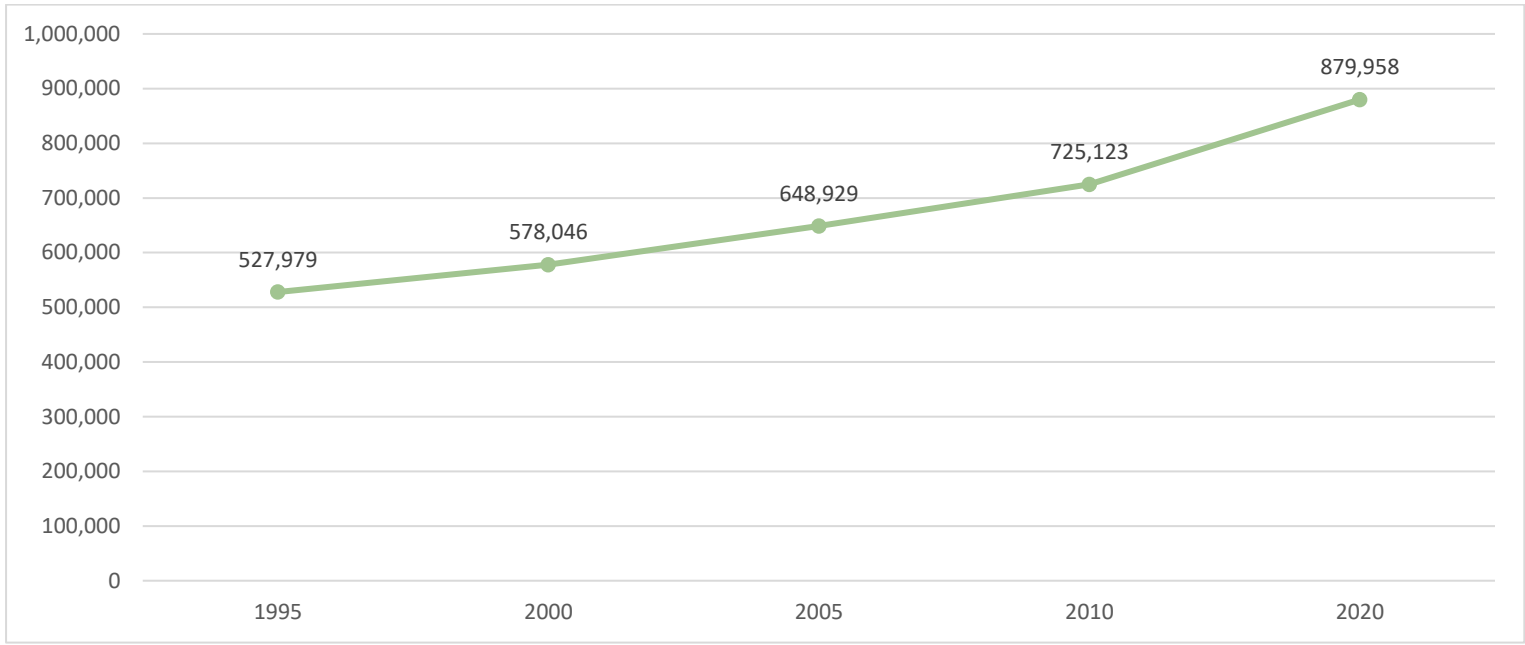
5.9.3 Proyección de la población

De 1995 al 2020 la población de Saltillo ha tenido un crecimiento de 351mil 979 habitantes (

Gráfica 2), lo que representa un aumento del 66.6%, este dato proporciona una perspectiva de incremento promedio de 87 mil 995 habitantes por periodo de cinco años.

[2]ITER Censo de Población y vivienda 2020 INEGI

Gráfica 2. Crecimiento poblacional 1995 - 2020

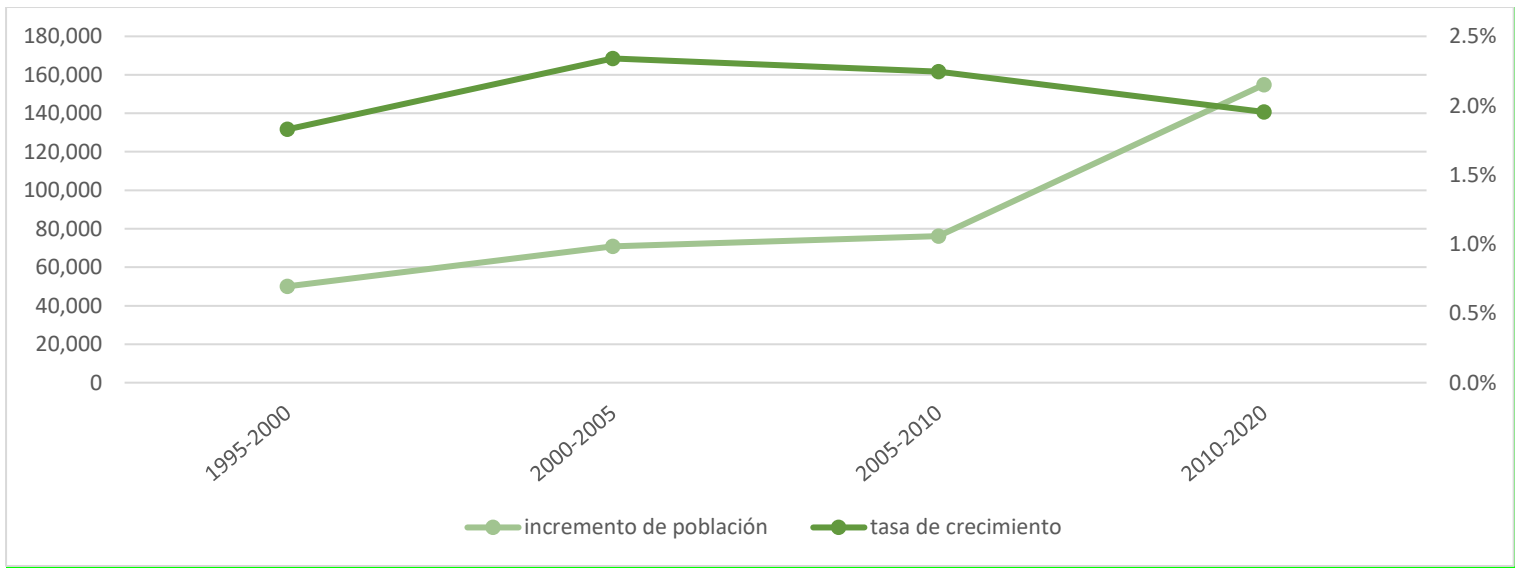


Fuente: elaboración propia con datos de INEGI, 2020.

Por otra parte, la tasa de crecimiento poblacional promedio calculada de 1995 a 2020 es de 2.1%, mientras que la tasa de mayor incremento se dio en el periodo de 2000 - 2005 con 2.3% (

Gráfica 3).

Gráfica 3. Tasa de crecimiento poblacional



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el cálculo de la tasa de crecimiento promedio anual para el municipio, la población estimada para el año 2050 se establece en el orden de un millón 641 mil 475 habitantes (Tabla 20).

Tabla 20. Proyección de la población al año 2050

Año	Población total	Hombres	Mujeres
2020	879,958	438219	441739
2021	898437	447422	451015
2022	917304	456818	460487
2023	936568	466411	470157
2024	956236	476205	480030
2025	976317	486206	490111
2026	996819	496416	500403
2027	1017752	506841	510912
2028	1039125	517484	521641
2029	1060947	528352	532595
2030	1083227	539447	543780
2031	1105974	550775	555199
2032	1129200	562342	566858
2033	1152913	574151	578762
2034	1177124	586208	590916
2035	1201844	598518	603326
2036	1227083	611087	615995

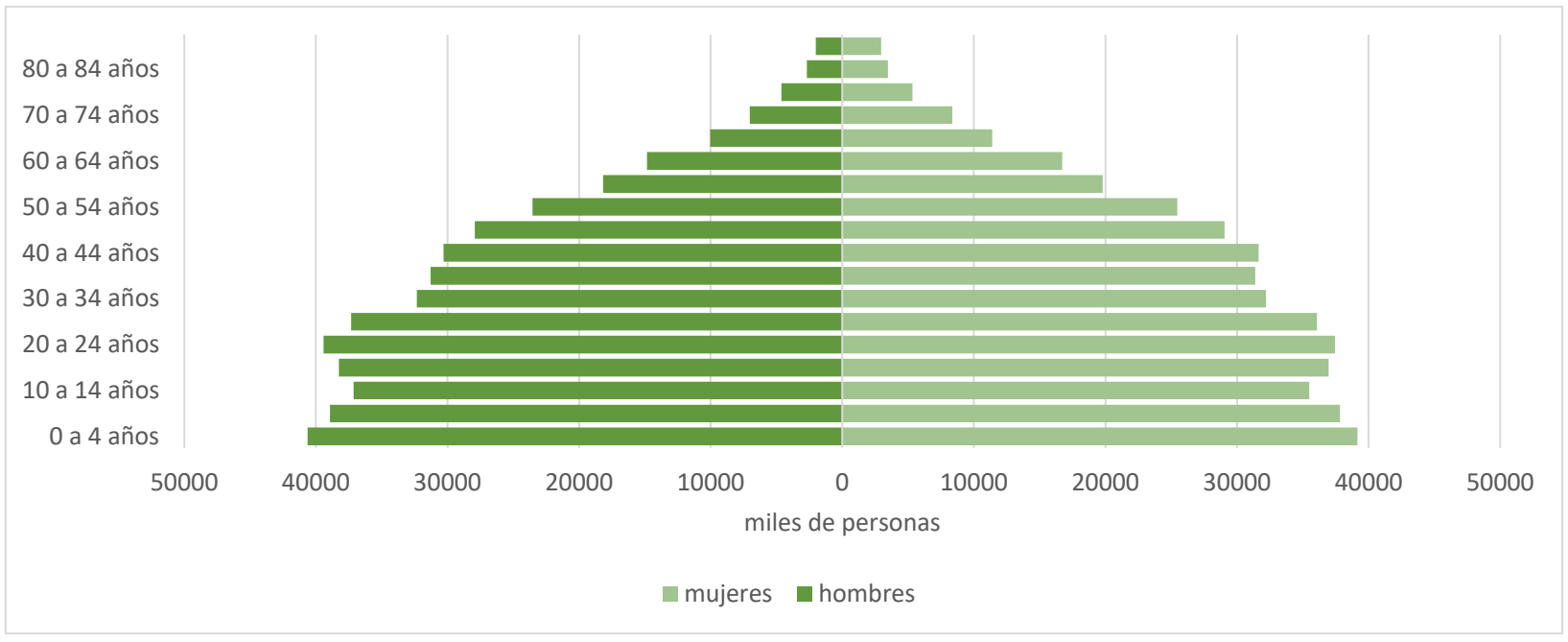
Año	Población total	Hombres	Mujeres
2037	1252851	623920	628931
2038	1279161	637022	642139
2039	1306024	650400	655624
2040	1333450	664058	669392
2041	1361453	678003	683449
2042	1390043	692241	697802
2043	1419234	706779	712455
2044	1449038	721621	727417
2045	1479468	736775	742693
2046	1510537	752247	758289
2047	1542258	768044	774213
2048	1574645	784173	790472
2049	1607713	800641	807072
2050	1641475	817454	824020

Fuente: elaboración propia.

5.9.4 Pirámide poblacional

Los datos recopilados en el censo de 2020 reflejan una proporción de 99 hombres por cada 100 mujeres, lo cual concuerda con la representación visual de la pirámide poblacional (Gráfica 4). Esta relación estrecha entre ambos géneros es coherente con el patrón demográfico observado, evidenciando una distribución equitativa entre hombres y mujeres en la población.

Gráfica 4. Pirámide poblacional



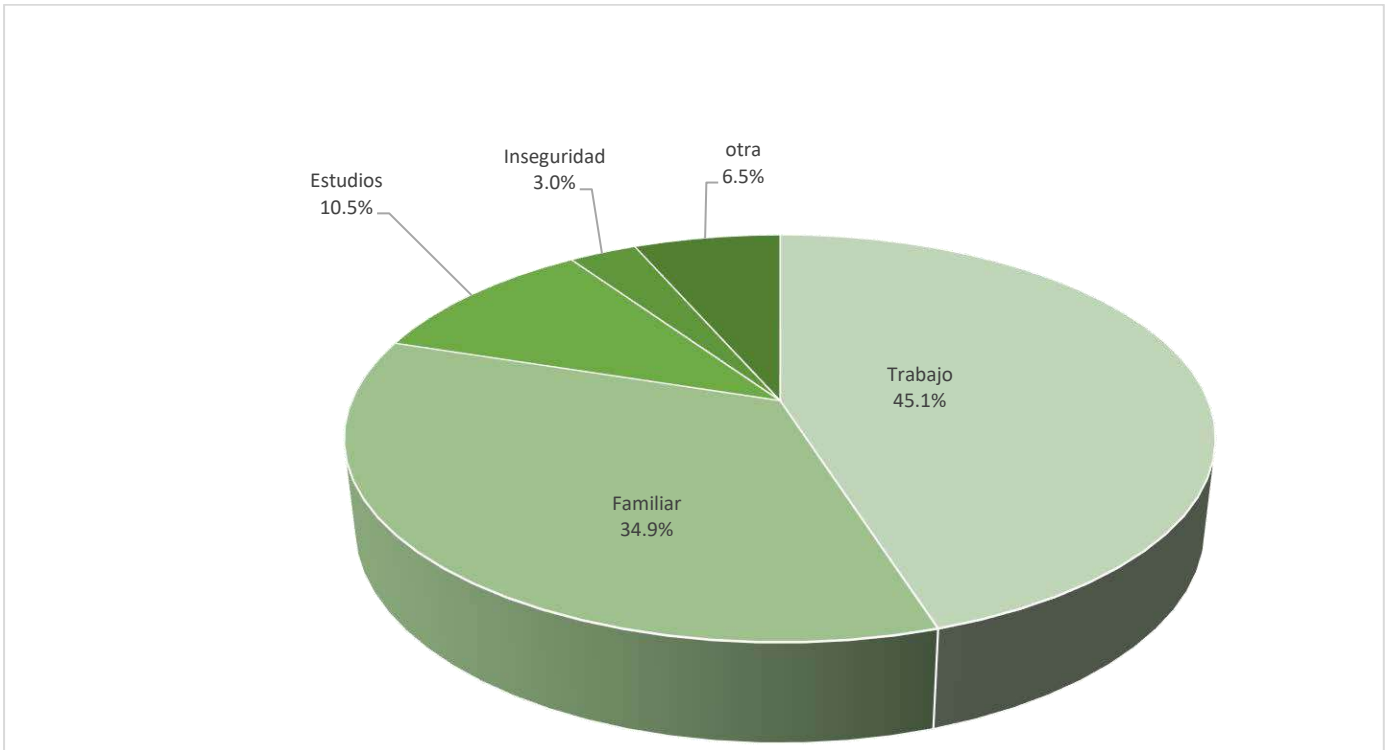
Fuente: elaboración propia con datos de INEGI, 2020.

5.9.5 Migración

Existen diversas razones que impulsan a las personas a cambiar su lugar de residencia. Entre estas, se destacan motivos laborales, educativos, familiares, inseguridad, entre otros. En el municipio de Saltillo, se evidencia que la principal causa de migración está asociada a la búsqueda de mejores oportunidades laborales. Según la información recopilada en la encuesta censal, un significativo 45.1% (Gráfica 5) de la población tenía una residencia diferente en comparación con su ubicación actual, señalando así la relevancia que tiene el trabajo como factor preponderante en la toma de decisiones de movilidad geográfica.

Esta tendencia subraya la importancia de las condiciones laborales en la dinámica poblacional de Saltillo, mostrando cómo el impulso económico y las oportunidades de empleo impactan significativamente en las decisiones de cambio de domicilio de sus habitantes.

Gráfica 5. Causas de Migración



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI, 2020.

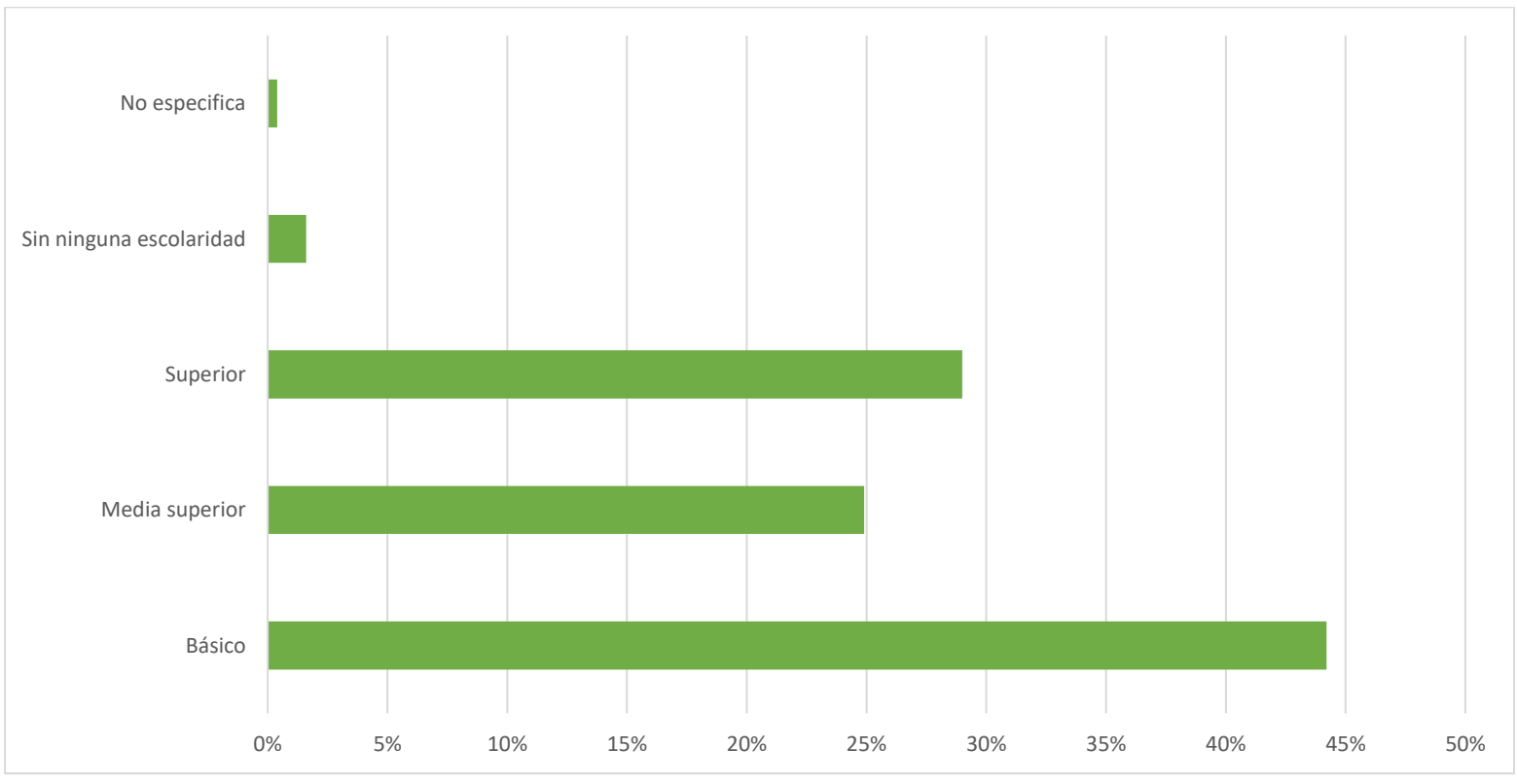
5.9.6 Educación

En Saltillo, la tasa de alfabetización se encuentra en 98.9%, lo que es congruente con la distribución educativa ya que refleja una diversidad significativa en los niveles de escolaridad de su población. Un 44.2% cuenta con un nivel educativo básico (Gráfica 6), lo que establece una sólida base de formación, mientras que un considerable 24.9% ha alcanzado la educación media superior.

Es alentador notar que un 29% de la población ha accedido a niveles de educación superior, lo que sugiere una inclinación hacia una formación más especializada y una mayor preparación académica. Sin embargo, persiste un desafío ya que el 1.6% de los habitantes no tiene ningún tipo de escolaridad, lo que destaca la necesidad de programas educativos inclusivos y accesibles para cerrar esta brecha educativa.

Además, un porcentaje menor del 0.4% no especifica su nivel educativo, lo que puede indicar la importancia de una mejor recopilación de datos para comprender completamente la estructura educativa de la población.

Gráfica 6. Nivel educativo en el municipio de Saltillo



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI, 2020.

5.9.7 Etnicidad

En Saltillo, la presencia de la riqueza étnica y lingüística se destaca como una valiosa expresión de la identidad regional. Aunque es poco representativo, ya que solo 2 mil 288 personas equivalente a 0.26% de la población habla alguna lengua indígena, entre las que el náhuatl y el zapoteco resuenan con un significativo 31.0% y 10.8% respectivamente, con lo que se evidencia la preservación, además del arraigo de estas expresiones lingüísticas ancestrales.

También, un 2.28% de la población se identifica como afromexicana, negra o afrodescendiente, aportando una faceta adicional a la pluralidad étnica de la región. Sin embargo, el 0.55% de los hablantes de lenguas indígenas no domina el español, lo que subraya la importancia de políticas de inclusión, así como acceso a la educación para fomentar una integración armónica y un entendimiento mutuo.

Estos datos son un reflejo de la diversidad cultural en Saltillo que, resalta tanto la herencia ancestral como los desafíos actuales, incluyendo la necesidad de garantizar condiciones equitativas para todos los habitantes, independientemente de su identidad étnica o lingüística.

5.9.8 Discapacidad

La inclusión y el apoyo a las personas con discapacidades representan un pilar fundamental en la sociedad de Saltillo. Un 3.3% de la población enfrenta diferentes tipos de discapacidad. Al analizar los rangos etarios, se revela que la prevalencia de la discapacidad varía significativamente. En el segmento de 0 a 17 años, representa un 1.5%, destacando la importancia de programas de educación y servicios específicos para la población joven. En el rango de 18 a 29 años, se mantiene similar con un 1.4%, marcando la transición hacia la edad adulta.

Sin embargo, el grupo de 30 a 59 años experimenta un incremento notable, alcanzando un 2.6%. Esto resalta la necesidad de adaptar entornos laborales, además de sociales para garantizar la inclusión de esta franja de edad en el ámbito profesional y comunitario.

Finalmente, la población de 60 años en adelante presenta la mayor tasa de discapacidad, alcanzando un 15%. Este dato revela la urgencia de brindar un cuidado especial, de igual forma acceso a servicios de calidad para este segmento de la población, asegurando su bienestar y participación plena en la sociedad.

5.9.9 Servicios de salud

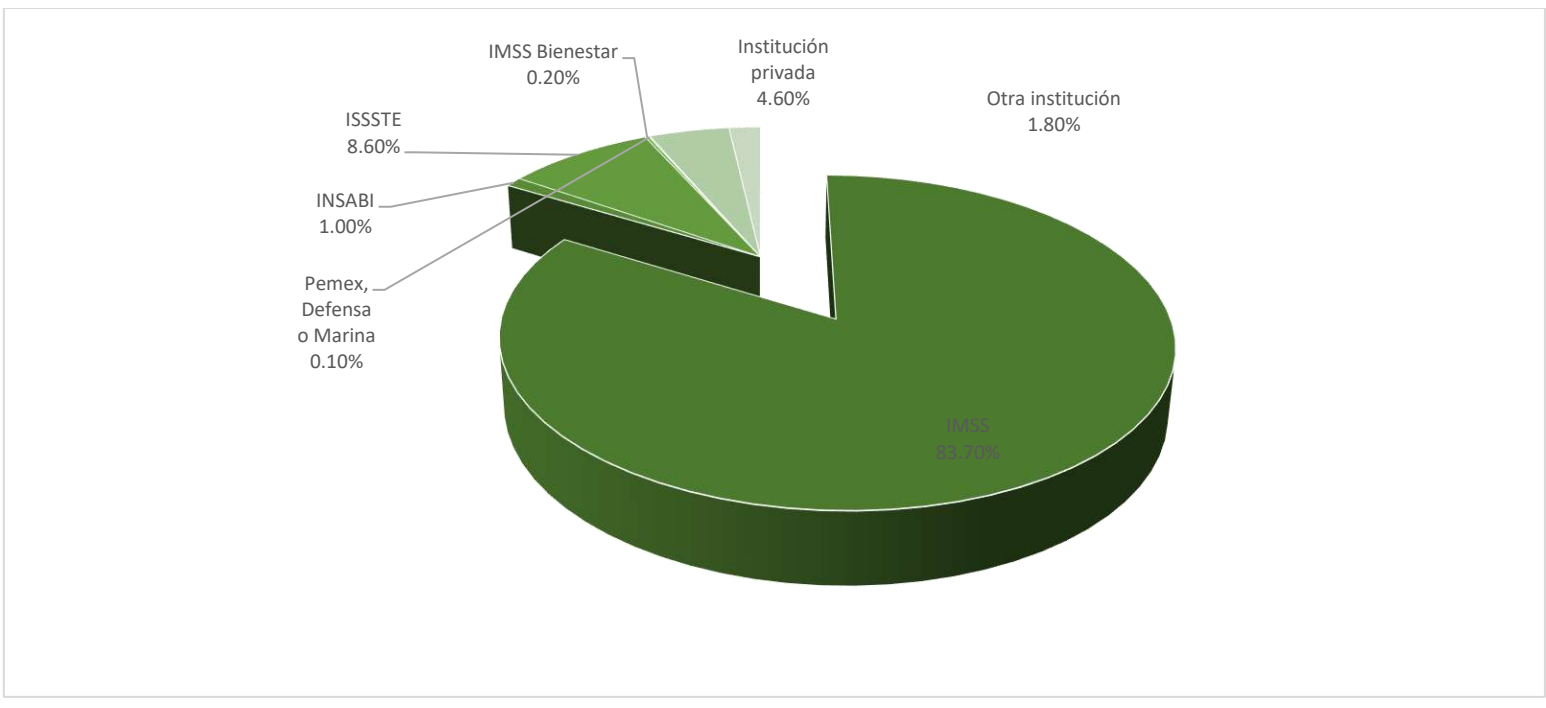
El dinamismo industrial y laboral de Saltillo refleja un entorno de progreso que abarca múltiples facetas de la vida de los ciudadanos, siendo la salud pública uno de los pilares esenciales para su desarrollo. Datos del censo de 2020 del INEGI, evidencian que 733 mil 885 residentes de la localidad cuentan con acceso a algún servicio de salud, destacándose varias instituciones.

El Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) emerge como el principal proveedor de servicios de salud, abarcando a un significativo 83.7% de la población, según se observa en la Gráfica 7. A este le sigue el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE), atendiendo a un sólido 8.6% de los habitantes.

En contraste, los servicios de salud privados representan una porción más reducida, con un 4.6%. Aunque menor en porcentaje, su presencia subraya la opción de acceso a servicios médicos fuera de la esfera gubernamental.

Estas cifras revelan un panorama alentador en términos de acceso a la atención médica para la población, donde las instituciones gubernamentales como el IMSS e ISSSTE juegan un papel preponderante en la cobertura sanitaria, contribuyendo al bienestar y la calidad de vida de los habitantes de Saltillo.

Gráfica 7. Acceso a servicios de Salud



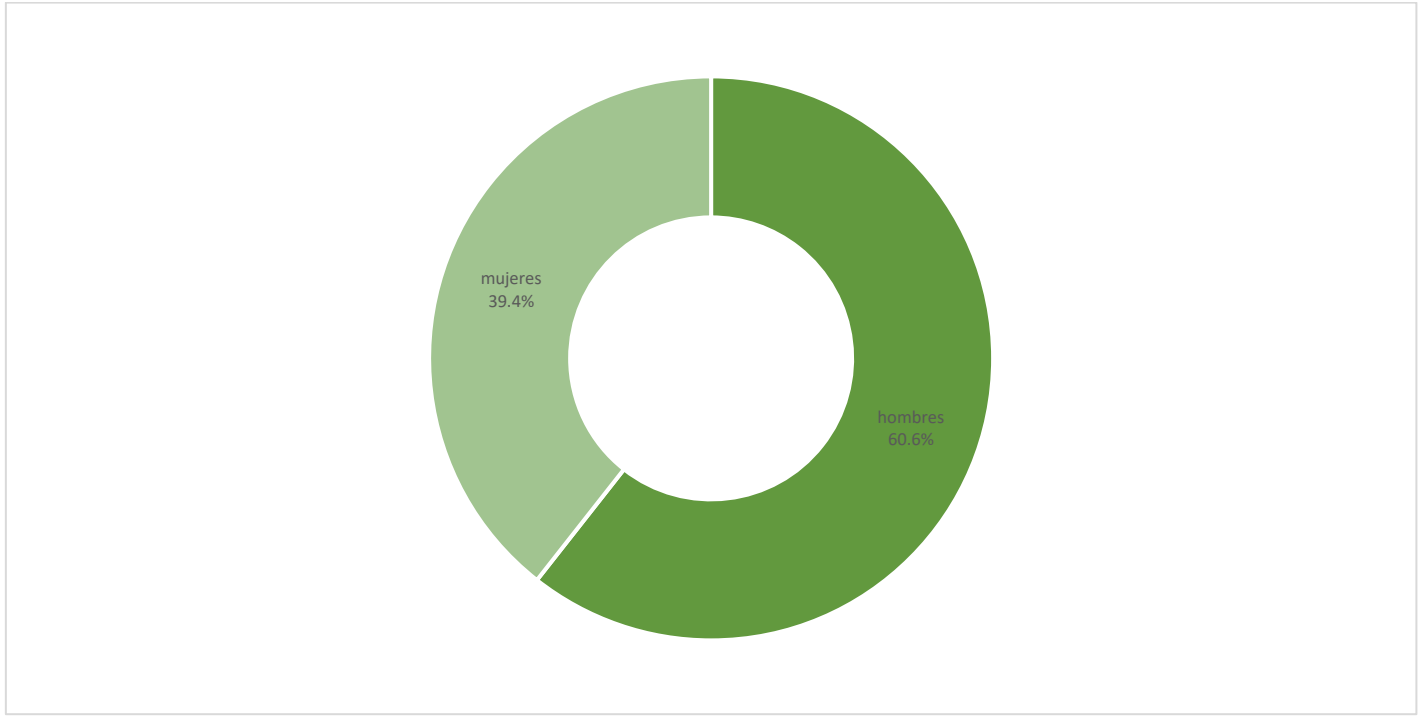
Fuente: elaboración propia con datos de INEGI, 2020.

5.10 Características económicas

5.10.1 Población Económicamente Activa (PEA)

De acuerdo con el INEGI, la población económicamente activa (PEA) en el municipio, según el censo de 2020, representó el 61.3% del total municipal, lo que equivale a 539 mil 414 personas en edad productiva. De este grupo, el 60.6% son hombres y el 39.4% mujeres (Gráfica 8).

Gráfica 8. PEA Saltillo



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI, 2020.

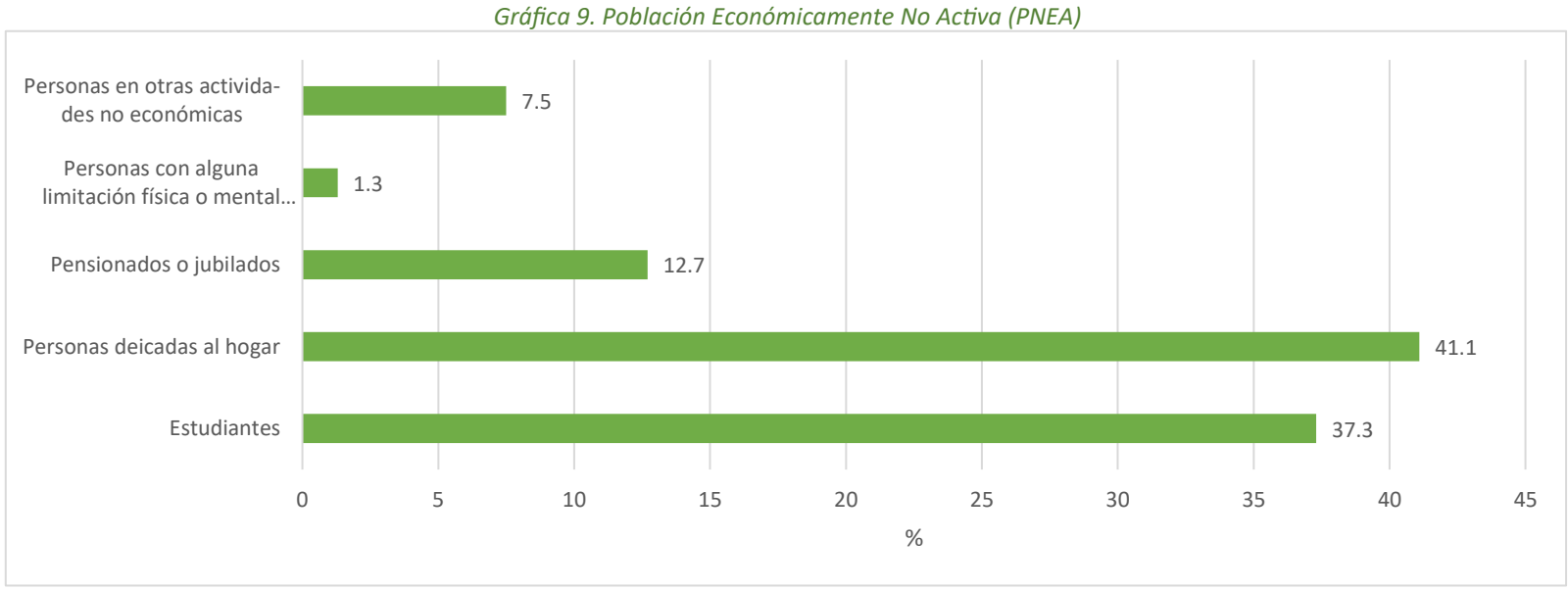
Sin embargo, no toda esta población está ocupada en algún tipo de empleo. Del total de la PEA mencionada anteriormente, solo el 97.9% se encuentra laborando, dejando un 2.1% sin empleo.

Es relevante destacar que, aunque el mayor porcentaje de la PEA ocupada está representado por mujeres (98.5%), en términos numéricos esto no se refleja debido a la proporción de la PEA total, donde hay una mayor presencia de hombres.

5.10.2 Población Económicamente No Activa (PENA)

La población no económicamente activa (PNEA) se compone de individuos que se dedican a actividades no remuneradas, como estudiar, labores del hogar, pensionados, personas con limitaciones físicas o mentales, entre otras tareas no laborales. En el caso de Saltillo, esta PNEA representa el 38.5% de la población total, lo que equivale a 338 mil 784 personas dedicadas a actividades no productivas (Gráfica 9).

Gráfica 9. Población Económicamente No Activa (PNEA)

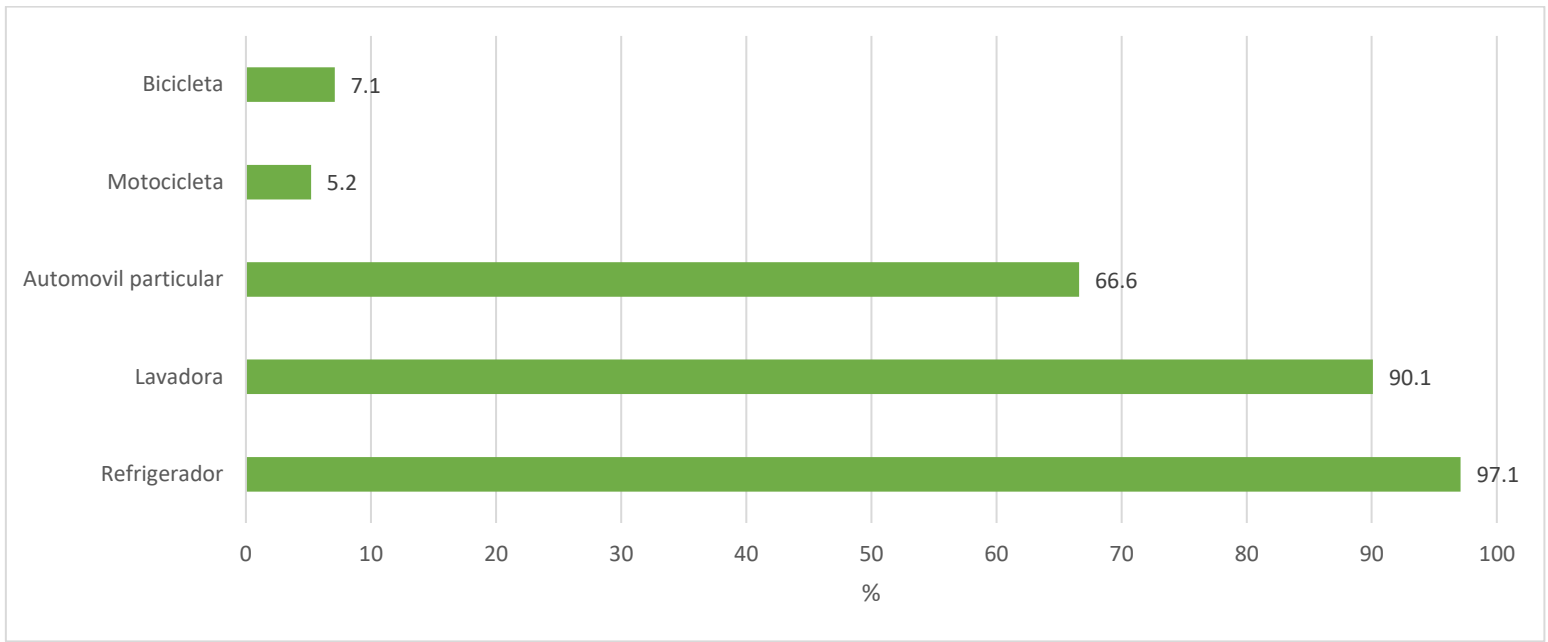


Fuente: elaboración propia con datos de INEGI, 2020.

5.10.3 Acceso a bienes y servicios

Otro aspecto importante en la determinación de la calidad de vida de las personas es la cantidad de bienes y servicios a los que pueden acceder, para el caso particular de Saltillo, el 97.1% de los habitantes es dueño de un refrigerador, el 90.1% posee una lavadora en su casa y poco más del 65% de ellos tiene un automóvil particular para su movilidad. En la Gráfica 10, también se puede apreciar que un poco más del 5% de la población cuenta con una motocicleta adicional como medio de transporte.

Gráfica 10. Disponibilidad de bienes



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI, 2020.

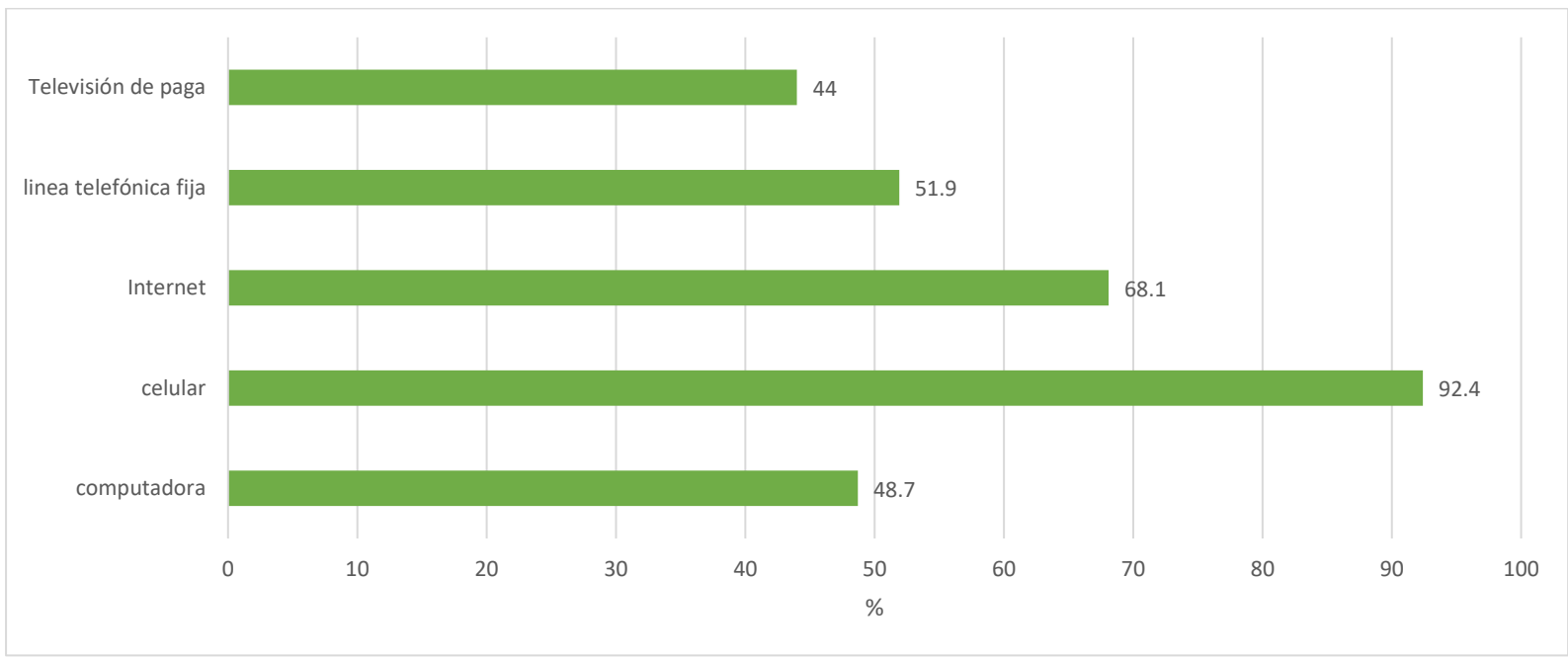
Junto con la disponibilidad de bienes esenciales, el acceso a las Tecnologías de la Información (TIC) desempeña un papel crucial al determinar el acceso al conocimiento, así como a la información en la actualidad. Dentro del municipio, los datos censales de 2020 revelan que un poco más del 90% de la población encuestada declaró disponer de un teléfono celular, convirtiéndose en un dispositivo ubicuo en la comunidad.

En cuanto al acceso a internet, el 68.1% (Gráfica 11) de los censados afirmó contar con esta conexión, una herramienta que hoy en día se considera fundamental para acceder a un abanico diverso de información y servicios en línea.

Además, cerca del 50% de los encuestados indicó tener acceso a una computadora. Este acceso a dispositivos de cómputo se posiciona como un recurso valioso para el desarrollo educativo y laboral, permitiendo el aprovechamiento de recursos digitales y herramientas de aprendizaje.

Estos números ilustran un alto nivel de adopción de tecnologías digitales dentro del municipio, evidenciando un crecimiento significativo en la integración de las TIC en la vida cotidiana de la población, lo que a su vez contribuye a una mayor conectividad y acceso a información diversa, además de actualizada.

Gráfica 11. Disponibilidad de Tecnologías de la Información



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI, 2020.

5.11 Vivienda

5.11.1 Disponibilidad de vivienda

El acceso a una vivienda digna es fundamental para garantizar la estabilidad y calidad de vida de las personas. No solo provee un espacio físico, sino que también ofrece seguridad, privacidad y un entorno estable para el desarrollo familiar, así como personal. Una vivienda adecuada promueve la integración social, contribuye a la salud tanto mental, como física, lo que fomenta un sentido de pertenencia en la comunidad.

En Saltillo, de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, se registraron 242 mil 588 viviendas particulares habitadas, lo que lo convierte en el municipio con mayor número de viviendas en el estado de Coahuila. La mayoría de estas cuentan con servicios básicos, como agua entubada dentro de la vivienda (92.5%), energía eléctrica (99.5%) y drenaje conectado a la red pública (89.1%). Dentro de ellas existen una ocupación promedio de 3.6 habitantes, de los que el promedio de ocupantes por cuarto es de 0.8 personas.

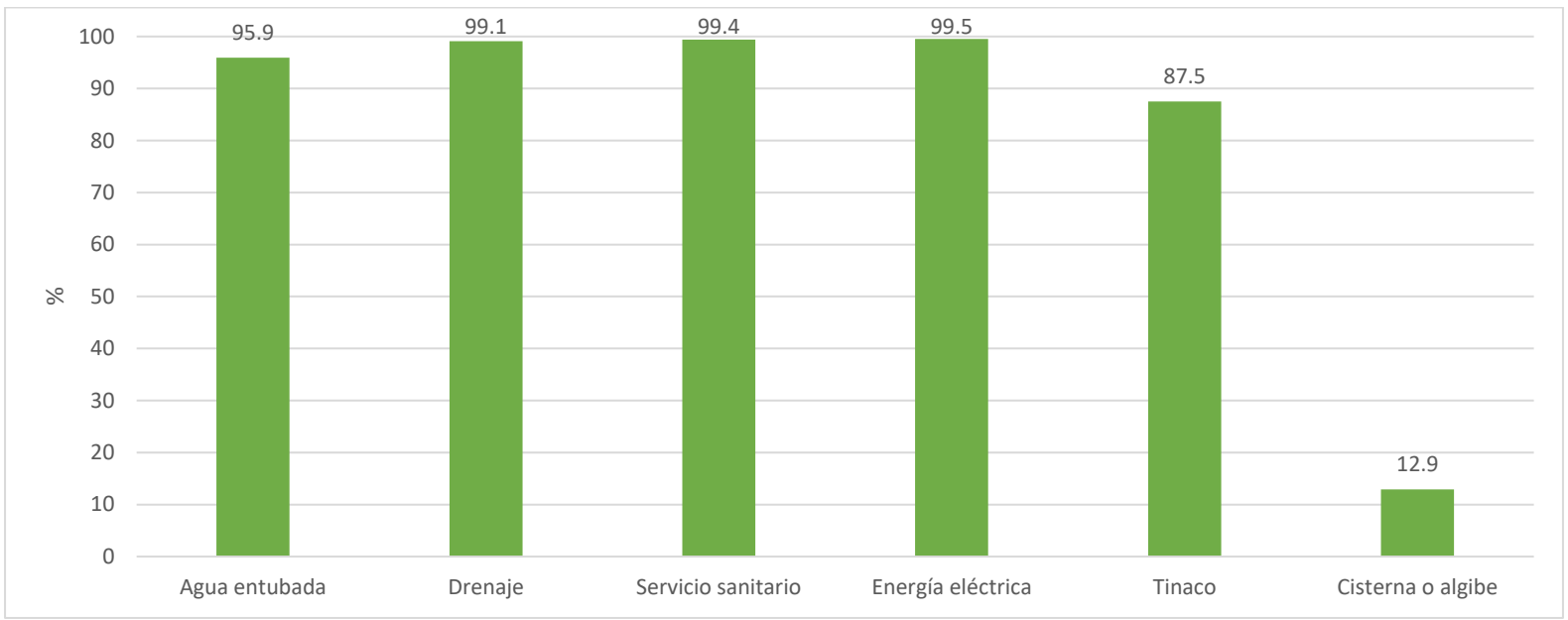
En cuanto a la **calidad de las viviendas**, el 49.2% de las viviendas tienen pisos de materiales sólidos, mientras que el 96% cuentan con paredes de materiales resistentes como tabique o *block,* y el 85.8% tienen techos de concreto o losa. Estas cifras reflejan un buen nivel de infraestructura habitacional en el municipio, aunque existen áreas con menores niveles de desarrollo.

5.11.2 Servicios básicos de la vivienda

Un elemento importante para considerar sobre las viviendas son los servicios básicos con los que cuenta, en el municipio de Saltillo existe un alto nivel de cobertura de servicios básicos, la mayoría de las viviendas cuenta con agua entubada, drenaje, energía eléctrica, entre otros que se pueden apreciar en la Gráfica 12.

Lo que refleja una infraestructura sólida en términos de necesidades esenciales para la vida cotidiana. Estos altos porcentajes demuestran que prácticamente todas las viviendas están bien conectadas a servicios básicos vitales.

Gráfica 12. Servicio de la vivienda



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI, 2020.

Sin embargo, el almacenamiento de agua varía. Mientras que el 87.5% de las viviendas tiene un tinaco, solo un 12.9% cuenta con cisterna o aljibe. Esto sugiere que los tinacos son más comunes para almacenar agua, posiblemente por su accesibilidad y facilidad de instalación, mientras que las cisternas, aunque útiles, son menos frecuentes en los hogares. Esta distribución podría ser relevante en contextos de gestión del agua, especialmente en áreas donde el suministro puede ser intermitente.

5.12 Equipamiento

La alta concentración de población en la cabecera municipal, indica un equipamiento urbano de servicio a nivel regional, ya que el resto de las poblaciones se encuentran por debajo del mínimo contemplado en la jerarquía urbana más básica que marca el Sistema Normativo de Equipamiento del Gobierno Federal.

A continuación, se describe la situación de los diversos componentes del equipamiento urbano, bajo la perspectiva de servicio regional que se presta desde el interior de la cabecera municipal hacia el resto del municipio:

5.12.1 Educación

De acuerdo con el Plan Municipal de Desarrollo 2022 - 2024, en el municipio existen mil 422 escuelas; mil 160 de nivel básico y 262 de nivel medio superior, superior, así también de formación para los trabajadores.

5.12.2 Cultura

Por su parte, la infraestructura dedicada al equipamiento de museos se ha visto favorecida en los últimos años: Saltillo cuenta con una importante cantidad de museos y espacios de expresión artística entre los que destacan: el Museo del Desierto, el Teatro de la Ciudad Fernando Soler, el Museo de las Aves, el Centro Cultural Vito Alessio Robles, el Centro Cultural Casa Purcell, el Teatro García Carrillo, el Museo Rubén Herrera, la Pinacoteca del Ateneo Fuente, la Infoteca de la Universidad Autónoma de Coahuila, entre otros.

5.12.3 Salud

La mayor parte del equipamiento de salud en el municipio sigue siendo de carácter público. Según el Censo 2020 del INEGI, en ese año el 82.6% de la población en el municipio tenía derechohabiencia en alguna institución de salud pública o privada, lo que representa un incremento con respecto al 2010, pero aún indica la necesidad de ampliar el acceso a servicios de salud para cubrir al total de la población.

En 2020, el municipio contaba con 90 unidades médicas totales, incluyendo centros de salud públicos y privados. Entre estas unidades, se mantienen las del IMSS Bienestar (anteriormente conocido como programa Oportunidades del IMSS), que opera tres Unidades Médicas Urbanas en la cabecera municipal y una Unidad Médica Rural en cada una de las localidades rurales, como Presa de San Pedro, Chapula, Guadalupe Victoria, Agua Nueva, Punta Santa Elena, Presa de los Muchachos, y Hedionda Grande.

5.12.4 Asistencia social

El DIF Saltillo desarrolla programas enfocados a la integración en el ámbito social y familiar de personas adultas mayores, además de población con discapacidad, así como programas de atención a la infancia, casa cuna y albergue, entre otros.

Por su parte, la Delegación Saltillo de la Cruz Roja Mexicana ofrece atención a la población en casos de emergencia y en situaciones de desastre. Sobre el servicio de guardería, el municipio cuenta con dos unidades de prestación directa del IMSS, además de 11 unidades de prestación indirecta. A su vez, existen con diversas organizaciones civiles no gubernamentales y organizaciones religiosas

5.12.5 Comercio

Saltillo cuenta con el Mercado de Abastos Benito Juárez, el cual está ubicado con acceso directo al Periférico Luis Echeverría Álvarez para facilitar la movilidad de mercancía, sin necesidad de adentrarse al centro de la ciudad, este brinda servicio a la Zona Metropolitana. En el centro, la población cuenta, además, con mercados de impacto local como el: el Juárez, Nuevo Saltillo, Perfecto Delgado y el Guayulera.

También cuenta con una cantidad y diversidad favorable de tiendas de autoservicio y departamentales. En los últimos años se han presentado proyectos de centros comerciales como Liverpool, SAM´s Club, HEB, Walmart, entre otros, dando servicio a la Zona Metropolitana. En algunas colonias es común ver plazas comerciales de barrio, estas son agrupamientos de varios locales de renta, usualmente utilizados para servicios (tintorería, sastrería, consultorios dentales, escuelas de inglés o matemáticas, comidas corridas, entre otros).

Si bien estas plazas son necesarias dentro de las colonias, la autoridad municipal competente deberá certificar, así como analizar las pequeñas plazas comerciales, para evitar problemas como falta de estacionamiento, malos olores, basura acumulada, ruidos fuera de horario, venta de bebidas alcohólicas, entre otros. Esta tendencia recientemente ha presentado un auge en el norte de la ciudad.

5.12.6 Recreación y deporte

La ciudad cuenta con un atractivo equipamiento recreativo, así como de áreas verdes encabezado por la Alameda Zaragoza (poblada de nogales y álamos), un lago artificial con la forma del territorio de la República Mexicana. Además, Saltillo cuenta con el Gran Bosque Urbano Ejército Mexicano constituido por poco más de 12 hectáreas de terreno boscoso con especies nativas de la región como los pinos piñoneros, ayacahuites, halepos, fresnos, entre otros; en este lugar se ofrecen actividades recreativas, también de educación ambiental.

Por otra parte, cuenta con parques de impacto metropolitano como el Parque Las Maravillas y el Parque Ecológico El Chapulín, equipados para realizar actividades deportivas. Es importante señalar que el común de los parques vecinales, así también de áreas verdes locales requieren mejoras de mantenimiento y arborización, especialmente en las colonias de reciente creación en las zonas oriente y sureste de la ciudad.

En lo que respecta al equipamiento deportivo, Saltillo cuenta con las unidades: Benito Juárez, Venustiano Carranza, Carlos R. González, Espinosa Mireles, la Unidad Deportiva de la Universidad Autónoma de Coahuila, la Ciudad Deportiva, la Alberca Olímpica, entre las más destacadas.

Por último, cabe mencionar los Biblioparques Sur y Norte que conjuntan cultura, educación, así como deporte con un impacto positivo en la población.

5.12.7 Servicios Urbanos

Saltillo ha sido reconocida como una de las ciudades más limpias por la Asociación Técnica para la Gestión de Residuos y Medio Ambiente (Aterus) en 2018, y el servicio de recolección se encuentra valorado en los primeros lugares de 64 ciudades evaluadas por el Gabinete de Comunicación Estratégica[3].

Recientemente se han adquirido nuevos equipos para transportar los desechos sólidos domésticos; la recolección es realizada por la Dirección de Servicios Públicos, con una cobertura de servicio del 100% a la población residente. La recolección estimada es de más de 600 toneladas de basura diaria de un total de 808 colonias en el recorrido de 124 rutas, por lo que se estima que más 219 mil toneladas de desechos son recolectados anualmente.

El relleno sanitario municipal cuenta, además, con inversión para acciones de mejora en su funcionamiento como la construcción de la Fosa 4 con una extensión de 41 mil 600 m^2 de superficie. Además, se cuenta con un proyecto en conjunto con la empresa Lorean Energy Group, con el fin de aprovechar, así como controlar la emisión de biogás emitida por el relleno sanitario, para la generación de bonos de carbono, así también transformar el biogás en energía eléctrica, permitiéndole al municipio un ahorro de entre cinco y ocho millones de pesos anuales.

[3] Gabinete de Comunicación Estratégica, 2018. Ciudad más habitable, México.

La cabecera cuenta con lotes municipales para cementerios, entre los que se encuentran activos: San Esteban (sin lotes disponibles), Dolores (con 300 lotes disponibles), Santiago (sin lotes disponibles) y La Paz (seis mil lotes disponibles), todos ellos con servicio de mantenimiento por la Dirección de Servicios Públicos.

5.12.8 Central de Autobuses

Actualmente Saltillo cuenta con una Central de Autobuses ubicada al sur de la ciudad. El paso del tiempo y la expansión de la mancha urbana propiciaron que algunas líneas de transporte de pasajeros instalaran pequeñas terminales en otros puntos de la ciudad, reduciendo el tráfico de autobuses dentro del área urbana.

5.12.9 Aeropuerto

A solo unos minutos de la capital de Coahuila se localiza el Aeropuerto Internacional Plan de Guadalupe que, si bien se ubica en el municipio de Ramos Arizpe, presta el servicio a toda la región. El aeropuerto despliega una gran cantidad de vuelos de carga que abastecen a la industria, además de que apoyan el flujo comercial de bienes producidos en la zona.

A 100 km de distancia, también se encuentra el Aeropuerto Internacional Mariano Escobedo en la ciudad de Monterrey, con una amplia oferta de vuelos nacionales e internacionales. De acuerdo con la Dirección General de Aeronáutica Civil, en 2017 pasaron por el Aeropuerto Plan de Guadalupe 71 mil 621 pasajeros, mientras que en el 2018 recibió a 42 mil 533, un número muy por debajo de la capacidad máxima del aeropuerto.

Resulta necesario incrementar el flujo de vuelos, por lo que se sugiere establecer convenios con las empresas aeronáuticas para que más pasajeros puedan llegar a las ciudades más importantes del país, así como de Estados Unidos; es importante garantizar la operatividad del aeropuerto en temporada invernal, ya que la presencia de neblina es común, lo que provoca que se cierren los vuelos debido a la poca visibilidad en la zona.

5.12.10 Industria

Las zonas industriales se ubican principalmente al sur y al norte de la cabecera municipal, extendiéndose por el municipio de Ramos Arizpe. En la zona norte se ubica el parque industrial Amistad, mismo que alberga empresas como: Alcoa, Michelin, Takata, Benteler, Textron, General Electric, Sunbeam, Fruit of the Loom, Gerber, Kimberly-Clark, Sara Lee, Oster y Wolverine Tube Inc, entre otras.

En la zona de Derramadero se ubica un importante y creciente polo de industrialización, donde se encuentran empresas como: Chrysler Ensamble, Chrysler Motores, Daimler Truck, CVG, PEMSA, Metalsa, DHL, Johnson Controls, Liberty Steel, etcétera; especializándose en la fabricación de motores a diesel, maquinaria, además de equipo pesado, mantenimiento automotriz, electricidad, electricidad industrial, electrónica, instrumentación y automatización, mecatrónica, sistemas automáticos, mantenimiento y otras. Actualmente el municipio cuenta con áreas suficientes para satisfacer las necesidades de industria ligera y pesada por los próximos 30 años. En este cálculo se considera la zona de Derramadero.

5.12.11 Turismo

En el año 2024 existen 78 establecimientos de hospedaje como hoteles, moteles, casas de huéspedes, cabañas, suites o posadas y 3 mil 721 cuartos de hospedaje disponibles para pernoctar, según el Anuario Estadístico y Geográfico de Coahuila de Zaragoza. Asimismo, se encuentran establecidos 662 negocios de alimentos, entre restaurantes, bares, cafeterías, discotecas y centros nocturnos.

Según datos de la secretaria de Turismo, en 2023 se recibieron 295mil 806 turistas y el porcentaje de ocupación fue de 49.7%, con 2.3 noches de ocupación en promedio por turista. Con la infraestructura de hospedaje, de servicios y entretenimiento, la ciudad está preparada para ser centro de actividades turísticas, tanto para la comunidad local, como para la atracción de nuevos visitantes. Por ello, es importante aprovechar la infraestructura con la que se cuenta, a fin de desarrollar un programa estratégico bien diseñado que vincule, opere y promueva todas las actividades turísticas para la localidad y su exterior.

5.13 Infraestructura

5.13.1 Agua Potable

A partir del año 2001, Saltillo ha logrado mejorar la eficiencia en el servicio de abastecimiento del agua potable por medio de la reorganización de su ente operador de agua potable bajo un esquema de empresa mixta, el cual consiste en una alianza público - privada entre el municipio y un operador privado, donde el primero es mayoritario. La empresa Aguas de Saltillo, fruto de esta alianza, mantiene la propiedad de la infraestructura y la red de agua en manos del Gobierno y cuenta con un Consejo Ciudadano de Administración.

Desde el inicio de sus labores hasta la actualidad, la paramunicipal reporta un aumento del 79% en su cartera de clientes, un incremento del 76% en la cantidad de colonias que cuentan con suministro diario y un incremento del 63.16% en la mejora de la eficiencia física, por lo cual se logró alcanzar un 75.8% para el año 2018 y una eficiencia comercial del 98.7%.

En general, los volúmenes de extracción de agua potable fueron de 43 hm3 en el año 2001, y de 53.4 hm^3 durante 2018. Dentro del Cañón de Derramadero existen importantes acuíferos de los que se disponen 10.5 hm^3/año. Dicha zona cuenta actualmente con 198 aprovechamientos de agua en funcionamiento, de los cuales el 73% se destinan a uso agrícola, el 1% a uso industrial y el 24% restante se destinan al uso urbano del municipio.

En el municipio de Saltillo, la cobertura del servicio de agua potable en 2018 fue del 98.7% del total de las viviendas particulares habitadas. La ciudad se abastece de agua subterránea captada en pozos, pero la zona ha sufrido de largos períodos de sequía, por lo que esto limita la recarga de agua subterránea. A pesar de los esfuerzos para el abastecimiento de agua, es importante considerar no solo la construcción de obras civiles, sino la dinámica del ciclo del agua, además de la necesidad de proteger la cuenca de contaminación y sobre explotación.

Para garantizar el abasto de agua potable para la población de Saltillo en crecimiento, es necesario concluir exitosamente las gestiones que realiza el Gobierno Municipal ante la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para que se asigne el caudal adicional necesario conforme a las disponibilidades identificadas en los estudios hechos en el acuífero Saltillo Sur y avalado técnicamente por la propia dependencia federal.

5.13.2 Drenaje

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, del total de las viviendas particulares habitadas en el municipio de Saltillo, el 99.2% disponía de conexión al sistema de drenaje, lo que refleja una mejora en la cobertura del servicio para la población en comparación con el año 2015. Este sistema sigue recibiendo cargas pluviales que en algunas ocasiones saturan las tuberías, provocando insuficiencia en la capacidad del sistema.

Aún persiste un problema importante relacionado con la deficiencia en el desalojo de aguas pluviales, principalmente causado por la obstrucción de los escurrimientos naturales en la zona, debido al manejo inadecuado de basura y otros desechos, lo que impacta negativamente en el funcionamiento del sistema de drenaje.

5.13.3 Electrificación y Alumbrado Público

Según el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, en Saltillo había 232 mil 985 viviendas particulares habitadas que contaban con servicio de energía eléctrica, lo que representaba una cobertura del 99.8%. Esto demuestra una mejora en la cobertura de electricidad en comparación con el año 2015, cuando era del 99.7%.

El Sistema de Alumbrado Público continúa bajo la gestión de la Dirección de Servicios Públicos, que realiza recorridos diarios para mantenimiento, conexión y reparación de luminarias. Sin embargo, de acuerdo con el Índice de Movilidad Urbana elaborado por el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO), la satisfacción con el alumbrado público en Saltillo se mantuvo por debajo del promedio nacional, con una calificación de 2.9 frente a la media de 3.5 en las ciudades encuestadas.

En cuanto al equipamiento de alumbrado, el municipio cuenta con más de 60 mil luminarias, de las cuales una parte significativa está formada por tecnologías como vapor de sodio, aditivos metálicos cerámicos (AMC), y diodo (LED). Del total, 48% están bajo un servicio medido y 52% funcionan bajo un convenio con la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para operar 12 horas diarias.

5.13.4 Pavimentación

En la zona urbana, aún existen calles no pavimentadas, lo que representa una deficiencia en la comunicación vial. Estas áreas se localizan predominantemente en zonas donde los procesos de urbanización se dieron de manera espontánea o irregular. El IMCO menciona en su encuesta del Índice de Movilidad Urbana que, solamente el 12.9% de las vialidades están sin recubrimiento.

5.13.5 Vialidad y transporte

El centro de población de Saltillo cuenta con una infraestructura vial a escala metropolitana de primer nivel. No obstante, el crecimiento urbano y económico de las localidades tiene un impacto importante para la movilidad, ya que contribuye a elevar la demanda de unidades motoras en la ciudad. En el caso de las vialidades, en el Índice de Movilidad Urbana, el IMCO señala que el 26% de las vialidades no tienen banqueta y el 93% de las vialidades no cuentan con rampa de acceso. Asimismo, no existe una restricción para el paso vehicular en el 93% de las vialidades.

En lo que se refiere al transporte público, la ciudad cuenta con 54 rutas. De estas, 50 son urbanas con 810 unidades que convergen, principalmente, en la Zona Centro que se distribuyen de forma radial; y 4 rutas intermunicipales con 99 unidades.

El tiempo promedio estimado de trasportación es de 39.5[4] minutos19; sin embargo, de acuerdo con estimaciones de IMCO, la percepción de espera en el transporte público es mayor que el promedio, y los viajes son en su mayoría intermunicipales al interior de la zona metropolitana. Los resultados sugieren mejorar las condiciones de las unidades del transporte público. Por su parte, la zona de Derramadero requiere de una conexión directa al sistema de transporte.

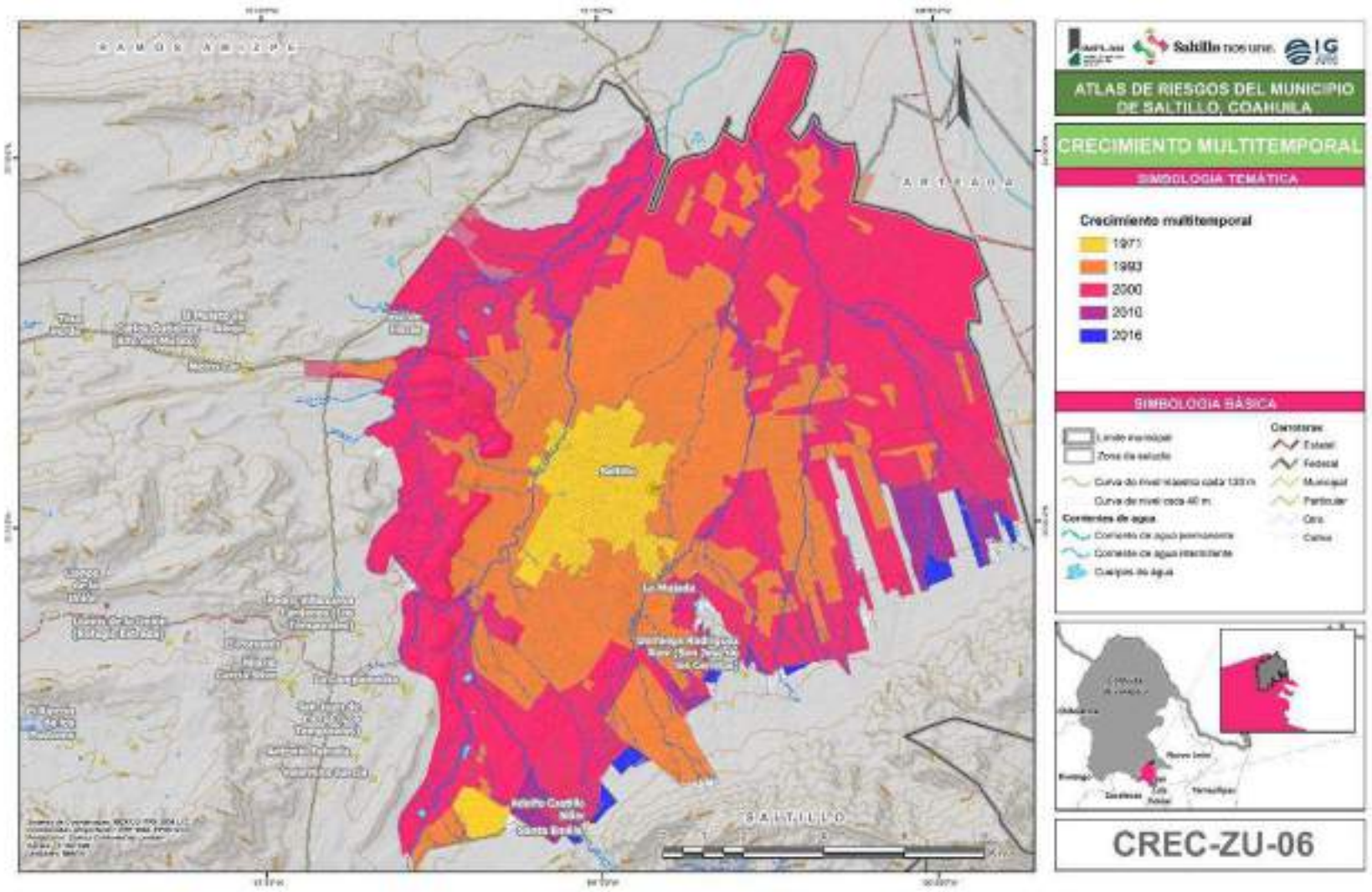
[4] IMPLAN, 2015. Propuesta de Ordenamiento del Transporte Público del Municipio de Saltillo, Coahuila. Instituto Municipal de Planeación de Saltillo, México

5.14 Dinámica territorial y expansión de la mancha urbana

La ciudad de Saltillo ha experimentado un crecimiento urbano significativo en las últimas décadas. Según el INEGI, la población de la ciudad pasó de 436 mil 592 habitantes en 1990 a 879 mil 958 habitantes en 2020. Este crecimiento se ha reflejado en la expansión de la mancha urbana de la ciudad.

De acuerdo con los datos del Plan Director de Desarrollo Urbano del Municipio de Saltillo 2014, de 1993 al 2013 la mancha urbana de Saltillo creció a una tasa anual del 5.41%. Con el crecimiento urbano, el municipio ha enfrentado la necesidad de mejorar y aumentar la infraestructura social y productiva.

Mapa 5. Expansión de la mancha urbana de Saltillo 1993 - 2013



Fuente: Plan director de Desarrollo Urbano del municipio de Saltillo 2014.

El crecimiento y expansión territorial ha superado los límites del municipio de Saltillo, generando un fenómeno de conurbación intermunicipal con los territorios de Arteaga y Ramos Arizpe. Esto configura características de una zona metropolitana, definida como el conjunto de dos o más municipios con una ciudad de al menos 50 mil o más habitantes, cuya área urbana, funciones, asó como actividades exceden los límites del municipio original, integrando a municipios vecinos predominantemente urbanos con los que mantiene una fuerte integración socioeconómica.

De acuerdo con el documento “Metrópolis de México 2020” publicado por la SEDATU, la Zona Metropolitana de Saltillo (ZMS) se conforma por los municipios de Saltillo como municipio central y los municipios de Ramos Arizpe y Arteaga, la tasa de crecimiento medio anual en la ZMS en el periodo 2010 – 2020 corresponde al 2.48%.

De acuerdo con la misma fuente, la superficie total de la ZMS corresponde a un millón 400 mil 928.8 ha, mientras que la superficie ocupada corresponde a 31 mil 117.8 ha (2.2% respecto al total). La superficie urbana se distribuye en 25 mil 222.2 ha (81.1% respecto a superficie ocupada), en tanto que la superficie rural se extiende en 5 mil 895.7 ha (18.9% respecto a superficie ocupada).

Como dato relevante a mencionar, destaca que la competitividad de las ciudades es un elemento importante que incluye diferentes indicadores. El Índice de Competitividad Urbana (ICU) utiliza 10 dimensiones que permiten determinar a las metrópolis más competitivas según su número de habitantes. Conforme a este índice, en 2021 las metrópolis más competitivas con más de un millón de habitantes fueron: Ciudad de México, Guadalajara y Querétaro. Empero, en 2022 las posiciones cambiaron siendo las tres primeras Monterrey, Saltillo y Guadalajara, mientras que la Ciudad de México descendió al quinto lugar (Instituto Mexicano para la Competitividad [IMCO], 2021 y 2022).



Fase II

Identificación de peligros y amenazas de origen natural y antropogénico

6 Fase II. Identificación de amenazas y peligros, ante fenómenos perturbadores de origen natural y antropogénico

El análisis del riesgo por fenómenos perturbadores de origen natural es un proceso fundamental en la gestión de riesgos y la protección civil, orientado a comprender, así como evaluar las amenazas que estos fenómenos representan para la sociedad, los bienes materiales, además del entorno natural.

Los fenómenos naturales como terremotos, huracanes, inundaciones, erupciones volcánicas y sequías, forman parte del dinamismo propio del planeta, de manera que son esenciales para su equilibrio ecológico. Sin embargo, cuando estos eventos ocurren con alta magnitud o en áreas densamente pobladas, pueden convertirse en agentes de destrucción, causando pérdidas significativas de vidas humanas, daños materiales, así también alteraciones en los sistemas sociales y económicos.

El objetivo del análisis de riesgos es identificar, evaluar y caracterizar las amenazas naturales para anticipar sus posibles impactos para desarrollar estrategias de mitigación, preparación, además de respuesta que minimicen sus efectos adversos. Este proceso implica una evaluación detallada de la probabilidad de ocurrencia de los fenómenos, la identificación de áreas vulnerables, así también la estimación de los posibles daños. La información obtenida es esencial para la toma de decisiones informadas en la planificación urbana, el diseño de infraestructuras resilientes, lo mismo que la formulación de políticas públicas que fortalezcan la capacidad de respuesta de la sociedad ante desastres naturales.

A través de la integración de conocimientos científicos, técnicos y sociales, el análisis del riesgo busca no solo reducir la exposición, así como la vulnerabilidad de las comunidades, sino también fomentar una cultura de prevención tanto como resiliencia ante los eventos naturales. Este enfoque integral, además de proactivo es clave para la reducción del riesgo de desastres y la construcción de sociedades más seguras, lo mismo que preparadas para enfrentar los desafíos planteados por los fenómenos perturbadores de origen natural.

Así mismo, el análisis del riesgo por fenómenos perturbadores de origen antropogénico se centra en la evaluación y gestión de los riesgos derivados de las actividades humanas que, ya sea de manera accidental o intencionada, pueden causar daños significativos a las personas, los bienes, así como el medio ambiente. Estos fenómenos incluyen incendios industriales, derrames químicos, explosiones, fallas en infraestructuras críticas, accidentes de transporte, contaminación ambiental, conflictos sociales, terrorismo y otros eventos relacionados con la acción humana que pueden desencadenar emergencias o desastres.

A diferencia de los fenómenos naturales, los riesgos antropogénicos están intrínsecamente ligados a la presencia y actividad humana, lo que implica que, en muchos casos, pueden ser prevenidos o controlados mediante la implementación de buenas prácticas, regulaciones estrictas, además del fortalecimiento de los sistemas de seguridad, así como prevención. El análisis de estos riesgos busca identificar las amenazas asociadas a las actividades humanas, evaluar la vulnerabilidad de los sistemas expuestos para estimar las posibles consecuencias de su materialización, con el fin de reducir la probabilidad de ocurrencia, lo mismo que minimizar los impactos.

Este proceso de análisis es crucial para la protección civil, al igual que la seguridad pública, ya que permite anticipar los posibles escenarios de riesgo, además de diseñar estrategias de mitigación, preparación y respuesta adaptadas a las características específicas de cada fenómeno. Además, involucra la participación de múltiples actores, incluidos gobiernos, empresas, comunidades, así como ciudadanos, para promover una cultura de responsabilidad y resiliencia.

El análisis de los peligros y amenazas, conlleva etapas de trabajo de campo para las observaciones, además de las mediciones, y otras de gabinete para el procesamiento de la información, también la elaboración de mapas e informes.

En esta fase se analizan los peligros o amenazas tanto por fenómenos perturbadores de origen natural (peligros geológicos e hidrometeorológicos) como por fenómenos de tipo antropogénico (peligros socio - organizativos, sanitario - ecológicos y químico - tecnológicos).

6.1 Peligros ante fenómenos perturbadores de origen natural

La Ley General de Protección Civil clasifica los fenómenos perturbadores de origen natural como aquellos agentes perturbadores causados por cambios en las condiciones ambientales o geológicas del planeta. Estos fenómenos se dividen en dos grandes categorías. **Los fenómenos geológicos** que son los provocados por la actividad de la corteza terrestre, tales como los sismos, el vulcanismo (incluyendo la ceniza volcánica), los tsunamis o maremotos, la inestabilidad de laderas, derrumbes, hundimientos y agrietamientos.

Por otro lado, **los fenómenos hidrometeorológicos** están relacionados con las condiciones atmosféricas y el comportamiento del agua. Entre ellos se encuentran los ciclones tropicales, las lluvias extremas, inundaciones (pluviales, fluviales, costeras y lacustres), tormentas de nieve, granizo, polvo o eléctricas; así como fenómenos como las sequías, heladas, ondas cálidas o gélidas, tornados y fuertes vientos.

6.1.1 Peligro ante fenómenos geológicos

Los peligros causados por fenómenos geológicos constituyen una de las amenazas más destructivas para la vida, infraestructura y bienes materiales de la población, dichos fenómenos naturales se han dividido en:

- Karstificación
- Remoción en masa
- Sismicidad
- Vulcanismo
- Hundimientos y agrietamientos

De los fenómenos mencionados, destacan los movimientos en masa debido a las características geológicas, geomorfológicas y ambientales del municipio de Saltillo. Estos movimientos pueden ocurrir de forma súbita o manifestarse gradualmente, casi de manera imperceptible con el tiempo. La susceptibilidad a su incidencia es significativa en el perímetro montañoso del área metropolitana, así como en las márgenes de cañadas y arroyos que atraviesan la ciudad de Saltillo, como se detallará más adelante.

Seguirían en importancia los hundimientos y agrietamientos que se encuentran asociados a los efectos particulares de los movimientos en masa, la erosión hídrica subsuperficial (tubificación), karstificación (disolución de rocas carbonatadas, además de yesos) y vibraciones producidas por actividades antrópicas o la combinación de dos o más de los fenómenos antes señalados.

En tercer lugar y de acuerdo con el catálogo de sismos elaborado por el Servicio Sismológico Nacional (SSN) y los reportes consignados por las autoridades de Protección Civil municipal, se tienen registros de eventos sísmicos cuya magnitud ha llegado a 4.6 (Mw); e históricamente en 1841, se tiene conocimiento de un temblor considerable que se estima aproximadamente entre 6 y 7 Mw de magnitud, equivalente a intensidades de VI-VIII en la escala de Mercalli Modificada y cuya explicación se trata en el capítulo correspondiente. Por lo anterior, se ha realizado un análisis, además de modelación del peligro sísmico auxiliado con el programa R-CRISIS, elaborado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Finalmente, el vulcanismo y sus fenómenos asociados no están presentes en la región, por lo que solo se explican las razones por las que no puede ocurrir este fenómeno en el municipio, así como la imposibilidad de que se presente un tsunami.

Metodología general

La metodología general empleada para la determinación de los peligros geológicos se describe a continuación:

- Recopilación y análisis de información cartográfica disponible en fuentes como el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), el Servicio Geológico Mexicano (SGM), el Instituto de Geografía (IG) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto Municipal de Planeación Saltillo (IMPLAN), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés).
- Análisis y recopilación de datos relacionados con el tema, teniendo como fuentes de información: informes, tesis, artículos científicos, Atlas de Riesgos, artículos periodísticos, estudios técnicos relacionados, manuales, tratados, etcétera., ya sea facilitados por el IMPLAN, institutos de investigación, entidades gubernamentales o información disponible en la red.
- Reconocimiento de campo. Consistente en recorridos y verificación de puntos de interés geológico, así como geotécnico, de acuerdo con la revisión previa del material cartográfico, además de documental de la zona de estudio, indicaciones de Protección Civil Municipal e IMPLAN. En los sitios seleccionados se realizaron descripciones de la geología, geología estructural, también pruebas de clasificación de suelos (SUCS) e identificación textural.
- Análisis de las evidencias y hallazgos registrados durante los reconocimientos de campo, relacionados con peligros geológicos.
- Estimación de parámetros morfométricos, geológicos y geotécnicos para su aplicación en la realización de cálculos, además de modelación de los fenómenos naturales sujetos a estudio, tomando en cuenta los registros obtenidos *in situ* sobre los rumbos e inclinaciones de la estratificación, fracturamiento, así como fallas geológicas para su análisis estructural en gabinete.
- Modelación y elaboración de cartografía sobre las amenazas identificadas según los datos obtenidos, tales como la presencia de cavidades, volcados, deslizamientos, flujos de escombros, reptación, fallas gravitacionales, además de otros peligros que pueden presentarse en el municipio de Saltillo.
- Elaboración de informe descriptivo, incluyendo anexos cartográficos, memorias de cálculo y fotográfico - documentales.

Karstificación

El término alemán karst deriva de una región esloveno-croata y es de uso generalizado internacionalmente para designar un tipo de relieve caracterizado por superficies ásperas, depresiones, simas, además de cavidades de disolución que se desarrollan principalmente en rocas carbonatadas, tales como calizas y dolomías, pero que también pueden extenderse a otras litologías formadas con minerales solubles como: sulfatos (yeso, anhidrita, también epsomita); haluros (halita, silvina, además carnalita); rocas sedimentarias detríticas con cemento calcáreo o sulfatado, así como rocas metamórficas carbonatadas, fundamentalmente mármoles; entre otros.

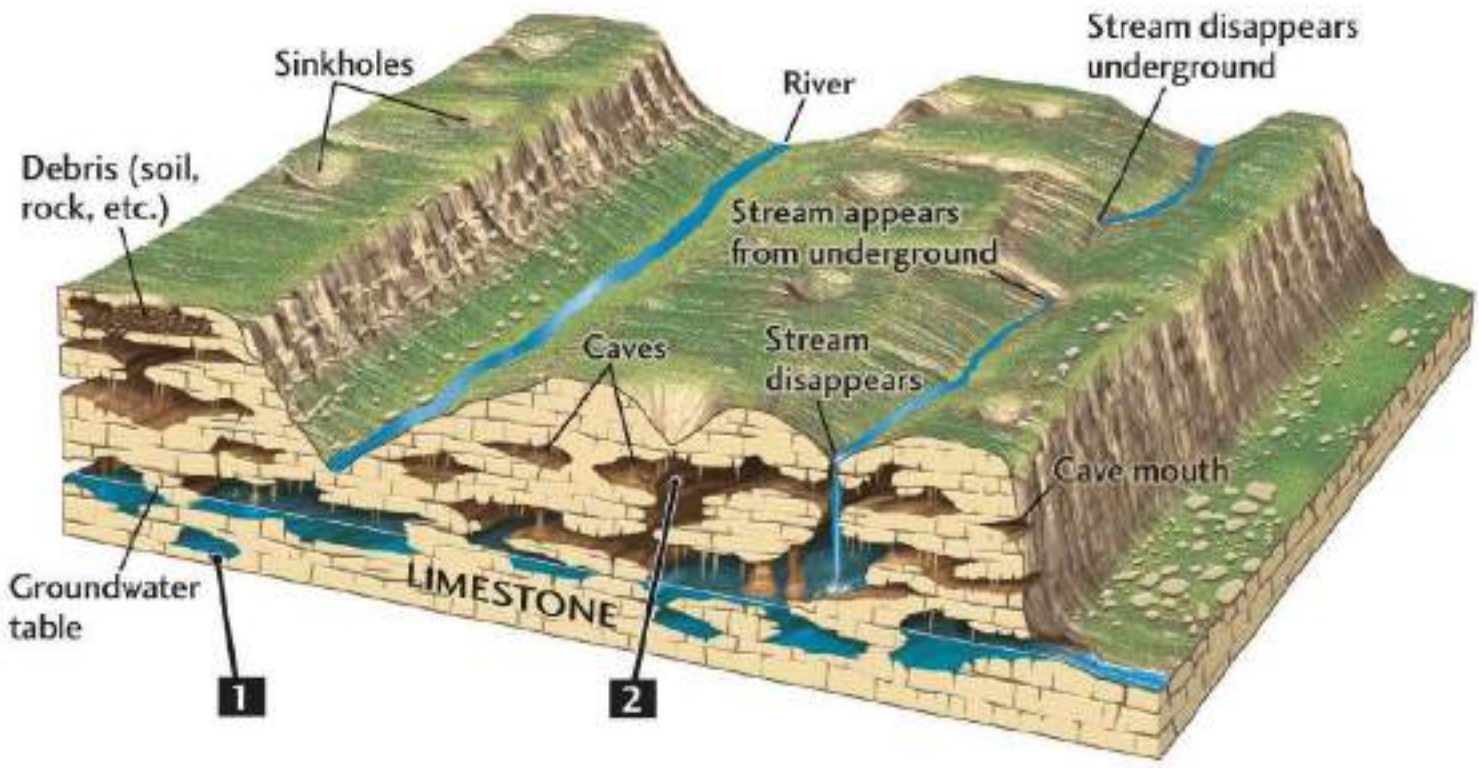
En México, aproximadamente el 20% de las rocas son carbonatadas (Espinasa - Pereña, 1990) y tienen una amplia distribución en nuestro territorio, siendo abundantes en zonas como la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre del Sur, Sierra de Chiapas, Sierra de Juárez y la Plataforma de Yucatán. Cada zona presenta diferentes características según su edad y procesos tectónicos que influyeron en su formación, por lo que pueden encontrarse desde grandes sistemas de cavernas verticales de más de mil 500 metros de profundidad (Sistema Huautla, Oaxaca), hasta redes criptorréicas horizontales de unos 269 km de extensión, como en el Sistema Ox Bel Há en el estado de Quintana Roo.

Partiendo del análisis de literatura en el que se describe que el proceso de karstificación en las rocas carbonatadas (calizas, dolomías y mármoles) se origina por un conjunto de reacciones fisicoquímicas que disuelven el carbonato de calcio (calcita,

CaCo3) y en menor medida la dolomita (carbonato de calcio y magnesio, CaMg(CO3)2), teniendo como principal agente reactivo al ácido carbónico (HCO3) disuelto en el agua de lluvia o por lixiviación de suelos ácidos.

Dicho proceso lleva un lapso considerable de tiempo; ya que, según estimaciones del Departamento de Geología y Geoquímica de la Universidad Autónoma de Madrid, la tasa de disolución de una caliza equivale a 125 mm de espesor cada mil años. Por otra parte, y atendiendo a la expresión morfológica superficial de karsticidad, que se traduce en depresiones sensiblemente circulares (poljes y uvalas), sistemas cavernosos, simas y sumideros, dolinas, valles kársticos o encañonados, además de superficies acanaladas con crestas agudas denominadas lapiaz o lenares (Figura 5).

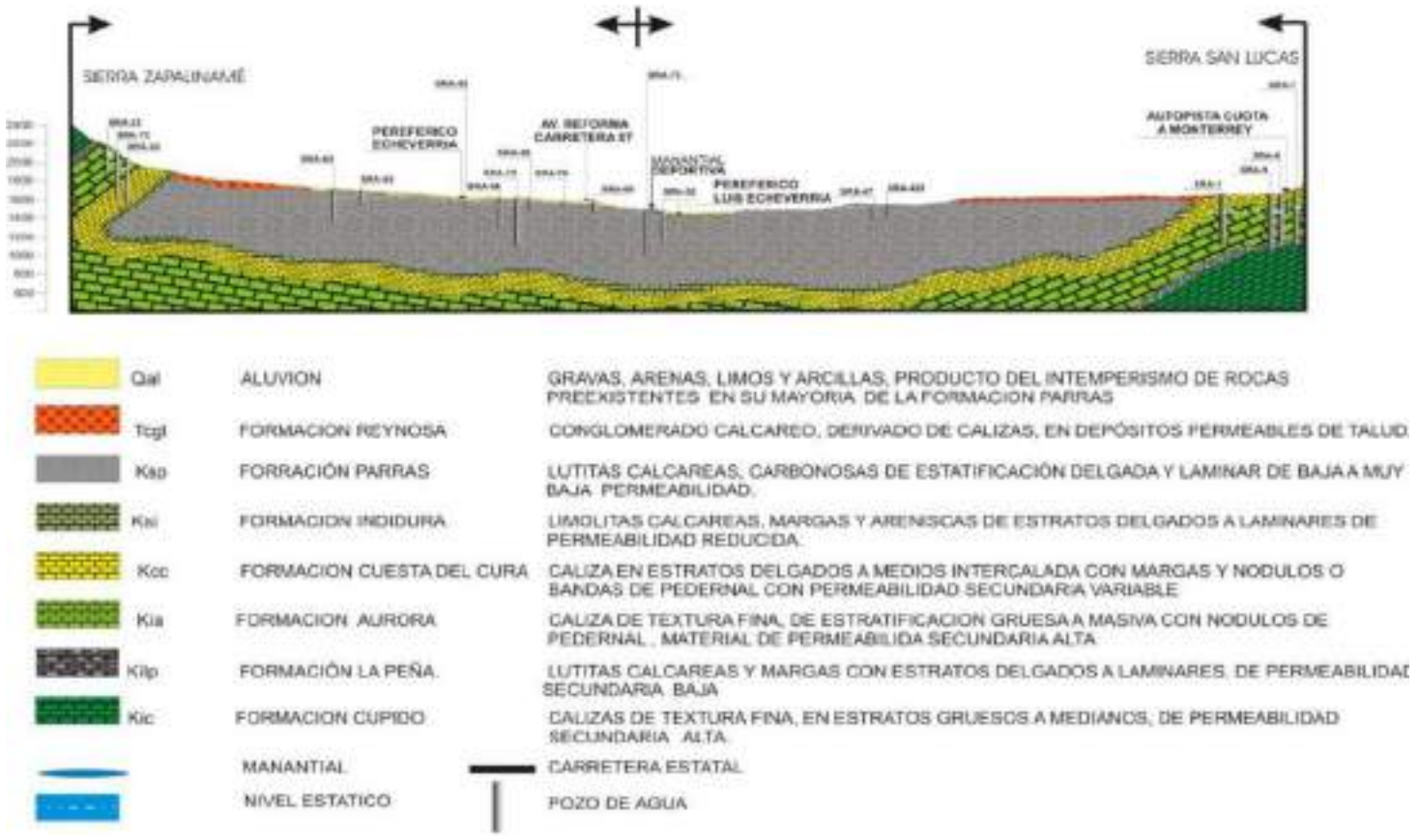
Figura 5. Relieve característico de zonas kársticas



Fuente: Karst topography, IAS NEXT.

De lo anterior, se desprende que indudablemente deben existir sistemas criptorréicos o cavernosos, principalmente en las zonas montañosas, tales como: las sierras de Zapalinamé, La Nieve y San Lucas; ya que de acuerdo con CONAGUA (2015 y 2024) es la zona de recarga del acuífero profundo Saltillo-Ramos Arizpe (0510) que se explota actualmente para el abastecimiento de agua potable de la Zona Metropolitana de Saltillo por medio de pozos profundos, que alcanzan los 500 m de profundidad y que se encuentran alojados dentro de las formaciones: Indidura, Cuesta del Cura, Aurora y Cupido (Figura 6).

Figura 6. Sección geológica esquemática del Valle de Saltillo, Coah



Fuente: Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Saltillo-Ramos Arizpe (0510), estado de Coahuila, CONAGUA 2015.

Por otra parte, desde el punto de vista geológico y de acuerdo con la información antes descrita, se tiene que el basamento de la Zona Metropolitana está formado por depósitos aluviales y coluviales recientes que sobreyacen a lutitas, así como areniscas de la Formación Cerro del Pueblo (Grupo Difunta) y las lutitas calcáreas de la Formación Parras; las cuales, por su litología, no son susceptibles a los procesos de disolución ya señalados, por lo que **no existen evidencias superficiales de karsticidad en la Zona Metropolitana de Saltillo o en otras zonas pobladas dentro del municipio**.

Procesos de remoción en masa

Introducción / Antecedentes

Los procesos de remoción de masa constituyen, entre otros fenómenos geológicos, uno de los peligros más relevantes para los asentamientos humanos situados dentro de la accidentada geografía de nuestro país y que, debido a diversas condiciones geotécnicas, así como ambientales, es muy susceptible a presentar fallas en laderas y taludes, potenciadas por lluvias intensas, sismos, deforestación, además de actividades antropogénicas, entre otros factores.

Generalmente conocidos como derrumbes o deslaves, los desprendimientos, así como movimientos de material rocoso y detrítico a partir de los desniveles del terreno, tales como laderas de elevaciones topográficas, paredes de cañadas, también barrancas, así como taludes formados por excavaciones y terraplenes, obedecen a múltiples factores que moldean el relieve como parte de los procesos naturales que se denominan técnicamente como exógeno - erosivos.

Los principales factores que intervienen en dichos procesos se dividen en:

1) Factores condicionantes:
   a) Pendiente del terreno
   b) Geología
   c) Condiciones estructurales, tales como: plegamientos, estratificación, fracturas y fallas.
   d) Geomorfología
   e) Uso del suelo y vegetación
2) Factores desencadenantes:
   a) Precipitación
   b) Sismicidad
   c) Intemperismo
   d) Erosión
   e) Actividades antropogénicas

Dentro de los mecanismos de movimiento que intervienen en los procesos de remoción de masa se tienen (Figura 7):

- Deslizamiento Traslacional
- Volteo

- Deslizamiento planar
- Deslizamiento en cuña

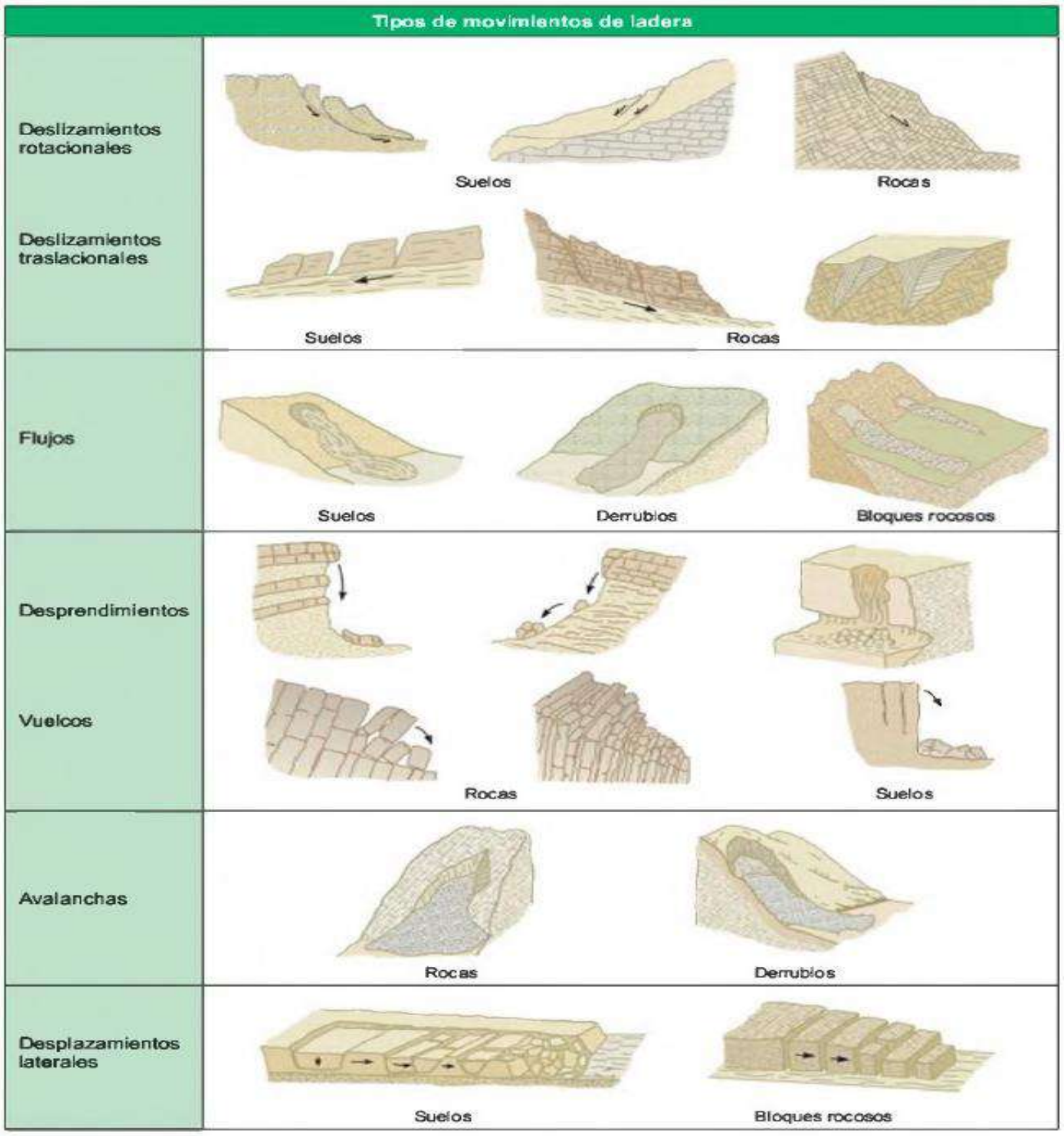
- Deslizamiento rotacional
  - Materiales cohesivos (arcillas y limos)
  - Materiales no cohesivos (arenas y gravas)
  - Rocas muy alteradas o fracturadas

- Caída de rocas
  - Desprendimientos
  - Rodamiento
  - Volteo con Flexión
  - Volteo de bloques

- Flujos
  - Flujos de escombros
  - Flujos de lodo
  - Reptación del terreno

- Expansión lateral
- Movimientos compuestos

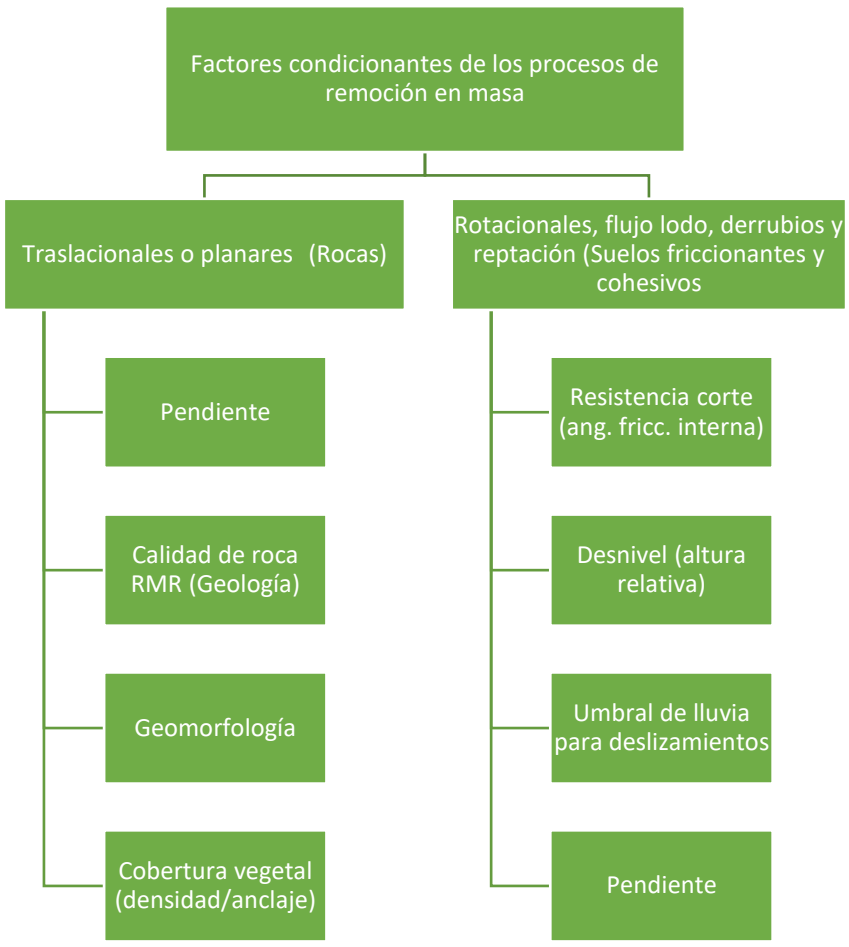
Figura 7. Mecanismos de movimiento de masa.



Fuente: Luis I. González Vallejo et al., Ingeniería Geológica, Pearson Educación, Madrid, 2002.

Cabe mencionar que, dentro de los mecanismos de falla antes descritos, en este estudio se ha hecho la separación en dos grupos para su análisis, atendiendo a las propiedades geomecánicas que los distinguen, siendo éstos: 1) deslizamientos traslacionales que incluyen la caída y volteo de rocas; y 2) deslizamientos rotacionales, que integran los flujos de escombros, lodo y reptación del terreno. De lo anterior, se determinaron diferentes factores condicionantes tal como se ilustra en el diagrama de la Figura 8 y cuya descripción se hace en los apartados correspondientes.

Figura 8.Diagrama jerárquico de los procesos de remoción en masa considerados en el estudio



Fuente: elaboración propia.

Esta metodología difiere de la utilizada comúnmente en otros Atlas de Riesgos porque no hacen una diferenciación entre mecánica de rocas y mecánica de suelos, integrando en un mismo mapa de peligro ambos tipos de procesos. Además, en el caso de Saltillo, la mayor parte de los caídos, así como rodamientos de bloques rocosos se originan por el fracturamiento de estratos calizos que se inclinan en dirección contraria a la pendiente de las laderas; es decir, en condiciones que parecerían estables bajo los criterios usualmente utilizados.

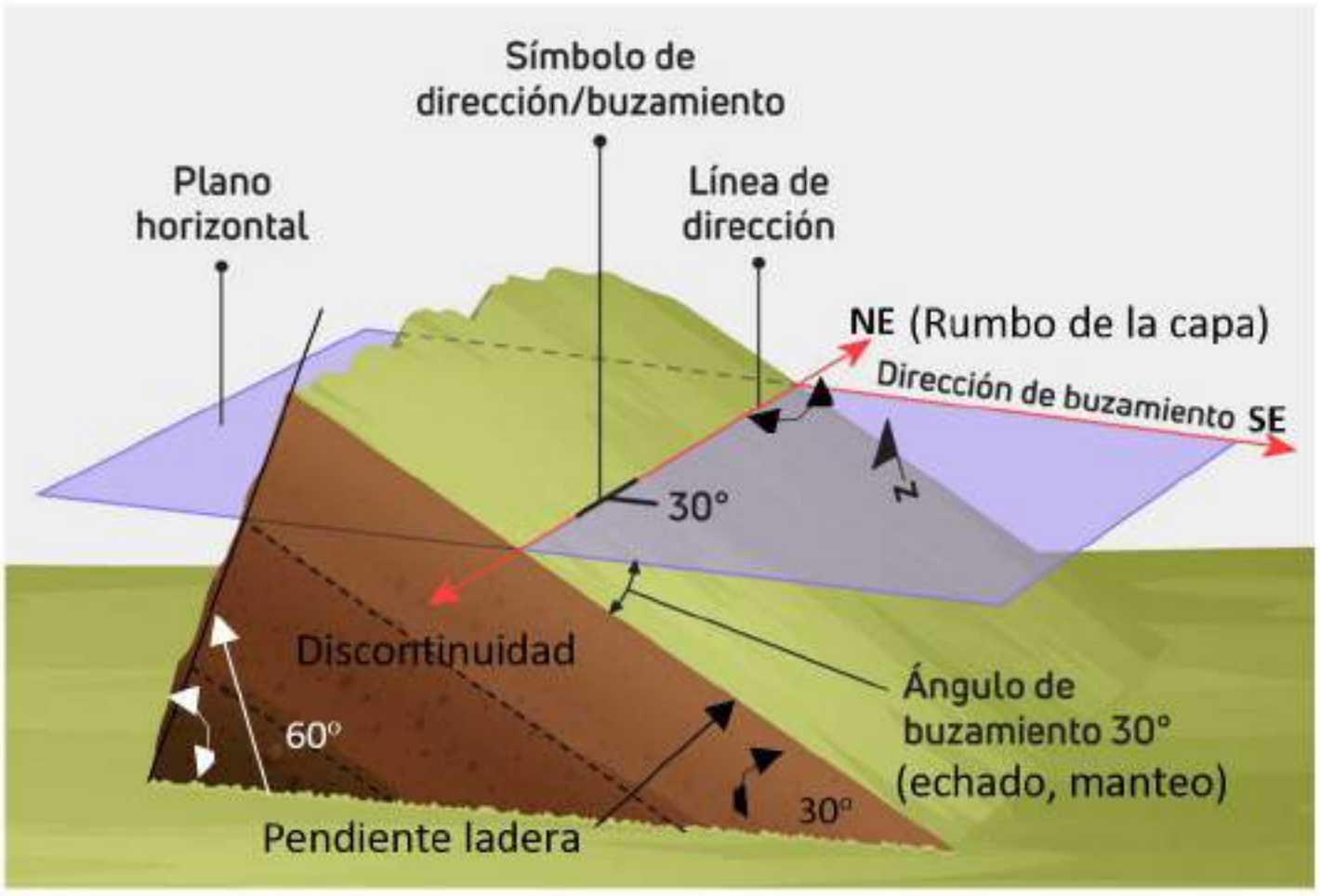
En el caso de los deslizamientos, agrietamientos y hundimientos ocurridos en las zonas planas o de baja pendiente, no se han correlacionado con las características geomecánicas de los suelos que forman las laderas de los arroyos y elevaciones interfluviales.

Por otra parte, para tener una mejor comprensión de los términos utilizados a lo largo de este trabajo, cabe señalar que desde el punto de vista geomecánico, las discontinuidades tales como: estratificación (capas u horizontes en que separan las rocas), fracturas o diaclasas (que cortan los estratos o capas de roca) y las fallas (grandes bloques del terreno que sufren un desplazamiento vertical u horizontal), se representan espacialmente como planos para su estudio. En este sentido, una de las características más importantes del plano es su orientación, la cual se define con base en dos parámetros medidos en la línea de máxima pendiente del plano: buzamiento y dirección de buzamiento.

El buzamiento es el ángulo que forma la línea de máxima pendiente, en el plano vertical que la contiene, con el plano horizontal (es decir, la inclinación de la discontinuidad por debajo del plano horizontal). La dirección de buzamiento consiste en el ángulo que forma la línea de máxima pendiente con respecto al norte en el plano horizontal (

Figura 9).

Figura 9. Dirección de buzamiento y buzamiento



Fuente: adaptado de González L. y col. 2002.

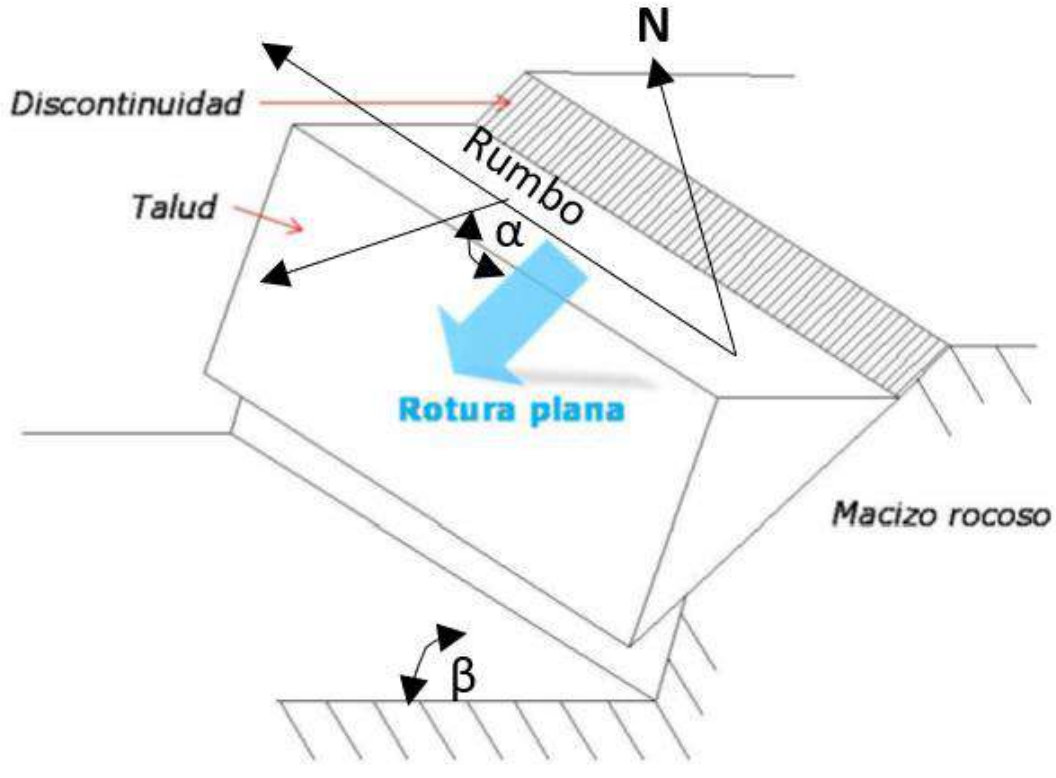
Deslizamiento traslacional

Las condiciones geométricas que determinan la incidencia de una rotura o deslizamiento en un solo plano (*Figura 5*), depende de la orientación de las discontinuidades con respecto a la orientación de la ladera o talud, así como la inclinación de las discontinuidades respecto a la misma ladera. Además, mecánicamente, el deslizamiento solo tendrá lugar si se supera la fuerza de rozamiento en el plano de deslizamiento.

Para que una rotura plana pueda ocurrir, deberán cumplirse las condiciones estructurales mencionadas a continuación:

- El plano sobre el cual ocurre el deslizamiento debe tener un rumbo paralelo o casi paralelo al rumbo de la cara del talud (aprox. ± 20º), equivalente a lo que otros autores interpretan como paralelismo entre direcciones de buzamiento.
- El plano de falla o discontinuidad tiene que aflorar en la cara del talud; es decir, si el echado del plano de falla es α y el del talud es β; se debe cumplir que β > α (Figura 10).
- El echado (α) del plano de falla debe ser mayor que el ángulo de fricción (φ) en dicho plano; en otros términos: $\alpha > \phi$.

Figura 10. Falla planar



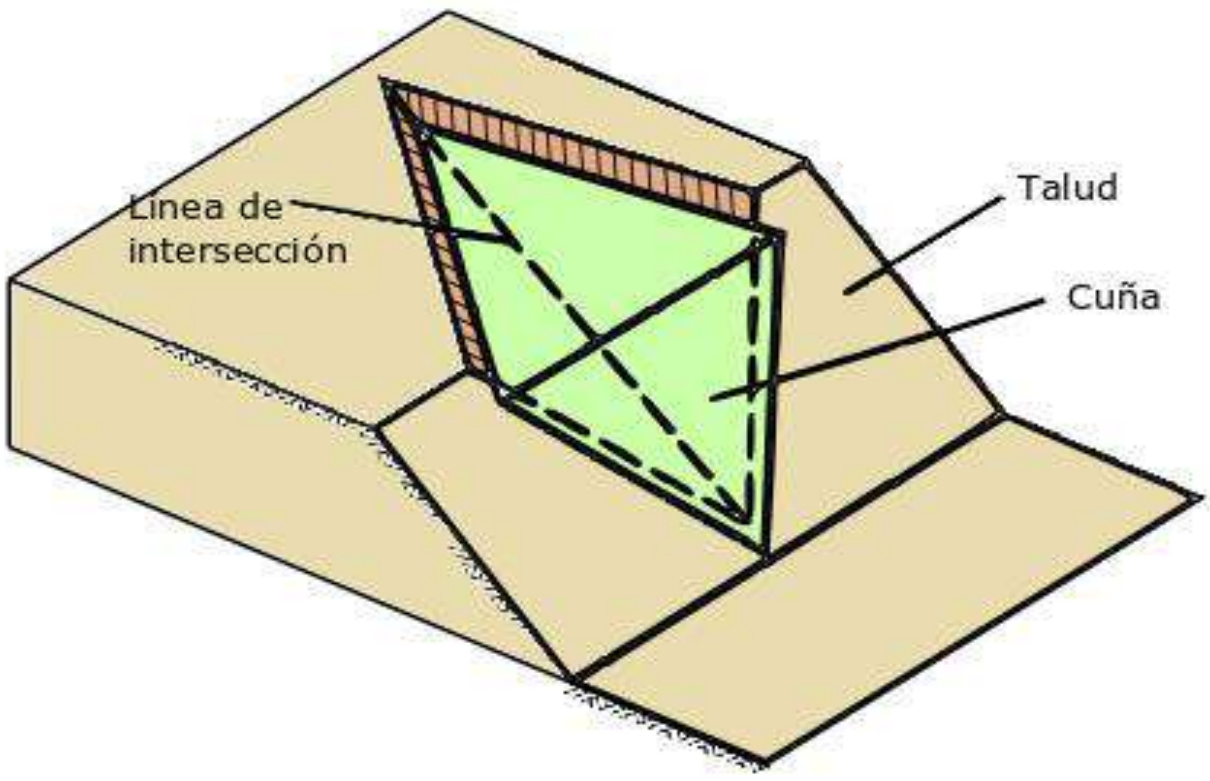
Fuente: adaptado de: Garzón Roca, Julio y Torrijo Echarri, F. Javier. Análisis cinemático de la estabilidad de taludes en roca por rotura plana. Universidad Politécnica de Valencia.

Adicionalmente, para que se produzca una falla plana es necesario que existan diaclasas laterales o fracturas de tracción, que permitan que el cuerpo fallado pueda deslizarse y separarse de la masa rocosa.

Deslizamiento en cuña

- Los deslizamientos en cuña son un tipo de mecanismo de falla en laderas, así como taludes que se producen cuando una masa rocosa se desliza a lo largo de dos discontinuidades que se intersecan y afloran en la cara del talud o ladera de forma que se produce un bloque deslizante en forma de cuña (Figura 11). Geométricamente, la falla en cuña depende de la inmersión (buzamiento) de las líneas de intersección de las discontinuidades con respecto al buzamiento del talud o ladera. Además, mecánicamente, el deslizamiento solo se presentará si supera la fuerza de rozamiento en los planos de deslizamiento. De lo anterior, para que pueda ocurrir una falla en cuña se deben cumplir las siguientes condiciones estructurales:
- La línea de intersección de las discontinuidades debe aflorar en la superficie de la ladera, por lo que su rumbo (dirección) debe ser similar a la dirección de buzamiento del plano del talud o ladera y su inmersión (buzamiento) debe ser menor que el buzamiento del talud.
- La inmersión (buzamiento) de la línea de intersección de los planos o discontinuidades debe ser mayor que el ángulo de rozamiento (φ) de ambas superficies de deslizamiento.

Figura 11. Falla en cuña

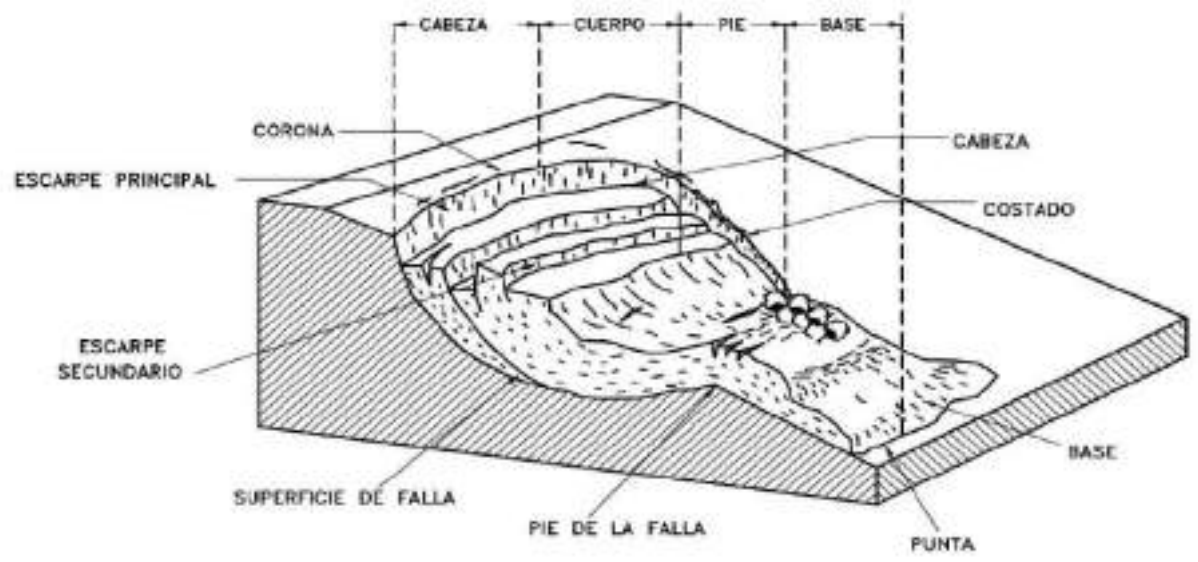


Fuente: adaptado de González L. y col. 2002.

Deslizamiento rotacional o falla circular

Suele presentarse en macizos rocosos muy fracturados, materiales poco consolidados como suelos y en depósitos de talud (coluviones). El movimiento se presenta principalmente por el peso del material a través de zonas de debilidad de forma circular y cóncava que puede llegar hasta el pie del talud o ladera (Figura 12). La profundidad del círculo de falla depende del tipo de material, siendo más profunda en suelos cohesivos homogéneos (arcillas y limos) que en suelos granulares y rocas fracturadas.

Figura 12.Falla circular



Fuente: tomado de J. Suarez (1998) [8]

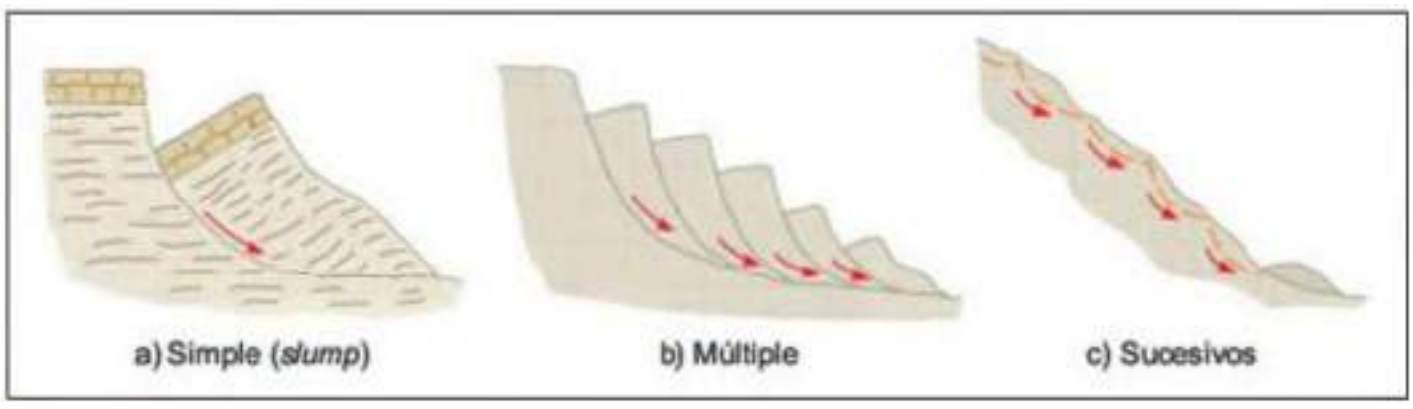
La rotura, superficial o profunda, tiende a formar superficies curvas o en “forma de cuchara”. Una vez que se inicia el movimiento, la masa se desplaza a lo largo de una traza aproximadamente circular pudiéndose dividir en varios bloques basculados entre sí,

formando “escalones” inclinados hacia la ladera y grietas de tensión de forma estriada. Este movimiento no ocurre a lo largo de toda la superficie de falla simultáneamente, sino que comienza en zonas donde se presentan fallas locales que se identifican como grietas de tensión en la superficie del terreno o en su caso en vialidades, a lo largo de las cuales se formará el escarpe principal de deslizamiento.

Sus dimensiones son variables abarcando desde decenas hasta centenares de metros, tanto en longitud como en anchura, y pueden ser superficiales y profundos, con espesores que generalmente logran llegar a los 10 metros; formándose en la parte inferior de la masa deslizada que se acumula al pie de la ladera, un depósito de tipo lobular con grietas de tracción transversales; que, dependiendo del tipo de material y contenido de agua, puede dar lugar a flujos de lodo o de derrubios.

El inicio de estos deslizamientos se genera cuando el esfuerzo de corte o cizalla excede el esfuerzo normal, así como la resistencia o cohesión del suelo en dicha superficie. Debido a lo anterior, cuanto mayor sea la pendiente, mayor es la componente de cizalla y los deslizamientos serán más frecuentes. Los movimientos pueden contener una masa individual que se desplaza a lo largo de una única superficie (simple) o bien dos o más masas desplazadas de forma escalonada (múltiple) que, en caso de ocurrir durante un periodo de tiempo relativamente largo se denomina movimiento sucesivo (Hutchinson, 1968) (Figura 13).

Figura 13. Tipos de deslizamientos rotacionales



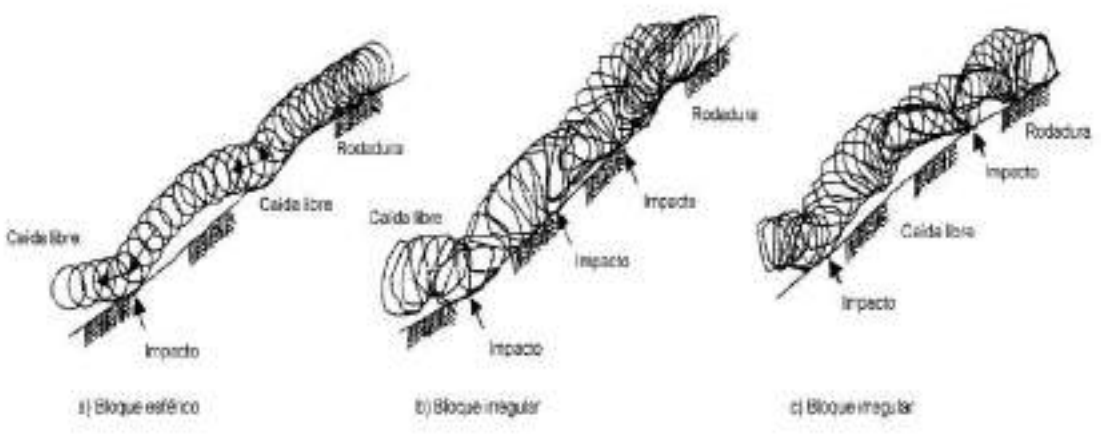
Fuente: Ingeniería Geológica, Luis I. González Vallejo, et al, Person Prentice Hall.

Caída de rocas

Consisten en el desprendimiento de bloques o masas de ladera que se presenta comúnmente en zonas montañosas escarpadas, acantilados o en taludes de fuerte pendiente. Los factores que inciden en este tipo de movimiento son: pendiente de la ladera, planos de discontinuidad (estratificación, fracturas y fallas), erosión, además de pérdida de apoyo al pie de los bloques, presión de agua intersticial, vibraciones sísmicas y antropogénicas, así como el efecto de cuña de las raíces, entre otros.

El rodamiento se presenta cuando existe una separación de bloques del macizo rocoso y éstos se encuentran en equilibrio precario en la parte alta de la ladera o talud, que, por la acción erosiva o la ocurrencia de vibraciones en el terreno desencadene su movimiento pendiente abajo, ya sea en caída libre, rebotes, rodamiento o deslizamiento, dependiendo de la geometría y volumen del material (Figura 14).

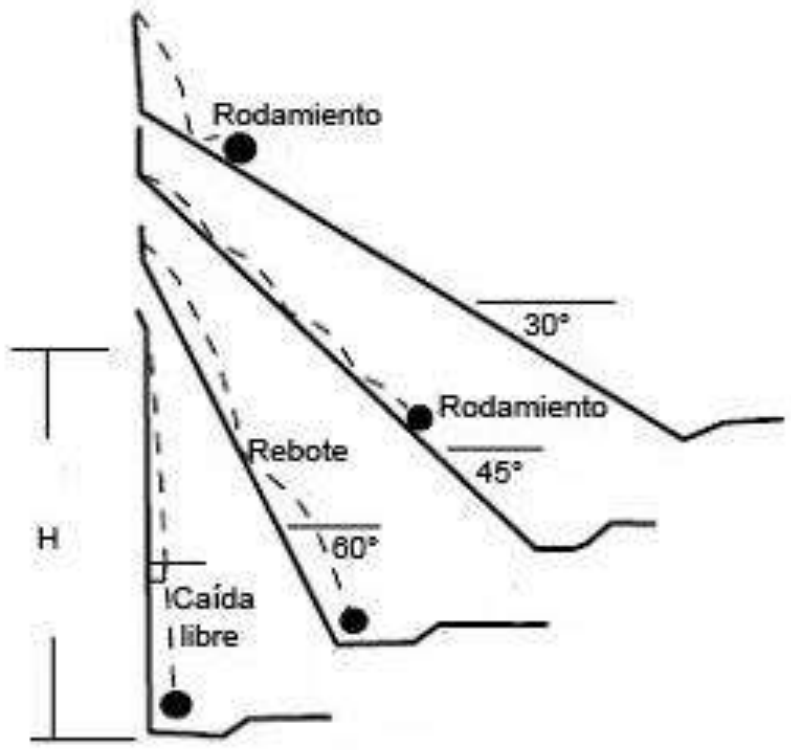
Figura 14. Movimientos probables de una roca al desprenderse de una ladera o talud.



Fuente: Rotura plana y rotura en cuña. Fundamentos e ingeniería de taludes. Laín Huerta,R. Universidad Politécnica de Madrid.

El movimiento de la mayoría de las caídas de roca puede explicarse por los principios físicos básicos que incluyen el rebote y rodamiento de masas rocosas, siendo el ángulo de la ladera, así como el ángulo de fricción los principales factores que influyen en la aceleración o desaceleración durante su trayectoria (Figura 15). La ocurrencia de este fenómeno depende de la geometría de la ladera, ocurriendo principalmente en laderas altas de pendiente pronunciada donde el macizo rocoso se encuentra fracturado y formando bloques separados que se encuentran en equilibrio inestable.

Figura 15. Formas de movimiento en la caída de rocas



Fuente: tomado de (Hoek, 2000).

La generación de desprendimientos, controladas por discontinuidades en la roca, están relacionados con pendientes abruptas, principalmente con inclinaciones mayores a 50º, donde la roca está directamente expuesta (Soeters & Westen, 1996). Si el material caído rebota o se rompe con el impacto, dependerá de sus propiedades y de los ángulos entre la ladera, así también la trayectoria de la caída (Hungr & Evans, 1988).

Por otra parte, las acumulaciones de material detrítico en los pies de las laderas tienen ángulos entre 25º y 35º que están relacionados con el ángulo de fricción interna de las partículas. La zona de depósito presenta una vegetación caracterizada por bajas densidades de árboles y arbustos; por lo que, mientras más baja es la densidad, mayor es el grado de actividad de la ladera (Soeters & Westen, 1996).

Volteo o vuelco (*toppling*)

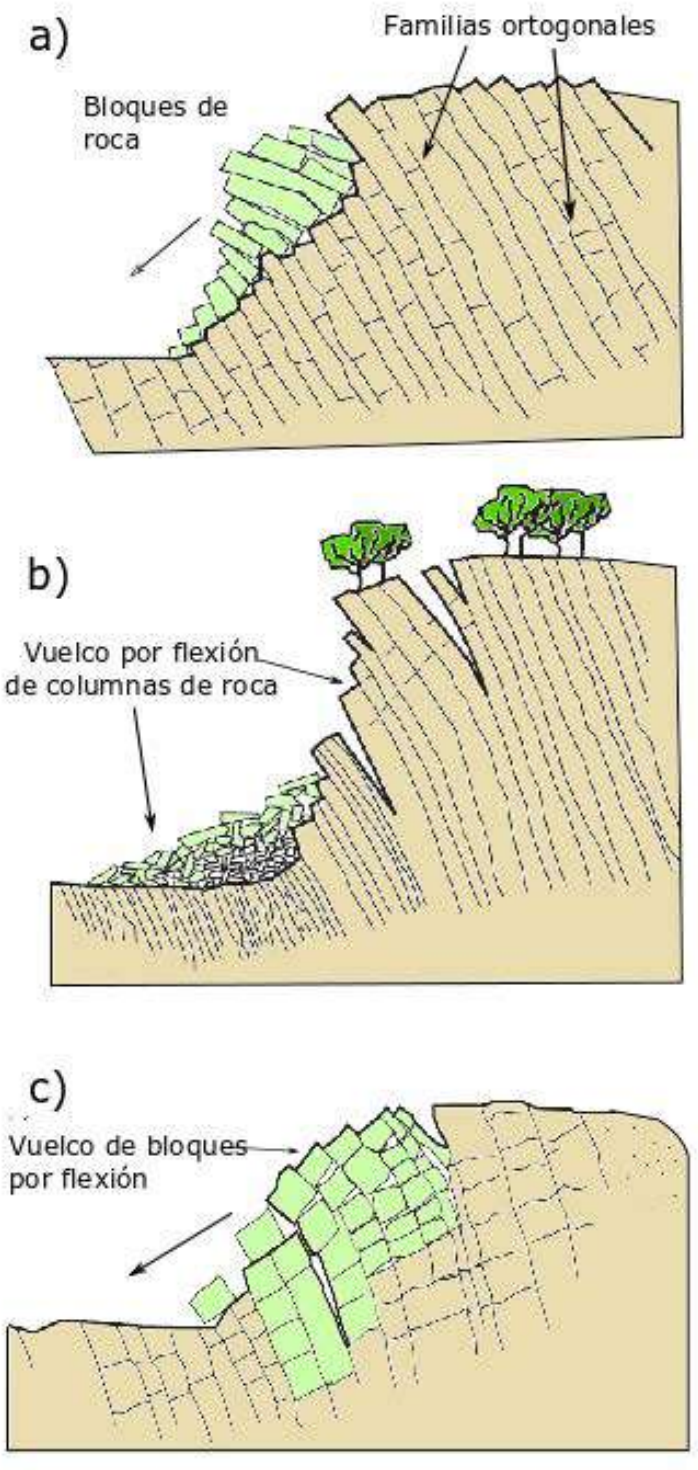
Ocurre principalmente por la presencia de discontinuidades cuyo rumbo es paralelo al de la ladera o talud y con un echado (inclinación) muy pronunciado en sentido opuesto a la inclinación de la ladera o talud (>70°). El movimiento se produce por el efecto de la gravedad provocando la separación entre discontinuidades que forman grandes bloques tabulares o en su caso, bloques más pequeños si existe otra familia de discontinuidades perpendiculares a las anteriores. El mecanismo de volteo se divide en tres tipos (Figura 16):

a) Vuelco de bloques que se origina por dos familias de discontinuidades perpendiculares entre sí, dando lugar a bloques que se deslizan desde la parte más baja hasta la parte superior de la ladera o talud.

b) Vuelco por flexión, que se produce en rocas duras con discontinuidades bien definidas y echados casi verticales que provocan grietas de tensión a profundidad.

c) Vuelco mixto, que consiste en la combinación de los tipos anteriores.

Figura 16. Tipos de fallas por vuelco



Fuente: Goodman and Bray, 1976.

De lo anterior se tiene que, para que pueda ocurrir una falla por vuelco deben darse las siguientes condiciones estructurales:

- La dirección de buzamiento de las discontinuidades (planos) deben ser sensiblemente perpendiculares a la dirección de buzamiento del talud o ladera. Generalmente se considera que la diferencia entre la dirección de buzamiento de las discontinuidades y la dirección de buzamiento del talud debe encontrarse en un rango de entre 160º y 200º (es decir 180º ± 20º).
- La inmersión (buzamiento) de la normal a los planos de discontinuidad debe ser menor que la inclinación resultante de restar al buzamiento del talud o ladera el ángulo de rozamiento de los planos de deslizamiento (usualmente se considera el ángulo de rozamiento o fricción de las discontinuidades).

Flujos

Los flujos consisten en movimientos de grandes masas de suelo y escombros rocosos que se comportan como un fluido a partir de cierto porcentaje de saturación con agua debido a una abundante precipitación o por deshielo (

Figura 17). Su ocurrencia está asociada a las zonas montañosas donde existe una acumulación de depósitos disgregados en laderas naturales o en taludes conformados para la construcción de caminos, minería u otras obras de ingeniería.

Figura 17. Flujo de escombros



Fuente: tomado de Sepúlveda (1998).

La relación entre el volumen de sólidos, geometría y tamaño de las partículas con respecto a la cantidad de agua determina el comportamiento mecánico del flujo.

Los flujos de escombros pueden contener una gran cantidad de agua, lo que permite que alcancen grandes velocidades en su propagación por cauces o barrancas arrastrando grandes bloques rocosos, rocas, lodo, troncos de árboles, así como masas de vegetación, formando un frente que inunda y arrasa todo a su paso.

Muchos flujos se originan porque la cohesión del material se pierde una vez que inicia la falla y la masa continúa desplazándose pendiente abajo como un fluido viscoso, en el que la cantidad de agua incorporada durante el proceso contribuye a su mayor fluidez. La zona generadora de estos flujos generalmente se encuentra en áreas captadoras de remociones complejas, principalmente con gran cantidad de deslizamientos. Su transporte, por otra parte, tiende a ser dominado en un principio por las altas pendientes y después se canalizan a través de cauces preexistentes. Los rasgos morfológicos que presentan los flujos de lodo y escombros son comparables con los glaciares o flujos de lava, presentando grietas paralelas a la dirección del movimiento y grietas transversales a esta dirección donde las pendientes de las laderas y velocidades de flujo disminuyen. Como consecuencia de estos flujos, las condiciones en un valle afectado por este tipo de remoción se ven muy perturbadas, generándose dos pequeños canales en ambos lados del flujo, y la vegetación es escasa y subordinada a las nuevas condiciones del drenaje (Soeters & Westen, 1996).

Hungr et al. (2001) presenta una clasificación más detallada de tipos de flujo, donde considera el tipo de material, según su granulometría, como las velocidades de desplazamiento y su contenido de agua. (Tabla 21).

Tabla 21. Tipos de flujos según Hungr (2001)

Material	Contenido de agua	Condiciones especiales	Velocidad	Nombre
Limo, arena, grava, detritos	Seco, húmedo o saturado	Sin exceso de presión de poros. Vol. Limitado	Variable	Flujo de arena (limo, grava, detritos) no licuable
Limo, arena, detritos de roca meteorizada	Saturado en la superficie de ruptura	Material susceptible a licuefacción. Contenido constante de agua	Extremadamente rápido	Flujo de arena (limo, detritos, roca)
Arcillas plásticas	En o sobre el límite líquido	Licuefacción in situ. Contenido constante de agua	Extremadamente rápido	Flujo de arcilla
Arcilla o tierra	Cercano al límite plástico	Movimientos lentos (Reptación)	menos rápido	Flujo de tierra
Detritos	Saturado en la superficie de ruptura	Desplazamiento por cauces preexistentes. Contenido de agua en aumento	Extremadamente rápido	Flujo de detritos
Barro	En o sobre el límite líquido	Flujo de detritos de grano fino	Muy rápido	Flujo de barro
Detritos	Presencia de agua	Fluidizados	Extremadamente rápido	Flujo de detritos
Detritos	Parcial o totalmente saturado	Sin encauzamiento preexistente. Relativamente superficiales y fuente en zonas altas	Extremadamente rápido	Avalancha de detritos

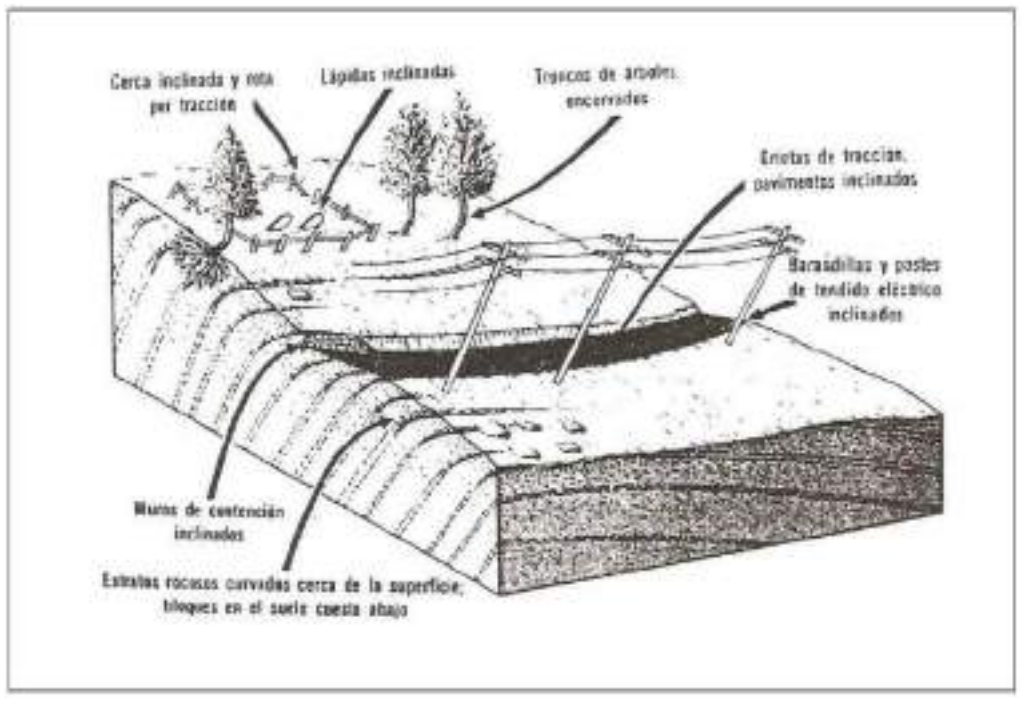
Material	Contenido de agua	Condiciones especiales	Velocidad	Nombre
Roca fragmentada	Principalmente saturado	Roca intacta en la fuente. Gran volumen	Extremadamente rápido	Avalancha de rocas

Fuente: elaboración propia a partir de Hungr 2001.

Reptación

La reptación o *creep* es un caso particular de flujo donde el movimiento de la masa de suelo ocurre lentamente (Figura 18). Consiste generalmente en un movimiento superficial, lento y continuo, de materiales de baja cohesión saturados con agua. Este tipo de movimiento no presenta planos de fallas sobre el terreno, pero desarrolla un relieve característico que delatan su actividad, tal como: ondulaciones del suelo (terracetas), árboles con efectos de geotropismo, desplazamiento de cercas, inclinación de postes, daños graduales en construcciones, etcétera.

Figura 18. Reptación de suelo



Fuente: Bloom (1962).

Metodología

La metodología desarrollada para el caso de los procesos de remoción en masa se resume a continuación:

Factores condicionantes

La evaluación de los factores condicionantes de los movimientos en masa se desarrolló en cuatro etapas:

1. Recopilación de información cartográfica en diversas escalas, principalmente: Esc. 1: 250, 000 y Esc. 1: 50, 000; así como datos LIDAR de 5 m Px, elaborando a partir de éstos últimos una cartografía de detalle 1:10, 000 para la zona metropolitana de Saltillo. Esta etapa también comprende la recopilación y análisis de información disponible a través de publicaciones, informes, tesis y estudios relacionados con el tema.
2. Interpretación y análisis de la cartografía generada, atendiendo a los rasgos topográficos, geomorfológicos, geológicos, además de cobertura vegetal, orientados según sus características morfogenéticas, litológico - estructurales y propiedades de anclaje de la cobertura vegetal, que permitan definir de manera general la susceptibilidad a los diversos procesos de remoción en masa, así como la determinación de sitios de interés para su reconocimiento, así como evaluación en campo.
3. Reconocimientos de campo en los que se recopilaron datos geológico-estructurales, características texturales, así como propiedades de los suelos (clasificación SUCS y pruebas de permeabilidad in situ), aspectos geomorfológicos, propiedades geomecánicas de macizos rocosos (método de Bieniawsky), evidencias de deslizamientos en sus diferentes formas, hundimientos, además de registro de afectaciones en infraestructura y viviendas.
4. Análisis y desarrollo de modelos espaciales de acuerdo con los factores condicionantes definidos, para evaluar, así como representar la susceptibilidad del medio geológico bajo los diferentes procesos de remoción en masa.

Factores desencadenantes

Los factores desencadenantes considerados en este trabajo se refieren principalmente a la precipitación y sismicidad; ya que, por su potencial erosivo y desestabilizador, inciden principalmente como mecanismos detonantes en la ocurrencia de los fenómenos de remoción.

Precipitación

El factor más importante es la precipitación, ya que su recurrencia anual es constante, por lo que puede llegar a presentar lluvias extraordinarias asociadas a huracanes, lluvias convectivas y frentes fríos, entre otros fenómenos. Las precipitaciones originan escurrimientos importantes a partir de la saturación del suelo y adquieren un alto potencial erosivo por los altos relieves montañosos, así como la concentración importante de caudales en los cauces de barrancas, además de arroyos.

Para la estimación del potencial desencadenante de la precipitación es necesario conocer la intensidad y distribución de ésta, su probabilidad de excedencia y los caudales de escurrimiento que puede generar. En segundo término, debe estimarse su impacto bajo diferentes escenarios de intensidad en los diversos medios geológicos, según su grado de susceptibilidad. Esto sin considerar el factor de sismicidad.

Sismicidad

En este apartado se consideran las aceleraciones máximas en roca obtenidas a partir del análisis de peligro sísmico utilizando el programa R-CRISIS Ver 20.3.0, creado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, considerando únicamente los periodos de retorno de 50 y 200 años

Acorde a los aspectos metodológicos generales, se presentan en principio los resultados de la compilación de información.

Catálogo de amenazas geológicas reportadas por la Dirección de Protección Civil y Bomberos Saltillo

De acuerdo con la recopilación de reportes atendidos por la Dirección de Protección Civil y Bomberos Saltillo (DPCyBS), la mayor parte de los requerimientos de la población se refieren a daños estructurales en edificaciones, vialidades, banquetas, así como bardas, situados en las márgenes de cañadas y arroyos donde predominan depósitos coluviales, además de aluviales que son susceptibles de deslizamiento de tipo rotacional.

Relacionados con los movimientos antes citados, le sigue en importancia la acción erosiva de las corrientes que fluyen por los cauces, principalmente durante la época de lluvias, sobre todo si se considera que en muchos sitios se ha modificado sustancialmente la sección hidráulica de los arroyos y aún más, cuando estos han sido cegados o rellenados sin reflexionar en las consecuencias que esto provoca.

Otros fenómenos que han sido reportados se relacionan con la reptación del terreno, así también la amenaza de volcado y rodamiento de bloques rocosos a partir de elevaciones, además de pendientes considerables, tales como en el Cerro del Pueblo y el Cerro Las Galeras (Figura 19); así como la amenaza latente de flujos de derrubios en las laderas de la vertiente norte de la Sierra de Zapalinamé (
Figura 20).

Figura 19. Asentamientos urbanos en la ladera suroriental del Cerro del Pueblo



Fuente: Street View, Google Earth.

Figura 20. Amenaza de flujo de derrubios en Fracc. Nvo. Teresitas, vertiente NW, Sierra de Zapalinamé.



Fuente: adaptado de Google Earth.

Por otra parte, el peligro por hundimiento y agrietamiento está relacionado principalmente con el basamento arcillo – limoso sobre el cual se asienta la ciudad de Saltillo, cuya baja consolidación propicia su erosión por tubificación en el caso de fugas o flujos subsuperficiales, también por la acción erosiva de los escurrimientos pluviales y el flujo en los cauces de los arroyos, como ya ha sido comentado (Figura 21).

Figura 21. Colapso en muro de mampostería por erosión de la cimentación



Fuente: elaboración propia.

Finalmente, se tienen afectaciones causadas por vibraciones y deficiencias constructivas, principalmente en la franja situada a lo largo de la vía ferroviaria, donde se observan desprendimientos en las caras de los taludes recubiertos con gunita (cemento lanzado), así como daños estructurales en las construcciones, tal como se aprecia en la Figura 22.

Figura 22. Construcciones afectadas por asentamientos diferenciales (consolidación) ocasionados por vibración del terreno, calle Mixcoac



Fuente: Street View, Google Earth.

Los datos de referencia antes expuestos corresponden con la relación de eventos reportados a la DPCyBS, misma que se detalla a continuación en la Tabla 22. Su localización se integra dentro del mapa: Reconocimiento de campo, en el anexo cartográfico correspondiente.

Tabla 22. Peligros geológicos reportados por la Dirección de Protección Civil y Bomberos Saltillo

Catálogo de peligros geológicos reportados por Protección Civil Municipal, Saltillo, Coah.								
ID	*Ubicación*	*Coordenadas UTM -14N- WGS84*		*Descripción*	*Tipo*	*Nivel*	*Litología*	*Relieve*
		X	*Y*					
1	*Plaza Mirador 1*	*298,749.22*	*2,812,045.39*	*Erosión y lavado de finos , desnivel en calle (foto 1).*	*Erosión*	*1*	*Depósitos coluviales*	*Glacis Coluvial*
2	*Urdiñola y J. Mery*	*299,794.44*	*2,811,363.75*	*Erosión, desprendimiento de gunita aplicada en talud. (foto 2).*	*Erosión*	*1*	*Depósitos coluviales*	*Glacis Coluvial*
3	*Nava y Distrito Federal*	*299,958.49*	*2,814,818.41*	*Hundimiento, pavimento y banqueta fracturados (Foto 3).*	*Constructivo*	*1*	*Depósitos aluviales*	*Llanura aluvial*
4	*Distribuidor Vial El Sarape*	*301,797.46*	*2,813,716.34*	*Hundimiento del terreno por consolidación debido a pilares de estructura vial (foto 4).*	*Constructivo*	*2*	*Depósitos aluviales*	*Llanura aluvial*
5	*C. Tezcatlipoca*	*302,156.77*	*2,817,634.00*	*Grietas de tensión en pavimento, junto a cauce (foto 5).*	*Rotacional*	*2*	*Depósitos aluviales*	*Ladera cañada*
6	*La Pasadita (ITS)*	*299,463.08*	*2,815,571.54*	*Hundimiento por desplazamiento del suelo, privada M.D. arroyo (foto no disponible).*	*Rotacional*	*3*	*Depósitos aluviales*	*Ladera cañada*
7	*C. Tezcatlipoca y R. J. Sánchez*	*302,339.74*	*2,818,365.24*	*Hundimientos y deslaves. M.D. arroyo (foto 6).*	*Rotacional*	*2*	*Depósitos aluviales*	*Ladera cañada*
8	*Cristo de las Galerías*	*295,912.25*	*2,813,244.59*	*Hundimiento y desalojo por daños estructurales (foto 7)*	*Reptación*	*5*	*Bloques Cz arenosa - lutita*	*Cima cerro de Las Galeras*
9	*UVM*	*302,546.00*	*2,819,351.09*	*Hundimiento en área de pozos de*	*Rotacional*	*2*	*Depósitos aluviales*	*Ladera cañada*

Catálogo de peligros geológicos reportados por Protección Civil Municipal, Saltillo, Coah.								
				visita M.D. arroyo (foto 8).				
10	Plaza Mirador 2	298,867.91	2,812,041.80	Hundimiento y grietas en bardas por excavación (foto 9)	Rotacional	3	Depósitos coluviales	Glacis Coluvial
11	Rincón de Guadalupe	295,682.28	2,813,657.26	Volteo y rodamiento de rocas en ladera sur de elevación (foto 10).	Rodamiento	5	Bloques Cz arenosa - lutita	Cima cerro al sur del C. del Pueblo
12	Valle Escondido-Tanquecito	295,634.71	2,812,840.33	Volteo y rodamiento de rocas en ladera suroriental de elevación (foto 11).	Rodamiento	5	Bloques Cz arenosa - lutita	Cima cerro al SW del C. Las Galeras
13	Héroes de Nacozari	295,078.90	2,810,027.20	Volteo y rodamiento de rocas (foto 12).	Rodamiento	5	Bloques Cz arenosa - lutita	Cima cerro al SW del C. Las Galeras
14	Nvo. Teresitas	298,864.50	2,805,219.49	Posible flujo de derrubios (foto 13 y 14).	Flujo derrubios	5	Depósitos de talud	Vertiente norte S. de Zapalinamé
15	Colinas de Sn. Francisco	300,693.36	2,810,145.66	Posible deslizamiento en laderas de arroyo, depósitos coluviales (foto 15).	Rotacional	3	Depósitos coluviales	Glacis Coluvial
16	Vicente Guerrero	300,447.50	2,810,574.21	Reptación del terreno (Foto 16).	Reptación	3	Depósitos coluviales	Glacis Coluvial
17	Fracc. Marte	301,846.07	2,810,715.03	Taludes inestables de material a volteo en ladera de elevación aislada (Foto 17).	Flujo material	3	Depósitos coluviales	Glacis Coluvial
18	Rubén Jaramillo	302,090.42	2,810,770.26	Corte en ladera de elevación aislada (cajón) (Foto 18).	Flujo material	2	Depósitos coluviales	Glacis Coluvial
19	Vista de Peña	301,768.27	2,809,641.16	Fracc. situado encima de elevación, depósitos coluviales. Posible deslizamiento .	Rotacional	4	Depósitos coluviales	Glacis Coluvial
20	Vicente Guerrero	301,475.74	2,809,462.45	Posible deslizamiento en ladera M.I. arroyo y taludes mal compactados. (Foto 19).	Rotacional	4	Depósitos coluviales	Ladera cañada
21	15 de abril	296,423.04	2,811,702.93	Daños estructurales por deslizamiento en ladera MD arroyo (saturación y presión de poro) (foto 20).	Rotacional	5	Depósitos aluviales	Ladera cañada
22	Los Pinos	296,048.60	2,811,480.57	Posible tubificación por saturación de escurrimiento constante de agua (foto no disponible).	Tubificación	1	Depósitos aluviales	Ladera cañada
23	Valle de las Aves	302,647.91	2,809,579.18	Ladera de arroyo inestable en depósitos coluviales (foto 21).	Reptación	3	Depósitos coluviales	Ladera cañada
24	Antonio Cárdenas y Anáhuac	298,143.00	2,815,399.00	Zona de deslizamientos en hombro de ladera, M.D. arroyo (foto 22).	Rotacional	3	Depósitos aluviales	Ladera cañada

Catálogo de peligros geológicos reportados por Protección Civil Municipal, Saltillo, Coah.								
25	*C. del Pueblo*	*296,768.82*	*2,814,583.93*	*Zona de desprendimientos y rodamiento de rocas en vertiente suroriental C. del Pueblo (Foto 23).*	*Rodamiento*	*5*	*Bloques Cz arenosa - lutita*	*Cima C. del Pueblo*
26	*Puente Peatonal Oceanía*	*302,524.80*	*2,815,834.53*	*Erosión fluvial en base puente M.I. del Arroyo Ceballos (foto 24).*	*Erosión*	*4*	*Depósitos aluviales*	*Ladera cañada*
27	*Construcción Parque Mirador*	*298,867.00*	*2,812,041.00*	*Inestabilidad en talud por falta de compactación en terraplén (foto 25).*	*Rotacional*	*4*	*Depósitos coluviales*	*Glacis coluvial (Rampa remontante)*
28	*Mixcoac*	*297,198.50*	*2,812,617.66*	*Deslave en talud cruce FF.CC y calle Pról. Emilio Carranza, debido a vibración de ferrocarril (foto 26).*	*Vibración*	*3*	*Depósitos aluviales*	*Ladera cañada*
29	*González Cepeda*	*300,614.40*	*2,811,477.79*	*Deslizamiento en proceso, corona de ladera M.I. arroyo (foto 27).*	*Rotacional*	*3*	*Depósitos coluviales*	*Ladera cañada*
30	*Sta. Anita*	*299,601.00*	*2,811,733.00*	*Construcciones en ladera de depósitos coluviales sobre lutita (fotos 28 y 28-2).*	*Rotacional*	*4*	*Depósitos coluviales*	*Glacis coluvial (Rampa remontante)*
31	*Casa del Migrante*	*296,320.82*	*2,811,250.05*	*Erosión de basamento coluvial con desplome de bardas y construcción (foto 29).*	*Erosión*	*3*	*Depósitos aluviales*	*Llanura aluvial*
32	*Ampliación Valle Sn Antonio*	*296,319.13*	*2,815,559.29*	*Volteo y rodamiento de rocas, depósitos de talud susceptibles a flujo, vert. Oriental C. del Pueblo (foto 30).*	*Rodamiento*	*5*	*Bloques Cz arenosa - lutita*	*Cima cerro al NW del C. del Pueblo*
33	*Sta. Juanita*	*295,503.26*	*2,809,130.61*	*Construcciones en borde de ladera M.D. del Arroyo del Pueblo, sujetas a deslizamiento (foto 31).*	*Rotacional*	*5*	*Depósitos aluviales*	*Valle aluvial*
34	*Hda. Las Isabeles*	*297,290.82*	*2,806,170.10*	*Construcciones precarias (foto no disponible).*	*Erosión*	*3*	*Depósitos coluviales*	*Glacis coluvial (Rampa remontante)*
35	*Privada tecnológico*	*299,358.90*	*2,815,433.46*	*Deslizamiento en ladera M.D. arroyo, daños estructurales en casa (foto 32).*	*Rotacional*	*3*	*Depósitos aluviales*	*Ladera cañada*
36	*Centro Metropolitano*	*302,539.70*	*2,812,690.30*	*Hundimiento de pavimento por erosión de talud en curva de cauce y descarga de drenaje (fotos 33,33-2).*	*Rotacional*	*3*	*Depósitos coluviales*	*Glacis coluvial (Rampa remontante)*
37	*Lomas Verdes*	*300,822.73*	*2,807,956.11*	*Daños estructurales y hundimientos, erosión pie ladera, coluvión en M.D. arroyo (foto 34 y 34-2).*	*Rotacional*	*4*	*Depósitos coluviales*	*Ladera cañada ápice Glacis*

Catálogo de peligros geológicos reportados por Protección Civil Municipal, Saltillo, Coah.								
38	*Puente L. de Tejada*	*297,628.94*	*2,814,346.19*	*Erosión en base de puente vehicular, M.D. Arroyo del Pueblo (foto 35).*	*Erosión*	*4*	*Depósitos aluviales*	*Cauce arroyo*
39	*Carlos Salazar 10*	*297,141.00*	*2,812,470.00*	*Vibraciones en construcciones por paso de FF.CC. (Foto 36).*	*Vibración*	*3*	*Depósitos aluviales*	*Valle aluvial*
40	*Bernardino Ote*	*296,908.68*	*2,812,488.94*	*Erosión en base de puente vehicular, M.D. del Arroyo del Pueblo (foto 37).*	*Erosión*	*3*	*Depósitos aluviales*	*Cauce arroyo*
41	*Patria Libre*	*296,826.35*	*2,811,228.76*	*Caída de barda y estructura desalineada, posible reptación. Límite sur del Parque V. Carranza (foto 38).*	*Reptación*	*4*	*Depósitos aluviales*	*Valle aluvial*
42	*Rincón de los Olivos*	*296,806.30*	*2,812,281.98*	*Afectaciones por vibración y erosión de depósitos coluviales. M.D. Arroyo del Pueblo (foto no disponible).*	*Vibración*	*3*	*Depósitos aluviales*	*Cauce arroyo*
43	*Rincón de Foret*	*297,118.56*	*2,809,042.97*	*Obstrucción de cauce por camellón y erosión de márgenes. (Foto 39).*	*Erosión*	*3*	*Depósitos coluviales*	*Glacis coluvial (Rampa remontante)*
44	*CETIS 48*	*303,119.04*	*2,814,575.88*	*Daños estructurales y hundimientos en plantel. (Foto 40).*	*Tubificación*	*4*	*Depósitos aluviales*	*Llanura aluvial*
45	*Lomas Verdes 2do Sector*	*300,715.92*	*2,808,316.23*	*Grietas de tensión en banquetas y parte baja de fachadas (foto 41).*	*Reptación*	*3*	*Depósitos coluviales*	*Glacis Coluvial*
46	*Los Rosarios*	*295,746.27*	*2,811,348.22*	*Caída de barda , presión poro, falla por sobreelevación de barda y/o conformación de terraplén (foto 42).*	*Presión Poro*	*4*	*Depósitos aluviales*	*Valle aluvial*
47	*Universidad de Pueblo*	*301,913.06*	*2,811,427.15*	*Deslizamiento de ladera y terraplenes en M.D., arroyo depósitos aluviales. (foto 43).*	*Rotacional*	*3*	*Depósitos aluviales*	*Cauce arroyo*
48	*Constitución 306*	*298,552.54*	*2,811,840.05*	*Volcamiento de barda contención por saturación y subpresión (foto 44).*	*Presión Poro*	*3*	*Depósitos aluviales*	*Llanura aluvial*
49	*Nva. Imagen*	*302,659.52*	*2,810,132.50*	*Construcción en borde de ladera de arroyo, depósitos aluviales susceptibles de deslizamiento (foto 45).*	*Rotacional*	*4*	*Depósitos coluviales*	*Ladera cañada*
50	*Oceanía*	*302,583.77*	*2,815,439.15*	*Deslizamiento de ladera y caída de árbol en M.I. arroyo (foto 46).*	*Rotacional*	*4*	*Depósitos aluviales*	*Llanura aluvial*

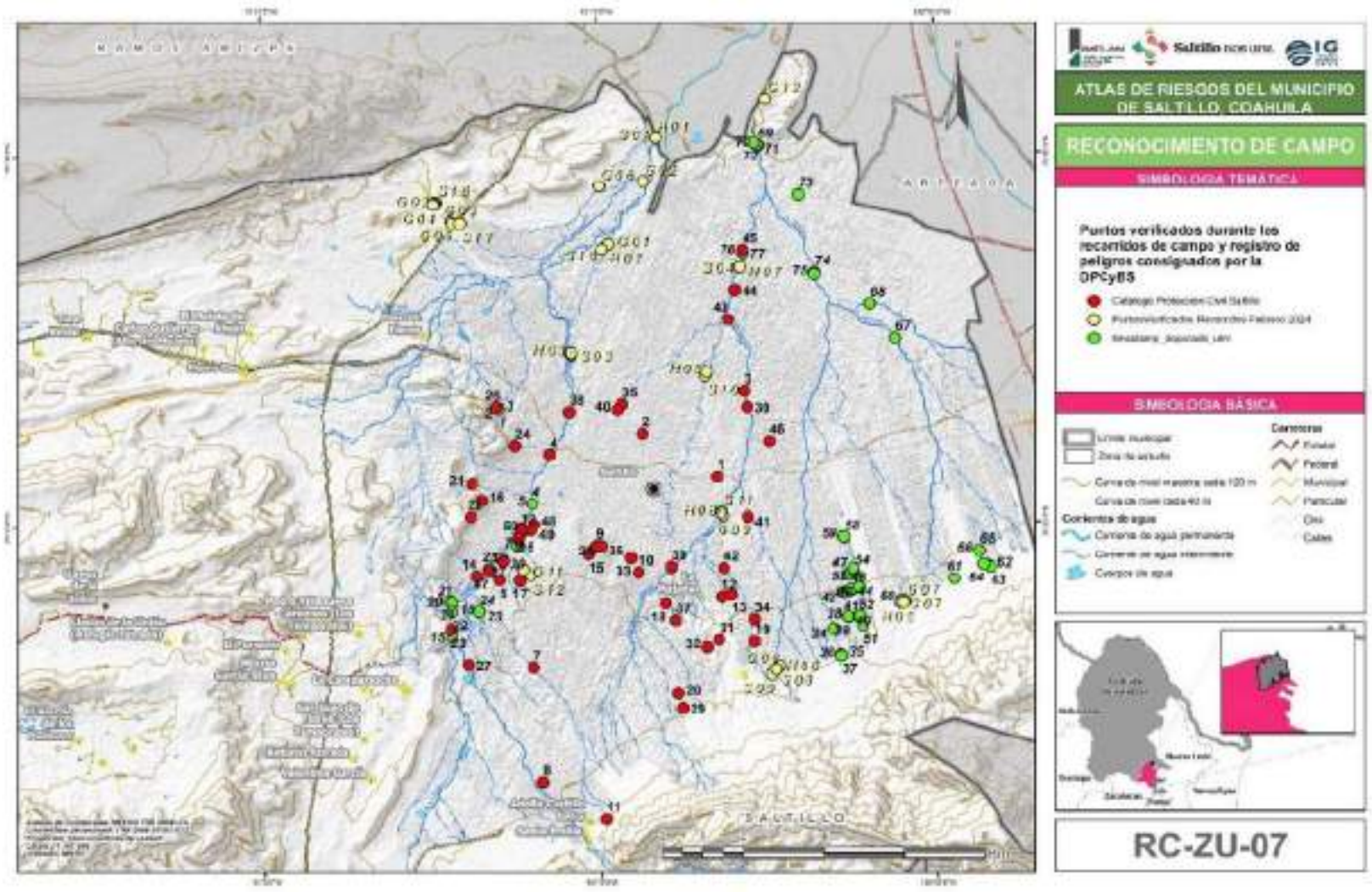
Fuente. Protección Civil Municipal, Saltillo, Coah.

Evidencias y hallazgos observados en los reconocimientos de campo

Las visitas a campo que se llevaron a cabo en noviembre de 2023 y febrero de 2024 son la base para la recopilación de información geológica, geológico estructural, adem{as de geomorfológica que, son de vital importancia para el desarrollo de los temas referidos a los peligros geológicos que pudiesen presentarse en el municipio.

En el Mapa 6, se muestran los puntos verificados en las fechas referidas, así como los puntos registrados por la Dirección de Protección Civil y Bomberos de Saltillo (DPCyBS).

Mapa 6. Puntos verificados durante los recorridos de campo y registro de peligros consignados por la DPCyBS



Fuente: elaboración propia con base en datos de campo.

A continuación, se presentan las evidencias y hallazgos correspondientes a solo dos puntos de verificación de campo.

Punto: NG2 (Fecha: 2023-11-22)

Coordenadas: UTM-14N-WGS84		Altitud
X	Y	Z
296,383.45	2,815,517	1,599.2

Objetivo: inspección de caídos por rodamiento de bloques en ladera del Cerro La Minita y condiciones geomecánicas de taludes en túnel de vía ferroviaria.

Descripción:

Este punto se registró en la ladera sur del cerro La Minita, cercano al túnel del FF.CC. El afloramiento consiste en capas de lutitas carbonosas muy foliadas y fracturadas, alternadas con estratos delgados de caliza (Figura 23) que corresponden a la misma formación descrita anteriormente (Formación Cerro del Pueblo – Las Encinas).

Las lutitas muestran una estructura laminar con un espesor de tres a 10 centímetros, muy físiles o apizarradas, correspondiendo más bien a argilitas, mientras que la capa de caliza tiene espesores de cinco a 20 centímetros, de color marrón por el intemperismo y al fresco de color gris claro que presenta una textura microcristalina. También se observó una familia predominante de fracturas con relleno de calcita, variando su abertura de centímetros a milímetros.

Estructuralmente, las capas mencionadas buzan en la dirección oeste-suroeste, siguiendo el flanco del sinclinal que forma una serie de elevaciones alargadas o acordonadas que describen un arco y se extienden hacia el suroeste.

Figura 23. Afloramiento de Caliza y lutita en ladera sur del Cerro La Minita, cercano al túnel del FF.CC.



Fuente: elaboración propia.

También en este caso, persiste la amenaza de volcamiento, además de rodamiento de bloques a partir de la cima del cerro y aun cuando su ladera es más tendida que en el punto anterior, ésta se encuentra coronada por una capa de caliza muy fracturada, cuyo espesor sobrepasa los dos metros. Por otra parte, en el talud excavado para el portal del túnel, se tiene una pendiente algo empinada que corta un macizo rocoso muy fracturado y alterado, formando una superficie inestable susceptible al deslizamiento (Figura 24).

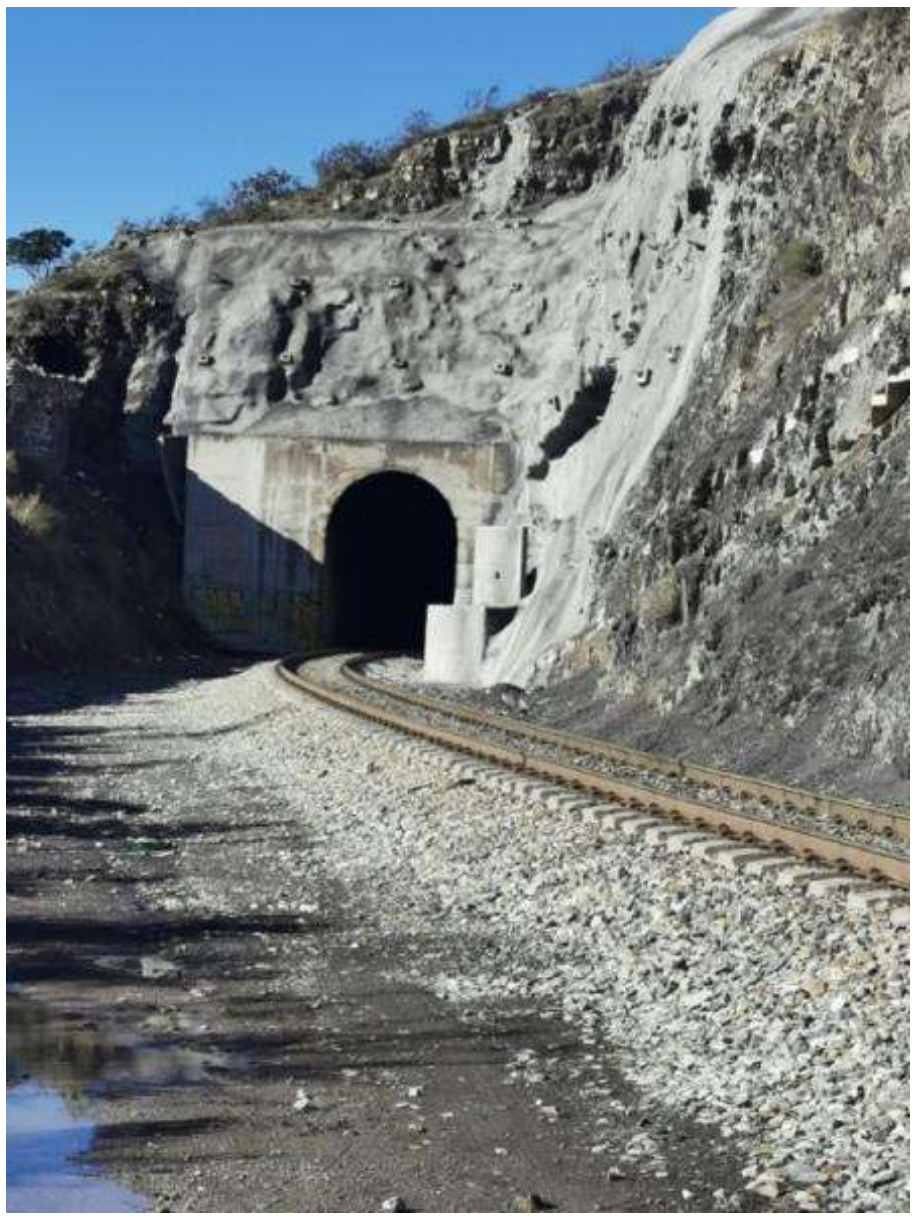
Figura 24. Condiciones de inestabilidad en cima del cerro La Minita y talud del portal del túnel FF.CC.



Fuente: elaboración propia.

Debido a los anterior, en dicho portal se observan trabajos de anclaje activo, así como cemento lanzado para evitar el deslizamiento del material rocoso sobre la vía y entrada del túnel (Figura 25*)*. Cabe mencionar que se realizó un vuelo de reconocimiento con dron en el cual no se observaron bloques que pudiesen generar un peligro inmediato por volcado; sin embargo, de acuerdo con los datos estructurales de la zona de estudio y el análisis de otros factores condicionantes se determina más adelante la susceptibilidad del terreno al movimiento de masas de coluvión, lutita, también caliza.

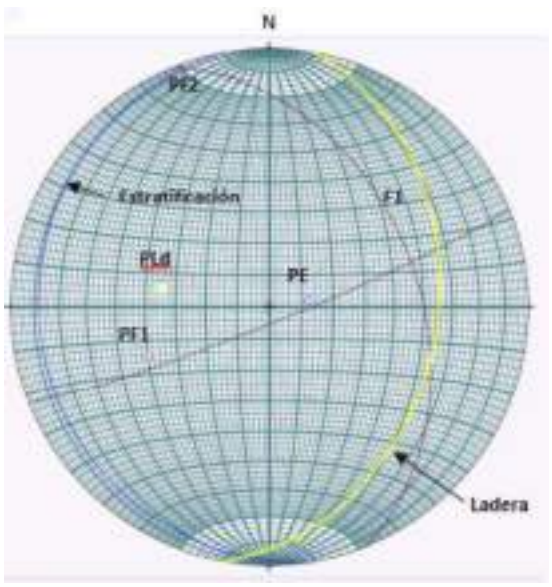
Figura 25. Anclaje y aplicación de gunita en talud que se encuentra en el portal del túnel de la vía ferroviaria



Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestran los datos estructurales registrados en el sitio, por medio de la red estereográfica de Schmidt.

Levantamiento estructural representado en la red estereográfica de Schmidt.



Estratos: 260/12 PE: Polo Estratos

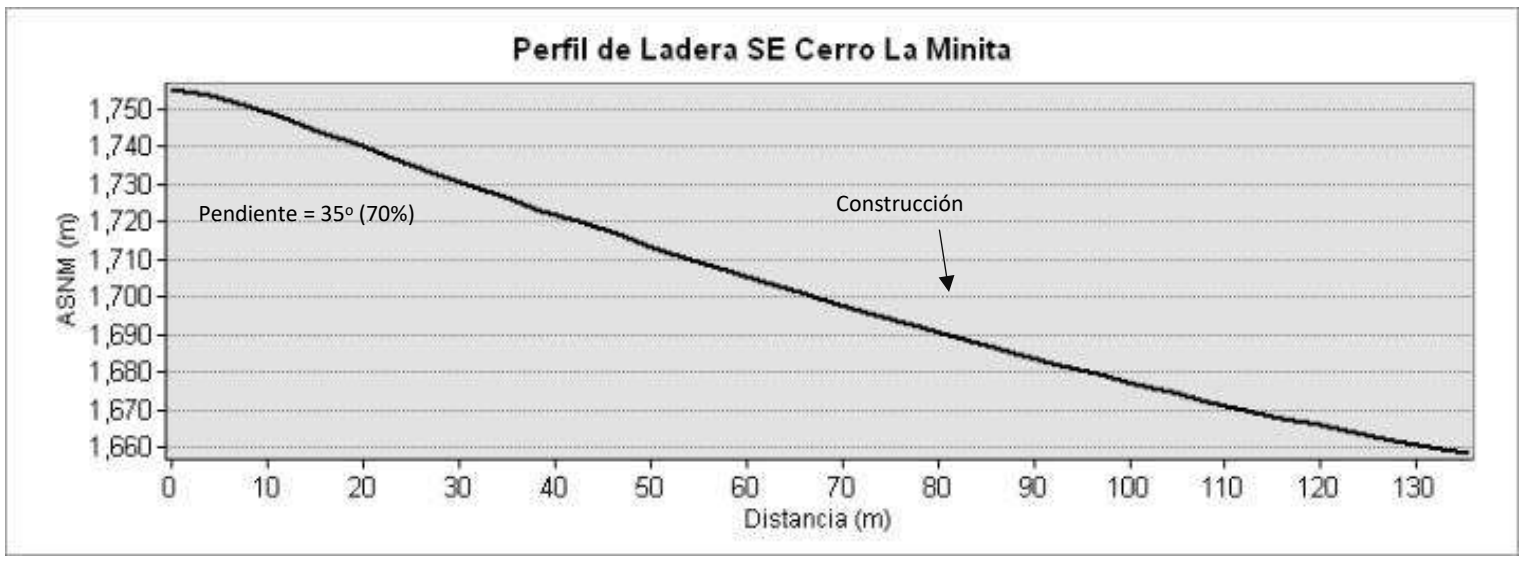
F1: 068/42 PF1: Polo F1

F2: 158/85 PF2: Polo F2

Ladera: 100/35 PLd: Polo Ladera

Por otra parte, y de acuerdo con el modelo de elevación digital del terreno del INEGI (LIDAR 5m), en Figura 26 se ilustra la pendiente del terreno en el punto registrado, advirtiéndose que, a partir de los 130 m, inician los asentamientos urbanos.

Figura 26. Perfil topográfico de la ladera S-SE del Cerro La Minita



Fuente: elaboración propia.

Punto: G01 (Fecha: 2024-02-21)

Coordenadas: UTM-14N-WGS84		Altitud
X	Y	Z
299,203.75	2,819,578	1,467.36

Objetivo: Registro geológico estructural.

Descripción:

Sitio ubicado en la Colonia Asturias (calle Canoas) que consiste en un afloramiento situado dentro del lecho del Arroyo del Pueblo, donde se observa un pliegue anticlinal formado por lutitas y calizas, en el cual se hicieron mediciones estructurales y caracterizó la litología (Figura 27). En el margen izquierdo del cauce, se observó una capa de estratificación de delgada a laminar de lutitas carbonosas intemperizadas de color verdoso (cloritizadas) y fracturadas con rumbo 355° y 31° de inclinación.

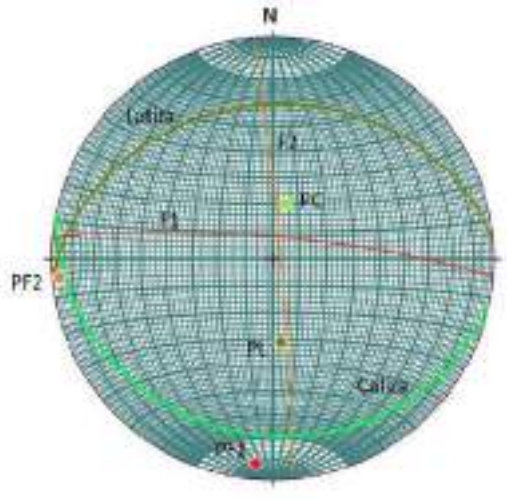
Figura 27. Estratos lamiares de lutita carbonosa, M.I. Arroyo del Pueblo



Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, en el centro del cauce (Figura 28), emerge la cresta de un pliegue anticlinal, donde se tienen capas de caliza micríticas con vetas de calcita, con espesores que varían entre 10 y 50 cm. También se observan dos familias de fracturas; la predominante, con echado en dirección 5° y 82° de inclinación; y la segunda, aproximadamente ortogonal, cuyo echado se encuentra a 85º con un buzamiento de 87º.

Levantamiento estructural representado en la red estereográfica de Schmidt.



Caliza: 192/21 PC: Polo caliza

Lutita: 355/31 PL: Polo lutita

F1: 005/82 PF1: Polo F1

F2: 085/87 PF2: Polo F2

Figura 28. Cresta de anticlinal formado por estratos calizos muy fracturados. Cauce del Arroyo del Pueblo



Fuente: elaboración propia.

Memoria de cálculo

En este capítulo se describen los conceptos generales que tratan sobre los diversos procesos de remoción de masa que se presentan en el municipio de Saltillo, Coah., donde se explican los fenómenos físicos que intervienen en su ocurrencia.

Procesos de remoción en masa planares o traslacionales

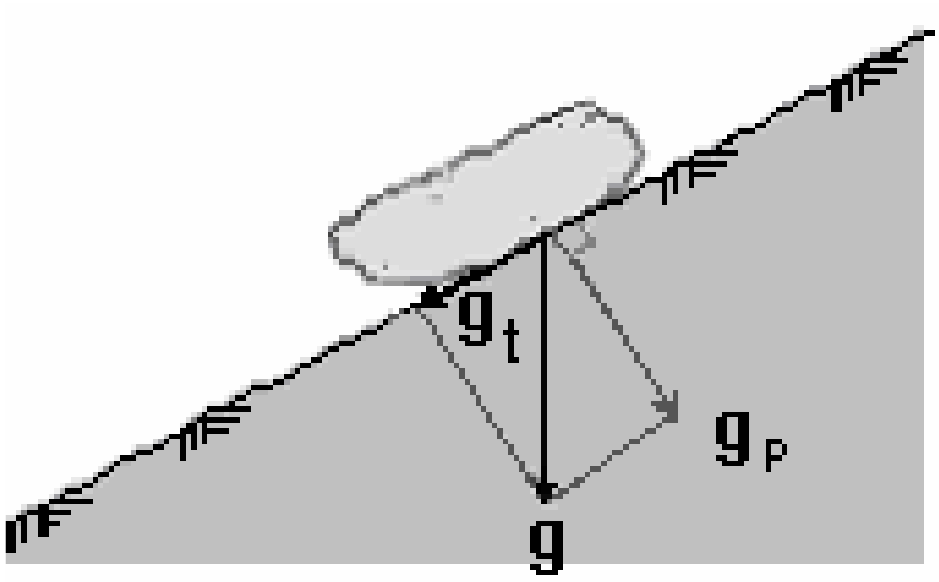
Bajo este concepto se desarrolló la modelación de los mapas de susceptibilidad considerando dos escalas cartográficas, siendo estas 1: 50 000 y 1: 10 000 que corresponden con el territorio municipal y la zona metropolitana de la ciudad de Saltillo, respectivamente. Además, se elaboraron por separado los mapas de movimientos planares en roca, de los movimientos rotacionales, así como los flujos en materiales friccionantes; tales como: brechas coluviales, conglomerados, gravas y arenas de origen aluvial; y cohesivos, integrados por suelos limo-arcillosos aluviales, ya que los factores condicionantes para su susceptibilidad son diferentes.

Factores condicionantes

Pendiente del terreno

La inclinación o pendiente del terreno con respecto a la horizontal es determinante en la estabilidad de las laderas y taludes. Siendo la gravedad la principal fuerza motora que propicia los movimientos en masa (g), se tiene que, a mayor inclinación del terreno (θ), se incrementa la componente tangencial de la fuerza de gravedad (gt) y disminuye su componente normal (gp), según se puede observar en la Figura 29.

Figura 29. Fuerzas actuantes en un plano inclinado



Fuente: elaboración propia, 2023.

La componente perpendicular gp representa la fuerza que obliga a que el objeto permanezca en su lugar y la componente gt genera esfuerzos cortantes que tienden a desplazar el objeto pendiente abajo. En términos generales, el ángulo o pendiente θ bajo el que las rocas o materiales líticos permanecen estables se le conoce como ángulo de reposo y dicho ángulo de reposo depende del ángulo de fricción ϕ del material.

Por otra parte, la resistencia al esfuerzo cortante es la suma de todas las fuerzas que se oponen al movimiento, tales como la fricción entre elementos, la cohesión del material, la vegetación o algún tipo de reforzamiento artificial. Por el contrario, la pérdida de fricción es inducida por la saturación de agua en las discontinuidades y su relleno, así como las vibraciones sísmicas o ambientales que potenciarán la inestabilidad de los materiales.

La ocurrencia de este fenómeno físico se tiene en las laderas de fuerte pendiente que delimitan los cerros, serranías y sierras de Saltillo, observándose por lo común en los cortes de la carreta Saltillo – Torreón.

Para el caso de los materiales rocosos se determinaron los pesos ponderados por el método de jerarquías analíticas de Saaty, cuyo resultado se muestra en las tablas siguientes.

Factores considerados:

Tabla 23. Categorías de pendientes

Rango de pendientes		
Rango		Descripción
Grados	%	
0 - 10	0 - 22	Plano a poco inclinado
10 - 20	22 - 44	Inclinado
20 - 30	44 - 67	Inclinado a Muy inclinado
30 - 45	67 - 100	Escarpado
> 45	> 100	Muy escarpado

Fuente: CENAPRED (Documentos básicos).

Tabla 24. Determinación de pesos ponderados para la pendiente (SAATY)

	C1	C2	C3	C4	C5	Wi	Ci	λi
C1	1	5	6	7	9	4.52	0.56	0.91
C2	1/5	1	3	5	7	1.84	0.23	1.52
C3	1/6	1/3	1	3	5	0.96	0.12	1.26
C4	1/7	1/5	1/3	1	3	0.49	0.06	0.99
C5	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0.25	0.03	0.51
Pi	1.62	6.68	10.53	16.33	25.00	8.07		5.20
1/Pi	0.617	0.150	0.095	0.061	0.040			

Fuente: elaboración propia.

Tabla 25. Rangos de pendiente y pesos para la pendiente

	Pendiente (grados)	Pesos
C1	> 45	0.56
C2	30-45	0.23
C3	20-30	0.12
C4	10-20	0.06
C5	0-10	0.03
		1.00

Fuente: elaboración propia

Geología

Con base en la información geológica antecedente y a partir de las observaciones de campo, la litología del área de estudio consiste en una cubierta sedimentaria marina depositada durante el Cretácico Tardío (Formación Cerro del Pueblo), compuesta en su base por lutitas carbonosas, además de argilitas de color negro a gris oscuro, que forman capas de delgadas a laminares, físiles, con aspecto astilloso y muy fracturadas. Al intemperismo ofrecen un aspecto masivo debido a que la fractura astillosa o esquistosidad tipo lápiz oculta los planos de estratificación. Por otra parte, se tienen capas de caliza microcristalina dispuestas de forma alternada en estratos que varían en su espesor de delgados a gruesos, de color gris en muestras frescas y pardo-amarillentas al intemperismo. En la cima de la formación se tiene un estrato calizo que llega hasta los tres metros de espesor, afectado por un intenso fracturamiento que le separa en grandes bloques aproximadamente cúbicos.

Los amplios plegamientos de este grupo geológico han dado forma a las sierras, así como elevaciones que se localizan en la parte occidental de la ciudad de Saltillo, al cual se ha denominado Anticlinorio de Arteaga. Dichos plegamientos desaparecen abruptamente en el valle de la ciudad citada, bajo un relleno de depósitos coluviales, y aluviales, emergiendo dentro de la misma, como pequeñas elevaciones donde las rocas se encuentran muy deformadas, además de fracturadas, presentando una estructura apizarrada y numerosas vetas de calcita, lo cual evidencia la presencia de una falla regional que separa al Terreno Coahuila del Terreno Sierra Madre Oriental.

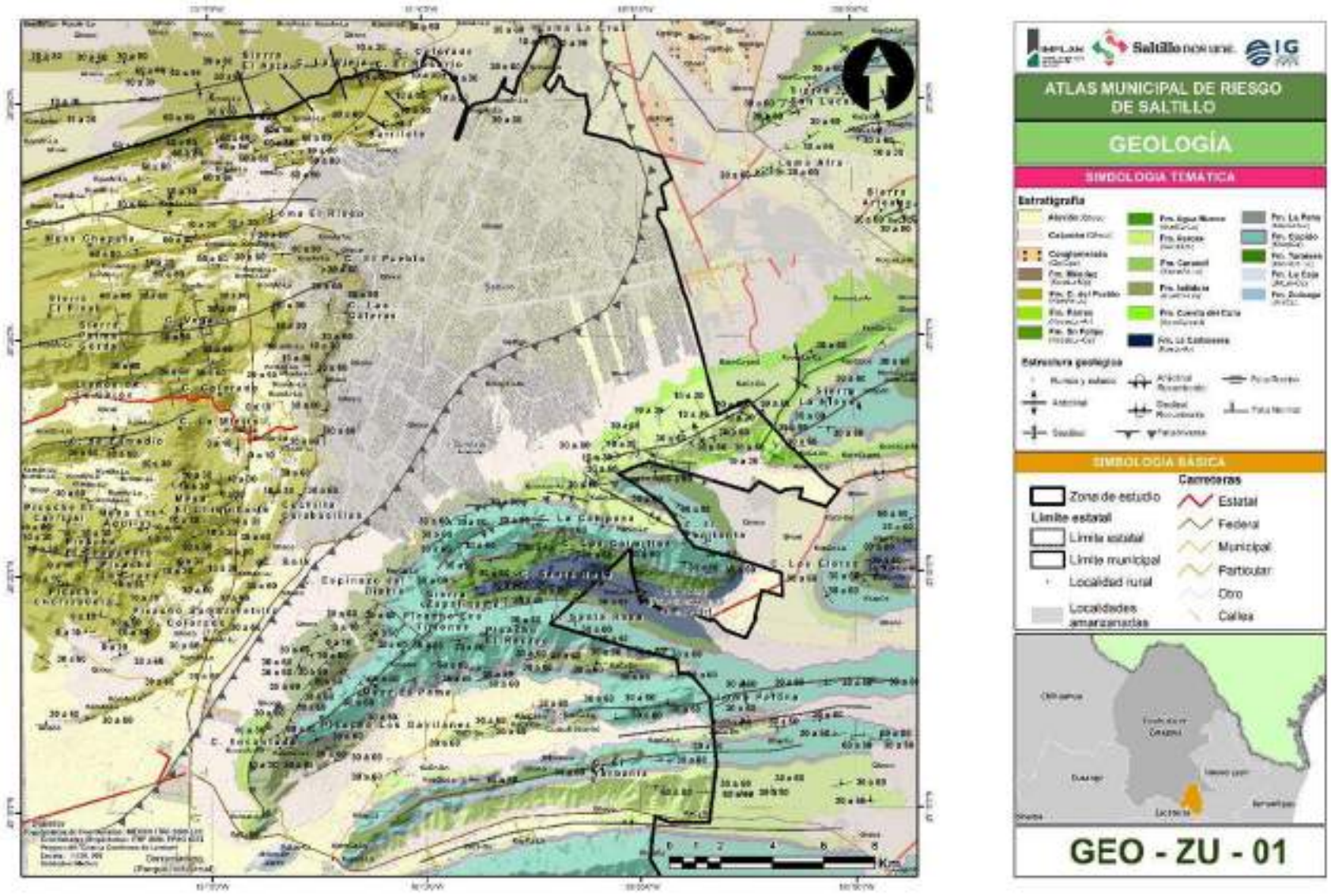
Los rumbos y orientaciones de los afloramientos descritos indican una orientación de la estratificación hacia el NE-SW y otra hacia el NW-SE, evidenciando el fuerte plegamiento que sufrió la región. Complementando esta información, la morfología de las sierras, así también de los valles del área de estudio; así como de la geología antes mencionada, determina que la geología estructural se encuentra constituida por una antigua cuenca sedimentaria, producto de regresiones y transgresiones marinas lo que generó depósitos deltaicos de sedimentos marinos clásticos como resultado de la apertura del Golfo de México.

Para finales del Cretácico esta secuencia de sedimentos clásticos son deformados y plegados durante la orogenia Laramide (Guzmán y de Cerna, 1963; Gray y Lawton, 2011) como consecuencia de la subducción de la porción este de la placa Farallón, debajo de la placa Norteamérica al oeste de México, dando origen a la Sierra Madre Oriental a la cual pertenece la Sierra de Zapalinamé cuyo relieve persiste actualmente en la región.

Por otra parte, cubriendo a las rocas cretácicas descritas, se tienen depósitos coluviales, así como aluviales, que están constituidos por arenas, gravas, fanglomerados, arcillas y limos que están presentes en la mayoría de los cauces de los arroyos de la ciudad de Saltillo y sus alrededores. Su espesor varía de unos cuantos metros hasta alrededor de 100 metros. Estos depósitos de suelos, principalmente arcillosos, constituyen la mayor parte del valle en el que se sitúa la ciudad citada.

A continuación, en la Figura 30 se ilustra la carta geológica de la Zona Metropolitana de Saltillo que puede consultarse en el anexo cartográfico correspondiente.

Figura 30. Carta geológica la Zona Metropolitana de Saltillo, Coah.



Fuente: formada a partir de datos de campo, interpretación satelital y datos vectoriales del SGM.

Condiciones estructurales (plegamientos, estratificación, fracturas y fallas)

De acuerdo con el Servicio Geológico Mexicano (https://www.gob.mx/sgm) Las estructuras presentes en la región se dividen en seis grandes zonas: Zona Centro Oriental (Curvatura de Monterrey), con pliegues simétricos cuyos planos axiales son casi verticales, zonas de transferencia, fallas, cabalgaduras y bifurcación de estructuras. Zona Norte Oriental (Isla de San Carlos), constituida por un anticlinal simétrico en sus extremos y recostado en su parte central y afectado por una cabalgadura orientada al NE.

Zona Centro Norte (Golfo de Sabinas), esta zona está conformada por una serie alineada de pliegues, anticlinales, además de sinclinales orientados preferencialmente NW-SE. Zona Centro Occidental (Isla de Coahuila), caracterizada por su forma semicircular que refleja la presencia de un posible cuerpo batolítico a profundidad. Zona Sur Occidental (Sector Transverso), constituida por una serie de anticlinales y sinclinales E-W y una cabalgadura importante en su parte frontal.

La tectónica del noreste de México puede explicarse dentro del marco tectónico del desarrollo del Golfo de México. Este desarrollo se caracteriza por haber sido un margen de placas divergentes durante el Mesozoico originando varias cuencas por ruptura del antiguo continente Pangea (Fuente: Servicio Geológico Mexicano).

Factor geológico

Para ponderar los factores geológicos condicionantes se estimó más conveniente establecer la calidad del macizo rocoso de acuerdo con el índice de calidad de roca (RMR) establecido por Bieniawsky (1989), donde intervienen las características geomecánicas observadas en campo, cuya aplicación es más conveniente debido a que prevalecen los desprendimientos y rodamientos en las elevaciones que circundan a la ciudad; particularmente el Cerro del Pueblo, Las Galeras y en general los cerros constituidos por la Formación Cerro del Pueblo, que como ha sido comentado, no corresponden con la metodología tradicional que se establece a partir de los datos de la inclinación de las laderas y las discontinuidades estructurales tales como rumbo y echado de las capas; ya que, la inestabilidad de dicha formación, obedece a un intenso fracturamiento que afecta los diferentes dominios rocosos.

La clasificación geomecánica de Bieniawky, proporciona un índice de calidad de roca (Rock Mass Rating) o RMR que depende de:

- La resistencia de la roca
- Las condiciones del fracturamiento
- El efecto del agua
- La posición relativa del fracturamiento con respecto a la ladera o excavación.

Para considerar la incidencia de estos factores se definen una serie de parámetros con determinados valores, cuya suma proporciona el índice de calidad RMR. Este varía entre 15 y 100.

En función del valor RMR, se clasifican las rocas en cinco categorías diferentes, según se muestra en la Tabla 26. También proporciona valores aproximados de la cohesión y ángulo de rozamiento interno del macizo rocoso que son útiles especialmente en rocas de mala calidad.

Tabla 26.Clase de roca determinada por calificacion total (Bieniawsky)

Clase de roca					
Calificación	100-81	80-61	60-41	40-21	<21
Clase	I	II	III	IV	V
Condición	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy Mala

Clases de roca Saltillo	74	60-42	40-25

Fuente: elaboración propia a partir de la clasificación RMR de Bieniawsky.

Los parámetros que deben obtenerse para determinar el RMR son:

1) Orientación

Posición de la discontinuidad definida por la dirección del buzamiento y el buzamiento de la línea de máxima pendiente en el plano de la discontinuidad.

2) Espaciamiento

Distancia perpendicular entre dos discontinuidades adyacentes. Normalmente se refiere al espaciamiento medio de una familia de fracturas o discontinuidades

3) Continuidad

Extensión superficial de una determinada discontinuidad en un plano imaginario que la contenga

4) Rugosidad

Conjunto de irregularidades de diferentes órdenes de magnitud (asperezas, ondulaciones), que componen la superficie de las paredes de una discontinuidad.

5) Resistencia de la discontinuidad

Resistencia a la compresión de la superficie de la discontinuidad. Puede ser más baja que la resistencia de la rocamatriz a causa de la meteorización de la misma.

6) Apertura

Distancia perpendicular entre las paredes de una discontinuidad.

Relleno

7) Material que separa las paredes de una discontinuidad, normalmente más débil que la roca matriz.

8) Filtración

Flujo del agua y humedad libre visible en discontinuidades o en la totalidad de la roca.

9) El número de familias que comprende el sistema de discontinuidades del medio rocoso.

10) Tamaño del bloque

Dimensiones del bloque de roca resultante de la mutua orientación y espaciado de las familias de discontinuidades.

De lo anterior y como resultado de las observaciones de campo, se tienen los factores de ponderación mostrados en las tablas siguientes:

Tabla 27. Ponderación por tipo de geología

RMR	Descripción
0	Depósitos aluviales, arenas, limos y arcillas
21-40	Depósitos coluviales con pavimento calcáreo
61-80	Estratos calizos gruesos poco fracturados, coluviones gruesos c/arcilla
41-60	Calizas interestratificadas con lutitas fracturadas

Fuente: elaboración propia a partir de observaciones de campo.

Tabla 28. Clase de roca determinada por calificación total (Bieniawsky)

Clase de roca					
Calificación	81-100	61-80	41-60	21-40	<21
Clase	I	II	III	IV	V
Condición	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy Mala
Clases de roca Saltillo		74	60-42	40-25	

Fuente: elaboración propia de acuerdo con el sistema de clasificación determinado por Bieniawsky (1989).

Tabla 29. RMR Geología determinación de pesos por el método de SAATY (EMC)

	C1	C2	C3	Wi	Ci	λi
C1	1.00	5	9	3.56	0.74	0.96
C2	1/5	1.00	5.00	1.00	0.21	1.28
C3	1/9	1/5	1.00	0.28	0.06	0.87
Pi	1.31	6.20	15.00	4.84		3.12
1/Pi	0.76271	0.16129	0.06667	0.20670		

Fuente: elaboración propia.

Tabla 30. Susceptibilidad geológica (RMR)

Susceptibilidad geológica (RMR)		Pesos
C1	21-40	0.74
C2	41-60	0.21
C3	61-80	0.06
		1.00

Fuente: elaboración propia.

Geomorfología

Las características geomorfológicas de la región se encuentran asociadas al relieve distintivo de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental, que destaca por sus altas cadenas montañosas formadas por anticlinales, además de sinclinales, compuestos por rocas sedimentarias del Mesozoico, y cubiertas por delgadas capas de suelos residuales.

Ya en el municipio de Saltillo, particularmente en la zona urbana, se tiene un amplio valle de origen aluvial y coluvial, cuya inclinación decrece notablemente de sur a norte hasta formar una planicie con pendiente muy suave. Esta superficie se encuentra disectada por numerosos arroyos que tienen sus cabeceras en las sierras que le circundan, tales como: Las sierras de El Asta, El Pinal y Palma Gorda situadas en la porción occidental del valle; y las sierras de Zapalinamé, La Nieve y San Lucas, en la parte oriental del mismo. El drenaje que forma esta microcuenca muestra un patrón de tipo dendrítico radial de régimen efímero que converge cerca del extremo norte del límite municipal en la loma La Cruz, ya dentro del municipio de Ramos Arizpe, y su traza se ve normada por la presencia de números abanicos aluviales, así como coluviales coalescentes.

Emergiendo dentro de los depósitos aluviales, se observan pequeñas elevaciones formadas principalmente por estratos laminares de lutita apizarrada o argilita, alternadas con calizas de poco espesor. Ambos miembros litológicos se encuentran muy deformados, así también fracturados, observándose en algunos casos que a través de las fracturas fueron inyectadas soluciones carbonatadas (calcita), formado vetas que llegan a los 20 cm de espesor.

También sobresalen algunas terrazas aluviales, principalmente en la porción noreste de la ciudad, formadas por conglomerados calizos, matriz soportados en un limo arcillo - arenoso, que evidencia una variación climática antigua o paleoclima más lluvioso.

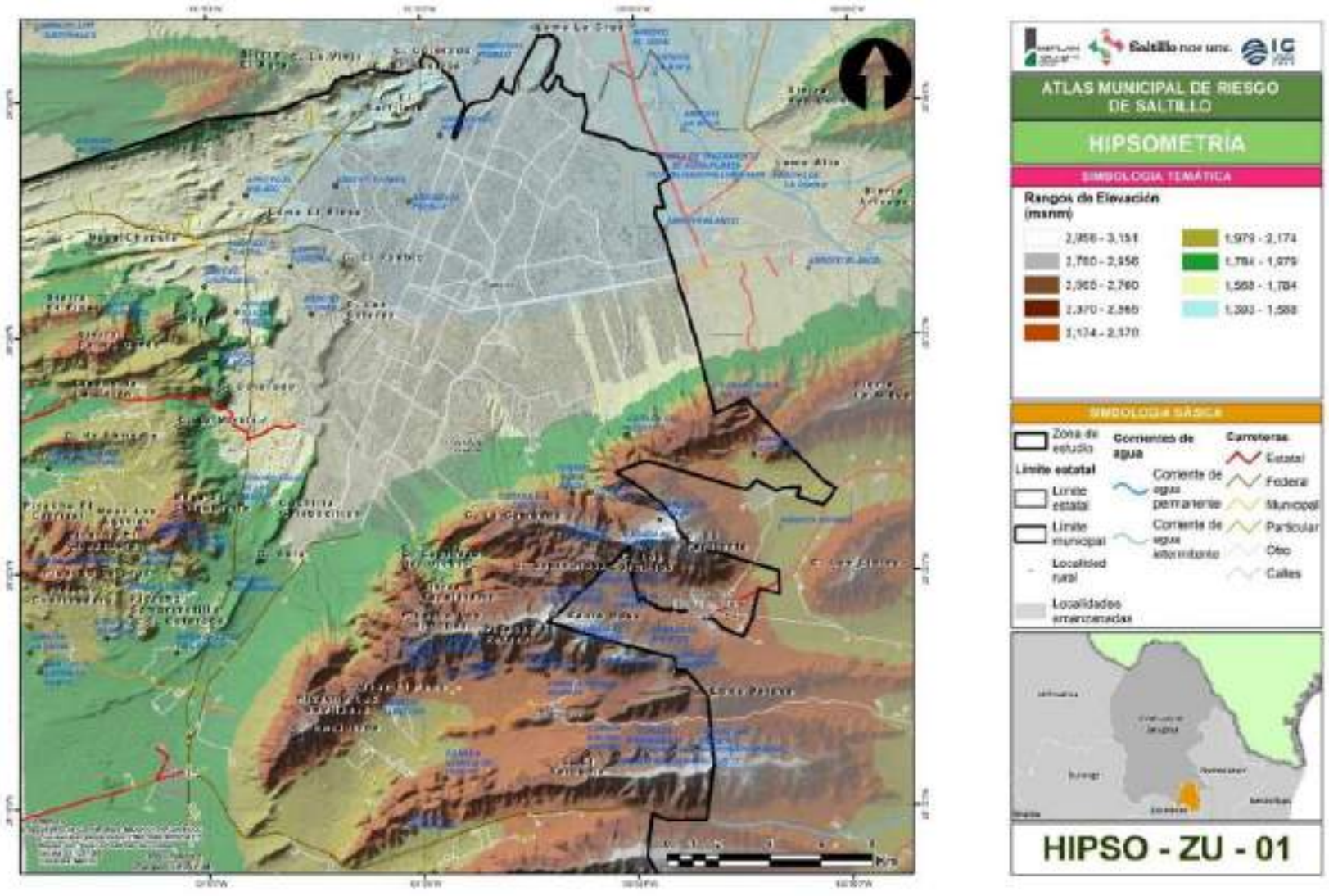
Circundando el valle por la parte oeste, se tienen una serie de elevaciones moderadas que muestran un lineamiento paralelo, además de escalonado similar a camellones o cordones elípticos, aumentando su altura hasta formar aristas aserradas coronadas por un estrato calizo de dos a tres metros de espesor, el cual se encuentra muy fracturado y en equilibrio precario, dando lugar a desprendimientos rocosos que se desploman, lo que provoca que rueden pendiente abajo. Estas estructuras forman parte de amplios sinclinales orientados en dirección E-NE y sus valles intermontanos ocupan el núcleo de anticlinales erosionados.

En contraste, las sierras que se encuentran en la parte sur y sureste forman altas cadenas montañosas con valles profundos, así como una red muy densa de régimen intermitente, con un patrón de drenaje dendrítico paralelo normado estructuralmente. En dicha zona se localizan las mayores elevaciones que llegan a alcanzar poco más de tres mil metros sobre el nivel medio del mar (msnm).

Al pie de estas montañas, destaca otra unidad morfológica consistente en una serie de abanicos aluviales y coluviales coalescentes que en algunos casos se extienden formando “lengüetas” de varios kilómetros de extensión y que se identifican como flujos de derrubios, además de lodo. Dichas estructuras se internan prácticamente hasta el centro de la ciudad y en ellas se forman los cauces de laderas más abruptas. En el

Mapa 7, se tiene el mapa hipsométrico o de elevaciones de la Zona Metropolitana de Saltillo, donde se pueden apreciar con claridad las unidades morfológicas descritas.

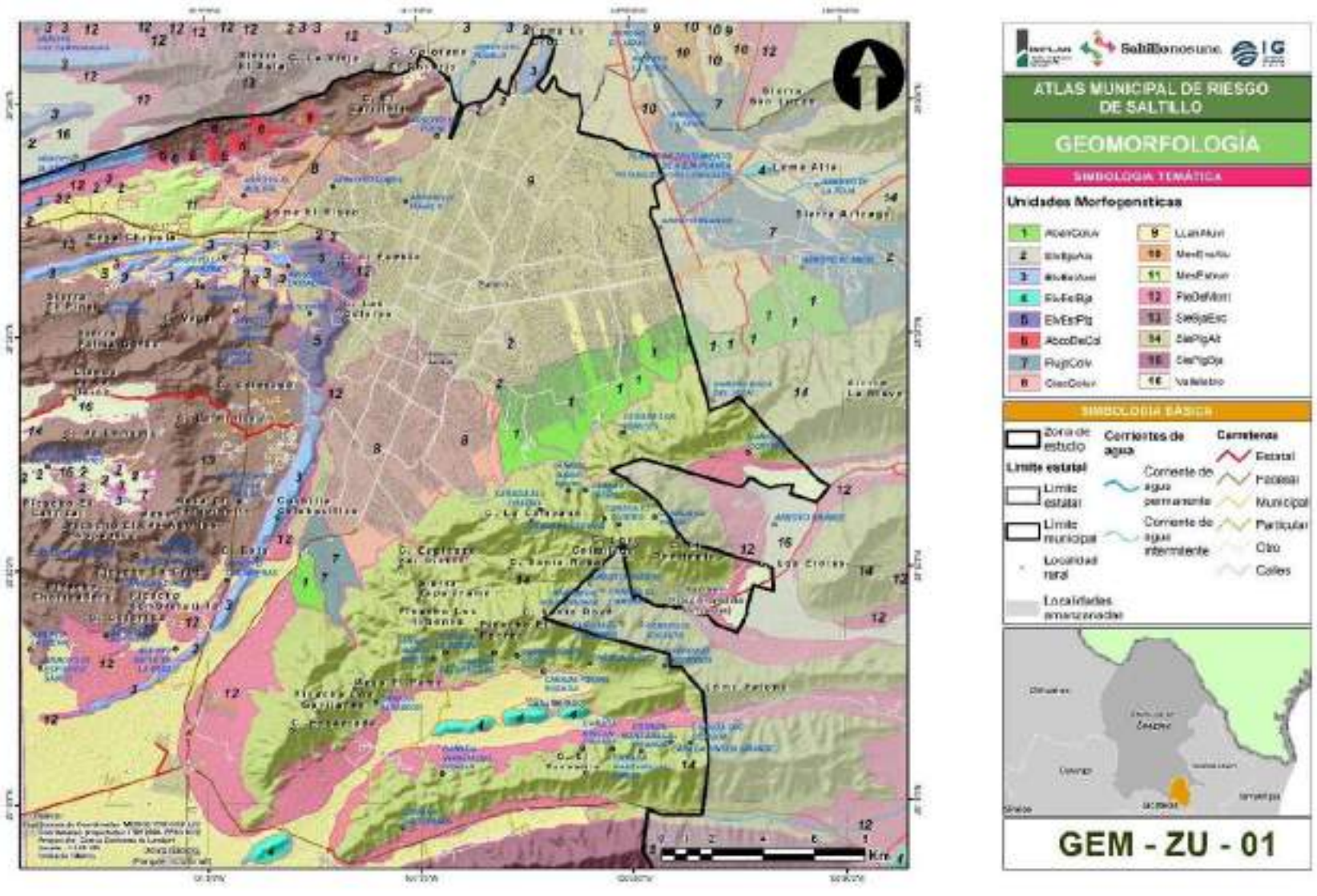
Mapa 7. Hipsometría y toponimia de elevaciones. Valle de Saltillo, Coah.



Fuente: elaboración propia con base en datos Lidar a cada 5 metros de INEGI (2010).

Según lo antes expuesto, se definieron en total 16 unidades morfogenéticas (Mapa 8) relacionadas con la identificación de factores condicionantes para la ocurrencia de procesos de remoción en masa, describiendo a continuación sus características más importantes.

Mapa 8. Unidades morfogenéticas determinadas en el valle de Saltillo, Coah.



Fuente: elaboración propia con base en datos Lidar a cada 5 metros de INEGI e interpretación de cartografía geológica elaborada para este estudio.

(1) Abanico coluvial, exógeno acumulativo

Topoforma caracterizada por una geometría aproximadamente triangular o en "abanico", cuyo vértice se sitúa en la salida de los numerosos valles encajonados que drenan la vertiente noroccidental de las sierras de Zapalinamé, Las Nieves y San Lucas. Su granulometría es heterogénea y forma capas alternadas de brechas calizas clasto soportadas, además de cementadas, con horizontes arcillo - gravosos.

Superficialmente, forman un pavimento calcáreo pedregoso muy duro y en las laderas disectadas por los arroyos, se observan seudoestratos de brecha caliza, estructuras fluidales, lentes gravo – arenosos, también depósitos arcillosos (arroyos: Boca del León, Los Pericos y El Cuatro) que describen una secuencia de eventos torrenciales con grandes avenidas, flujos de lodo y de derrubios; estos últimos, producto de remociones en masa de las sierras mencionadas.

Su expresión morfológica corresponde con rampas de pendiente moderada, así como drenaje divergente que, al solaparse entre sí, originan una captura de los cauces originales reorientando su trazo pendiente abajo hacia su confluencia con el Arroyo del Pueblo.

(2) Elevación aislada, endógena denudativa

Emergiendo dentro de la planicie del Valle de Saltillo, se encuentran pequeñas elevaciones dispersas constituidas por estratos de lutita apizarrada (argilita) muy deformada y fracturada, que adoptaposiciones muy inclinadas a verticales. Su altura varía entre algunas decenas de metros hasta 50 metros y la mayoría se encuentran urbanizadas.

(3) Elevación estructural "acordonada", endógena denudativa

Describiendo arcos semi – elípticos, así como paralelos entre sí, se tienen elevaciones de altura media-baja formadas por flancos de sinclinales que simulan un archipiélago terrestre. Las grandes crestas alargadas presentan una arista prominente debido al buzamiento o inclinación de las capas y la posición de un grueso estrato calizo que corona su cima.

Las calizas muestran al menos dos sistemas de fracturamiento principales, aproximadamente ortogonales entre sí; y que, debido a la erosión diferencial de las capas de lutita que le subyacen y la acusada pendiente de sus laderas, son fuente continua de desprendimientos, también rodamientos que han formado un piedemonte pedregoso, donde destacan bloques de cierta magnitud.

Es en esta franja del terreno donde desafortunadamente se han emplazado asentamientos periurbanos que en cualquier momento pueden verse afectados por dicha amenaza y que se extiende a lo largo de la vertiente oriental de esta serranía, desde el cerro Las Galeras hasta la colonia Héroe de Nacozari. Otra zona donde se puede encontrar esta unidad morfogenética es a lo largo de la carretera federal No. 40, tramo: Saltillo-Torreón, donde las elevaciones y pendientes son menores; así como en el extremo norte de Saltillo, en el tramo de la Av. Panorámica, principalmente en las colonias Portales del Valle, además de Guanajuato de Abajo del municipio de Ramos Arizpe, donde se observan las mismas condiciones de inestabilidad mencionadas en párrafos anteriores (Figura 31).

Figura 31. Zona de amenaza por desprendimientos y rodamiento de bloques calizos en Av. Panorámica



Fuente: Google Earth, 2024.

(4) Elevación estructural baja, endógena denudativa

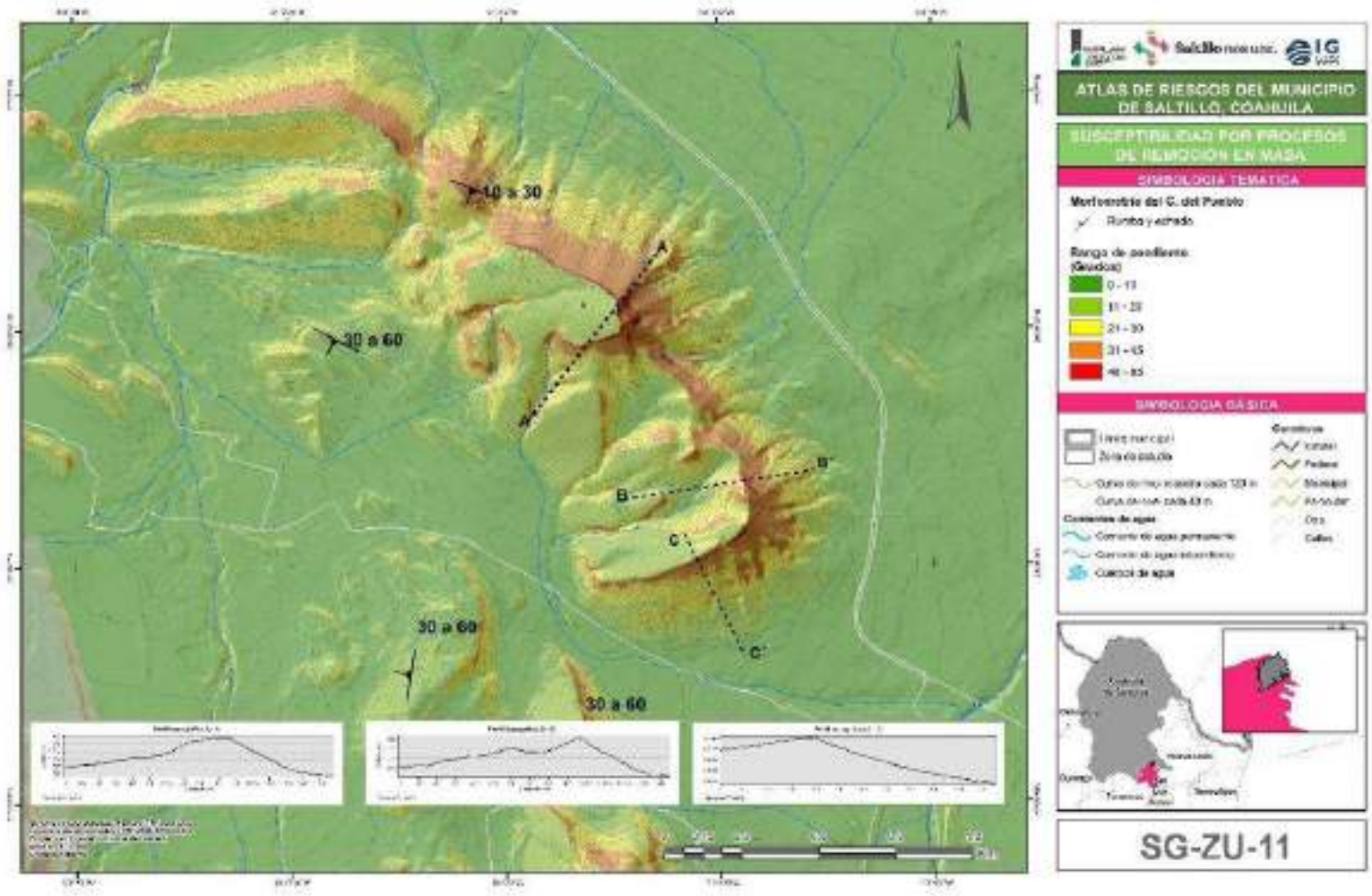
Consiste en grandes lomeríos alargados en sentido oeste - este formados por un extenso anticlinal erosionado, constituido por estratos de caliza y dolomía pertenecientes a la Formación Aurora. Su morfología se caracteriza por pendientes suaves, también redondeadas de baja elevación, así como un drenaje poco denso que indica una permeabilidad secundaria por disolución.

(5) Elevación estructural plegada, endógena denudativa

Unidad morfogenética característica del Cerro del Pueblo, la cual está formada por el vértice de un amplio sinclinal afallado, que buza sensiblemente hacia el suroeste. Su morfología semeja un gran anfiteatro basculado hacia el mismo sentido de su buzamiento, destacando por su cima aserrada ocupada por un estrato calizo fracturado que forma grandes bloques, cuyo espesor alcanza los tres metros y que sobreyace a una serie de estratos de lutita foliada, también muy fracturada, que se erosiona fácilmente.

Como puede apreciarse en el Mapa 9, la pendiente de la vertiente oriental de esta elevación es considerable, siendo de 45° (Sección A – A´), 41° (Sección B – B´) y 37° (Sección C – C´). Además, según el modelo de elevación, el piedemonte formado por los desprendimientos de la cima y ladera se extienden dentro de la traza urbana, lo que indica la distancia máxima que puede alcanzar un bloque rocoso que ruede pendiente abajo y que puede llegar hasta unos 200 m dentro de la zona urbana.

Mapa 9. Características morfométricas del cerro del Pueblo



Fuente: elaboración propia con base en datos LIDAR de cinco metros del INEGI (2010).

(6) Abanico de derrubios colgado, exógeno acumulativo

Bajo esta denominación se han definido una serie de depósitos coluviales que permanecen suspendidos en la ladera sur de la sierra El Asta, originados a partir de deslizamientos masivos de las partes más altas de la sierra. Su posición topográfica los mantiene en un precario equilibrio que puede desencadenar flujos de derrubios, además de lodo, tal como puede observarse en las evidencias morfogenéticas encontradas en terrenos más bajos (Rancho Guadalupe, colonias Valencia y Evaristo Pérez Arreola, entre otros), ocupados por sedimentos aluviales y coluviales que forman una rampa o glacis de baja pendiente.

(7) Flujo coluvial, exógeno acumulativo

Relieve característico de alargados flujos coluviales y aluviales, que se han originado a partir de la acumulación de derrubios producidos por deslizamientos en la vertiente noroeste del extenso anticlinal que configura la sierra La Nieve y que cruzan la localidad de Arteaga, donde se han formado una serie de cauces anastomosados o trenzados que integran el Arroyo Blanco.

(8) Glacis coluvial, exógeno denudativo

Estructura similar a un abanico aluvial pero que forma una rampa extensa, cuyo frente se distingue por un relieve más o menos abrupto de forma globular, que corresponde indudablemente con antiguos flujos de derrubios, también lodo. Esta unidad ocupa el extremo sur de la ciudad de Saltillo y debido a su litología constituida por brechas calizas, además de arcillas limo-arenosas sin consolidar, se encuentra en un proceso erosivo activo remontante, caracterizado por la formación de barrancas de cierta profundidad que van creciendo hacia sus cabeceras.

Por lo anterior, las márgenes de los cauces son particularmente propensos a deslizamientos de tipo rotacional (por saturación de suelo limo - arcilloso) y gravitatorio; esto último, debido a la erosión en la base de los taludes por el flujo del agua pluvial durante la época de lluvias por lo que, con mayor razón, durante avenidas máximas extraordinarias.

(9) Llanura aluvial, exógena acumulativa

Planicie ligeramente inclinada hacia el norte-noreste donde se asienta la mayor parte del Área Metropolitana de Saltillo. Constituida por depósitos aluviales tales como gravas, arena, además de limos arcillosos, esta unidad se encuentra surcada por numerosos arroyos efímeros que actualmente colectan las aguas residuales de la ciudad y cuya descarga converge en el extremo norte del área urbana en el Arroyo del Pueblo. La traza de los cauces mencionados es muy incierta dentro de la ciudad, ya que

en muchos casos dichos cauces han sido rellenados, desviados o reducidos en su sección hidráulica, lo que ocasiona la ocurrencia de frecuentes inundaciones.

También en este caso, las riberas de los arroyos se encuentran dentro de un proceso de erosión activo, ya sea por el deslizamiento de materiales limo - arcillosos saturados o la acción erosiva de las corrientes sobre sus márgenes.

(10) Meseta erosiva aluvial, exógena denudativa

Fuera del límite municipal, pero aún dentro del Valle de Saltillo y cercanas a la localidad de Arteaga, se encuentran una serie de mesetas aluviales de erosión que son testigos de una época geológica relativamente antigua, que puede situarse en el Pleistoceno, donde existía un régimen de lluvias más copiosa relacionadas con los periodos glaciales. Estas terrazas persisten como superficies planas, formadas por conglomerados calizos arenosos que en la región de Monterrey se asignan a la Formación Reynosa, por lo que se encuentran sepultadas parcialmente por los flujos coluviales antes descritos.

(11) Meseta estructural, endógena denudativa

Estructura sensiblemente horizontal situada entre los sinclinales de Sierra Gorda y El Asta en forma de meseta, pero que pertenece a la cresta de un anticlinal con ángulo interlimbo suave (Fossen, 2010). Constituida por lutitas de la Formación Cerro del Pueblo, esta unidad puede confundirse con una meseta aluvial.

(12) Piedemonte exógeno acumulativo

Unidad morfogenética constituida por la acumulación de fragmentos de roca, además de suelo, producto de la acción gravitatoria y que delimita el cambio de pendiente entre un relieve elevado y una planicie o zona más plana. La extensión de su depósito indica el área de influencia de los movimientos de masa que ocurren en el macizo rocoso que depende de la altura relativa de cada elevación. Las áreas más susceptibles se encuentran en las sierras de Zapalinamé, La Nieve y San Lucas.

(13) Sierra baja escalonada, endógena denudativa.

Formando las cadenas montañosas situadas al norponiente y sur poniente de Saltillo, se tiene una serie de pliegues sinclinales y anticlinales que forman un relieve caracterizado por sus cimas y aristas angulosas, así como flancos escalonados que definen claramente el buzamiento de sus capas. Su accidentada topografía es consecuencia de una erosión diferencial donde los estratos calizos forman cornisas inclinadas que sobresalen de las capas de lutita más erosionables.

Es así como, la erosión y el desarrollado sistema de fracturas que afecta al macizo rocoso acelera los procesos de remoción de masa, originando deslizamientos, así como acumulación de coluviones al pie de las laderas, para posteriormente formar flujos de derrubios y lodo desencadenados por la pérdida de cohesión al saturarse sus poros durante precipitaciones intensas.

(14) Sierra plegada alta, endógena denudativa.

En el límite sur y sureste del Área Metropolitana de Saltillo, se localizan las mayores elevaciones del municipio, que corresponden con una serie de plegamientos cerrados y recostados, formados principalmente por formaciones calizas del Cretácico. Dichas estructuras forman alargados valles encañonados de empinadas laderas que definen un patrón de drenaje enrejado.

Partiendo de los valles descritos que forman parte de la vertiente norte de las Sierra de Zapalinamé y La Nieve, se originan numerosos escurrimientos que drenan hacia el Valle de Saltillo, principalmente (de sur a norte) los arroyos: San Lorenzo, El Cuatro, Los Pericos, Cañada Boca de León y Arroyo Blanco que convergen en el Arroyo del Pueblo.

(15) Sierra plegada baja, endógena denudativa.

Situada al sur de la Sierra de Zapalinamé, se localizan elevaciones alargadas más bajas, tales como la Sierra El Yerbaníz, que también corresponden con estructuras anticlinales, además de sinclinales de rocas cretácicas cuya baja densidad de drenaje y forma redondeada, indican mayor permeabilidad.

(16) Valle intermontano, exógeno acumulativo.

Encerrados dentro de las zonas montañosas, se encuentran valles aluviales semiplanos alargados que han sido rellenados por el aporte de materiales coluviales derivados de movimientos de masa, el intemperismo y la erosión que actúa sobre el relieve circundante.

Debido a su composición, generalmente constituyen suelos fértiles que son aprovechados para actividades agropecuarias, tal como sucede en la comunidad de Cuauhtémoc en el municipio de Saltillo y otras comunidades como, Sierra Hermosa, Los Llanos, Chapultepec y Huachichil, que forman parte del Valle intermontano, exógeno acumulativo y que se ubican en el municipio de Arteaga.

Considerando las características geomorfológicas ya señaladas, se establecieron las siguientes clases para su ponderación e integración en los mapas de susceptibilidad y peligro correspondientes.

Tabla 31. Clases geomorfologías para ponderación

Relieve	Descripción
Llanura aluvial	Llanuras aluviales y valles intermontanos
Glacis	Depósitos coluviales y conos de deyección
Elevaciones medias y cañadas	Elevaciones y cañadas con laderas moderadamente empinadas
Sierras plegadas bajas	Sierras bajas con laderas abruptas y circos de erosión
Sierras plegadas altas	Sierras altas con laderas y aristas muy abruptas y circos de erosión

Fuente: elaboración propia.

Tabla 32. Determinación de pesos para la Geomorfología por el método de SAATY (EMC)

	C1	C2	C3	C4	C5	Wi	Ci	LAMDAi
C1	1	3	5	7	9	3.94	0.51	0.91
C2	1/3	1	3	5	7	2.04	0.26	1.23
C3	1/5	1/3	1	3	5	1.00	0.13	1.24
C4	1/7	1/5	1/3	1	3	0.49	0.06	1.04
C5	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0.25	0.03	0.54
Pi	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00	7.72		4.96
1/Pi	0.560	0.214	0.105	0.061	0.040			

Fuente: elaboración propia.

Tabla 33. Susceptibilidad geomorfológica

	Geomorfología	Pesos
C1	Sierras altas con laderas y aristas muy abruptas y circos de erosión	0.51
C2	Sierras bajas con laderas abruptas y circos de erosión	0.26
C3	Elevaciones y cañadas con laderas moderadamente empinadas	0.13
C4	Depósitos coluviales y conos de deyección	0.06
C5	Llanuras aluviales y valles intermontanos	0.03
		1.00

Fuente: elaboración propia.

Uso del suelo y vegetación

Como ya ha sido descrito, la inestabilidad de laderas, así como taludes está condicionada por factores que reducen la resistencia del medio geológico, entendido este, como sustrato rocoso, además de suelo. En este sentido, la presencia de vegetación asociada al uso del suelo es importante por su incidencia en los mecanismos hidrológicos tales como: la evapotranspiración e infiltración de lluvia y la acción mecánica que aportan las raíces de los árboles también el peso de estos.

Por lo anterior, la influencia de la vegetación en la estabilidad de laderas puede ser benéfica o negativa, según las propiedades geológicas del terreno, las condiciones climáticas y las características ambientales de la región.

Según lo comentado en capítulos anteriores, la estabilidad de una ladera está sujeta al equilibrio entre fuerzas resistentes y desestabilizadoras que se presentan en una masa rocosa o suelo potencialmente inestables. Los esfuerzos cortantes o desestabilizadores deben ser contrarrestados por la resistencia del material o la fricción entre discontinuidades rocosas, pudiendo subdividirse en factores internos y externos. Los factores internos reducen la resistencia intrínseca del material, mientras que los factores externos aumentan las fuerzas desestabilizadoras que actúan sobre la masa del terreno.

De acuerdo con numerosas investigaciones realizadas a nivel mundial, los efectos de la vegetación arbórea en la ocurrencia de movimientos en masa se han agrupado en dos grupos, según la Tabla 34 mostrada a continuación:

Tabla 34. Efectos de la vegetación en los movimientos de masa

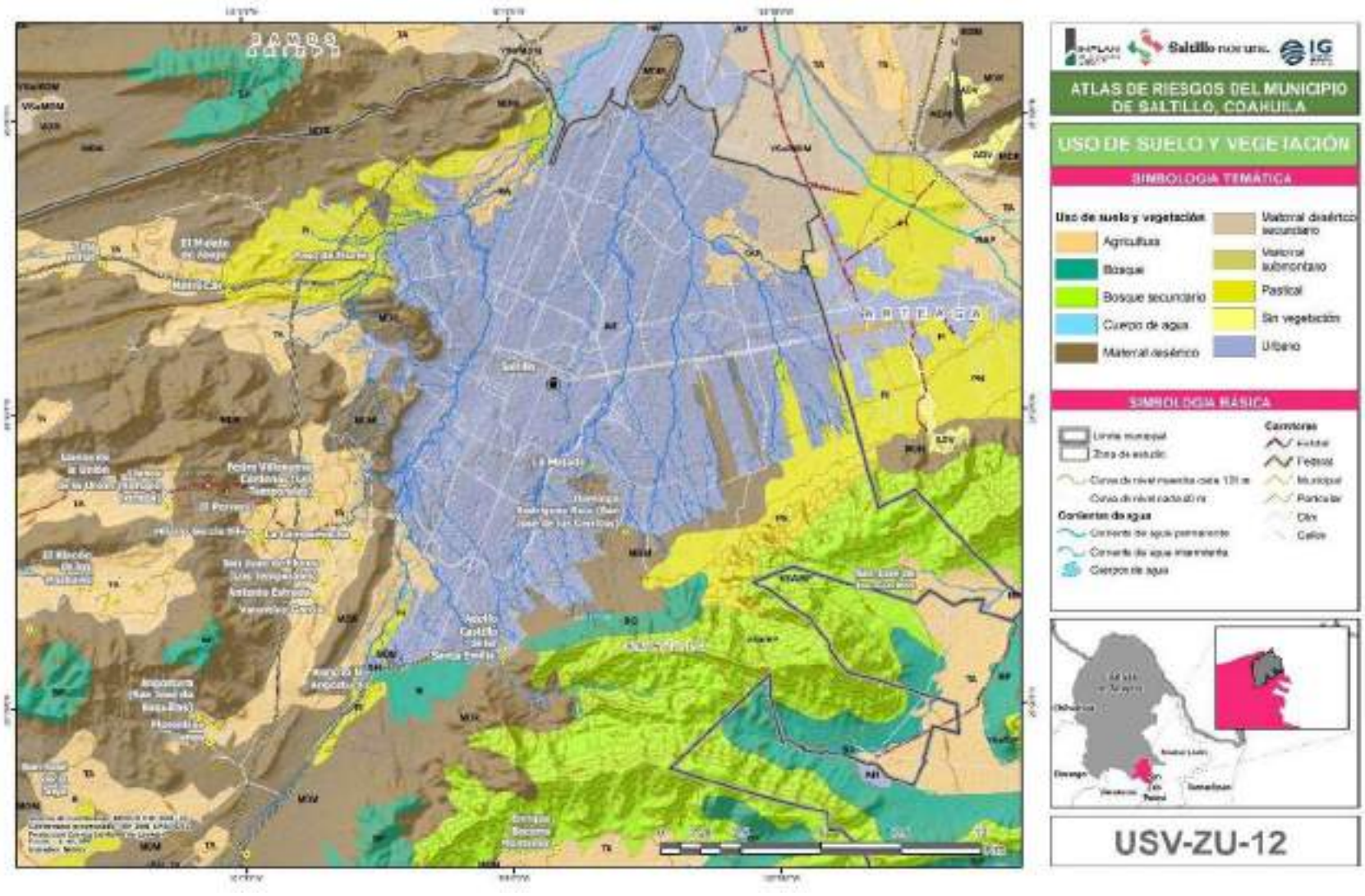
Mecanismos	Influencia sobre tipos de deslizamiento	
Hidrológicos	Superficial	Profundo
1. Interceptación de la precipitación por el dosel arbóreo, favoreciendo la evaporación y reduciendo el agua disponible para infiltración.	1	1
2. Sistema de raíces que extraen agua del suelo para efectos fisiológicos, lo que reduce los niveles de humedad del suelo.	1	1
3. Raíces, tallos y sustrato orgánico que aumenta la rugosidad de la superficie del terreno, así como la capacidad de infiltración del suelo.	3	3
4. El agotamiento de la humedad del suelo puede causar grietas de desecación, resultando una mayor capacidad de infiltración a mayor profundidad.	3	3
Mecánicos	Superficial	Profundo
5. Raíces individuales anclan el sustrato orgánico del suelo formando un estrato de suelo más estable.	1	2
6. Raíces resistentes anclan los planos de debilidad o discontinuidades ante posibles deslizamientos.	1	1
7. Las raíces proporcionan una membrana de refuerzo a la capa de suelo, aumentando su resistencia al esfuerzo cortante.	1	1
8. Las raíces de vegetación leñosa se anclan en estratos firmes, prestando apoyo a capas de suelo en partes superiores de la ladera, mediante apuntalamiento y arqueo.	1	2
9. El peso de los árboles aumenta los componentes de fuerzas normales y paralelos a la ladera (sobrecarga).	3	3

10. El viento trasmite fuerzas dinámicas a la capa de suelo a través del tronco de los árboles.	4	4

1 = Benéfico; 2 = Medianamente Benéfico; 3 = Medianamente Adverso; 4 = Adverso.

Fuente: adaptación de: R.J. Marín-Sánchez, J.P. Osorio-Salas (2017).

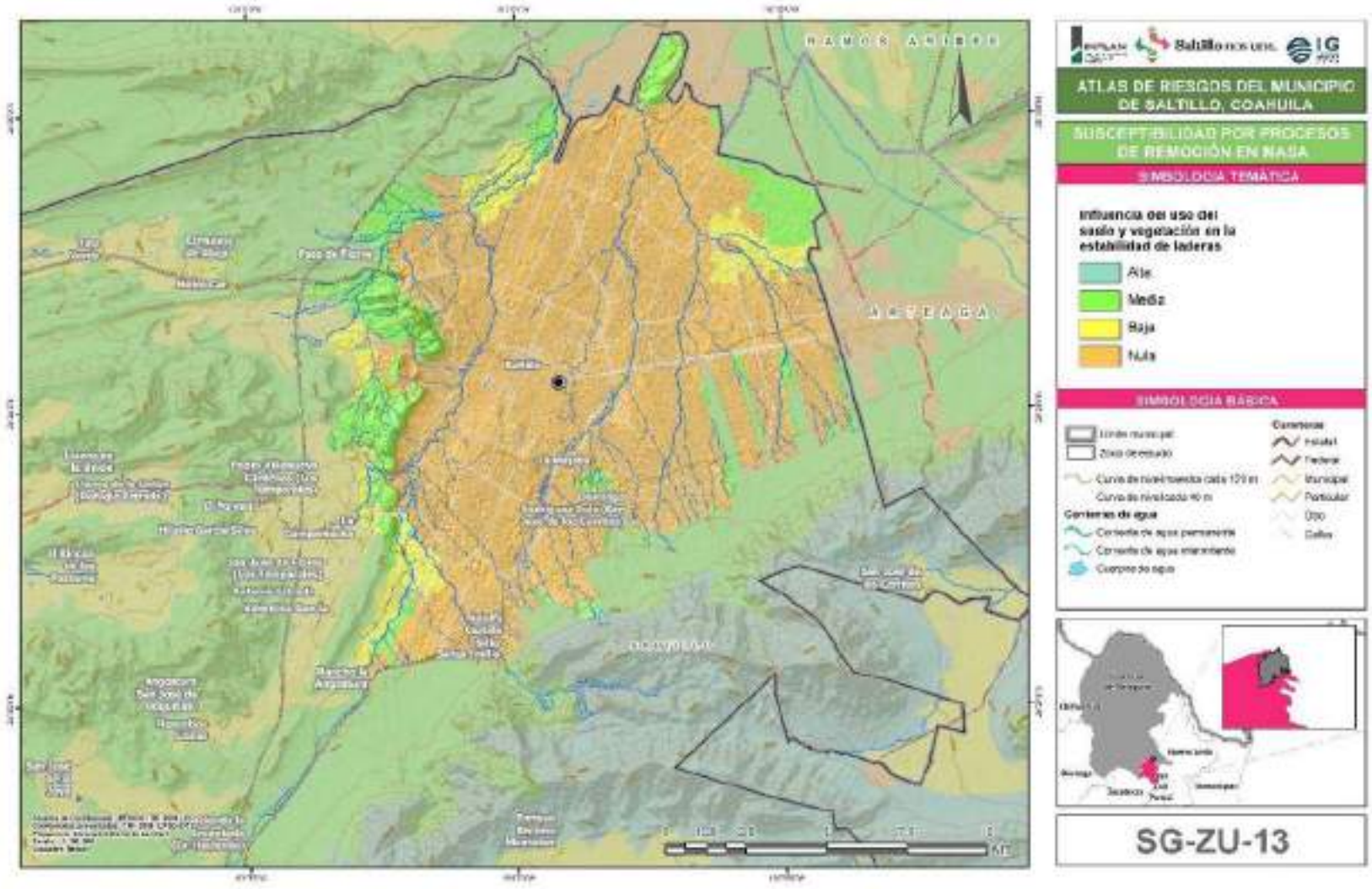
Mapa 10. Uso del suelo y vegetación en la Zona Metropolitana de Saltillo, Coah., y su área de influencia



Fuente: elaboración propia con base en datos vectoriales del INEGI, Esc. 1 : 250, 000.

A partir de estos criterios y de acuerdo con los atributos del mapa de uso del suelo, además de vegetación, Esc. 1: 250, 000 del INEGI (Mapa 10), se realizó una reclasificación cualitativa de acuerdo con el porcentaje de cobertura, tipo de vegetación y uso del suelo; asignado cuatro valores en función de su influencia en la fijación del terreno, cuyo resultado se muestra en el Mapa 11.

Mapa 11. Influencia del uso del suelo y vegetación en la estabilidad de laderas



Fuente: elaboración propia con base en datos vectoriales del INEGI, Esc. 1 : 250, 000.

Con respecto a los factores de ponderación considerados, se tienen los siguientes resultados:

Tabla 35. Factores de ponderación para la cobertura vegetal

Descripción	Descripción
Zonas urbanas y/o desnudas	Vegetación inexistente o muy alterada
Arbustos, terrenos cultivo	Praderas, zonas cultivadas, pastizales
Vegetación secundaria y xerófita	Arbustos, vegetación secundaria y xerófita
Bosque mesófilo	Bosque mesófilo de montaña, bosque de galería
Bosque de montaña	Bosque de pino- encino/pino

Fuente: elaboración propia.

Tabla 36. Determinación de pesos para la Cobertura vegetal por el método de SAATY (EMC)

	C1	C2	C3	C4	C5	Wi	Ci	λi
C1	1	3	5	7	9	3.94	0.51	0.91
C2	1/3	1	3	5	7	2.04	0.26	1.23
C3	1/5	1/3	1	3	5	1.00	0.13	1.24
C4	1/7	1/5	1/3	1	3	0.49	0.06	1.04
C5	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0.25	0.03	0.54
Pi	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00	7.72		4.96
1/Pi	0.560	0.214	0.105	0.061	0.040			

Fuente: elaboración propia.

Tabla 37. Susceptibilidad de la cobertura vegetal

Cobertura vegetal (inestabilidad por falta de Fijación del terreno)	Pesos

C1	Vegetación inexistente o muy alterada	0.51
C2	Praderas, zonas cultivadas, pastizales	0.26
C3	Arbustos, vegetación secundaria y xerófita	0.13
C4	Bosque mesófilo de montaña, bosque de galería	0.06
C5	Bosque de pino- encino/pino	0.03
		1.00

Fuente: elaboración propia.

Mapa de susceptibilidad de procesos de remoción en masa traslacionales o planares.

Para la modelación del mapa referido se siguió la metodología usualmente utilizada a partir de un análisis multicriterio ponderado por medio de álgebra de mapas del software ArcGis v.10.4 y 10.7, en el cual se integraron las capas de pendiente, RMR (Geología), geomorfología y cobertura vegetal, asignándole a cada factor la ponderación obtenida por el método de método de jerarquías analíticas de Saaty, cuyo resumen se muestra en la Tabla 38 a continuación.

Tabla 38. Resumen de pesos ponderados utilizados para la modelación multicriterio

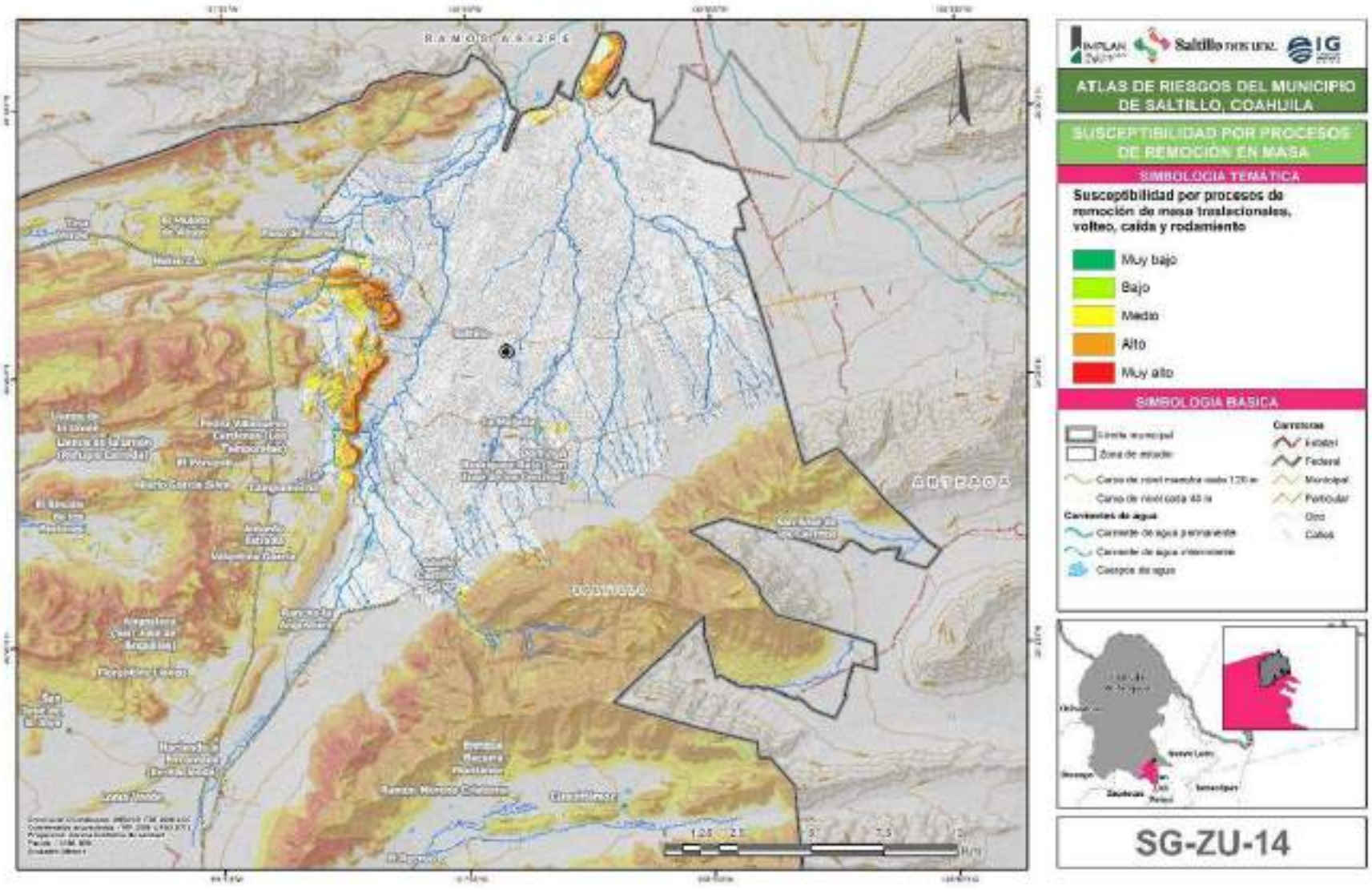
Factores Condicionantes de procesos de remoción de masa traslacionales, caída y rodamiento			
Condicionante	Peso ponderado	Rango	Peso ponderado
Pendiente (grados)	0.54	> 45	0.56
		31 - 45	0.23
		21 - 30	0.12
		11 - 20	0.06
		0 -10	0.03
RMR (Calidad roca)	0.30	Mala	0.50
		Regular	0.26
		Buena	0.13
Geomorfología (Estabilidad del relieve)	0.12	Muy Baja	0.50
		Baja	0.26
		Media	0.13
		Alta	0.07
		Muy Alta	0.04
Cobertura vegetal (Fijación por raíces)	0.04	Muy Baja	0.56
		Baja	0.23
		Media	0.12
		Alta	0.06
		Muy Alta	0.03

Fuente: elaboración propia, según los valores ponderados obtenidos.

A partir de dicho proceso se obtuvo el mapa Esc. 1: 50, 000 de susceptibilidad a los procesos de remoción de masa traslacional o planar, caída y rodamiento en la Zona Metropolitana de Saltillo (Mapa 12), a partir del cual se generaron los mapas de peligro para diferentes periodos de retorno por lluvia máxima en 24 h que se ilustran en el apartado de resultados a escalas 1: 50, 000 y 1: 10, 000.

Como puede observarse en el mapa referido, únicamente se han analizado las zonas sujetas a los deslizamientos caracterizados en este capítulo, discriminando las zonas donde no pueden ocurrir estos fenómenos debido a sus características geológicas, así como geomorfológicas; que se tratan en el apartado sobre procesos de remoción rotacionales, flujos de lodo, derrubios y reptación del terreno.

Mapa 12. Susceptibilidad por procesos de remoción de masa traslacionales, volteo, caída y rodamiento.



Fuente: elaboración propia a partir de álgebra de mapas.

Procesos de remoción en masa rotacionales, flujos de lodo, derrubios y reptación del terreno

Como ya ha sido mencionado en el capítulo anterior, existe una clara diferencia entre los procesos de remoción planares o traslacionales que se presentan en material rocoso (mecánica de rocas) y los procesos rotacionales, flujos, adempas de reptación que se originan en materiales friccionantes (gravas y arenas) y cohesivos (tales como: arcillas, también sus mezclas con limo y arena fina, mecánica de suelos). Debido a lo anterior, a excepción de la pendiente, los factores condicionantes considerados son diferentes para la evaluación del peligro por movimientos rotacionales, así como flujos.

Inestabilidad del suelo (resistencia al corte, ángulo de fricción interna φ′)

Los parámetros cruciales para el deslizamiento o falla en materiales friccionantes y cohesivos son: la fricción, además de la cohesión. La modelación matemática del fenómeno de falla a una fuerza cortante en un deslizamiento se realiza utilizando las teorías de la resistencia de materiales, por lo que las rocas, así como los suelos al fallar al corte se comportan de acuerdo con las teorías tradicionales de fricción y cohesión, según la ecuación generalizada de Coulomb:

$\tau = c' + (\sigma - \mu)Tan\phi'$ (para suelos saturados)

$\tau = c' + (\sigma - \mu)Tan\phi' + (\mu - \mu a)\ Tan\ \phi'$ (para suelos parcialmente saturados)

Donde:

τ = Esfuerzo de resistencia al corte

c' = cohesión o cementación efectiva

σ = Esfuerzo normal total

μ = Presión del agua intersticial o de poro

μa = Presión del aire intersticial

ϕ' = Angulo de fricción interna del material

En la expresión anterior se requiere predefinir los parámetros, ángulo de fricción y cohesión, los cuales se consideran como propiedades intrínsecas del suelo. El suelo obtiene su resistencia al corte a partir de los parámetros señalados. En suelos granulares, donde no hay prácticamente cohesión, la resistencia al corte es puramente friccional; por el contrario, en suelos cohesivos, predominan las fuerzas de cohesión y la fricción se considera prácticamente nula,

Por otra parte, la presencia del agua reduce el valor de la resistencia del suelo dependiendo de las presiones internas o de poro de acuerdo con la ecuación de Coulomb, en la cual el factor μ está restando al valor de la presión normal. La presión resultante se le conoce como presión efectiva σ'

De las consideraciones anteriores se adoptó el parámetro de fricción interna para la caracterización de ambos materiales; ya que, a mayor ángulo de fricción interna, mayor estabilidad se tiene en laderas y taludes.

Para tal efecto, se obtuvieron diversas muestras de suelo durante los recorridos de campo y de acuerdo con la clasificación obtenida (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos conocido como SUCS) y los resultados de las pruebas de permeabilidad realizadas en campo, se correlacionaron con valores de fricción interna (ϕ') reportados por diversos autores (Tabla 39, Tabla 39 y Tabla 41); lo cual no pretende sustituir las pruebas de laboratorio que habrán de realizarse en casos particulares o para una caracterización detallada, sino para definir zonas susceptibles de deslizamiento rotacional, flujo de lodos, flujo de derrubios, reptación o incluso hundimientos por tubificación.

Tabla 39. Propiedades comunes de los suelos granulares no cohesivos

Material	Compacidad	Densidad Relativa	N (SPT)	γ_{seca} (g/cm^3)	Relación de vacíos	Ángulo de fricción interna
GW: gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena	Densa	75%	90	2.21	0.22	40°
	Media	50%	55	2.08	0.28	36°
	Suelta	25%	< 28	1.97	0.36	32°
GP: gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena	Densa	75%	70	2.04	0.33	38°
	Media	50%	50	1.92	0.39	35°
	Suelta	25%	< 20	1.83	0.47	32°
SW: arenas bien graduadas, arenas gravosas	Densa	75%	65	1.89	0.43	37°
	Media	50%	35	1.79	0.49	34°
	Suelta	25%	< 15	1.70	0.57	30°
SP: arenas mal graduadas, arenas gravosas	Densa	75%	50	1.76	0.52	36°
	Media	50%	30	1.67	0.60	33°
	Suelta	25%	< 10	1.59	0.65	29°
SM: arenas limosas	Densa	75%	45	1.65	0.62	35°
	Media	50%	25	1.55	0.74	32°
	Suelta	25%	< 8	1.49	0.80	29°
ML: limos inorgánicos, arenas muy finas	Densa	75%	35	1.49	0.80	33°
	Media	50%	20	1.41	0.90	31°
	Suelta	25%	< 4	1.35	1.00	27°

donde: γ seca: peso unitario seco

Fuente: Casagrande, A. (1948) "Classification and Identification of Soils", Transactions ASCE, 113, p. 901, 992.

Tabla 40. Propiedades geomecánicas de los suelos

Suelo	Granulometría		Coef. Uniformidad	Límites de Atterberg			Pesos unitarios		
	< 0.06 mm	< 2.0 mm	CU	LL	LP	IP	γ	γ'	ω_n
	%	%		%	%	%	[kN/m^3]	[kN/m^3]	%
Grava uniforme	< 5	< 60	2 - 5	-	-	-	16 - 19	9.5 - 10.5	4 - 1
Grava arenosa con pocos finos	< 5	< 60	10 - 100	-	-	-	21 - 23	11.5 - 13.5	6 - 3
Grava arenosa con finos limosos o arcillosos que no alteran la estructura granular	8 - 15	< 60	30 - 300	20 - 45	16 - 25	4 - 25	21 - 24	11.5 - 14.5	9 - 3
Mezcla de gravas y arenas envueltas por finos	20 - 40	< 60	100 - 1000	20 - 50	16 - 25	4 - 30	20 - 22.5	10.5 - 13.0	13 - 6
Arena uniforme - fina	< 5	100	1.2 - 3	-	-	-	16 - 19	9.5 - 11.0	22 - 8
Arena uniforme - gruesa	< 5	100	1.2 - 3	-	-	-	16 - 19	9.5 - 11.0	16 - 6
Arena bien gradada y arena con grava	< 5	> 60	6 - 15	-	-	-	18 - 21	10 - 12	12 - 5
Arena con finos que no alteran la estructura granular	8 - 15	> 60	10 - 50	20 - 45	16 - 25	4 -25	19 - 22.5	10.5 -13.0	15 -4
Arena con finos que alteran la estructura granular	20 - 40	> 60 , > 70	30 - 500	20 - 50	16 - 30	4 - 30	18 - 21	9.0 - 11.0	20 - 8
Limo poco plástico	> 50	> 80	5 - 50	25 - 35	21 - 28	4 - 11	17.5 - 21	9.5 - 11	28 - 15
Limo de plasticidad media a alta	> 80	100	5 - 50	35 - 60	22 - 25	7 - 25	17 - 20	8.5 - 10.5	35 - 20
Arcilla de baja plasticidad	> 80	100	6 - 20	25 - 35	15 - 22	7 - 16	19 - 22	9.5 - 12.0	28 - 14
Arcilla de plasticidad media	> 90	100	5 - 40	40 - 50	18 - 25	16 - 28	18 - 21	8.5 - 11	38 - 18
Arcilla de alta plasticidad	100	100	5 - 40	60 - 85	20 - 35	33 - 55	16.5 - 20	7 - 10	55 - 20
Limo o arcilla orgánicos	> 80	100	5 - 30	45 - 70	30 - 45	10 - 30	15.5 -18.5	5.5 - 8.5	60 - 26
Turba	-	-	-	-	-	-	10.4 -12.5	0.4 - 2.5	800 - 80
Fango	-	-	-	100 - 250	30 - 80	50 - 170	12.5 - 16	2.5 - 6	160 - 50

Suelo	Proctor		Compresibilidad oedométrica $E_{oed} = E_0 \cdot \sigma_{at}\left(\frac{\sigma}{\sigma_{at}}\right)^n$		Resistencia al corte			Permeabilidad
	γ_{opt}	ω_{opt}	E_0	n	ϕ'	c'/σ'_{vc}	$\phi'r$	k
	[T/m^3]	%	[-]	[-]	[°]	[-]	[°]	[m/s]
Grava uniforme	1.7 - 1.9	8 - 5	400 - 900	0.6 - 0.4	34 - 42	-	32 - 35	$2*10^{-1}$ - 10^{-2}
Grava arenosa con pocos finos	2 - 2.25	7 - 4	400 - 1100	0.7 - 0.5	35 - 45	-	32 - 35	10^{-2} - 10^{-6}
Grava arenosa con finos limosos o arcillosos que no alteran la estructura granular	2.1 - 2.35	7 - 4	400 - 1200	0.7 - 0.5	35 - 43	0.01 - 0	32 - 35	10^{-5} - 10^{-8}
Mezcla de gravas y arenas envueltas por finos	1.9 - 2.2	10 - 5	150 - 400	0.9 - 0.7	28 - 35	0.02 - 0.008	22 - 30	10^{-7} - 10^{-11}
Arena uniforme - fina	1.6 - 1.75	15 - 10	150 - 300	0.75 - 0.6	32 - 40	-	30 - 32	10^{-4} - $2*10^{-5}$
Arena uniforme - gruesa	1.6 - 1.75	13 - 8	250 - 700	0.7 - 0.55	34 - 42	-	30 - 34	10^{-3} - $5*10^{-4}$
Arena bien gradada y arena con grava	1.9 - 2.15	10 - 6	200 - 600	0.7 - 0.55	33 - 41	-	32 - 34	$5*10^{-4}$ - $2*10^{-5}$
Arena con finos que no alteran la estructura granular	2 - 2.2	11 -7	150 - 500	0.8 - 0.65	32 - 40	0.01 - 0	30 - 32	$2*10^{-5}$ - $5*10^{-7}$
Arena con finos que alteran la estructura granular	1.7 - 2	19 - 12	50 - 250	0.9 - 0.75	25 - 32	0.03 - 0.01	22 - 30	$2*10^{-6}$ - 10^{-9}
Limo poco plástico	1.6 - 1.8	22 - 15	40 - 110	0.8 - 0.6	28 - 35	0.01 - 0.003	25 - 30	10^{-5} - 10^{-7}
Limo de plasticidad media a alta	1.55 - 1.75	24 - 18	30 - 70	0.9 - 0.7	25 - 33	0.02 - 0.007	22 - 29	$2*10^{-6}$ - 10^{-9}
Arcilla de baja plasticidad	1.65 - 1.85	20 - 15	20 - 50	1 .0 - 0.9	24 - 32	0.04 - 0.015	20 - 28	10^{-7} - $2*10^{-9}$
Arcilla de plasticidad media	1.55 - 1.75	23 - 17	10 - 30	1.0 - 0.95	20 - 28	0.06 - 0.02	10 - 20	$5*10^{-8}$ - 10^{-10}
Arcilla de alta plasticidad	1.45 - 1.65	27 - 20	6 - 20	1 - 1	12 - 20	0.1 - 0.03	6 - 15	10^{-9} - 10^{-12}
Limo o arcilla orgánicos	1.45 - 1.7	27 - 18	5 - 20	1 - 0.9	18 - 26	0.05 - 0.02	15 - 22	10^{-9} - 10^{-11}
Turba	-	-	3 - 8	1 - 1	24 - 30	0.025 - 0.008	-	10^{-5} - 10^{-8}
Fango	-	-	4 - 10	1 - 0.9	18 - 26	0.025 - 0.008	-	10^{-7} - 10^{-9}
σ_{at}: presión atmosférica = 101 kPa								
σ'_{vc} : esfuerzo efectivo vertical								
$\phi'r$: ángulo de fricción residual								

Fuente: Handbook of geotechnical engineering, 2002.

Con base en los datos anteriores y la clasificación de suelos determinada en campo se calcularon los pesos ponderados por el método de jerarquías analíticas de Saaty según se muestra en la Tabla 41 y

Tabla 42:

Tabla 41. Determinación de pesos para el ángulo de fricción interna ϕ por el método de SAATY (EMC)

	C1	C2	C3	C4	Wi	Ci	λi
C1	1.00	3	7	9	3.71	0.58	0.92
C2	1/3	1.00	5	7	1.85	0.29	1.25
C3	1/7	1/5	1.00	5	0.61	0.10	1.27
C4	1/9	1/7	1/5	1.00	0.24	0.04	0.81
Pi	1.59	4.34	13.20	22.00	6.41		4.25
1/Pi	0.63000	0.23026	0.07576	0.04545			

Fuente: elaboración propia.

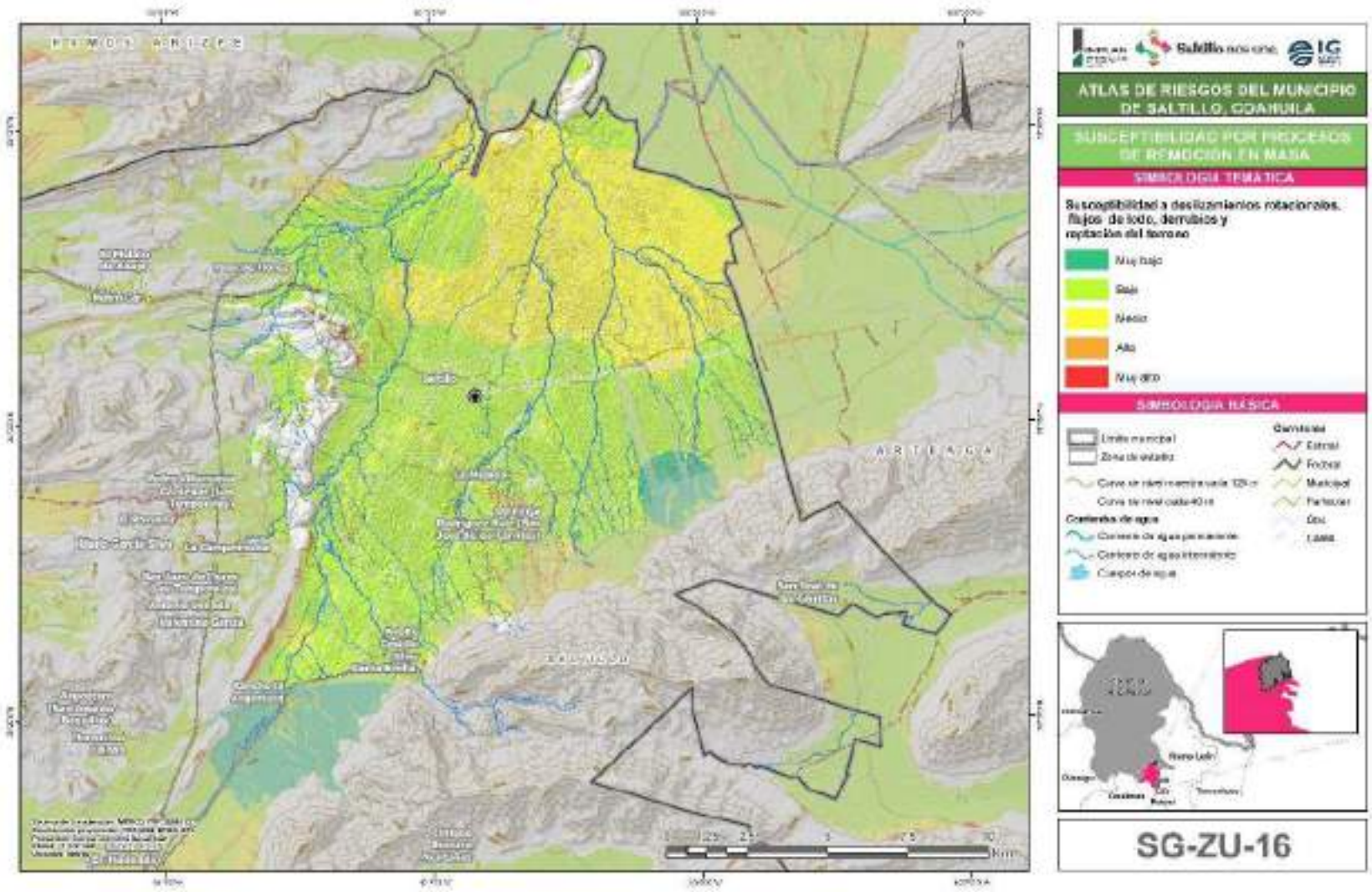
Tabla 42. Susceptibilidad del ángulo de fricción interna ϕ de los suelos

Ángulo de fricción interna ϕ´ (resistencia al corte)		Pesos
C1	24 - 28	0.58
C2	29 - 33	0.29
C3	34 - 37	0.10
C4	38 - 45	0.04
		1.00

Fuente: Elaboración propia.

En segundo término, se estimó la importancia de la altura relativa o desnivel de laderas, además de taludes presentes en las zonas coluviales y márgenes de los arroyos, ya que es donde se han presentado mayor cantidad de reportes. Este factor se refiere principalmente a la diferencia altitudinal o relieve de la red hídrica dentro del Valle de Saltillo con respecto al plano inclinado que forma el mismo valle, formando curvas de nivel tangentes a la configuración del terreno (Mapa 13).

Mapa 13. Relieve de la red hidrográfica en la Zona Metropolitana de Saltillo, Coah.



Fuente: elaboración propia, a partir del modelo de elevación digital obtenido con LIDAR 5m del INEGI.

De los datos obtenidos en el análisis espacial, se estimaron los pesos ponderados por el método de jerarquías analíticas de Saaty, según se muestra a continuación en las tablas siguientes:

Tabla 43. Pesos ponderados del factor Desnivel por el método de SAATY (EMC)

	C1	C2	C3	C4	C5	Wi	Ci	λi
C1	1	3	5	7	9	3.94	0.51	0.91
C2	1/3	1	3	5	7	2.04	0.26	1.23
C3	1/5	1/3	1	3	5	1.00	0.13	1.24
C4	1/7	1/5	1/3	1	3	0.49	0.06	1.04
C5	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0.25	0.03	0.54
Pi	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00	7.72		4.96
1/Pi	0.560	0.214	0.105	0.061	0.040			

Fuente: elaboración propia.

Tabla 44. Susceptibilidad del factor Desnivel

Desnivel (m)		Pesos
C1	60 - 26	0.51
C2	25 - 18	0.26
C3	17 - 12	0.13
C4	11 - 7	0.06
C5	6 - 0	0.03
		1.00

Fuente: elaboración propia.

Precipitación máxima normal en 24 h de acuerdo con datos registrados por el SMN en el periodo: 1951 -2010.

La estimación de condiciones de lluvia que desencadenan deslizamientos, o más apropiadamente remociones en masa, se puede realizar por medio de modelos basados en leyes físicas que contemplan las leyes de conservación de masa, así como momento o fuerza, involucrados en la infiltración del agua dentro del material rocoso y el suelo. Estos cálculos son demasiado costosos cuando se aplican a grandes superficies, como en este caso, debido a que involucran una considerable serie de mediciones, además de pruebas de laboratorio.

Por lo anterior, se ha recurrido a la aplicación de umbrales de lluvia que han sido determinados según numerosos casos documentados en diferentes partes del país y que han detonado el fenómeno de remoción en masa. De dichas experiencias y de acuerdo con los rangos establecidos por el CENAPRED, particularmente en el caso del estado de Coahuila, los umbrales determinados para la modelación de peligros geológicos se muestran dentro de la Tabla 45 continuación.

Tabla 45. Umbrales determinados para la modelación de peligros geológicos

	SEMARNAT 1941-2017 Lluvia promedio por entidad federativa, mm	Umbrales de lluvia		
		Muy Alto (mm)	Alto (mm)	Medio (mm)
1. Golfo de México				
Tabasco	2396	585	438	292
Veracruz de Ignacio de la Llave	1511	369	277	184
Puebla	1278	312	234	156
Hidalgo	795	194	145	97
Oaxaca	1489	363	272	182
2. Golfo Norte				
Tamaulipas	778	190	142	95
Nuevo León	613	150	112	75
3. Centro y Eje Neovolcánico				
Estado de México	863	211	158	105
Morelos	942	230	172	115
Ciudad de México	713	174	130	87
Tlaxcala	715	174	131	87
Querétaro	571	139	104	70
4. Pacífico Sur				
Chiapas	1995	487	365	243
Guerrero	1116	272	204	136
Oaxaca	1489	363	272	182
5. Pacífico Norte				
Michoacán de Ocampo	815	199	149	99
Colima	939	229	172	115
Jalisco	830	203	152	101
Nayarit	1099	268	201	134
6. Golfo BC-Coahuila				
Coahuila de Zaragoza	341	83	62	42
Durango	499	122	91	61
Sinaloa	765	187	140	93
7. Baja California				
Baja California	200	49	37	24
8. Baja California Sur				
Baja California Sur	183	45	33	22
9. Norte				
Chihuahua	436	106	80	53
Sonora	425	104	78	52
San Luis Potosí	945	231	173	115
Zacatecas	516	126	94	63
Aguascalientes	473	116	87	58
Guanajuato	618	151	113	75
Península de Yucatán - Zonas Llanas				
Campeche	1198	292	219	146
Quintana Roo	1276	311	234	156
Yucatán	1078	263	197	132

Significado de los rangos:

Muy Alto	Peligro muy alto, ya que al rebasarse este valor podrían presentarse varios **deslizamientos de dimensión y volumen grande**, cuyos **efectos** serían devastadores si suceden en zonas pobladas o en tramos carreteros.
Alto	Peligro alto, ya que al rebasarse este valor podría presentarse al menos un deslizamiento de dimensión y volumen grande, con daños considerables si el evento sucede en una zona poblada o en tramos carreteros.
Medio	Peligro medio, ya que al rebasarse este valor podrían presentarse caídos de roca y/o deslizamientos de tierra con volúmenes pequeños y moderados, principalmente en cortes carreteros.

Fuente: Umbrales de lluvia diaria que detonan inestabilidad de laderas por entidad federativa a partir de casos documentados (Domínguez et al, 2017).

De la tabla antecedente se establecieron los umbrales de lluvia mostrados en la Tabla 24 para la determinaron los pesos ponderados por el método de jerarquías analíticas ya comentado y cuyos resultados se tienen en las Tabla 46 y Tabla 47.

Tabla 46. Umbrales de lluvia (mm) en 24 h para Coahuila

Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo
> 82	62-82	42-61	41 – 20	< 20

Fuente: elaboración propia a partir de umbrales de lluvia establecidos en la Tabla anterior.

Tabla 47. determinación de pesos para la precipitación máxima normal (1951-2010) diaria, por el método de SAATY (EMC)

	C1	C2	C3	C4	C5	Wi	Ci	LAMDAi
C1	1	3	5	7	9	3.94	0.51	0.91
C2	1/3	1	3	5	7	2.04	0.26	1.23
C3	1/5	1/3	1	3	5	1.00	0.13	1.24
C4	1/7	1/5	1/3	1	3	0.49	0.06	1.04
C5	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0.25	0.03	0.54
Pi	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00	7.72		4.96
1/Pi	0.560	0.214	0.105	0.061	0.040			

Fuente: elaboración propia

Tabla 48. Umbrales de Precipitación Máxima Normal 24 h (mm)

Factor	Rangos	Pesos
C1	> 82	0.51
C2	62 - 82	0.26
C3	42 - 61	0.13
C4	41 - 20	0.06
C5	< 20	0.03
		1.00

Fuente: elaboración propia.

Por último, se consideró la pendiente del terreno que también influye directamente en la inestabilidad de laderas y taludes, la cual ya se mostró en el apartado anterior.

A partir de los pesos ponderados obtenidos para cada uno de los factores antes descritos, se realizó a su vez la ponderación de los factores condicionantes por el método multicitado según se muestra en la Tabla 49.

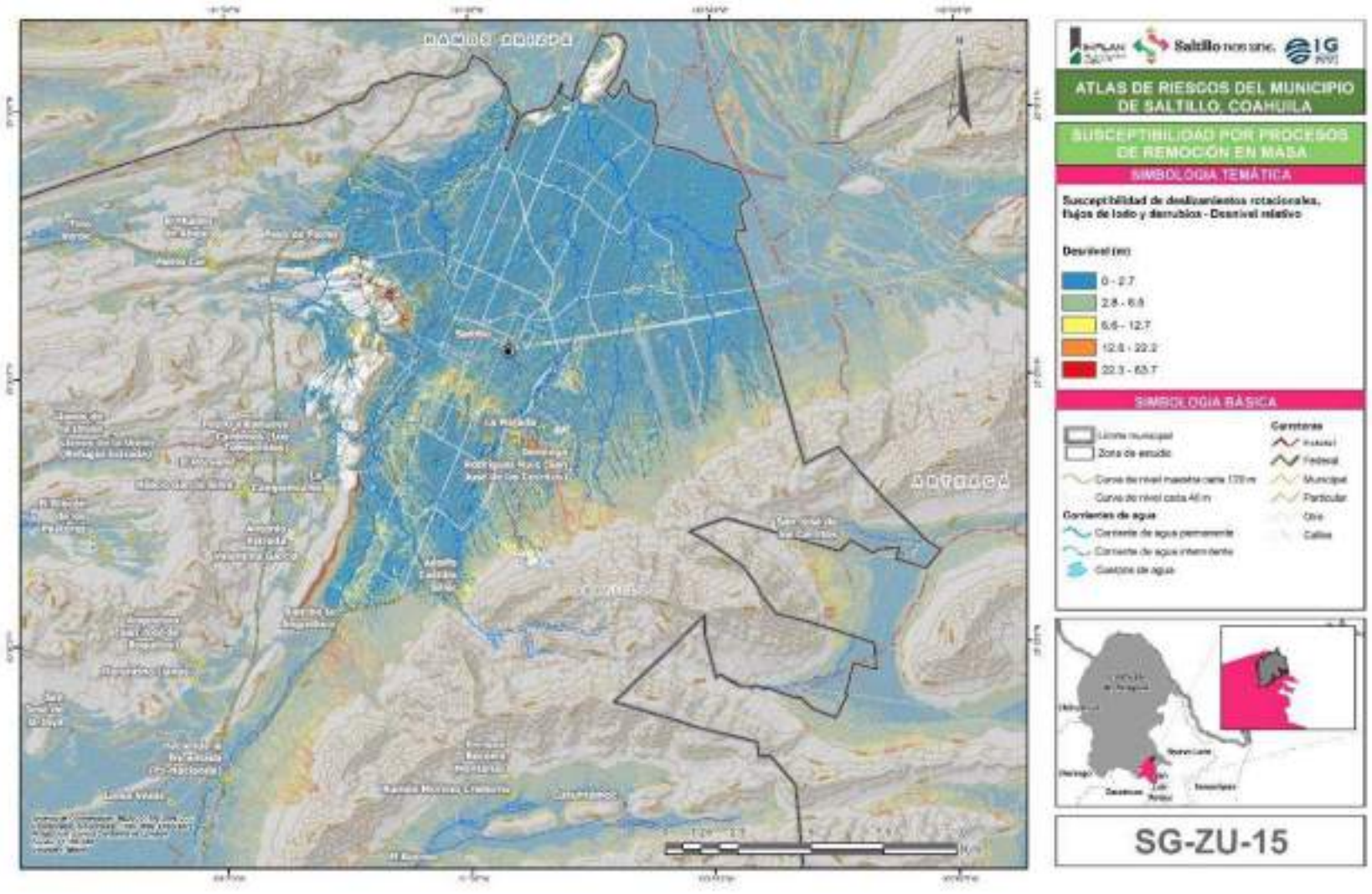
Tabla 49.Factores condicionantes de los procesos de remoción en masa rotacionales, flujos de lodo, derrubios y reptación del terreno

Condicionante	Peso ponderado	Rango	Peso ponderado
Inestabilidad del Suelo (Resistencia al Corte, ϕ´)	0.54	24 - 28	0.57
		29 - 33	0.28
		34 - 37	0.11
		38 - 45	0.04
Desnivel (m)	0.3	26 - 60	0.50
		18 - 25	0.26
		12 - 17	0.13
		7 - 11	0.07
		0 -6	0.04
Precipitación Max 24h Normal (mm) Periodo: 1951-2010 SMN	0.12	> 82	0.50
		62 - 82	0.26
		42 - 61	0.13
		41 - 20	0.07
		< 20	0.04
Pendiente (grados)	0.04	> 45	0.56
		31 - 45	0.23
		21 - 30	0.12
		11 - 20	0.06
		0 -10	0.03

Fuente: elaboración propia a partir de análisis de los procesos de tipo rotacional y flujos.

Realizando operaciones de álgebra de mapas con el programa ArcGis 10.x se obtiene el mapa de susceptibilidad mostrado en el Mapa 14.

Mapa 14. Susceptibilidad a los procesos de remoción de masa de tipo rotacional, flujo de lodo, derrubios y reptación del terreno.



Fuente: elaboración propia a partir del análisis multicriterio ponderado en ArcGis 10.x.

Factores desencadenantes

Precipitación

Los procesos de remoción en masa (PRM) generados por lluvia, constituye una de las amenazas naturales más recurrentes en los centros urbanos que se encuentran cercanos o incluso integrados dentro de una topografía accidentada, como es el caso de algunas de las colonias ubicadas en la ciudad de Saltillo.

Aunque los PRM pueden estar asociados con varias causas, la precipitación se considera como el factor desencadenante que es capaz de originar una respuesta inmediata en el desplazamiento del material que forma las laderas, ya sea por la reducción de la fricción o el incremento de los esfuerzos dentro del material litológico (Atiztizábal, Gamboa & Leotz, 2010ª); por lo que la lluvia ha sido uno de los factores detonantes más estudiados en los procesos de remoción en masa.

Según Aristizábal et al. (2010ª), la definición de umbrales críticos de precipitaciones detonantes es un aspecto en el que se centra la mayoría de las investigaciones que buscan relacionar la lluvia con la incidencia de los PRM. La determinación de estos umbrales críticos, definidos a partir de modelos físicos o estadísticos y combinados con pronósticos de lluvias y el monitoreo en tiempo real, ha sido aplicada en los últimos años como parte integral de sistemas de alerta temprana.

En 2016, el CENAPRED propuso inicialmente, una serie representativa de umbrales de lluvias detonantes de PRM para ocho regiones del país. Estas se basan en el análisis de las gráficas de lluvia acumulada y su relación con la ocurrencia de deslizamientos. De acuerdo con esta relación, así como la precipitación media anual de cada estado para el periodo 1941-2005, se determinaron los umbrales de lluvia para cada uno de ellos, según se puede consultar en la Tabla 24 del inciso antecedente. De dicha tabla se tiene que en el Estado de Coahuila se propone un umbral medio de 42 mm, uno alto de 62 mm y uno muy alto de 83 mm.

De los datos anteriores y considerando los valores de precipitación máxima en 24 h calculados para diferentes periodos de retorno (obtenidos a partir de la aplicación de diferentes funciones de distribución de probabilidad), se tiene la Tabla 50 donde los diferentes colores representan el umbral de peligro para que se desencadenen procesos de remoción en masa, mismos que fueron aplicados para obtener los mapas de peligro geológicos correspondientes.

Tabla 50. Umbrales de precipitación por periodo de retorno

Precipitación Máxima 24h por periodo de retorno (mm/día)				
Tr 2	Tr 5	Tr 10	Tr 25	Tr 50
24.6-	42.8-	44.8-58.0	26.1-57.0	12.8-54.0
30.1-	50.1-	58.1-72.0	57.1-87.0	54.1-96.0
40.1-	56.1-	72.1-86.0	87.1-	96.1-
46.1-	64.1-	86.1-	117.1-	137.7-
53.1-	73.1-	100.1-	148.1-	178.1-

Umbral:	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

Fuente: elaboración propia, a partir de umbrales de lluvia diaria CENAPRED y cálculos hidrológicos propios.

Sismicidad

En este apartado se consideran las aceleraciones máximas en roca obtenidas a partir del análisis de peligro sísmico utilizando el programa R-CRISIS Ver 20.3.0, creado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, considerando únicamente los periodos de retorno de 50 y 200 años.

Como factor desencadenante, un sismo genera el aumento de esfuerzos cortantes, disminución de resistencia por aumento de la presión de poros, así como deformación asociada con la onda sísmica; pudiéndose llegar a la falla al esfuerzo cortante y hasta la licuación, en el caso de suelos granulares saturados. Esta situación se vuelve crítica cuando se combinan diferentes factores de susceptibilidad, tales como: factores topográficos, geológicos, climáticos y sísmicos (Suárez Díaz Jaime. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. 1998. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, p. 303).

De acuerdo con Keefer (1984) la posibilidad de deslizamientos causados por sismos se puede agrupar según la Tabla 51 mostrada a continuación.

Tabla 51. Posibilidad de deslizamientos causados por sismos (Keefer, 1984)

Magnitud del sismo	Tipo de deslizamiento producido
4.0	Caídos de roca, deslizamientos de roca, caídos de suelo y alteración de masas de suelo
4.5	Deslizamientos de traslación, rotación y bloques de suelo
5.0	Flujos de suelo, desplazamientos laterales, deslizamientos subacuáticos.
6.0	Avalanchas de roca
6.5	Avalanchas de suelo

Fuente: Keefer, 1984.

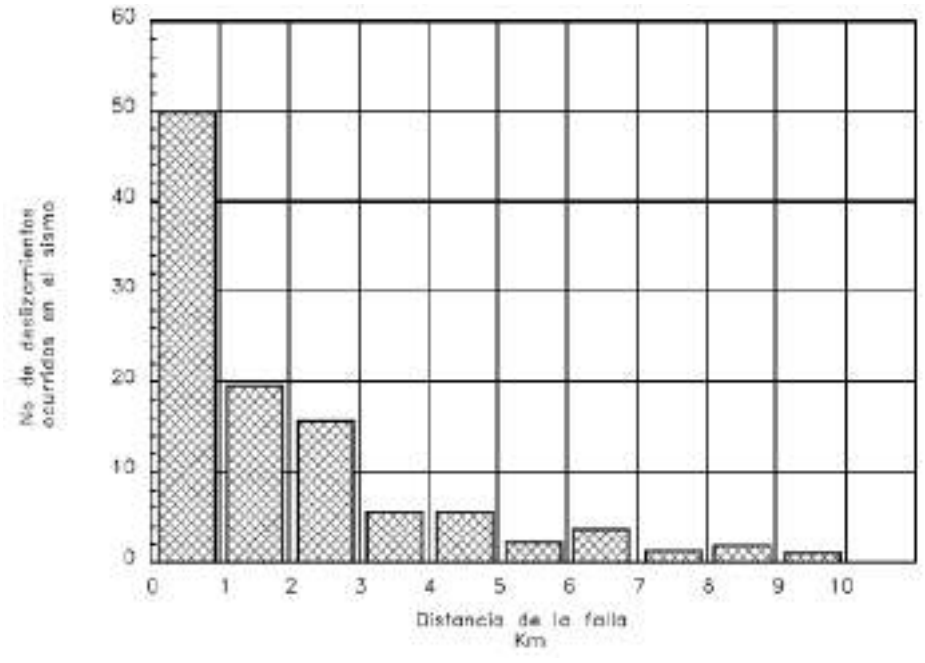
Como puede observarse en la tabla anterior, es evidente que la inestabilidad aumenta con la magnitud del sismo, principalmente cuando dicha magnitud es mayor a una magnitud seis y la fuente de energía es poco profunda. Esto es particularmente importante para el caso del municipio de Saltillo, ya que, como se ha descrito, las magnitudes registradas recientemente han llegado a 4.6 Mw y sus hipocentros o focos se consideran poco profundos.

Parámetros relacionados con el movimiento sísmico

La aceleración producida por un sismo es el parámetro que se utiliza con mayor frecuencia para el análisis sísmico de laderas y taludes en un determinado sitio, se descompone en tres componentes, dos en sentido horizontal (norte – sur y este – oeste) y una vertical.

La aceleración máxima horizontal (PGA) es el valor absoluto de la aceleración horizontal obtenida de un acelerograma. Las aceleraciones verticales no reciben igual atención que las horizontales, ya que, se supone que su efecto sobre las estructuras es menor (2/3 de la aceleración horizontal); no obstante, en sitios muy cercanos al epicentro las aceleraciones verticales son mayores y en sitios muy alejados, las aceleraciones decrecen notablemente Figura 32. Aceleraciones y deslizamientos cosísmicos a diferentes distancias de una falla activa en el terremoto de Kobe, Japón, 1995).

Figura 32. Aceleraciones y deslizamientos cosísmicos a diferentes distancias de una falla activa en el terremoto de Kobe, Japón, 1995



Fuente: Fukuoka - Irikura, 1996, en Suárez Díaz Jaime. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. 1998.

Por otra parte, los sismos con picos altos de aceleración no siempre son los más destructivos, en comparación con los que muestran picos menores, debido a que el tiempo de duración del sismo interviene de manera importante en el comportamiento de las estructuras y los suelos (Tabla 52)

Tabla 52. Aceleración máxima y duración de sismos

Magnitud (Mw)	Duración (s)	Aceleración máxima PGA (% g)
5.0	2	9
5.5	6	15
6.0	12	22
6.5	18	29
7.0	24	37
7.5	30	45
8.0	34	50
8.5	37	50

Fuente: Housner, 1970.

Además de la aceleración pico o máxima, se tienen otros parámetros importantes, entre ellos:

- Velocidad pico (V_{max})
- Desplazamiento pico (d_{max})
- Periodo predominante de vibración (Ts)
- Longitud de onda (λ)
- Espectro de respuesta

Para fines de este trabajo y atendiendo a los conceptos antes descritos, se consultó el criterio de CENAPRED (Análisis de deslizamiento de laderas por sismo, 2019) que correlaciona la intensidad sísmica o escala de Mercalli Modificada con la aceleración máxima del terreno (PGA) en m/s^2 (Tabla 53); solo que, en este caso, la aceleración se consideró en Gal (cm/s^2), con cinco rangos de susceptibilidad para periodos de retorno de 50 y 200 años (

Tabla 54).

Tabla 53. Correlación entre aceleración PGA e intensidad en la escala de Mercalli Modificada (Mora-Vahrson, 1994)

Determinación del factor de intensidad sísmica basado en el evento de 100 años en la escala de mercalli Modificada (Mora y Vahrson, 1994)				
Intensidad MM	Aceleración PGA		Susceptibilidad	Factor (Ds)
	(%g)	(m/s2)		
III	1-12	0.098-1.226	Leve	1
IV	13-20	1.227-2.011	Muy Bajo	2
V	21-29	2.012-2.894	Bajo	3
VI	30-37	2.895-3.679	Moderado	4
VII	38-44	3.680-4.365	Medio	5
VIII	45-55	4.366-4.365	Elevado	6
IX	56-65	5.446-6.426	Fuerte	7
X	66-73	6.427-7.210	Bastante Fuerte	8
XI	74-85	7.211-8.388	Muy Fuerte	9
XII	>85	>8.389	Extremadamente Fuerte	10

Fuente: adaptado de Análisis de deslizamiento de laderas por sismo. 2019. CENAPRED.

Tabla 54. Aceleraciones máximas del terreno en la zona metropolitana de Saltillo, para Tr = 50 y 200 años

Aceleraciones máximas en el Mpio. de Saltillo para Ts = 0.15 s, por periodos de retorno de 50 y 200 años.			
Tr =50		Tr=200	
Gal (cm/s2)	Intensidad	Gal (cm/s2)	Intensidad
2.8 - 6.0	II - III	10.2-15.0	III – IV
6.1 - 20.0	II -IV	15.1-30.0	IV
20.1-30.0	IV	30.1-60.0	IV - V
30.1-40.0	IV - V	60.1-147.0	V - VI
40.1-54.4	V	147.1-241.5	VI - VII
Peligro sísmico			
Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto

Fuente: elaboración propia según resultados R-CRISIS.

De los datos anteriores, se configuraron los mapas de distribución de aceleraciones máximas del terreno (PGA) que se ilustran en el capítulo sobre sismicidad.

Los peligros por remoción en masa a nivel municipal se obtuvieron a través de los siguientes procedimientos.

Para la caracterización del peligro por procesos de remoción en masa dentro del área municipal, se parte de la metodología general que ha sido establecida por el CENAPRED para la descripción de peligros geológicos que consiste en:

- Recopilación y análisis de información cartográfica disponible en fuentes como el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), el Servicio Geológico Mexicano (SGM), el Instituto de Geografía (IG) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto Municipal de Planeación Saltillo (IMPLAN), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), entre otros.

- Análisis y recopilación de datos relacionados con el tema, teniendo como fuentes de información: informes, tesis, artículos científicos, Atlas de Riesgos, artículos periodísticos, estudios técnicos relacionados, manuales, tratados, etcétera. Obtenidos de instituciones académicas y gubernamentales.

- Reconocimiento de campo. Consistente en recorridos, así como verificación de puntos de interés geológico y geotécnico, de acuerdo con la revisión previa del material cartográfico, además de documental de la zona de estudio e indicaciones de Protección Civil Municipal e IMPLAN. En los sitios seleccionados se realizaron descripciones de la geología, geología estructural, así también pruebas de clasificación de suelos (SUCS) e identificación textural.

- Estimación de parámetros morfométricos, geológicos y geotécnicos para su aplicación en la realización de cálculos, además de modelación de los fenómenos naturales sujetos a estudio tomando como base los datos recabados en campo de la geología estructural, estratificación, así como fracturamiento para su análisis y desarrollo en gabinete.

- Una vez que se tiene caracterizada la geología estructural y el medio natural del área de estudio se determinaron los factores condicionantes que definen los procesos de remoción en masa; estos se determinaron mediante la recopilación de información cartográfica en Esc. 1: 50, 000; así como datos LIDAR de 5 m Px, elaborando a partir de éstos últimos una cartografía 1: 50,000 para el área municipal de Saltillo.

- Interpretación y análisis de la cartografía generada, atendiendo a los rasgos topográficos, geomorfológicos, geológicos, además de la cobertura vegetal, orientados según sus características morfogenéticas, litológico – estructurales, así como propiedades de anclaje de la cobertura vegetal, que permiten definir de manera general la susceptibilidad a los diversos procesos de remoción en masa, así como la determinación de sitios de interés para su reconocimiento y evaluación en campo.

Tomando como base la metodología antes mencionada se obtuvo la susceptibilidad por procesos de remoción en masa para el área municipal de Saltillo, esta se generó a partir de un análisis multicriterio en sistemas de información geográfica de capas del medio natural las cuales componen los factores condicionantes del área municipal.

Estas capas son: pendiente, geología, geomorfología, uso de suelo y vegetación. Cada criterio se interpreta y se clasifica en valores de uno a cinco en según su importancia y a su vez se le asigna su peso ponderado conforme al Método de las Jerarquías Analíticas. De esta forma se tienen tres escalas: 1) cuantitativa, 2) cualitativa y 3) código de color, CENAPRED, (2016) las cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 55. Escala para la representación de los peligros de remoción en masa

Cuantitativo	Cualitativo	Color
1	Muy bajo	
2	Bajo	
3	Medio	
4	Alto	
5	Muy alto	

Fuente: elaboración propia con base en CENAPRED.

A continuación, se muestran los valores de pesos ponderados para cada factor condicionante, estos valores se asignaron acorde a la evaluación y análisis de la susceptibilidad del medio geológico bajo los diferentes procesos de remoción en masa.

Tabla 56. Pesos y nivel de importancia para los factores condicionantes de los procesos de remoción en masa

Criterio	Peso	Nivel de Importancia
Pendiente	35	Muy importante
Geología	30	Importante
Geomorfología	20	Moderadamente importante
Cobertura vegetal	15	Menos importante

Fuente: elaboración propia.

Para el caso de los factores desencadenantes acordes con la ubicación geográfica, así como características geomorfológicas y geológicas con las que cuenta el área municipal de Saltillo se tomaron en cuenta la precipitación, además de sismicidad como estos factores que potencializan y detonan los peligros ante los procesos de remoción en masa.

Precipitación

La precipitación es de suma importancia y dentro de los factores desencadenante es el que tiene mayor peso, ya que su recurrencia anual es constante, por lo que se pueden presentar lluvias extraordinarias asociadas a huracanes, lluvias convectivas y frentes fríos. Las precipitaciones originan escurrimientos importantes a partir de la saturación del suelo, así también adquieren un alto potencial erosivo por los altos relieves montañosos, así como la concentración importante de caudales en los cauces de barrancas y arroyos.

Para la estimación del potencial desencadenante de la precipitación es necesario conocer la intensidad y distribución de esta, su probabilidad de excedencia y los caudales de escurrimiento que puede generar. En segundo término, debe estimarse su impacto bajo diferentes escenarios de intensidad en los diversos medios geológicos, según su grado de susceptibilidad.

Sismicidad

Por la ubicación geográfica y las condiciones litológicas del municipio la sismicidad es un factor que tiene una menor influencia en los procesos de remoción en masa, pero puede llegar a generar un peligro considerable si se combina con la precipitación, ya que puede llegar a potencializar el desarrollo de procesos de remoción en masa; por esta razón, se consideran las aceleraciones máximas en roca obtenidas a partir del análisis de peligro sísmico utilizando el programa R-CRISIS Ver 20.3.0, creado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, considerando únicamente los periodos de retorno de 50 y 200 años

A partir de la categorización de pesos ponderados por jerarquías analíticas mencionada anteriormente, se adecuaron las capas vectoriales de uso de suelo, vegetación, además de la pendiente, también se generaron capas para la geología y geomorfología a nivel municipal, con las que posteriormente se obtuvo el mapa de susceptibilidad por procesos de remoción en masa en el municipio.

En los siguientes apartados se detallan por separado los análisis de cada factor condicionante que influyen en la formación de procesos de remoción en masa.

Pendiente

La pendiente es uno de los principales factores condicionantes para la ocurrencia de los procesos de remoción en masa, por ende, de la inestabilidad de laderas. Para su determinación se empleó información cartográfica que consiste, por ejemplo. en el modelo digital de elevación DEM de INEGI, curvas de nivel, la información obtenida del trabajo de campo, complementada con la recopilación y análisis de bibliografía del área de estudio.

Metodología para la generación de la pendiente

A partir de un modelo digital de elevación del terreno 10 m x 10 m obtenido de INEGI del área municipal se obtuvieron las pendientes y también se consiguieron las curvas de nivel a cada 20m.

Resultados

Una vez que se obtuvieron las pendientes se categorizaron en rangos y en pesos ponderados mediante una matriz de Saaty de jerarquías analíticas, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

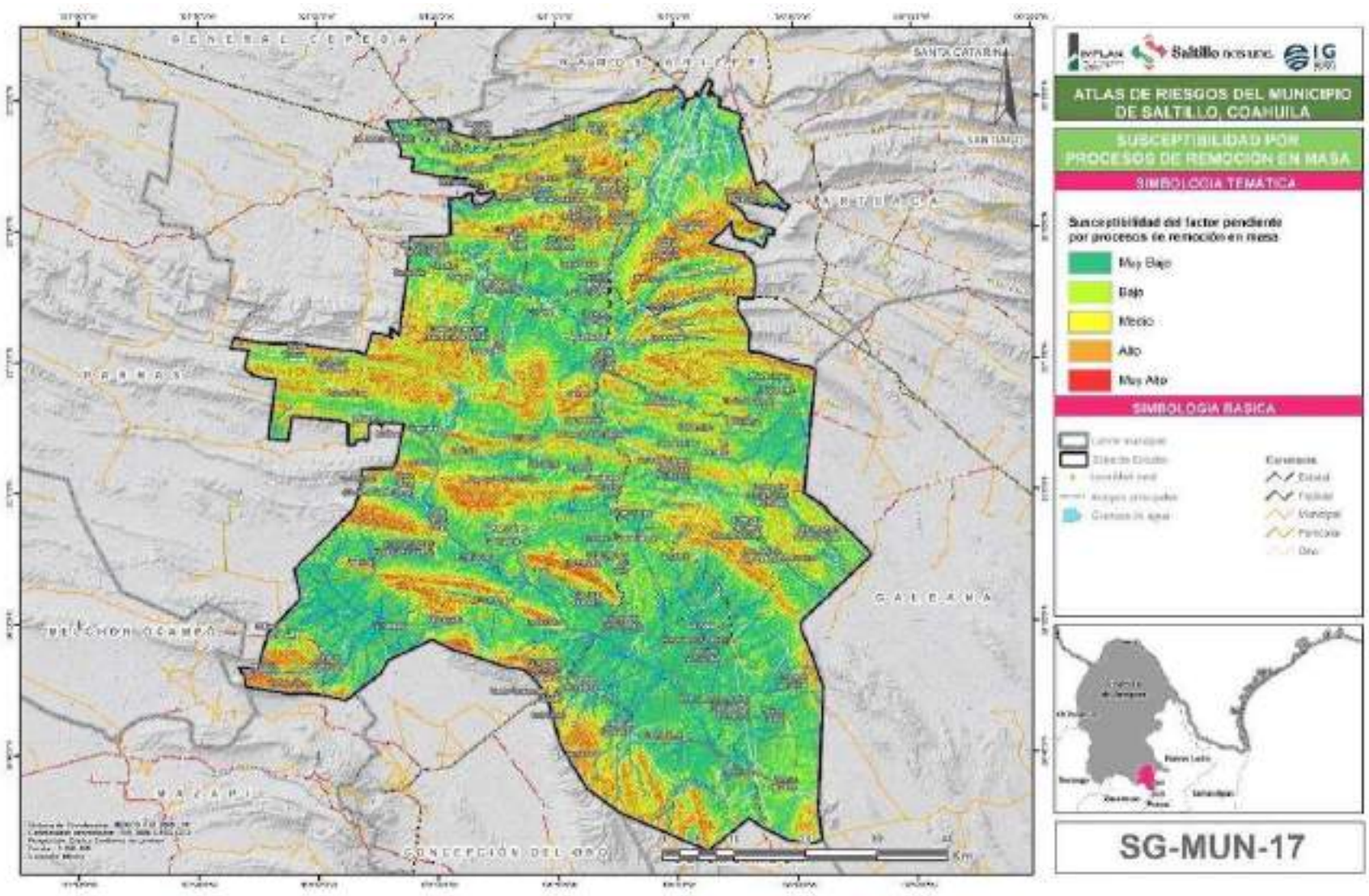
Tabla 57. Pesos para el factor pendiente

Categoría	Peso	Pendiente (%)	Cuantitativo	Color
1	3	0-5	Muy bajo	
2	7	5-15	Bajo	
3	15	15-35	Medio	
4	26	35-55	Alto	
5	49	>55	Muy alto	

Fuente: elaboración propia.

Mediante esta categorización se obtuvo una capa raster de pendientes para el área municipal, con la cual se generó el mapa de pendientes que se muestra en el Mapa 15.

Mapa 15. Pendientes ponderadas para el municipio de Saltillo



Fuente: elaboración propia.

Geomorfología

Para la elaboración del análisis geomorfológico se partió de la capa de geología del área municipal, así como la capa de pendientes previamente generada para poder desarrollar un análisis y clasificación de elementos geomorfológicos presentes en al área municipal; además, se empleó información, datos bibliográficos, el modelo digital del terreno, e información obtenida de la visita a campo.

También se realizó la recopilación y análisis de bibliografía relacionada con el tema, consultándose la información para este factor del área de estudio donde consultó la información, así como literatura referente a temas geológicos y geomorfológicos.

Una vez que se obtuvo la geomorfología del área municipal, se categorizó tanto en rangos, como en pesos ponderados mediante una matriz de Saaty de jerarquías analíticas, las cuales se muestran en la siguiente tabla.

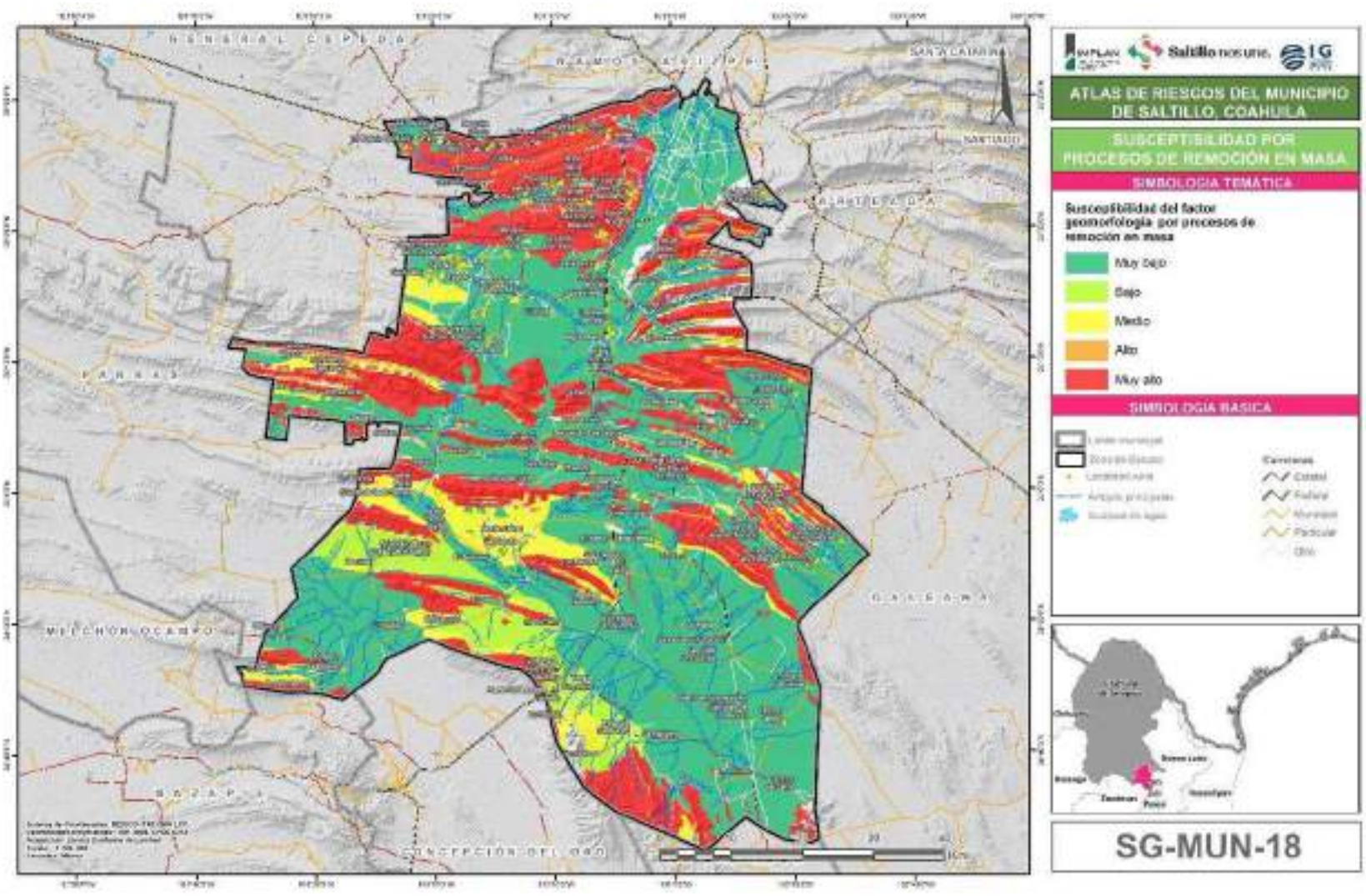
Tabla 58. Pesos para el factor geomorfología

Categoría	Peso	Geomorfología	Cuantitativo	Color
1	3	Llanura aluvial	Muy bajo	
2	7	valles intermontanos	Bajo	
3	14	Abanicos aluviales	Medio	
4	27	Cañadas con cauces	Alto	
5	49	Sierras empinadas	Muy alto	

Fuente: elaboración propia.

Mediante esta categorización se obtuvo la capa de geomorfología para el área municipal y con la cual se generó el mapa de geomorfología municipal que se muestra en el Mapa 16.

Mapa 16. Geomorfología ponderada para el municipio de Saltillo



Fuente: elaboración propia.

Cobertura del suelo

Para este tema se empleó la información cartográfica contenida en los datos vectoriales de la Serie VII de INEGI 2021 y las observaciones anotadas durante los recorridos de campo. También se recopilaron datos preexistentes para este factor, con el fin de obtener una clasificación de la influencia de la cobertura vegetal en la susceptibilidad a los procesos de remoción de masa,

resaltando que las zonas con escasa y poca vegetación son más susceptibles a dichos procesos. El desarrollo y análisis de la información fue empleada de acuerdo con los Términos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos 2018 publicados por SEDATU.

Una vez que se obtuvo la clasificación del uso de suelo, además de vegetación del área municipal y de acuerdo con la susceptibilidad de esta a los procesos de remoción en masa, se categorizó tanto en rangos, como en pesos ponderados mediante una matriz de Saaty de jerarquías analíticas los cuales muestran en la siguiente tabla.

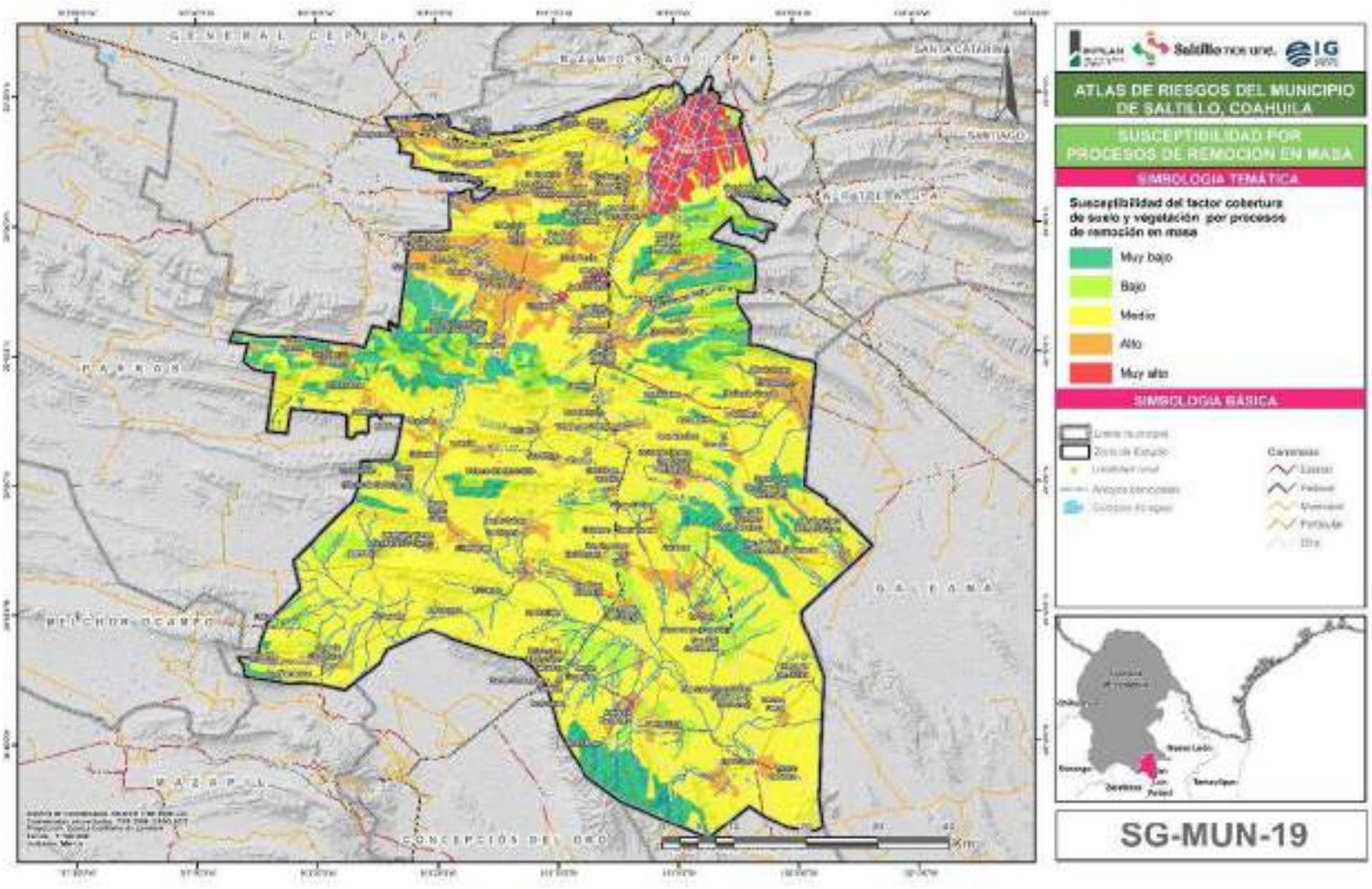
Tabla 59. Pesos para el factor cobertura de suelo

Categoría	Peso	USV	Cuantitativo	Color
1	47	Bosque	Muy bajo	
2	28	Vegetación arbustiva	Bajo	
3	15	Matorral	Medio	
4	7	Agricultura	Alto	
5	3	Área urbana	Muy alto	

Fuente: elaboración propia.

Mediante esta categorización se obtuvo la capa de cobertura del suelo ponderada para el área municipal que se muestra a en el Mapa 17.

Mapa 17. Cobertura de suelo ponderada para el municipio de Saltillo



Fuente: elaboración propia.

Geología

Para la evaluación de los tipos de litología presentes en el municipio de Saltillo, se efectuó un reconocimiento geológico de campo durante el cual se corroboró la información contenida en las cartas geológicas del Servicio Geológico Mexicano y del INEGI, de esta manera elaborar la clasificación litológica de la zona de estudio.

Una vez caracterizadas las unidades litológicas, así como su comportamiento estructural en el área municipal, se categorizó en rangos y en pesos ponderados mediante una matriz de Saaty o de jerarquías analíticas, los cuales muestran en la siguiente tabla.

Categoría	Peso	Geología	Cuantitativo	Color

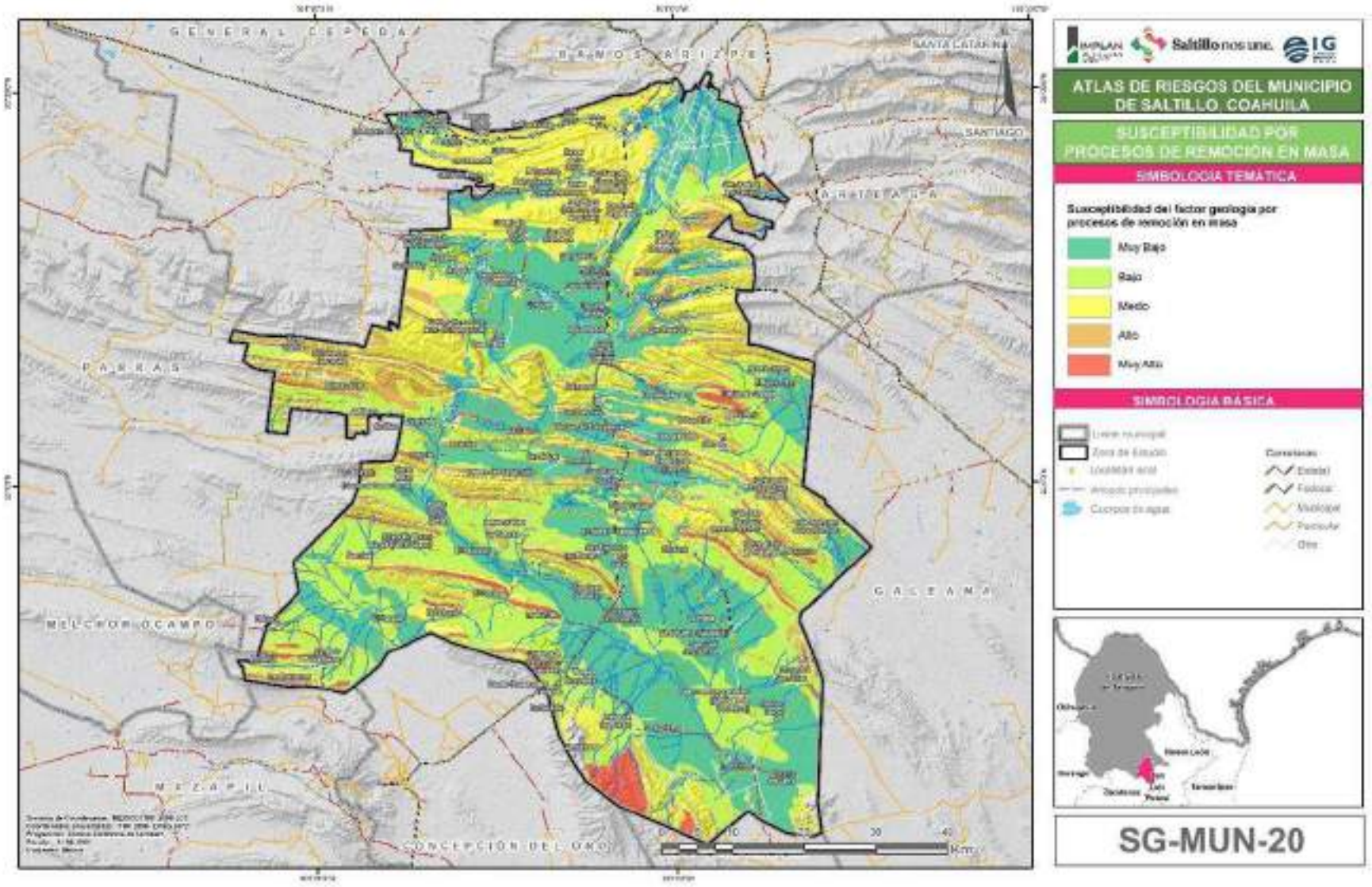
Tabla 60. Pesos para el factor geología

1	3	Depósitos coluviales	Muy bajo	
2	7	Depósitos aluviales	Bajo	
3	13	Lutitas	Medio	
4	29	Caliza gruesa	Alto	
5	48	Caliza (cerro del pueblo)	Muy alto	

Fuente: elaboración propia.

Mediante esta categorización se obtuvo la capa vectorial de geología ponderada, tal como se muestra en el Mapa 18.

Mapa 18. Geología ponderada para el municipio de Saltillo.



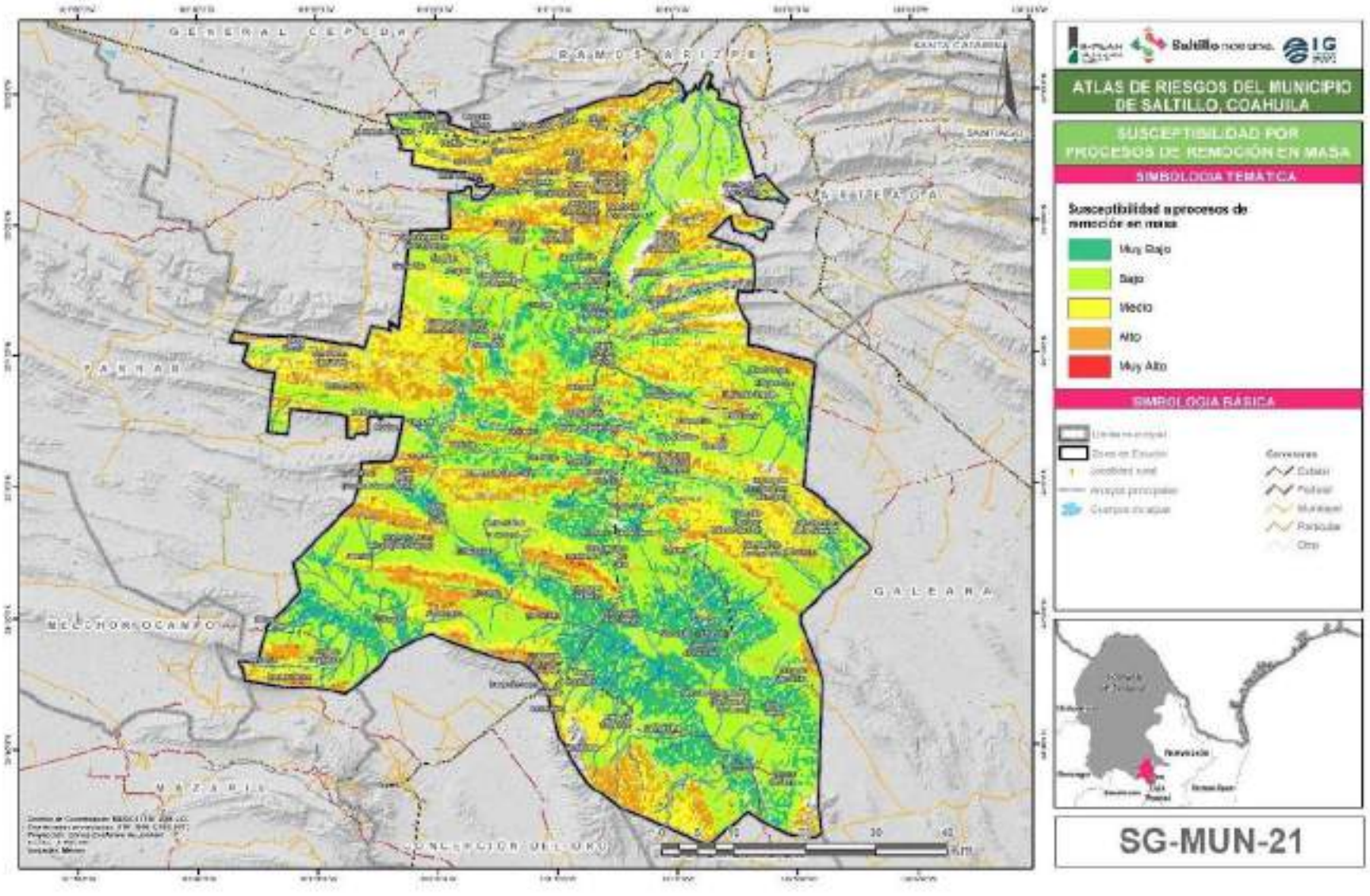
Fuente: elaboración propia.

Susceptibilidad a procesos de remoción en masa

Una vez analizados los factores condicionantes de los procesos de remoción en masa mediante el método de jerarquías analíticas de pesos ponderados se trabajó en el cálculo de la susceptibilidad del territorio municipal ante este fenómeno. Se emplearon los *rasters* derivados de las capas de los mapas temáticos generados anteriormente mediante operaciones de algebra de mapas; de ésta manera, se obtuvo la susceptibilidad del municipio a procesos e remoción en masa, donde se identificaron zonas de deslizamientos de laderas, vuelcos, caídas de bloques, así como reptación, entre otros fenómenos.

Dicha susceptibilidad a los procesos de remoción a nivel municipal se muestra en el Mapa 19

Mapa 19. Susceptibilidad a procesos de remoción en masa del municipio de Saltillo



Fuente: elaboración propia.

Como se observa en el mapa, el municipio de Saltillo presenta una mayor susceptibilidad a estos procesos en las partes altas de su territorio. Estas zonas están ubicadas en: la Sierra de Zapalinamé, al noroeste del municipio. También, en gran parte de la Sierra de La Concordia, situada al noreste del mismo; así como en su porción este, en las elevaciones que forman el Parque Nacional Cumbres de Monterrey, perteneciente a la Sierra Madre Oriental; y finalmente, al sur del municipio, en las elevaciones que limitan con el municipio de Concepción del Oro, Zacatecas.

Peligro por procesos de remoción en masa

Para obtener el peligro de remoción de masas, se partió de la susceptibilidad previamente calculada y los factores desencadenantes. En este caso dichos factores, como se mencionó al inicio de este apartado, son la sismicidad y la precipitación.

Se utilizó el método de las jerarquías analíticas para definir pesos a cada uno de los criterios identificados como condicionantes, mientras para que los factores desencadenantes los cuales son la precipitación y sismicidad se generaron rasters para diferentes periodos de retorno (Tr) de 50 y 200 años.

Para el caso de la sismicidad se utilizaron los datos obtenidos con el programa R-CRISIS Ver 20.3.0, creado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM. Mientras que para la precipitación se utilizaron los datos obtenidos mediante el cálculo de diferentes periodos de retorno para lluvias máximas diarias, según la metodología descrita en este trabajo.

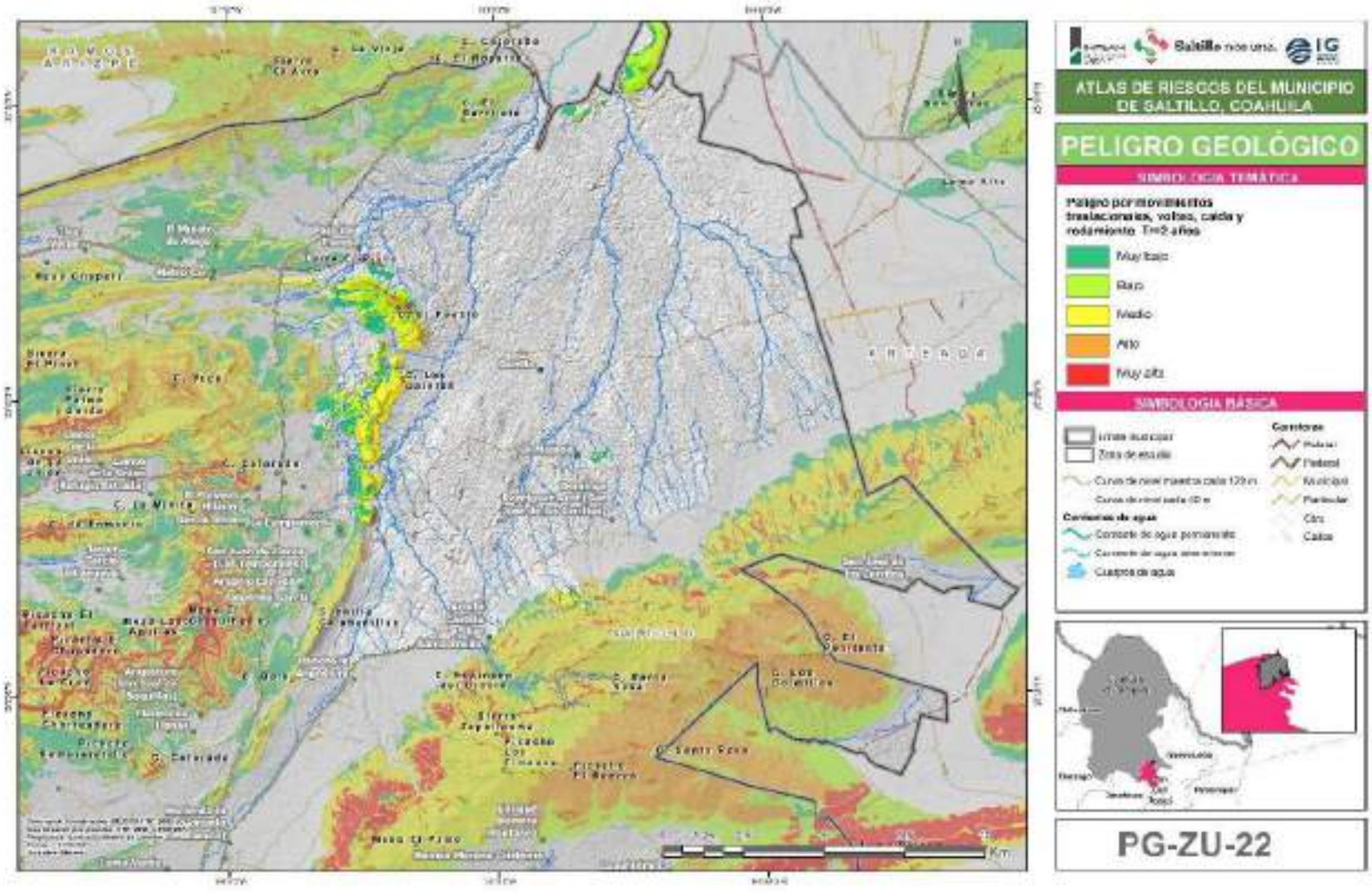
Una vez analizados los criterios para la identificación de procesos de remoción en masa, se realizó una operación de algebra de mapas con la herramienta de pesos ponderados en un sistema de información geográfica para obtener una zonificación de los peligros a procesos de remoción de masa en el municipio.

Resultados

En el Mapa 20 se presenta el peligro por deslizamientos traslacionales, volteo, caída y rodamiento para un periodo de retorno de dos años, obtenido mediante la metodología señalada. En tanto que en el

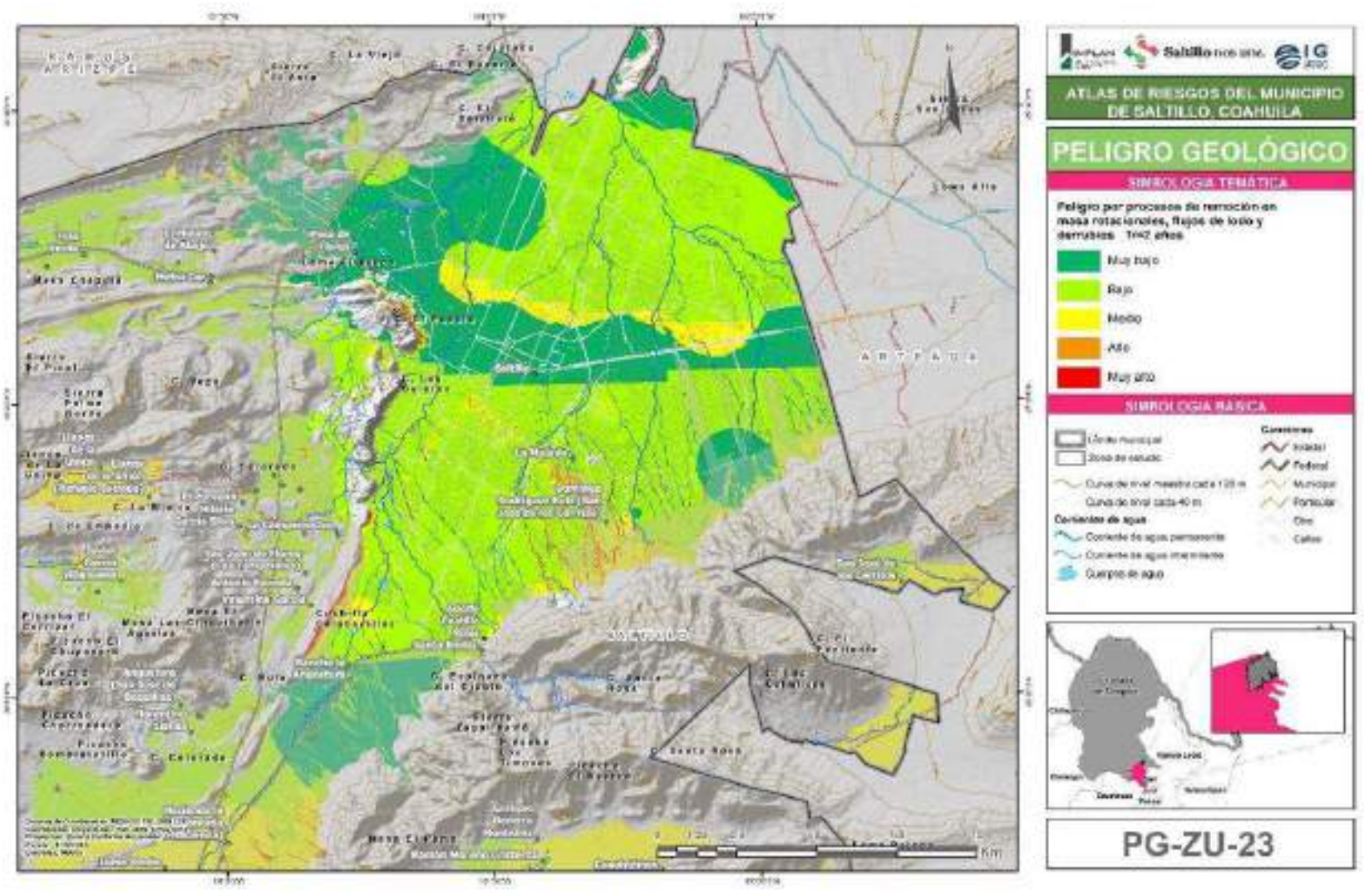
Mapa 21 se presenta el peligro por procesos de remoción en masa rotacionales, flujos de lodo, así como derrubios para un periodo de retorno de dos años, ambos mapas referidos a la Zona Metropolitana de Saltillo.

Mapa 20. Peligro por deslizamientos traslacionales, volteo, caída y rodamiento en la Zona Metropolitana de Saltillo, Coah.



Fuente: elaboración propia, 2024.

Mapa 21. Peligro por procesos de remoción en masa rotacionales, flujos de lodo y derrubios para un periodo de retorno de 2 años en la Zona Metropolitana de Saltillo, Coah.

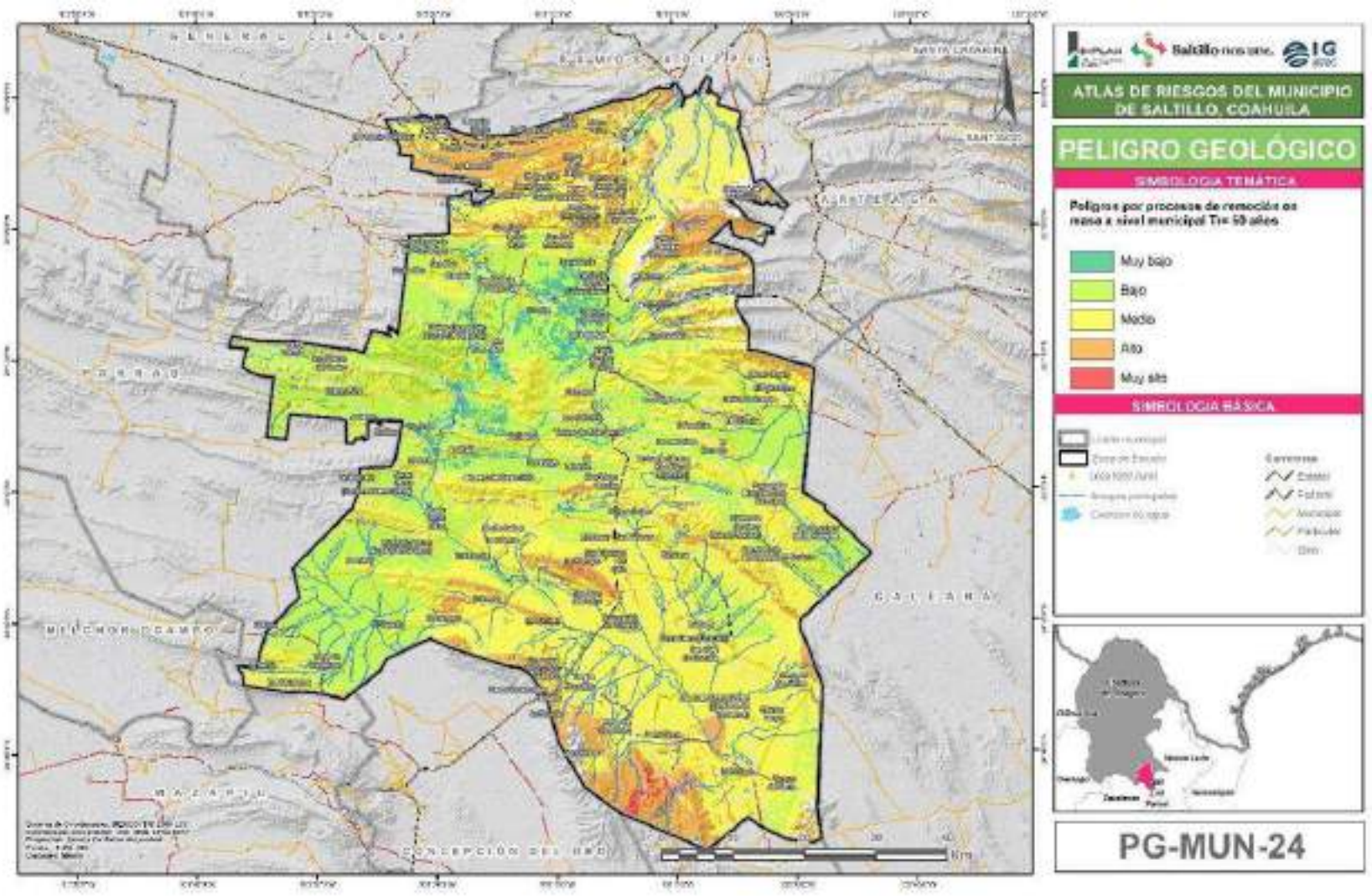


Fuente: Elaboración propia, 2024.

Por otra parte, en el Mapa 22

Mapa 22, se presentan los peligros por remoción en masa a nivel municipal, los cuales incluyen los traslacionales y rotacionales.

Mapa 22. Peligros por procesos de remoción en masa a nivel municipal Tr= 50 años



Fuente: elaboración propia.

Sismos

Introducción / Antecedentes

México es considerado como uno de los países con mayor actividad sísmica a nivel mundial. Según datos estadísticos (https://www.volcanodiscovery.com/es/earthquakes/stats/top/countries.html), en lo que va de 2024, en el país se han registrado 5 mil 456 sismos de magnitud Mw = 3; mil 35 de magnitud Mw = 4; y 15 de magnitud Mw = 5. Cabe aclarar que, la magnitud de momento sísmico (Mw) es una escala logarítmica que se utiliza actualmente para medir, además de comparar terremotos o sismos (Thomas C. Hanks y Hiroo Kanamori, 1979) que expresa la energía total liberada durante un temblor.

Dichas unidades sustituyen, por lo tanto, a la denominada escala Richter-Gutemberg o de magnitud local (1935), ya que ésta es obsoleta y splo era aplicable en California (EUA) con un sismógrafo tipo Wood -Anderson.

En promedio, nuestro territorio presenta más de 90 sismos por año, con una magnitud (Mw) igual o mayor a 4, lo que equivale a un 6% de todos los temblores observados en el planeta. Los grandes temblores (MW > 7.0) suceden principalmente a lo largo de la costa del Pacífico y son causados por la subducción de las placas oceánicas de Cocos, así como la de Rivera, bajo la placa de Norteamérica. Estos sismos se denominan sismos de interplaca o de subducción. En esta zona se originó el sismo de mayor magnitud registrado en México (Mw = 8.2) en el siglo pasado, afectando al estado de Jalisco en 1932.

Le siguen en importancia los sismos intraplaca originados en el interior de la zona continental que, son menos frecuentes, ya que se producen en el interior de la placa, además son de profundidad elevada a intermedia (60 km). En este tipo de eventos han ocurrido grandes daños como en Oaxaca (1931), Orizaba (1973) y Huajuapan de León (1980), cuyas magnitudes fueron: 7.8, 7.3 y 7.0, (Mw) respectivamente.

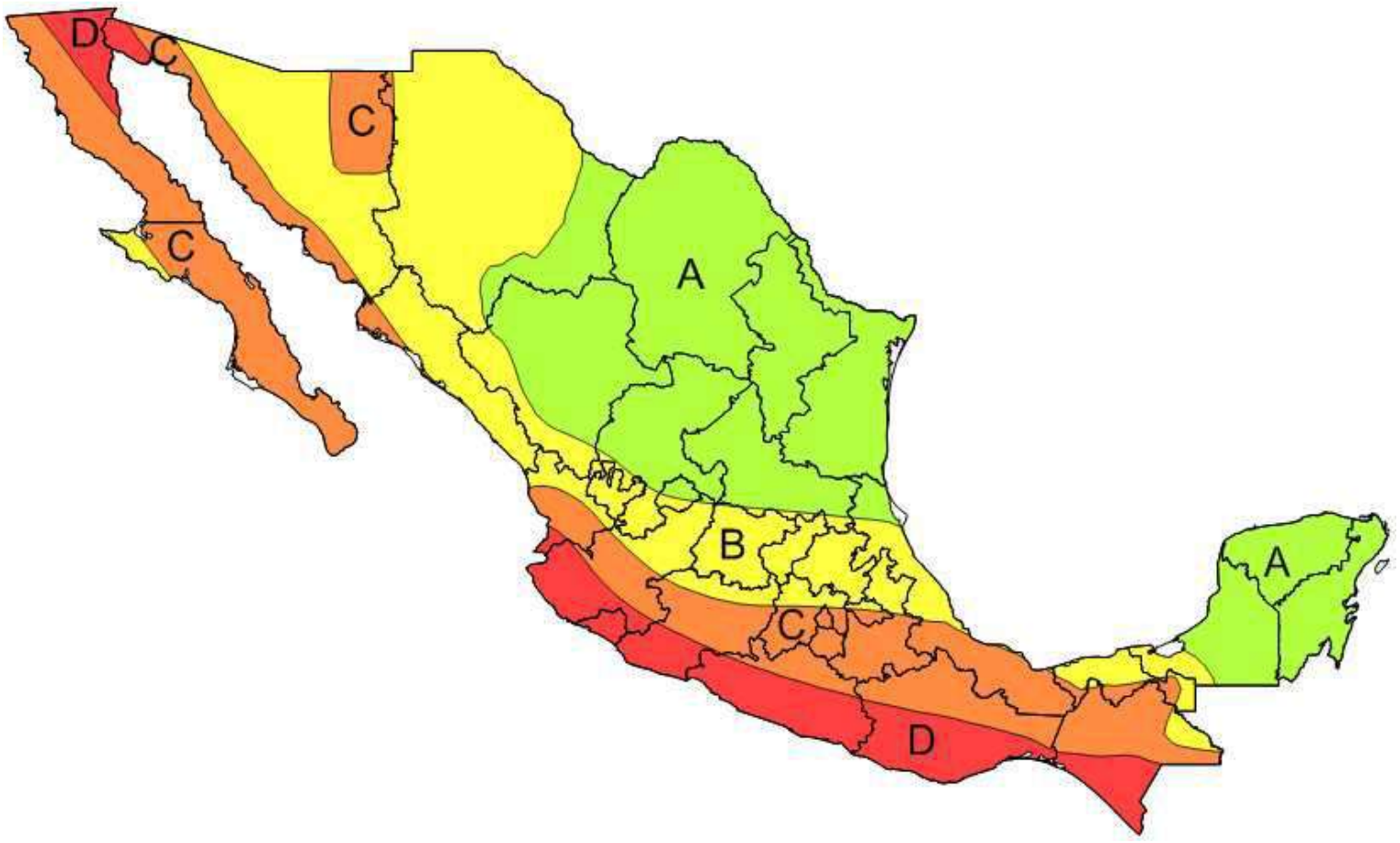
Aún menos frecuentes, son los temblores que se presentan dentro de la placa continental (Mw<7), conocidos como superficiales o corticales que no tienen relación con las placas tectónicas y que debido a su ocasional ocurrencia pueden ocasionar daños apreciables en zonas donde no se tiene contemplado el diseño antisísmico de las estructuras. Ejemplo de este tipo de sismos son los que se han registrado en el noreste del país, particularmente en la curvatura de la Sierra Madre Oriental conocida como Curvatura de Monterrey, y que han afectado a las ciudades de Saltillo, así como Monterrey.

Por otra parte, y de acuerdo con los catálogos de sismos recopilados desde inicios del Siglo XX, la República Mexicana se ha dividido en cuatro zonas sísmicas (Figura 33), siendo éstas:

- Zona A. Zona donde no se tienen registros históricos de sismos o no se han reportado sismos en los últimos 80 años. No se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores.

- Zonas B y C. Zonas intermedias donde no se registran sismos frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.
- Zona D. Zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia de estos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad.

Figura 33. Regionalización sísmica.



Fuente: Manual de diseño de obras civiles. Comisión Federal de Electricidad (CFE), 2015.

La Regionalización Sísmica de la República Mexicana ha tomado como base las aceleraciones máximas en roca a^r_0 (unidad: Gal o cm/s^2) de referencia, que se obtienen a partir del cálculo de los espectros (gráficas) de respuesta en roca (aceleraciones) y a partir de lo cual se ha generado una tabla de equivalencias (Tabla 61) donde se estipulan las aceleraciones para cada intensidad sísmica.

Tabla 61. Parámetros de aceleración considerados para la regionalización sísmica

Aceleración máxima en roca a^r_0 (cm/s^2), correspondiente al nivel de referencia ER	Zona	Intensidad sísmica
$a^r_0 \geq 200$	D	Muy Alta
$100 \leq a^r_0 < 200$	C	Alta
$50 \leq a^r_0 < 100$	B	Moderada
$a^r_0 < 50$	A	Baja

Fuente: Comisión Federal de Electricidad (CFE), 2015.

Las aceleraciones sísmicas comúnmente utilizan las unidades *Gal* y *gravedad (g)*, considerando que: 1 *Gal* = 1 cm/s^2 y *g* = 981 cm/s^2. Derivado de las unidades anteriores se ha construido la Tabla 62 con las equivalencias de dichas unidades a valores de intensidad sísmica de Mercalli (modificada), para tener un contexto más claro de lo que representa cada valor de aceleración sísmica a^r_0.

Tabla 62. Equivalencia de intensidad vs aceleración sísmica

Escala de intensidad (Mercalli)		Magnitud Mw	Aceleración máxima del terreno		
			Gal (cm/s^2)	(m/s^2)	*g (gravedad)*
I	No percibido	<2.3	<1.67	0.01	<0.0017
II	Sentido por algunas personas	2.3 – 2.9	1.68 – 13.73	0.001 – 0.14	0.002 – 0.014
III	Sentido en el interior de edificios,	3.0 – 4.1			
IV	Sentido por muchos, vibraciones	3.7 -4.2	13.74 – 38.25	0.14 – 0.38	0.014 – 0.039
V	Rotura de vidrios, grietas en	4.3 – 4.9	38.26 – 90.22	0.38 – 0.90	0.039 – 0.092
VI	Sacudida de árboles, personas se	5.0 – 5.6	90.23 – 176.52	0.92 – 1.77	0.092 – 0.180
VII	La gente corre al exterior, daños	5.7 – 6.2	176.53 –	1.77 -3.33	0.180 – 0.340
VIII	Daños considerables, caída de	6.3 – 6.9	333.44 –	3.33 – 6.37	0.250 – 0.650
IX	Daños considerables en buenas	7.0 – 7.6	637.47 –	6.37 – 12.16	0.650 – 1.239
X	Destrucción de construcciones,	7.7 – 8.2	> 1216.03	> 12.16	> 1.239
XI	Colapso de la mayoría de las	8.3 – 9.0	> 1216.03	> 12.16	> 1.239
XII	Pérdida total de infraestructura,	> 9.0	> 1216.03	> 12.16	> 1.239

Fuente: Adaptado de: https://redsismica.uprm.edu/spanish/educacion/tamano.php y tabla: Análisis de deslizamiento de laderas por sismo, 2019. CENAPRED.

Antecedentes de sismicidad en el municipio de Saltillo, Coahuila

Inicialmente se ha considerado que, de acuerdo con la regionalización sísmica ya mencionada, en el municipio de Saltillo no se registraban eventos sísmicos de relevancia que obligaran a realizar un análisis sísmico más detallado. Sin embargo, se desarrolló una metodología para determinar el grado de peligro sísmico aun cuando la ocurrencia de dichos eventos fueran de carácter local y baja magnitud.

Por lo anterior, se elaboró un catálogo de sismos con base en los registros recopilados por la Dirección de Protección Civil y Bomberos del municipio de Saltillo, así como la búsqueda de información histórica y especializada sobre el tema. De dicha información se catalogaron un total de 66 sismos de magnitudes comprendidas entre 3.5 M_w a 4.6 M_w, dentro de un intervalo de tiempo que inicia de 1978 a la fecha (46 años).

Del análisis del catálogo mencionado, llama la atención el incremento y cierta regularidad en la ocurrencia de sismos locales a partir del 2015, cuyas profundidades van de los 3 a 16.7 km y con epicentros claramente alineados con las estructuras geológicas de la región.

De las observaciones anteriores y de los resultados obtenidos por medio del software PRODISIS v4.1, desarrollado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), se consideró que las aceleraciones del terreno no correspondían con la realidad por ser muy bajas; ya que, de acuerdo con dicho programa, se podrían esperar aceleraciones máximas de 2.36 Gal, equivalentes al 0.24% de g, con un periodo de retorno de 500 años en el extremo sureste del territorio municipal.

Dichos resultados se consideraron inaceptables, ya que, el 16 de junio de 2000, se registró un sismo de magnitud 4.6 M_w, que, corresponde con una aceleración de aproximadamente 35 Gal, equivalentes al 3.5% de g, con un periodo de retorno de 45.6 años y localizado en el extremo occidental del municipio (12 km al poniente de la población Santa Victoria).

Atribuyendo dichas discrepancias técnicas a la falta de registros sísmicos y estudios en la región noreste de México, que no demeritan el excelente desempeño del programa PRODISIS en la mayor parte del territorio nacional, se prosiguió a la búsqueda de investigaciones realizadas en esta zona del país, encontrándose un artículo muy interesante pero poco conocido, divulgado en la Revista Mexicana de Ciencias Geológicas.

El artículo en cuestión (Ramos Zúñiga, L.G., Medina-Ferrusquía, H.C., Montalvo-Arrieta, J.C., 2012, Patrones de sismicidad en la curvatura de Monterrey, noreste de México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 29, núm. 2, 2012, p. 572-589.) propone un modelo geodinámico intraplaca para explicar los patrones de sismicidad observados a partir de correlacionar: a) la actividad sísmica ubicada en la curvatura de Monterrey para el periodo 1847-2011; b) datos aeromagnéticos; y c) información geológica y estructural disponible.

En dicho trabajo los autores concluyen: En la sismicidad del área de estudio, la variación espaciotemporal es resultado de un sistema complejo de fallas que interactúan para una región específica y que los sismos no se pueden entender como el producto de fallas aisladas.

Además, los mismos autores señalan (p. 583): Para la región de estudio, los sismos de los días 28 y 29 de abril de 1841 causaron daños y colapsos de estructuras civiles y decesos de personas en localidades cercanas a Saltillo, Coah. El terremoto del 28 de abril fue sentido en un radio de aproximadamente 350 km, que cubre parte de los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Tamaulipas (García-Acosta y Suárez Reynoso, 1996).

Este sismo se puede considerar como el mayor que se ha generado en la región. De acuerdo con las descripciones de varios autores (García-Acosta y Suárez Reynoso, 1996; Leal-Ríos, 2001; Casasús, 2003) sobre los daños a estructuras civiles reportados, este sismo generó intensidades sísmicas en el rango de VI-VIII en la región cercana a Saltillo, Coah. De acuerdo con la comparación entre intensidades sísmicas , así como magnitudes propuestas por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), estas intensidades pudieran correlacionarse con una magnitud entre seis y siete para el sismo del 28 de abril

Metodología

El peligro sísmico se cuantifica en términos de los periodos de retorno de intensidades (o sus inversos, las tasas de excedencia) sísmicas relevantes en el comportamiento de las estructuras. La tasa de excedencia de una intensidad sísmica se define como el número de veces, por unidad de tiempo, en que el valor de esa intensidad sísmica es excedido.

No es posible determinar el peligro sísmico contando las veces en que se han excedido valores dados de intensidad en el sitio de interés; además, la determinación directa rara vez se puede hacer porque no se dispone de catálogos completos de las aceleraciones que han producido en un sitio los sismos pasados. Por lo anterior, resulta necesario calcular el peligro sísmico de manera indirecta. Para ello, se evalúa primero la tasa de actividad sísmica en las fuentes generadoras (catálogo) y después se integran los efectos que producen en un sitio dado, los sismos que se generan en la totalidad de las fuentes.

La actividad de cada una de las fuentes sísmicas se especifica en términos de λ (M), que es la tasa de excedencia de magnitudes que ahí se generan. La tasa de excedencia de magnitudes mide qué tan frecuentemente se generan en una fuente, temblores con una magnitud superior dada.

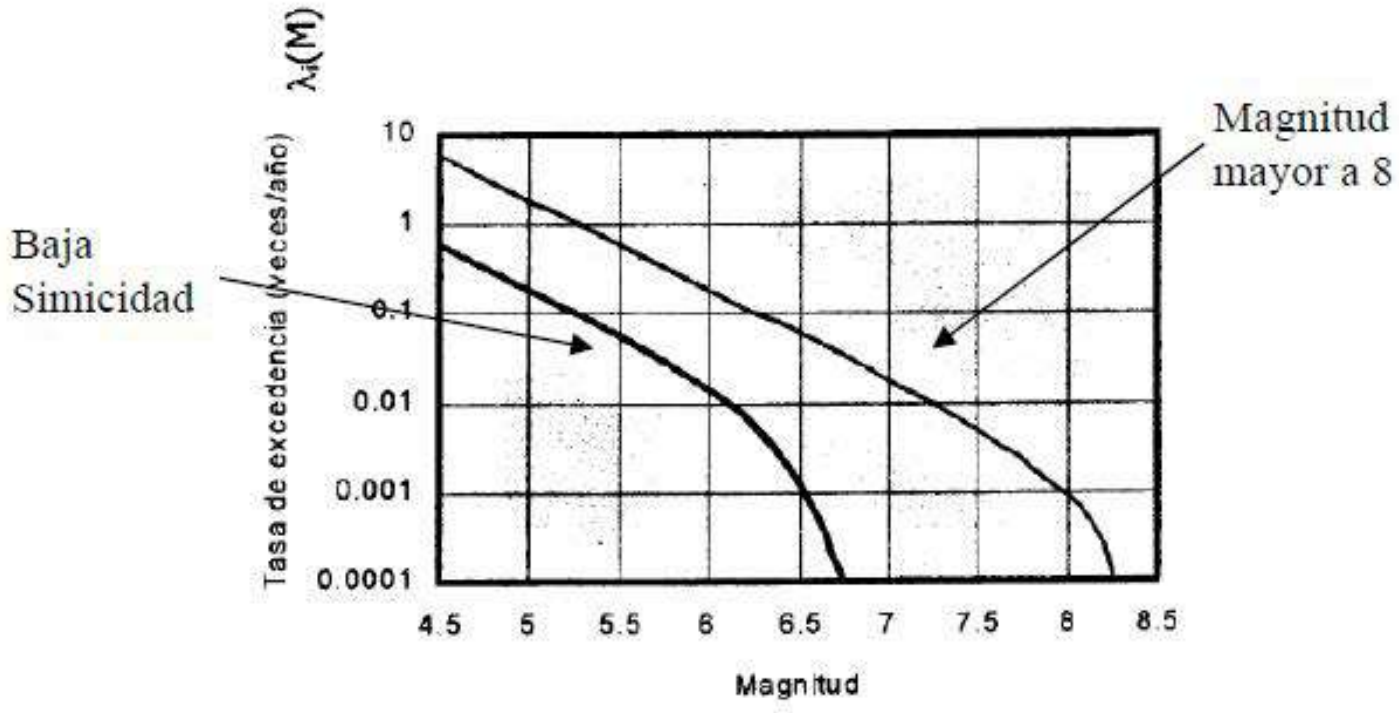
Para la mayor parte de las fuentes sísmicas, la función λ (M) es una versión modificada de la relación de Gutenberg y Richter. Para este caso, la sismicidad queda descrita de la siguiente forma:

$$\lambda(M) = \lambda_c \frac{e^{-\beta M} - e^{\beta M_{max}}}{e^{\beta M_c} - e^{-\beta M_{max}}}$$

donde λ_c es la tasa de excedencia del sismo de magnitud mínima M_c y β = 1/(promedio magnitudes - M_c) mientras que M es el vector de magnitudes.

En la Figura 34 se muestran dos tasas de excedencia anuales para zonas sísmicas distintas, una para cada zona de sismicidad capaz de generar sismos de magnitud mayor a ocho y otra de baja sismicidad.

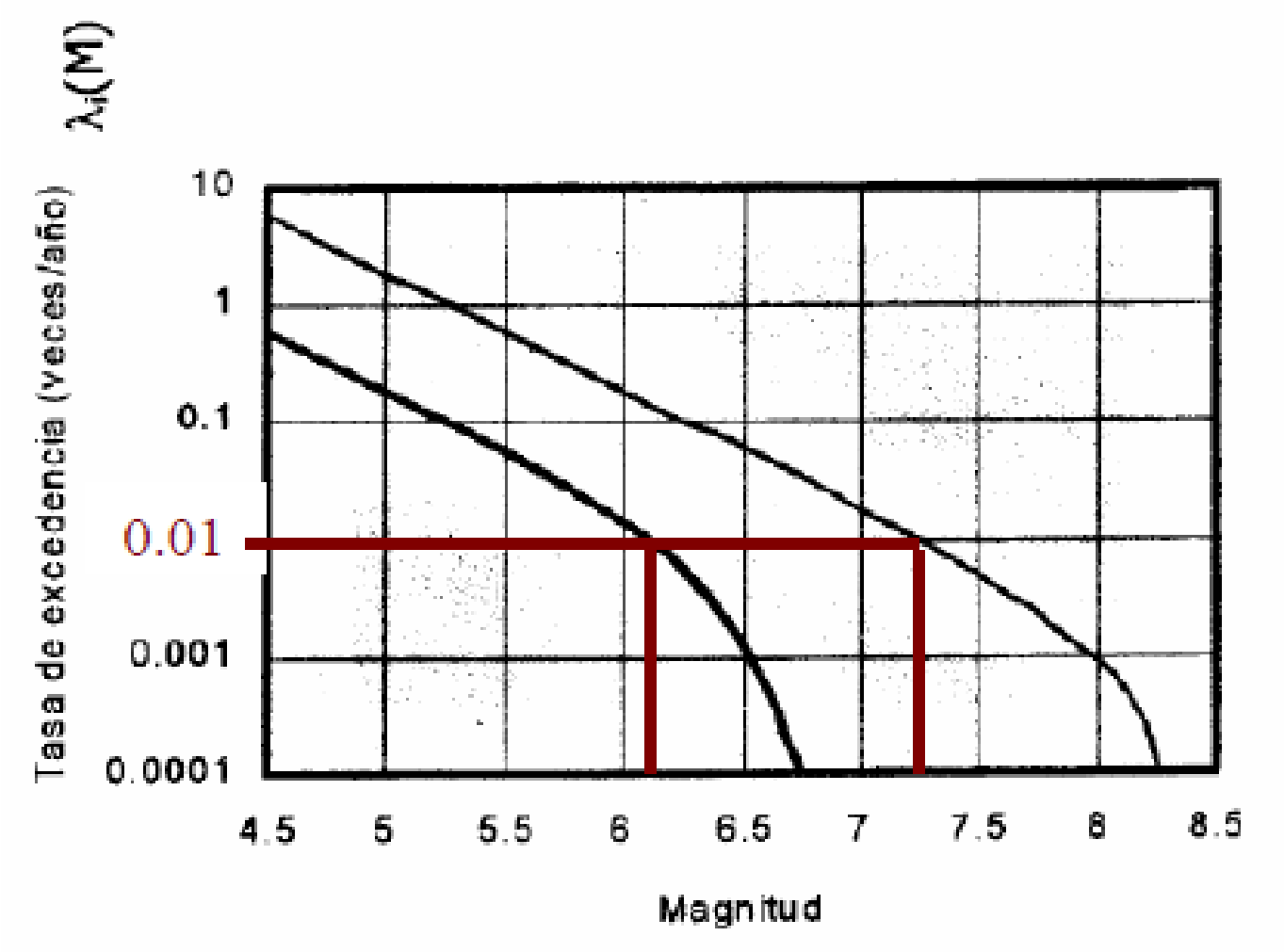
Figura 34. Comparación de tasas de excedencia de dos tipos de zonas sísmicas



Fuente: Ramírez Rodríguez y Toledano Gutiérrez, 2004.

Es claro que, para una misma tasa de excedencia o tasa constante, ambas fuentes generarán sismos con distinta magnitud; por ejemplo, si se toma una tasa de 0.01 (periodo de retorno de 100 años) se deben esperar sismos mayores o iguales a 6.2 en la fuente de baja sismicidad y mayores o iguales a 7.25 en la de alta sismicidad (Figura 35).

Figura 35. Comparación de periodo de retorno de dos tipos de zonas sísmicas.



Fuente: Ibíd.

Lo anterior quiere decir que, con la misma probabilidad o para la misma tasa de excedencia ambas fuentes generarán sismos de distinto tamaño. Aunque la forma funcional para λ (M) se utiliza para la mayor parte de las fuentes sísmicas, se ha observado que la distribución de magnitudes de los grandes temblores de subducción (M>7) se aparta sensiblemente de la predicha por la relación, dando origen al llamado *temblor característico*.

Atenuación de las ondas sísmicas

Una vez determinada la tasa de actividad de cada una de las fuentes sísmicas, es necesario evaluar los efectos que, en términos de intensidad sísmica, produce cada una de ellas en un sitio de interés. Para ello se requiere saber qué intensidad se presentaría en el sitio en cuestión. A las expresiones que relacionan magnitud, posición relativa, fuente-sitio e intensidad se les conoces como *leyes de atenuación*.

Usualmente, la posición relativa fuente-sitio se especifica mediante la distancia focal; es decir, la distancia entre el foco sísmico y el sitio. Las leyes de atenuación pueden adoptar muy diversas formas. Los recientes modelos de atenuación permiten una aplicación en diferentes ambientes tectónicamente activos. Estos modelos se encuentran dentro de un proyecto denominado *Next Generation of Attenuation* (NGA, por sus siglas en inglés). Algunos de los modelos son Campbell y Bozorgnia (trabaja con sismos principales), método de Idriss (trabaja con solo la velocidad de onda), así como Abrahamson y Silva (contiene sismos principales y réplicas).

Efectos de la geología local

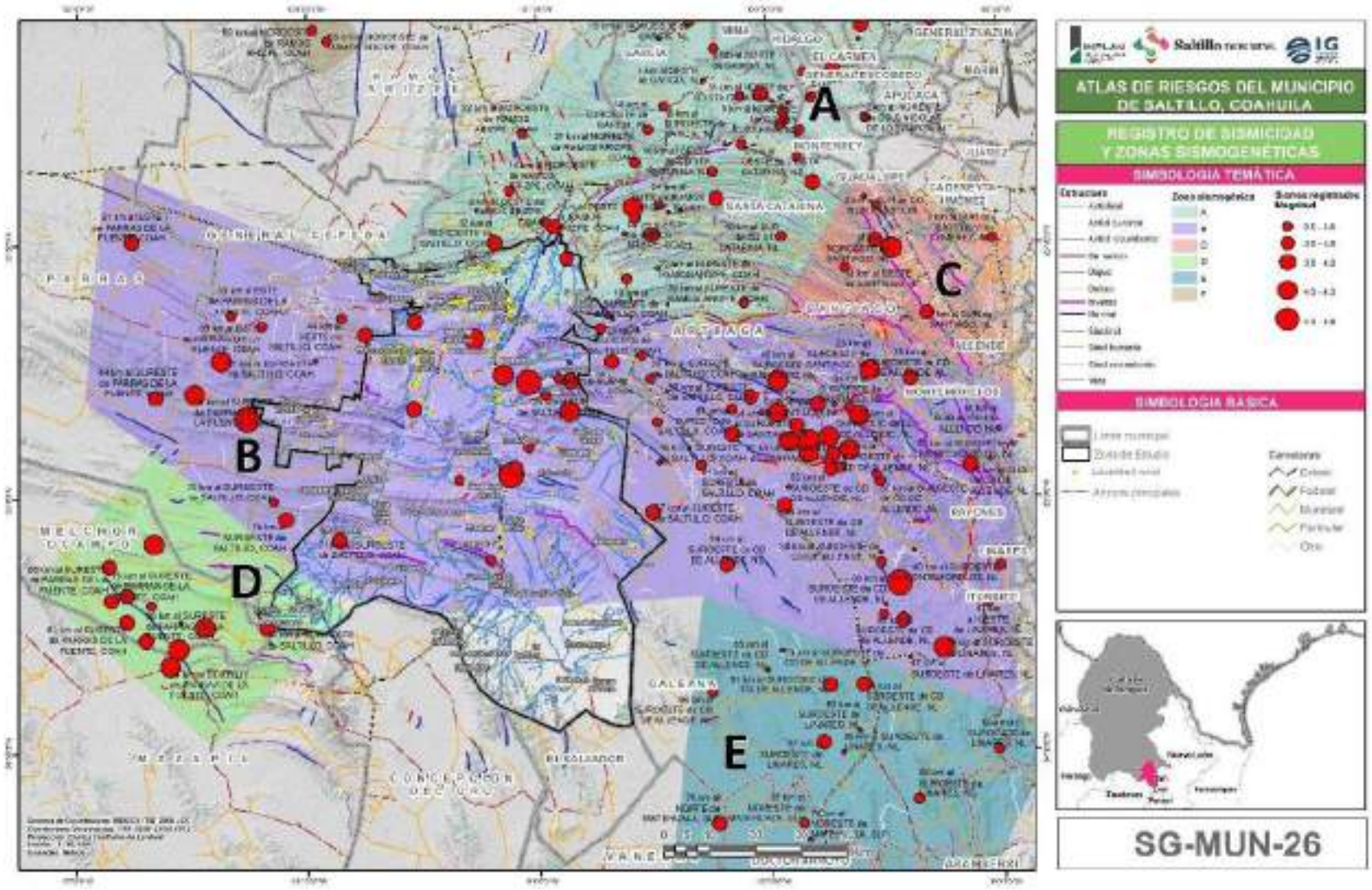
El efecto del tipo de suelo sobre la amplitud y la naturaleza de las ondas sísmicas ha sido reconocido como crucial en la estimación del peligro sísmico. Para este estudio, se realizó un levantamiento geológico a partir de 17 puntos de muestreo seleccionados, donde se registraron aspectos geológicos tales como: geomorfología, litología, datos estructurales, además de clasificación de suelos según el SUCS.

Memoria de cálculo

Para el análisis probabilístico del peligro sísmico se empleó el software R-CRISIS Ver. 20.3.0 desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, utilizando los parámetros que a continuación se describen:

- Georreferenciación: se definió mediante un *shapefile* la ubicación del municipio de Saltillo, Coah.
- Geometría de las fuentes sísmicas: en este punto se ingresaron 5 polígonos identificados como fuentes sismogénicas según la distribución de 185 epicentros que conformaron el catálogo obtenido a través de la página del Servicio Sismológico Nacional. Dichos polígonos fueron definidos con base en los lineamientos que se observan en los epicentros y que se relacionan con estructuras geológicas, tales como plegamientos, fracturas y fallas, según se puede observar a continuación.
-

Mapa 23. Distribución de epicentros y zonas sismo genéticas definidas para el análisis de peligro sísmico.



Fuente: elaboración propia a partir del catálogo de sismos elaborado por el SSN e información contenida en Ramos Zúñiga, L.G., Medina-Ferrusquía, H.C., Montalvo-Arrieta, J.C., 2012, Patrones de sismicidad en la curvatura de Monterrey, noreste de México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 29, núm. 2, 2012, p. 572-589.

Los vértices de dichos polígonos se muestran a continuación en la Tabla 63.

Tabla 63. Relación de fuentes sismo genéticas definidas en la región morfotectónica Curvatura de Monterrey

Fuente	Vértice	Longitud	Latitud	Prof. (km)
A	8	-101.393353	25.461285	5
A	7	-101.015915	25.391825	8.2
A	6	-100.813567	25.388596	3
A	5	-100.639966	25.329790	3
A	4	-100.476863	25.365004	5
A	3	-100.304862	25.632050	5
A	2	-100.028134	25.996075	5
A	1	-100.679177	26.128005	5
B	15	-101.937958	25.657926	5
B	14	-101.977170	25.193473	5
B	13	-101.832472	25.095847	5
B	12	-101.408663	24.775949	6
B	11	-101.209186	24.776649	5
B	10	-100.642373	24.807840	26.6
B	9	-99.968264	24.571417	9
B	8	-99.964353	25.221730	20
B	7	-100.253041	25.313623	20
B	6	-100.476863	25.365004	5
B	5	-100.639966	25.329790	3
B	4	-100.813567	25.388596	3
B	3	-101.015915	25.391825	8.2
B	2	-101.393353	25.461285	5
B	1	-101.936673	25.654071	5
C	5	-100.304862	25.632050	5
C	4	-100.476863	25.365004	5
C	3	-100.253041	25.313623	20
C	2	-99.964353	25.221730	20
C	1	-99.967388	25.524292	5
D	4	-102.090460	24.832984	10
D	3	-101.704470	24.514440	16
D	2	-101.408663	24.775949	6
D	1	-101.832472	25.095847	5
E	4	-100.718582	24.259271	5
E	3	-100.216191	23.892028	5.7
E	2	-99.880162	24.536765	9
E	1	-100.642373	24.807840	26.6

Fuente: elaboración propia, con base en análisis morfotectónico e información contenida en Zuñiga et al (2012).

- Intensidades por cada ordenada espectral: el número total de ordenadas espectrales definidos fueron siete con los siguientes valores asignados (Tabla 64).

Tabla 64. Valores por cada ordenada espectral

Ordenada espectral	Periodo estructural (s)	Nivel de intensidad en el límite inferior	Nivel de intensidad en el límite superior
1	0.01	10	1500
2	0.15	10	4000
3	0.3	10	3300
4	0.5	10	2200
5	1.0	10	1300
6	2.0	10	750
7	3.0	10	600

Fuente: elaboración propia a partir del catálogo de sismos elaborado por el SSN e información contenida en Ramos Zúñiga, L.G., Medina-Ferrusquía, H.C., Montalvo-Arrieta, J.C., 2012, Patrones de sismicidad en la curvatura de Monterrey, noreste de México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 29, núm. 2, 2012, p. 572-589.

Las unidades de intensidad son *Gal. (cm/s^2)*. El número de niveles de intensidad para el que se calculó el peligro sísmico fue de 10.

- Datos de sismicidad: para este apartado fue necesario aplicar la ecuación modificada de Gutenberg y Richter descrita en "Modelos de Sismicidad Local":

$$\lambda(M) = \lambda_c \frac{e^{-\beta M} - e^{\beta M_{max}}}{e^{\beta M_c} - e^{-\beta M_{max}}}$$

La Tabla 65 muestra los parámetros utilizados para el cálculo de λ (M) para cada una de las magnitudes concentradas en el catálogo de sismos.

Tabla 65. Parámetros utilizados para el cálculo de λ (M).

Fuente	No. eventos	Años	Magnitud de corte (M0)	λ (Mo)	β	Coef. Var. B
A	59	14	3.5	4.2	1.83	0.13
B	86	42	3.5	2.05	1.14	0.11
C	7	7	3.6	1	1.7	0.38
D	12	8	3.5	1.5	0.96	0.29
E	18	37	3.5	0.49	1.87	0.24

Fuente: Ibíd.

- Datos de atenuación: en este caso, el modelo de atenuación que se utilizó para calcular las curvas de peligro, en términos de tasas de excedencia de las ordenadas del espectro de respuesta para distintos periodos estructurales, fue el de Abrahamson y Silva (1997).

Con este modelo construido con datos registrados en California (EUA), es posible modelar la atenuación de sismos superficiales en la República Mexicana, considerando que los más importantes en su tipo, se originan al noroeste del país como resultado del movimiento transcurrente entre las placas del Pacífico y de Norteamérica, por lo cual se toma como viable que este modelo de atenuación refleja correctamente el ambiente tectónico de la zona donde ocurren los eventos superficiales con mayor frecuencia, además de magnitud.

- Parámetros globales: en la integración de parámetros globales se definió la distancia de máxima integración, el tamaño mínimo triangular y la distancia mínima/relación de tamaño triangular. De igual forma, en este apartado se definieron los diferentes periodos de retorno que se muestran en la Tabla 66 (unidades en años):

Tabla 66. Periodos de retorno utilizados en R-CRISIS.

1er periodo de retorno	50
2o periodo de retorno	200

Fuente: elaboración propia.

Se realizó un análisis de periodo estructural (T_s) de 0.005 hasta 1 s para determinar, en ese rango de valores, en donde se presentaba la mayor aceleración y aplicarlo directamente a cada uno de los periodos de retorno obteniendo, resultando el valor de T_s = 0.15 s.

-Mapas de peligro sísmico: finalmente, a partir de los parámetros y criterios establecidos anteriormente, se obtuvieron los mapas de peligro sísmico.

Resultados

Según los resultados obtenidos con la modelación del programa R-CRISIS para tiempos de retorno de 50 y 200 años se obtuvieron los mapas de aceleración sísmica en roca para un periodo estructural de 0.15 s, que, como ya ha sido mencionado, mostró los mayores valores de dicha aceleración.

En los mapas SM-02 y SM-03 pueden observarse las magnitudes sísmicas esperadas para 50 y 200 años respectivamente, dentro del municipio de Saltillo y territorios adyacentes, advirtiéndose que las mayores magnitudes se han estimado en la parte oriental de Saltillo, decreciendo estas en dirección a la ciudad, para volverse a incrementar en el límite norte - noreste del municipio.

Para tener una mejor comprensión del significado de los periodos de retorno, se elaboró la Tabla 67 que explica en términos de probabilidad la posible ocurrencia de un fenómeno sísmico que iguale o exceda determinada magnitud. Así, por ejemplo, se tiene que las aceleraciones esperadas para un periodo de retorno de 50 años tienen una probabilidad de ocurrencia del 63.2 % en ese mismo lapso de tiempo; en un año, un 2 %; y en 200 años, prácticamente va a ocurrir.

Además, hay que considerar que las magnitudes se encuentran dadas en términos de Gal, cuya unida equivale a 0.02 m/s^2 o 0.002 g.

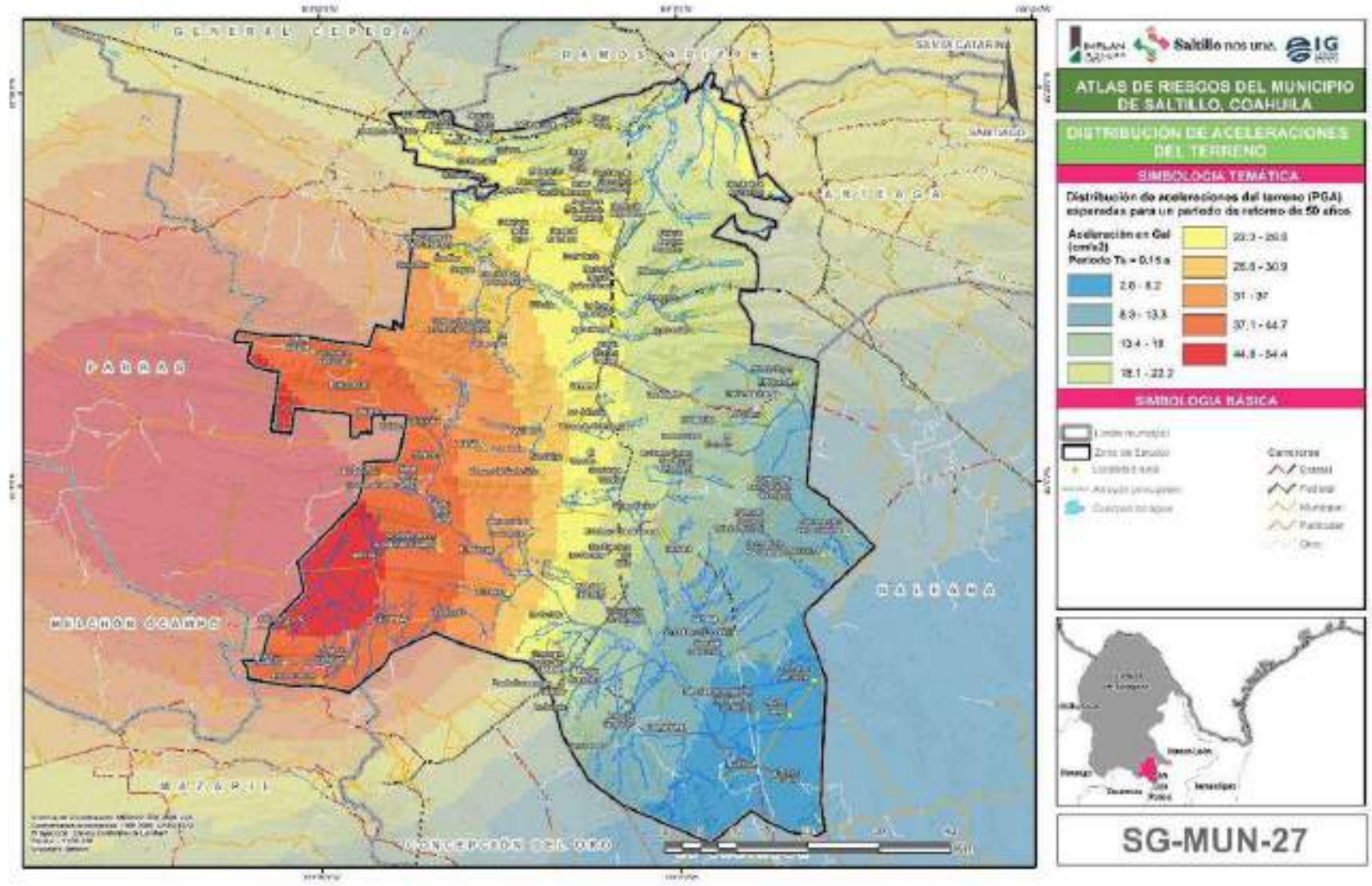
De acuerdo con lo anterior, si se tiene que la aceleración máxima estimada para un periodo de retorno de 50 años es igual a 54.4 gal, esto es equivalente a 0.544 m/s^2 o también aproximadamente al 0.5% de la aceleración de la gravedad.

Tabla 67. Probabilidad de ocurrencia para diferentes periodos de retorno

Tr (años)	Probabilidad (años)									
	1	2	5	10	20	25	50	100	200	500
2	0.393	0.632	0.918	0.993	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
5	0.181	0.330	0.632	0.865	0.982	0.993	1.000	1.000	1.000	1.000
10	0.095	0.181	0.393	0.632	0.865	0.918	0.993	1.000	1.000	1.000
20	0.049	0.095	0.221	0.393	0.632	0.713	0.918	0.993	1.000	1.000
25	0.039	0.077	0.181	0.330	0.551	0.632	0.865	0.982	1.000	1.000
50	0.020	0.039	0.095	0.181	0.330	0.393	0.632	0.865	0.982	1.000
100	0.010	0.020	0.049	0.095	0.181	0.221	0.393	0.632	0.865	0.993
200	0.005	0.010	0.025	0.049	0.095	0.118	0.221	0.393	0.632	0.918
500	0.002	0.004	0.010	0.020	0.039	0.049	0.095	0.181	0.330	0.632

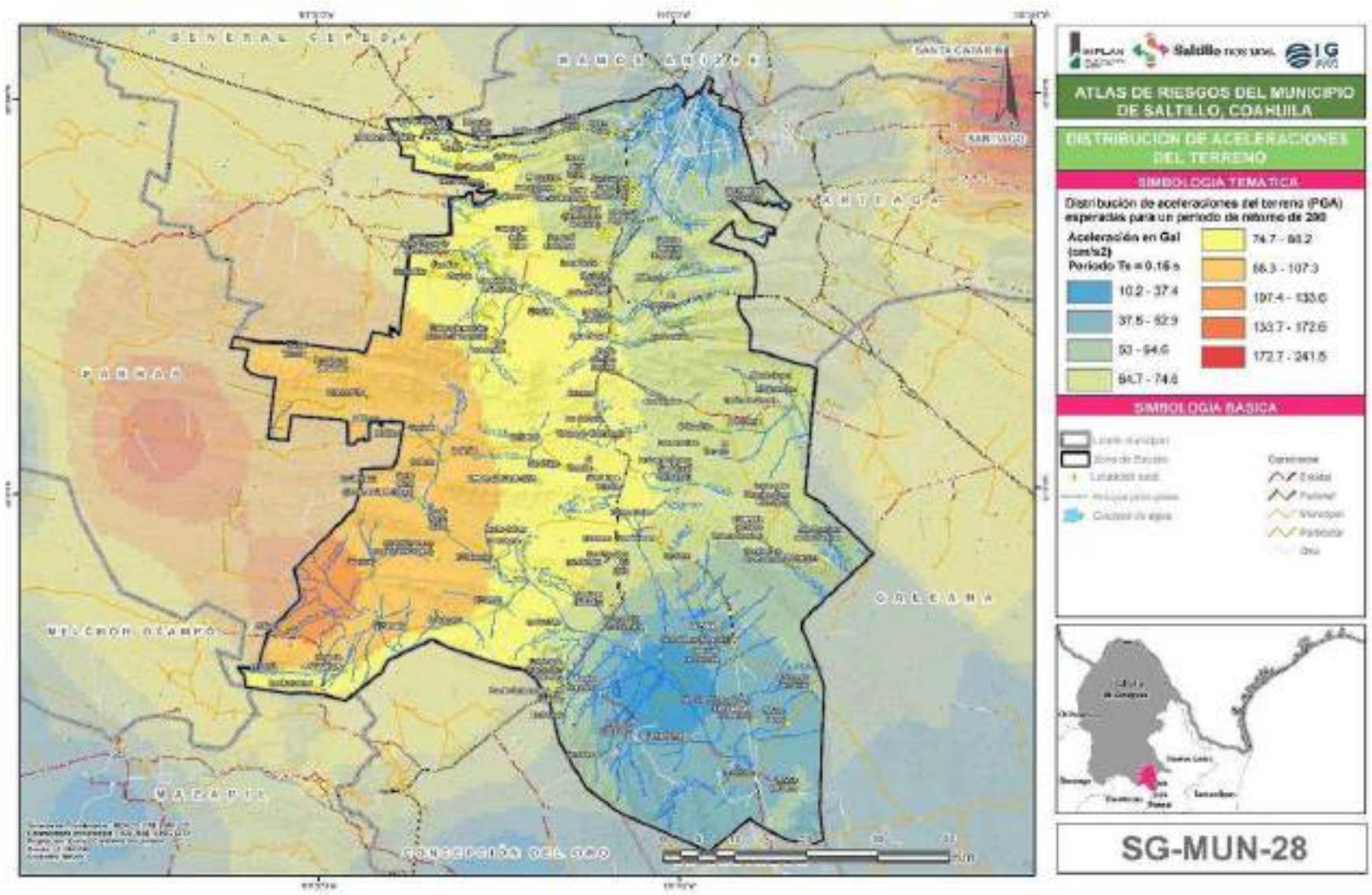
Fuente: elaboración propia a partir de la ley de Possion.

Mapa 24. Distribución de aceleraciones del terreno (PGA) esperadas para un periodo de retorno de 50 años para el municipio de Saltillo, Coah.



Fuente: elaboración propia a partir de resultados obtenidos con el programa R-CRISIS.

Mapa 25. Distribución de aceleraciones del terreno (PGA) esperadas para un periodo de retorno de 200 años.



Fuente: elaboración propia a partir de resultados obtenidos con el programa R-CRISIS.

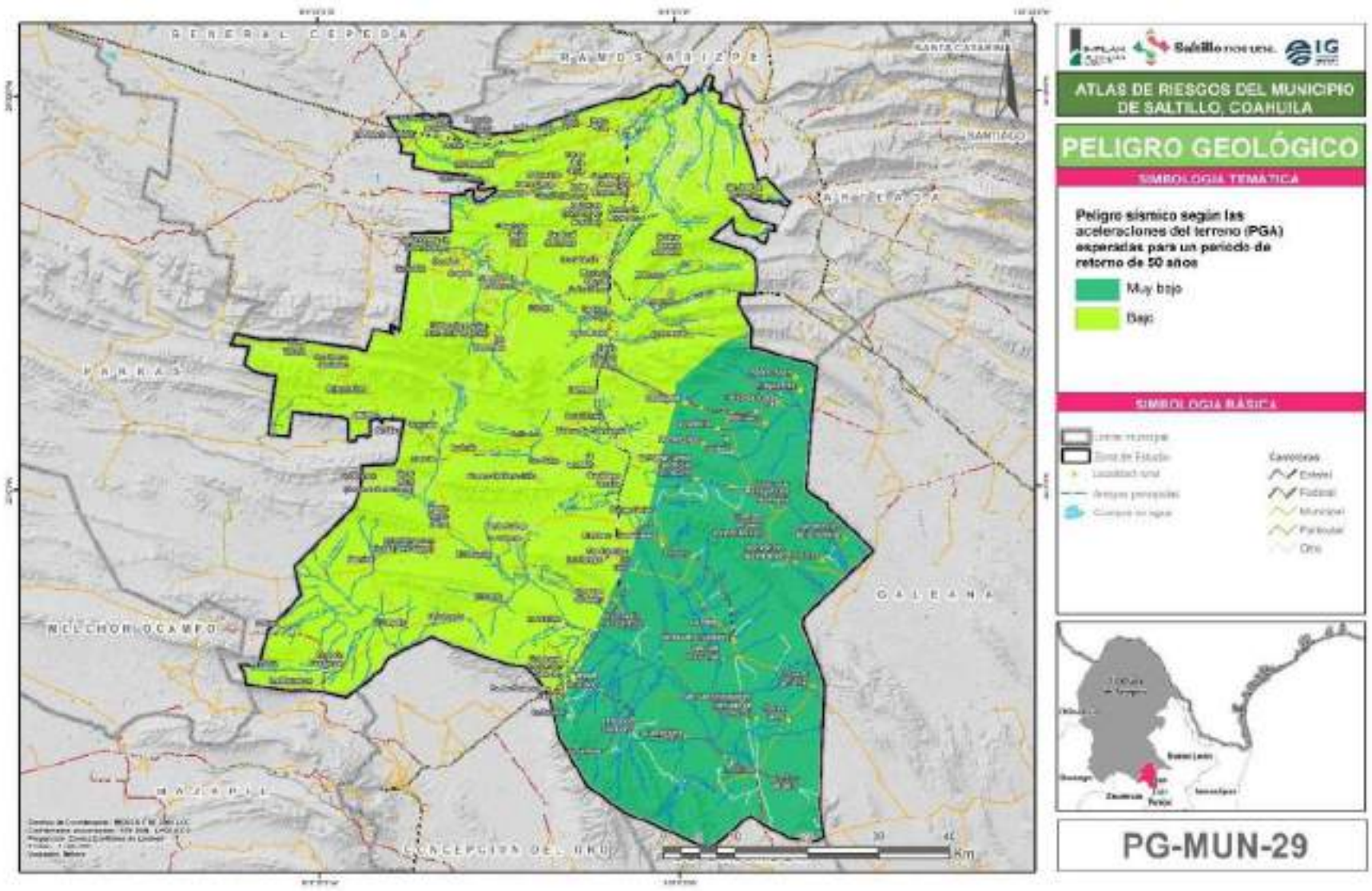
Con respecto al peligro sísmico se han elaborado dos mapas con los mismos periodos de retorno, pero normalizados de acuerdo con la intensidad sísmica de Mercalli modificada para una mejor comprensión (consultar tabla de equivalencias de intensidad vs aceleraciones sísmicas insertada en párrafos anteriores).

Según lo anterior, se tiene un peligro medio en la mayor parte del municipio y bajo en la porción sureste del mismo, para un periodo de retorno de 50 años. Esto significa la ocurrencia de sismos de intensidad II, casi imperceptibles, a las intensidades V y VI de Mercalli Modificada, que son de cierta consideración; sin ser dañinas para las edificaciones bien construidas.

En el caso de las aceleraciones (PGA) estimadas con un periodo de retorno de 200 años, se tiene un rango de peligro que va de medio a alto, observándose que la Zona Metropolitana de Saltillo con el peligro medio y el resto del municipio de nivel alto, esperándose intensidades comprendidas entre VI y VIII de la escala mencionada, tal como el sismo ocurrido en 1841 ya comentado.

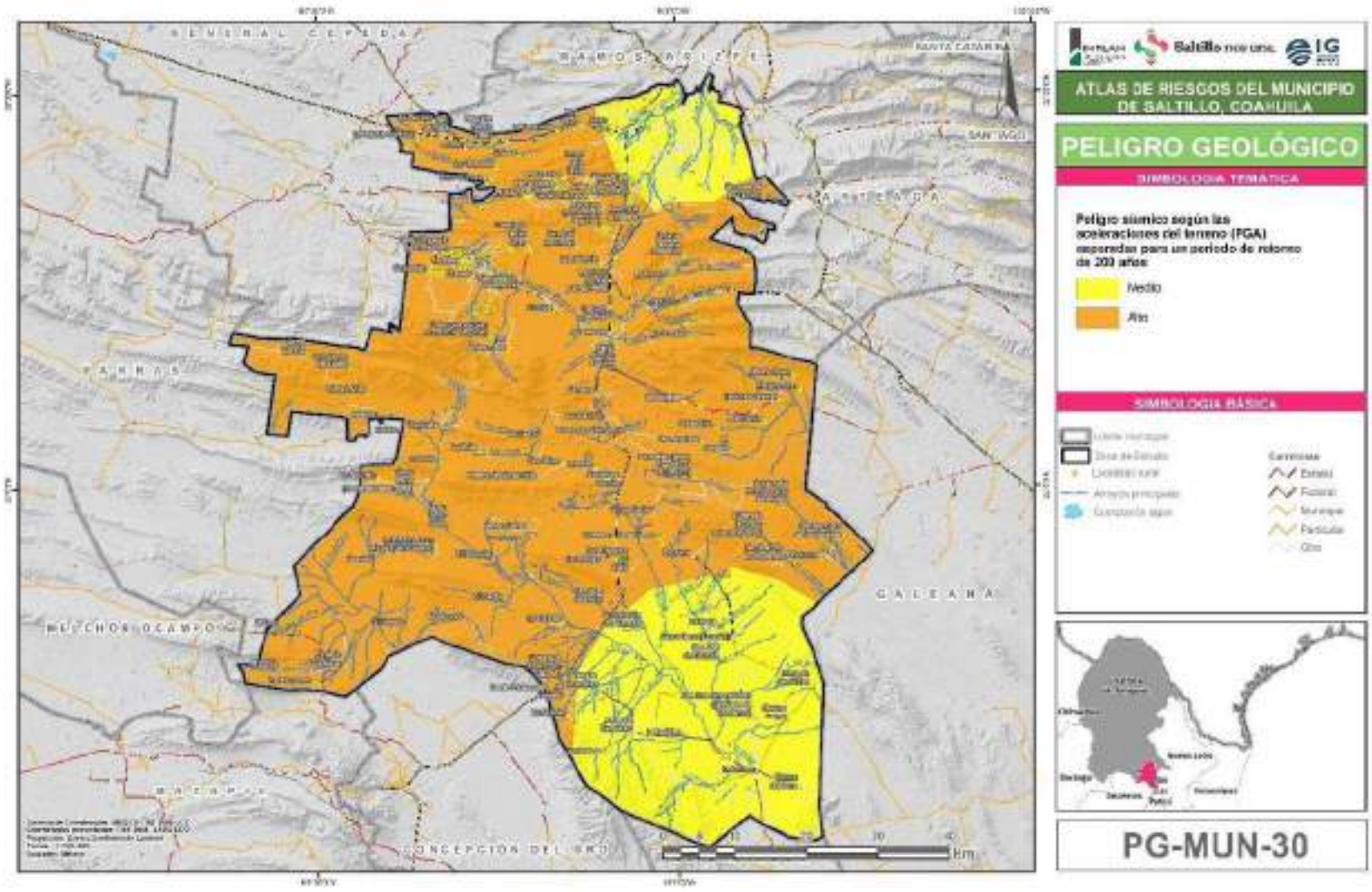
En los mapas siguientes se muestra la distribución espacial (isosistas) de las PCA correspondientes a cada periodo de retorno.

Mapa 26. Mapa de peligro sísmico según las aceleraciones del terreno (PGA) esperadas para un periodo de retorno de 50 años



Fuente: elaboración propia

Mapa 27. Mapa de peligro sísmico según las aceleraciones del terreno (PGA) esperadas para un periodo de retorno de 200 años



Fuente: elaboración propia.

Vulcanismo

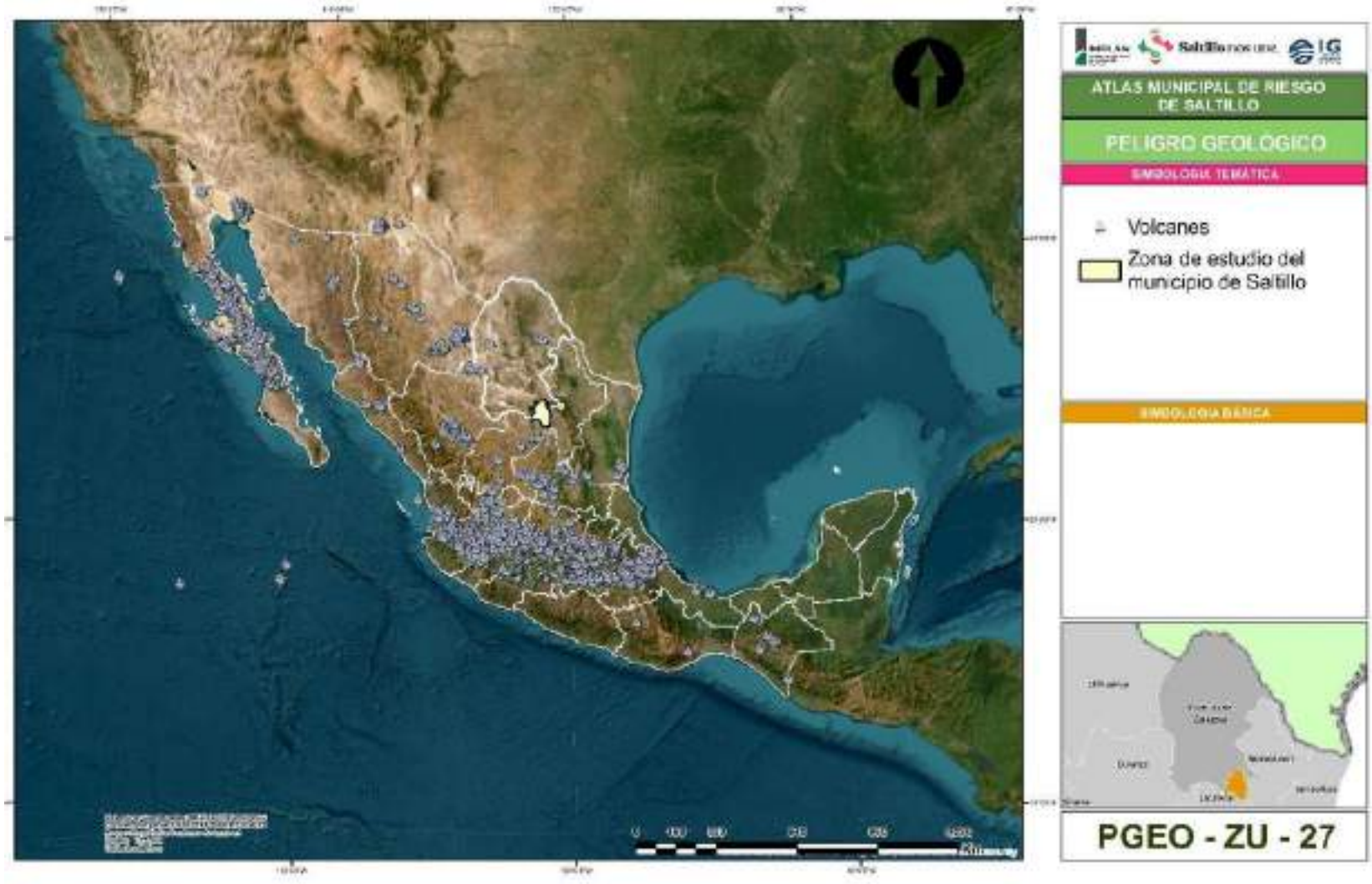
La actividad volcánica es uno de los fenómenos geológicos más impresionantes que pueden ser observados en el planeta y se le atribuye el origen de la mayor parte del agua contenida en los océanos, por lo que también se considera fundamental para la existencia de los organismos primigenios en su conjunto, según un histórico estudio realizado por el Dr. Stanley Miller, publicado en 1953 por la revista Science, donde se demostraba cómo a partir de los componentes de la atmósfera terrestre inicial podían surgir los aminoácidos, clave para la formación de la vida.

No obstante, también ha sido uno de los fenómenos más destructivos, atribuyéndosele incluso la extinción de antiguas especies.

México es un país de volcanes, estimándose al menos 2 mil, aunque hay autores que sostienen la existencia de seis mil edificios volcánicos y solo algunos (42) se pueden considerar como activos o peligrosos. Su distribución dentro del territorio nacional se muestra en la

Mapa 28, a partir de la cual se observa que no existe actualmente alguna evidencia de que pueda presentarse dicho fenómeno en el municipio de Saltillo, Coahuila.

Mapa 28. Distribución de volcanes en México.



Fuente: elaboración propia a partir de datos vectoriales del INEGI e imagen ESRI, Maxar, Earthstar Geographics y usuarios de la Comunidad GIS.

La composición geológica de Saltillo y sus alrededores no muestra signos de haber sido influenciada por erupciones volcánicas, lo que reduce considerablemente los riesgos relacionados con este fenómeno. Esta ausencia de evidencia volcánica es un factor positivo para la seguridad geológica del municipio, ya que minimiza el peligro de erupciones o efectos secundarios como terremotos asociados al vulcanismo.

Por lo tanto, no existen evidencias superficiales de actividad volcánica o vulcanismo en la Zona Metropolitana de Saltillo ni en otras áreas pobladas del municipio. Esto indica que la región no presenta rasgos típicos asociados al vulcanismo, como depósitos de lava, cráteres o flujos piroclásticos, los cuales suelen estar presentes en zonas con actividad volcánica activa o reciente.

Subsidencia y agrietamientos

Introducción / Antecedentes

El término subsidencia hace referencia al fenómeno de hundimiento gradual del terreno, ya sea en la superficie continental o submarina. En el caso que particular, es el asentamiento de una extensa superficie que puede tener diferentes orígenes, ya sean naturales o causados por diversas actividades antrópicas.

Aunque dicho fenómeno geológico no es necesariamente peligroso para la población, sí puede llegar a causar grandes daños a las edificaciones e infraestructura rural y urbana.

De acuerdo con diversos autores, se reconocen diferentes tipos de subsidencia. Prokopovich (1979) distingue dos tipos: endógena y exógena, atendiendo a su origen se asocia a procesos geológicos internos y exógena, se refiere a procesos de deformación superficial relacionados con la compactación (consolidación) natural o antrópica de los suelos.

Scott (1979) clasifica la subsidencia según los mecanismos que la provocan, como actividades mineras, construcción de túneles, extracción de agua, petróleo o gas, descenso de niveles freáticos por sequía o sobreexplotación de acuíferos, disolución de rocas solubles (como la caliza o el yeso) y procesos de consolidación de suelos arcillosos, entre otros (González Vallejo et al., 2002). La

Tabla 68 describe los diferentes tipos de subsidencia que pueden presentarse.

Tabla 68. Tipos de subsidencia

Por disolución subterránea	Rocas salinas
	Yeso
	Caliza y dolomía
Por construcción de obras subterráneas o galerías mineras	
Por erosión subterránea (tubificación o piping)	
Por flujo lateral	Rocas salinas
	Arcillas
Por compactación	Por carga
	Por drenaje
	Por vibración
	Por extracción de fluidos
	Por hidro compactación
Tectónica	

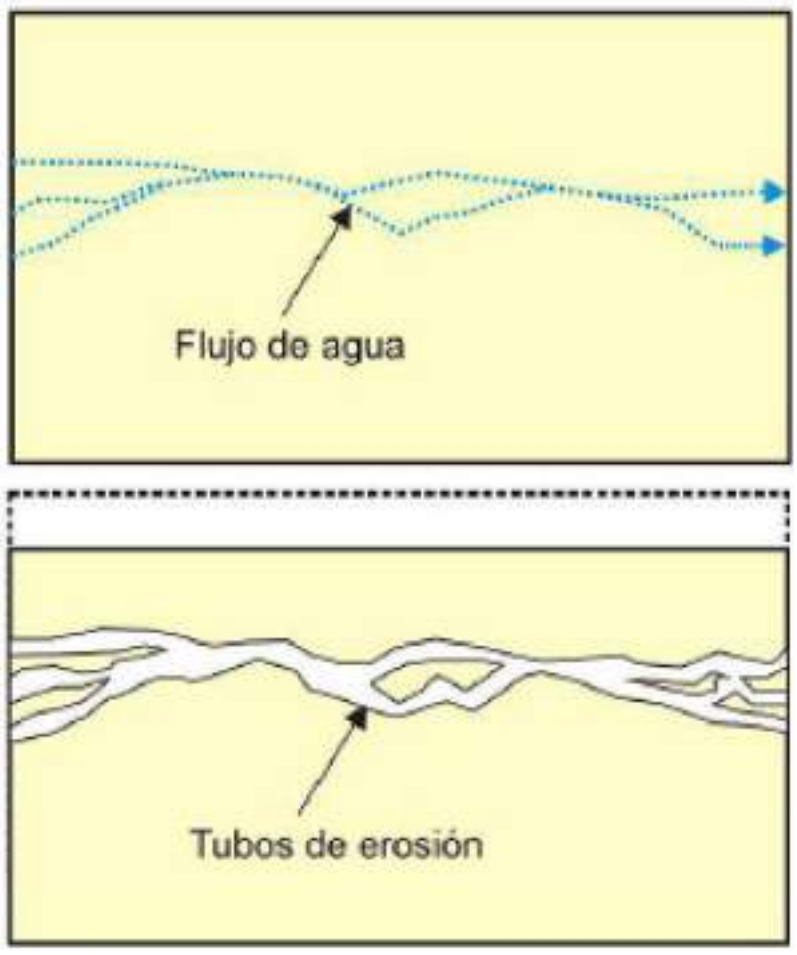
Fuente: Roberto Tomás et al., 2009. Subsidencia del terreno.

En el caso del municipio de Saltillo y particularmente la Zona Metropolitana, se considera que es susceptible principalmente a cuatro tipos de subsidencia, siendo estos:

1) Erosión subterránea (tubificación o *piping*)
2) Carga
3) Vibración sísmica o antropogénica
4) Extracción de agua subterránea

La subsidencia por erosión subterránea se origina por un proceso de arrastre de partículas del suelo causado por el flujo de agua subterránea o sub-superficial (por encima del nivel freático). El agua, durante su recorrido horizontal por el terreno, transporta partículas de suelo generando una red de conductos que pueden desencadenar colapsos en la superficie (Figura 36), tales como hundimientos locales, agrietamientos, apertura de zanjas irregulares y socavones.

Figura 36. Formación de conductos o tubos de erosión

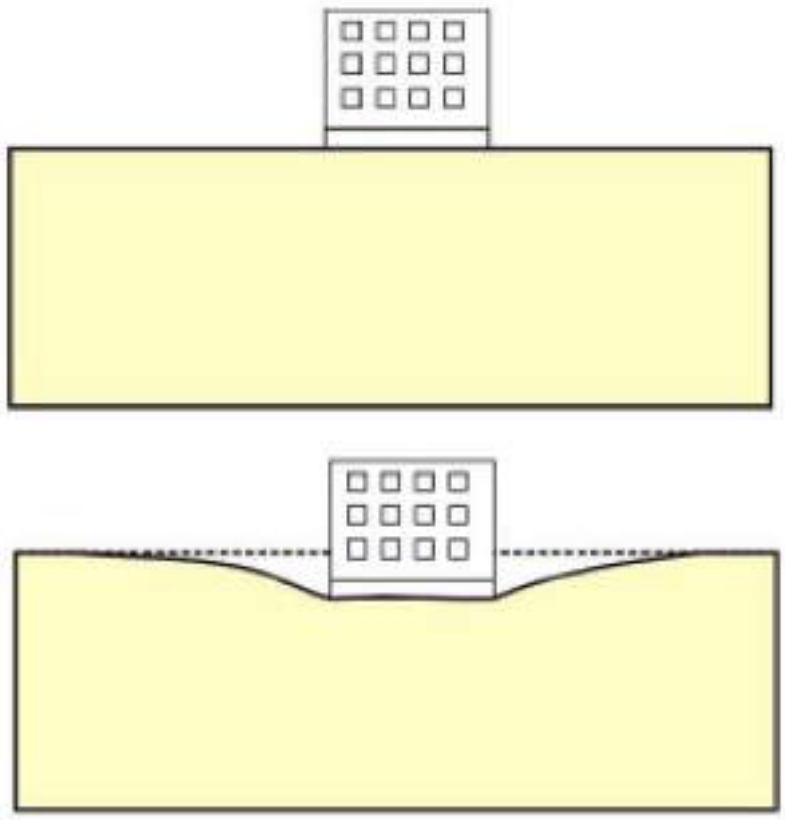


Fuente: R. Tomás et al., 2009

En el caso de la subsidencia por carga, puede originarse por la acumulación sucesiva de sedimentos; o, por la consolidación de suelos arcillosos, sujetos a grandes cargas ejercidas por cimentaciones o construcciones que, produce una reducción o eliminación de la porosidad del suelo, que se denomina pre - consolidación y consolidación, respectivamente (

Figura 37).

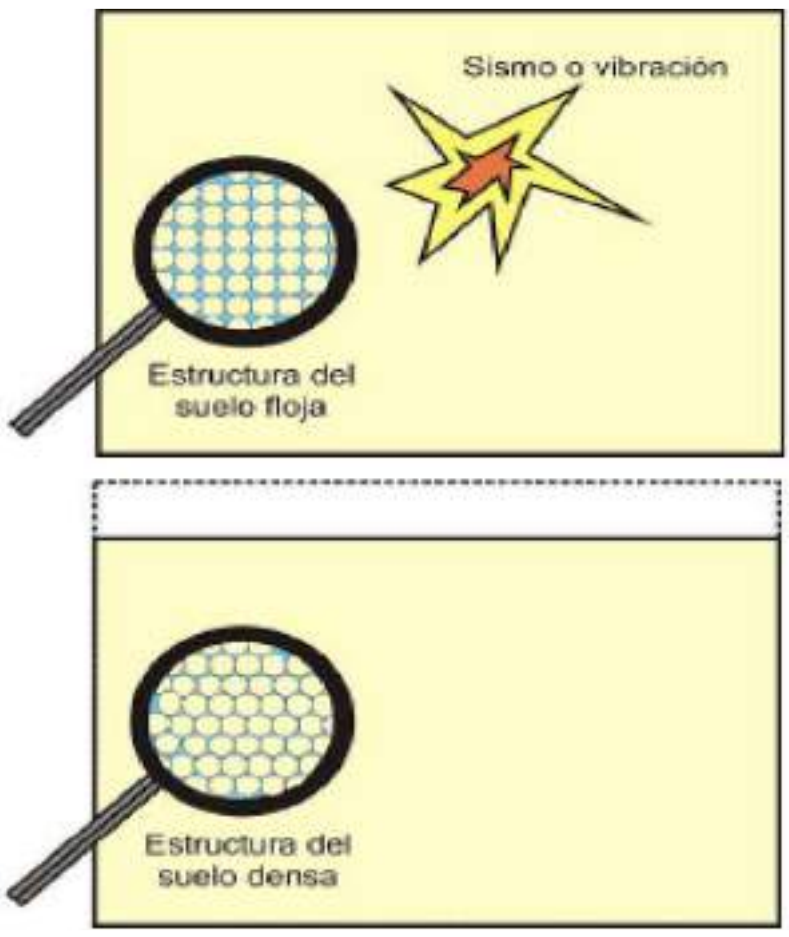
Figura 37. Subsidencia por consolidación del suelo.



Fuente: Ibídem.

Vibración sísmica. Las vibraciones producidas por sismos o actividades antropogénicas, tales como el tránsito de vehículos pesados, tránsito de ferrocarriles y voladuras, pueden causar la compactación de suelos friccionantes o granulares que sufren un reacomodo de sus partículas (Figura 38).

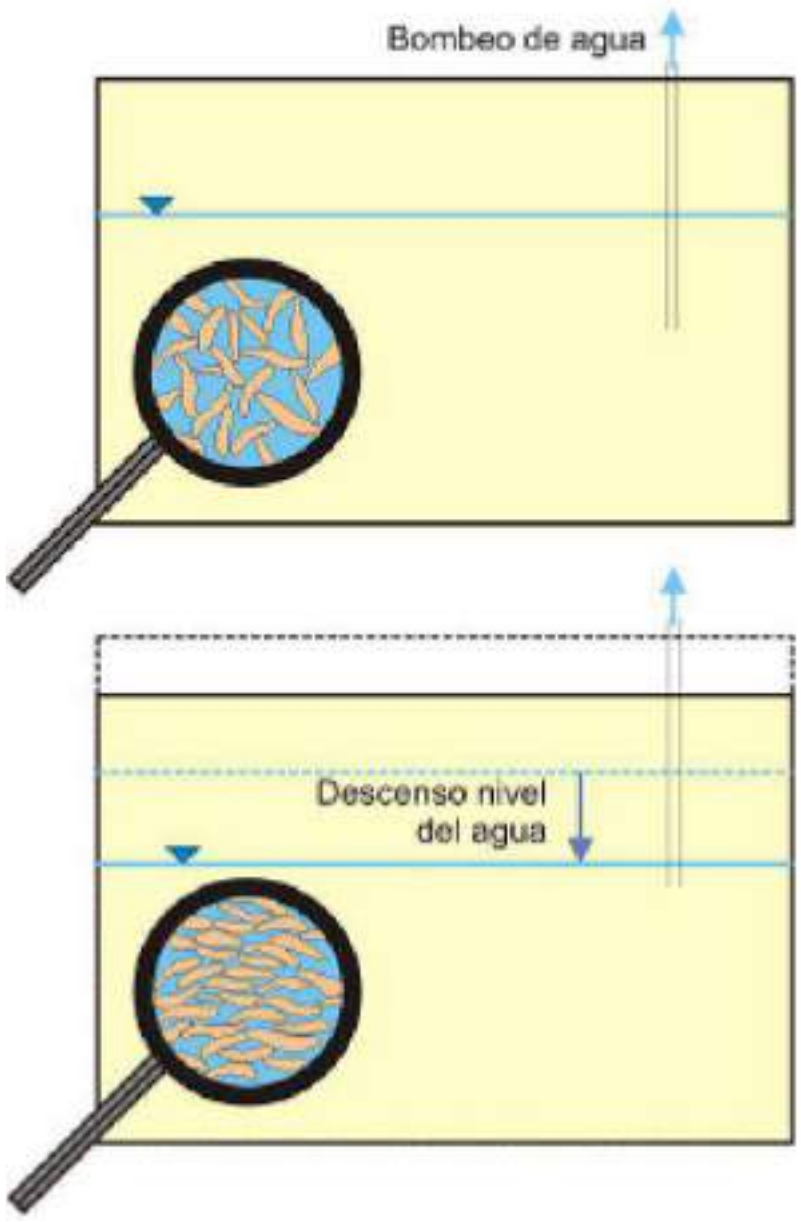
Figura 38. Subsidencia por vibraciones.



Fuente: Ibídem.

Extracción de agua subterránea. En este caso, la subsidencia del terreno ocurre cuando grandes volúmenes de agua son extraídos principalmente de sedimentos areno - arcillosos, ya que estos se compactan porque el agua sostiene parcialmente la estabilidad del suelo (Figura 39). Cuando el agua es extraída de la formación acuífera y descansa sobre un piso rocoso irregular, el acuífero se deforma, por lo que se producen fallas, así como agrietamientos que acompañan un hundimiento regional. En México, destacan los casos de las ciudades de: Ciudad de México, Querétaro, Irapuato y Puebla, entre otras.

Figura 39. Subsidencia por extracción de agua subterránea



Fuente: Ibídem.

Metodología

Dadas las características geológicas, además de geohidrológicas del municipio de Saltillo y particularmente su Zona Metropolitana, como punto de partida se consultó la información recopilada sobre diversos informes, así como artículos relacionados con el tema de subsidencia citados en la bibliografía, también se tuvo como referencia principal los datos sobre la actualización de la disponibilidad media anual de agua de los cinco acuíferos que abarcan total o parcialmente el territorio municipal.

De acuerdo con los informes de la CONAGUA, la disponibilidad media anual de los acuíferos localizados en el municipio de Saltillo presenta valores negativos, es decir, se encuentran sobre - explotados y muestran un abatimiento general en sus niveles estáticos que varían entre 0.15 a 1.5 metros (Tabla 69).

Tabla 69. Resumen de balance hidrogeológico en acuíferos del municipio de saltillo, coah. (conagua, 2024)

Acuífero	Clave	Recarga (hm^3/año)	Descarga Nat. Comprometida (hm^3/año)	Vol. Extracción aguas subterráneas (hm^3/año)	Disponibilidad Media Anual (hm^3/año)	Abatimiento Medio Anual (m)
Cañon del Derramadero	0502	31.6	5.1	29.238602	-2.738602	0.8
General Cepeda-Sauceda	0505	113.4	30.5	146.895188	-63.995188	0.15
Saltillo-Ramos Arizpe	0510	65.9	2.7	118.112811	-54.912811	0.4
Región Manzanera-Zapalinamé	0511	55.2	3.6	89.741433	-38.141433	1
Saltillo Sur	0521	13.4	0	40.165074	-26.765074	1.5

Fuente: *CONAGUA, 2024.*

Otro factor a considerar es la consolidación diferencial que origina deformaciones, además de asentamientos heterogéneos dependiendo del tipo suelo, sus espesores, contenido de humedad, así también plasticidad; la profundidad a la que se encuentra el basamento rocoso que le subyace que está constituido por tanto por lutitas como calizas de las formaciones Cerro del Pueblo y Parras; las cuales afloran en diversas áreas de la zona urbana, por lo tanto, no son susceptibles de subsidencia.

Con respecto a las características del acuífero Saltillo- Ramos Arizpe, se tiene que según las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas es de tipo libre (sujeto sólo a presión atmosférica), heterogéneo y anisótropo; esto es, que no presenta la misma granulometría y propiedades mecánicas en toda su extensión.

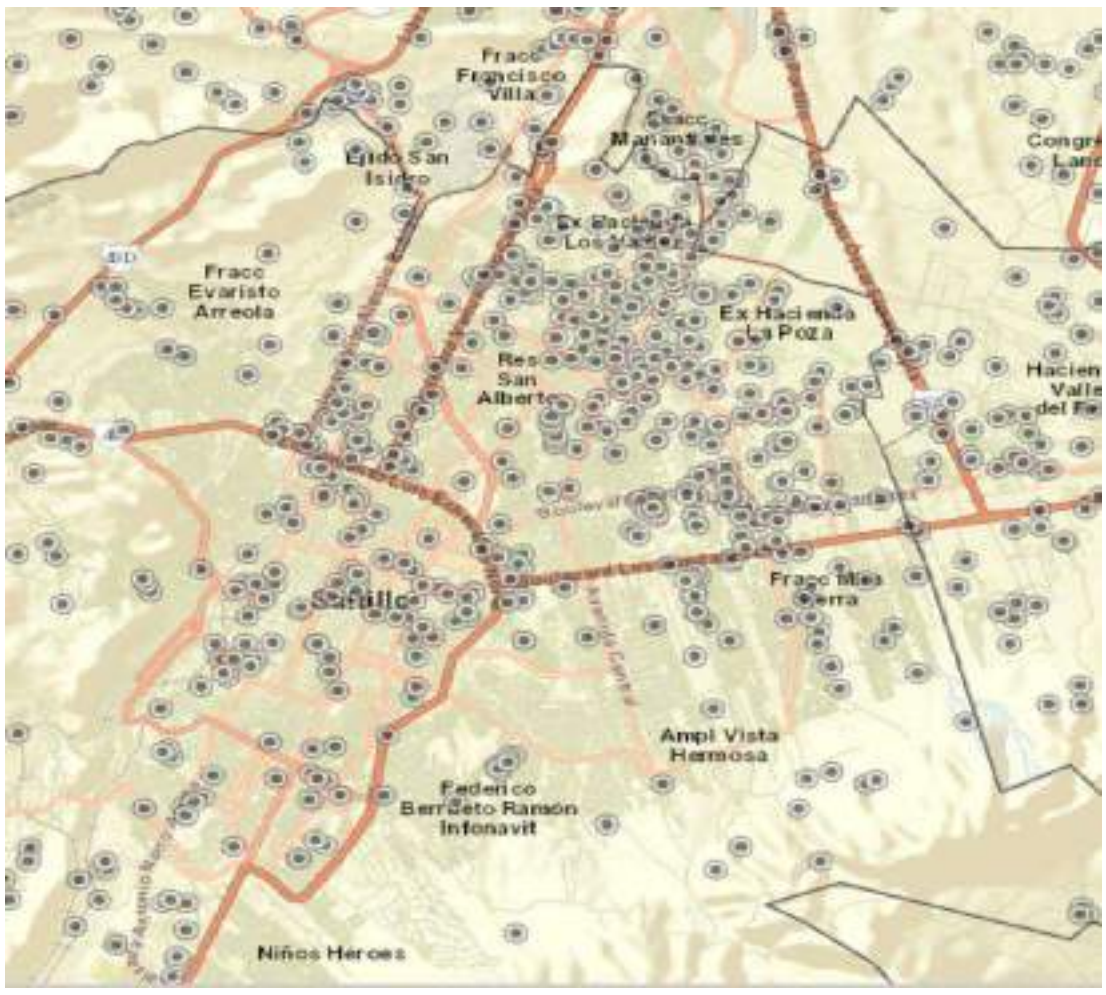
El material geológico que integra dicho acuífero se compone por sedimentos aluviales y coluviales de granulometría muy variada, así como conglomerados polimícticos (de diferente litología), cuyos espesores pueden alcanzar algunas decenas de metros en el centro del Valle de Saltillo.

La parte inferior del acuífero se encuentra en una secuencia de rocas sedimentarias, principalmente lutitas de las formaciones previamente mencionadas, que presentan permeabilidad secundaria debido a un intenso fracturamiento. Este fenómeno es evidente en los afloramientos observados durante los recorridos de campo. Bajo las formaciones acuíferas mencionadas, se localiza un acuífero regional, de tipo confinado a semiconfinado, alojado en calizas cretácicas y jurásicas con un alto potencial de explotación. Estas calizas conforman las principales sierras que delimitan el valle y su zona de recarga. Actualmente, este acuífero es la principal fuente de abastecimiento de agua potable para la ZMS.

Cómo puede observarse en la

Figura 40, el Valle de Saltillo presenta una alta densidad de pozos. Lo que ocasiona conos de abatimiento que pueden provocar hundimiento del terreno e interferencia entre dichas obras hidráulicas.

Figura 40. Densidad de pozos ubicados dentro de la Zona Metropolitana de Saltillo, Coah



Fuente: https://sigagis.conagua.gob.mx/locrepda20/.

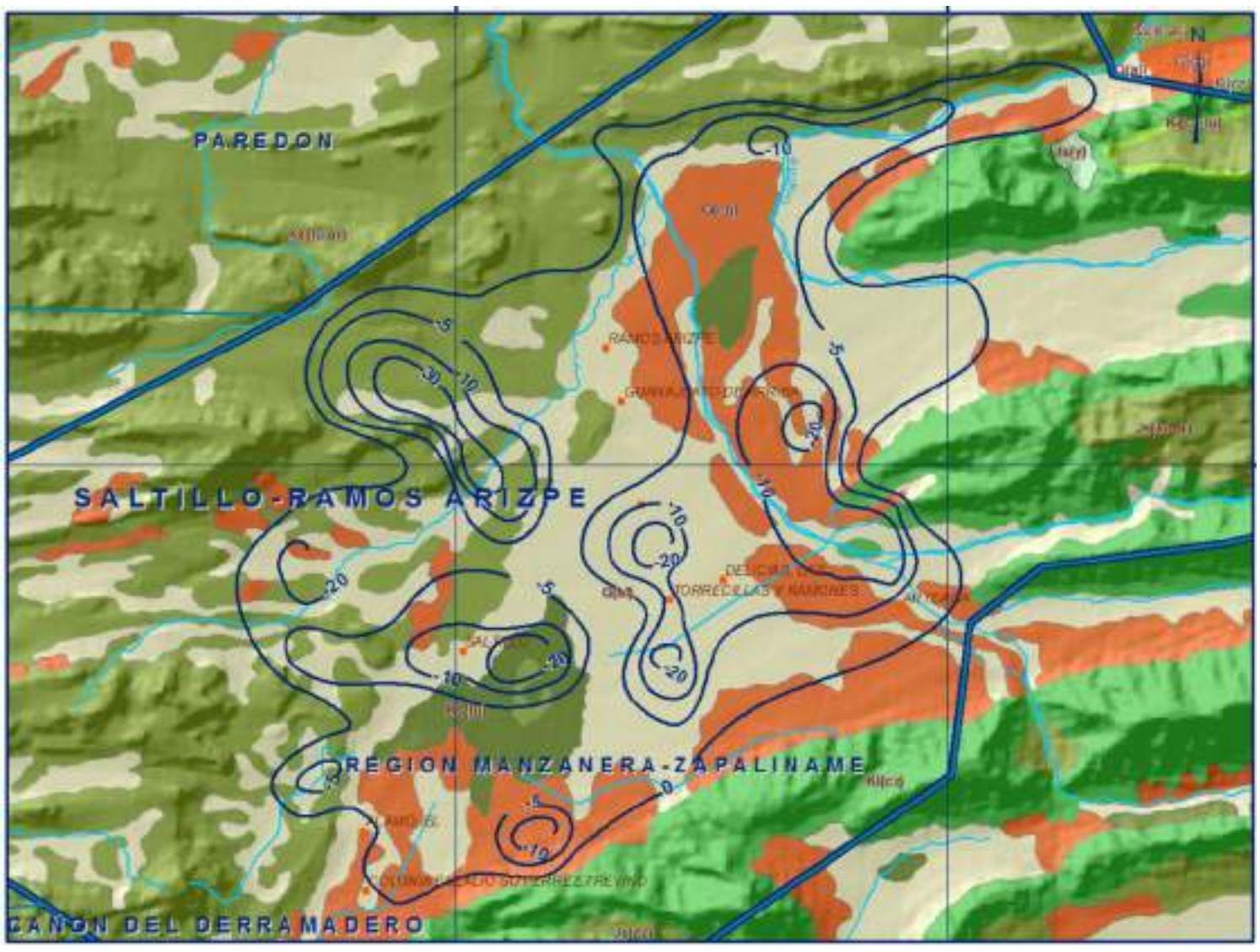
Memoria de cálculo

De acuerdo con lo anterior y tomando en cuenta que no se tiene algún sistema de monitoreo para detectar zonas afectadas por subsidencia (red GNSS, control de nivelación, etc.) o que se hayan reconocido como tales, así como la identificación de sus efectos con cierta certeza; se determinó utilizar las curvas de nivel de abatimiento disponibles en los informes de la CONAGUA, así como la clasificación de suelos obtenida en las muestras de campo.

Cabe mencionar que los datos de profundidad del nivel estático reportados en la Red Piezométrica de la CONAGUA (https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/portalp.html), están incompletos y no permiten establecer un comparativo dentro de una serie de tiempo aceptable.

Por lo tanto, los datos piezométricos de la imagen incluida en el texto del informe de referencia fueron georreferenciados con la herramienta de ArcGis para su digitalización e integración cartográfica (Figura 41). Para el caso de la clasificación de suelos, se utilizó la capa generada para el mapa de susceptibilidad de procesos de remoción en masa, según su tipo textural.

Figura 41. Curvas piezométricas de abatimiento en acuífero Saltillo-Ramos Arizpe.



Fuente: actualización de Disponibilidad de Agua Enel Acuífero Saltillo-Ramos Arizpe (0510), estado de Coahuila, 2024.

Resultados

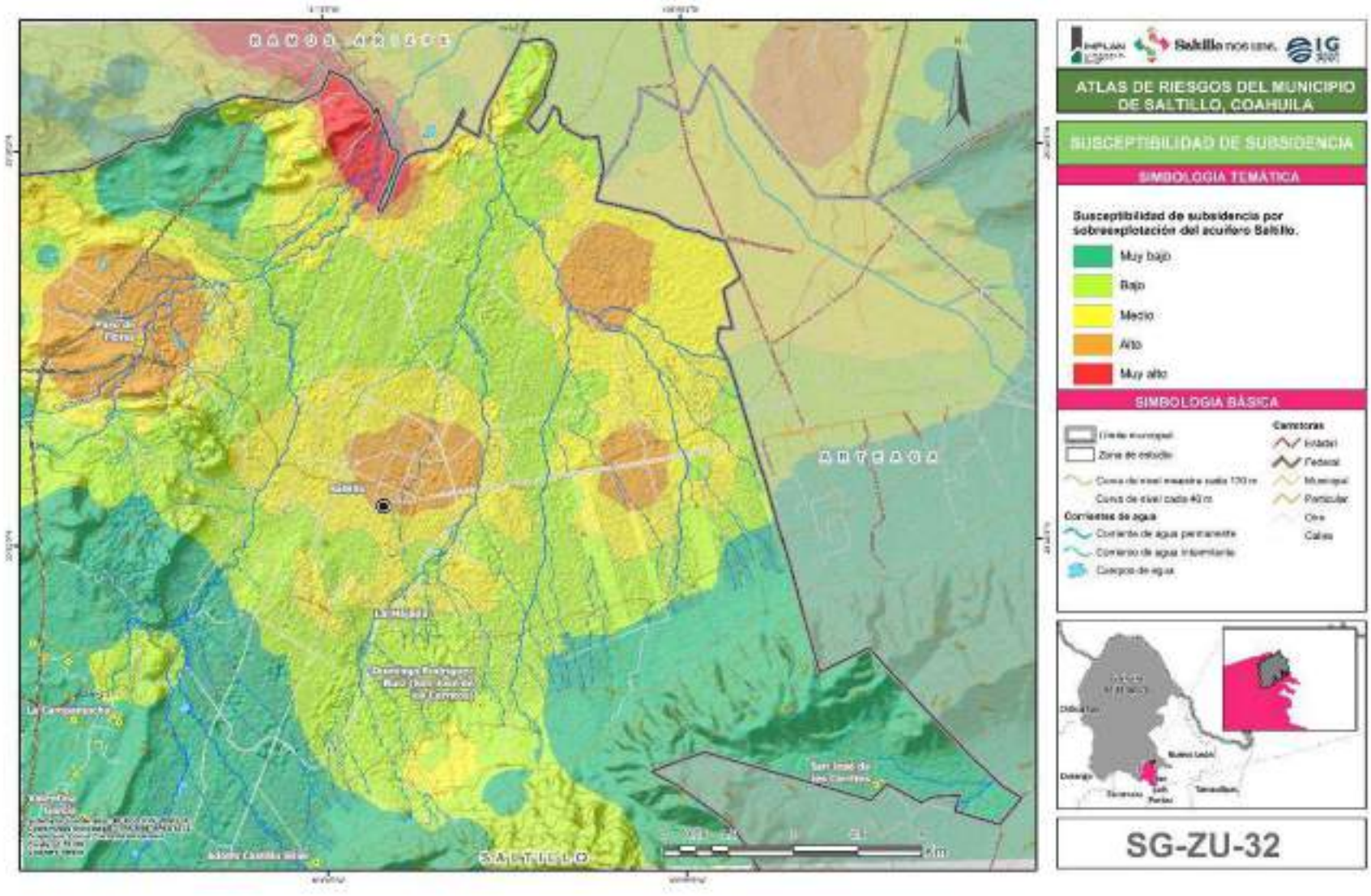
Considerando como factores condicionantes los valores de abatimiento de los niveles estáticos reportados por la CONAGUA y las características texturales de los suelos muestreados en campo, se tiene que las áreas más susceptibles a la subsidencia del terreno, así como la formación de grietas de tensión asociadas a dicho fenómeno se localizan en la partes norte, noreste, este, oeste y centro del área urbana, las cuales coinciden con los conos de abatimiento determinados por las curvas piezométricas del informe ya citado (

Figura 42).

La graduación de dichas zonas de susceptibilidad se distribuye espacialmente según las características texturales de los suelos identificados, pero al no haber sido considerado su espesor, no es posible determinar los asentamientos diferenciales que pudieran presentarse.

Estas limitaciones solo podrán subsanarse en la medida en que se realicen estudios detallados de las características del subsuelo, además de que se establezca un sistema de monitoreo que en principio puede estar basado en una red GNSS y el desarrollo de técnicas satelitales.

Figura 42. Zonificación de áreas susceptibles de subsidencia y agrietamiento en la Zona Metropolitana de Saltillo, Coah.



Fuente: elaboración propia a partir de datos de campo y Actualización de Disponibilidad de Agua Enel Acuífero Saltillo-Ramos Arizpe (0510), estado de Coahuila, 2024, CONAGUA.

6.1.2 Peligro ante fenómenos hidrometeorológicos

La ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos en el estado de Coahuila y particularmente en la Zona Metropolitana de Saltillo, son causa de una preocupación permanente en la población por las pérdidas humanas, así como materiales que ello implica. Paradójicamente Coahuila, uno de los estados que presenta mayor escasez de lluvia, padece periódicamente inundaciones provocadas por precipitaciones extraordinarias asociadas a huracanes, tormentas tropicales, además de lluvias convectivas.

En este sentido, se pueden citar entre otros, los huracanes: Alex (2010) que se estima afectó al menos a 100 mil coahuilenses y Hanna (2020), cuyas inundaciones perjudicaron de manera importante a la ciudad de Saltillo.

Por otra parte, la ausencia de ríos y arroyos de escurrimiento permanente origina una falsa percepción de seguridad en la población, que supone como muy improbable el desborde de las numerosas corrientes efímeras e intermitentes que cruzan el territorio municipal, pero cuyas márgenes pedregosas, también erosionadas indican claramente los niveles que pueden alcanzar durante la ocurrencia de las lluvias torrenciales.

Los asentamientos urbanos invaden, modifican, obstruyen, reducen y también disponen sus residuos sólidos en los lechos y laderas de los cursos naturales, agravando la amenaza de inundación. Aunado a lo anterior, el cambio de uso del suelo que transforma la superficie del terreno original - más permeable - en superficies cubiertas por concreto, además de pavimentos, aumenta sensiblemente los volúmenes de escurrimiento superficial e inhibe la infiltración hacia el subsuelo.

Metodología general

La metodología empleada para el desarrollo del presente apartado se divide en siete etapas principales, siendo estas:

a) Recopilación y análisis de información cartográfica disponible en: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), Servicio Geológico Mexicano (SGM), Instituto de Geografía (IG) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Instituto Municipal de Planeación Saltillo (IMPLAN), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), entre otros.

b) Compendio y consulta de información antecedente, tal como: informes, tesis, artículos científicos, atlas, artículos periodísticos, estudios, etcétera., ya sea facilitados por el IMPLAN, institutos de investigación, entidades gubernamentales o información disponible en la red.

c) Reconocimiento de campo. Consistentes en recorridos, además de verificación de puntos de interés geológico, hidrológico y geotécnico, de acuerdo con la revisión previa del material cartográfico de la zona de estudio, indicaciones de Protección Civil Municipal e IMPLAN. Cabe señalar que en los sitios indicados se realizaron pruebas de campo tales como: clasificación de suelos (SUCS), identificación textural, así como pruebas de permeabilidad in situ en suelos no saturados, estas últimas según el método utilizado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Publicación Técnica No. 195, Sanfandila, Qro, 2002.

d) Análisis de las evidencias y hallazgos registrados durante los reconocimientos de campo, relacionados con peligros geológicos e hidrometeorológicos, ya sea de naturaleza ambiental o antrópica.

a) Estimación de parámetros meteorológicos, morfométricos, geológicos, geotécnicos e hidrológicos para su aplicación en la realización de cálculos, además de modelación de los fenómenos naturales sujetos a estudio. La obtención del coeficiente de escurrimiento, tiempo de concentración y caudal pico, se establecen también en este apartado; considerando los resultados de las pruebas de permeabilidad practicadas *in situ*.

e) Elaboración de cálculos; en este caso hidrometeorológicos, bajo diferentes periodos de retorno (Tr = 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años, en su caso), atendiendo a las recomendaciones establecidas por la normativa vigente.

f) Modelación, además de elaboración de cartografía sobre las amenazas identificadas, tales como inundaciones por avenidas máximas extraordinarias en los cauces principales de Saltillo, zonas de inundación por precipitaciones extremas, temperaturas extremas (máximas y mínimas) según los periodos de retorno establecidos; así como: sequías, tormentas eléctricas, caída de granizo, vientos extremos y tormentas de polvo susceptibles de presentarse dentro del territorio municipal.

Ciclones Tropicales

Introducción / Antecedentes

Un ciclón tropical es un sistema atmosférico cuyo viento circula en dirección ciclónica, esto es, en el sentido contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio norte, y en el sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio sur. Como su nombre lo indica, el ciclón tropical se origina en las regiones tropicales de nuestro planeta. La circulación ciclónica y bajas presiones atmosféricas relativas normalmente coexisten. (CENAPRED, Ciclones Tropicales, serie fascículos, 2021).

En latitudes templadas los ciclones son referidos como depresiones o ciclones extratropicales, y el término ciclón se usa solo para referirse a los ciclones tropicales.

Estos sistemas de tormenta exigen, al menos, dos requisitos básicos: calor, además de humedad; como consecuencia, sólo se desarrollan en los trópicos, entre las latitudes 5° y 30° norte y sur, en las regiones, así como temporadas en que la temperatura del mar es superior a los 26° C. (CENAPRED, Ciclones Tropicales, serie fascículos, 2021).

Los ciclones intensos están entre los más destructivos de los desastres naturales, capaces de causar graves daños a poblaciones costeras y ocasionar pérdidas humanas. Sin embargo, proporcionan precipitaciones esenciales para gran parte de las tierras que cruzan. (CENAPRED, Ciclones Tropicales, serie fascículos, 2021).

A nivel estatal y de acuerdo con el reporte de Jiménez Espinoza, et. al (2012) elaborado para el Sistema Nacional de Protección Civil del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), Coahuila es uno de los seis estados de la República con menor grado de riesgo a ciclones tropicales. (Atlas de Riesgos Saltillo 2014).

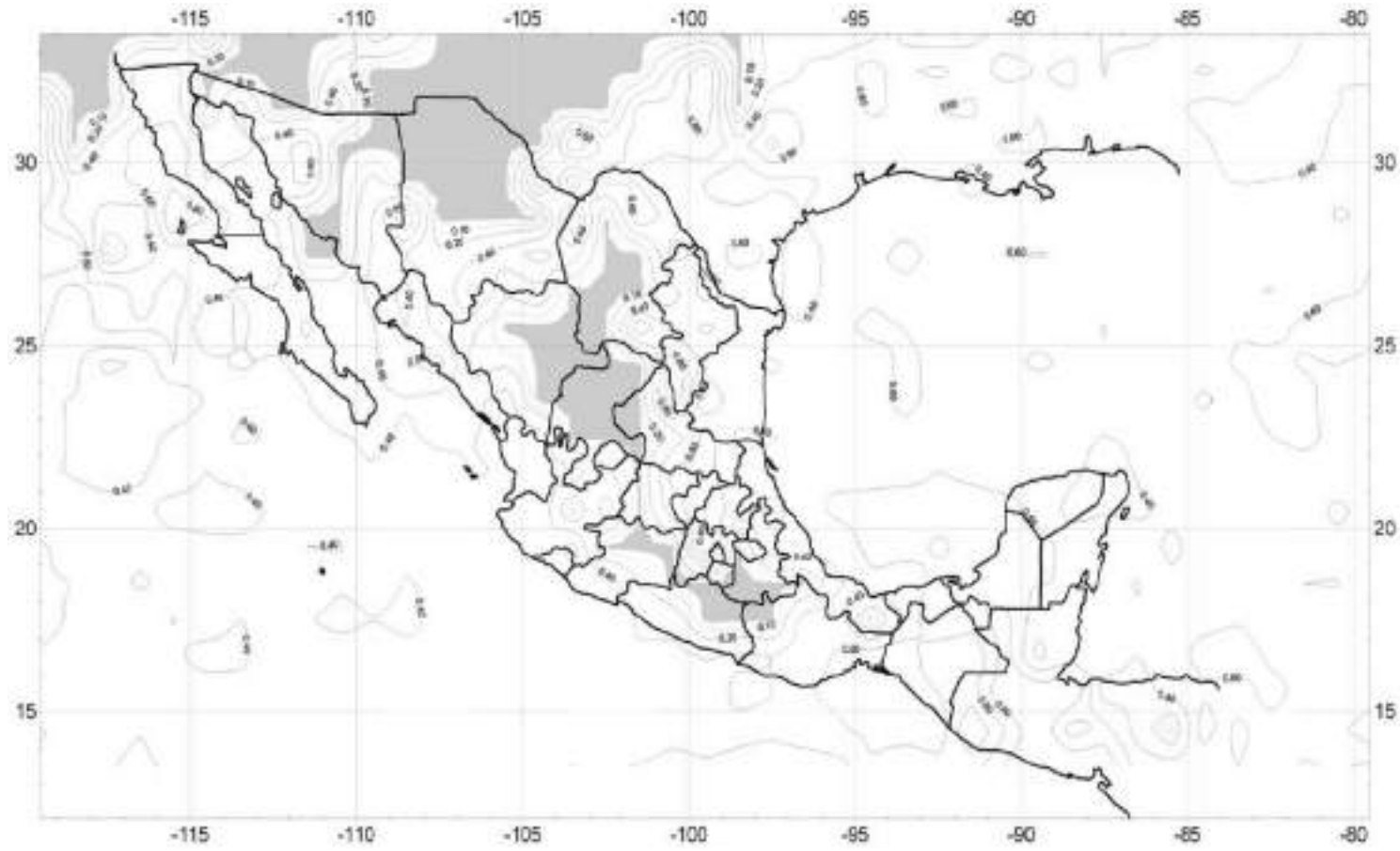
Metodología

Para determinar el peligro por ciclones tropicales se usó la metodología de CENAPRED, la cual provee mapas de probabilidad de presentación de depresiones tropicales hasta huracanes categoría cinco en la escala Saffir-Simpson, y que permite obtener la función de peligro, la taza de excedencia y los periodos de retorno para un lugar en particular, a través de la hoja de cálculo denominada: Calculo_Tr_Ciclones2005.

Dicha metodología es aplicada para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones costeras por mareas de tormenta (O.A. Fuentes Mariles et al., CENAPRED, UNAM), ha sido adoptada en parte para determinar los efectos que tienen los ciclones dentro del territorio continental y así, obtener un índice de peligro por ciclones tropicales (IPCT) para el municipio.

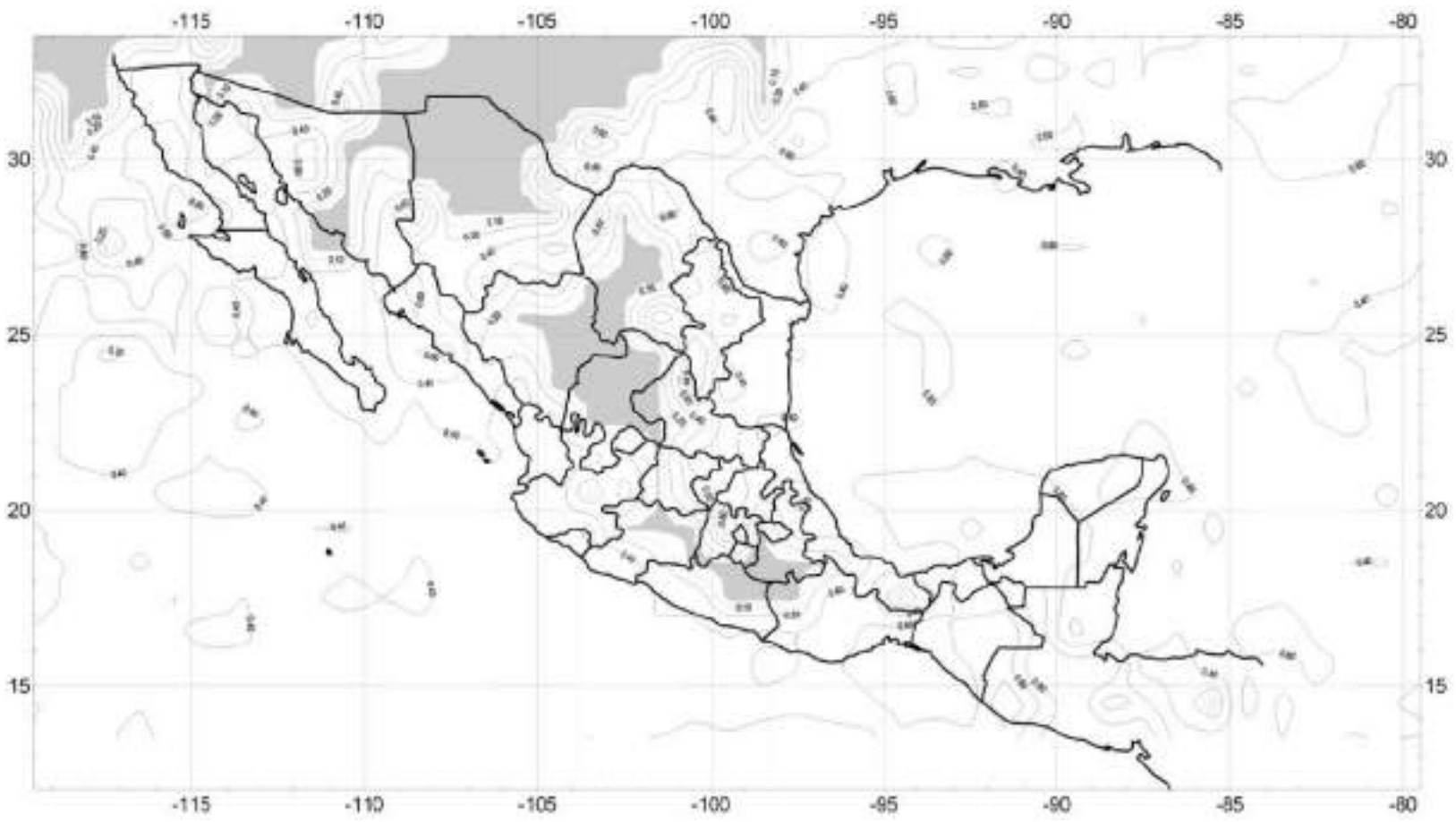
Para la obtención de las probabilidades de ocurrencia de un determinado nivel de ciclón tropical, se consultan una serie de mapas proporcionados en el manual, los cuales corresponden a cada categoría. En este caso solo tres mapas, ya que la máxima categoría que puede llegar a presentarse en el municipio es H1, o huracán tipo 1 (Mapa 29, Mapa 30 y Mapa 31), a partir de los cuales se tiene la Tabla 70

Mapa 29. Probabilidad de ocurrencia para depresiones tropicales (DT) en México. Fuente: Elaboración de mapas de riesgo por inundaciones costeras por mareas de tormenta (O.A. Fuentes Mariles et al., CENAPRED, UNAM).



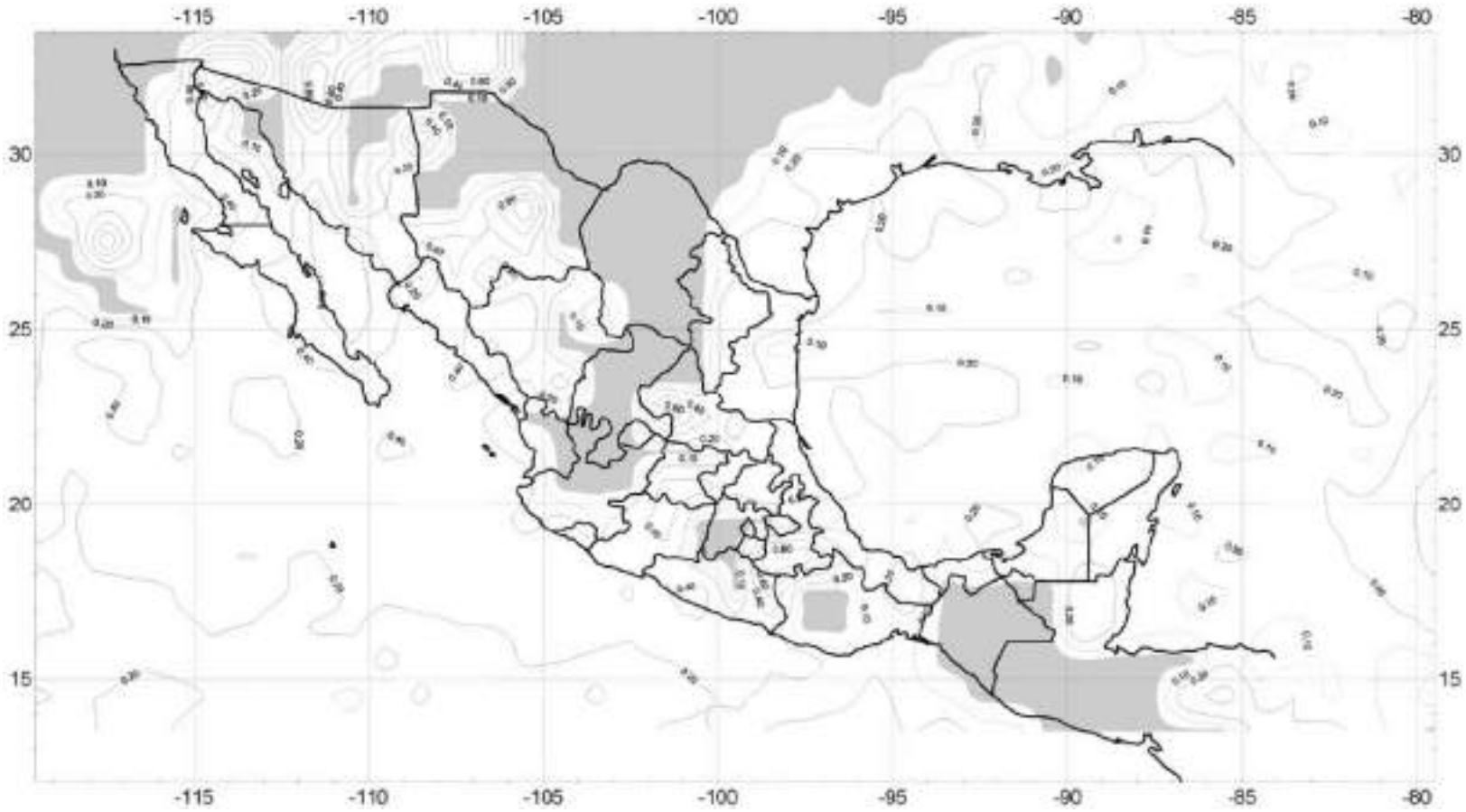
Fuente: CENAPRED-UNAM.

Mapa 30. Probabilidad de ocurrencia para tormentas tropicales (TT) en México. Fuente: Elaboración de mapas de riesgo por inundaciones costeras por mareas de tormenta (O.A. Fuentes Mariles et al., CENAPRED, UNAM).



Fuente: CENAPRED-UNAM.

Mapa 31. Probabilidad de ocurrencia para huracanes tipo I (H1) en México. Fuente: Elaboración de mapas de riesgo por inundaciones costeras por mareas de tormenta (O.A. Fuentes Mariles et al., CENAPRED, UNAM)



Fuente: CENAPRED-UNAM

Tabla 70. Valores de probabilidad de ocurrencia en Saltillo, Coah.

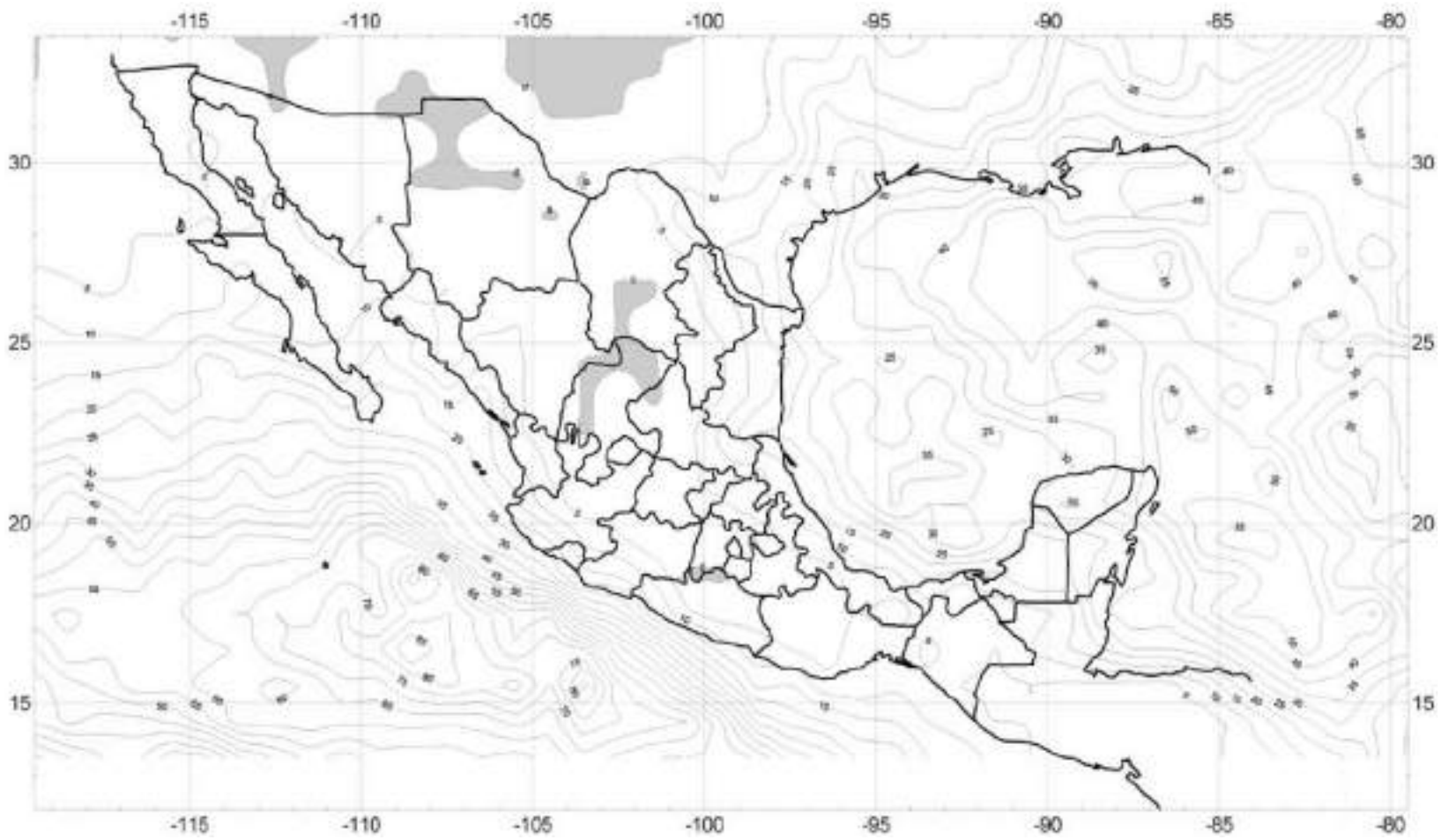
Tipo de ciclón	P(i) mostrado en el mapa
DT	0.6
TT	0.6
H1	0.05
H2	0
H3	0
H4	0
H5	0

Fuente: elaboración propia a partir de mapas de probabilidad 1, 2 y 3.

De la Tabla anterior se tiene que, existe la misma probabilidad para que ocurra una depresión o una tormenta tropicales (60%); y el 5% un huracán tipo 1. Para los huracanes H2, H3, h4 y H5, la posibilidad es cero, lo que indica que no se han registrado eventos de esas clases.

Posteriormente se determina el número total de ciclones tropicales para la misma localización, utilizando el mapa de interpolaciones de eventos totales mostrados en el Mapa 32.

Mapa 32. Número total de ciclones tropicales en México (Golfo de México y mar Caribe de 1851-2005 y Océano Pacífico de 1949-2005. Fuente: Elaboración de mapas de riesgo por inundaciones costeras por mareas de tormenta (O.A. Fuentes Mariles et al., CENAPRED, UNAM)



Fuente: CENAPRED-UNAM.

Con los datos obtenidos es posible conseguir una función de peligro, la tasa de excedencia de los eventos y los periodos de retorno para cada una de las intensidades de los ciclones tropicales en la región analizada, utilizando para tal fin la hoja de cálculo antes mencionada.

Memoria de cálculo

Aplicando el *software* ya descrito se obtiene la Tabla 71 mostrada a continuación:

Tabla 71. Cálculo del periodo de retorno para fenómenos ciclónicos en el municipio de Saltillo, Coah.

Tipo	Intensidad	P(i)	P(i) Ajustada	P(i) Acumulada	Eventos por tipo	μ(i) total	μ(i) anual	Tr(i)
DT	1	0.60	0.52	0.5217	1.57	3.00	0.0194	51.67
TT	2	0.60	0.44	0.9565	1.30	1.43	0.0093	108.03
H1	3	0.05	0.04	0.4783	0.13	0.13	0.0008	155.00
H2	4	0.00	0.00		0.00			
H3	5	0.00	0.00		0.00			
H4	6	0.00	0.00		0.00			
H5	7	0.00	0.00		0.00			

Fuente: resultados de la aplicación de hoja de cálculo: Calculo_Tr_Ciclones2005, elaboración de mapas de riesgo por inundaciones costeras por mareas de tormenta (O.A. Fuentes Mariles et al., CENAPRED, UNAM).

Resultados

De acuerdo con la Tabla 71, las probabilidades para que ocurran los fenómenos señalados se pueden resumir en la Tabla 72; y en el

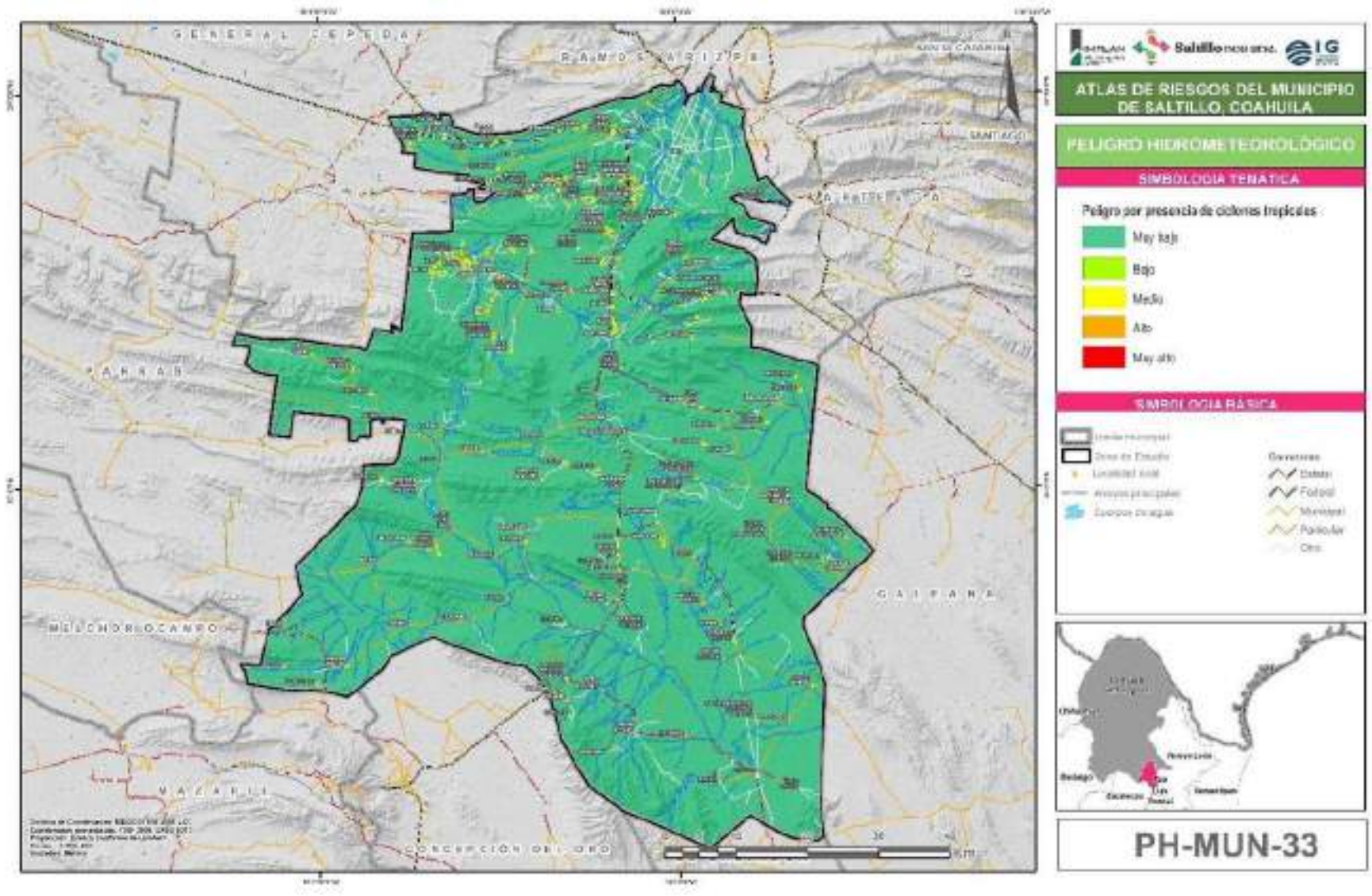
Mapa 33, se tienen los resultados de peligro por ciclón en el territorio municipal de acuerdo con el CENAPRED.

Tabla 72. Probabilidad anual y tiempo de retorno para ciclones tropicales en el municipio de Saltillo, Coah.

Tipo	Probabilidad anual (%)	Tiempo de retorno en años (Tr)	
DT	1.94	51.67	
TT	0.93	108.03	
H1	0.08	155	

Fuente: elaboración propia, a partir de resultados obtenidos en Calculo_Tr_Ciclones2005.

Mapa 33. Mapa de peligro por ciclón tropical en el municipio de Saltillo, Coah.



Fuente: elaboración de mapas de riesgo por inundaciones costeras por mareas de tormenta (O.A. Fuentes Mariles et al., CENAPRED, UNAM).

Heladas

Introducción / Antecedentes

La helada es un fenómeno atmosférico que consiste en la disminución de la temperatura del aire a un valor igual o inferior al punto de congelación del agua 0°C (WMO, 1992). La cubierta de hielo es una de sus formas producida por la sublimación del vapor de agua sobre los objetos; ocurre cuando se presentan dichas temperaturas (Ascaso y Casasls, 1986).

Las heladas se presentan particularmente en las noches de invierno por una fuerte pérdida radiactiva. Suele acompañarse de una inversión térmica junto al suelo, donde se presentan los valores mínimos, que pueden descender a los 2°C o aún más. Desde el punto de vista agroclimático, es importante considerar a dicho fenómeno, dados sus efectos en el sector agrícola (Engelbert, 1997). Pero es relevante, aunque en menor grado, las afectaciones a la salud de la población que es influenciada por las olas de frío (Eagleman, 1983).

Para el cuerpo humano los daños por nevadas o las heladas, producen un aumento en las infecciones respiratorias agudas (IRAS), el congelamiento de la piel y la hipotermia (Engelbert, 1997). Además de provocar enfermedades de tipo circulatorio, ambas se incrementan notablemente durante la presencia de ondas gélidas (Kilbourne, 1997).

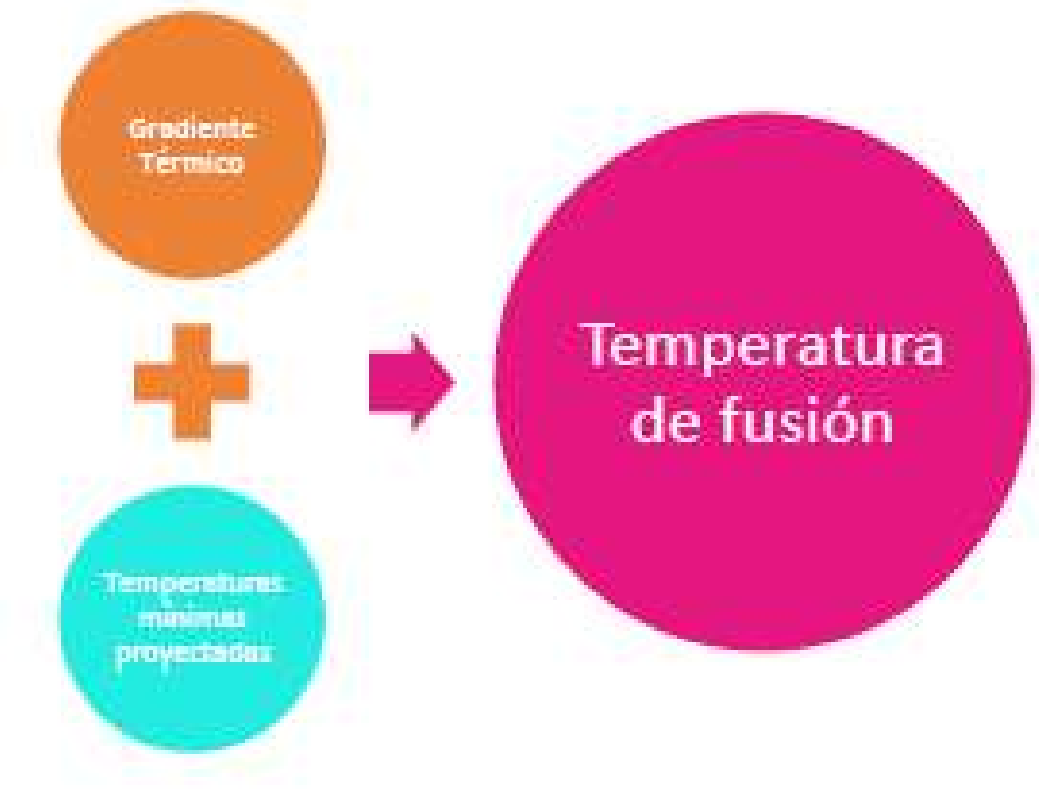
Las heladas en México se presentan en el norte y centro de la República, durante los meses fríos del año (noviembre - febrero), se manifiestan temperaturas menores de 0°C debido al ingreso de aire polar continental, generalmente seco, proveniente de Estados Unidos. La región sur del Municipio de Saltillo se encuentra catalogada como una región de riesgo por presentar una temporada de heladas de más de 50 días en promedio por año. (CENAPRED, Heladas, serie fascículos, 2014).

Metodología

El mapa de susceptibilidad a heladas es resultado de la generación de un mapa de factores condicionantes del fenómeno, más la identificación de temperaturas mínimas (por debajo de 0 grados) como factor detonante del fenómeno.

Para la elaboración de los mapas mostrados en este apartado se empleó información emitida por instituciones como el Servicio Meteorológico Nacional (SMN)y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
La identificación de la distribución de la temperatura de fusión media es el resultado de cruzar el gradiente térmico con las temperaturas mínimas promedio registradas en las normales climatológicas del Servicios Meteorológico Nacional SMN.

Figura 43. Factores condicionantes del fenómeno



Fuente: elaboraciónpropia.

El gradiente térmico, en la zona tropical, es de 1ºC por cada 155m de altitud, debido a la menor insolación que recibe y al menor espesor de la atmósfera. También en estas mismas zonas se producen diferentes variaciones como consecuencia de la orientación del relieve y de la distancia a la que se encuentre de la línea del ecuador, así como de los polos. (Sánchez, 2014).

La distribución de las temperaturas mínimas en el municipio y el gradiente térmico (término referente a la disminución de la temperatura de forma vertical respecto a cada elevación altitudinal), componen los mapas de temperaturas mínimas de fusión, cuya finalidad es identificar las zonas donde existe mayor propensión al congelamiento del suelo y la vegetación.

Memoria de cálculo

Desde el punto de vista agroclimático, es importante considerar a dicho fenómeno, ya que los cultivos son vulnerables a las heladas, con efectos como la deshidratación, perdida de hojas, así como tallos tiernos, destrucción de hojas, frutos, flores e incluso la muerte total de la planta. También es relevante, aunque en menor grado, las afectaciones a la salud de la población que son influenciadas por las olas de frío (CENAPRED, 2001).

Para generar un mapa de peligro por heladas para el Municipio de Saltillo y debido a la falta de información puntual confiable dentro de la zona, se tomaron en cuenta únicamente los valores de temperaturas mínimas registradas por las estaciones ubicadas dentro y alrededor de los límites del municipio. Las estaciones utilizadas son producto de una combinación de información proveniente del sistema CLICOM y del sistema ERIC III.

A partir de la información recolectada se sabe que los valores de temperatura mínima se encuentran por debajo de los 4 grados bajo cero. En la Tabla 73 se muestra la categorización que se le ha dado a los diferentes rangos de temperaturas mínimas que, finalmente se muestran en el mapa de peligro por heladas, presentado aquí.

Tabla 73. Valores reclasificados de temperaturas mínimas utilizados para generar el mapa de peligro por heladas.

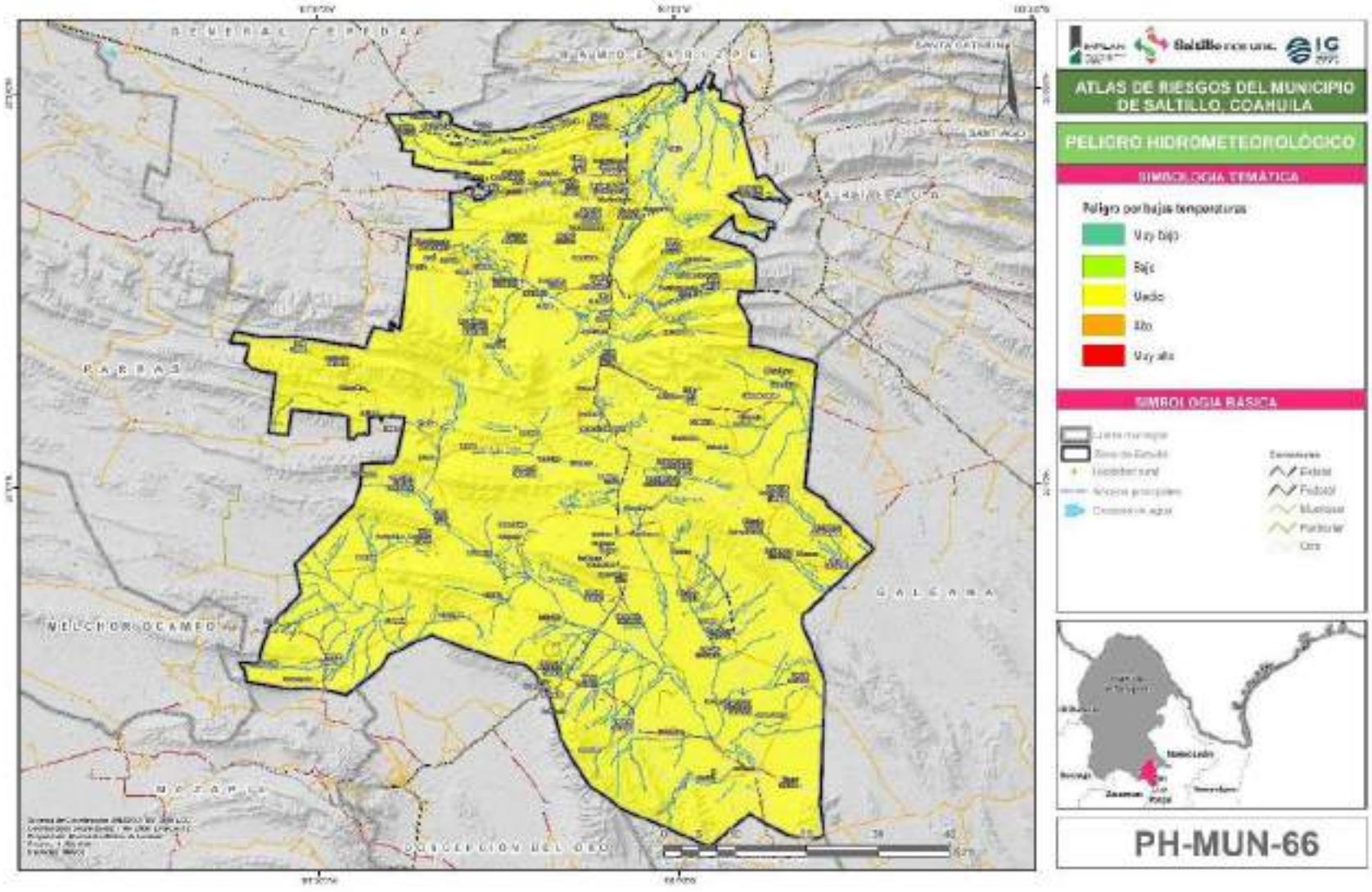
Valor de temperatura mínima	Reclasificación por nivel de peligro	
-4 a -8.5	1	Muy Bajo
-8.5 a -13	2	Bajo
-13 a -17.5	3	Medio
-17.5 a -21.9	4	Alto
-21.9 a -30.9	5	Muy Alto

Fuente: modificado de Cordero Devesa y Jiménez Espinosa, 2021.

Resultados

Partiendo de los criterios establecidos en la metodología descrita, se tiene que el municipio de Saltillo presenta un índice de peligro por heladas alto durante la época de invierno. En el Mapa 34**Error! Reference source not found.** se observa que esta condición prevalece para todo el municipio.

Mapa 34.Peligro heladas en el municipio de Saltillo, Coah.



Fuente: formado a partir de datos vectoriales del INEGI.

Inundaciones fluviales

Introducción / Antecedentes

Dentro de los fenómenos hidrometeorológicos que más llegan a afectar a la población, principalmente la que se encuentra asentada en las riberas de ríos, así como arroyos, se tienen las inundaciones causadas por avenidas extraordinarias que pueden dañar seriamente o destruir edificaciones e infraestructura y arrastrar vehículos, enseres, animales, además de personas.

La mayor parte de estos desastres se ven propiciados por la invasión y alteración de los cauces que se piensa no rebasan cierto nivel, principalmente en las regiones donde las lluvias son escasas, como en las partes áridas y semi-áridas del país. Esta falsa percepción puede incluso incidir en las personas encargadas de la planificación urbana; pero, sobre todo, en las organizaciones que estimulan la creación de asentamientos irregulares.

El caso de la Zona Metropolitana de Saltillo no es la excepción, ya que es evidente la alteración de las secciones hidráulicas de los numerosos arroyos que la cruzan; ya sea por la construcción de terraplenes para ganar más espacio, el vertido de residuos sólidos urbanos, la habilitación de corrales o incluso su obstrucción completa por edificaciones y calles.

Debido a lo anterior, es muy común que se presenten afectaciones regularmente durante la época de lluvias, por lo que consecuentemente se considera prioritaria su atención y solución, causando la mayor inquietud en una parte importante de la población.

Metodología

De acuerdo con el procedimiento establecido por el CENAPRED se desarrollaron diversas actividades que incluyeron:

- Adquisición y análisis de material tanto cartográfico, como documental relacionado con el tema y el territorio municipal.
- Visitas de campo. Reconocimiento de los sitios determinados durante el análisis del material antes descrito, así como los puntos reportados por la Dirección de protección Civil y Bomberos de Saltillo. Durante los recorridos efectuados, se recopiló información referida a las características geométricas de los cauces, estado de los mismos, obtención de muestras de suelo para su clasificación y registro de propiedades texturales, pruebas de permeabilidad de campo ((SCT) y registro fotográfico documental.
- Determinación de propiedades morfométricas de las nanocuencas seleccionadas, utilizando la información proporcionada por el Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL) del INEGI.
- Cálculos hidrológicos para el establecimiento de coeficientes de escurrimiento, relación lluvia-escurrimiento, cálculo de precipitación e intensidades de diseño para duraciones menores a 24 horas, curvas de precipitación-duración-periodo de retorno, además de curvas de intensidad-duración frecuencia.
- Obtención de gastos o caudales para periodos de retorno de 5, 25, 200 y 500 años.
- Modelación de características geométricas de los cauces con el programa Hec-GeoRas 10.2.

- Modelación de flujo en los arroyos seleccionados con el programa HecRas 5.0.7.
- Modelación de peligro de inundación en Arc Gis 10.4.

La metodología practicada corresponde con los lineamientos establecidos por la CONAGUA y el CENAPRED, particularmente en lo referente a los periodos de retorno que deben considerarse para la prevención, manejo y control de inundaciones fluviales, tal como se detalla en el Anexo 1 del presente Atlas.

En este sentido, el periodo de retorno de cinco años se ha contemplado con él fin de definir la zona federal que debe tomarse en cuenta para establecer el límite máximo en el desarrollo de la traza urbana, además de presentar una probabilidad muy alta de inundación. Los periodos de 25, 50 y 100 años son de observancia común en la mayor parte de los gastos de diseño para diferentes tipos de obra, coincidiendo el de 100 años con el tiempo de retorno estimado para el caso de lluvias intensas generadas por tormentas tropicales y huracanes Tipo I, que han llegado a registrarse en la región; según lo explicado en el capítulo de ciclones.

También, cabe considerar los límites naturales definidos por el propio cauce, que incluyen una franja o planicie de inundación que puede reconocerse por la topografía y el tipo de depósitos aluviales acumulados en ambas márgenes de la corriente, así como el nivel del agua que ha sido registrado históricamente.

El desarrollo y resultados de los diferentes cálculos hidráulicos que han sido considerados para la determinación de los caudales máximos esperados en los arroyos:

1. Arroyo del Pueblo Medio.
2. Arroyo Ceballos.
3. El Cuatro - Arroyo Blanco.
4. Ceballos Bajo-El Cuatro Bajo.
5. Arroyo del Pueblo Alto (Derramadero).

Estos cálculos fueron realizados según las precipitaciones máximas diarias estimadas por medio de las funciones de probabilidad descritas en el apartado de hidrología correspondiente, cuyo resumen se muestra en la Tabla 74.

Cabe aclarar que, sobre todo en el caso de la Zona Metropolitana de Saltillo, la modelación del tránsito de avenidas reviste cierto grado de incertidumbre, debido a las limitaciones inherentes en los modelos de elevación digital que se encuentran sujetos a la presencia de obstáculos - principalmente de origen antrópico-, tales como: edificaciones, además de vialidades que aparentemente interrumpen el cauce, así como obras de derivación y drenaje pluvial, entre otros.

Por lo anterior, los modelos de inundación deben considerarse aproximados y será necesario realizar levantamientos hidro topográficos de detalle para definir las condiciones reales que permitan el desarrollo de modelos hidráulicos precisos en cada caso, para la elaboración de proyectos de ingeniería.

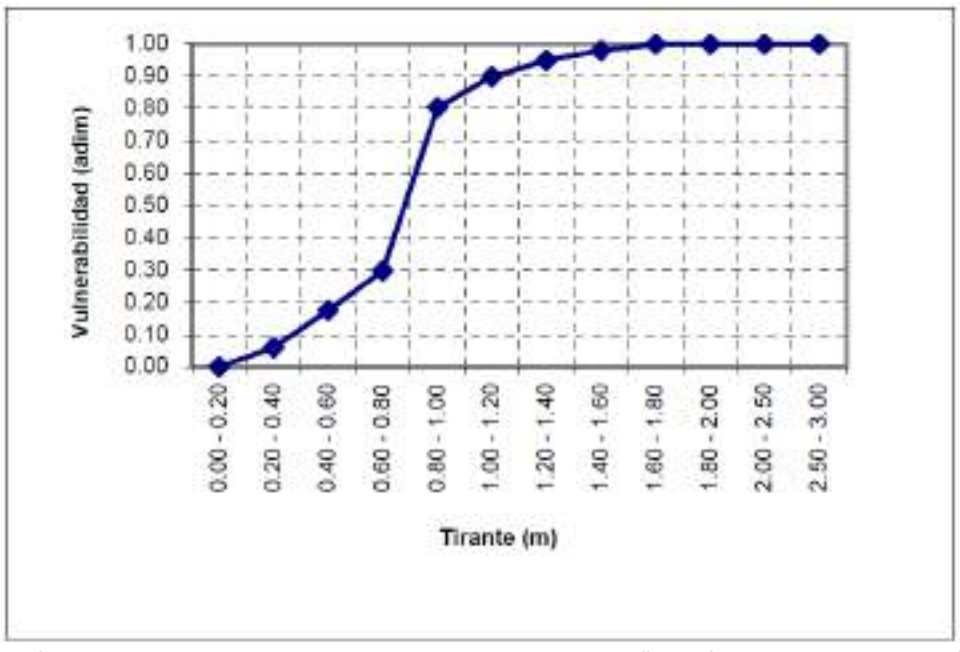
Los rangos de peligro por inundación han sido establecidos de acuerdo con las funciones de vulnerabilidad para vivienda tipos I, II y III, que constan de un solo piso y por lo tanto representan el peor escenario bajo los tirantes de inundación definidos; esto de acuerdo con la “Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos”, Fenómenos Hidrometeorológicos, elaborada por el CENAPRED (Gráfica 13, Gráfica 14, Gráfica 15 y Tabla 75Tabla 75).

Tabla 74. Resumen de precipitaciones máximas diarias calculadas por estación meteorológica considerada, según diferentes periodos de retorno

PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS CALCULADAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO EN ESTACIONES METEOROLÓGICAS SELECCIONADAS																
ID	CLAVE	NOMBRE	Coordenadas UTM WGS-84		ASNM (m)	Precipitación máxima diaria calculada para diferentes periodos de retorno (mm)									PMA (mm)	TMA (°C)
			X	Y		Tr_2	Tr_5	Tr_10	Tr_20	Tr_25	Tr_50	Tr_100	Tr_200	Tr_500		
1	5003	ARTEAGA (SMN)	313,982.19	2,816,067.93	1,660	32.41	53.82	86.40	114.17	122.19	145.80	168.37	190.45	219.37	395.4	15.0
2	5016	GENERAL CEPEDA	250,923.11	2,809,671.61	1,400	37.17	55.70	68.89	82.11	86.42	100.05	114.13	128.74	148.96	353.6	14.9
3	5032	RAMOS ARIZPE (SMN)	300,709.80	2,825,492.28	1,470	29.81	43.90	63.92	82.25	87.44	102.53	116.82	130.75	148.93	246.6	15.1
4	5035	SAN ANTONIO LAS ALAZANAS (DGE)	340,959.15	2,796,057.86	2,180	33.61	46.23	54.59	62.61	65.15	72.98	80.76	88.51	98.73	501.6	9.9
5	5048	SALTILLO (DGE)	298,868.22	2,814,435.83	1,700	33.99	52.00	66.68	82.74	88.25	106.48	126.54	148.59	181.04	349.6	14.8
6	5049	SAN ANTONIO LAS ALAZANAS (SMN)	337,221.52	2,797,298.76	2,300	33.46	48.99	59.27	69.13	72.26	81.90	91.47	101.00	113.58	383.1	10.3
7	5081	CARNEROS	287,144.48	2,779,811.85	2,100	35.92	48.54	56.89	64.91	67.45	75.28	83.05	90.80	101.02	385.4	12.7
8	5136	LAS HORMIGAS	312,165.70	2,761,839.13	2,110	35.57	48.39	56.87	65.01	67.59	75.54	83.44	91.30	101.68	375.6	11.8
9	5140	RAMOS ARIZPE (DGE)	303,989.17	2,826,093.76	1,400	37.95	58.75	72.22	84.79	88.71	100.59	112.14	123.45	138.14	321.7	13.9
10	5141	GOMEZ FARIAS	295,035.39	2,762,483.55	1,920	38.89	55.01	69.20	86.25	92.48	114.68	141.99	175.65	232.58	415.0	10.6
11	5142	HIPOLITO	258,687.34	2,844,469.91	1,150	24.73	46.01	63.77	83.51	90.33	113.11	138.45	166.58	208.42	162.7	18.1
12	5145	SAN JUAN DE LA VAQUERIA	276,408.64	2,794,999.49	1,840	37.29	47.98	54.78	61.12	63.10	69.13	75.04	80.89	88.59	428.1	15.4
13	5146	HUACHICHIL	315,657.60	2,789,244.60	2,100	59.16	81.56	96.57	111.02	115.62	129.89	144.21	158.69	178.19	696.8	10.3
14	5149	CIENEGA DE LA PURISIMA	345,991.44	2,803,266.25	2,420	44.85	70.19	91.26	114.63	122.70	149.60	179.48	212.60	261.77	626.2	12.3
15	5162	DOS DE ABRIL	240,562.06	2,807,832.97	1,550	45.44	65.87	79.39	92.36	96.48	109.15	121.73	134.27	150.80	375.0	14.7
16	5170	LA ROSA	260,195.34	2,824,492.35	1,680	33.79	59.27	91.36	138.67	153.14	194.33	232.68	269.92	318.56	340.4	13.8
17	5175	LA VENTURA	308,733.38	2,726,191.28	1,867	37.20	57.91	72.73	87.28	91.95	106.39	120.84	135.33	154.58	346.5	11.5
18	5176	JAME	336,940.84	2,806,563.18	2,759	39.73	52.73	60.39	67.19	69.26	75.39	81.20	86.76	93.85	426.3	6.3
19	19002	AGUA BLANCA	346,976.90	2,826,085.63	2,193	53.22	83.53	172.67	257.09	281.39	353.04	421.68	488.97	576.77	625.9	9.5
20	19031	LA CRUZ	346,979.70	2,826,329.31	2,224	52.56	82.59	119.73	155.13	165.55	196.28	225.66	254.41	292.00	635.8	18.3
21	19032	CARBONERA	319,409.25	2,745,091.36	2,035	36.35	61.18	73.07	80.65	82.74	88.76	94.35	99.94	108.07	430.2	11.1
22	19054	RINCONADA	327,638.96	2,841,488.20	1,000	31.51	59.87	91.56	137.64	156.63	233.26	346.36	513.56	863.52	212.1	17.9
23	19057	SAN RAFAEL	343,752.33	2,768,764.39	1,887	40.44	60.50	75.28	90.43	95.44	111.44	128.25	145.94	170.82	408.7	8.5
24	19115	EL CUIJE	332,369.12	2,777,916.52	1,875	35.72	45.56	51.02	55.68	57.06	61.08	64.78	68.24	72.52	422.3	8.1
25	19129	EL PEÑUELO	320,462.13	2,717,815.32	1,840	37.95	50.74	58.48	65.44	67.57	73.91	79.94	85.74	93.13	332.5	12.2
26	32036	MAZAPIL	241,293.45	2,727,559.62	2,274	35.56	47.57	54.96	61.71	63.79	70.07	76.12	82.04	89.71	484.9	12.0
27	32087	CONCEPCIÓN DEL ORO	258,106.66	2,725,129.15	1,940	37.42	49.80	56.30	61.68	63.24	67.72	71.75	75.44	79.91	419.4	12.7

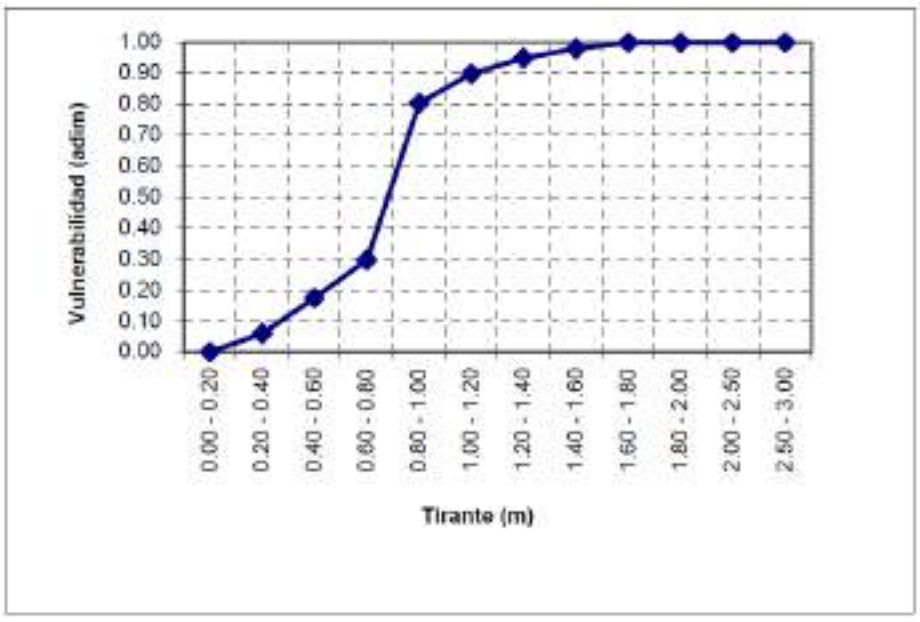
Fuente: elaboración propia, de acuerdo con resultados de la aplicación de funciones de distribución con mejor ajuste para diferentes periodos de retorno.

Gráfica 13. Función de vulnerabilidad para vivienda Tipo I



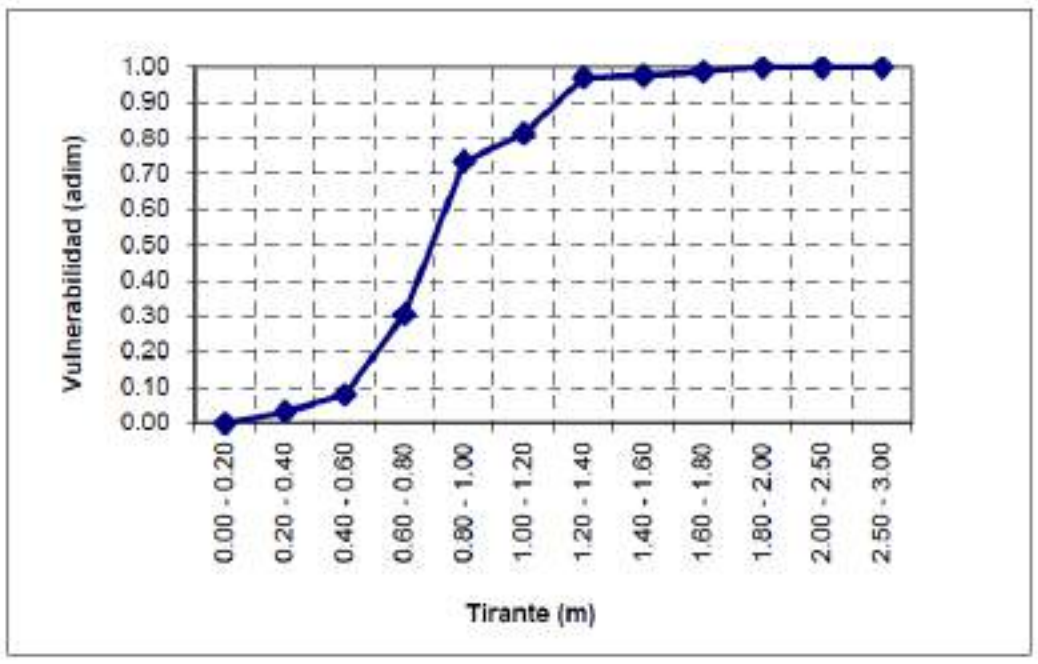
Fuente: Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos", Fenómenos Hidrometeorológicos, elaborada por el CENAPRED

Gráfica 14. Función de vulnerabilidad para vivienda Tipo II



Fuente: Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos", Fenómenos Hidrometeorológicos, elaborada por el CENAPRED.

Gráfica 15. Función de vulnerabilidad para vivienda Tipo II



Fuente: Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos", Fenómenos Hidrometeorológicos, elaborada por el CENAPRED.

Tabla 75. Rangos de peligro por inundación

Rangos de peligro por inundación		
Tirante (m)	Peligro	
0.00 a 0.20		Muy Bajo
0.20 a 0.40		Bajo
0.40 a 0.80		Medio
0.80 a 1.40		Alto
más de 1.40		Muy Alto

Fuente: elaboración propia, con base en funciones de vulnerabilidad de vivienda Tipos I, II y III.

Memoria de cálculo

A continuación, se presenta el procedimiento de cálculo para el Arroyo del Pueblo, Tramo Cerro del Pueblo - Arroyo Las Flores (Medio), con la finalidad de exponer el procedimiento y los cálculos realizados. Para el resto de los cauces estudiados se presentan únicamente los resultados obtenidos y las memorias de cálculo correspondientes se pueden consultar en el Anexo 1 del Atlas.

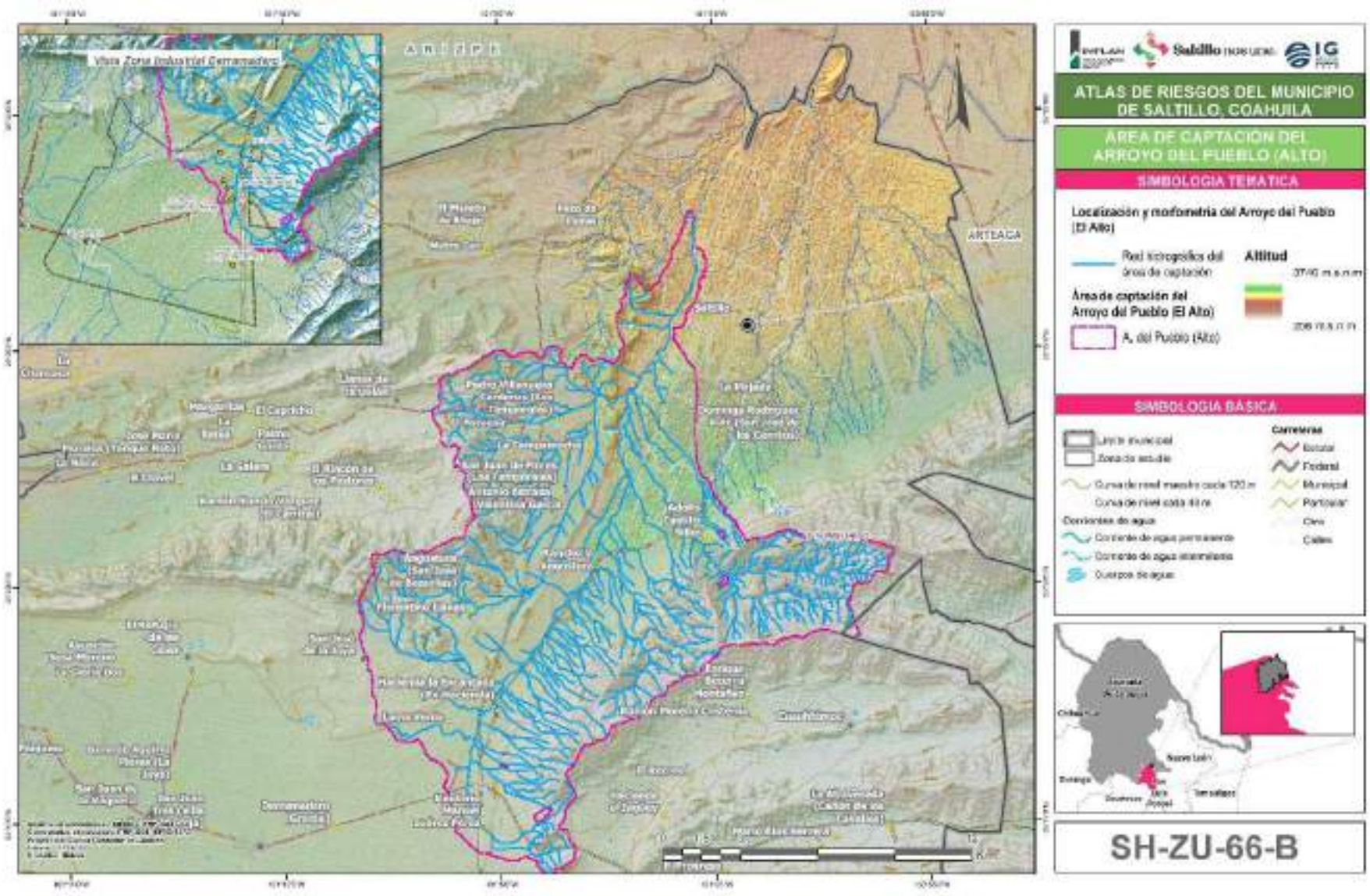
Arroyo del Pueblo, Tramo: Cerro del Pueblo-Arroyo Las Flores (Medio)

Localización y morfometría

La cuenca de captación de esta subunidad hidrológica ocupa la porción sur - occidental de la Zona Metropolitana de Saltillo, extendiéndose hacia el SW hasta el vértice sur de la Sierra de Zapalinamé y el valle de Derramadero, donde se encuentra la zona industrial homónima. Perteneciente a la subcuenca del río San Miguel, este arroyo cruza toda la ciudad de Saltillo y en él confluyen todas las corrientes que surcan el Valle de Saltillo (Mapa 35).

Su régimen originalmente efímero, actualmente se alimenta por las descargas de aguas residuales generadas en el área urbana, desconociéndose dicho dato. Su forma dendrítica paralela se encuentra normada por los grandes plegamientos que forman las sierras de Palma Gorda y Zapalinamé, formando una densa e intrincada red de cañadas y arroyos que descienden a partir de los numerosos abanicos aluviales situados en el piedemonte de las sierras señaladas.

Mapa 35. Localización y morfometría del Arroyo del Pueblo (Alto).



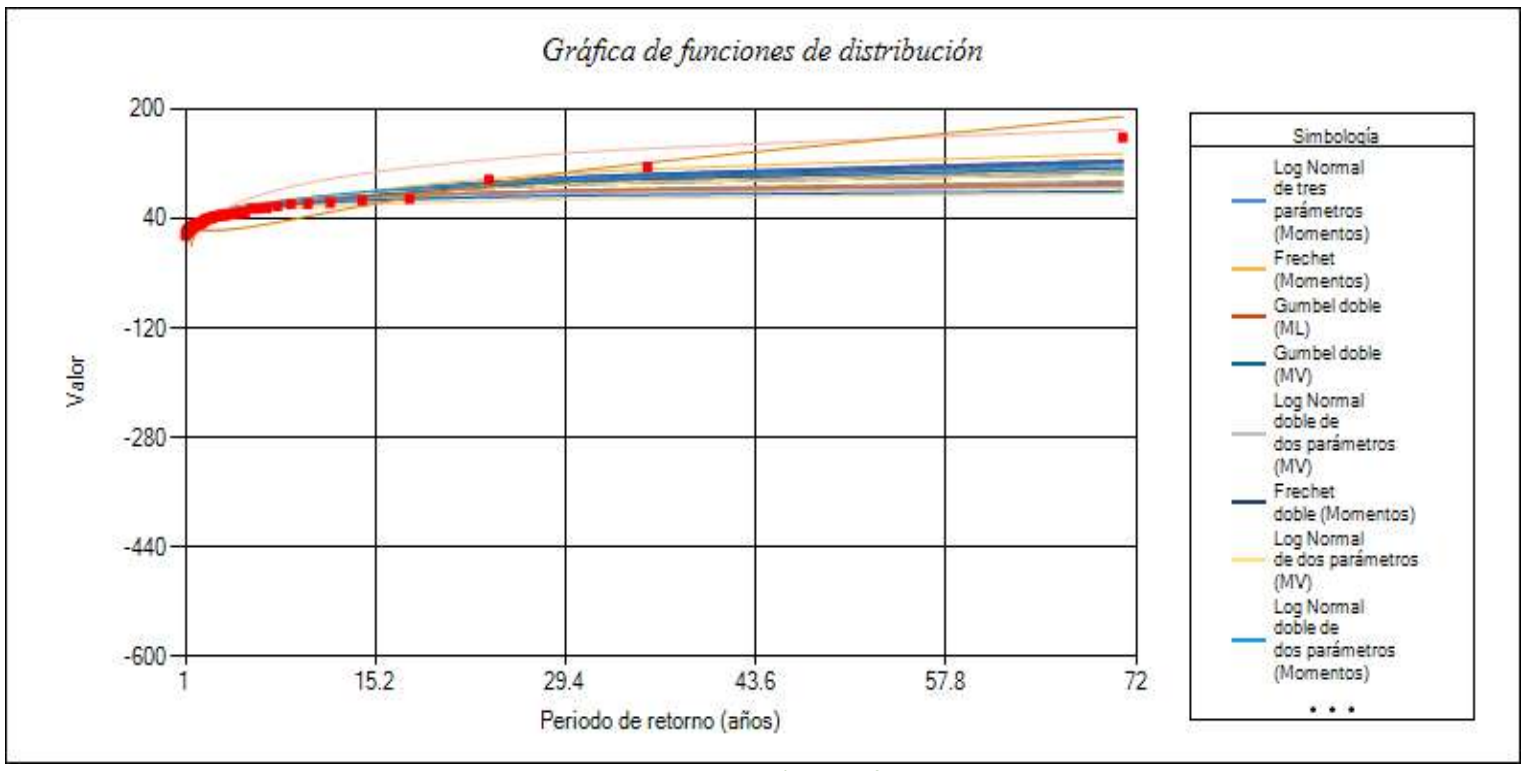
Fuente: elaboración propia, a partir de datos vectoriales del INEGI y MDT LIDAR.

Los datos registrados desde 1947 a la fecha (77 años) en la estación climatológica 05048, Saltillo (DGE) pueden considerarse entre los más completos y representativos de la región, por lo que dichos datos han sido utilizados en la construcción de las curvas de precipitación - duración - periodo de retorno según el método del USCS.

El resumen de los resultados de las funciones de distribución aplicadas se presenta en la Tabla 4, presentando en este caso el mejor ajuste la función LogNormal de tres parámetros (Momentos) según la prueba de Kolmogorov.

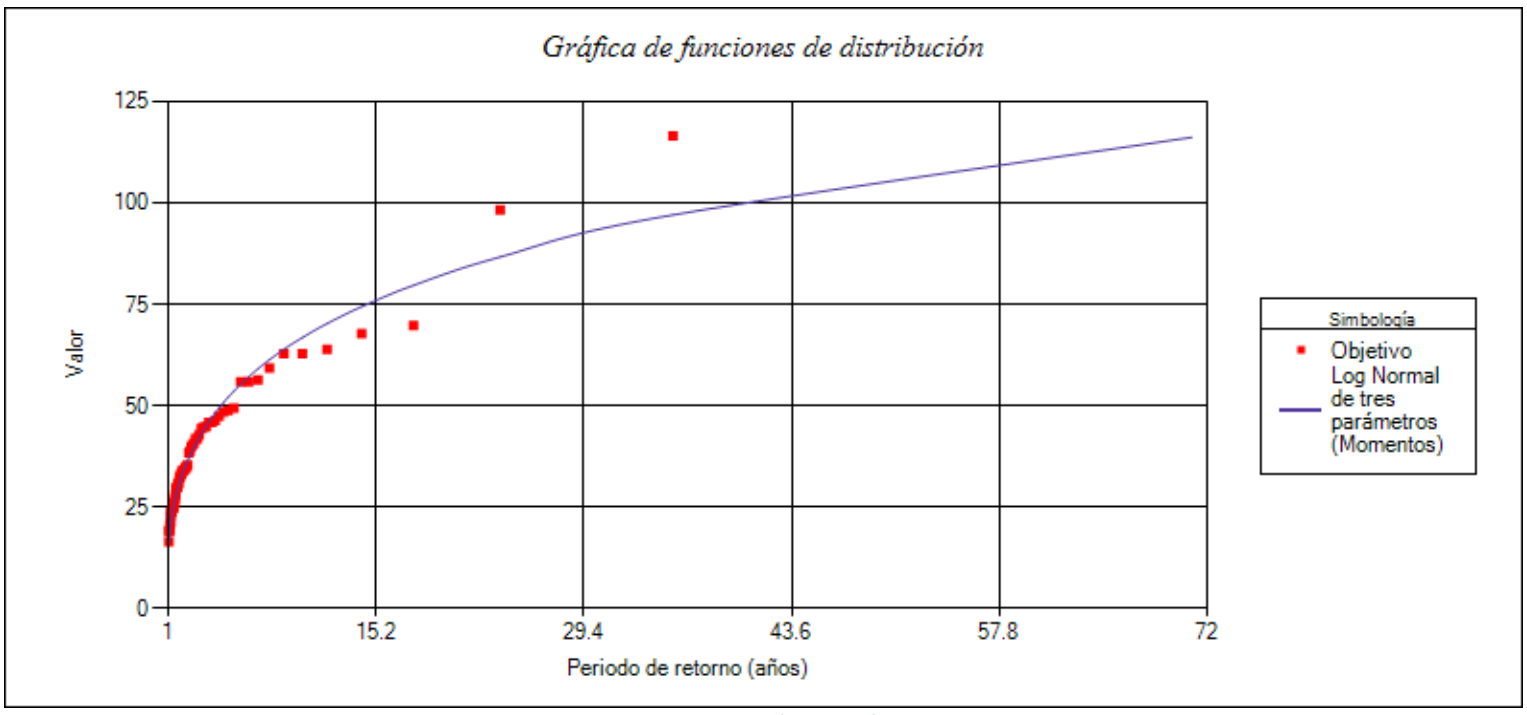
De dichos resultados se obtienen la Gráfica 16 y la Gráfica 17 así como los datos de precipitación máxima diaria bajo diferentes periodos de retorno (Tabla 76)

Gráfica 16. Funciones de distribución empleadas



Fuente: Resultados de cálculo software Ax+b.

Gráfica 17. Función de distribución con mejor ajuste



Fuente: resultados de cálculo software Ax+b.

Tabla 76. Resultados de cálculo para diferentes periodos de retorno. Estación 05048 Saltillo (DGE)

Resultados	
Periodo de retorno (años)	**Dato (mm/día)**
2	33.99
5	52.00
10	66.68
20	82.74
25	88.25
50	106.48
100	126.54
200	148.59
500	181.04

1000	208.27
5000	281.36
10000	317.47

Fuente: resultados de cálculo software Ax+b.

Tabla 77. Resumen de cálculo con diferentes funciones de distribución y pruebas de mejor ajuste

Resumen										
Función	EEA	Orden	Kolmogorov	Orden 2	Anderson Darling	Orden 3	Ji Cuadrado	Orden 4	Nash-Sutcliffe	Orden 6
Log Normal de tres parámetros (Momentos)	6.3681	9	0.0599	1	0.788	10	0.156	2	0.9796	5
Frechet (Momentos)	5.0722	2	0.0628	2	0.4129	5	0.143	1	0.9846	1
Gumbel doble (ML)	5.6128	6	0.0724	3	0.1455	3	0.2031	3	0.9812	2
Gumbel doble (MV)	7.2307	13	0.0749	4	0.6862	8	0.3666	9	0.9747	8
Log Normal doble de dos parámetros (MV)	6.2993	8	0.0774	5	0.8248	11	0.2487	6	0.9786	6
Frechet doble (Momentos)	5.7508	7	0.0799	6	0.0695	1	0.3695	10	0.967	10
Log Normal de dos parámetros (MV)	9.5558	19	0.0803	7	2.8652	16	1.0479	16	0.9491	12
Log Normal doble de dos parámetros (Momentos)	5.2634	4	0.0833	8	0.6266	7	0.2227	5	0.9811	3
Log Normal doble de dos parámetros (Stigth)	5.1898	3	0.0839	9	0.7341	9	0.2176	4	0.981	4
Gumbel doble (Momentos)	5.3528	5	0.0888	10	0.5078	6	0.2685	7	0.978	7
Gumbel (MV)	10.811	23	0.0912	11	3.5612	18	5.5026	23	0.9305	14
Log Normal de dos parámetros (Stigth)	7.3628	14	0.0964	12	0.2364	4	0.4208	12	0.912	16
Log Normal de dos parámetros (Momentos)	7.374	15	0.0974	13	0.1013	2	0.4185	11	0.9115	17
Gumbel (ML)	9.4379	18	0.0993	14	3.9552	19	1.4958	19	0.8902	20
Gamma de dos parámetros (ML)	9.8693	20	0.1023	15	4.0557	20	4.5082	22	0.8837	21
Gumbel (ME)	10.018	21	0.1094	16	5.2298	22	2.6141	20	0.9245	15
Gumbel doble (MC)	4.5847	1	0.111	17	1.9116	13	0.3277	8	0.9723	9
Gamma de dos parámetros (MV)	10.3797	22	0.1132	18	5.1377	21	11.3166	25	0.9039	19
Exponencial de dos parámetros (Momentos)	6.8833	12	0.119	19	2.5333	15	0.4628	13	0.96	11
Log Normal de tres parámetros (MV)	10.9849	24	0.1242	20	5.566	23	23.3297	26	0.7394	23
Gumbel (Momentos)	8.9616	17	0.1298	21	2.2465	14	0.9525	15	0.5951	25
Gamma de dos parámetros (Momentos)	8.919	16	0.137	22	1.4462	12	1.1361	17	0.7205	24
Exponencial de dos parámetros por (MV)	6.8036	11	0.1441	23	3.2273	17	0.6234	14	0.9398	13
Normal (Momentos/MV)	12.7211	27	0.1602	24	7.952	25	2303.4968	28	0	26
Normal (ML)	12.5436	25	0.1638	25	9.0027	26	2687631.25	29	0	27
Gumbel (MC)	12.6674	26	0.1828	26	14.7493	27	45.3689	27	0.8426	22
Gamma de tres parámetros (Momentos)	6.4575	10	0.2817	27	172.5592	29	1.1954	18	0.9083	18
Exponencial de un parámetro (Momentos)	16.2243	28	0.348	28	5.758	24	4.2327	21	-3.5057	29
Gamma de tres parámetros (MV)	97.9898	29	0.5373	29	102.9767	28	7.88	24	0	28

Fuente: resultados de cálculo software Ax+b.

Por otra parte, la precipitación de 1 h de duración se obtiene según el factor R = 0.620 (Campos Aranda), para zonas donde no existe información pluviográfica (Tabla 78).

Tabla 78. Estimación de la precipitación 1hr

Precipitación	Periodos de retorno									
	Unidad	2	5	10	20	25	50	100	200	500
P (Precipitación Máxima en 24 h)	mm/h	34.00	52.00	66.70	82.74	88.25	106.50	126.50	149.00	181.03
Relación 1/24 horas		0.620	0.620	0.620	0.620	0.620	0.620	0.620	0.620	0.620
P (1/ 24 h.)	mm/h.	21.08	32.24	41.35	51.30	54.72	66.03	78.43	92.38	112.24

Fuente: elaboración propia.

1. *Parámetros morfométricos de la cuenca*

Los parámetros morfométricos de la cuenca que han sido considerados para los cálculos hidrológicos son los mostrados en la Tabla 79, cuyos valores se obtuvieron por medio del Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas SIATL del INEGI, disponible en el portal: https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/#openmodal223.

Tabla 79. Morfometría A. del Pueblo

Morfometría A. del Pueblo (Alto)	
Propiedad	**Valor**
Elevación máxima (m)	2,079.00
Elevación media (m)	1,809.00
Elevación mínima (m)	1,540.00
Longitud (m)	32,731.00
Pendiente media (%)	0.017%
Tiempo de concentración (min)	278.76
Área drenada (km^2)	221.45

Fuente: SIATL, INEGI.

2. *Coeficiente de escurrimiento*

Para el caso del coeficiente de escurrimiento se utilizó el método de número de curva del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América (SCS) que facilita la estimación de escurrimiento para una tormenta dada, aplicando diferentes parámetros relativos al uso, además de características hidrológicas del suelo, tales como: tipo hidrológico de suelo, uso del suelo y tratamiento y condición previa de humedad.

El número de curva parte de la expresión matemática:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Donde "S" se expresa en función del Número de Curva (CN), mediante la siguiente ecuación:

$$S = 25.4\left(\frac{1000}{CN} - 10\right)$$

Respecto al tipo de suelo, éste se clasifica según el grupo hidrológico estimado, que va del Grupo A que representa un potencial de escurrimiento mínimo hasta el Grupo D que consiste en el potencial de escurrimiento más alto. Para asignar un suelo a un grupo determinado se debe considerar su composición, textura y profundidad del nivel freático.

Partiendo de los criterios anteriormente establecidos, se tiene para la cuenca en estudio lo siguiente:

Número de Curva (N) = 78.21

Número de Curva para condiciones medias de humedad (Nh) = 90.74

Coeficiente de escurrimiento = 0.45

3. *Cálculos hidrológicos efectuados*

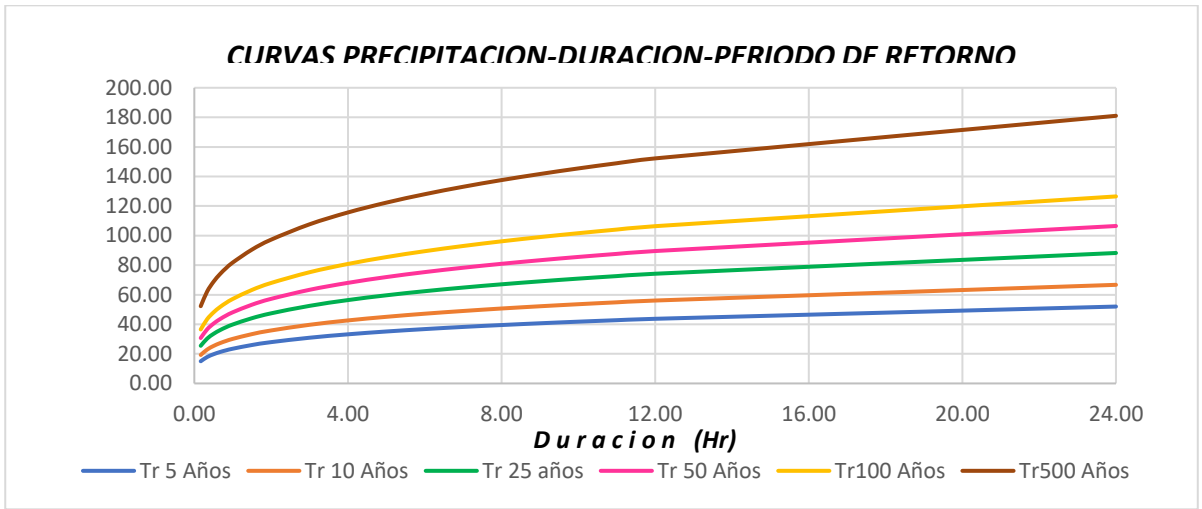
Una vez obtenidos los valores de precipitación (de la estación climatológica 05048, Saltillo DGE) con diferentes periodos de retorno (2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200 y 500 años), se efectuó el cálculo de la precipitación de diseño para duraciones menores a 24 h (Tabla 80), a partir de las cuales se obtienen las curvas de precipitación-duración-periodo de retorno (p-d-Tr) cuyos resultados se muestran en la gráfica correspondiente (Gráfica 18).

Tabla 80. Resultados del cálculo de precipitación para la determinación de las curvas de precipitación-duración-periodo de retorno

PRECIPITACION DE DISEÑO PARA DURACIONES MENORES A 24 HORAS										
DURACION		PERIODO DE RETORNO								
Hr	min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10.00	9.81	15.01	19.25	23.88	25.48	30.74	36.52	43.01	52.26
0.33	20.00	11.67	17.85	22.90	28.40	30.30	36.56	43.43	51.15	62.15
0.50	30.00	12.92	19.76	25.34	31.43	33.53	40.46	48.06	56.61	68.78
0.67	40.00	13.88	21.23	27.23	33.78	36.03	43.48	51.64	60.83	73.91
0.83	50.00	14.68	22.45	28.79	35.72	38.09	45.97	54.61	64.32	78.15
1.00	60.00	15.36	23.49	30.14	37.38	39.87	48.12	57.15	67.32	81.79
1.50	90.00	17.00	26.00	33.35	41.37	44.13	53.25	63.25	74.50	90.52
2.00	120.00	18.27	27.94	35.84	44.45	47.42	57.22	67.97	80.06	97.26
3.00	180.00	20.22	30.92	39.66	49.20	52.47	63.33	75.22	88.60	107.64
4.00	240.00	21.72	33.23	42.62	52.87	56.39	68.05	80.83	95.20	115.67
5.00	300.00	22.97	35.13	45.06	55.90	59.62	71.95	85.46	100.66	122.30
6.00	360.00	24.04	36.77	47.16	58.51	62.40	75.31	89.45	105.36	128.01
7.00	420.00	24.99	38.21	49.02	60.80	64.85	78.27	92.96	109.50	133.04
8.00	480.00	25.83	39.51	50.68	62.87	67.06	80.92	96.12	113.22	137.55
9.00	540.00	26.61	40.69	52.20	64.75	69.06	83.34	98.99	116.60	141.66
10.00	600.00	27.32	41.78	53.59	66.48	70.90	85.57	101.63	119.71	145.44
11.00	660.00	27.98	42.79	54.88	68.08	72.61	87.63	104.08	122.60	148.95
12.00	720.00	28.59	43.73	56.09	69.58	74.21	89.56	106.37	125.29	152.23
24.00	1440.00	34.00	52.00	66.70	82.74	88.25	106.50	126.50	149.00	181.03

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 18. Curvas de precipitación-duración-periodo de retorno



Fuente: elaboración propia, obtenida a partir de la Tabla 80.

La intensidad de lluvia es la relación de lámina de lluvia que cae en razón del tiempo. Esto quiere decir que, cierta cantidad de agua, cae sobre un área en un tiempo determinado. Dicho parámetro se calcula tomando la precipitación dividida entre las diferentes duraciones.

$$i = \frac{P}{d}$$

Dónde:

i= intensidad de lluvia en mm/h

P= precipitación en mm

d= duración de la lluvia en horas.

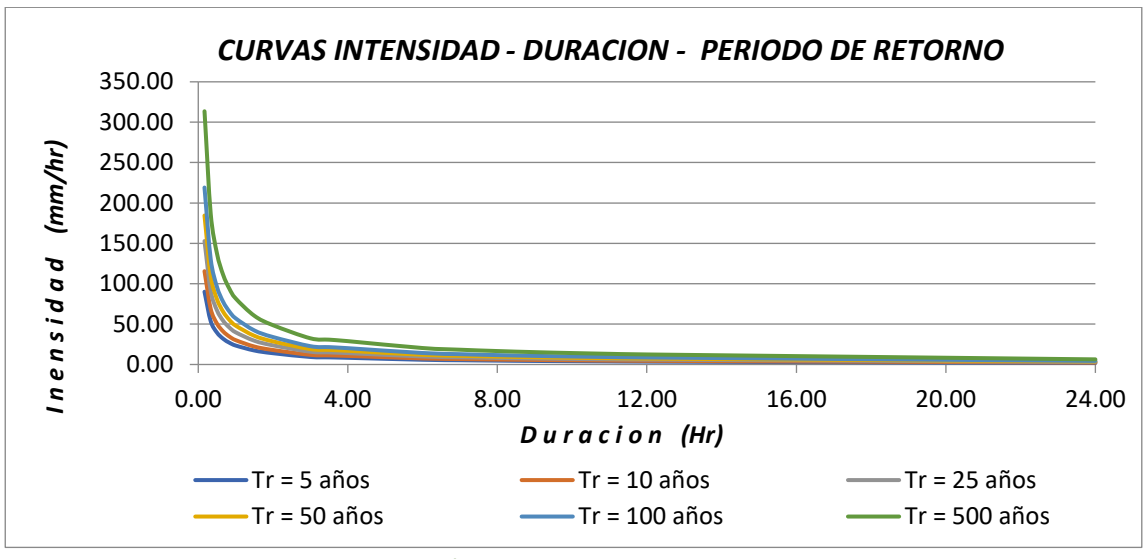
En la Tabla 81se presentan los cálculos de las intensidades de lluvia con diferentes duraciones para diferentes periodos de retorno y en la Gráfica 19 se presentan las curvas de intensidad-duración- periodo de retorno o frecuencia (i-d-Tr).

Tabla 81. Cálculo de intensidad de lluvia de diseño para duraciones menores a 24 h

Intensidades de diseño para duraciones menores a 24 horas										
Duración		*Periodo de retorno*								
Hr	*min*	*2*	*5*	*10*	*20*	*25*	*50*	*100*	*200*	*500*
0.17	*10.00*	*58.89*	*90.07*	*115.53*	*143.31*	*152.85*	*184.46*	*219.10*	*258.08*	*313.55*
0.33	*20.00*	*35.02*	*53.55*	*68.69*	*85.21*	*90.89*	*109.68*	*130.28*	*153.45*	*186.44*
0.50	*30.00*	*25.83*	*39.51*	*50.68*	*62.87*	*67.06*	*80.92*	*96.12*	*113.22*	*137.55*
0.67	*40.00*	*20.82*	*31.84*	*40.85*	*50.67*	*54.04*	*65.22*	*77.47*	*91.24*	*110.86*
0.83	*50.00*	*17.61*	*26.94*	*34.55*	*42.86*	*45.71*	*55.17*	*65.53*	*77.18*	*93.77*
1.00	*60.00*	*15.36*	*23.49*	*30.14*	*37.38*	*39.87*	*48.12*	*57.15*	*67.32*	*81.79*
1.50	*90.00*	*11.33*	*17.33*	*22.23*	*27.58*	*29.42*	*35.50*	*42.17*	*49.67*	*60.34*
2.00	*120.00*	*9.13*	*13.97*	*17.92*	*22.23*	*23.71*	*28.61*	*33.98*	*40.03*	*48.63*
3.00	*180.00*	*6.09*	*9.31*	*11.95*	*14.82*	*15.81*	*19.07*	*22.66*	*22.87*	*32.42*
3.50	*120.00*	*5.78*	*8.83*	*11.33*	*14.06*	*14.99*	*18.09*	*21.49*	*29.53*	*30.75*
4.00	*240.00*	*5.43*	*8.31*	*10.65*	*13.22*	*14.10*	*17.01*	*20.21*	*23.80*	*28.92*
6.00	*360.00*	*3.83*	*5.86*	*7.51*	*9.32*	*9.94*	*11.99*	*14.24*	*16.78*	*20.38*
7.00	*420.00*	*3.43*	*5.25*	*6.74*	*8.36*	*8.91*	*10.76*	*12.78*	*15.05*	*18.29*
8.00	*480.00*	*3.12*	*4.78*	*6.13*	*7.60*	*8.11*	*9.78*	*11.62*	*13.69*	*16.63*
9.00	*540.00*	*2.87*	*4.39*	*5.63*	*6.99*	*7.45*	*8.99*	*10.68*	*12.58*	*15.28*
10.00	*600.00*	*2.66*	*4.07*	*5.22*	*6.47*	*6.91*	*8.33*	*9.90*	*11.32*	*14.17*
11.00	*660.00*	*2.48*	*3.80*	*4.87*	*6.04*	*6.45*	*7.78*	*9.24*	*10.88*	*13.22*
12.00	*720.00*	*2.33*	*3.57*	*4.57*	*5.67*	*6.05*	*7.30*	*8.67*	*10.22*	*12.41*
24.00	*1440.00*	*1.19*	*1.82*	*2.34*	*2.90*	*3.09*	*3.73*	*4.43*	*5.22*	*6.34*

Fuente: elaboración propia.

Gráfica 19. Curvas de intensidad-duración-periodo de retorno



Fuente: elaboración propia, obtenida a partir de la Tabla 4.

Los métodos hidrológicos empleados para la estimación de caudales fueron:

- Donald M. Grey
- Hidrograma Unitario Triangular
- Ven Te Chow

Dichos métodos están sustentados en la relación lluvia – escurrimiento, que utiliza las características físicas de la cuenca, tales como: pendiente del escurrimiento o cauce principal, longitud de dicho cauce, forma de la cuenca, infiltración del suelo, precipitación y tiempo de concentración. De los gastos obtenidos por los tres métodos anteriores, se adoptó su promedio, tal como se puede observar en la Tabla 82.

Tabla 82. Cálculo de gastos del Arroyo del Pueblo (Medio) por tres métodos hidrológicos

Cálculo de caudal (m^3/s) en arroyo del pueblo (medio), según diferentes métodos hidrológicos									
Método Hidrológico	Tiempo de retorno (años)								
	2	5	10	20	25	50	100	200	500
Donald m. Grey	37.06	85.92	131.76	185.33	204.34	268.89	341.66	425.23	546.23
Hidrograma unitario triangular	6.49	16.45	44.49	168.81	196.07	294.67	414.52	560.44	783.01
Ven ten chow	62.78	145.55	223.19	313.95	346.15	455.48	578.75	720.31	925.29
Promedio:	35.45	82.64	133.15	222.70	248.85	339.68	444.98	568.66	751.51

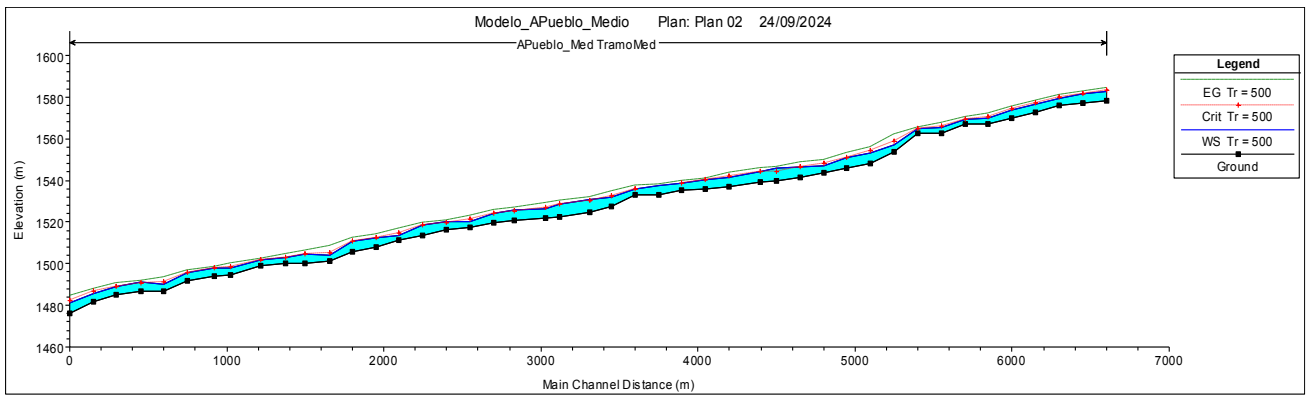
Fuente: elaboración propia, a partir de cálculos hidrológicos mencionados.

Modelación HecGeoRAS y HEC RAS 5.4

De los resultados obtenidos en el proceso anterior, finalmente se realizó la modelación del tránsito de avenidas bajo los diferentes periodos de retorno ya citados, utilizando los programas: ArcGis 10.4, HEC GeoRAS y HEC RAS 5.4 (*Figura* 44 y

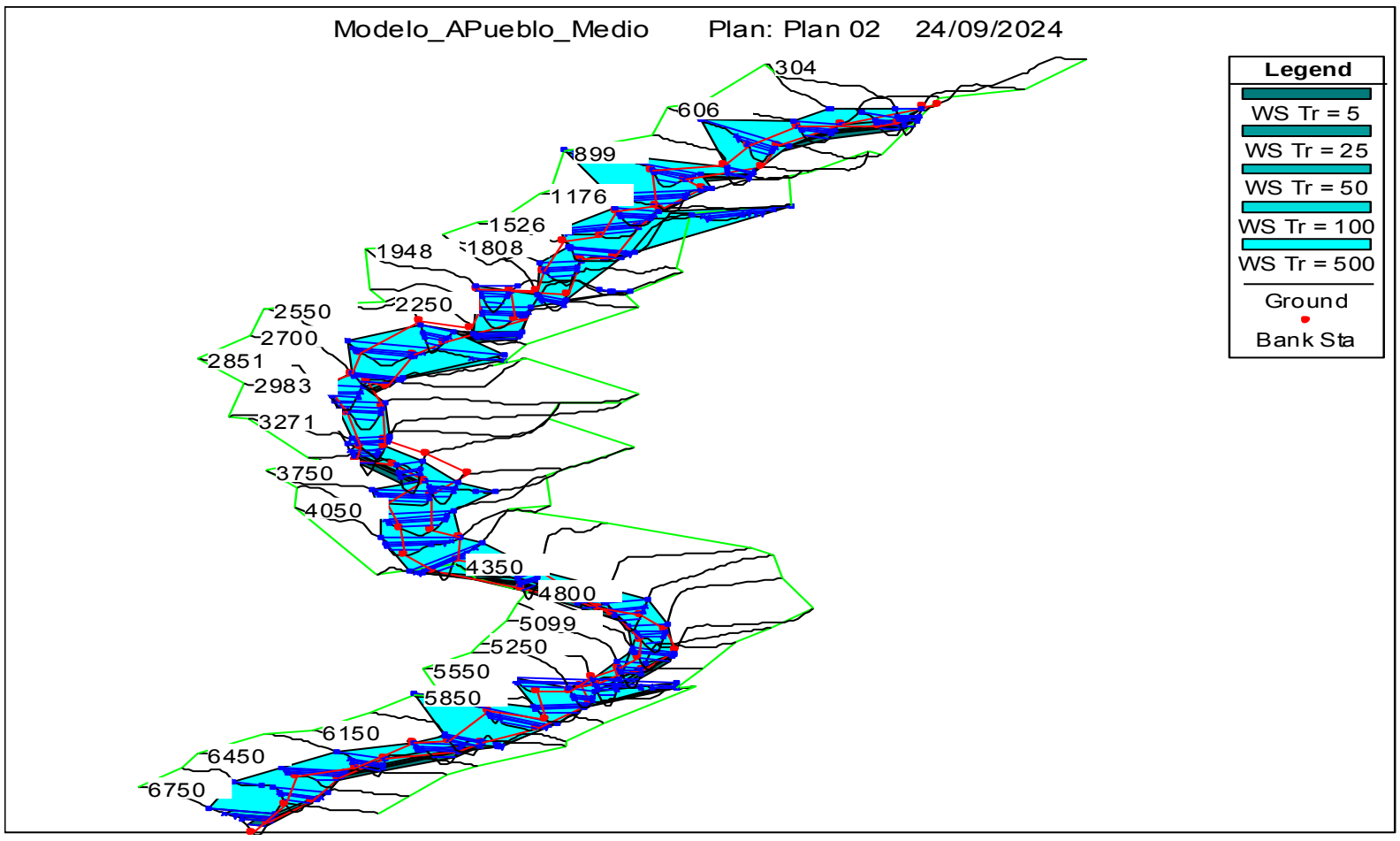
Figura 45), cuya aplicación permitió la elaboración de los mapas de peligro correspondientes.

Figura 44. Sección transversal del cauce y perfil de gradiente hidráulico del Arroyo del Pueblo Medio.



Fuente: elaboración propia a partir de procesamiento HecRas.

Figura 45. Perspectiva de secciones y tirante de agua según diferentes periodos de retorno.



Fuente: elaboración propia a partir de procesamiento HecRas.

Peligro de inundación fluvial

Para la determinación del grado de peligro, se utilizaron dos criterios; el primero ya ha sido descrito según las funciones de vulnerabilidad para vivienda tipos I, II y III, que constan de un solo piso; y en el segundo, considerando la probabilidad de ocurrencia o excedencia según los gastos esperados por periodo de retorno (Tabla 83 y Tabla 84), como se muestra en la *Figura 4*; resumiendo de esta manera en un solo mapa las áreas inundables a lo largo del cauce y su probabilidad de ocurrencia de manera cualitativa.

Cabe mencionar que la selección del tramo analizado corresponde con la mayor densidad de población que habita en las riberas del arroyo, así como la existencia de construcciones asentadas junto a sus márgenes, la altura de los taludes y el tipo de suelo limo-arcilloso.

Tabla 83. Rangos de peligro por periodo de retorno y probabilidad de ocurrencia

Relación entre peligro por periodo de retorno promedio y probabilidad de ocurrencia y no ocurrencia anual				
Rangos de peligro por periodo de retorno			Probabilidad en un año cualquiera	
Tr (años)	Peligro		Ocurre	No ocurre
500		Muy Bajo	0.2%	99.8%
100		Bajo	1.0%	99.0%
50		Medio	2.0%	98.0%
25		Alto	4.0%	96.0%
5		Muy Alto	20.0%	80.0%

Fuente: Propia, a partir de criterios de probabilidad.

Tabla 84. Riesgo de falla en obras para diferentes periodos de retorno de diseño

Riesgo de falla (%) para obras, según periodos de retorno de diseño					
Vida útil (años)	Periodo de retorno (años)				
	5	25	50	100	500
5	67%	100%	100%	100%	100%
25	18%	64%	87%	98%	100%
50	10%	40%	64%	87%	100%
100	5%	22%	39%	63%	99%
500	1%	5%	10%	18%	63%

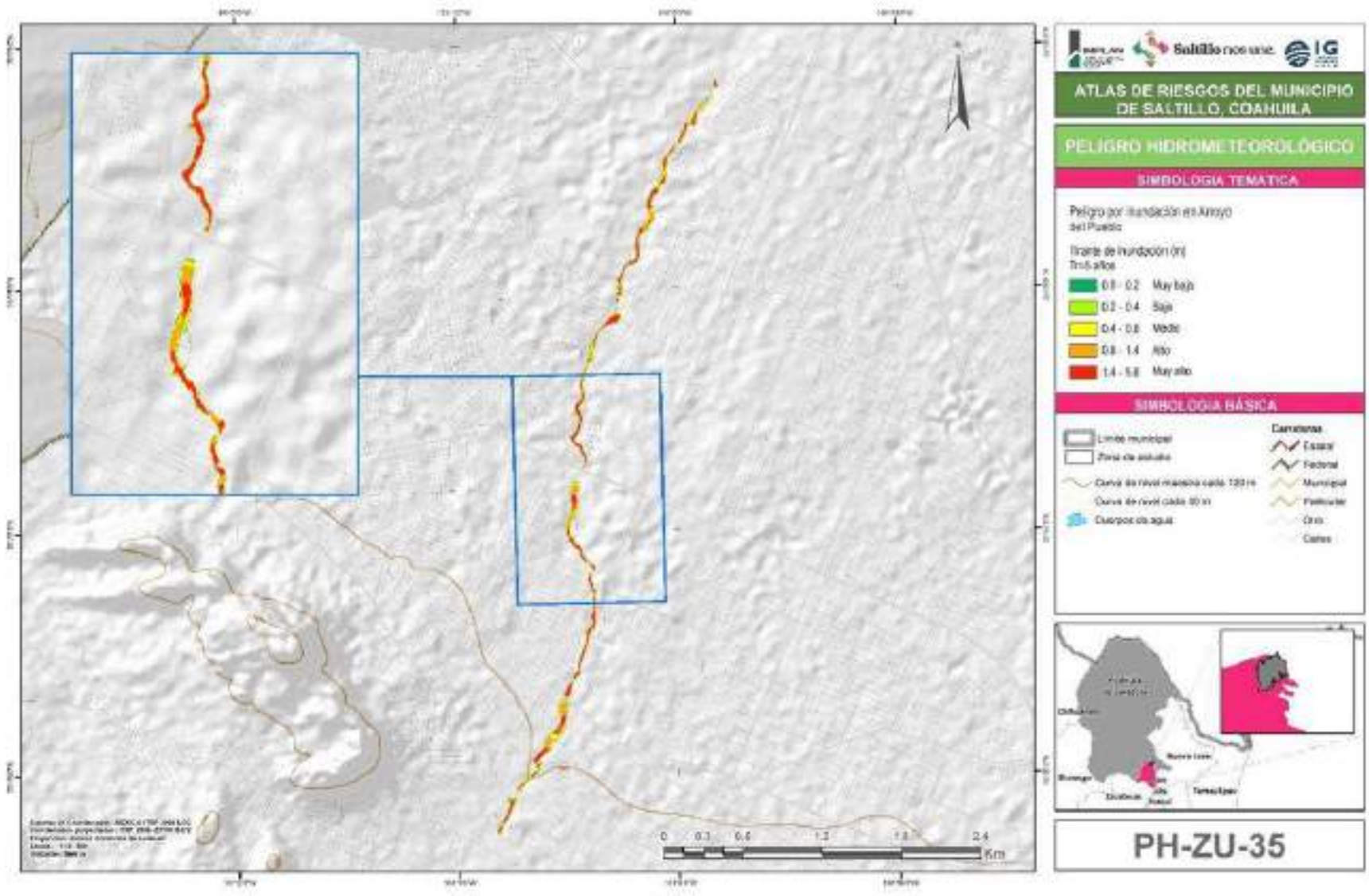
Fuente: elaboración propia, a partir de criterios de probabilidad.

Resultados

A continuación, se muestran lo mapas resultantes de la aplicación de la metodología para cada uno de los cauces estudiados y para cada uno de los s periodos de retorno analizados.

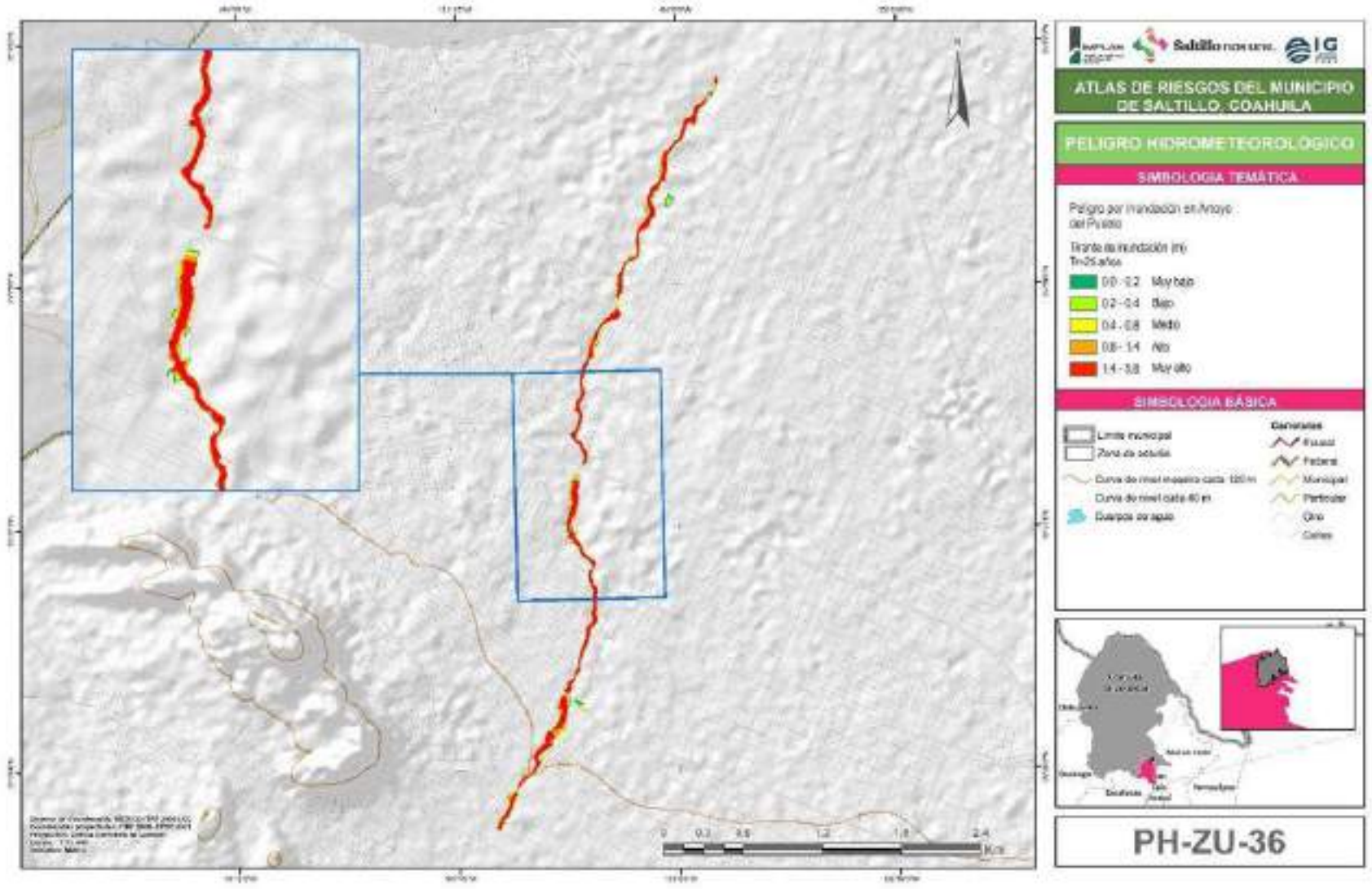
Arroyo del Pueblo (Medio)

Mapa 36. Peligro de inundación Tr=5 años Arroyo del Pueblo (Medio)



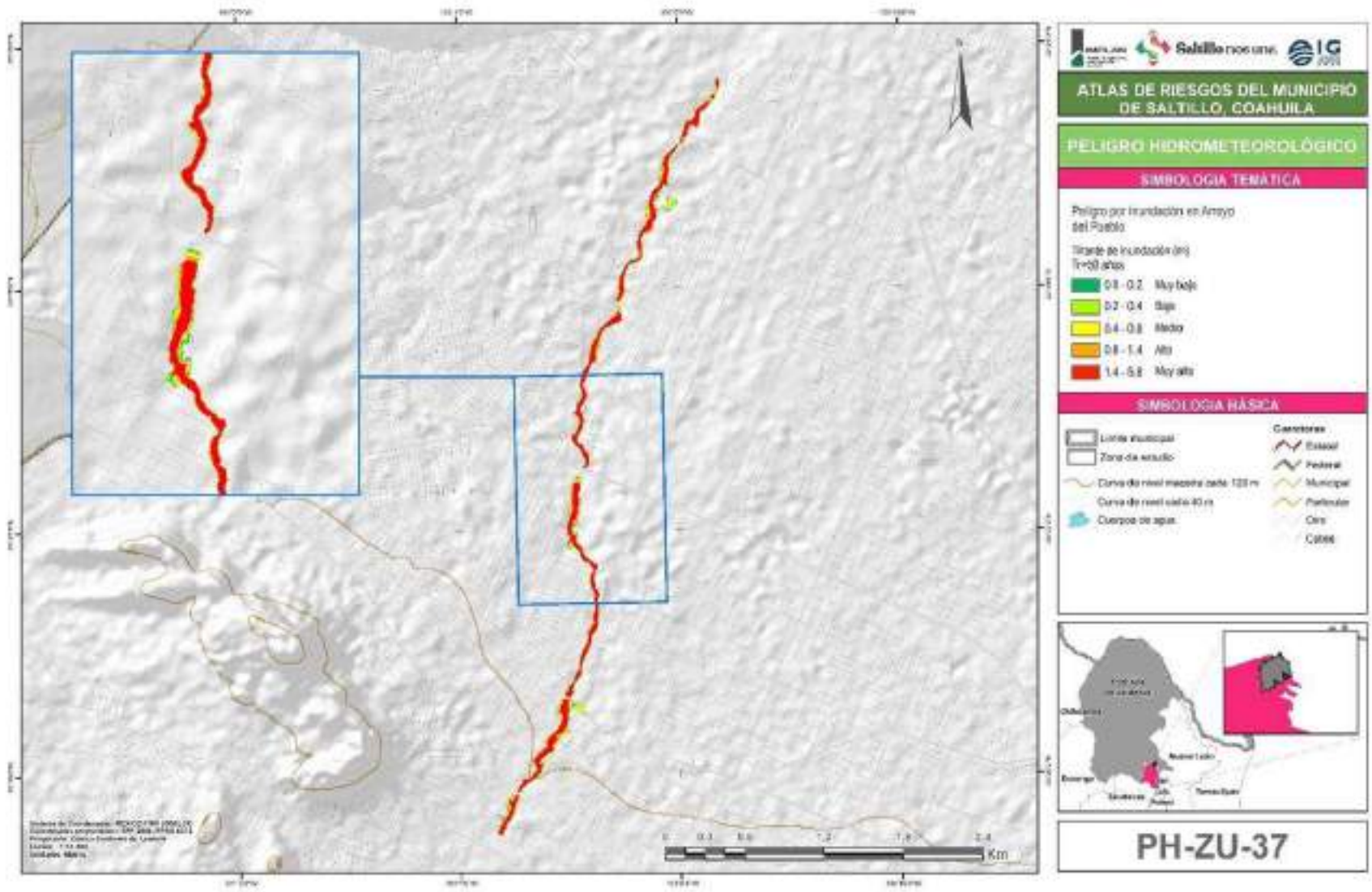
Fuente: elaboración propia.

Mapa 37. Peligro de inundación Tr=25 años Arroyo del Pueblo (Medio)



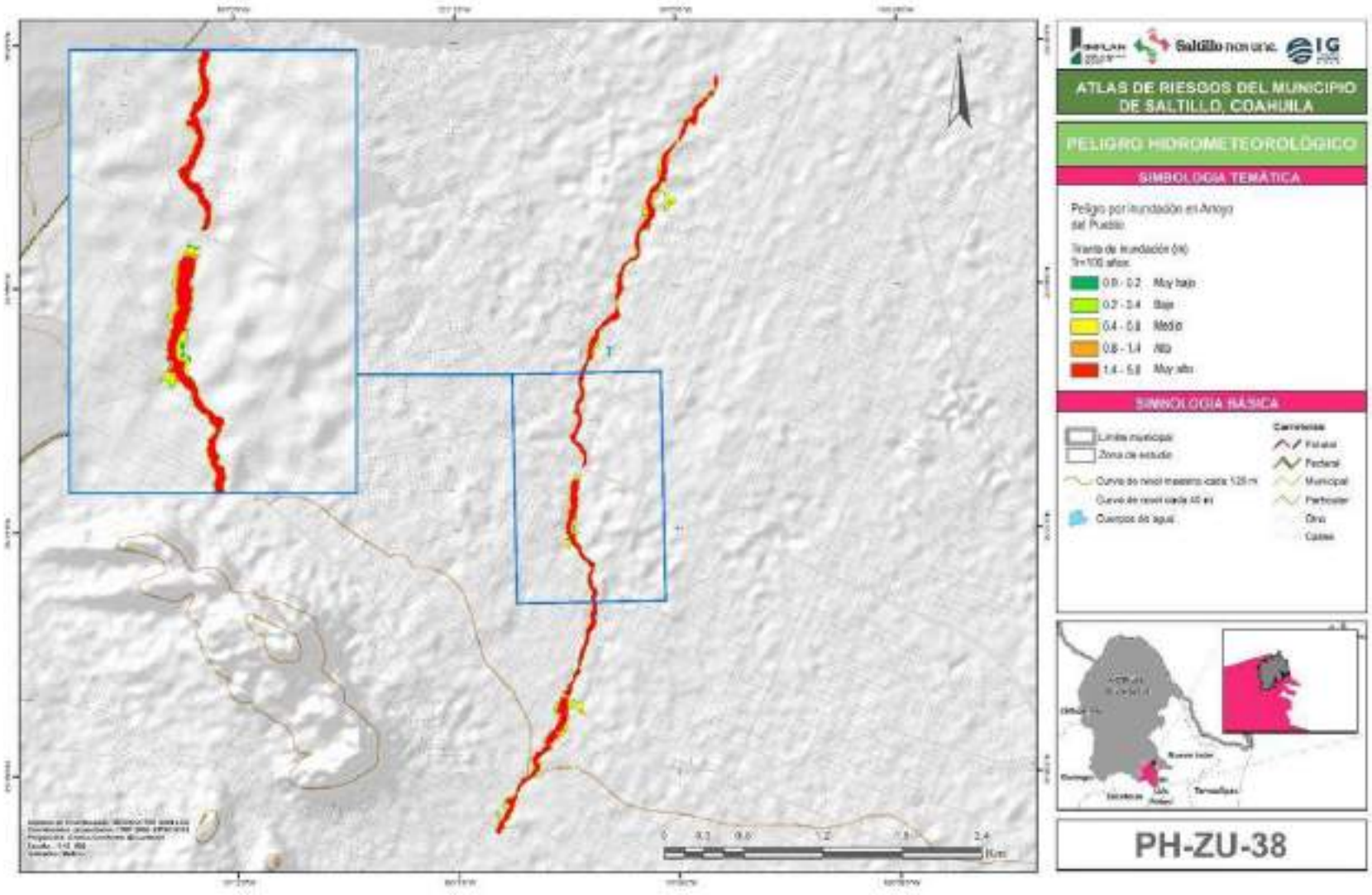
Fuente: elaboración propia.

Mapa 38. Peligro de inundación Tr=50 años Arroyo del Pueblo (Medio)



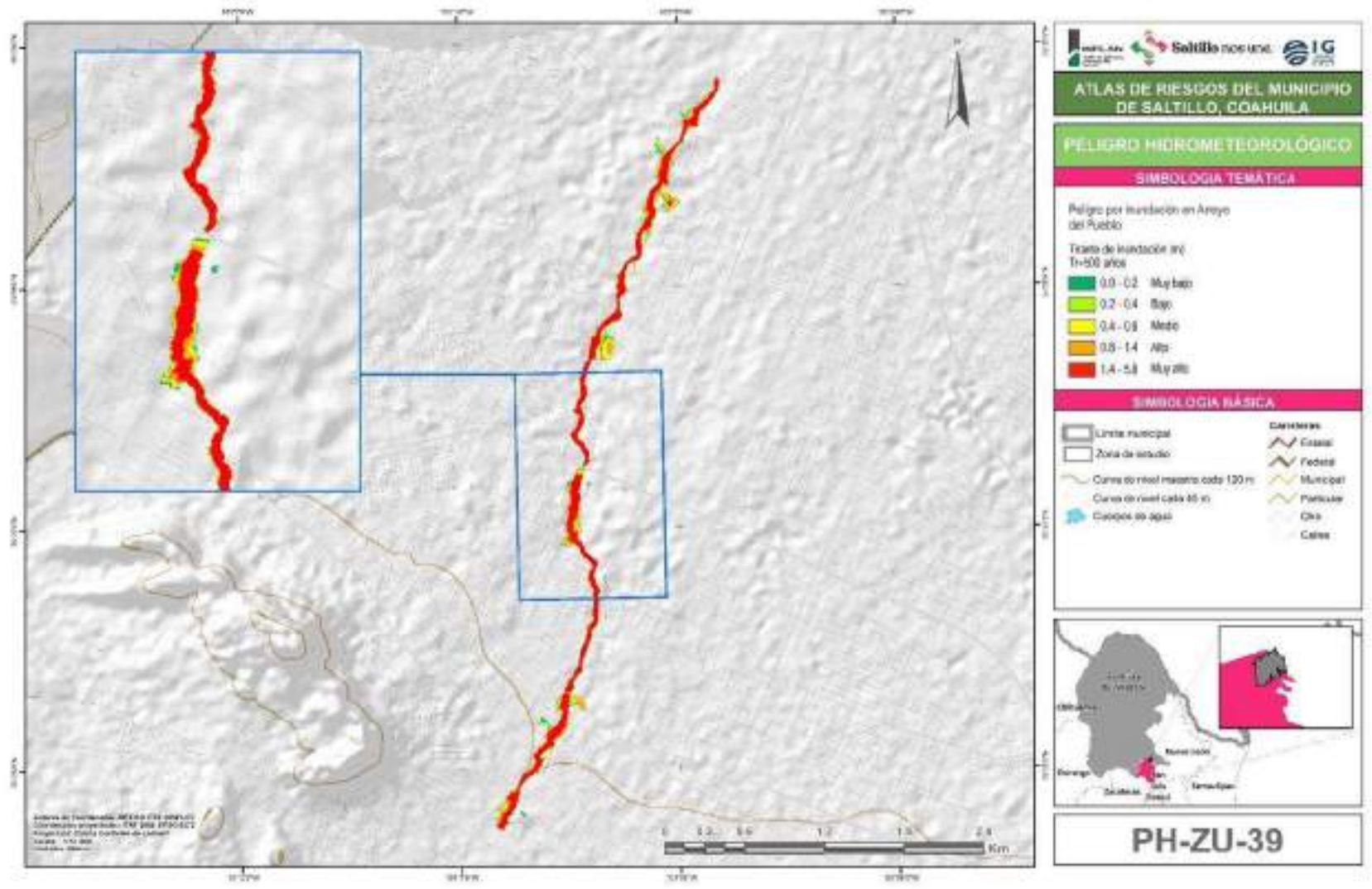
Fuente: elaboración propia.

Mapa 39. Peligro de inundación Tr=100 años Arroyo del Pueblo (Medio).



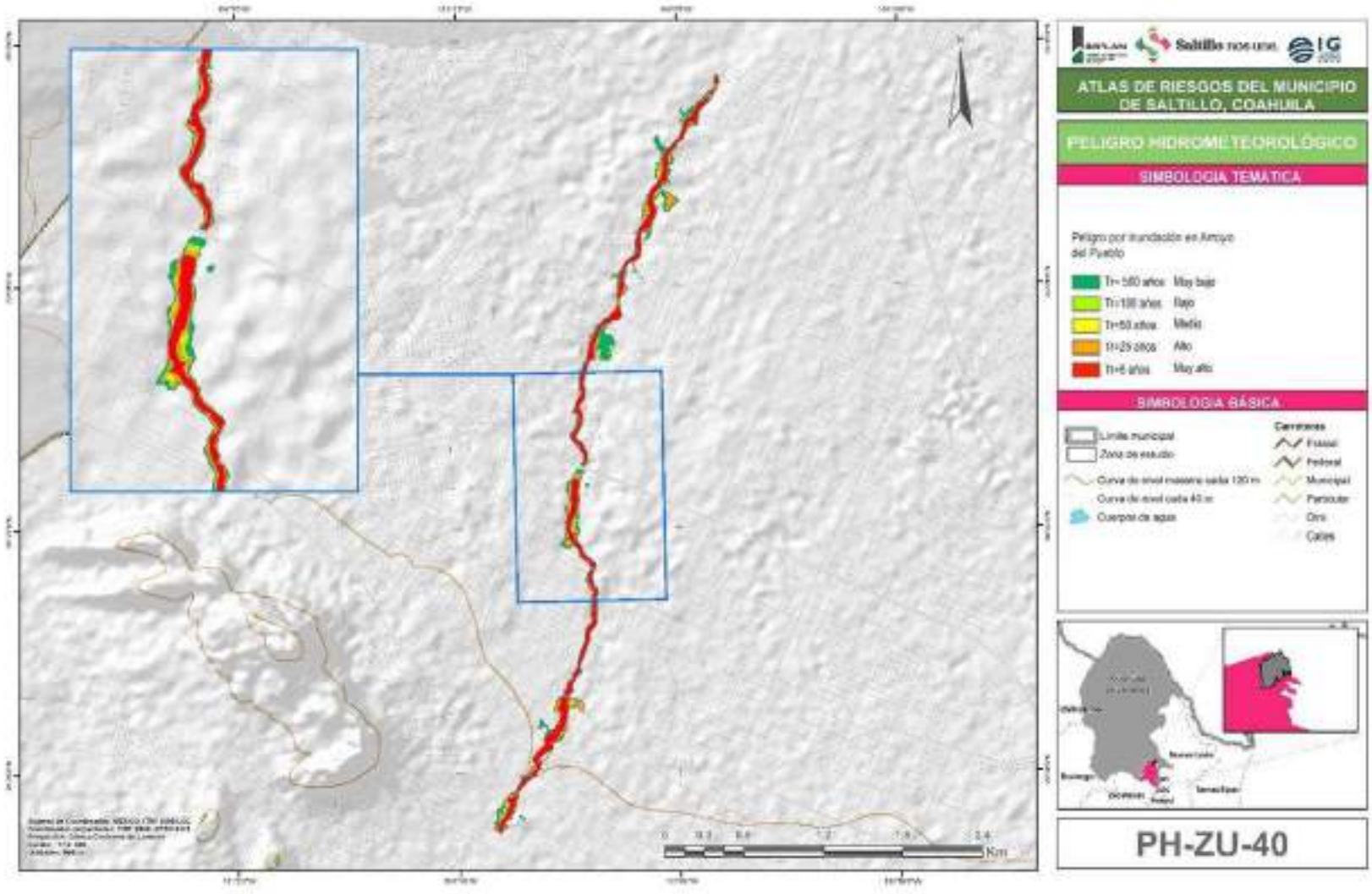
Fuente: elaboración propia.

Mapa 40. Peligro de inundación Tr=500 años Arroyo del Pueblo (Medio).



Fuente: elaboración propia.

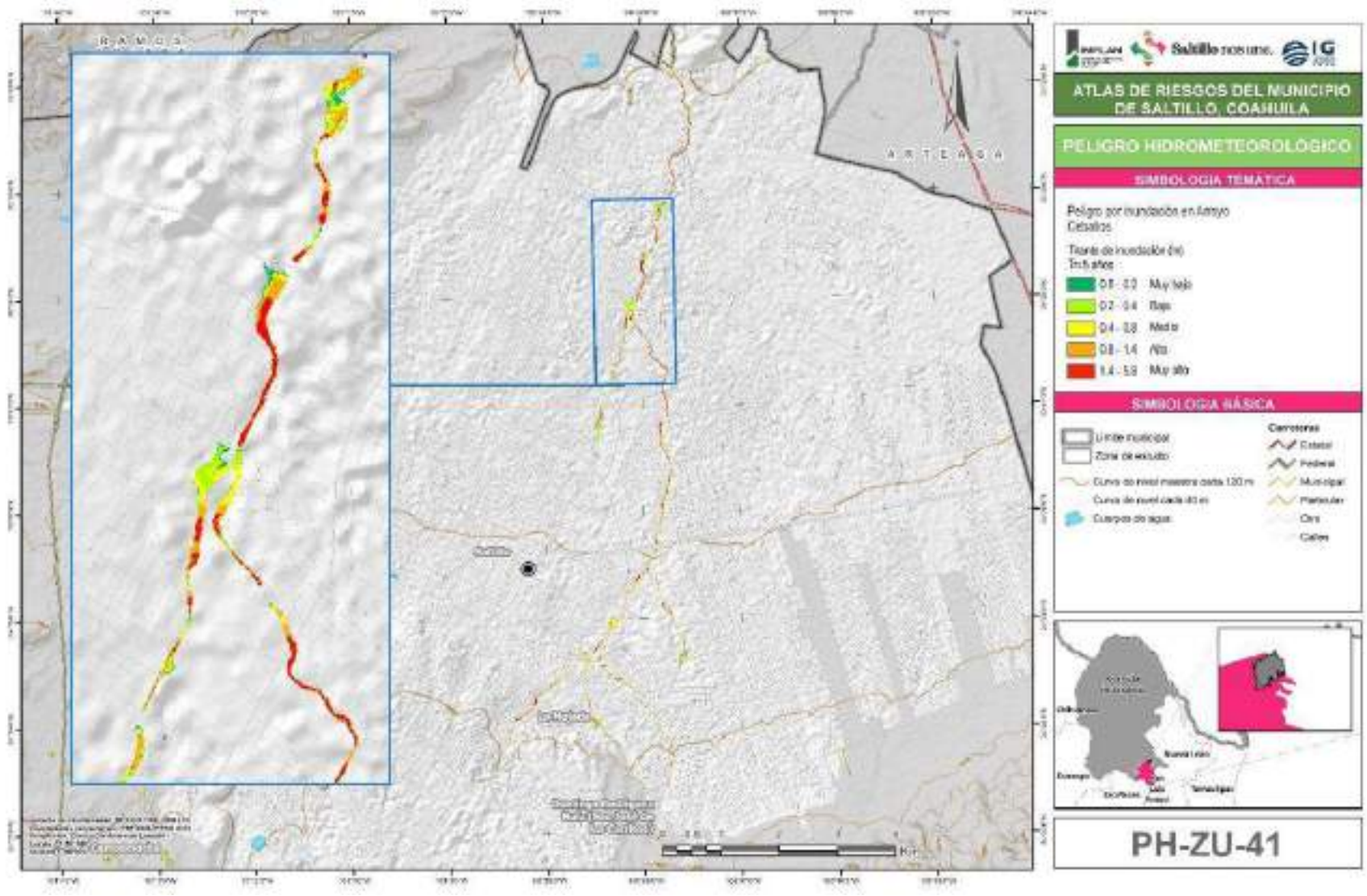
Mapa 41. Peligro de inundación para diferentes periodos de retorno, Arroyo del Pueblo (Medio).



Fuente: elaboración propia.

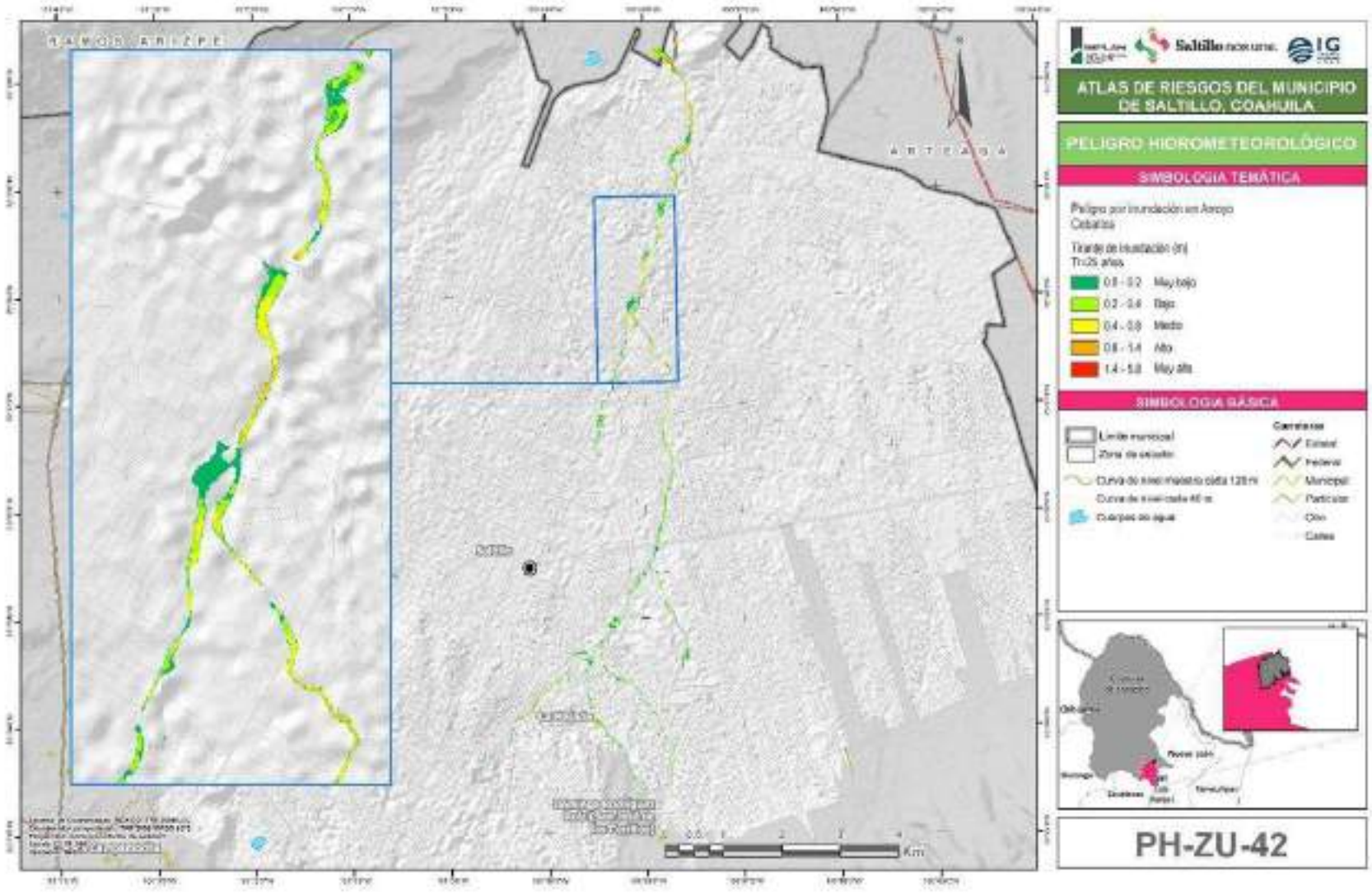
Arroyo Ceballos

Mapa 42. Peligro de inundación Tr=5 años Arroyo Ceballos



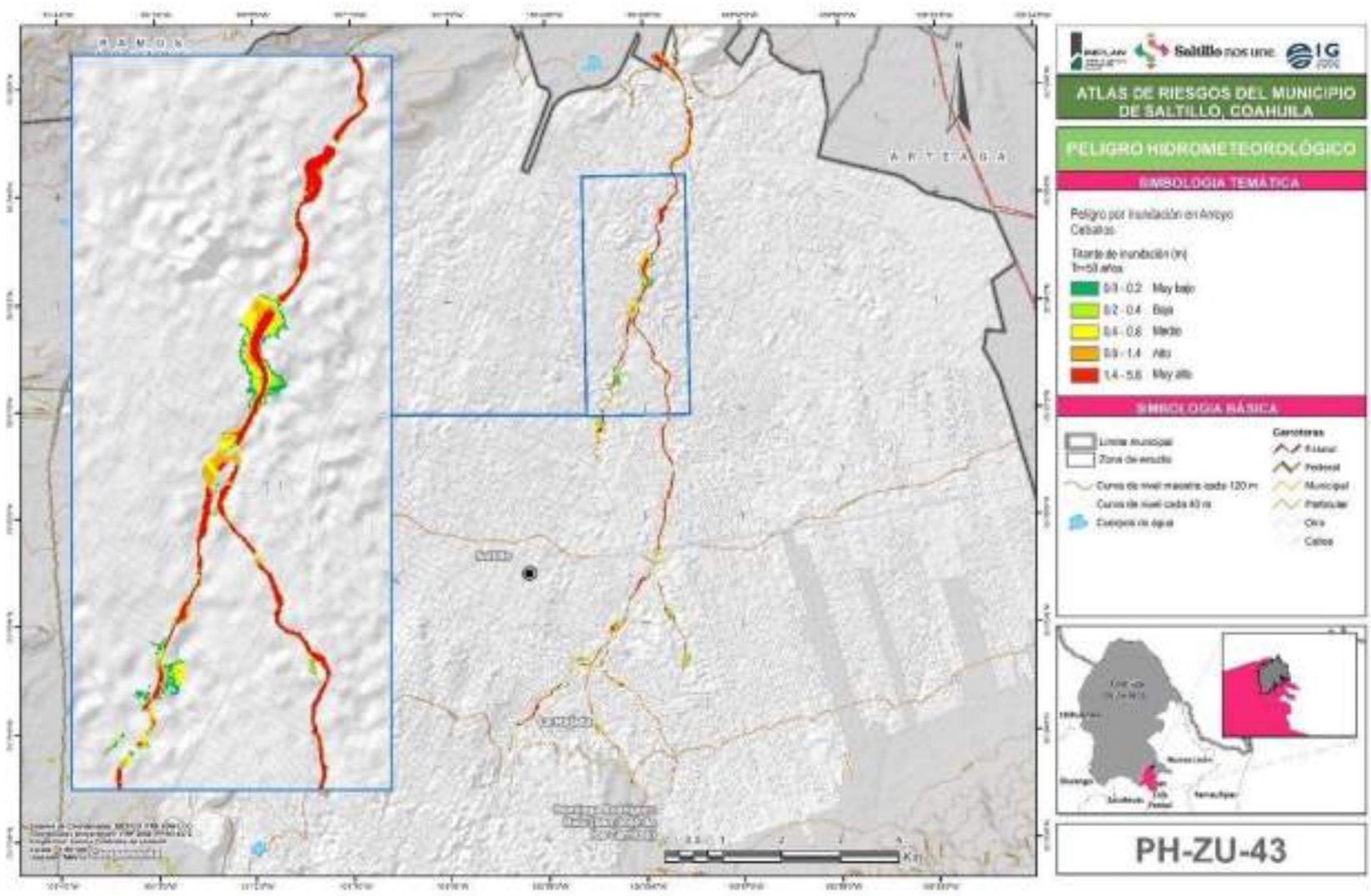
Fuente: elaboración propia.

Mapa 43. Peligro de inundación Tr=25 años Arroyo Ceballos



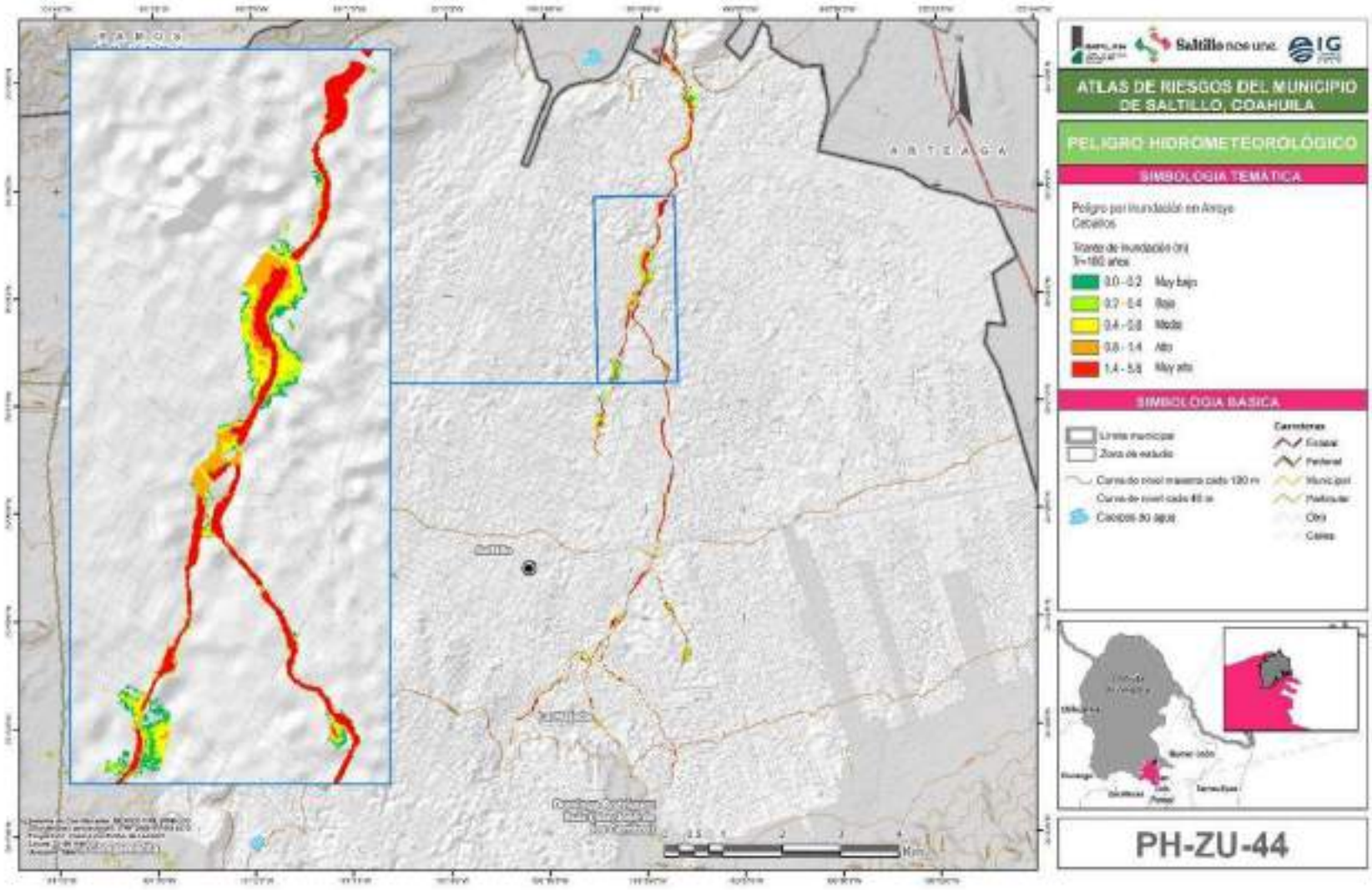
Fuente: elaboración propia.

Mapa 44 Peligro de inundación Tr=50 años Arroyo Ceballos



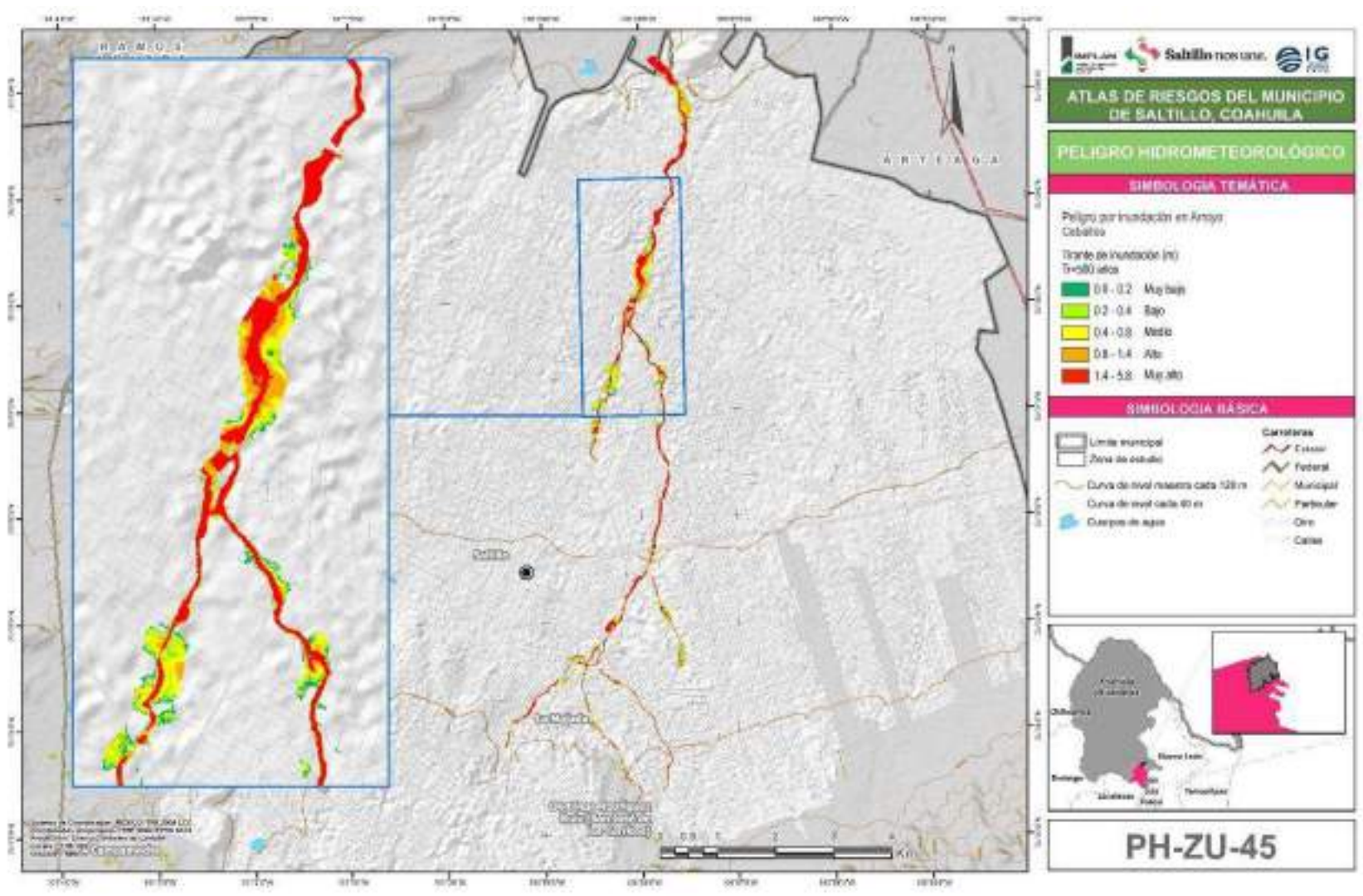
Fuente: elaboración propia.

Mapa 45. Peligro de inundación Tr=100 años Arroyo Ceballos



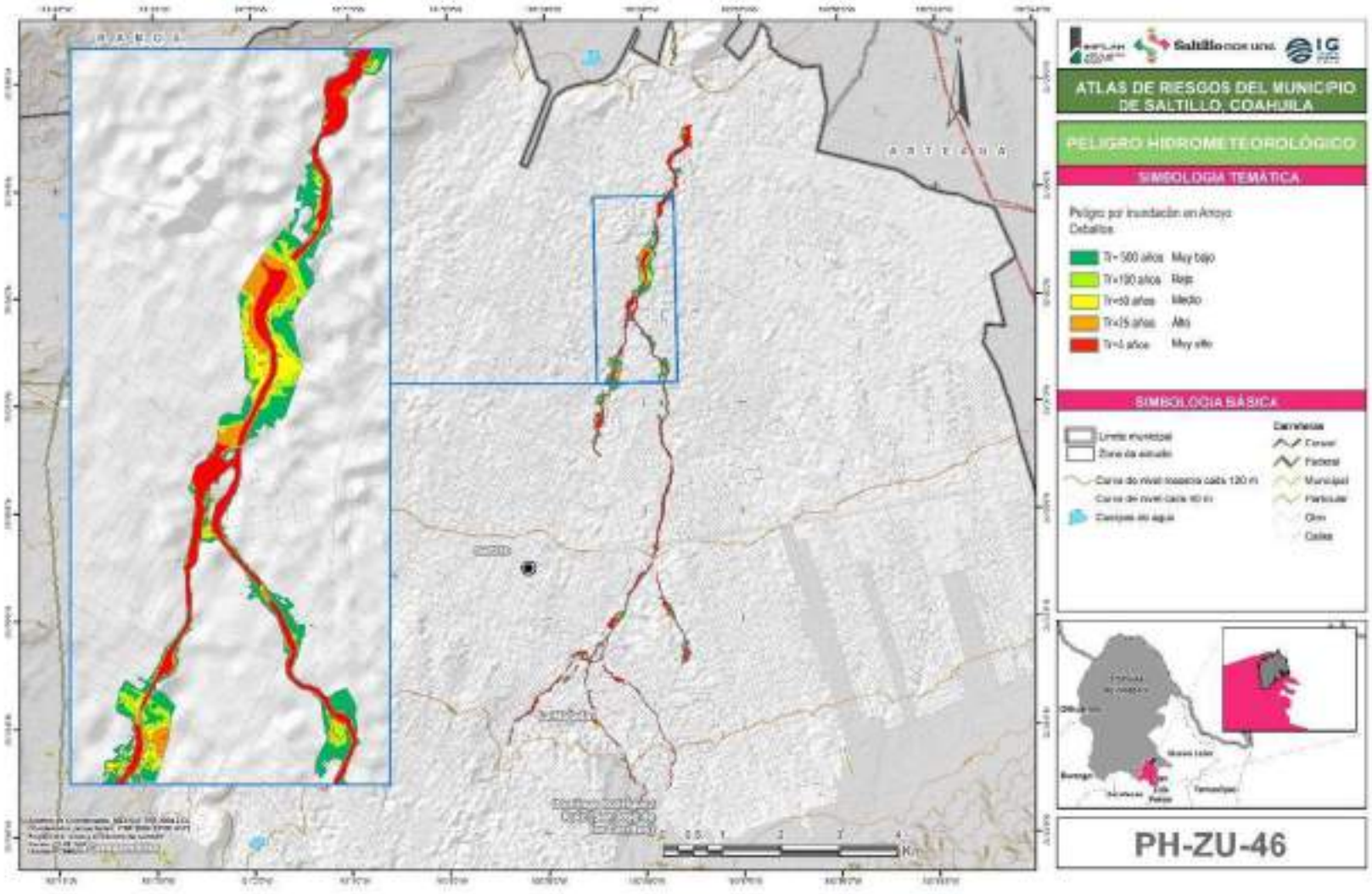
Fuente: elaboración propia.

Mapa 46. Peligro de inundación Tr=500 años Arroyo Ceballos



Fuente: elaboración propia.

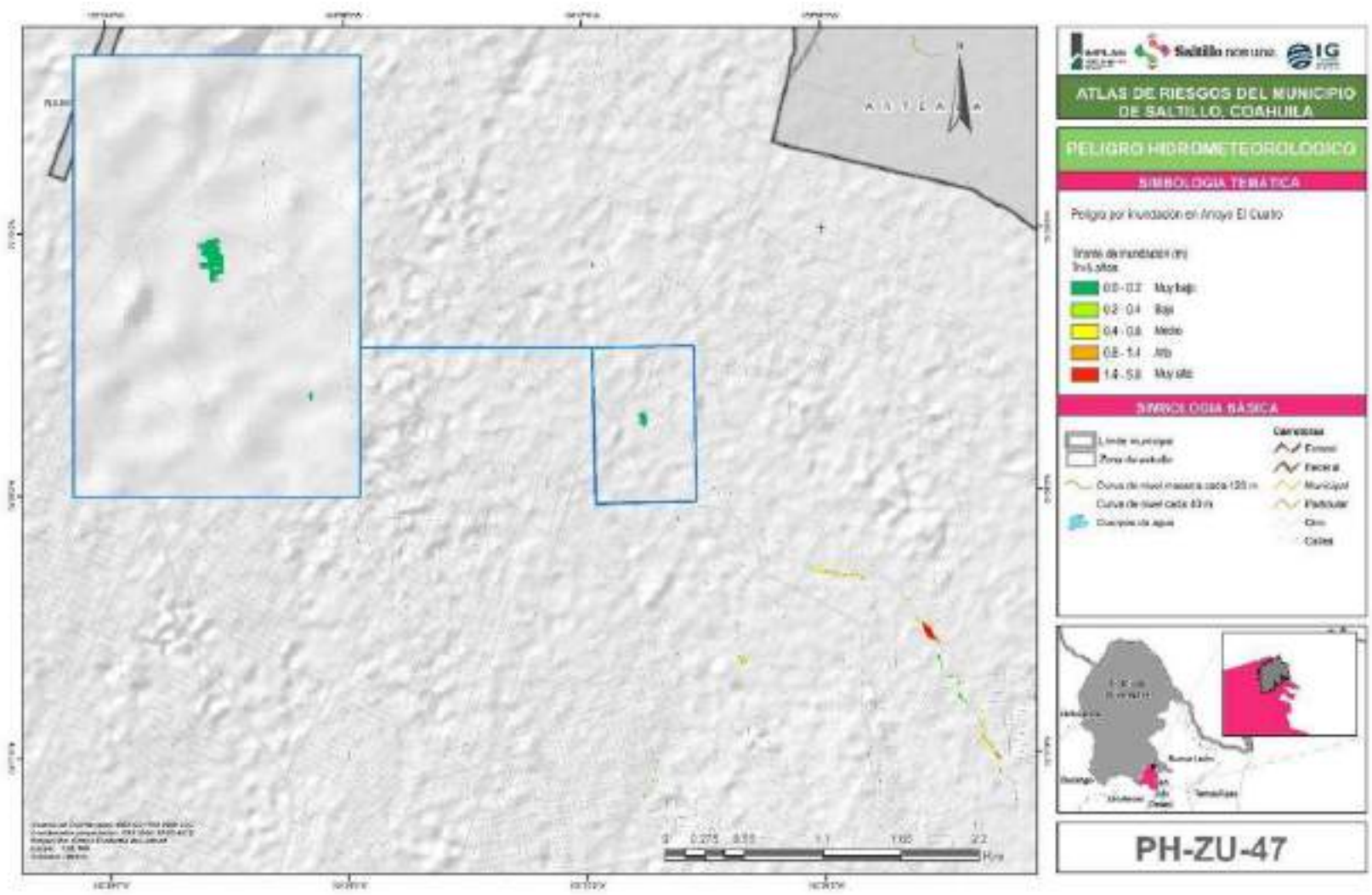
Mapa 47. Peligro de inundación para diferentes periodos de retorno, Arroyo Ceballos



Fuente: elaboración propia.

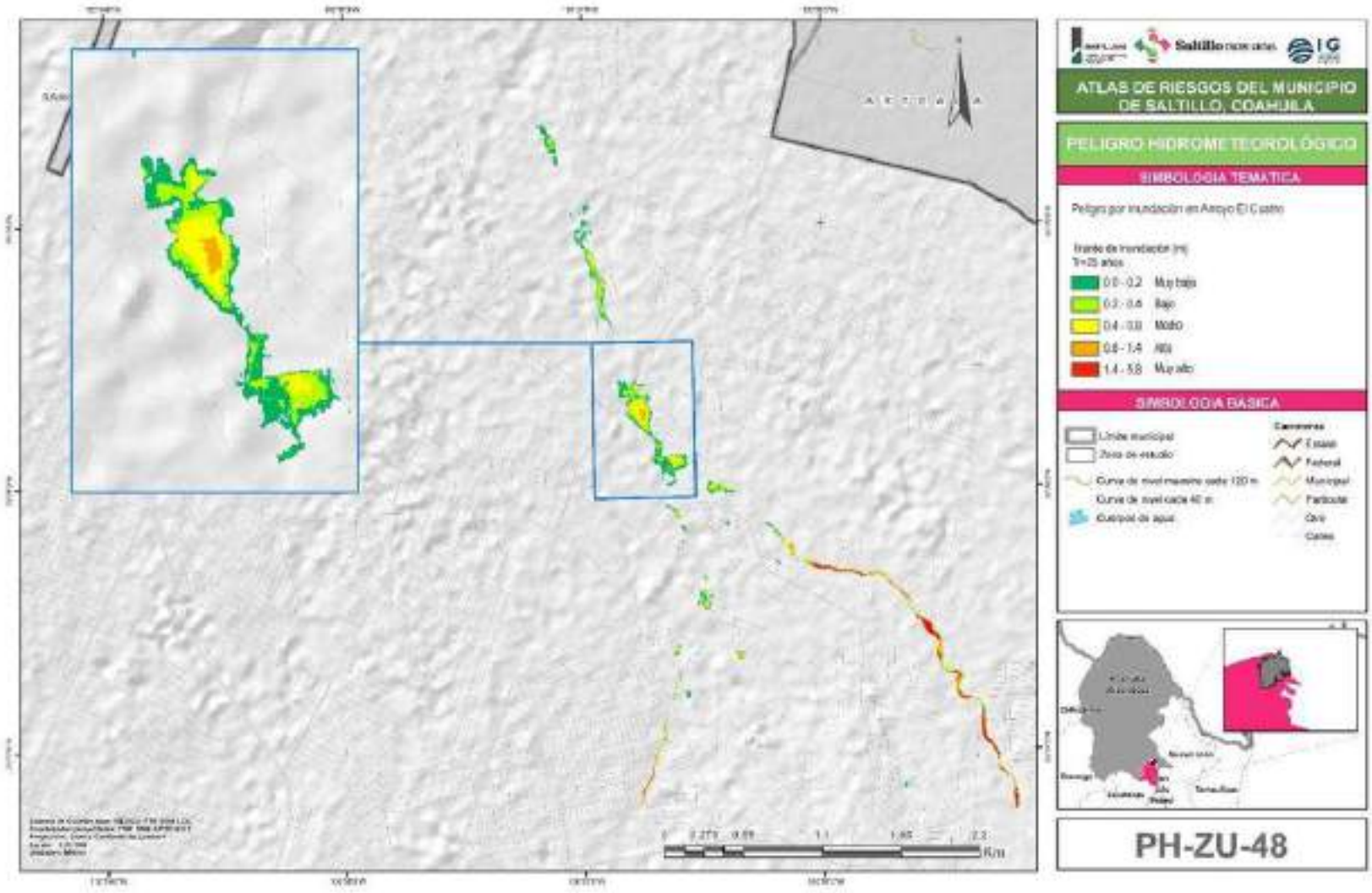
Arroyo El Cuatro

Mapa 48. Peligro de inundación Tr=5 años Arroyo El Cuatro



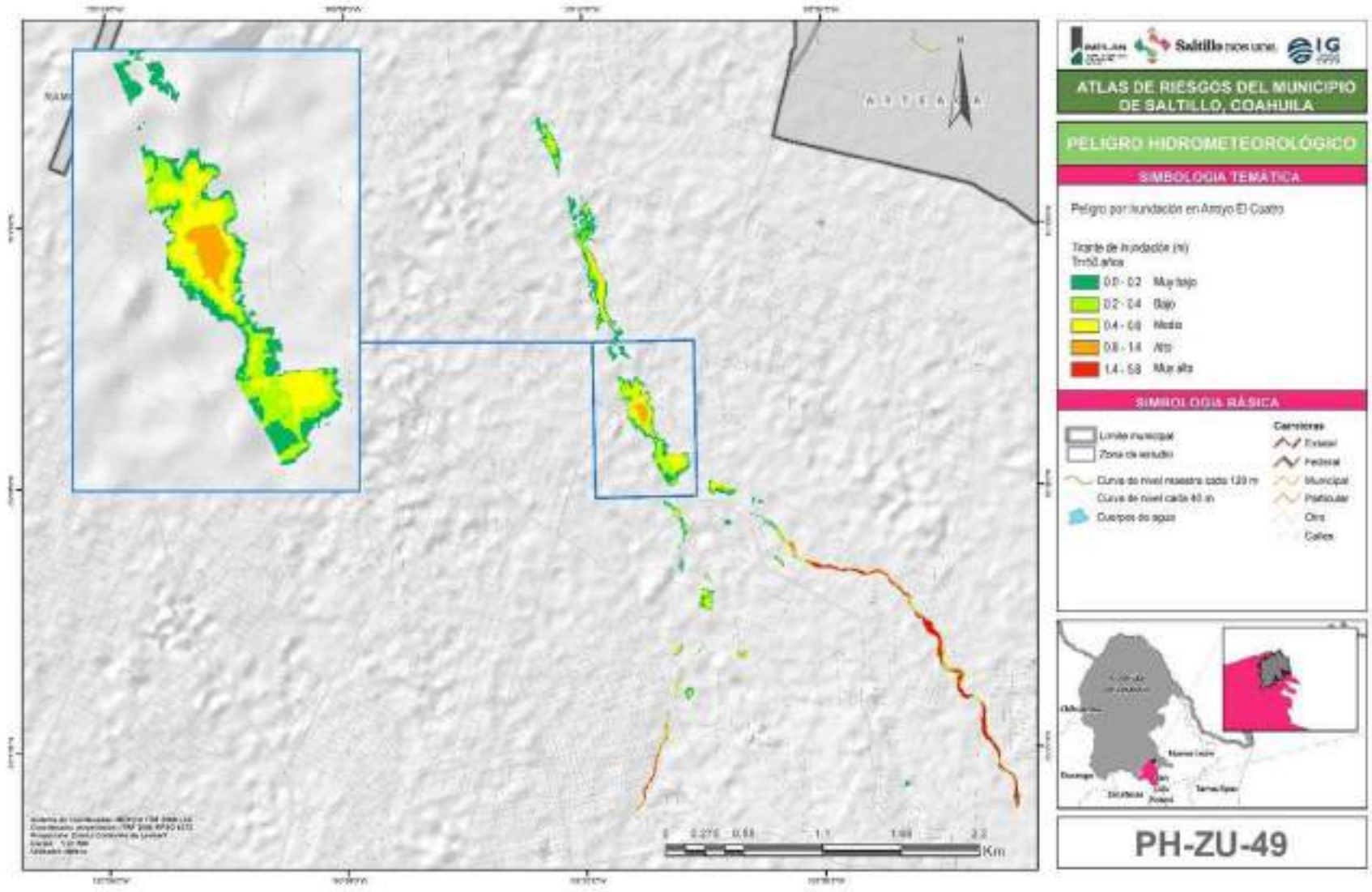
Fuente: elaboración propia.

Mapa 49. Peligro de inundación Tr=25 años Arroyo El Cuatro



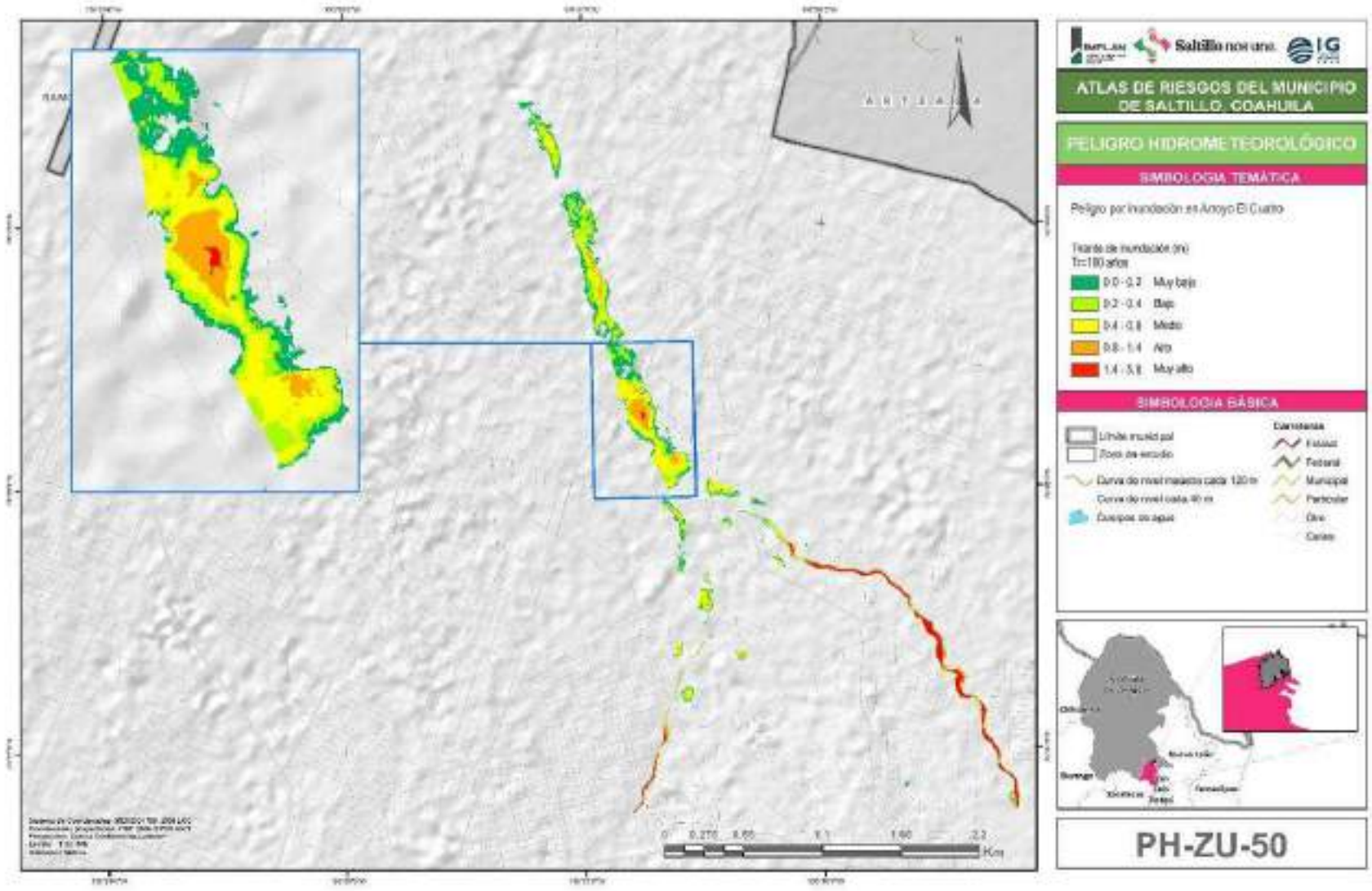
Fuente: elaboración propia.

Mapa 50. Peligro de inundación Tr=50 años Arroyo El Cuatro



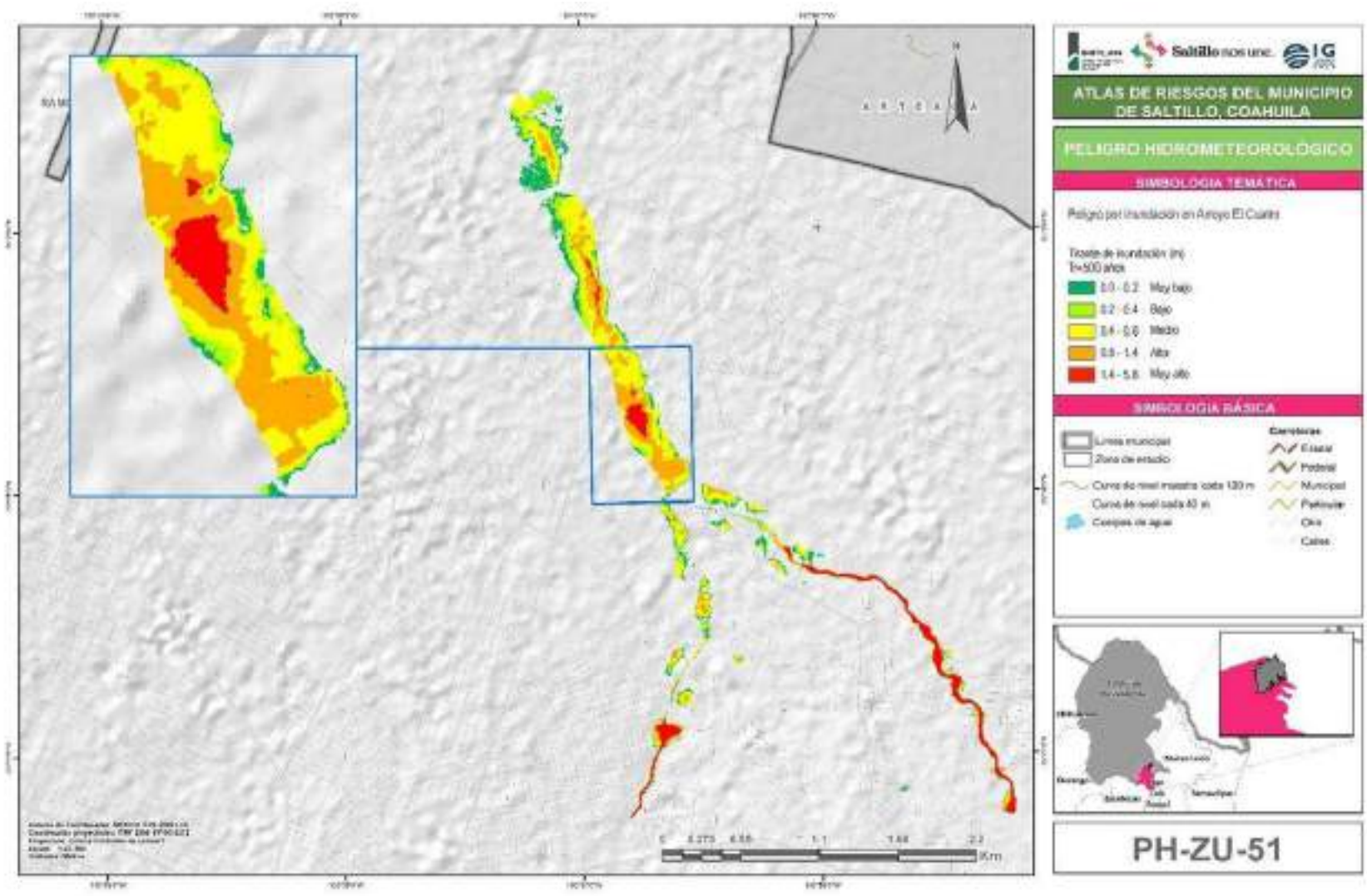
Fuente: elaboración propia.

Mapa 51. Peligro de inundación Tr=100 años Arroyo El Cuatro



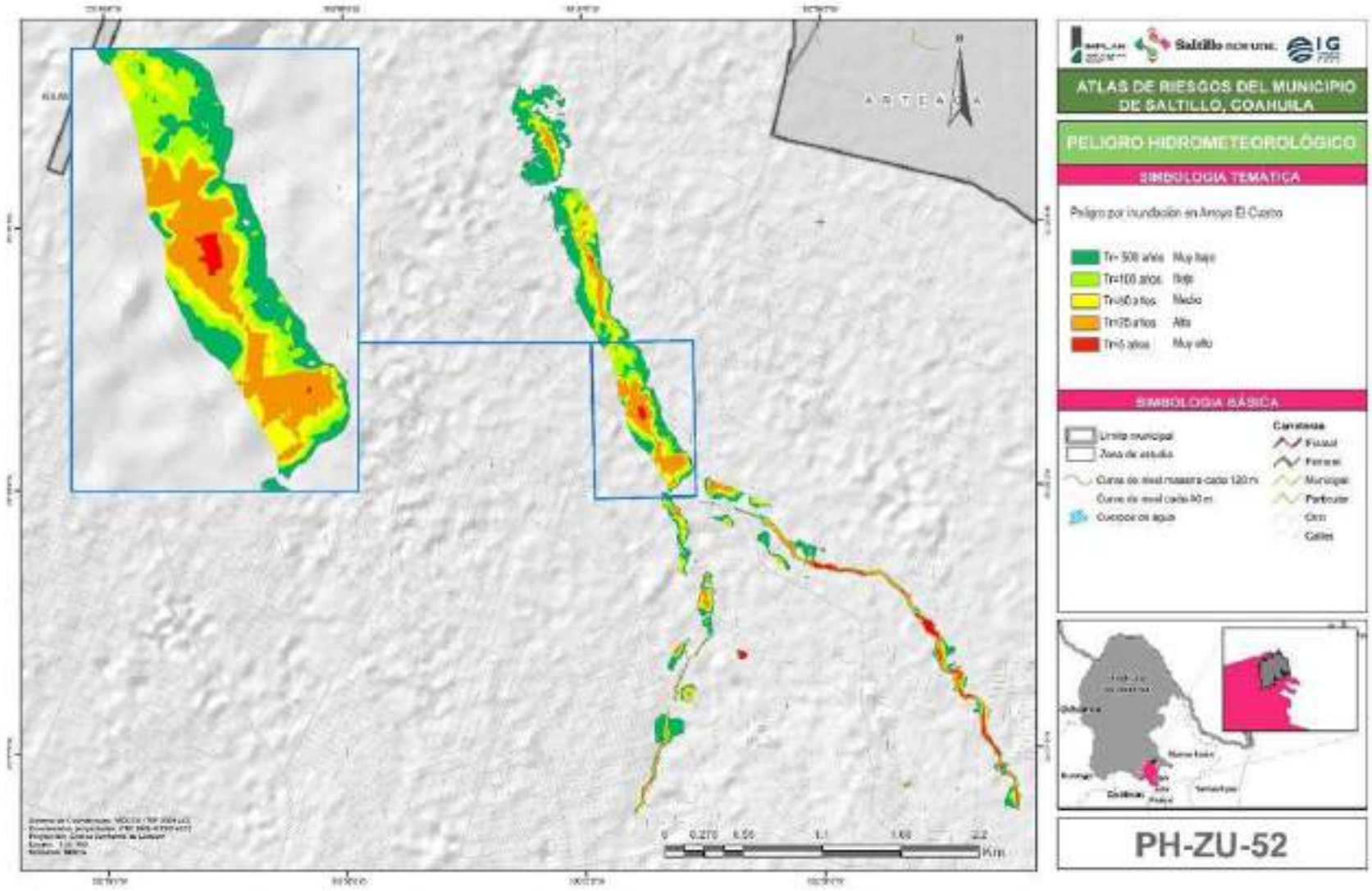
Fuente: elaboración propia.

Mapa 52. Peligro de inundación Tr=500 años Arroyo El Cuatro



Fuente: elaboración propia.

Mapa 53. Peligro de inundación para diferentes periodos de retorno, Arroyo El Cuatro



Fuente: elaboración propia.

Con respecto al proyecto ejecutivo del arroyo El Cuatro, tramo: calle Álamo Gordo cruce con calle de Los Sauces a su descarga en arroyo Ceballos, es decir en su tramo final; se tiene que existe una coincidencia relativa entre los valores consignados en la Tabla 1 del proyecto referido y los obtenidos de manera general en el presente estudio, para un periodo de retorno de 50 años, tal como se muestra en la Tabla 85.

La diferencia más importante se presenta en el cálculo del caudal pico, que difiere en un 19% menos que el estimado en este trabajo, posiblemente debido a una diferencia en el cálculo del coeficiente de escurrimiento y/o la diferencia del área drenada. Sin embargo, al considerarse un periodo de retorno de 500 años, dicho estudio establece un caudal pico de 1, 093.6 m3/s, lo cual se considera razonable para el proyecto.

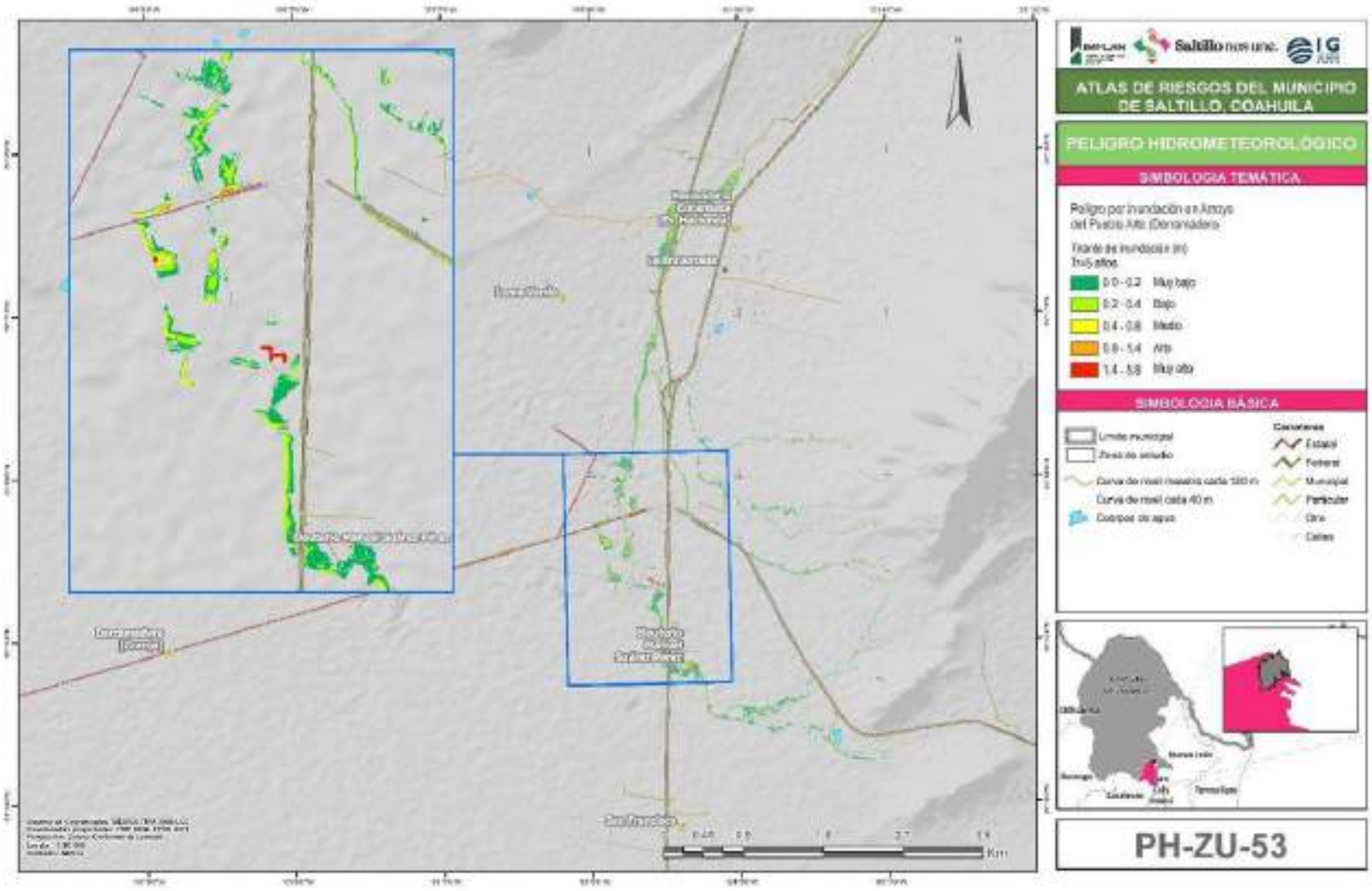
Tabla 85. Resumen de análisis comparativo entre resultados del atlas de riesgos y proyecto plan hidra

Cálculo Atlas de Riesgos UNAM		**Resumen proyecto PlanHidra**		
Parámetro calculado	Valor	Sup (km^2)	Long (m)	Q (m^3/s)
Elevación máxima (msnm)	2,467	12.87	12264	64.24
Elevación media (msnm)	1,963	19.76	9022	115.65
Elevación mínima (msnm)	1,460	7.7	10598	37.8
Longitud (m)	20,281	3.19	4514	22.26
Pendiente media (%)	4.97	10.44	11460	53.25
Tiempo de concentración (min)	126.91	0.37	440	5.77
Área drenada (km^2)	139.51	0.57	1480	5
Perido de Retorno (años)	50	17.28	12360	82.37
Coeficiente de Escurrimiento	0.4	49.84	17326	184.43
Lluvia (mm)	106.5	1.72	2708	13.91
Intensidad de Lluvia (mm/h)	50.24	1.07	2771	8.64
Caudal pico (m^3/s)	**778.78**	3	5021	18.08
		4.47	7569	22.79
	Sumas:	**132.28**	**97533**	**634.19**
	Diferencia	95%		81%
		5%		19%

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos con el SIATL del INEGI.

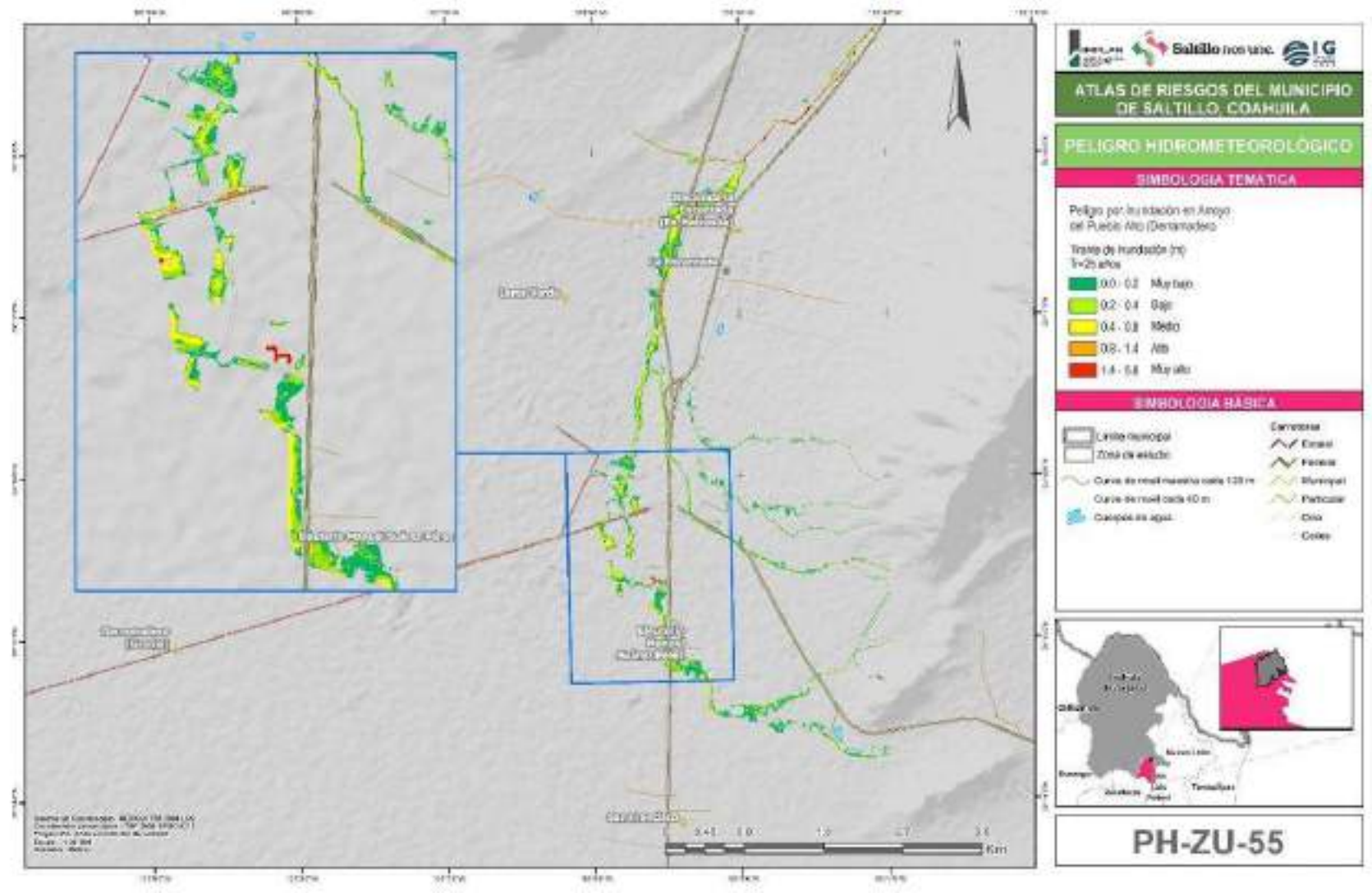
Arroyo del Pueblo Alto (Derramadero)

Mapa 54. Peligro de inundación Tr=5 años Arroyo del Pueblo Alto (Derramadero)



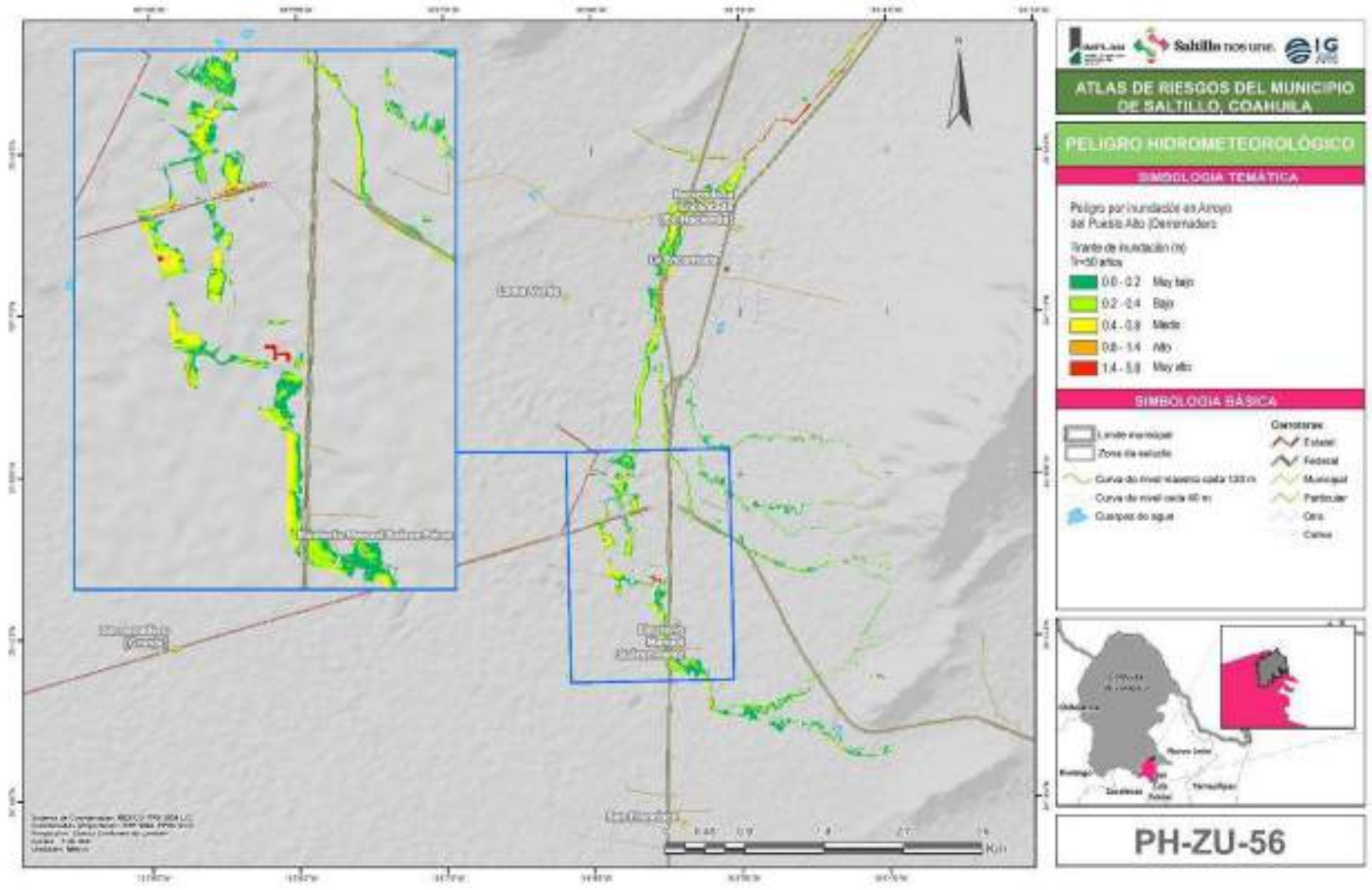
Fuente: elaboración propia.

Mapa 55. Peligro de inundación Tr=25 años Arroyo del Pueblo Alto (Derramadero)



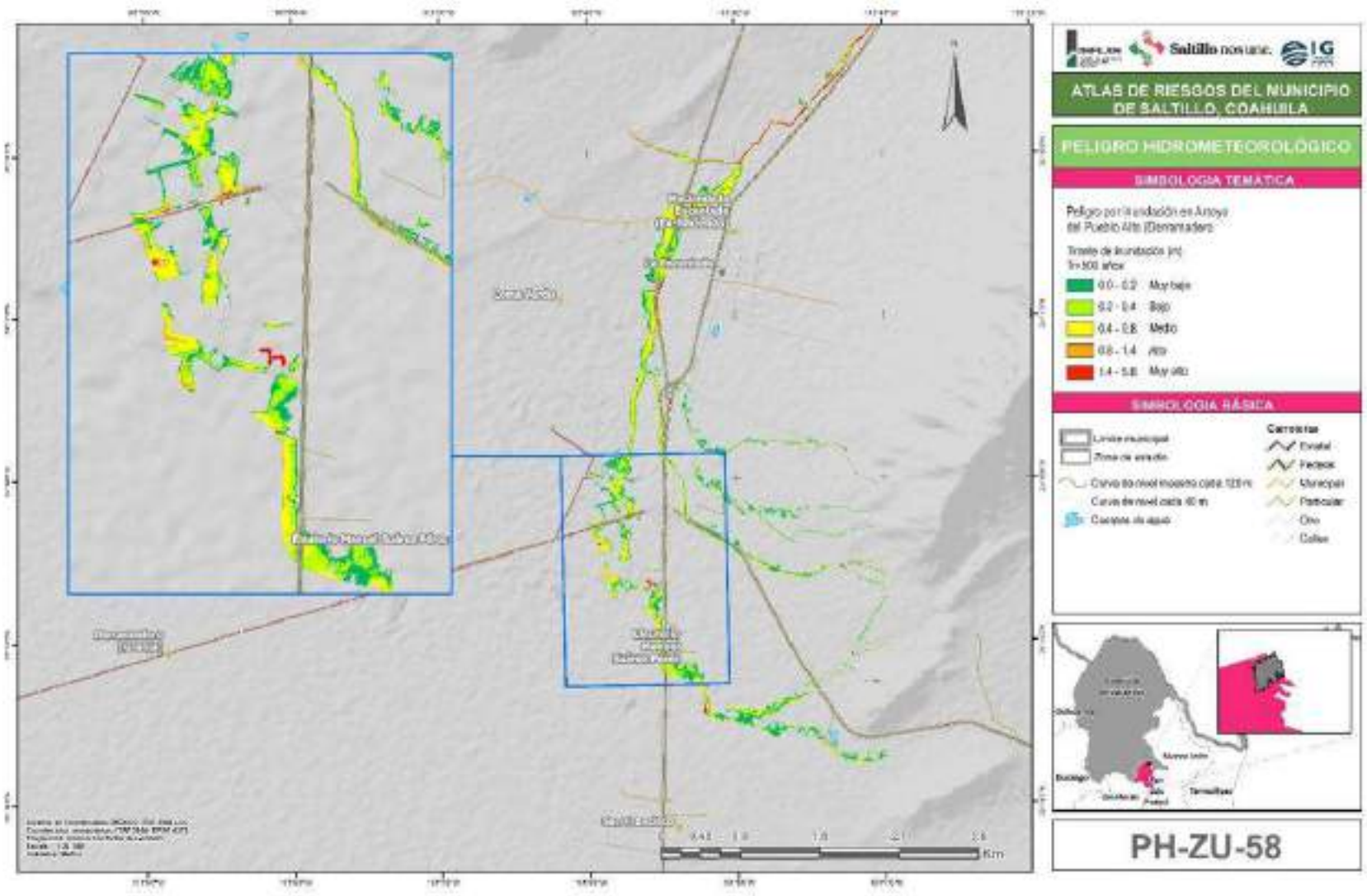
Fuente: elaboración propia.

Mapa 56. Peligro de inundación Tr=50 años Arroyo del Pueblo Alto (Derramadero).



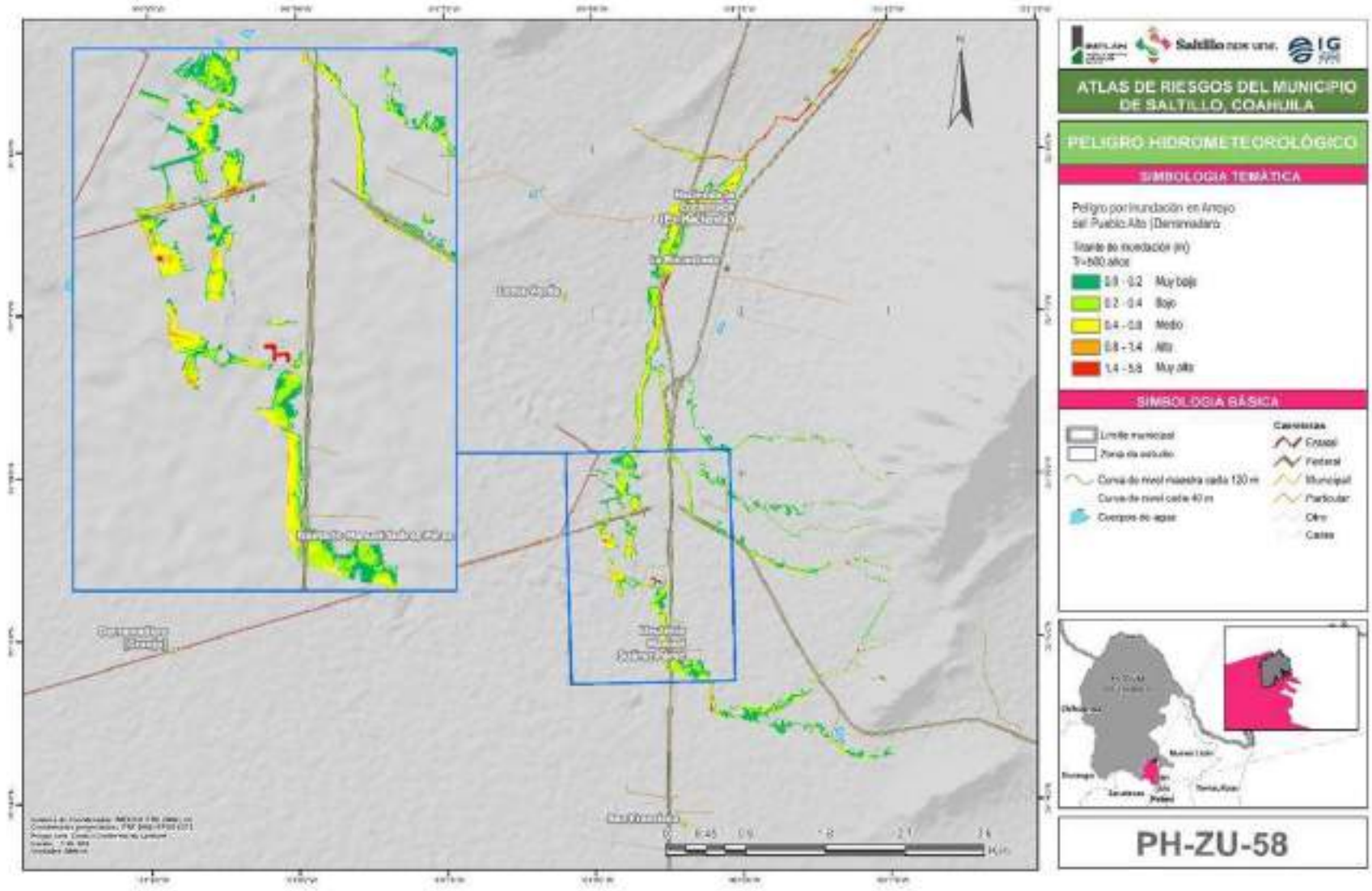
Fuente: elaboración propia.

Mapa 57. Peligro de inundación Tr=100 años Arroyo del Pueblo Alto (Derramadero).



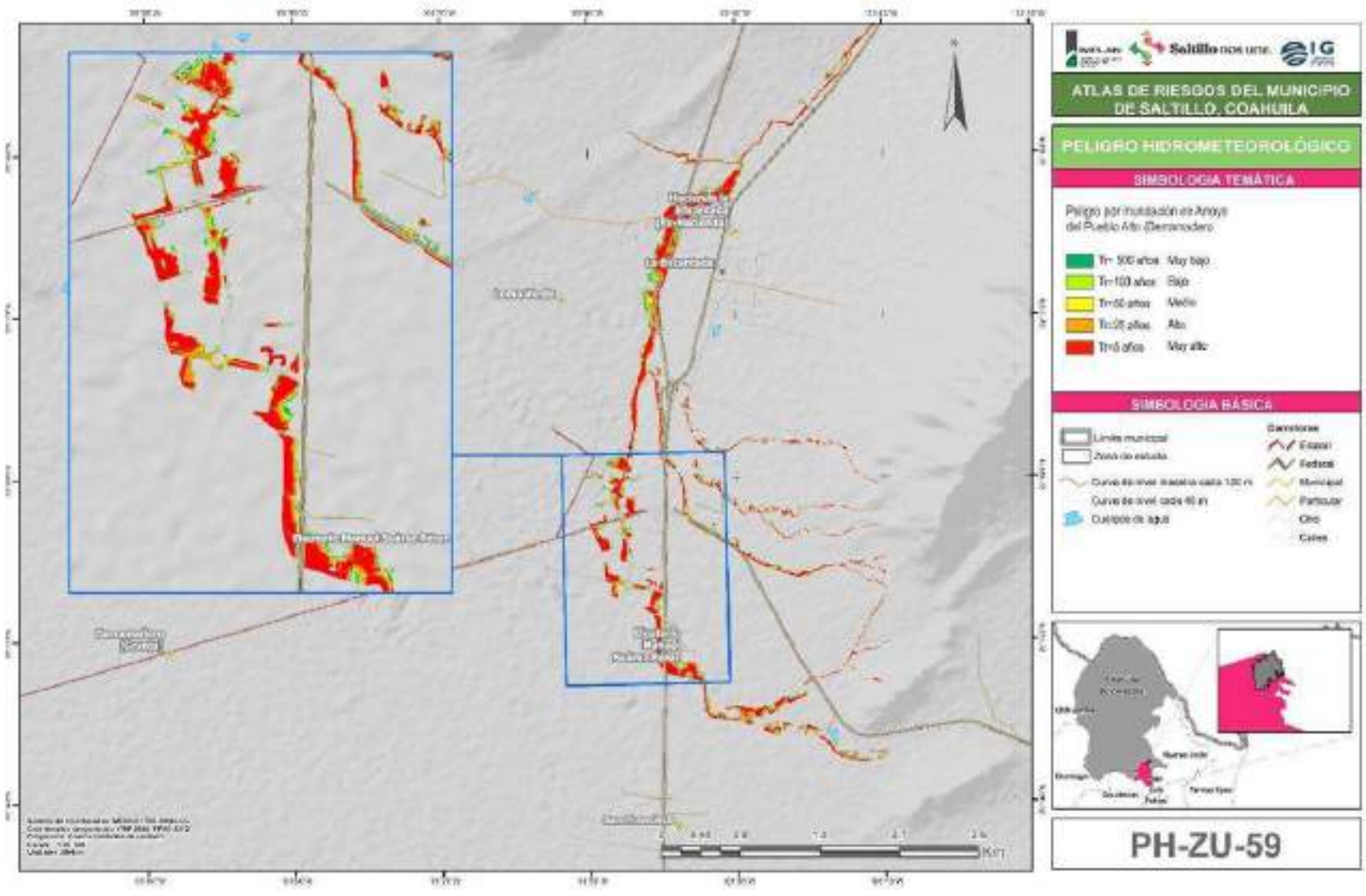
Fuente: elaboración propia.

Mapa 58. Peligro de inundación Tr=500 años Arroyo del Pueblo Alto (Derramadero).



Fuente: elaboración propia.

Mapa 59. Peligro de inundación para diferentes periodos de retorno, Arroyo del Pueblo Alto (Derramadero)



Fuente: elaboración propia.

Inundaciones pluviales

Introducción / Antecedentes

Una **inundación pluvial** se refiere a la acumulación de agua en la superficie debido a precipitaciones intensas que superan la capacidad del sistema de drenaje o la absorción del suelo. Este tipo de inundaciones es común en áreas urbanas donde el pavimento impermeabiliza el terreno, lo que impide la infiltración del agua y genera escorrentías superficiales. Las inundaciones pluviales suelen provocar daños a la infraestructura urbana, además de problemas en el tráfico, además de riesgos sanitarios por la acumulación de agua estancada (Palerm-Viqueira, 2011; Aranda Camacho & Nájera Medrano, 2017).

Las inundaciones pluviales en Saltillo, como en muchas otras ciudades, son un fenómeno que se ha vuelto recurrente debido a una combinación de factores geográficos, climáticos y de infraestructura urbana. Saltillo, la capital del estado de Coahuila, es conocida por su clima semiárido, con temporadas de lluvias concentradas en ciertos meses del año, especialmente en el verano.

Factores que contribuyen a las inundaciones pluviales en Saltillo:

Crecimiento urbano y deforestación: el crecimiento urbano descontrolado, con la expansión de áreas pavimentadas, ha reducido la capacidad del suelo para absorber el agua de lluvia, incrementando el flujo de escorrentía superficial. La urbanización también ha afectado los cauces naturales de los ríos y arroyos, que ahora se ven obstruidos o canalizados por la infraestructura urbana, lo que empeora el problema.

Infraestructura insuficiente: a pesar de la existencia de un sistema de drenaje, este se ve sobrecargado durante lluvias intensas. Las lluvias torrenciales que pueden caer en periodos cortos saturan el sistema, ocasionando que el agua no pueda ser desalojada de manera eficiente. Algunas zonas urbanas no cuentan con un adecuado sistema de captación y conducción de aguas pluviales, lo que contribuye a la formación de inundaciones en áreas bajas.

Saturación de tuberías: 3n temporadas de lluvias, el sistema de drenaje pluvial y sanitario puede saturarse, ya que en algunas zonas, las tuberías están diseñadas para manejar tanto las aguas residuales como las pluviales. Las precipitaciones intensas sobrecargan este sistema, provocando que el agua se acumule en las calles, aumentando el riesgo de inundaciones.

Topografía: Saltillo se encuentra rodeada de montañas, lo que facilita que el agua se desplace rápidamente hacia la ciudad en caso de fuertes lluvias, exacerbando las inundaciones en zonas específicas, especialmente en las áreas más bajas de la ciudad.

Las inundaciones pluviales en Saltillo suelen causar daños en calles, carreteras, así como propiedades, afectando tanto el tráfico como el acceso a servicios. La acumulación de agua en calles y avenidas aumenta el riesgo de proliferación de enfermedades transmitidas por el agua, además de los riesgos asociados con la exposición a aguas contaminadas. También se generan pérdidas económicas tanto para los hogares como para los comercios locales, al igual que interrupciones en las actividades diarias y productivas.

Metodología

Insumos utilizados

Modelo de elevación digital

El análisis de **inundaciones pluviales** se realizó para la zona urbana de Saltillo y el resto del territorio municipal. Para la zona urbana, se utilizó un Modelo de Elevación Digital (MDE) generado a partir de datos obtenidos mediante un vuelo LIDAR realizado en febrero de 2024, con una resolución de 30 centímetros. En cuanto al resto del municipio, se empleó el ASTER DEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model).

Los datos del ASTER DEM son el resultado de una colaboración entre el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón y la NASA, cuyo objetivo fue producir un modelo digital de elevación global. La primera versión de este producto estuvo disponible en junio de 2009, y la versión dos se lanzó en octubre de 2011. Esta última se presenta en la tradicional resolución de 30 metros (1 arcsec) y está fragmentada en "tiles" territoriales, lo que permite su descarga en bloques.

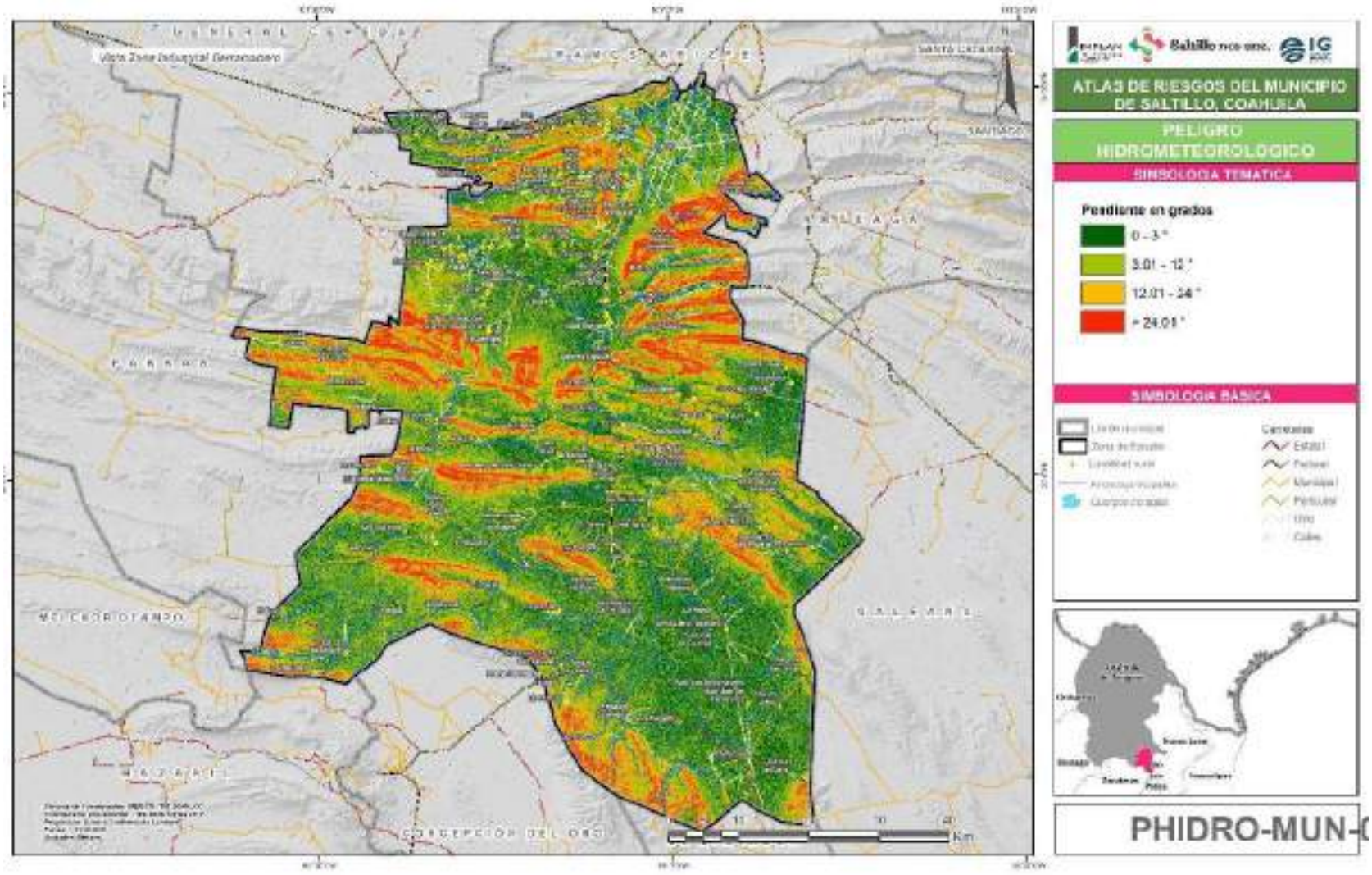
Los tiles del ASTER DEM fueron actualizados para incluir datos recopilados entre marzo de 2000 y diciembre de 2013, con una resolución espacial de 30 metros por píxel, y están disponibles en formatos GeoTIFF y NetCDF. Estos datos se generan a partir de imágenes estereoscópicas capturadas por el satélite ASTER, con archivos producidos en formato GeoTIFF a una resolución horizontal de 30x30 **metros**. Los usuarios pueden acceder a estos datos a través del portal del USGS Global Data Explorer.

Para el análisis de inundaciones a nivel municipal, se optó por utilizar la versión 3 del ASTER DEM, ya que, de acuerdo con la NASA, esta versión fue creada utilizando aproximadamente 1.5 millones de estereopares de imágenes capturadas por el sensor ASTER del satélite Terra. Los estereopares permiten calcular la elevación del terreno al combinar imágenes tomadas desde diferentes ángulos, logrando así una mayor precisión. En comparación con versiones anteriores, la versión 2013 incorpora un mayor número de estereopares, así como mejoras en el procesamiento de datos para reducir errores y anomalías, como las causadas por nubosidad o áreas de baja visibilidad, lo que ha mejorado considerablemente la precisión global del modelo.

Se realizó una evaluación de la calidad del **ASTER DEM** utilizando el **ráster de pendientes**, que permitió observar las variaciones de elevación en las zonas planas del área de estudio. Estas zonas planas fueron identificadas mediante **ortofotos** generadas por el laboratorio aéreo de la UNAM para Saltillo. Los resultados indicaron que los datos del ASTER DEM mostraban pocas discrepancias respecto a las imágenes aéreas, lo que sugiere una **alta concordancia** en las zonas de menor relieve.

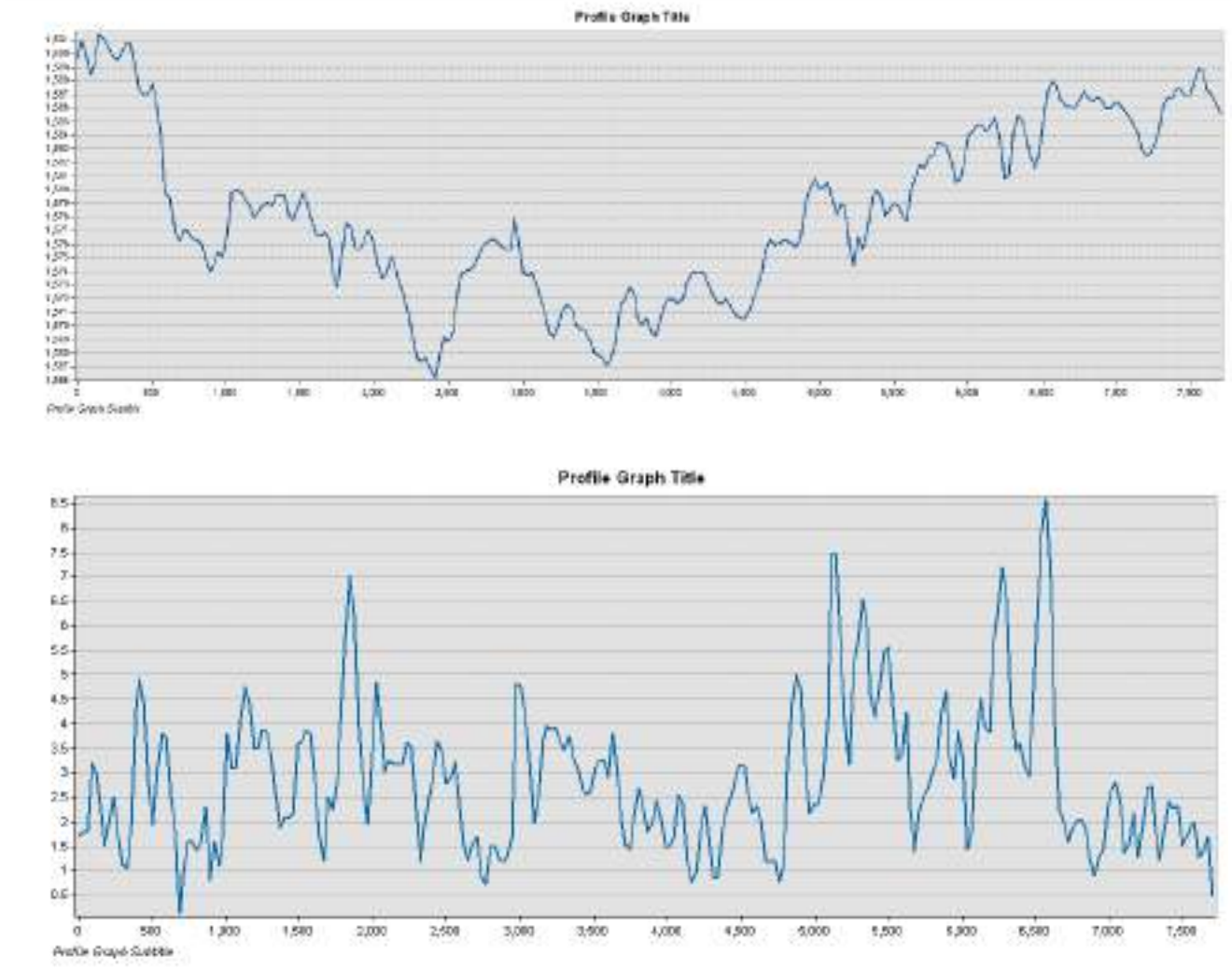
Este tipo de evaluación es crucial para validar la precisión del **modelo digital de elevación** (DEM) en terrenos donde las variaciones topográficas son mínimas, ya que los **datos de elevación** deben reflejar con precisión el terreno real para su uso en estudios geoespaciales, planeación territorial y gestión de riesgos.(Mapa 60).

Mapa 60. Valores de pendiente a partir del MDE de Aster 3.0.



Fuente: elaboración propia a partir de ASTER DEM 3.0.

Figura 46. Valores de perfiles a partir del MDE de Aster 3.0.



Fuente: Fuente: elaboración propia a partir de ASTER DEM 3.0.

Como puede observarse en la

Figura 46, los datos del Aster-DEM ver 3.0 muestran un reducido rango de variación (alrededor de 10 metros) y estos cambios de altitud son poco frecuentes a lo largo del transecto analizado.

Suelos

Se digitalizó la información de suelos de las cartas del INEGI, escala 1:50,000, produciendo una capa que contiene la información de los tipos de suelos (hasta tres por cada polígono), más los datos de textura, fases físicas y químicas. Los datos vectoriales se convirtieron posteriormente a formato de celdas (para facilitar los procesos de sobreposición en el SIG), codificando únicamente los datos de textura del suelo.

Cobertura del suelo

Para este tema se empleó la información cartográfica contenida en los datos vectoriales de la Serie VII de INEGI 2021 y las observaciones anotadas durante las visitas de campo. También se recopiló información preexistente para este factor, con el fin de obtener una clasificación de la influencia de la cobertura vegetal en la susceptibilidad a los procesos de remoción de masa, resaltando que las zonas con escasa y poca vegetación son más susceptibles a dichos procesos. El desarrollo y análisis de la información fue empleada de acuerdo con los Términos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos 2018 publicados por SEDATU.

Una vez que se obtuvo la clasificación del uso de suelo y vegetación del área municipal y de acuerdo con la susceptibilidad de esta a inundaciones pluviales, se categorizó en rangos y en pesos ponderados mediante una matriz de Saaty de jerarquías analíticas los cuales muestran en la siguiente tabla.

Tabla 86.Pesos para el factor cobertura de suelo.

Categoría	Peso	USV	Cuantitativo	Color
1	47	Bosque	Muy bajo	
2	28	Vegetación arbustiva	Bajo	
3	15	Matorral	Medio	
4	7	Agricultura	Alto	
5	3	Área urbana	Muy alto	

Fuente: elaboración propia.

Geomorfología

Para la elaboración del análisis geomorfológico se partió de la capa de geología del área municipal, así como la capa de pendientes previamente generada para poder desarrollar un análisis y clasificación de elementos geomorfológicos presentes en al área municipal; además, se empleó información, datos bibliográficos, el modelo digital del terreno, e información obtenida de la visita a campo.

También se realizó la recopilación, además del análisis de bibliografía relacionada con el tema, consultándose la información para este factor del área de estudio donde consultó la información y literatura referente a temas geológicos y geomorfológicos.

Una vez que se obtuvo la geomorfología del área municipal se categorizó en rangos y en pesos ponderados mediante una matriz de Saaty de jerarquías analíticas, las cuales muestran en la siguiente tabla.

Tabla 87. Pesos para el factor geomorfología

Categoría	Peso	Geomorfología	Cuantitativo	Color
1	49	Sierras empinadas	Muy bajo	
2	27	Cañadas con cauces	Bajo	
3	7	valles intermontanos	Medio	
4	3	Llanura aluvial	Alto	
5	14	Abanicos aluviales	Muy alto	

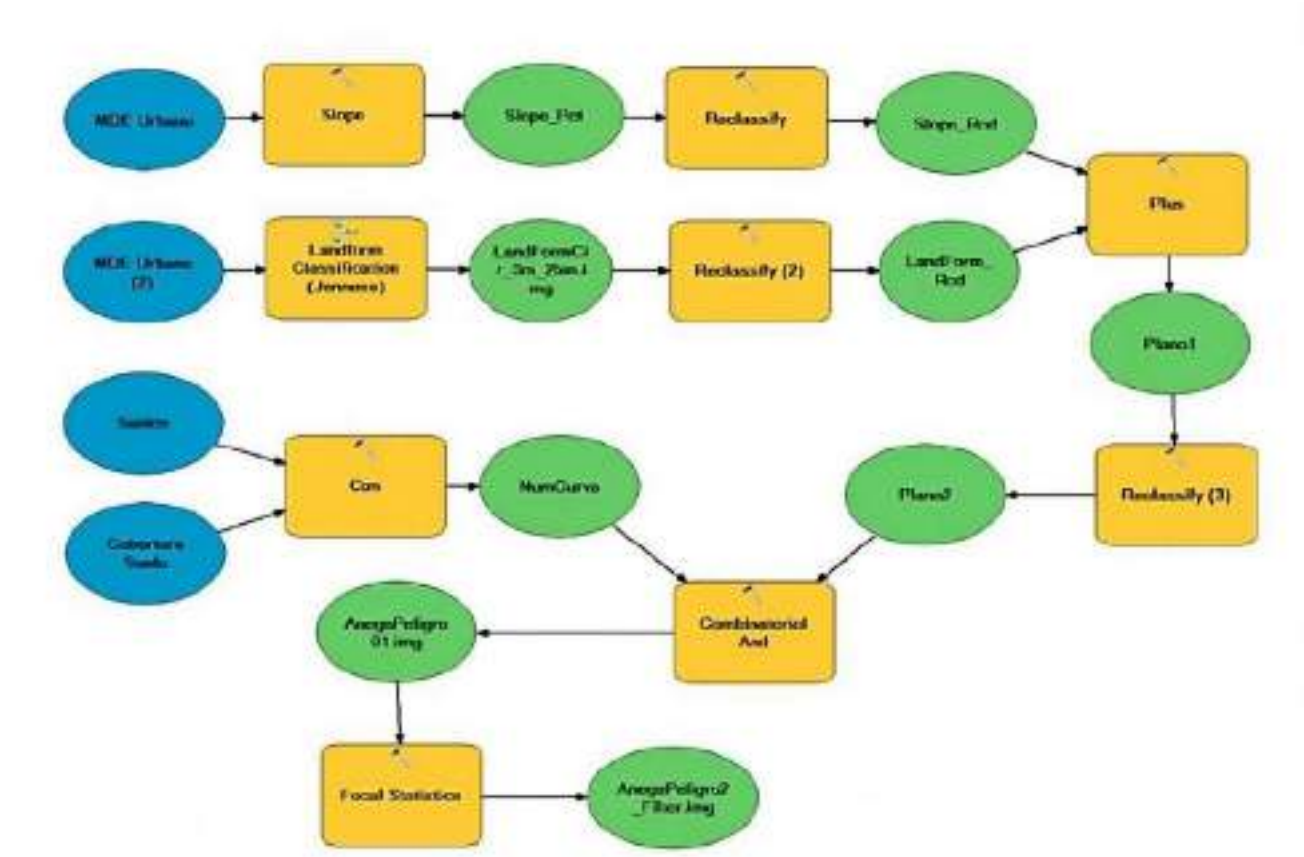
Fuente: elaboración propia.

Memoria de cálculo

La Figura 47 muestra el diagrama de flujo del análisis de anegamientos. Inicialmente se calcularon los datos de pendiente usando las herramientas de “DEM Surface tools” producida por Jeff Jenness (http://www.jennessent.com/arcgis/surface_area.htm), empleando el algoritmo de Sharpnack & Akin’s. La figura muestra los resultados para una zona plana en la porción sureste del municipio.

De esta capa se extrajeron los pixeles correspondientes a pendientes menores o iguales a 3 %, de acuerdo a lo plantado por Soil Survey Manual (1993), en donde se define a un terreno plano como aquel con pendientes entre 0 y 3%); para crear una capa binaria que contenga las zonas planas vs no-planas.

Figura 47. Diagrama de flujo del análisis de inundaciones pluviales



Fuente: elaboración propia.

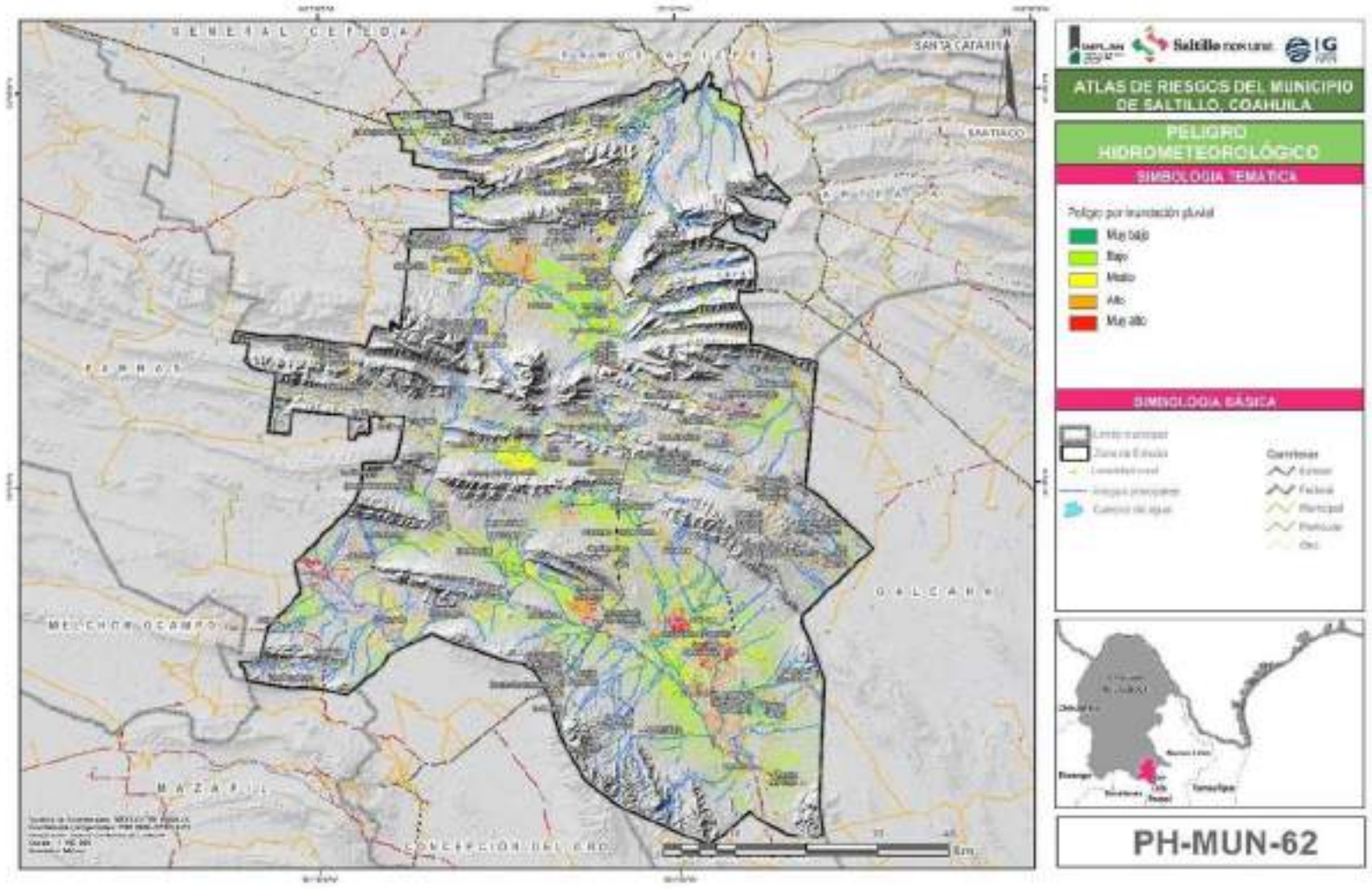
Se combinaron las dos capas binarias de zonas planas para obtener la coincidencia de pixeles planos en relación con la pendiente y la geoforma para producir una nueva capa consistente en las “zonas planas” rurales.

Paralelamente, se combinaron los datos de tipo de suelos, así como cobertura del suelo para producir una capa correspondiente al nivel de escurrimiento (número de curva) de cada pixel, usando los parámetros definidos por United States Department of Agriculture (1986). El siguiente paso consistió en la combinación los resultados de la capa de “zonas planas” con la capa de “número de curva” y a este resultado se le aplica un filtrado (kernel de 5x5, mayoría) para eliminar el efecto de pixeles individuales en el resultado.

Resultados

Derivado del procedimiento antes descrito se obtuvo el mapa de peligro por inundaciones pluviales para el municipio de Saltillo (Mapa 61).

Mapa 61, Mapa de inundaciones pluviales del municipio de Saltillo.



Fuente: elaboración propia.

Inundaciones pluviales Zona Urbana de Saltillo

Insumos utilizados

Modelo Digital de Elevación

Para el análisis de inundación pluvial de la zona urbana se empleó el MDE generado a partir del vuelo lidar del 2024. Estos datos generaron un MDE con pixeles de 1x1 m., con resolución vertical de 20 cm.

Suelos y Cobertura del Suelo

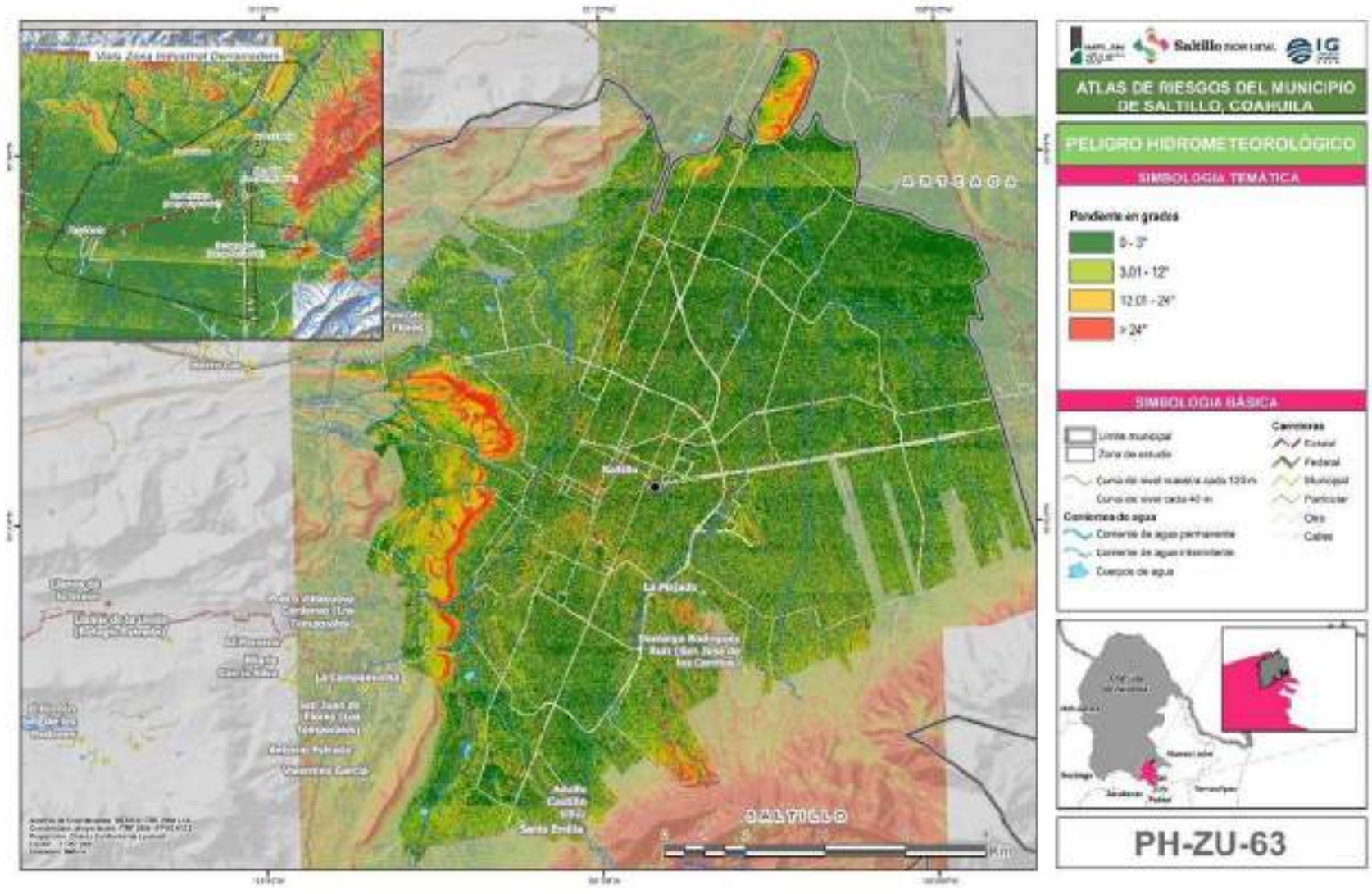
De igual manera que en la zona rural, se empelaron los datos de la cartografía 1:50,000 de la carta edafológica del INEGI, y los resultados de la clasificación de la Serie VII de INEGI; para la creación de la capa de “Número de Curva”.

Memoria de cálculo

La metodología empleada para el cálculo de los anegamientos es similar a la aplicada en las zonas rurales (

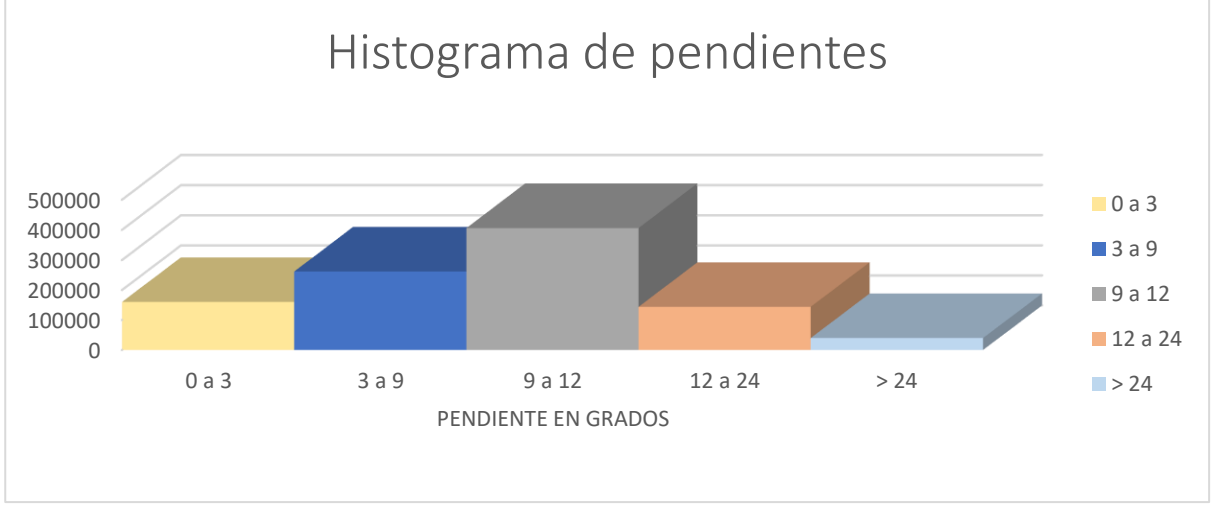
Figura 47). El MDE se procesó para generar un archivo de pendientes en porcentaje, usando la herramienta de “DEM Surface tools”, el algoritmo de “slope” ->Sharpnack & Akin’s. (Mapa 62). El rango de valores de pendientes oscila entre cero y 86 grados, siendo los valores más frecuentes aquellas áreas con pendiente de 1 a 1.5 grados (Figura 48).

Mapa 62. Porcentajes de pendiente de la Zona Urbana de Saltillo.



Fuente: elaboración propia a partir de datos lidar 2024.

Figura 48. Histograma de los datos de pendiente en la zona urbana de Saltillo



Fuente: elaboración propia a partir de datos lidar 2024.

Como se observa en la figura anterior, una proporción muy importante de la superficie del área urbana se encuentra en zonas muy planas (valores de 0 a 3.0 por ciento), lo que representa un factor importante en la formación de áreas inundables o anegables.

Otra capa de información generada a partir del MDE fue la clasificación de "LandForm Classification". Se empleó un área circular con rangos de metros para el valor de vecindad menor y de 25 metros para el valor de vecindad mayor (Figura 44). De igual manera que con los datos de la zona rural, se seleccionaron los pixeles correspondientes a la categoría de "Plains Small" para crear una capa binara que mostrara zonas planas vs no-planas.

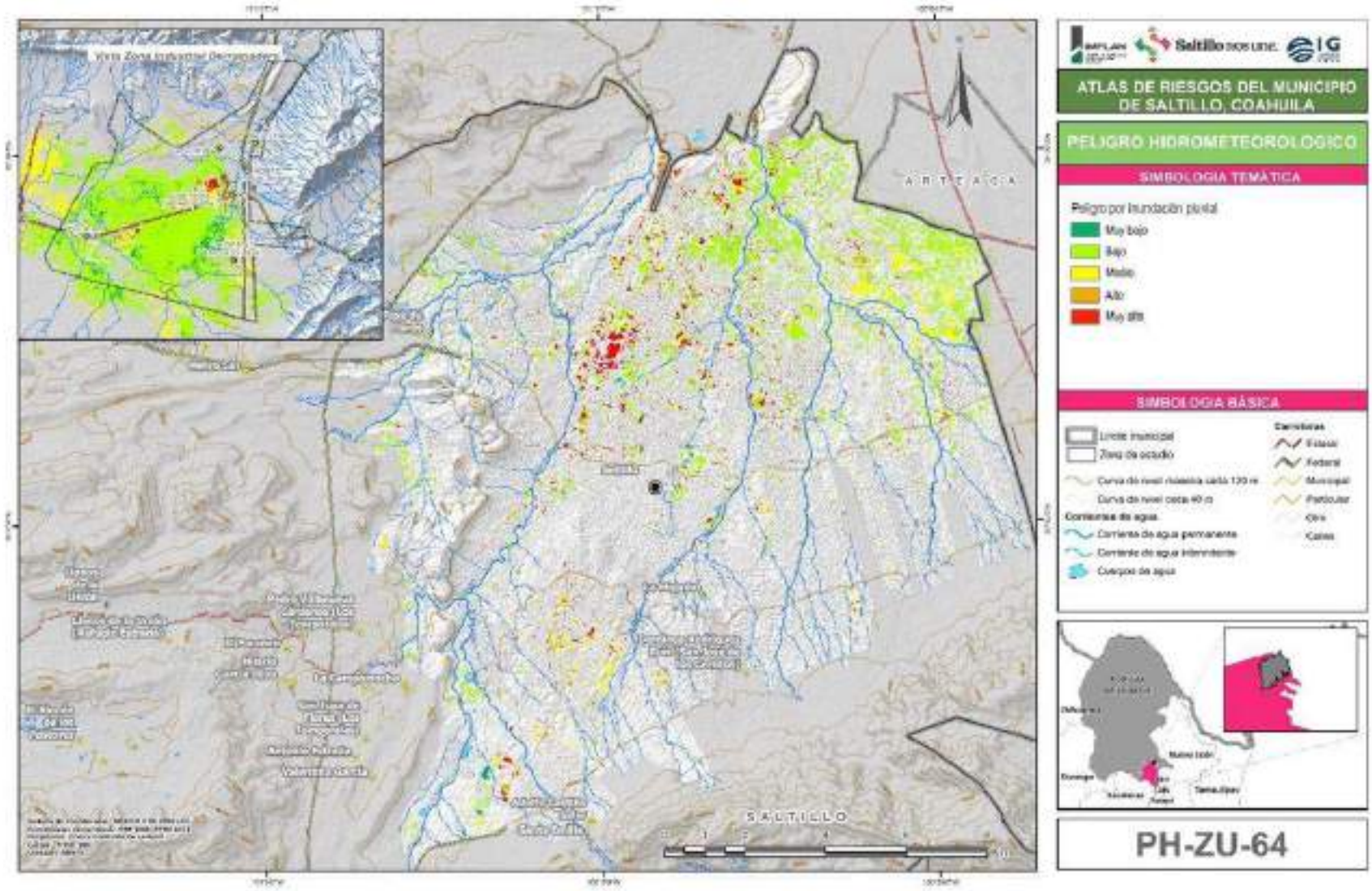
Ambas capas de información se recodificaron para crear capas binarias (plano vs no - plano) y facilitar de esta manera la sobreposición de dichas capas. Se combinaron las dos capas binarias de zonas planas para obtener la coincidencia de pixeles planos en relación a la pendiente y la geoforma, para producir una nueva capa denominada "zonas planas".

A continuación, se combinan los resultados de la capa de "zonas planas" con la capa de "número de curva" y a este resultado se le aplica la capa de intensidad de lluvia para determinar las áreas anegadas y niveles esperados.

Resultados

A partir del proceso anterior se obtuvo el mapa de peligro por inundaciones pluviales para la zona urbana del municipio de Saltillo (Mapa 63).

Mapa 63. Mapa de peligro por inundaciones para la zona urbana de Saltillo.



Fuente: elaboración propia.

Ondas cálidas

Introducción / Antecedentes

Las ondas cálidas o de calor son periodos de varios días en los que la temperatura es mayor a la habitual, las cuales generan severos impactos en la población como es el golpe de calor, el agotamiento y calambres, que suelen presentarse principalmente en la población infantil y senil, y provocan riesgo de muerte y enfermedades severas, de manera particular en las zonas urbanas pobres, debido a que se carece de los medios para obtener un mejor confort y donde se concentra un gran número de habitantes. (Sistema Nacional de Protección Civil-Centro Nacional de Prevención de Desastres 2014).

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (1993), una ola de calor es un calentamiento importante del aire, o invasión de aire muy cálido, sobre una zona extensa que suele durar unos días e, incluso, semanas.

En México, Jáuregui (2009) delimita a la onda de calor como la ocurrencia de tres o más días con temperaturas que exceden ciertos umbrales, los cuales varían geográficamente, por ejemplo, para el caso de la Ciudad de México se adopta el umbral de 30°C; sin embargo, en Mexicali y Hermosillo, la temperatura debe exceder los 40°C. En ambos casos, los mayores eventos ocurren entre marzo a julio.

De manera similar, Vidal y Ortiz (2010) indican que una onda cálida está determinada por un período de tres o más días cuando la temperatura excede cierto umbral, que para el caso de México sería 26°C; debido a que es el límite de la temperatura entre los climas templados 2 y cálidos (Sistema Nacional de Protección Civil-Centro Nacional de Prevención de Desastres 2014).

Por su parte, Herrera-Alanís (2012) señala que una onda de calor se presenta cuando la temperatura máxima y mínima sobrepasa el percentil 90 en al menos dos días consecutivos.

En el Atlas de Riesgos de Saltillo (2014) se reportan ondas cálidas durante la temporada de primavera- verano, aunque de acuerdo con los eventos históricos varían tanto la prolongación como la intensidad de las sequías. Al tener conocimiento de una onda cálida, el Servicio Meteorológico Nacional alerta a los Saltillenses por las temperaturas pronosticadas, especialmente cuando las temperaturas que se esperan superan los 39°C, considerándose ondas de calor importantes.

Metodología

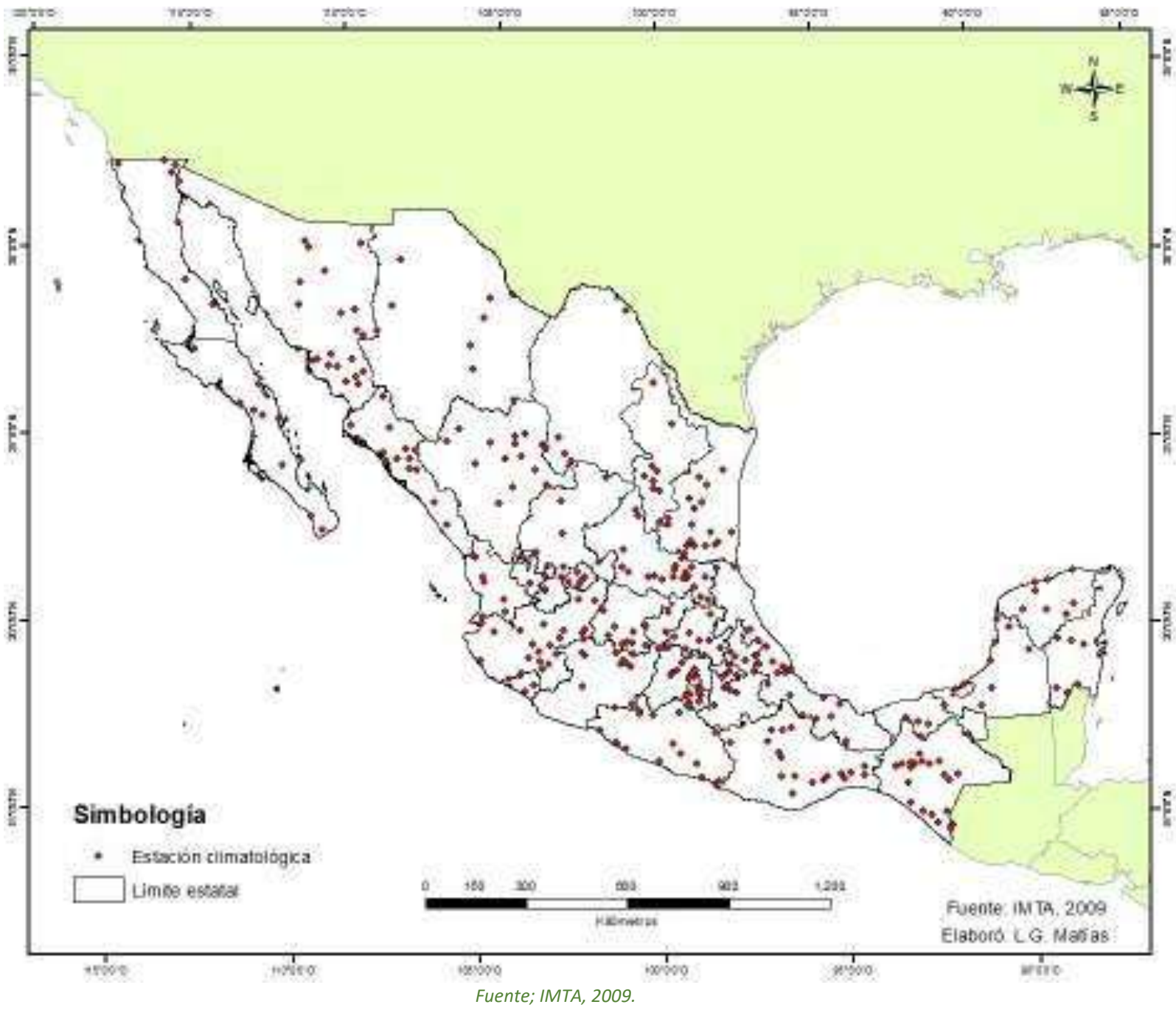
Análisis de las ondas de calor en México CENAPRED (Anexo 17b)

Recopilación de datos

Se conformó una base de datos a partir de 342 estaciones climatológicas que posee registros de 30 años o más, las cuales abarcan principalmente el periodo de 1970 hasta el 2006. La serie de datos de temperaturas máximas diarias fue recopilada del Extractor Rápido de Información Climática (ERIC III, versión 2.0) y del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA,2009).

De la base se obtuvo que los estados de Querétaro, Colima y Tlaxcala concentran la menor cantidad de estaciones, mientras que en San Luis Potosí existe la mayor agrupación. Por otra parte, Coahuila presenta una carencia de información para la región centro.

Figura 49. Distribución de la red de estaciones climatológicas utilizadas en el análisis



Fuente; IMTA, 2009.

Cálculo del peligro por ondas cálidas

Para calcular la probabilidad para cada serie de datos, se realizó el análisis de las temperaturas máximas para cada estación utilizando el percentil 90 (P90), donde en la Tabla 88 se muestra un ejemplo para la estación Delta en Baja California, que resultó ser la estación climatológica más cálida del país, ya que se obtuvo 43.5°C como P90, en ésta se presentan ondas cálidas mayores a 40°C durante varios días e incluso, pueden rebasar el mes.

Tabla 88.Ejemplo del cálculo del percentil 90para la estación Delta, BC

Año	Mes	Día	T.Máx
2008	7	1	47.5
2008	7	2	42
2008	7	3	42.5
2008	7	4	41.5
2008	7	5	41
2008	7	6	42
2008	7	7	44
2008	7	8	43
2008	7	9	40
2008	7	10	38
2008	7	11	40

Año	Mes	Día	T.Máx
2008	7	12	40
2008	7	13	42.5
2008	7	14	44
2008	7	15	44
2008	7	16	45.5
2008	7	17	47
2008	7	18	45
		Percentil90	**43.5**

Fuente: elaboración propia con datos del IMTA, 2009.

Una vez realizado el cálculo del P90 para todas las estaciones se obtienen los siguientes resultados, en la Tabla 89 se muestra un ejemplo para el estado de Baja California, donde en Mexicali durante el verano se presentan temperaturas máximas cercanas a los 50°C, esto se debe principalmente al crecimiento de la ciudad y los diversos usos de suelo que han modificado algunas variables climáticas, es decir, se evidencia el efecto de la isla de calor (García et.al., 2004)

Tabla 89. Resultados del P90 para las estaciones de Baja California

Clave	Nombre de la estación	Altitud msnm	P90
2002	Bahía de los Angeles	4	37.0
2003	Bataques	70	42.0
2006	Chapala	823	38.0
2011	Delta	12	43.5
2033	Mexicali	45	42.8
2038	Presa Rodríguez	140	30.7
2046	*San Felipe*	*12*	*40.5*

Elaboración propia con datos del IMTA, 2009.

Con los resultados anteriores se observa que la estación Delta posee un P90 de 43.5 e, incluso, la temperatura máxima ha alcanzado los 50°C en los años: 1948, 1950, 1953, 1956, 1966, 1967, 1985, 1986, 1989, 1990, 1992, 1995, 1996, 1997, 2000, 2003 y 2005, la cual fue registrada durante julio y agosto.

Por otra parte, los efectos que la temperatura, así como la humedad tienen en el confort y en la salud de la población han generado que, en el municipio de Mexicali, se presenten pérdidas humanas producto de las ondas de calor, esto sucede cuando las temperaturas máximas alcanzan los 47°C, situación que ocurrió en julio de 2006 y 2009, donde se presentaron 10 y cinco decesos, respectivamente (Jaramillo, et al., 2011).

De todas las estaciones analizadas, 26 de estas poseen un P90 mayor que 40, las cuales se encuentran en siete estados del país (Tabla 90), donde 12 pertenecen al estado de Sonora, las cuales superan dicho percentil y se localizan en los valles intermontanos, es decir, entre los 200 y 1,000 msnm.

Tabla 90.Estaciones climatológicas con un P90 mayor que 40

Estación	Estado	Altitud	P90
Bataques	Baja California	70	42.0
Delta	Baja California	12	43.5
Mexicali	Baja California	45	42.8
San Felipe	Baja California	12	40.5
Tepames	Colima	510	40.0
Aratichanguio	Guerrero	300	41.5
Arcelia	Guerrero	460	41.0
Ciudad Altamirano	Guerrero	250	41.0
Huamuxtitlán	Guerrero	1025	40.0
Apatzingan	Michoacán	682	40.0
Huetamo	Michoacán	300	42.5
Choix	Sinaloa	225	40.5
Guatenipa	Sinaloa	290	40.0
Carbo	Sonora	464	40.0
Col. Morelos	Sonora	1106	40.0
La Estrella	Sonora	240	42.0
Las Panelas	Sonora	185	40.5
Navojoa	Sonora	780	40.0
P.A. Obregon	Sonora	70	41.0
Riito	Sonora	40	42.0
Sahuaripa	Sonora	460	42.0
Tesocoma	Sonora	260	40.0
Vicam	Sonora	46	40.0
Hermosillo	Sonora	200	40.5
Potam	Sonora	11	40.0
La Loba	Tamaulipas	170	40.0

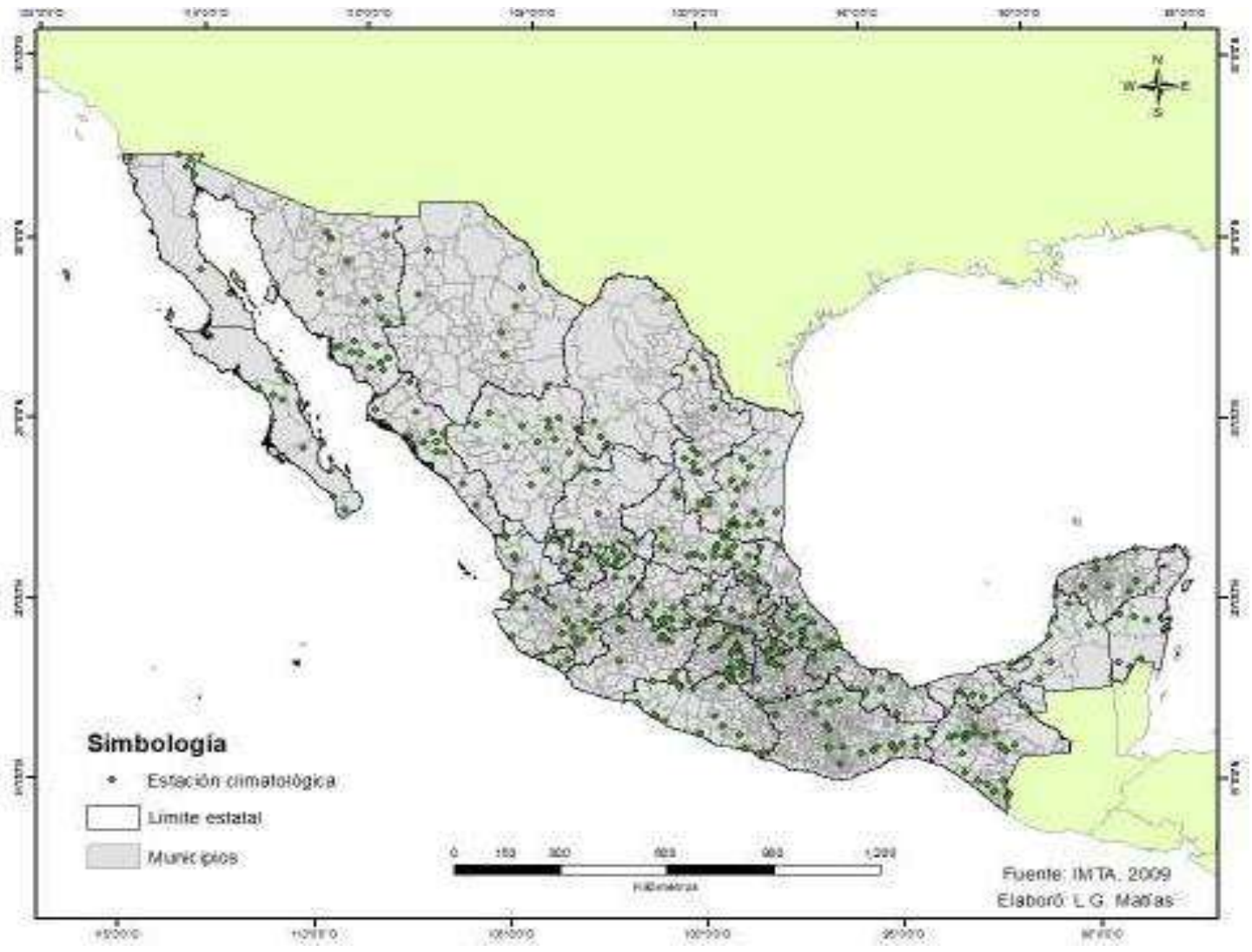
Fuente: elaboración propia con datos del IMTA, 2009.

Peligro de la intensidad de la onda

Con base en el P90 de cada una de las estaciones se elaboró el mapa de peligro, interpolando los valores de éstos (Figura 50), debido a que se cuenta con muy pocas estaciones para cada uno de los municipios del país.

Esta situación ocurre principalmente en el norte del país, como en Coahuila, donde solo hay seis estaciones, una en el norte y el resto se concentra en la región suroeste, otro caso es Chihuahua que tiene un gran territorio, solo posee ocho estaciones que cubren el oriente del estado, mientras que la zona del suroeste permanece sin observaciones.

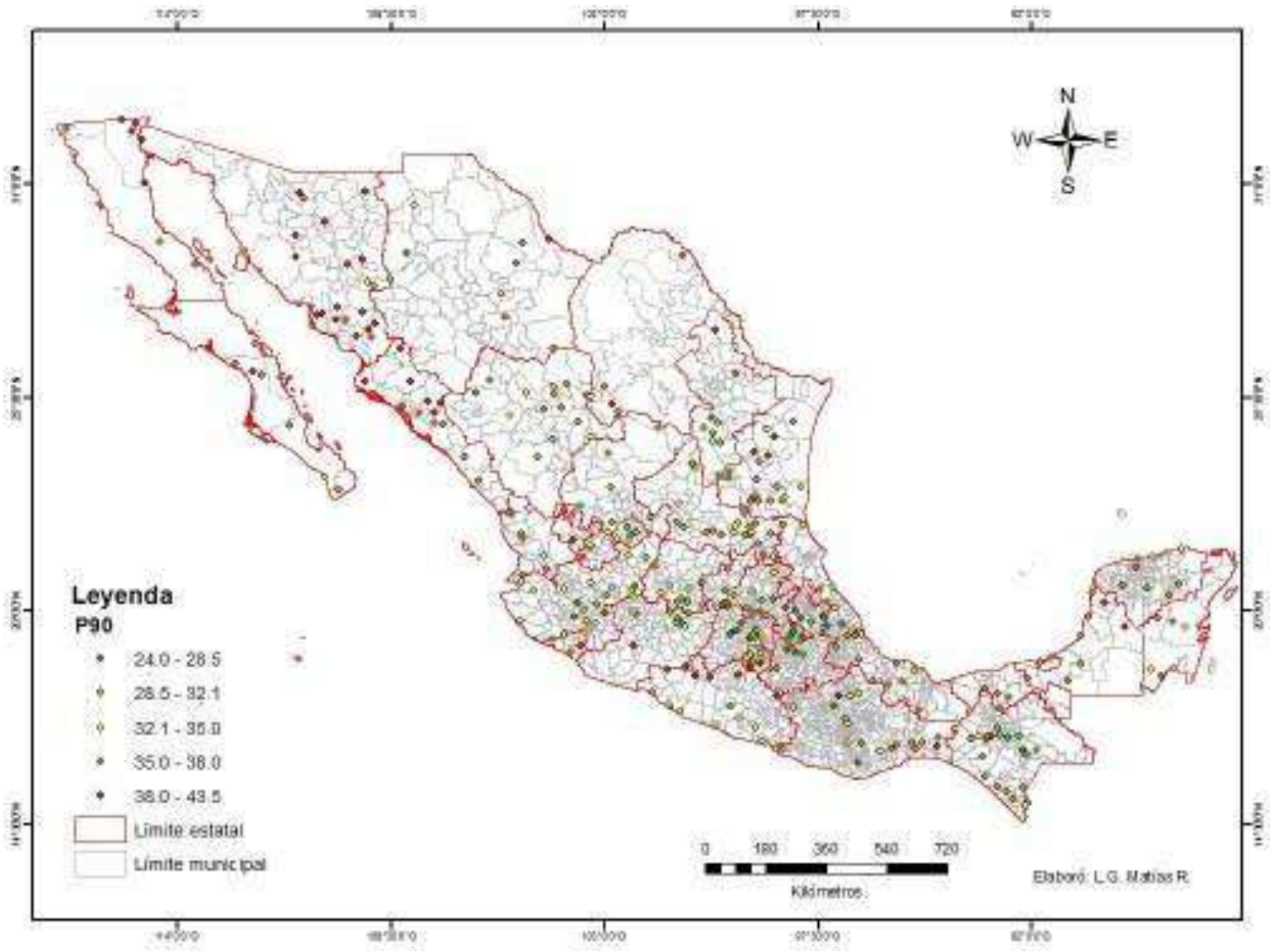
Figura 50. Distribución de las estaciones climatológicas para interpolar el P90



Fuente: IMTA, 2009.

Sin embargo, al revisar el P90 de los valores extremos, resulta que los datos más altos se localizan en el noroeste de México, principalmente en Baja California, así como Sonora, mientras que en el sur del país se ubican en Apatzingan y Huétamo en Michoacán y en Arcelia, Ciudad Altamirano y Huamuxtitlán, las dos primeras pertenecen a la región de Tierra Caliente, mientras que la última estación está en la región de La Montaña del estado de Guerrero.

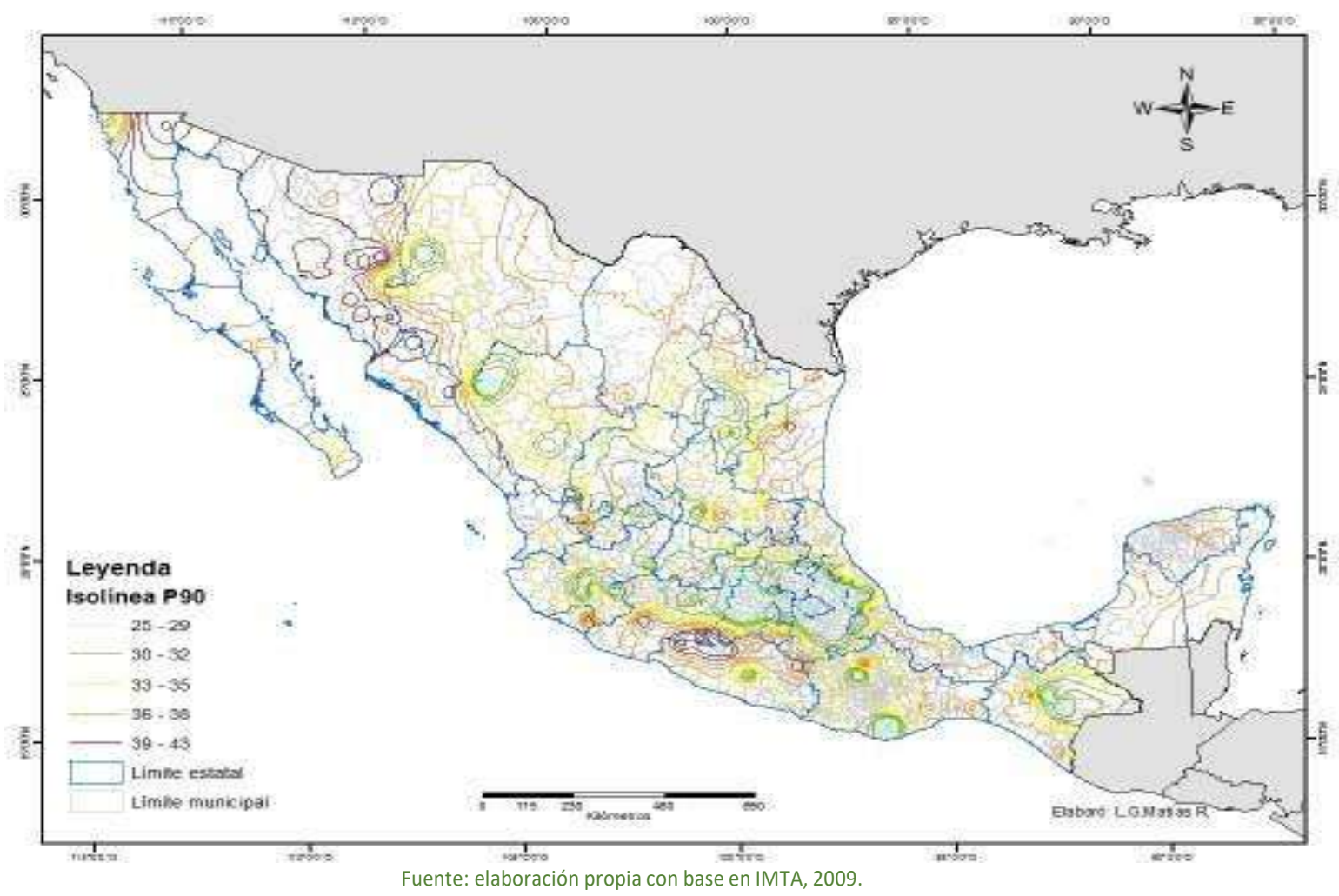
Figura 51. P90 para cada una de las estaciones climatológicas analizadas



Fuente: elaboración propia, con base en IMTA, 2009.

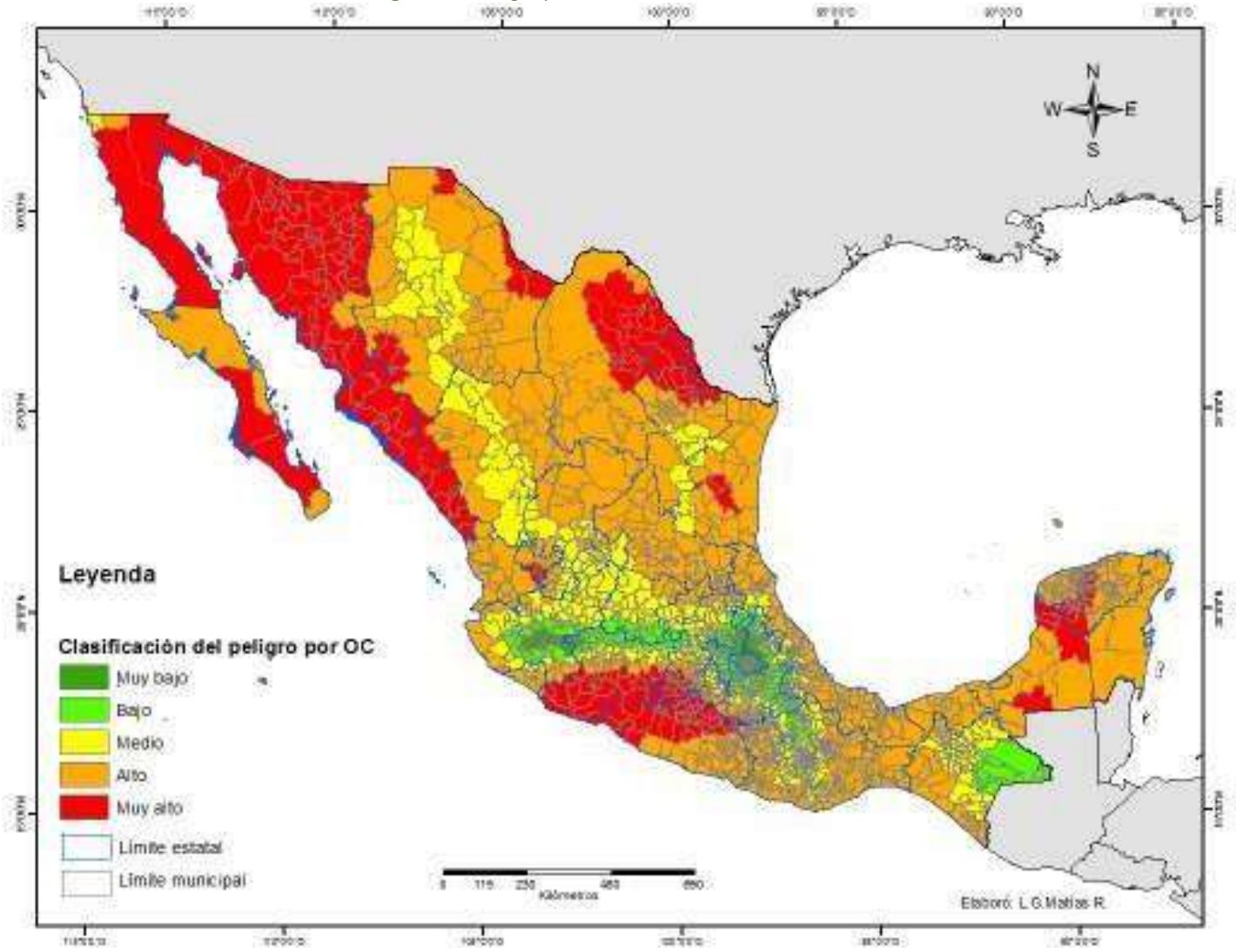
Con base en lo anterior se realizó la interpolación para asignar un valor a cada municipio del país (Figura 52)y con ello se elaboró la clasificación para obtener el grado de peligro por onda de calor.

Figura 52. Distribución de las isolíneas del P90 en México



Fuente: elaboración propia con base en IMTA, 2009.

Figura 53. .Peligro por onda de calor, con base en el P90



Fuente: elaboración propia con base en IMTA, 2009.

De la figura anterior resulta que la llanura costera del Pacífico es la más susceptible a las ondas de calor, principalmente aquellos municipios que forman parte de la cuenca del Balsas y del noroeste de México; mientras que en el golfo de México se tiene la región centro de la península de Yucatán, con peligro muy alto, que representan el 11.4% de la población total del país (Tabla 91).

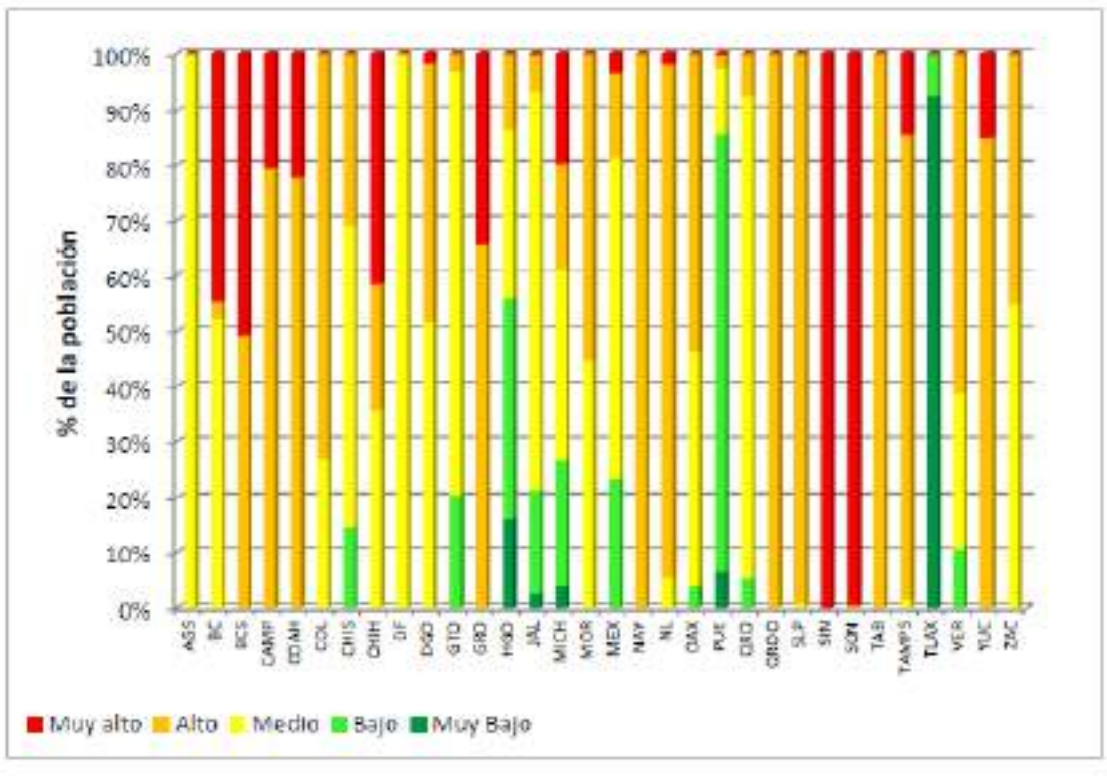
Tabla 91.Distribución de los municipios en función del peligro por onda de calor

Calificación del grado de peligro	No. Municipios	Población (Inegi, 2010)
Muy alto	276	12,795,801
Alto	886	37,695,360
Medio	801	45,033,944
Bajo	384	14,547,364
Muy bajo	109	2,264,069
Total	2456	112,336,538

Fuente: Jiménez Espinosa et al., s.f.

Respecto al porcentaje de población afectada, en la siguiente figura, se observa que el estado de Sinaloa es susceptible en un 100% al fenómeno de las ondas de calor, le siguen en importancia Sonora con 98%, BCS con 52% y Baja California con 45%.

Figura 54. Porcentaje de la población afectada según el grado de peligro por onda de calor



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI y CONAGUA.

Para el análisis de olas de calor, en el presente estudio se utilizó el criterio de umbral relativo sugerido por Herrera-Alanís (2012) donde ocurre una ola de calor cuando las temperaturas máximas, así como mínimas sobrepasan el percentil 95 en al menos dos días consecutivos.

Asimismo, en este criterio se pueden unir dos eventos si el lapso entre ellos no supera las 24 horas (un día) y si la temperatura máxima, como la mínima superan el valor de la temperatura mediana de su serie correspondiente.

Las ondas cálidas en México se han citado por estudios como el de Pérez Vidal, et.al. (2010) donde identifican a los 26°C como la temperatura umbral para ser considerada onda cálida, se modifica al agregar el umbral de nulo por presentarse temperaturas por debajo de los 26°C.

Tabla 92. Umbrales de temperatura utilizados para el conteo de ondas de calor.

Intervalos de temperatura °C	Tipo o grado de severidad	Clase
<25.9	0	Nulo
26.0 – 29.9	1	Bajo
30.0-33.9	2	Medio
34.0-34.9	3	Alto
>40	4	Muy Alto

Fuente: Jiménez Espinosa et al., s.f

Memoria de cálculo

Se analizaron 116 de 156 estaciones meteorológicas en el noreste de la república, generadas con una combinación de datos de Eric III y Clicom. Las temperaturas máximas se extrajeron, además de que fueron calculados los periodos de retorno tanto para cinco como para 10 años.

Con el resultado, se realizaron interpolaciones con los algoritmos de Kriging (Tr=10 años) e IDW (Tr=5 años); de los valores obtenidos de temperaturas máximas por cada estación, se realizó también la reclasificación del ráster, además de la vectorización de este. Las temperaturas se ordenaron de acuerdo con la tabla modificada de la clasificación propuesta por Vidal, et.al. (2010).

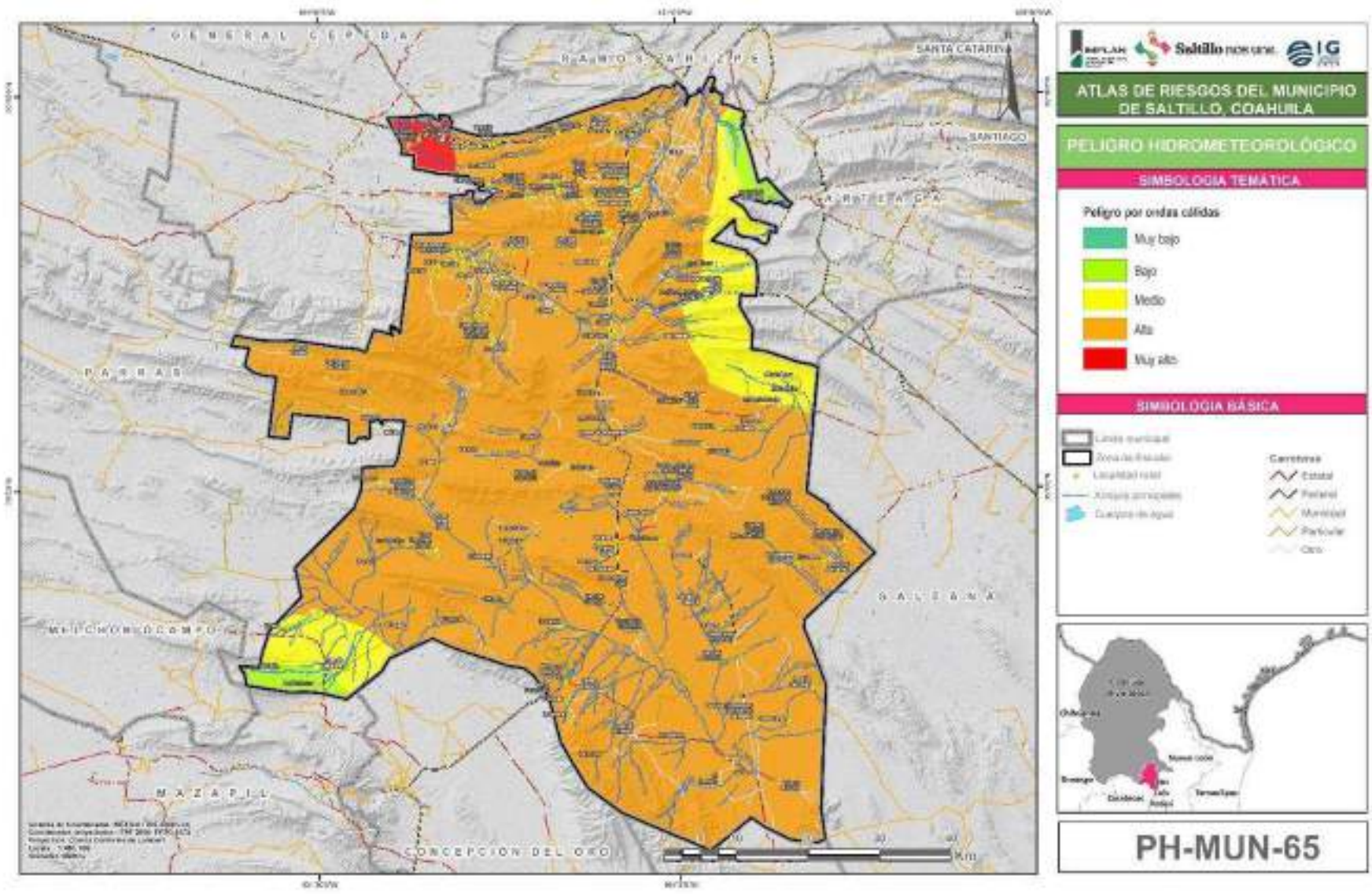
El resultado para el peligro de onda cálidas considerando un Pr de cinco años muestra que el 54% del territorio de Saltillo presenta rangos altos, también muy altos para peligro por ondas cálidas y el 31% se encuentra dentro del rango medio; el mayor riesgo se concentra en 31 localidades, las cuales concentran una población total de 3 mil 192 habitantes, sobresaliendo San Juan de la Vaquería con el 34%.

Por otro lado, el peligro de onda cálidas considerando un Pr de 10 años se demuestra en la Figura 4.5, donde se observa que el 97% del territorio tiene un grado de peligro alto por ondas cálidas, y el 3% restante es muy alto, y se ubica en la parte norte del municipio coincidente con una parte importante de la población urbana.

En relación con la zona urbana; para el Pr de 5 años, la mayor parte de la ciudad cae dentro de las categorías medio y bajo; solo una pequeña porción al norte de la ciudad es considerada de alta a muy alta. Mientras que, para el Pr de 10 años, los valores son alto para la mayor parte de la ciudad, y muy alto para la porción oriente de esta.

Resultados

Mapa 64. Peligro por ondas cálidas en el municipio de saltillo, Coah. para un periodo de retorno de 10 años.



Fuente: elaboración propia.

Ondas gélidas

Introducción / Antecedentes

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (1993), una onda gélida, también llamada ola de frío, es un fenómeno meteorológico caracterizado por la entrada y permanencia de masas de aire frío extremo en una región.

Siendo un período de clima frío marcado e inusual, caracterizado por una caída brusca, además de significativa de la temperatura del aire cerca de la superficie y que persiste por debajo de ciertos umbrales. Es decir, durante una onda gélida, se experimentan condiciones invernales severas, con temperaturas mínimas considerablemente por debajo de los valores normales para la temporada.

Para el municipio de Saltillo, las temperaturas mínimas extremas se presentan en zonas montañosas del municipio, como es el caso de la Sierra de Zapalinamé y la Sierra de Arteaga, donde se presentan temperaturas por debajo de los -8°C durante la temporada invernal. (Atlas de Riesgos Saltillo 2014).

Metodología

Metodología peligro por bajas temperaturas CENAPRED (Anexo 15)

El ser humano es vulnerable a ciertas temperaturas, tanto por arriba de un umbral, como por debajo de otro. Este documento se ocupa de aquellas temperaturas que están por debajo de un cierto umbral. Por otro lado, es de interés analizar aquellos eventos extremos, es decir, poco frecuentes que pueden perjudicar de manera excepcional a la población, y no el evento normal que se presenta todas las mañanas cuando está a punto de amanecer.

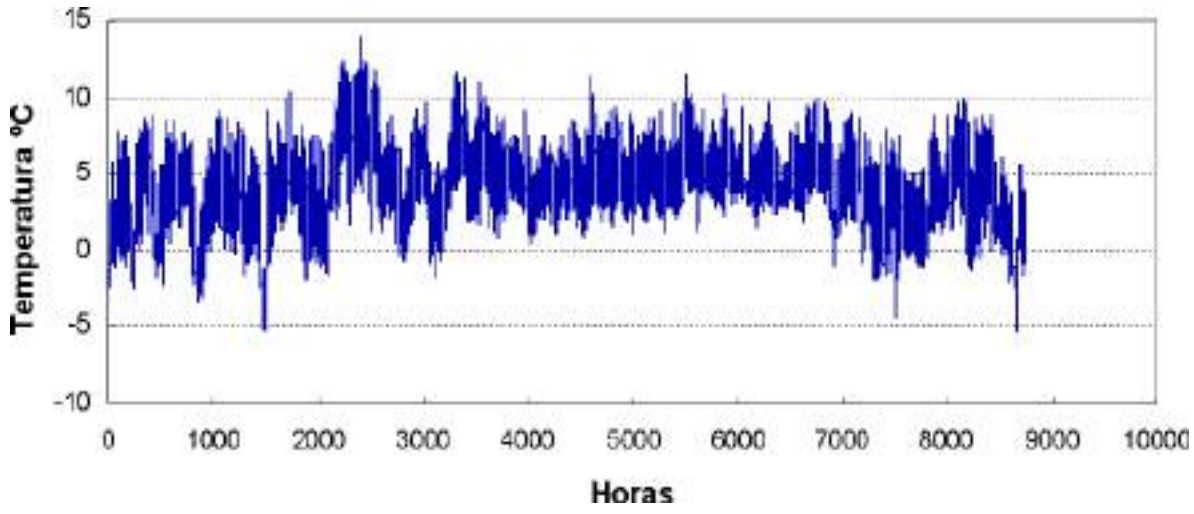
Adicionalmente, es un hecho que junto con la presencia de bajas temperaturas debe analizarse su duración, ya que no es lo mismo que se presenten temperaturas por debajo de los cero grados un par de horas al día, que durante varios días de manera continua.

A continuación, se explicará el cálculo del riesgo por bajas temperaturas. Primero, se describirá cómo se obtiene la función de riesgo y, posteriormente, la probabilidad de que ocurra una temperatura más baja, dado el conocimiento de la temperatura actual. Esto será útil para crear escenarios de ondas de frío a partir de una condición inicial específica.

Temperatura

La variable temperatura se interpretará como aquella de tipo discreto tomada cada hora, por lo que solo se podrá obtener de observatorios sinópticos o de estaciones automáticas. Se definirá como ti, donde i es el número de horas en un lapso cualquiera. Un registro típico se observa en la Figura 55.

Figura 55. Temperatura horaria en el Nevado de Toluca durante el año 2001



Fuente: Jiménez Espinosa et al., s.f

Umbral

Un umbral es una magnitud fijada a partir de la cual se produce un efecto determinado. En el caso de bajas temperaturas se puede pensar que existen umbrales de temperatura para los cuales pueden producirse problemas en la salud de las personas.

Sin embargo, debido a condiciones históricas o incluso genéticas, ciertos grupos poblacionales son más resistentes a bajas temperaturas que otros. Es por ello por lo que se establecerá un umbral móvil que iniciará desde una temperatura determinada en grados centígrados, ° C, hacia abajo, y se denominará Uj, donde j va de cero a m-1, siendo m el número total de umbrales a analizar.

Se puede escoger un paso de descenso o intervalo de, por ejemplo, 5° C, de modo que el umbral móvil vaya de 10, 5, 0, -5, -10, etc. (° C). Con base en lo anterior, podemos definir el evento Y, tal, que cumpla con lo siguiente:

Y = {Cambio del umbral U_j al umbral U_{j+1} }

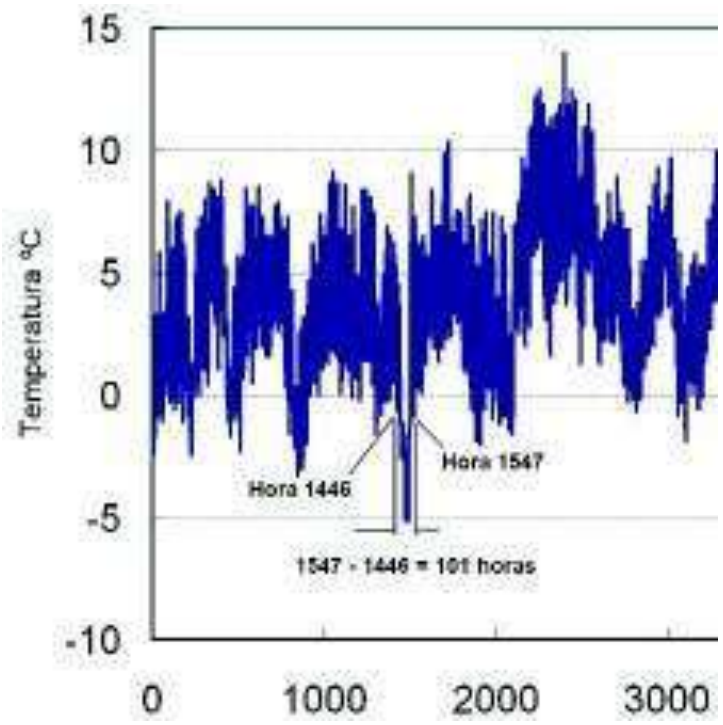
Asimismo, se definirá como hj, el número de horas en un periodo cualquiera donde la temperatura fue menor o igual a un umbral j determinado, donde j va de cero a m-1 umbrales. Con base en esto, se podrá calcular la probabilidad del evento Y mediante la división de hj+1 entre hj. De esta forma se puede determinar la probabilidad de que se inicie un evento de baja temperatura en cierto umbral. La forma en que se expresa esta probabilidad es:

$$P(Y) = P_{u=j+1} = \frac{h_{j+1}}{h_j}$$

Duración de un evento de baja temperatura

Se definirá dti como la duración, en horas, de un evento en que tj<= Ui, continuamente, es decir, la temperatura está por debajo de un cierto umbral. En la figura 3.20 se observa un evento en el que, si el umbral es igual a 0° C, entonces de la hora 1446 a la 1547 la temperatura está por debajo de ese umbral, con una duración continua de 101 horas, es decir, ¡un poco más de cuatro días! Se observan otros eventos en que la temperatura está por debajo de los 0° C, aunque con duraciones continuas diferentes.

Figura 56. Duración de un evento de baja temperatura



Fuente: Ibíd.

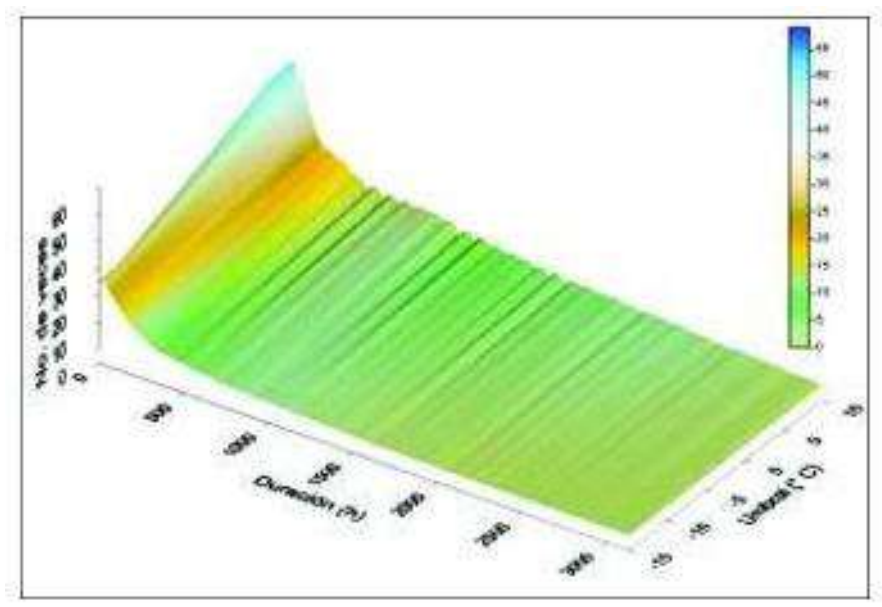
Función de peligro por bajas temperaturas

Como se comentó anteriormente, la función de peligro por bajas temperaturas o más específicamente de una onda de frío, dependerá de dos cosas: la temperatura, descrita por medio del concepto de umbral Uj, y de la duración de la onda dti. Entonces, se define un evento X, tal que cumpla con lo siguiente:

X = {ocurrencia de una onda de frío con duración dti}

De esta manera se podrá representar dicha probabilidad como se muestra en la Figura 57. En donde se observa que la frecuencia de las ondas de frío, bajo cierto umbral de temperatura, así como cierta duración es una superficie cuya altura, o valor, disminuye a medida que el umbral disminuye, también si su duración aumenta, es decir, las ondas de frío extremas y de larga duración son más raras que las de temperaturas menos extremas y de menor duración.

Figura 57. Posible función de probabilidad de ondas de frío



Fuente: Ibíd.

Por lo anterior, en este documento se propondrá una manera de obtener esta función de probabilidad para poder estimar entonces el riesgo por bajas temperaturas. Para un caso práctico en el que se tenga información de una estación meteorológica automática, que registre la temperatura a intervalos de una hora, o menores, se propone construir un histograma que registre las frecuencias de ondas de frío para los umbrales seleccionados y con diferentes duraciones.

Hay que recordar que un histograma es una representación gráfica de las frecuencias, o veces, que se repite un valor de una cierta variable, para varios intervalos, o categorías, en las que se divide el rango de estos valores, para lo cual es necesario saber las magnitudes mínima y máxima que pueden tomar.

Para este caso la obtención del histograma consiste en contar el número total de ondas de frío para un umbral específico, por categorías de dos horas, es decir, contar cuantas ondas de frío duraron máximo dos, cuatro horas, seis y 24 horas, además de una última categoría que tiene todas las ondas de frío de mayor duración a 24, dando un total de 15 categorías.

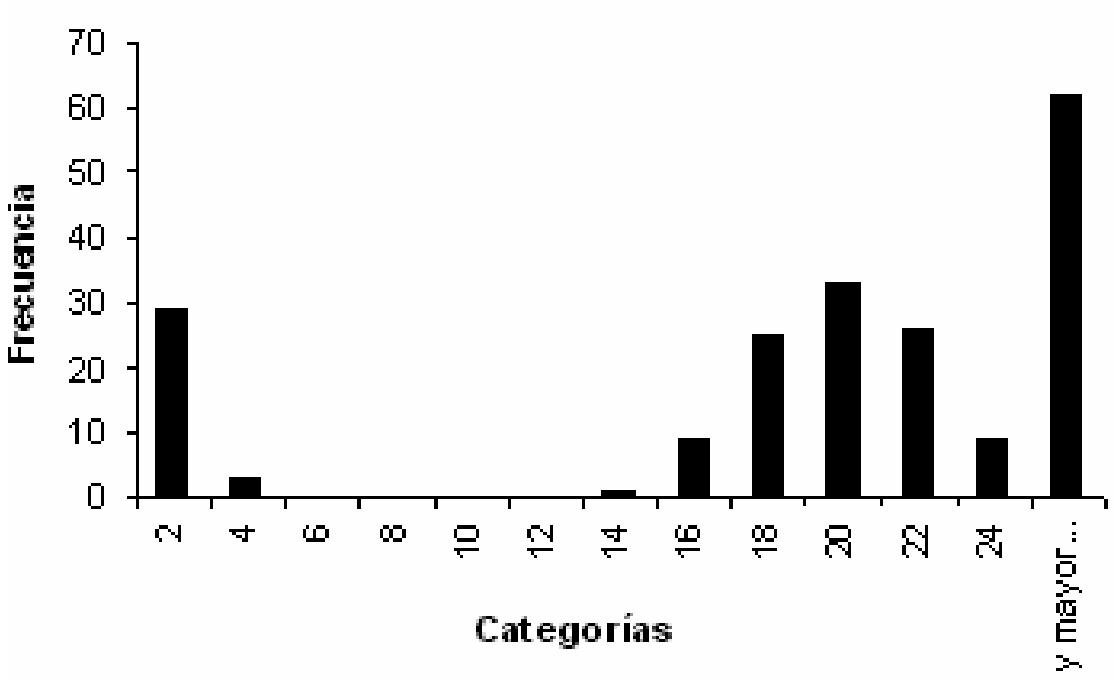
Lo anterior significa mucho trabajo dada la cantidad de información que se puede obtener de una sola estación, por lo que se sugiere automatizar este proceso mediante un programa de cómputo, por ejemplo, una macro de Excel. Un ejemplo de este conteo se ilustra en la Tabla 93 y en la Figura 58 para un umbral de 10° C.

Tabla 93. Ejemplo de conteo de ondas de frío con umbral 10° C

Categorías(horas)	Frecuencia
2	29
4	3
6	0
8	0
10	0
12	0
14	1
16	9
18	25
20	33
22	26
24	9
y mayor...	62
Total	197

Fuente: Jiménez Espinosa et al., s.f

Figura 58. Ejemplo de histograma



Fuente: Jiménez Espinosa et al., s.f.

Con base en el conteo de eventos X, es decir, ondas de frío con duración dti, se obtuvo la probabilidad de que, al momento de iniciarse el registro de un cambio de temperatura a un umbral establecido, este evento tenga una duración específica.

Por ejemplo, la probabilidad de que una onda de frío menor o igual a 10° C tenga una duración máxima de dos horas, es el resultado de dividir el total de ondas menores o iguales a 10° C con duración máxima de dos horas, entre el número total de ondas de frío con este umbral para cualquier duración. Este proceso se aplica a los demás umbrales.

Por lo anterior, y de la Tabla 93, se tiene que:

P(X={onda de frío con umbral de 10° C y duración máxima de 2 h}) = 29/197 = 0.147

Probabilidad de cambio de un umbral a otro en el Nevado de Toluca

Para finalizar el análisis de peligro, y poder realizar posteriormente el de riesgo, es necesario obtener la función de probabilidad de los cambios entre umbrales de temperatura, es decir, que una onda de frío cambie a otra de frío más intenso.

En la Tabla 94 se observa el número total de horas de ondas de frío donde se registró una temperatura para el umbral j, nuevamente se sugiere automatizar el proceso mediante un programa de cómputo. La probabilidad de que la temperatura baje al umbral 1 dado que estamos en el umbral 0 es 50388/52589 = 0.9581; la probabilidad de pasar del umbral 1 al umbral 2, es decir, que la temperatura baje mínimo a 5° C, dado que se encontraba entre 10 y 5° C es de 34437/50388 = 0.6834, y así sucesivamente.

En el caso de exceder la intensidad 5 a una mayor, notamos que la probabilidad es cero, por el hecho de que no ha ocurrido un evento con una intensidad mayor. Asimismo y para el cálculo de riesgo, se obtiene la función de peligro por umbral de temperatura, dividiendo para cada umbral la diferencia de horas entre el número total de horas; por ejemplo, para un umbral de 10° C se divide 52589-50388 = 2201 entre 52589, lo que da como resultado 0.0419 y, para un umbral de 5° C se divide 50388 -34437 = 15951 entre 52589, y resulta 0.3033.

Tabla 94.Probabilidad de cambio de umbral y función de peligro por umbral de temperatura

Umbral *j*		Temperatura(° C)	Hrs. Totales *hj*	Probabilidad de cambiode umbral P(Y)	Función de peligro porumbral de temperatura
0		Todas	52589	0.9581	
1		10°	50388	0.6834	0.0419
2		5°	34437	0.0934	0.3033
3		0°	3216	0.0177	0.5937
4		-5°	57	0.0702	0.0601
5		-10°	4	0.0000	0.0010
					1

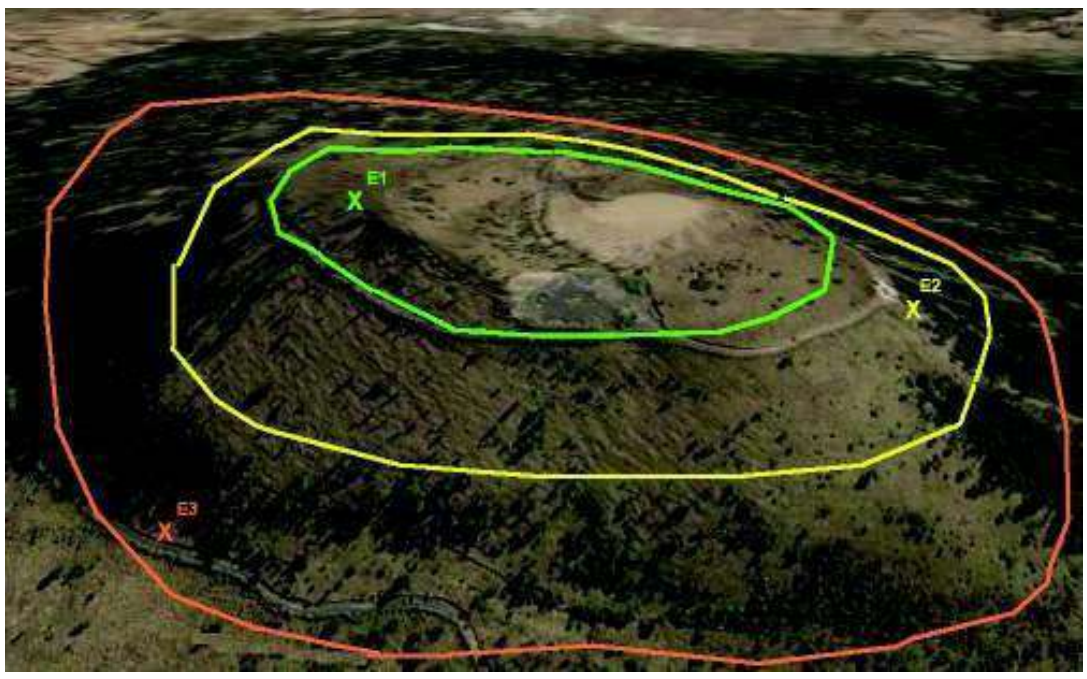
Fuente: Jiménez Espinosa et al., s.f.

Mapeo de las zonas de peligro por bajas temperaturas

En la figura siguiente se observa una relación muy estrecha entre la elevación del terreno y la presencia de bajas temperaturas. De esta manera, se puede suponer que una estación meteorológica que esté a una altura determinada puede proporcionar información útil para valorar el peligro por bajas temperaturas en cierto entorno.

Como se observa en el ejemplo siguiente, se tiene una zona donde existe una elevación en el terreno y tres estaciones que miden temperatura ubicadas a diferentes elevaciones. Con base en los datos obtenidos por dichas estaciones es factible suponer que hay "franjas de influencia" que rodean a la montaña.

Figura 59. Mapeo de zonas de peligro



Fuente: Ibid.

De acuerdo con el Servicio Meteorológico Nacional, en 2008, las heladas por sus cualidades gélidas pueden clasificarse por peligrosidad ambiental, desde ligera a muy severa (Tabla 95), las cuales son clases que presentan diversos efectos ambientales, y que merman la salud humana como se señala a continuación:

Tabla 95. Rangos de ponderación de los datos de temperaturas mínimas extremas

Temperatura	Designación	Vulnerabilidad
0-3.5°C	Ligera	El agua comienza a congelarse. Daños pequeños a las hojas y tallos de la vegetación. Si hay humedad el ambiente se torna blanco por la escarcha.
-3.6 a 6.4°C	Moderada	Los pastos, las hierbas y hojas de plantas se marchitan y aparece un color café o negruzco en su follaje. Aparecen los problemas de enfermedades en los humanos de sus vías respiratorias. Se comienza a utilizar la calefacción.
-6.5 a -11.5°C	Severa	Los daños son fuertes en las hojas y frutos de los árboles frutales. Se rompen algunas tuberías de agua por aumento de volumen del hielo. Se incrementan las enfermedades respiratorias. Existen algunos decesos por hipotermia.
< 11.5°C	Muy severa	Muchas plantas pierden todos sus órganos. Algunos frutos no protegidos se dañan totalmente. Los daños elevados en las zonas tropicales.

Fuente: Modificado de Jiménez Espinosa et al., s.f.

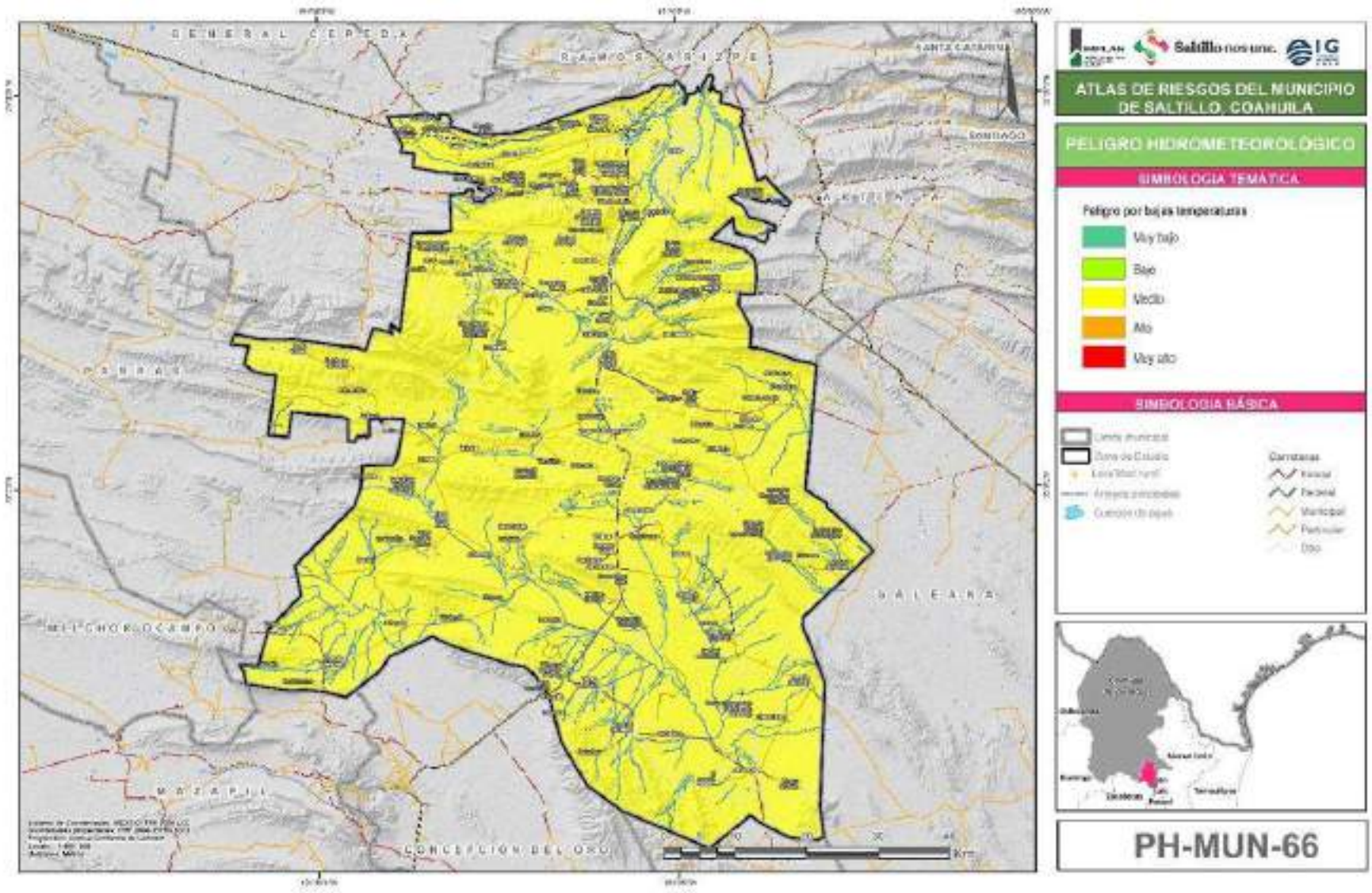
Memoria de cálculo

En este análisis se utilizaron 126 de las 156 estaciones meteorológicas en el noreste de la república, generado con una combinación de datos de Eric III y Clicom con las temperaturas mínimas para producir los periodos de retorno de 5 años. Se interpoló con IDW (Tr=5 años), se reclasificó y vectorizó el ráster resultante. Las temperaturas se organizaron de cero al cuatro, en los que el cero representó a las temperaturas de cero a -3.5°C y el nivel cuatro a las menores a 11.5°C.

Resultados

El resultado para el peligro de onda gélidas considerando un Pr de 5 años se muestra en el Mapa 65, donde se precia que el 100% del territorio de Saltillo presenta rangos medios para peligro por ondas frías.

Mapa 65. peligro por ondas gélidas en el municipio de Saltillo, Coah., para un periodo de retorno de cinco años.



Fuente: elaboración propia a partir de datos vectoriales del INEGI y CENAPRED.

Sequías

Introducción / Antecedentes

Tomando como referencia lo indicado por García-Jiménez y colaboradores (2002), la definición de la sequía depende del enfoque científico con que se aborde (meteorología, hidrología, geografía, etc.) o de la actividad económica a la que afecte, pudiendo ser esta agricultura, la ganadería, la industria o la recreación entre otras.

Acorde al contexto de la sequía como un fenómeno que representa un peligro en la economía, así como en la sociedad, los autores mencionados definen la sequía desde un punto de vista económico y social, como el tiempo durante el cual la disponibilidad de agua es menor a su demanda, en donde la demanda depende del tipo de uso del agua (doméstico, industrial, agrícola, ganadero, etcétera.) de la densidad, además de la distribución de los usuarios, sugiriendo para el contexto de riesgo asociado a ésta la siguiente definición.

La sequía es un fenómeno meteorológico que ocurre cuando la precipitación, en un lapso, es menor que el promedio, y cuando esta deficiencia es lo suficientemente grande y prolongada como para dañar las actividades humanas.

La sequía no debe ser vista como un simple fenómeno natural. Su impacto en la sociedad proviene de la interrelación entre el evento natural y la demanda en el suministro de agua. Tradicionalmente la sequía ha sido considerada de forma básica como un riesgo de carácter agrícola, de manera que sus implicaciones sociales y económicas se han buscado de forma preferente en el ámbito rural.

La naturaleza compleja de los efectos derivados del fenómeno a lo largo del tiempo influye negativamente sobre las prácticas agrícolas y ganaderas de forma intensa y variada por lo que es importante reducir la magnitud de los problemas de la sequía ya que la demanda de agua es cada vez mayor, principalmente para el abastecimiento de agua para las ciudades y/o para la generación de la energía eléctrica (Martínez y Ruíz 2005).

México es un país que padece sequías desde tiempos ancestrales. Recientemente se ha visto que la duración de las sequías y que sus áreas de afectación han ido en aumento (Comisión Nacional del Agua, 2001).

Aunque en parte del territorio nacional se tienen lluvias abundantes, existen regiones que no disponen del vital líquido en las cantidades requeridas como son los estados del norte y centro: Durango, Baja California, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Aguascalientes y Zacatecas (García-Jiménez y colaboradores 2002).

Una condición climática que se puede considerar normal en el estado de Coahuila es la de aridez o semiaridez, la cual es determinada principalmente por la escasa precipitación y las altas temperaturas que ocurren comúnmente durante el año o durante ciertos períodos del año (García, 1964), citado por Martínez y Ruíz (2005).

Esta situación de aridez o semiaridez se ve alterada por fenómenos climáticos de naturaleza impredecible que producen, algunas veces, excesos de humedad y otras veces, que son la mayoría, deficiencias de humedad muy marcadas, las cuales son consideradas como sequías. En ambos casos se presentan en ciertos períodos de tiempo valores extremos que traen como consecuencia pérdidas económicas muy importantes para el estado e inclusive, en algunos de ellos, pérdidas de vidas humanas debido a estos fenómenos (Martínez y Ruíz 2005).

Metodología

Dentro de las diferentes estrategias, además de medidas de prevención que se han implementado en México para reducir los efectos de la sequía y que constituyen un soporte para establecer el peligro de sequía, también el potencial de riesgo asociado a ésta, se encuentra el monitor de sequía implementado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) a través del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico).

El SMN se encarga de detectar el estado actual y la evolución de este fenómeno. Para ello se apoya en el Monitor de Sequía en México (MSM) que a su vez forma parte del Monitor de Sequía de América del Norte (NADM).

Acorde con información del portal del monitor de sequía, aun cuando el MSM inició en México en 2002 dentro de las actividades del NADM, fue hasta el año de 2014 que adquirió su carácter nacional, lo que le permitió emitir mapas de sequía en escala de tiempo diferente a la mensual, siempre basada en la metodología utilizada por el USDM y el NADM.

A partir de febrero de 2014 la emisión del MSM es quincenal. Dicho monitor se Se basa en la obtención e interpretación de diversos índices o indicadores de sequía tales como el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) que cuantifica las condiciones de déficit o exceso de precipitación (30, 90, 180, 365 días).

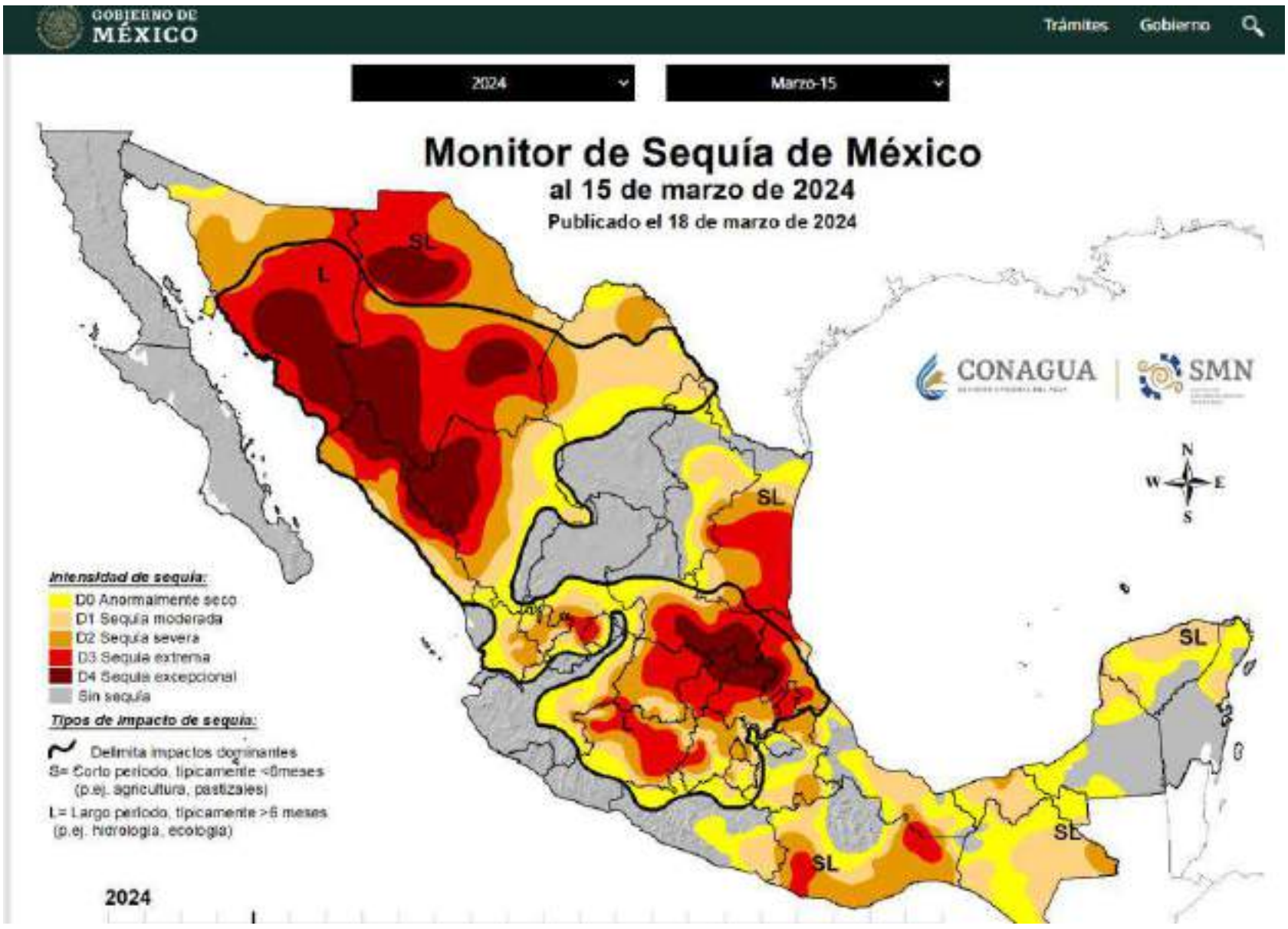
Anomalía de Lluvia en Porciento de lo Normal (30, 90, 180, 365 días), Índice Satelital de Salud de la Vegetación (VHI) que mide el grado de estrés de la vegetación a través de la radiancia observada, el Modelo de Humedad del Suelo Leaky Bucket CPC-NOAA que estima la humedad del suelo mediante un modelo hidrológico de una capa, el Índice Normalizado de Diferencia de la Vegetación (NDVI), la Anomalía de la Temperatura Media, el Porcentaje de Disponibilidad de Agua en las presas del país y la aportación de expertos locales. Estos índices se despliegan en capas o layers a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) y mediante un consenso se determinan las regiones afectadas por sequía, de acuerdo con la escala de intensidades que es común en los tres países que va desde anormalmente seco (D0), sequía moderada (D1), sequía severa (D2), sequía extrema (D3) hasta sequía excepcional (D4).

El Monitor de Sequía en México consta de un Reporte que contiene una descripción de la sequía en el país, tablas y gráficos de porcentaje de área afectada por sequía a nivel nacional, estatal, 13 Organismos de Cuenca y 26 Consejos de Cuenca de la Comisión Nacional del Agua, además de la contabilidad de municipios afectados por cualquier categoría de sequía.

Dado lo anterior, se utilizó esta aplicación como método parta obtener en tiempo prácticamente real el peligro por sequía en el municipio de Saltillo.

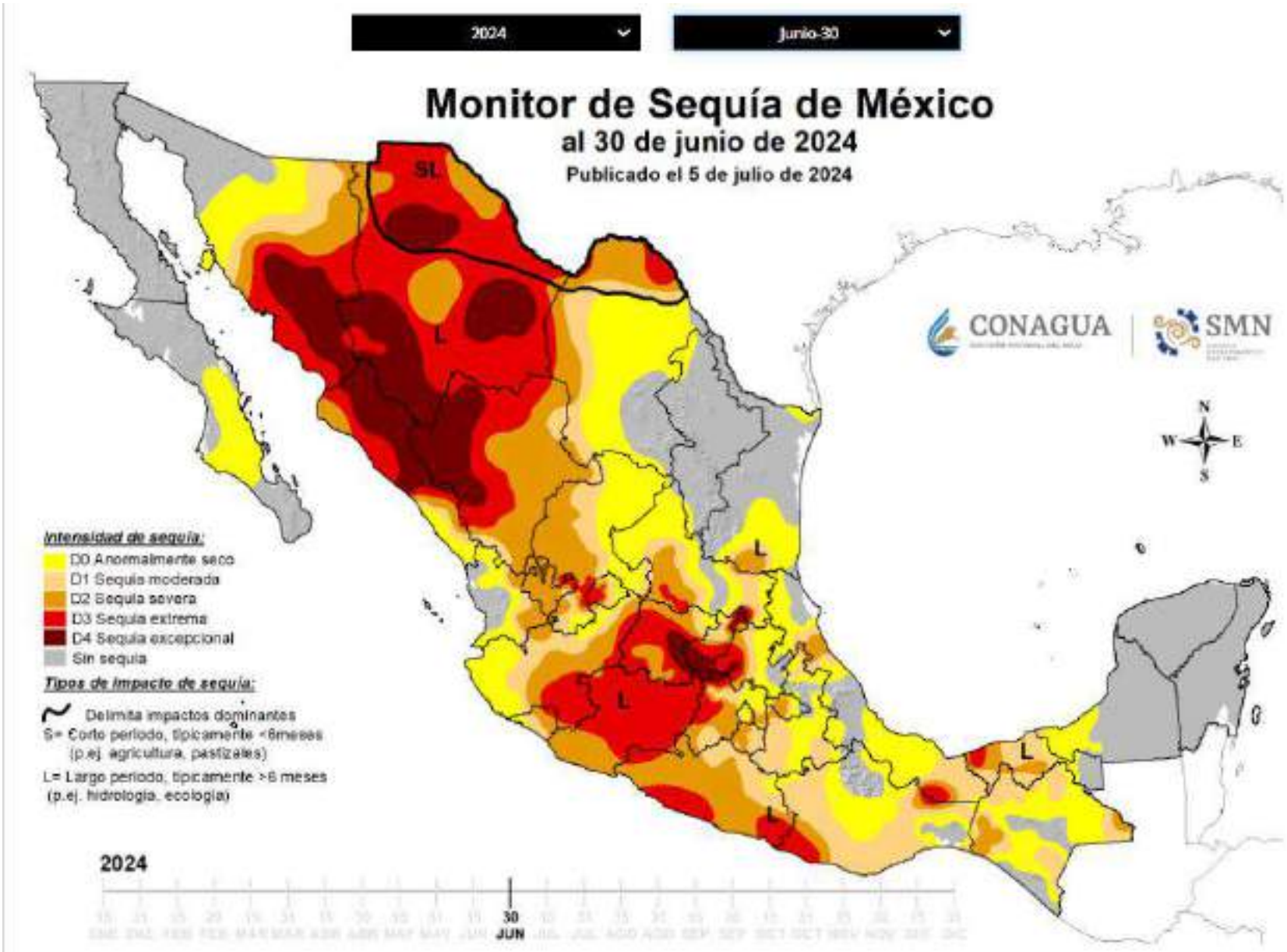
El sistema de monitoreo proporciona imágenes como las mostradas en la Figura 60.

Figura 60. Monitor de sequía para la República Mexicana al 15 de marzo de 20244



Fuente: obtenido de https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico: fecha de consulta 23 de marzo del 2024.

Figura 61. Monitor de sequía para la República Mexicana al 30 de junio de 2024



Fuente: Monitor de sequía CONAGUA-SMN (https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico: fecha de consulta julio del 2024.

Además de este tipo de mapa, es posible obtener un reporte a la fecha del mapa en el que se incluye el porcentaje de áreas con sequía por entidad federativa, constituyéndose en una herramienta para el análisis del peligro por sequía, toda vez que es posible analizar los periodos del año que históricamente presentan las mayores sequías y su distribución espacial.

Resultados

En el caso concreto del Municipio de Saltillo los registros de algún tipo de sequía para el periodo de 2003 al 2024 son pocos y en su mayoría de tipo catalogados como anormalmente secos, con escasos registros de sequía moderada, severa, además de extrema, tal como se puede observar en la Tabla 96.

Tabla 96. Intensidades de sequía registradas en periodos quincenales para el municipio de Saltillo

30-sep-05	D0	30-abr-13	D0	30-nov-20	D0	15-oct-22	D1
31-dic-05	D0	15-ene-16	D0	15-dic-20	D1	31-oct-22	D0
31-ene-06	D0	29-feb-16	D0	31-dic-20	D1	15-nov-22	D0
28-feb-06	D0	15-mar-16	D0	15-ene-21	D1	30-nov-22	D0
31-mar-06	D0	15-jun-16	D0	31-ene-21	D1	15-dic-22	D0
30-abr-06	D0	30-jun-17	D1	15-feb-21	D1	31-dic-22	D0
30-jun-06	D1	15-jul-17	D1	28-feb-21	D1	15-ene-23	D1
31-jul-06	D0	31-jul-17	D1	15-mar-21	D1	31-ene-23	D1
31-ago-06	D1	15-ago-17	D1	31-mar-21	D2	15-feb-23	D1
31-dic-07	D0	31-ago-17	D1	15-abr-21	D3	28-feb-23	D2
31-mar-08	D1	15-sep-17	D1	30-abr-21	D3	15-mar-23	D2
30-abr-08	D1	15-jun-18	D0	15-may-21	D3	31-mar-23	D2
31-may-08	D1	30-jun-18	D0	31-may-21	D3	30-abr-23	D2
30-jun-08	D1	15-jul-18	D0	15-jun-21	D2	15-may-23	D2
31-mar-11	D2	31-jul-18	D0	30-jun-21	D2	31-may-23	D2
30-abr-11	D3	15-ago-18	D0	15-jul-21	D1	15-jun-23	D2
31-may-11	D3	31-ago-18	D0	31-dic-21	D0	30-jun-23	D2
30-jun-11	D3	30-jun-19	D0	15-ene-22	D0	15-jul-23	D1
31-jul-11	D2	15-jul-19	D0	31-ene-22	D0	31-jul-23	D2
31-ago-11	D2	31-jul-19	D0	15-feb-22	D0	15-ago-23	D2
30-sep-11	D3	15-ago-19	D0	28-feb-22	D0	31-ago-23	D2
31-oct-11	D3	31-ago-19	D0	15-mar-22	D0	15-sep-23	D2
30-nov-11	D3	30-sep-19	D0	31-mar-22	D1	30-sep-23	D3

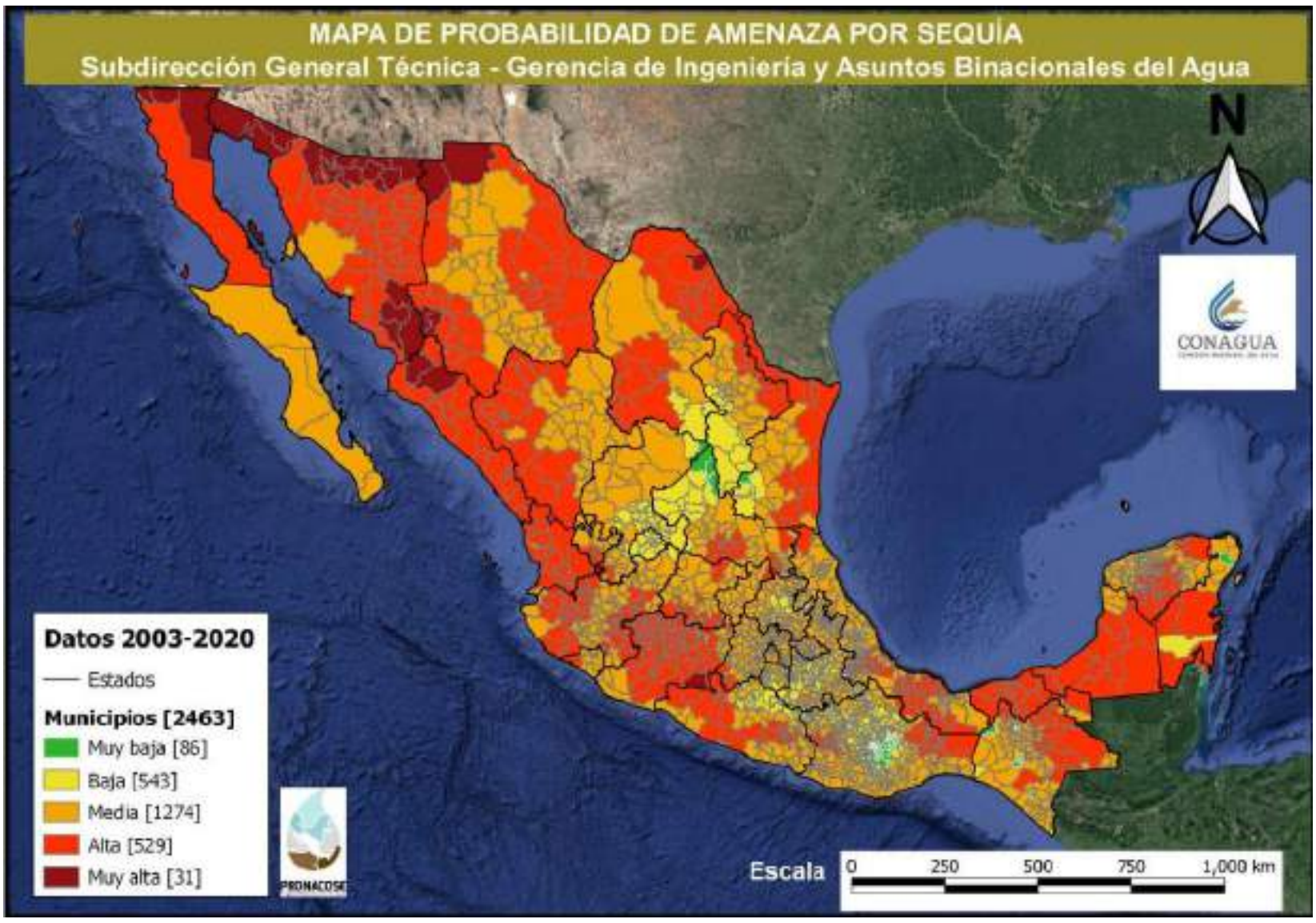
31-dic-11	D3	15-oct-19	D0	15-abr-22	D1	15-oct-23	D3
31-ene-12	D2	31-oct-19	D0	30-abr-22	D1	31-oct-23	D3
29-feb-12	D2	30-nov-19	D0	15-may-22	D1	15-nov-23	D2
31-mar-12	D0	15-dic-19	D0	31-may-22	D1	30-nov-23	D0
30-abr-12	D0	31-dic-19	D0	15-jun-22	D1	31-dic-23	D0
31-may-12	D0	30-abr-20	D0	30-jun-22	D2	15-ene-24	D0
30-jun-12	D0	15-may-20	D0	15-jul-22	D2	31-ene-24	D0
31-jul-12	D0	31-may-20	D0	31-jul-22	D2	15-feb-24	D0
31-dic-12	D0	15-jun-20	D1	15-ago-22	D2	31-may-24	D0
31-ene-13	D0	30-jun-20	D1	31-ago-22	D2	15-jun-24	D0
28-feb-13	D0	15-jul-20	D0	15-sep-22	D2	30-jun-24	D0
31-mar-13	D0	15-nov-20	D0	30-sep-22	D2	15-jul-24	D0

D0 Anormalmente seco | D1 Sequía moderada | D2 Sequía severa | D3 Sequía extrema

Fuente: elaboración propia con base en datos de CONAGUA 2024..

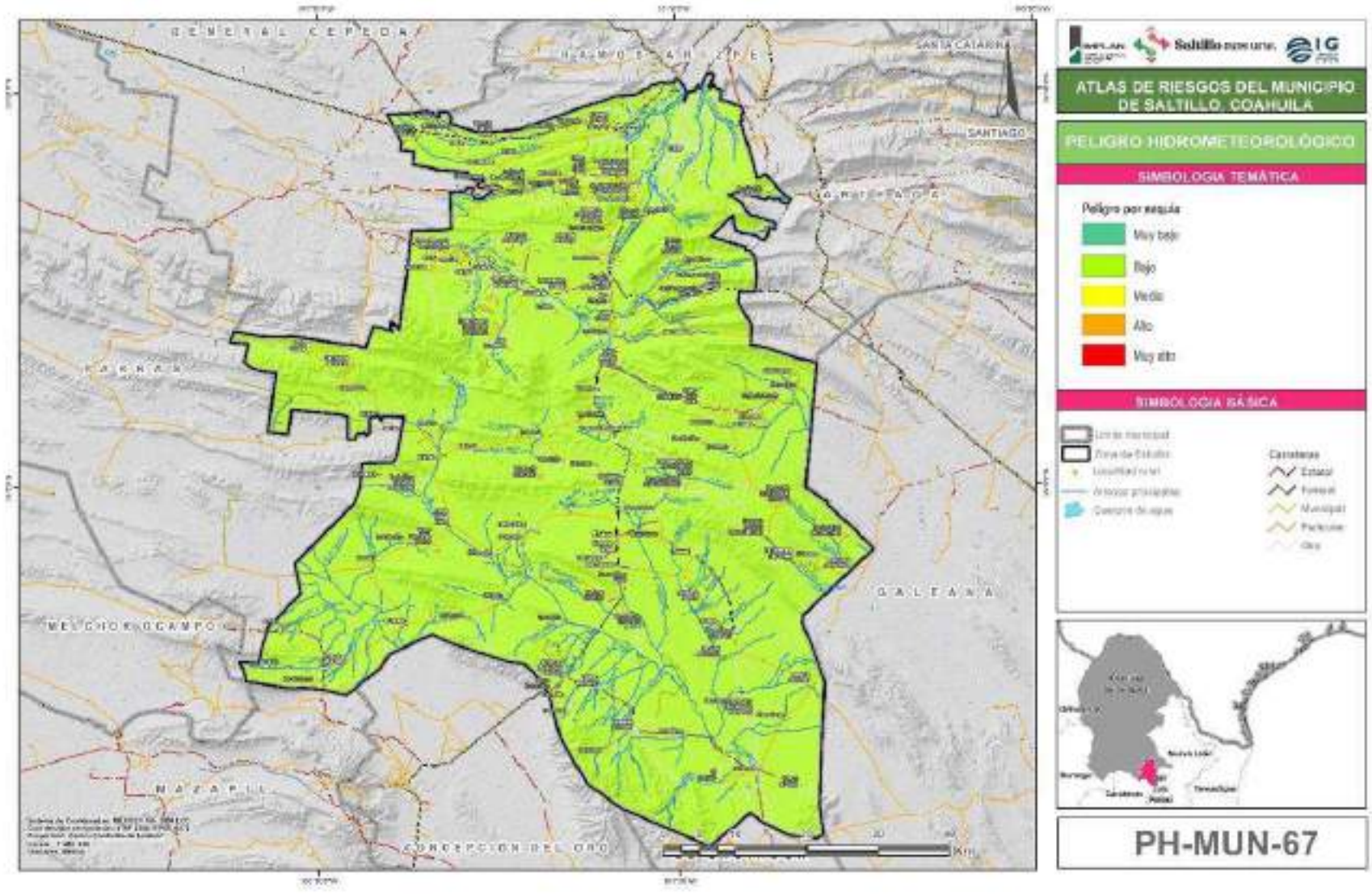
La CONAGUA generó el mapa de probabilidad de amenaza por sequía para el periodo de 2003 al 2020, mostrado en la Figura 62 y en el Mapa 66, en los que se muestra que la amenaza o peligro por sequía para el municipio de Saltillo es bajo.

Figura 62.Probabilidad de amenaza por sequía a nivel municipal



*Fuente: Monitor de Sequia de la CONAGUA (*https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/781257/Probabilidad_de_Amenaza_por_Sequ_a_2020.pdf

Mapa 66. Peligro por sequía para el municipio de Saltillo.



Fuente: elaboración propia con datos del monitor de Sequía de la CONAGUA.

Tornados y vientos fuertes

Introducción / Antecedentes

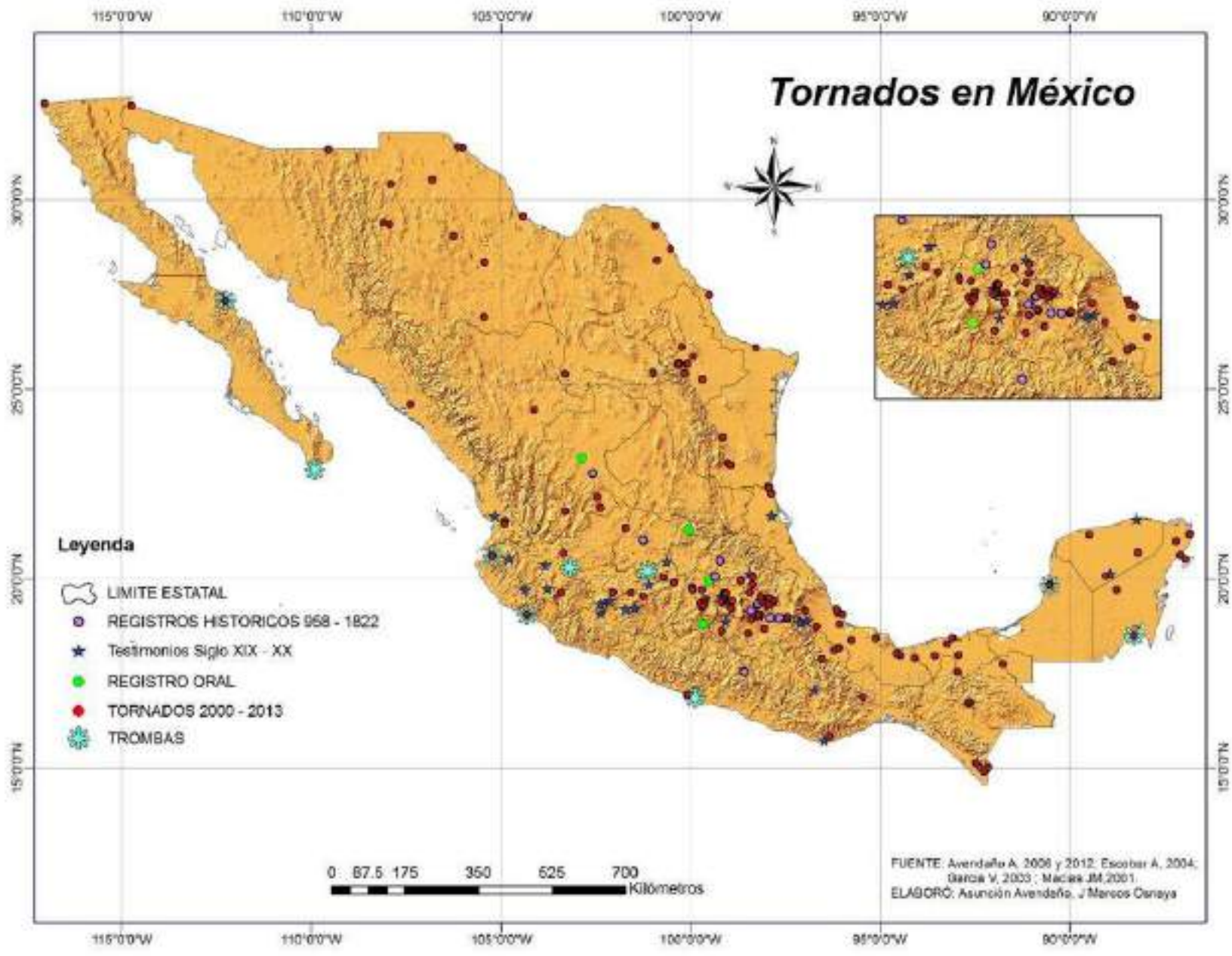
Un tornado es la perturbación atmosférica más violenta en forma de vórtice (CENAPRED 2021). Se origina en la base de una nube de tormenta cuando dos masas de aire de diferente temperatura, humedad y velocidad chocan entre sí formando un embudo que llega a la tierra, si toca un cuerpo de agua (río, lago, canal o el mar) se forma una tromba.

Los tornados se presentan en cualquier época y hora del año. En México su probabilidad de ocurrencia se extiende por todo el territorio nacional; sin embargo, los más fuertes han sido en el norte del país (https://www.gob.mx/cenapred/articulos/tornados-un-fenomeno-que-debemos-conocer: Fecha de consulta 25 mayo 2024).

Macías (2013) realizó un registro de ocurrencias de tornados del año 2000 al 2012 con un total de 126 durante este periodo. Por su parte Avendaño y Macías (2014) conforman una base de datos inicial sobre el fenómeno de los tornados en México, teniendo como base el periodo 2000-2012, toda vez que en México el potencial de amenaza y las condiciones de este fenómeno perturbador han sido ignoradas durante muchos años.

La Comisión Interinstitucional para el Análisis de Tornados y Tormentas Severas (CIATTS) presenta en su portal la ubicación de tornados en la República Mexicana para el periodo 2000-2013 (Mapa 67).

Mapa 67. Ubicación de Tornados en la República Mexicana 2000-2013



Fuente: tomado de https://ciatts.ciesas.edu.mx/mapa3.html (Fecha de consulta 30 mayo 2024).

Estos mismos autores han complementado la base de datos para el periodo 2000-2023, mediante la cual se confirma que de 2000 a 2023 ocurrieron 773, es decir, un promedio de 61 por año. En cuanto a las entidades federativas, la mayor cantidad se suscitó en el Estado de México (75), Veracruz (70) y Chihuahua (63); los estados con baja ocurrencia son: Aguascalientes (3), Baja California (3) y Durango (4), previendo dichos autores un total de 50 tornados para 2024.

La mayor parte de los tornados que se presentan en México han sido EF0 y EF1, tornados débiles no mesociclónicos. Los mesociclónicos más mortíferos se han avistado en Coahuila y en la base de datos mencionada se tienen registrados tornados con escalas de EF3 y EF2 como son: el de Piedras Negras que fue un tornado-génesis supercelda o mesociclónico, categorizado en el rango de la escala Fujita Mejorada de EF3 (https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2024_476.html: Fecha de consulta 30 de mayo del 2024). La Figura 63 muestra un tornado no mesociclónico en el Distrito Federal, actualmente Ciudad de México y la Figura 64, muestra el tornado de Piedras Negras Coahuila.

Figura 63. Tornado no meso ciclónico ocurrido en la actual Ciudad de México en el año 2012



Fuente: tomado de https://ciatts.ciesas.edu.mx/mapa3.html (Fecha de consulta 30 mayo 2024)

Figura 64. Tornado meso ciclónico ocurrido en Piedras Negras en el año 2007



Fuente: tomado de https://ciatts.ciesas.edu.mx/mapa3.html (Fecha de consulta 30 mayo 2024)

El tornado de Piedras Negras fue de tornado - génesis supercelda, como se señaló, categorizado en el rango de la escala Fujita Mejorada de EF3 y los fallecimientos se debieron a que las personas afectadas estaban en el exterior de sus casas, en un área abierta (Avendaño y Macías 2014).

Acorde a lo expuesto hay que puntualizar que la escala Fujita Mejorada establece la categoría de los tornados después de a ocurrencia de éstos, por lo que la ausencia de una metodología para catalogar la categoría de los tornados previo a su aparición obliga a empleo del registro de daños a través de trabajo de campo para tener los diferentes indicadores de daños y así establecer la etieuta de intensidad del tornado, siendo esto un campo de investigación por estudiar.

Aunado a esto, Aguirre (1994) realizó un estudio acerca del problema de la detección de tornados débiles, ya que se ha considerado que este tipo de tornados presentan dificultades de detección, así como registro por ser de muy corta duración y de paso o huella de trayecto casi imperceptible.

Además la ausencia de sistematización en la valoración de los daños aunado a la percepción de quienes se ven afectados por este tipo de fenómeno, dificulta aún más la valoración de las pérdidas económicas, que en lo general se asocian a los daños ocasionados a la

vivienda tanto en su estructura como en su mobiliario, y a los bienes de carácter productivo como los cultivos, el ganado y la infraestructura de servicios.

Una velocidad del viento de 64 a 116 km/hr podría desencadenar un tornado ligero, en donde el daño causado a los inmuebles y el medio implicaría algún daño en chimeneas, rotura de ramas en árboles o daños en señalamientos de tránsito. Una velocidad de 116 a 180 km/hr implicaría un tornado moderado, causante de desprendimiento de la superficie de techos, desprendimiento de cimientos en edificación ligera y desplazamiento de autos.

De acuerdo con Avendaño y Macías (2014), prácticamente todo el territorio nacional está sujeto a la aparición de esos fenómenos, aunque se observa que existen áreas que son más propensas que otras para su ocurrencia. La distribución temporal y horario de los tornados, por otra parte, es también un factor clave para tomar previsiones de preparativos para enfrentar esas amenazas.

El viento es el movimiento de aire presente en la superficie terrestre, cuyo desplazamiento es en su mayoría horizontal, originado por la diferencia de presión entre puntos de determinado territorio, lo que ocasiona una tendencia al equilibrio desplazando las masas de aire para rellenar las zonas de más baja presión. Conforme la diferencia de presión sea mayor la fuerza del viento aumenta. Existen corrientes ascendentes y descendentes, dicho movimiento es una magnitud vectorial con dirección y velocidad. (Dirección General de Protección Civil y Emergencias del Gobierno de España, 2013)

El CENAPRED (2017) considera a los vientos fuertes como una problemática a atender debido a que dañan las edificaciones y/o viviendas de la población, pueden convertirse en tornados, por lo cual menciona la importancia de implementar acciones, así como medidas de prevención ante este tipo de fenómenos de origen natural.

Por su parte, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) tiene disponible en línea (https://civil.ineel.mx/SistViento/es/viento.php) el Sistema de Viento versión 2.0 (2020-09-20), el cual fue desarrollado como una herramienta de ayuda para la aplicación de las nuevas recomendaciones de diseño por cargas de viento contenidas en el Capítulo de Diseño por Viento del Manual de Obras Civiles de la CFE (CDV-MDOC-2020).

El programa contiene mapas con los valores de velocidades de viento regional para diferentes periodos de retorno y para diferentes valores de velocidades óptimas. Adicionalmente el programa viento, permite estimar las presiones de diseño por viento para diferentes tipos de estructuras como: edificaciones cerradas, techos aislados, toldo o cubiertas adyacentes, letreros, torres de celosía y comunicación, anuncios espectaculares, entre otros.

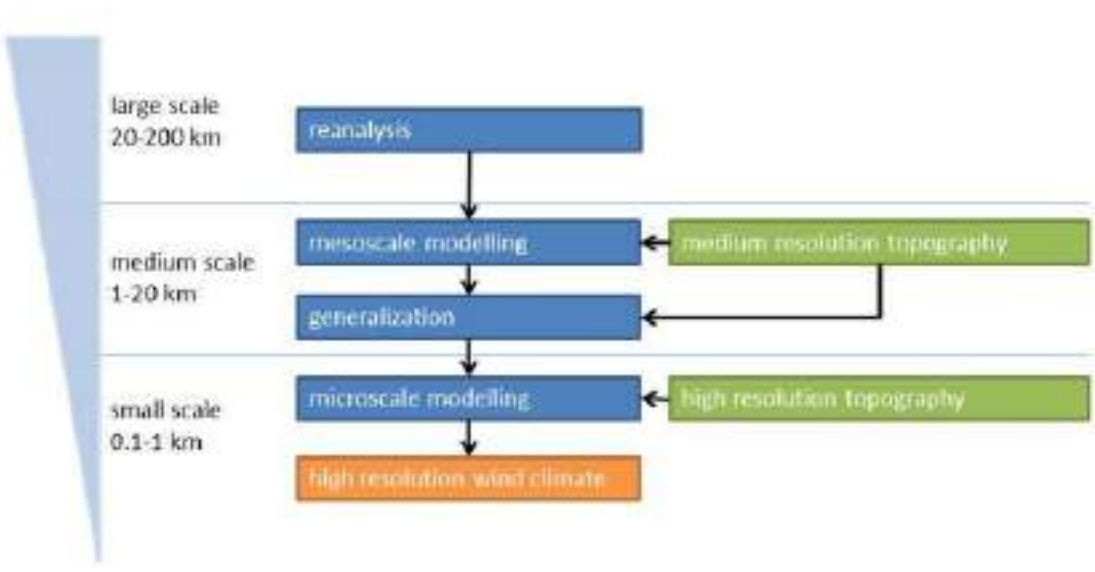
Metodología

Avendaño y Macías (2014) indican una ausencia metodológica en el registro de daños, ocasionados por vientos y tornados, por lo que se debe ir a trabajo de campo para tener los diferentes indicadores de daños para así establecer la categoría de intensidad del tornado.

Dado lo anterior, para fines de la presente actualización se consideró el programa de Viento de la CFE y El Atlas Eólico Mundial (GWA), que si bien es un desarrollo creado para la exploración y las fases preliminares de evaluación de los recursos eólicos antes de la instalación de las estaciones de medición meteorológica en el emplazamiento. También sirve como una herramienta útil para ayudar a los gobiernos a comprender mejor su potencial de recursos eólicos a nivel provincial y local (https://globalwindatlas.info/es/about/purpose).

Este desarrollo permite establecer las velocidades del viento en cualquier parte del mundo mediante datos climáticos del viento a gran escala y datos climáticos del viento a microescala. Los datos climáticos del viento a gran escala se obtienen de datos de reanálisis atmosféricos; en la versión 3.0 del GWA, se utiliza el conjunto de datos ERA5 del Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Mediano Plazo (ECMWF) para el período de simulación 2008-2017, la Figura 65, muestra el esquema de la metodología del GWA (https://globalwindatlas.info/es/about/method).

Figura 65. Esquema metodológico del Atlas Eólico Mundial



Fuente: tomado de https://globalwindatlas.info/es/about/method.

Una vez que se obtuvieron datos de la velocidad del viento con ambos recursos para el municipio de Saltillo, se procedió a definir el nivel de peligro que puede presentarse acorde a la escala de Fujita. Dicha escala, si bien fue diseñada para medir, así como clasificar la intensidad de los tornados *está* ligada de manera directa a la intensidad del viento y se basa en estudios a posteriori de la destrucción ocasionada a las estructuras construidas por el ser humano, además de la vegetación ante el paso de un tornado, toda vez que es muy complejo medir el tamaño, diámetro o velocidad del tornado. Fue elaborada en 1971 y mejorada en 2007 con base es estudios de tornados en Estados Unidos. (Tabla 97).

Tabla 97. Escala de Fujita mejorada para la clasificación de tornados

Escala	Velocidad del viento Km/h	Daños potenciales
EF0	105-137	Daños leves. • Algunas tejas caídas y otras pequeñas piezas de los tejados arrancadas, algunos daños en canaletas, ramas de árboles rotas y algunos árboles poco profundos arrancados. • Los tornados que no causan daños visibles (por ejemplo, a aquellos que se producen en campos abiertos) se valoran como de EF0
EF1	138-178	Daños moderados. • Tejados seriamente desplazados, caravanas y casetas volcadas o seriamente dañadas, perdida de puertas exteriores y ventanas y otros cristales rotos.
EF2	179-218	Daño considerables. • Tejados de casas sólidas arrancados, los cimientos de las casas se pueden mover, árboles grandes partidos o arrancados, pequeños objetos convertidos en proyectiles, coches levantados del suelo.
EF3	219-266	Daño graves. • Pisos enteros de casas bien construidas destruidos, daños graves a los edificios grandes (tales como centros comerciales), trenes volcados, árboles descortezados, vehículos pesados levantados del suelo y arrojados a distancia, estructuras con cimientos débiles lanzados a cierta distancia.
EF4	267-322	Daño devastadores. • Tanto las casas de hormigón y ladrillos como las de madera pueden quedar completamente destruidas, los coches pueden ser proyectados como misiles.
EF5	Mayor a 322	Daños increíbles. • Las casas fuertes pueden quedar arrasadas hasta los cimientos, las estructuras de hormigón armado dañadas críticamente, los edificios altos sufren graves deformaciones estructurales.

Fuente: elaborada a partir de McDonald (2009).

Memoria de cálculo

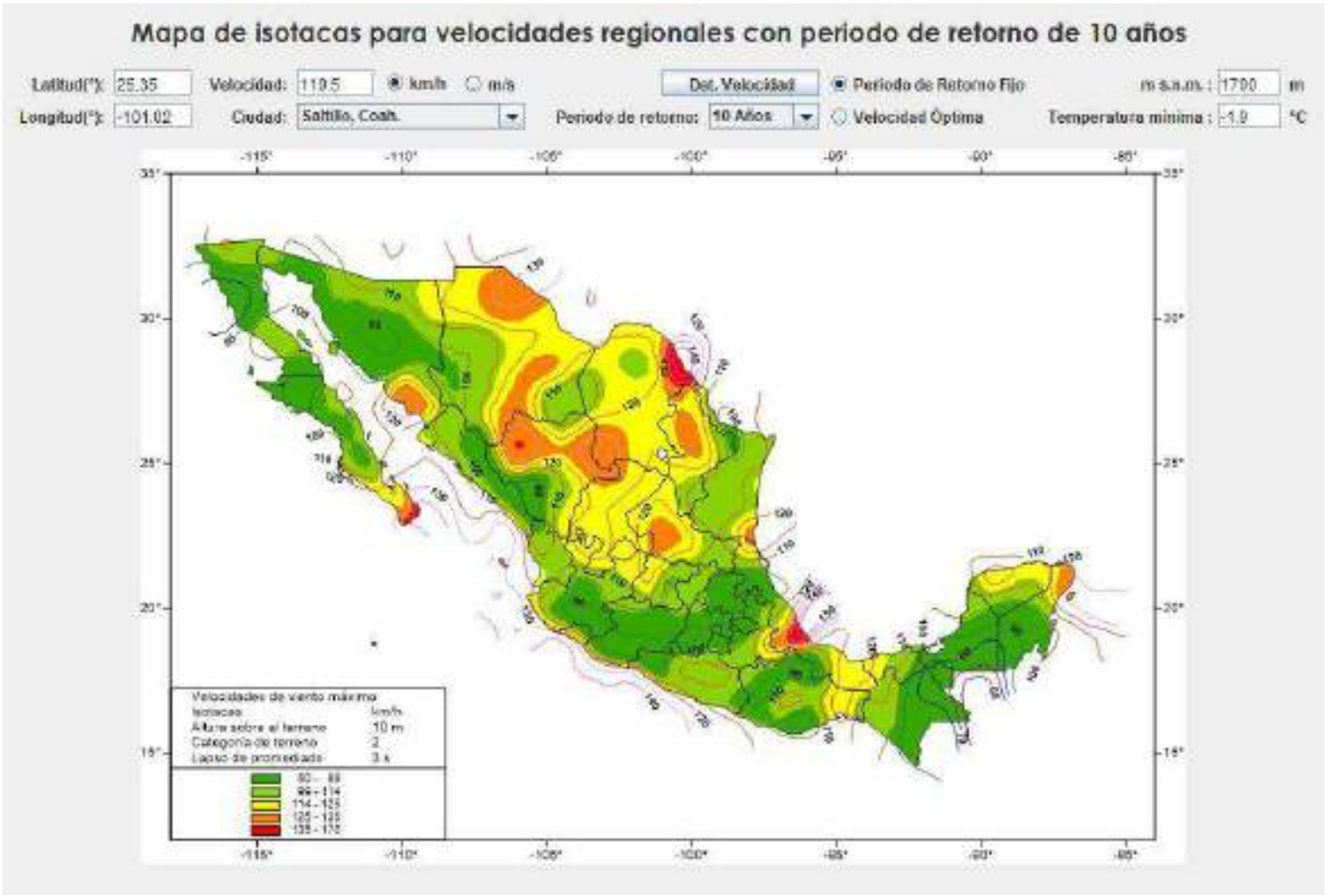
En el caso del programa de viento de la CFE, se obtuvieron velocidades de viento para periodos de retorno de 10, 50 y 200 años, en donde para este programa se generan las isotacas a una altura de 10 metros sobre el terreno.

Mediante el Atlas Eólico Mundial no se pueden generar velocidades del viento para periodos de retorno, pero sí se pudieron obtener velocidades de viento para distintas alturas, lo cual sirvió para complementar los niveles de peligro por este fenómeno, generándose velocidades del viento para 10, 50, 100 y 200 metros sobre el terreno.

Resultados

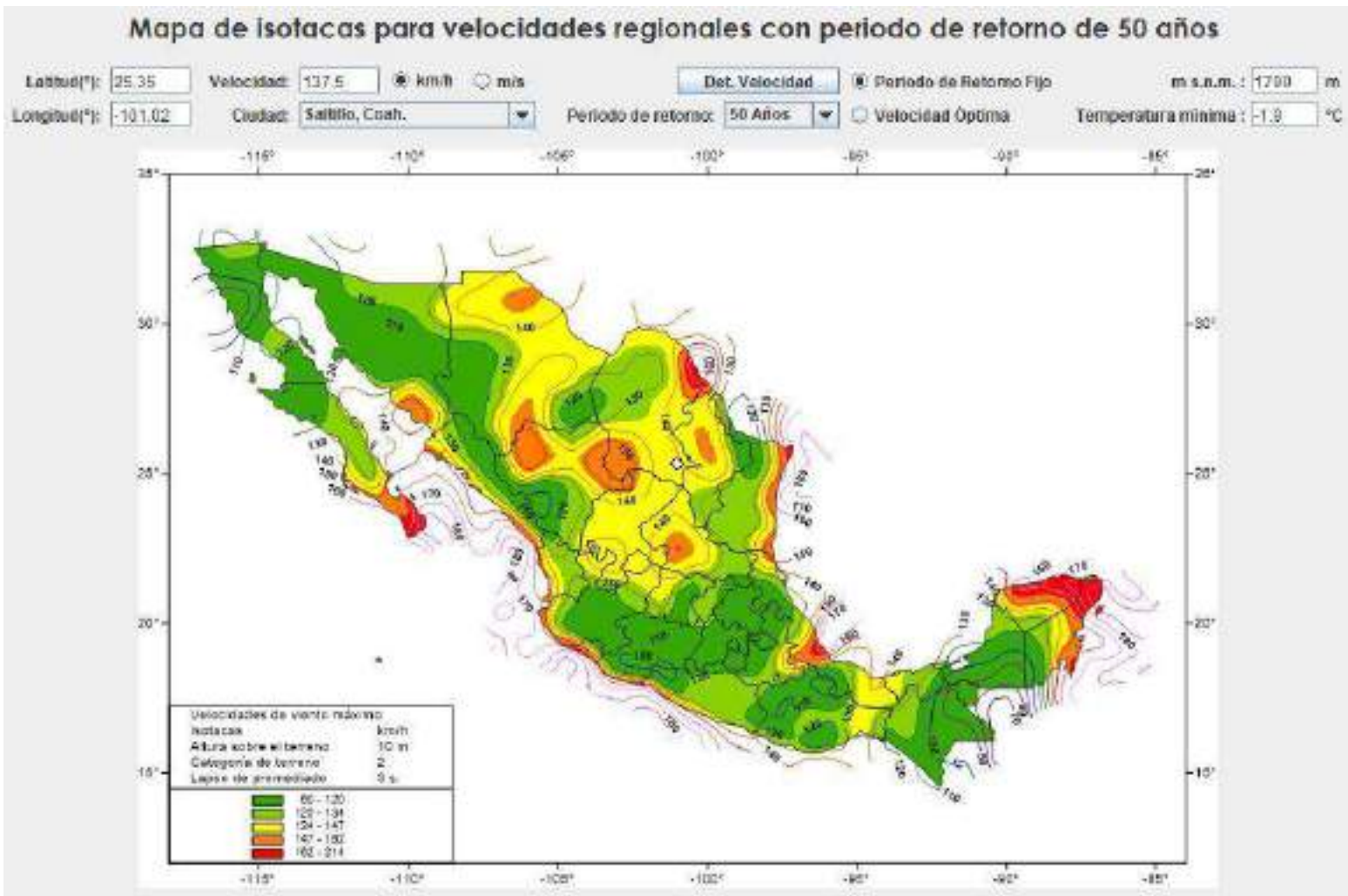
De la Figura 66 a la Figura 68, se presentan los resultados del programa viento de la CFE para los periodos de retorno mencionados en la memoria de cálculo.

Figura 66. Velocidad el viento para un periodo de retorno de 10 años



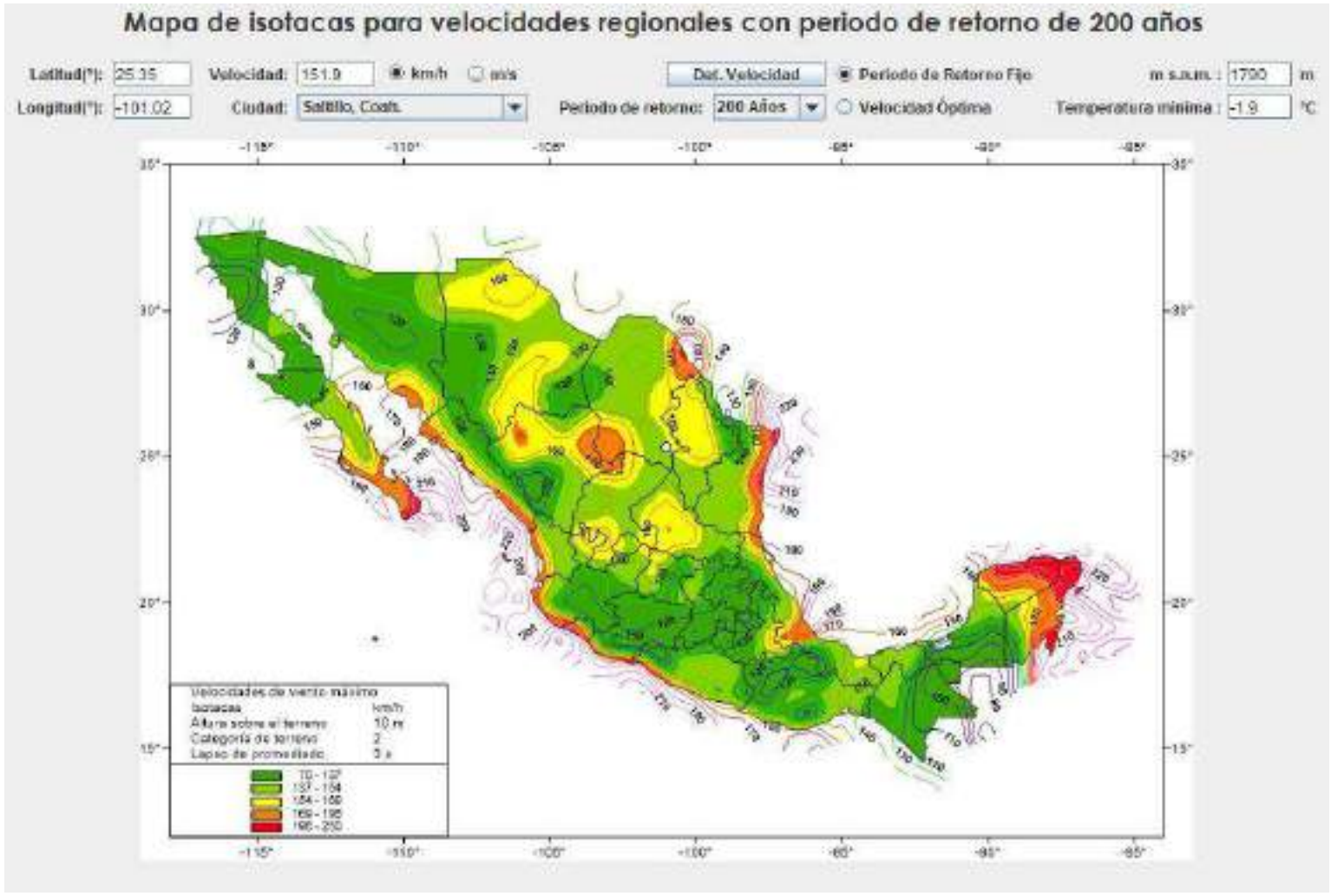
Fuente: elaboración propia a partir del programa Viento versión 2.0 de la CFE.

Figura 67. Velocidad el viento para un periodo de retorno de 10 años



Fuente: elaboración propia a partir del programa Viento versión 2.0 de la CFE.

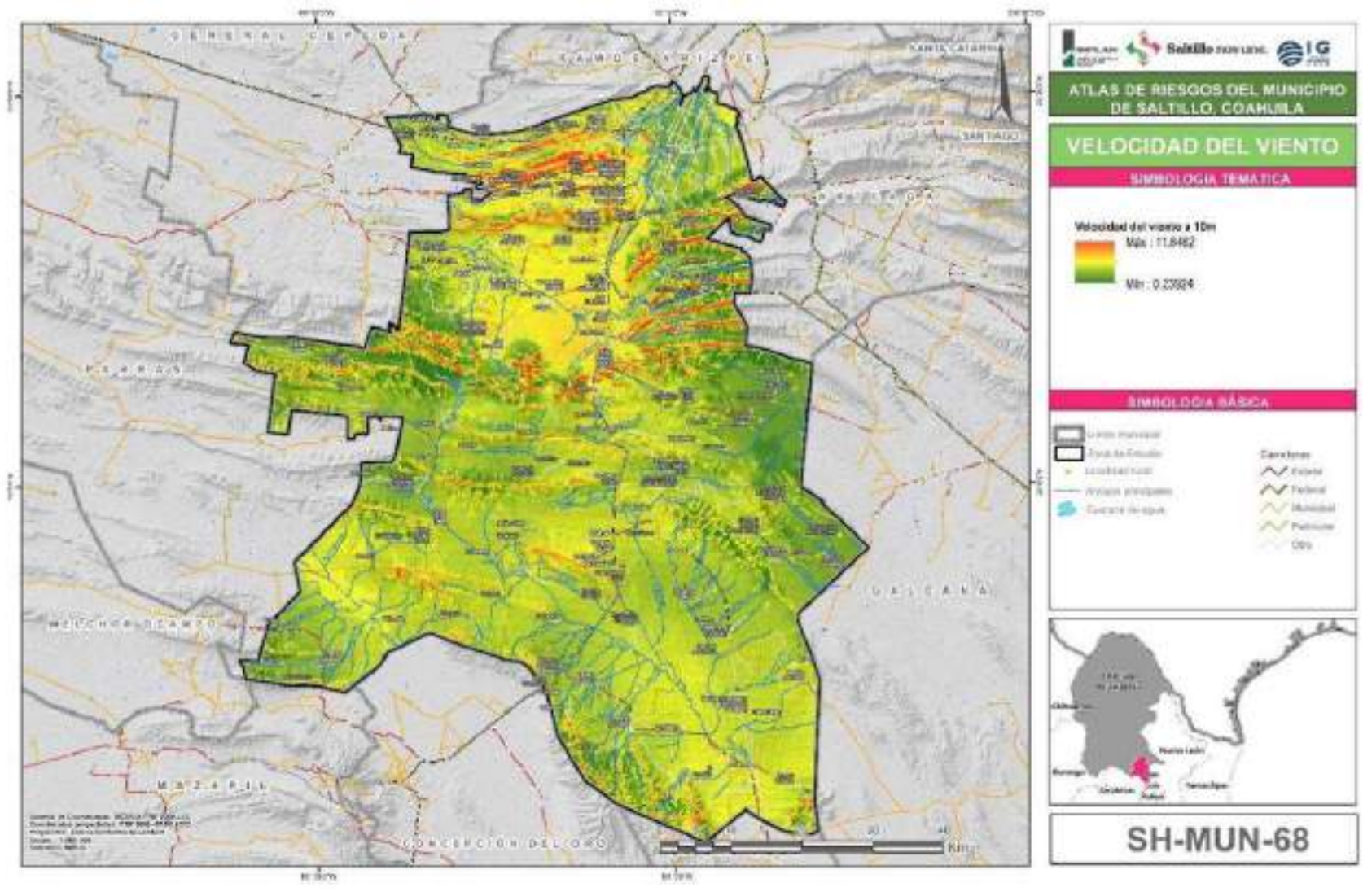
Figura 68. Velocidad el viento para un periodo de retorno de 10 años



Fuente: elaboración propia a partir del programa Viento versión 2.0 de la CFE.

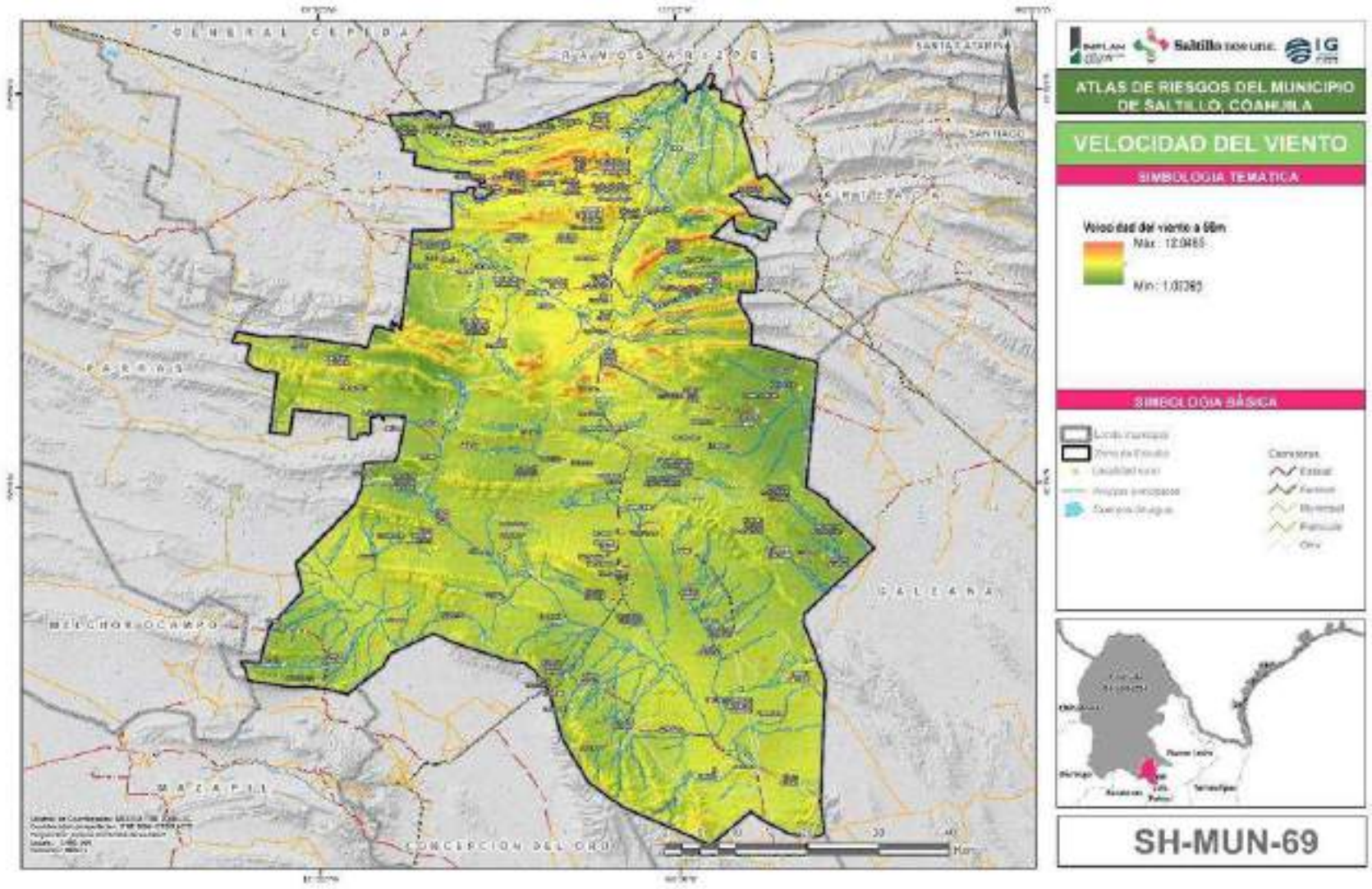
En estas figuras se puede observar que para todos los casos se tiene para el municipio de Saltillo un nivel de la escala de Fujita Mejorada EF1, con vientos entre los 138-178 kilómetros por hora. Mientras que los resultados obtenidos mediante el Atlas Eólico Mundial muestran velocidades máximas de 55.4 kilómetros por hora para las distintas alturas modeladas (Mapa 68 al Mapa 71).

Mapa 68. Velocidad el viento para una altura de 10 metros



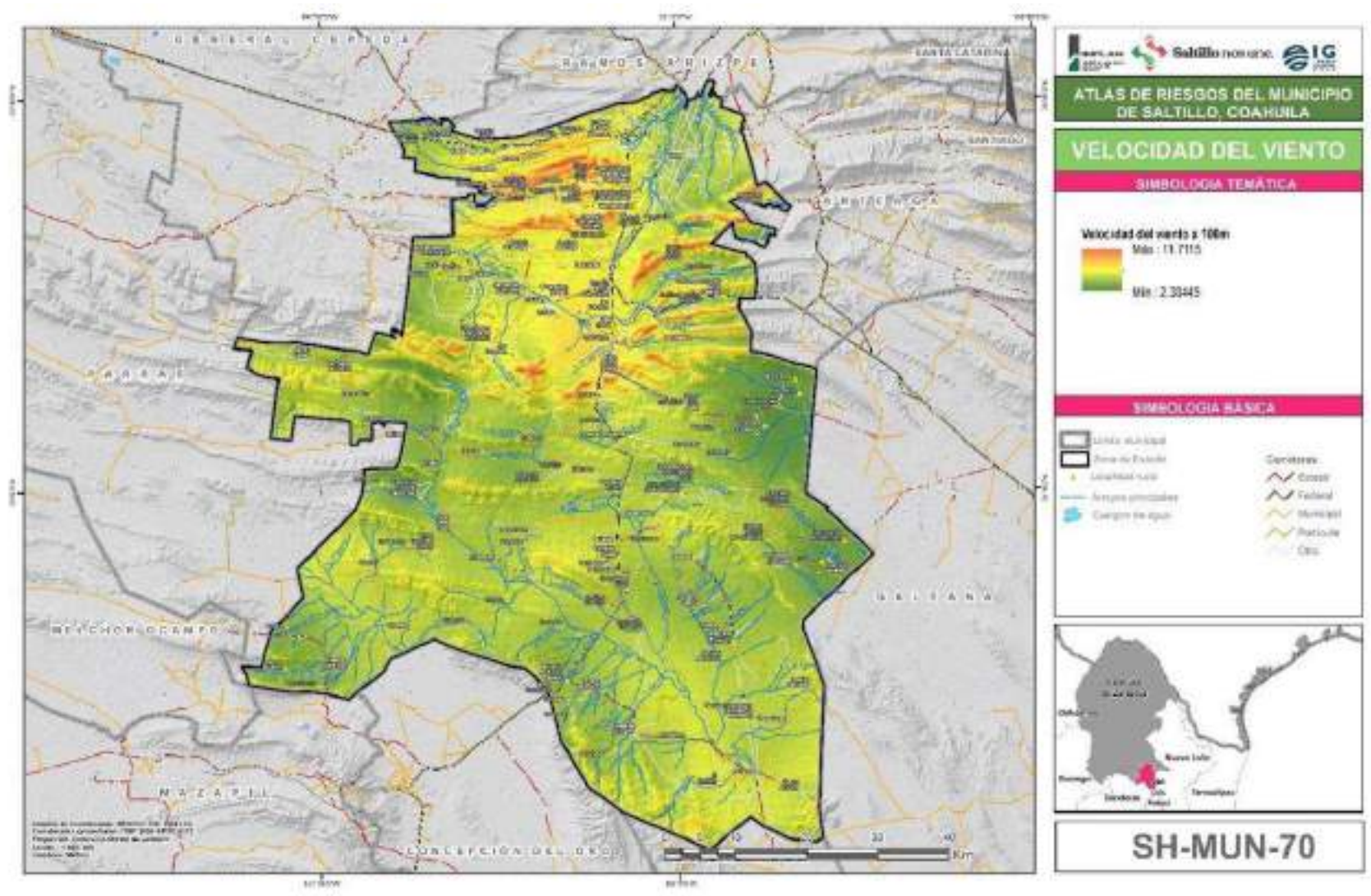
Fuente: elaboración propia a partir del Atlas Eólico Mundial.

Mapa 69. Velocidad el viento para una altura de 50 metros



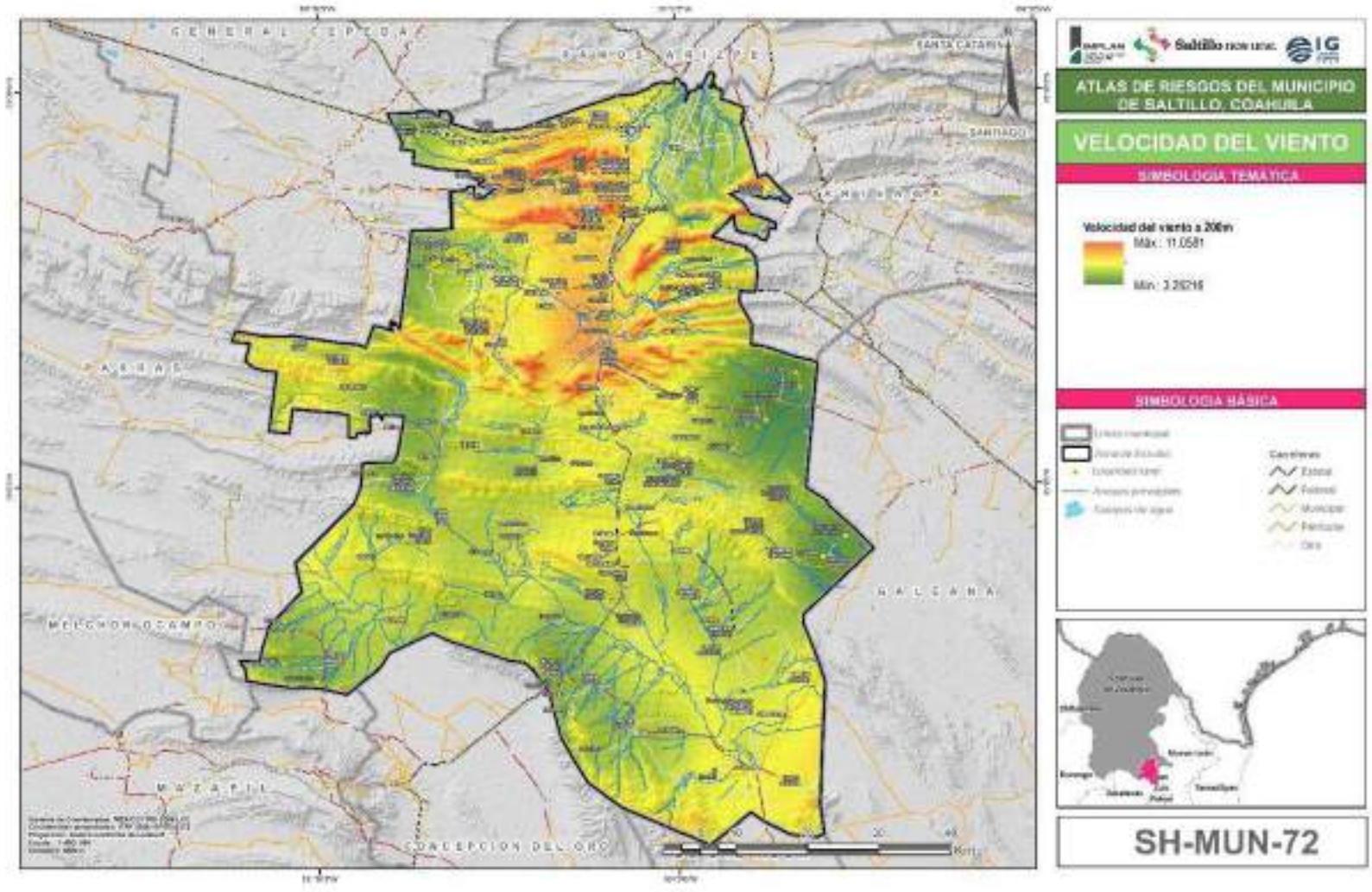
Fuente: elaboración propia a partir del Atlas Eólico Mundial.

Mapa 70. Velocidad el viento para una altura de 100 metros



Fuente: elaboración propia a partir del Atlas Eólico Mundial.

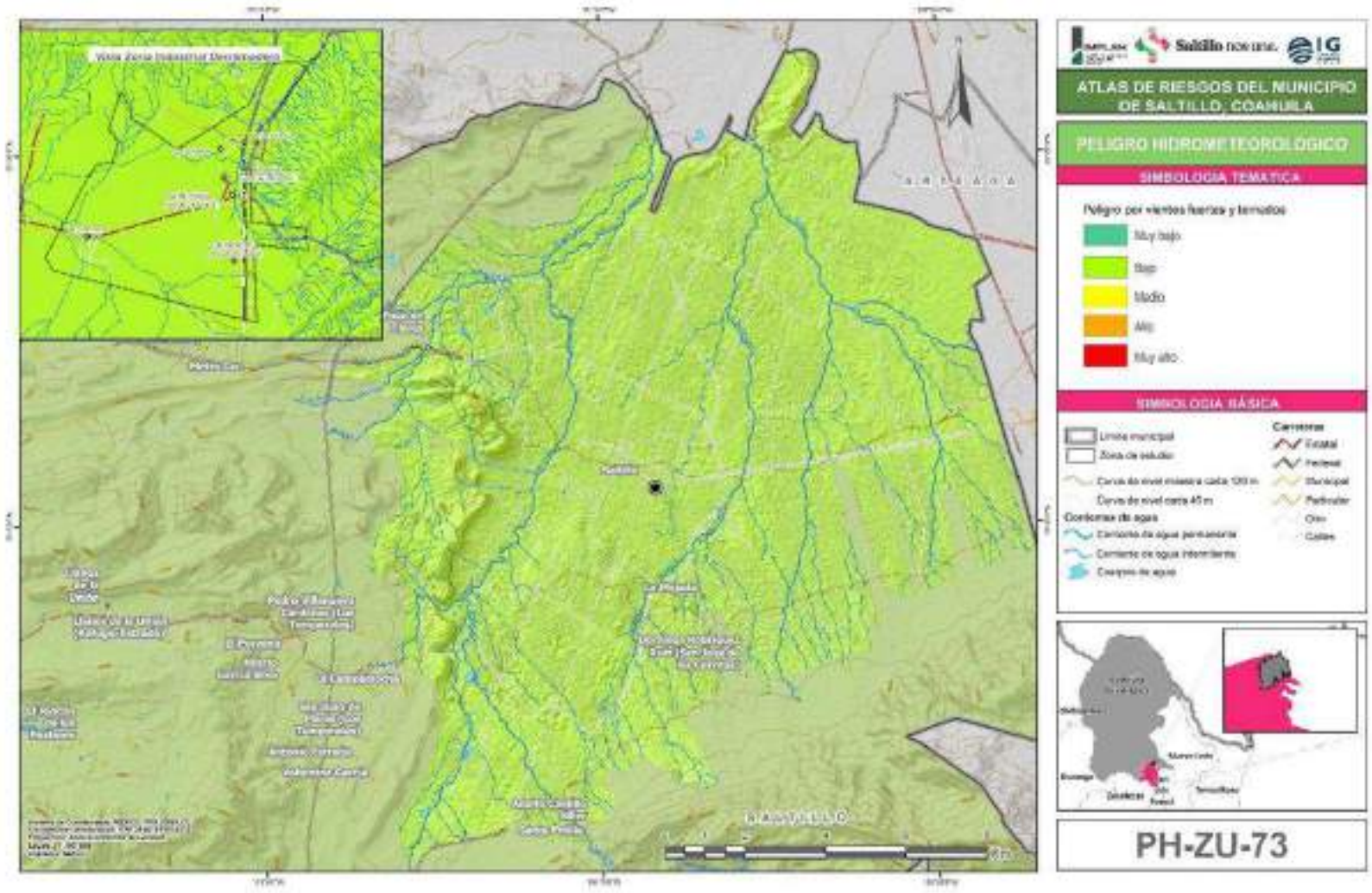
Mapa 71. Velocidad el viento para una altura de 200 metros



Fuente: elaboración propia a partir del Atlas Eólico Mundial.

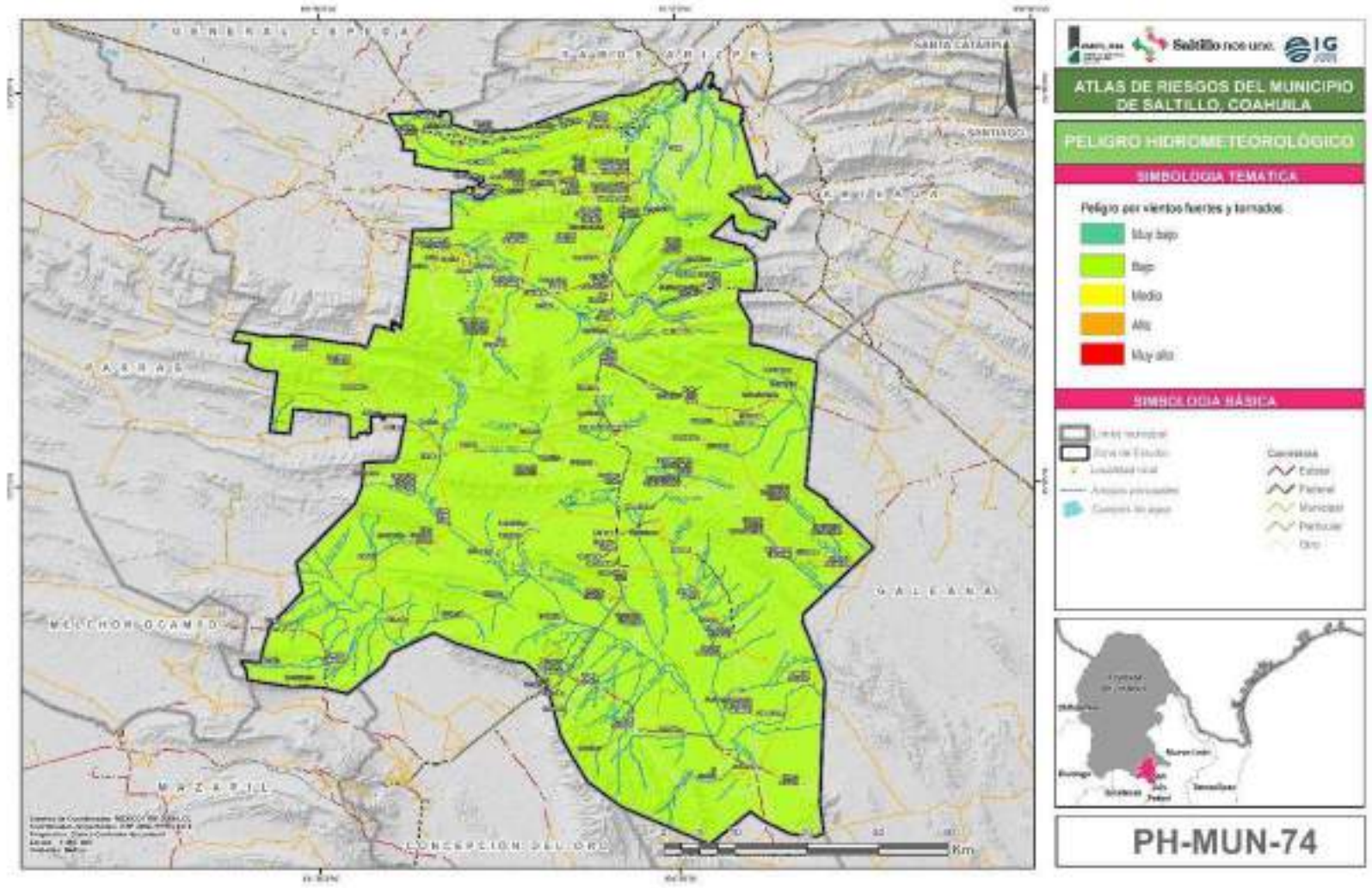
En suma y acorde con los resultados obtenidos mediante estas dos fuentes y debido a que no es posible establecer una correspondencia uno a uno entre la escala de Fijita Mejorada, así como los niveles de peligro usualmente empleados, se determinó que el nivel de peligro por vientos y en consecuencia para la presencia de tornados para el municipio de Saltillo es bajo (Mapa 72 y Mapa 73). Esto concuerda con los reportes de fuentes periodísticas en Saltillo tal como se aprecia en la Tabla 98 y su distribución en el Mapa 74.

Mapa 72. *Peligro por vientos en el área urbana del municipio de Saltillo*



Fuente: elaboración propia a partir de resultados de programa de viento de CFE y Atlas Eólico Mundial.

Mapa 73. *Peligro por vientos en el municipio de Saltillo*



Fuente: elaboración propia a partir de resultados de programa de viento de CFE y Atlas Eólico Mundial.

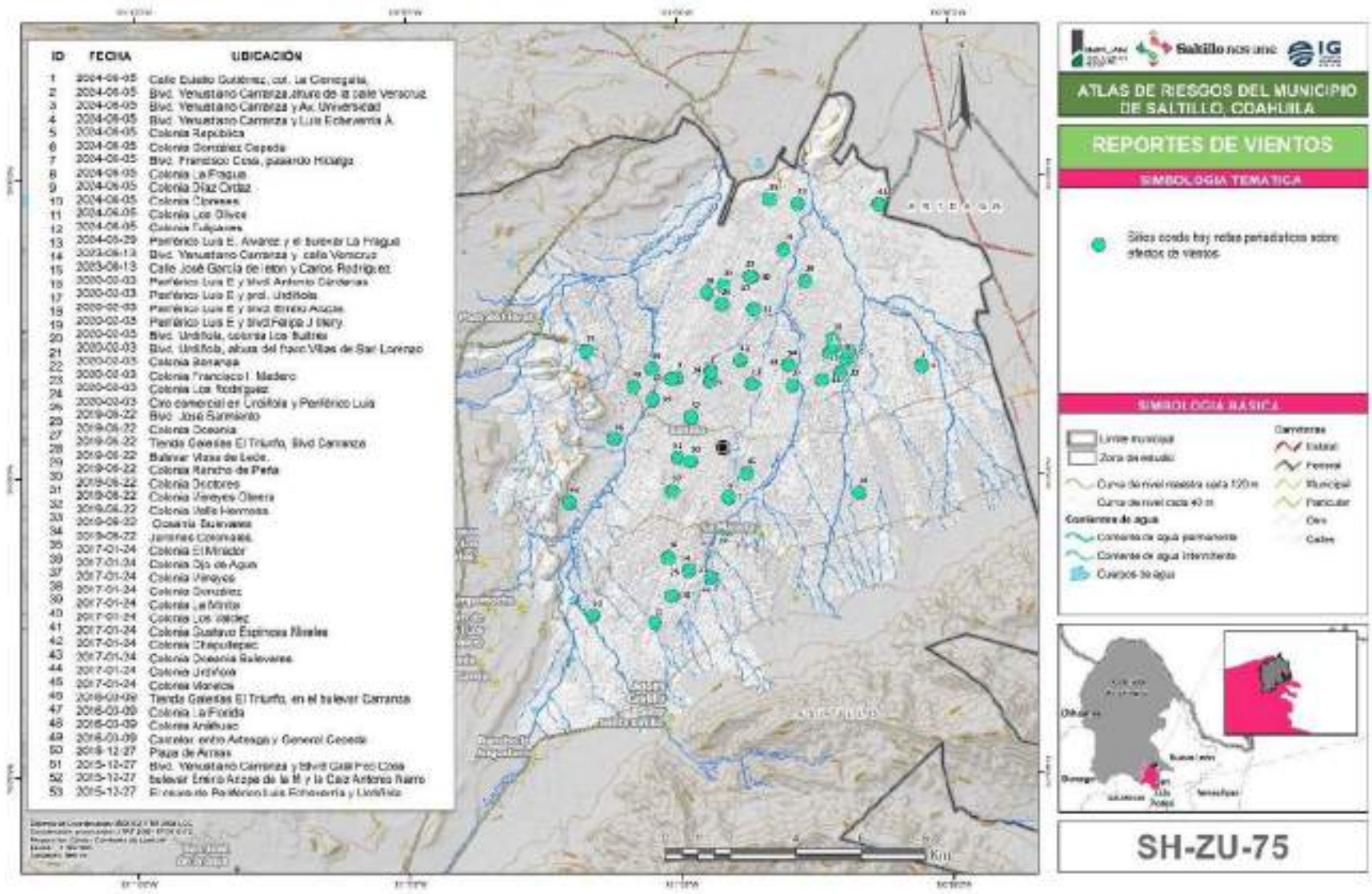
Tabla 98. Reportes periodísticos de efectos por vientos en el municipio de Saltillo

Fecha	Evento	Km/hr	Consecuencias	Fuente	Liga
05/06/2024	Ventarrones en Saltillo dejan muerte y caos vial	70	Un muerto, 31 árboles arrancados de raíz, apagones en algunas colonias, caos vial en las arterias principales y contaminación aérea	Zócalo	https://www.zocalo.com.mx/dejan-ventarrones-muerte-y-caos-vial-sorprende-tolvanera-a-saltillo/
28/05/2024	Fuerte viento derriba techos, tira postes y provoca incendio en Saltillo	80	caída del techo de lámina de la tienda departamental Autozone		https://www.msn.com/es-mx/noticias/mexico/im%C3%A1genes-fuerte-viento-derriba-techos-tira-postes-y-provoca-incendio-en-saltillo-y-piedras-negras/ar-BB1nh1h0
13/06/2023	Estragos tras fuertes rachas de viento en Saltillo		Caída de árboles, techos	Zocalo	https://www.zocalo.com.mx/estragos-tras-fuertes-rachas-de-viento-en-saltillo/
13/02/2023	Ventarrones en Saltillo anuncian llegada del frente frío número 32 a la región	62	Nube de polvo cubrió la ciudad	Vanguardia	https://vanguardia.com.mx/coahuila/ventarrones-en-saltillo-anuncian-llegada-del-frente-frio-numero-32-a-la-region-EK6396969
24/01/2023	Fuertes tolvaneras azotan y causan destrozos en Saltillo	75	Se presentaron fallas eléctricas, se cayeron anuncios y tuvieron que cerrar el paso por precaución.	Milenio	https://www.milenio.com/estados/coahuila-tolvaneras-azotan-saltillo-causan-destrozos
22/03/2022	Ventarrones golpearon a la ciudad desde la madrugada del lunes y hasta la tarde-noche del mismo día	70	Dos bardas caídas y desprendimiento de láminas y toldos	Vanguardia	https://vanguardia.com.mx/coahuila/sin-lesionados-por-ventarrones-en-saltillo-dos-bardas-caidas-y-desprendimiento-de-laminas-y-toldos-el-saldo-final-pc-II2082569
03/02/2020	Viento deja caos y destrucción en Saltillo		Caos y destrucción en diferentes puntos de esta ciudad, donde se registraron desde apagones, caída de árboles y luminarias.	El Heraldo	https://elheraldodesaltillo.mx/2020/02/03/viento-deja-caos-y-destruccion-en-saltillo/
22/06/2019	Atiende Gobierno Municipal daños por lluvia y ventarrones	50	Caída de árboles, estructuras, inundaciones	El Heraldo	https://elheraldodesaltillo.mx/2019/06/22/atiende-gobierno-municipal-danos-por-lluvia-y-ventarrones/

Fecha	Evento	Km/hr	Consecuencias	Fuente	Liga
05/02/2017	Tumban ventarrones una torre de electricidad en Ejido Kilómetro 64		Se cayó una torre de alta tensión	Vanguardia	https://vanguardia.com.mx/coahuila/saltillo/tumban-ventarrones-una-torre-de-electricidad-en-ejido-kilometro-64-PBVG3284568
24/01/2017	Atienden contingencias por ventarrones en Saltillo		Poda y tala a varios árboles que resultaron dañados para evitar riesgos en la población	Vanguardia	https://vanguardia.com.mx/coahuila/saltillo/atienden-contingencias-por-ventarrones-en-saltillo-OBVG3281719
09/03/2016	Viento provoca el caos en Saltillo		Árboles caídos, daños en viviendas, en comercios y en el sistema eléctrico	Vanguardia	https://vanguardia.com.mx/coahuila/saltillo/viento-provoca-el-caos-en-saltillo-CSVG3203771
27/12/2015	Se registraron fuertes vientos en Saltillo entre la noche del sábado y la mañana del domingo por la llegada del frente frío número 24 de la temporada	60	Árboles caídos, apagones y más daños	Vanguardia	https://vanguardia.com.mx/coahuila/saltillo/arboles-caidos-apagones-y-mas-danos-provoca-el-viento-de-saltillo-LMVG3044528

Fuente: elaboración propia a partir de fuentes hemerográficas.

Mapa 74. Distribución de los reportes periodísticos por efectos de vientos en el municipio de Saltillo



Fuente: elaboración propia con base en reportes periodísticos.

Tormentas de granizo

Introducción / Antecedentes

El granizo es un tipo de precipitación que se forma por fuertes corrientes ascendentes húmedas y cálidas que forman gotas de agua que se luego ven arrastradas por corrientes frías descendentes durante una tormenta severa, representada por grandes formaciones nubosas conocidas como cumulonimbos (Figura 69).

Figura 69. Grado de peligro por granizo



Fuente: Observatorio Hidrológico, IIUNAM.

El Índice de Peligro por Tormenta de Granizo (IPTG) desarrollado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) se utiliza para identificar y evaluar el riesgo de granizo en distintas regiones de México. Este índice se calcula en función de la frecuencia de días con granizo, con datos recolectados de registros meteorológicos a nivel nacional. Para su creación, el IPTG se apoya en mapas históricos y datos de observación, que permiten cuantificar el peligro de granizo en diversas zonas del país.

Metodología

El Índice de Peligro por Tormenta de Granizo (IPTG) es una herramienta de evaluación meteorológica utilizada para cuantificar el riesgo de que se produzcan tormentas de granizo en una determinada región. Este se basa en varios factores atmosféricos que favorecen la formación de granizo, como la inestabilidad del aire, la humedad, la temperatura, así como las corrientes ascendentes en la atmósfera.

Características del IPTG:

1. **Inestabilidad atmosférica**: la probabilidad de granizo está asociada a la presencia de aire cálido y húmedo en las capas inferiores de la atmósfera, que al ascender rápidamente enfría, además forma nubes de gran desarrollo vertical (cumulonimbos).
2. **Corrientes ascendentes fuertes**: las tormentas con granizo suelen presentar fuertes corrientes ascendentes que impulsan las gotas de agua a zonas de la atmósfera donde las temperaturas son muy bajas, congelándolas y formando granizo.
3. **Temperaturas y humedad**: los valores de temperatura, así como humedad son claves para el desarrollo de estas tormentas. Una mayor humedad y temperaturas más cálidas pueden contribuir a un aumento en el tamaño y frecuencia del granizo.
4. **Escala de riesgo**: el IPTG se expresa en una escala que indica el nivel de riesgo en una determinada región. Los valores más altos en el índice representan una mayor probabilidad de tormentas de granizo intensas y destructivas.

Memoria de cálculo

El Índice de Peligro por Tormenta de Granizo (IPTG) se calcula utilizando diversos parámetros atmosféricos que contribuyen a la formación de granizo. Aunque los métodos específicos pueden variar según la región y la entidad que realice el cálculo, en general, el IPTG se basa en una combinación de factores de estabilidad atmosférica, además de variables meteorológicas clave.

Factores principales para calcular el IPTG:

1. Energía Potencial Convectiva Disponible (CAPE): la CAPE mide la inestabilidad atmosférica, lo que indica la cantidad de energía disponible para la convección. Cuanto mayor es la CAPE, más probable es que se desarrollen tormentas intensas con granizo.
2. Corrientes ascendentes: se evalúan las velocidades de las corrientes ascendentes en las nubes de tormenta, ya que estas corrientes son responsables de mantener las partículas de hielo suspendidas y permitir que crezcan hasta convertirse en granizo.
3. Nivel de Congelación: este parámetro se refiere a la altitud a la cual la temperatura desciende a 0°C. Si el nivel de congelación es bajo, el granizo tiene mayor probabilidad de llegar al suelo sin derretirse.
4. Temperatura y humedad: la temperatura en niveles bajos y medios de la atmósfera, combinada con la humedad relativa, influye en la cantidad de vapor de agua disponible para la formación de granizo y el crecimiento de las partículas.

5. Escala de Cizalladura Vertical del Viento: la cizalladura, o variación de la velocidad y dirección del viento en diferentes niveles de la atmósfera, es crucial para la organización de las tormentas. La cizalladura fuerte ayuda a que las corrientes ascendentes sean más persistentes, aumentando la posibilidad de formación de granizo.

   Fórmula simplificada para el IPTG

   Aunque el cálculo exacto puede variar, una fórmula simplificada que combina estos factores podría expresarse como:

   IPTG=f(CAPE,Cizalladura,Nivel de Congelación,Temperatura,Humedad)

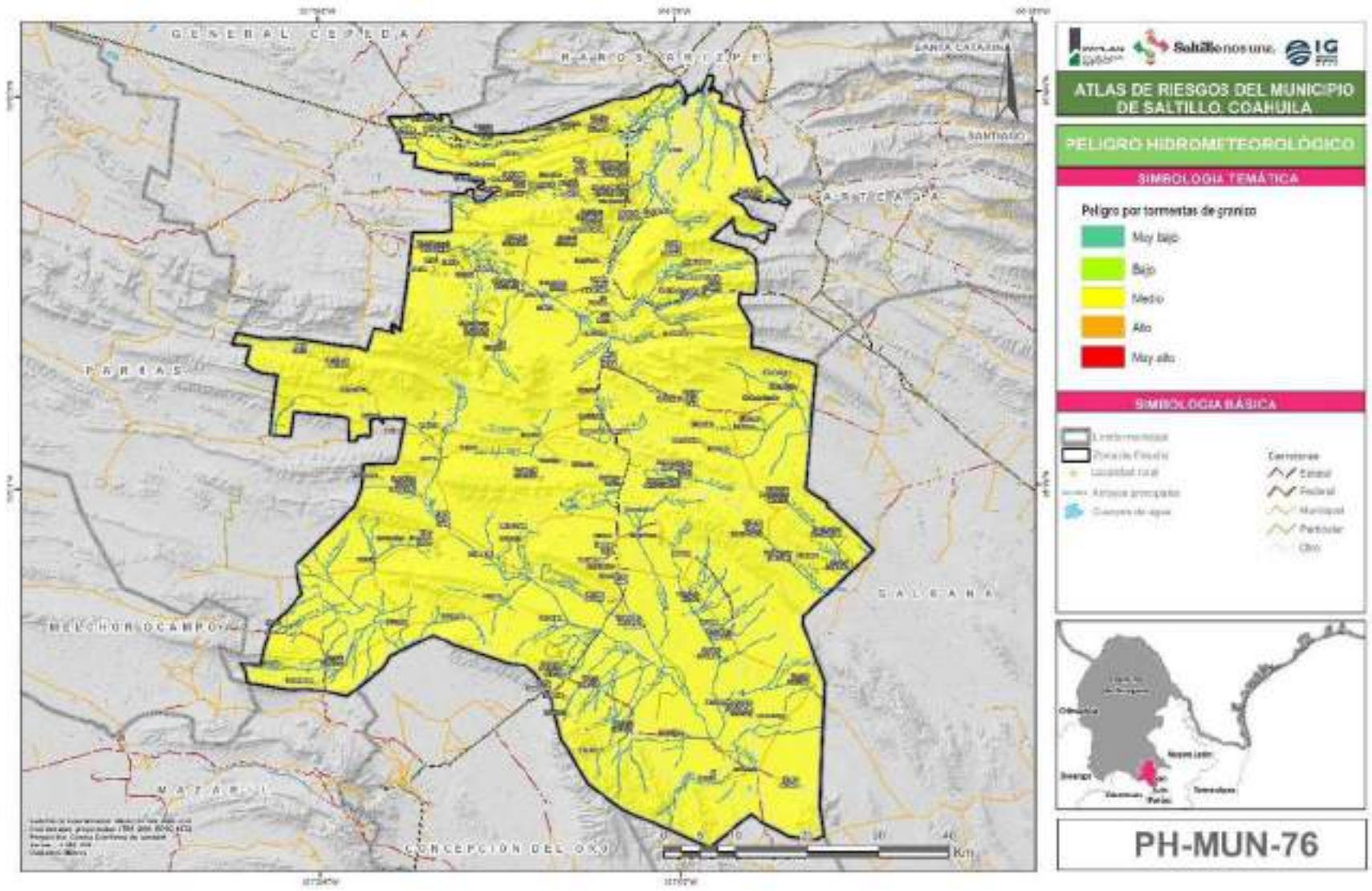
   Donde:

- Cada factor contribuye con un peso específico determinado empíricamente a partir de datos históricos de tormentas.
- La **CAPE** y la **cizalladura** suelen tener un peso importante en la fórmula, ya que representan la inestabilidad y organización de la tormenta.
- La **altura del nivel de congelación** también es crítica, ya que determina si el granizo puede alcanzar el suelo.

Resultados

De acuerdo el índice de peligro por tormenta de granizo (IPTG), únicamente el 15% de los municipios de México presentan una alta incidencia de granizadas (CENAPRED); y en el caso del municipio de Saltillo, este fenómeno representa un grado de peligro medio (Mapa 75).

Mapa 75. Peligro por granizo acorde con el Centro Nacional de Prevención de Desastres



Fuente: CENAPRED.

Por otra parte, considerando el registro de granizadas en las estaciones meteorológicas que han sido seleccionadas, se tiene la Tabla 99 mostrada a continuación:

Tabla 99. Relación de estaciones meteorológicas con registro de granizadas

Clave	Estación	Años	No. Eventos	Media	Mínima	Máxima
5048	Saltillo (dge)	70	45	0.63	0	1
32036	Mazapil	63	34	0.52	0	1
5032	Ramos Arizpe (smn)	77	31	0.43	0	1
5003	Arteaga (smn)	41	30	0.52	0	1
5034	Saltillo (obs)	40	23	0.64	0	1
32087	Concepción del Oro	51	23	0.56	0	1
5174	El Tunal	30	18	0.64	0	1
5016	General Cepeda	69	15	0.22	0	1
5146	Huachichil	38	12	0.38	0	1
19032	Carbonera	40	12	0.22	0	1
19057	San Rafael	45	12	0.27	0	1
19002	Agua Blanca	39	10	0.27	0	1
32091	E.T.A. 145 El Salvador	22	10	0.48	0	1

Clave	Estación	Años	No. Eventos	Media	Mínima	Máxima
5140	Ramos Arizpe (dge)	36	8	0.28	0	1
32141	El Salvador	28	7	0.33	0	1
5035	San Antonio las Alazanas (dge)	27	6	0.19	0	1
5049	San Antonio las Alazanas (smn)	51	6	0.10	0	1
5149	Ciénega de la Purísima	37	6	0.20	0	1
5176	Jame	34	3	0.09	0	1
19054	Rinconada	63	3	0.05	0	1
19115	El Cuije	40	3	0.09	0	1
5170	La Rosa	36	2	0.06	0	1
5175	La Ventura	35	2	0.07	0	1
19129	El Peñuelo	35	2	0.07	0	1
5136	Las Hormigas	39	1	0.03	0	1
5141	Gómez Farias	37	1	0.03	0	1
5145	San Juan de la Vaquería	37	1	0.03	0	1
19031	La cruz	31	1	0.02	0	1
19181	San Isidro de Ciénega	24	1	0.05	0	1

Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA.

De acuerdo con los datos presentados en la tabla, la mayor frecuencia de granizadas se registra en la ciudad de Saltillo. Este fenómeno meteorológico es recurrente en la región debido a sus condiciones climáticas, especialmente durante la temporada de primavera y verano, cuando las tormentas eléctricas son más comunes. La ubicación geográfica de Saltillo, en una zona de altitud elevada, además con variaciones térmicas marcadas, contribuye a la formación de granizo con mayor frecuencia en comparación con otras ciudades cercanas.

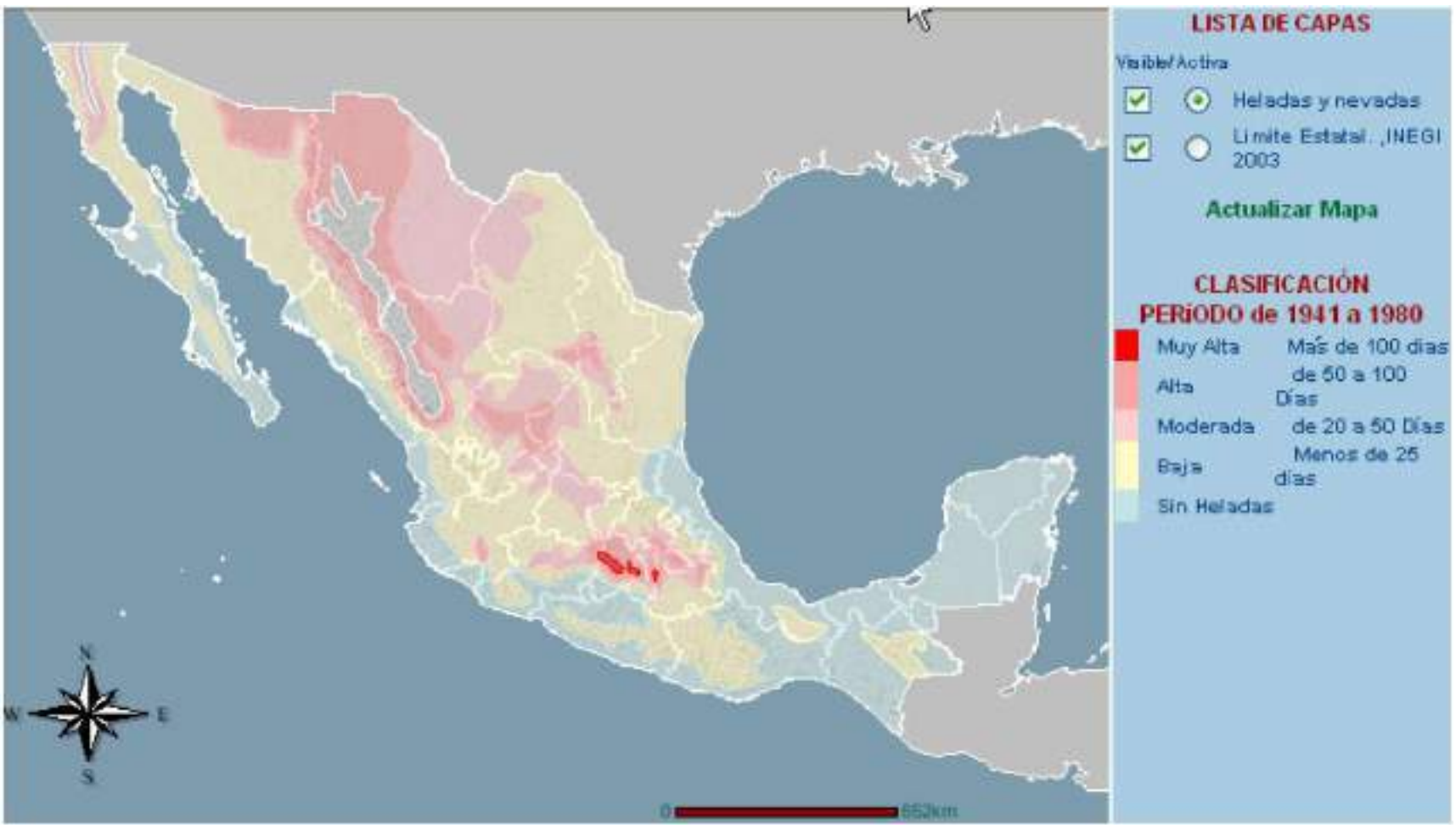
Nevadas

Introducción/Antecedentes

Nuestro país se caracteriza por su diversidad orográfica que influye en las condiciones de temperatura y humedad; además de localizarse geográficamente entre dos regiones climáticas diferenciadas por su posición con respecto al trópico de Cáncer, la templada y la tropical, situadas al norte y sur de dicho trópico, respectivamente. También influye la altitud, su extensión territorial y su posición entre los océanos Pacífico y Atlántico, donde se originan diversos fenómenos atmosféricos según la época del año; como en el invierno cuando el país se encuentra bajo los efectos de frentes fríos y masa polares descendentes del norte que originan bruscos descensos de temperatura.

Los descensos de temperatura son más notables en las elevaciones serranas, principalmente en la de San pedro Mártir, en Baja California, así como en los estados de Chihuahua y Durango; no obstante, también se presentan en la región central del país, como en el Nevado de Toluca, la Sierra del Ajusco, la Sierra Nevada y algunas zonas de la Sierra Madre Oriental, como en el Pico de Orizaba y Cofre de Perote. De acuerdo con lo anterior, las regiones donde es más común la incidencia de bajas temperaturas que se traducen en heladas y nevadas se relacionan estrechamente con los grandes sistemas orográficos de México Figura 70.

Figura 70. Zonificación de heladas en México



Fuente: Jiménez Espinosa et al., 2012.

Con respecto a las nevadas, éstas se pueden definir como manifestaciones particulares de la precipitación, que ocurren cuando existe alta concentración de humedad y la temperatura de la atmósfera baja es igual o menor a 0º C, además de otros factores tales como: el viento y la altitud, entre otros.

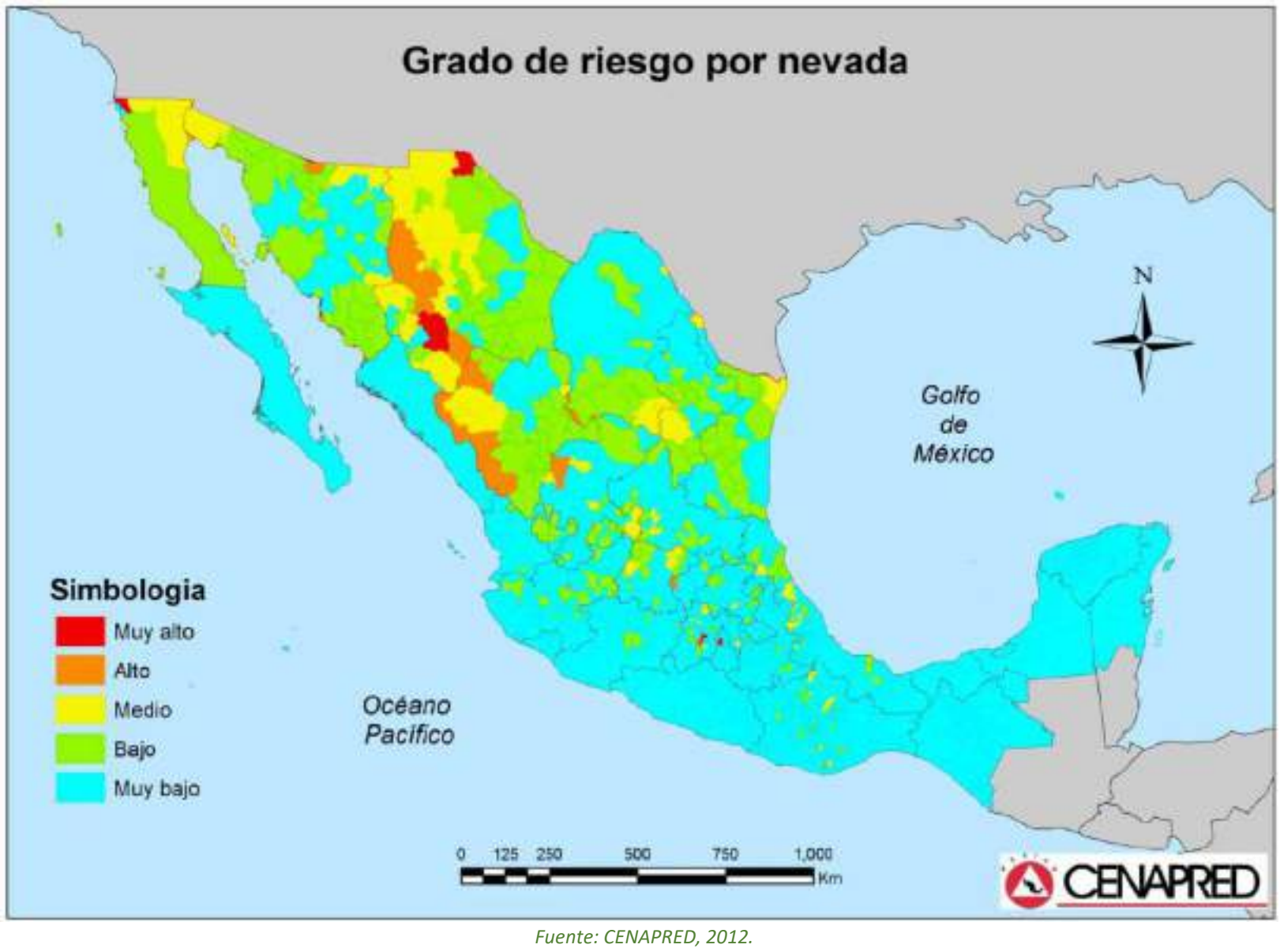
Metodología

Actualmente se carece de información meteorológica específica sobre ocurrencia de nevadas, al menos en las 27 estaciones seleccionadas para el municipio de Saltillo, por lo que se ha recurrido a la información que divulga el CENAPRED, específicamente en lo referente a tormentas de nieve, en el informe presentado por Martín Jiménez Espinoza et al., "Mapas de índices de riesgo a escala municipal por fenómenos hidrometeorológicos", Capítulo 4, p. 44, CNAPRED, 2012.

Memoria de cálculo

En el trabajo de referencia, se menciona que los municipios de Juárez y Guachochi, en Chihuahua presentan un grado de riesgo muy alto, ya que concentra el 40.5% de la población total de dicho estado. También en los estados de Baja California, Ciudad de México y México se encuentran municipios dentro de la misma categoría, los cuales representan una población del 49.4, 5.4 y 7.3%, respectivamente (Figura 71).

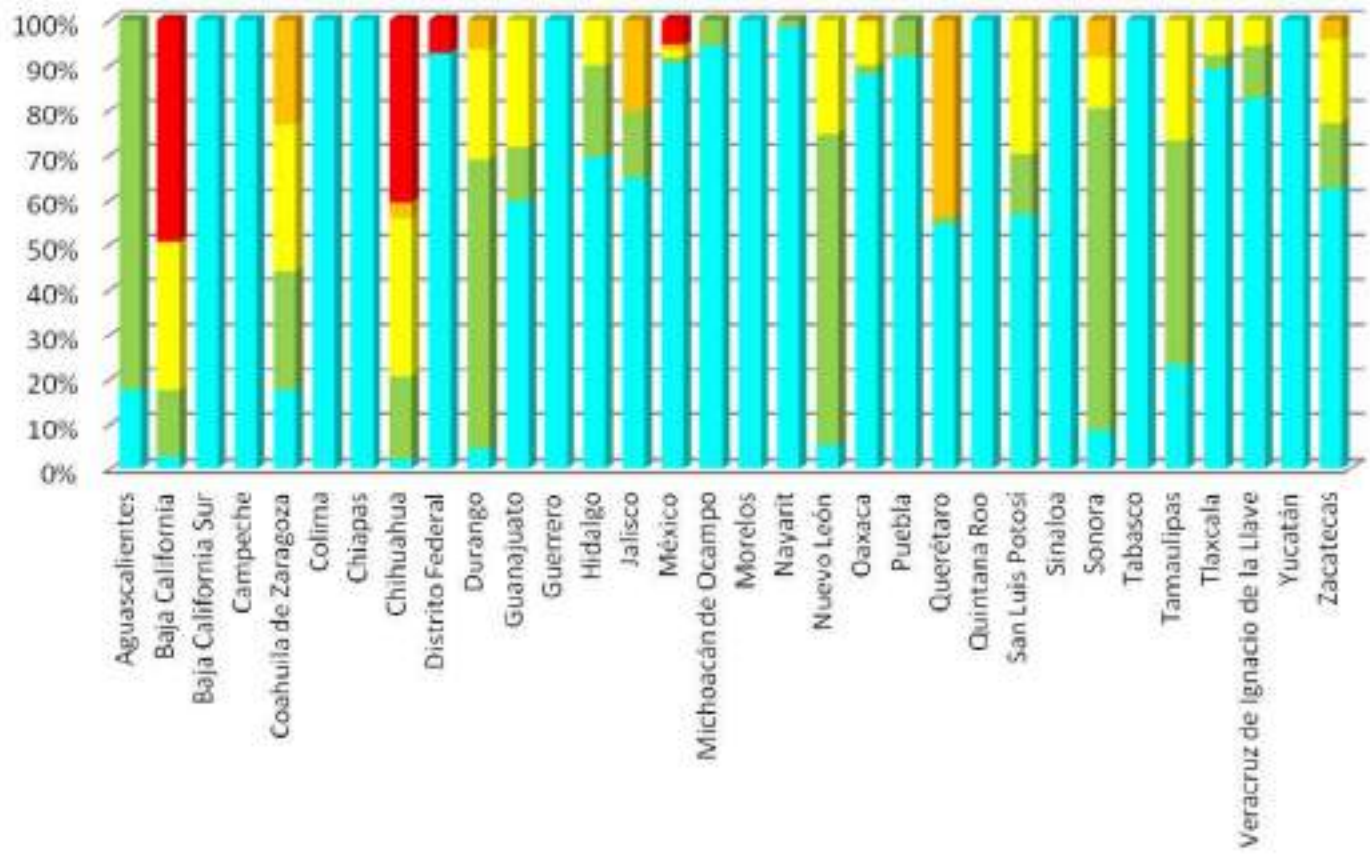
Figura 71. Grado de riesgo por nevadas.



Fuente: CENAPRED, 2012.

Con respecto al impacto del mismo fenómeno a nivel estatal, se muestra Figura 72 donde se observan los porcentajes de la población del estado de Coahuila que se encuentran bajo diferentes grados de riesgo, que varía de muy bajo a alto.

Figura 72. Porcentaje de población estatal en riesgo por nevadas.



Fuente: CENAPRED, 2012.

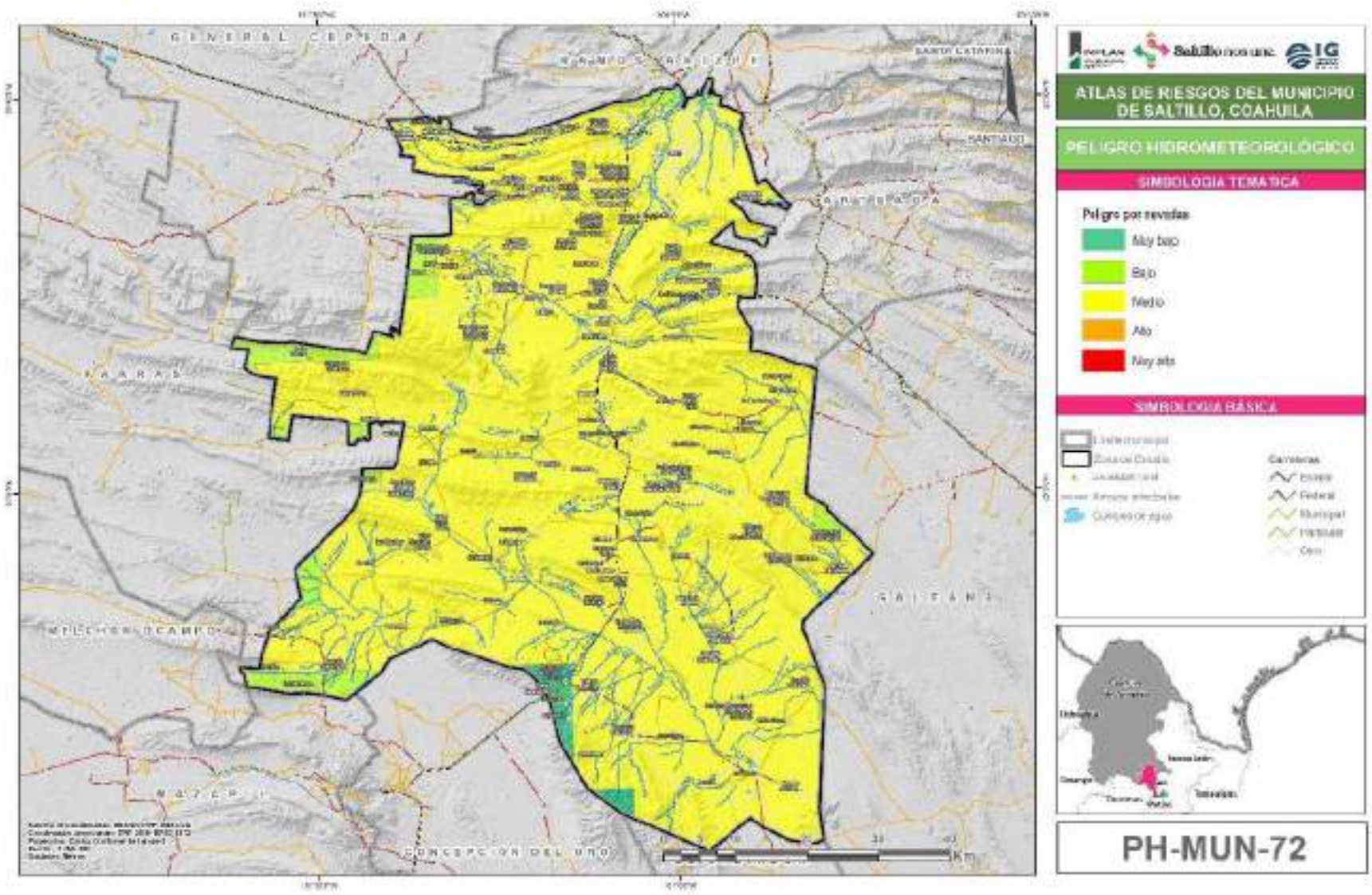
Resultados

En el Mapa 76 y el

Mapa 77, se presentan los mapas del índice de peligro por nevadas en él Municipio de Saltillo y la Zona metropolitana homónima, respectivamente, según los datos vectoriales disponibles en el portal: http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/descargas/?dir=hidrometeorologicos.

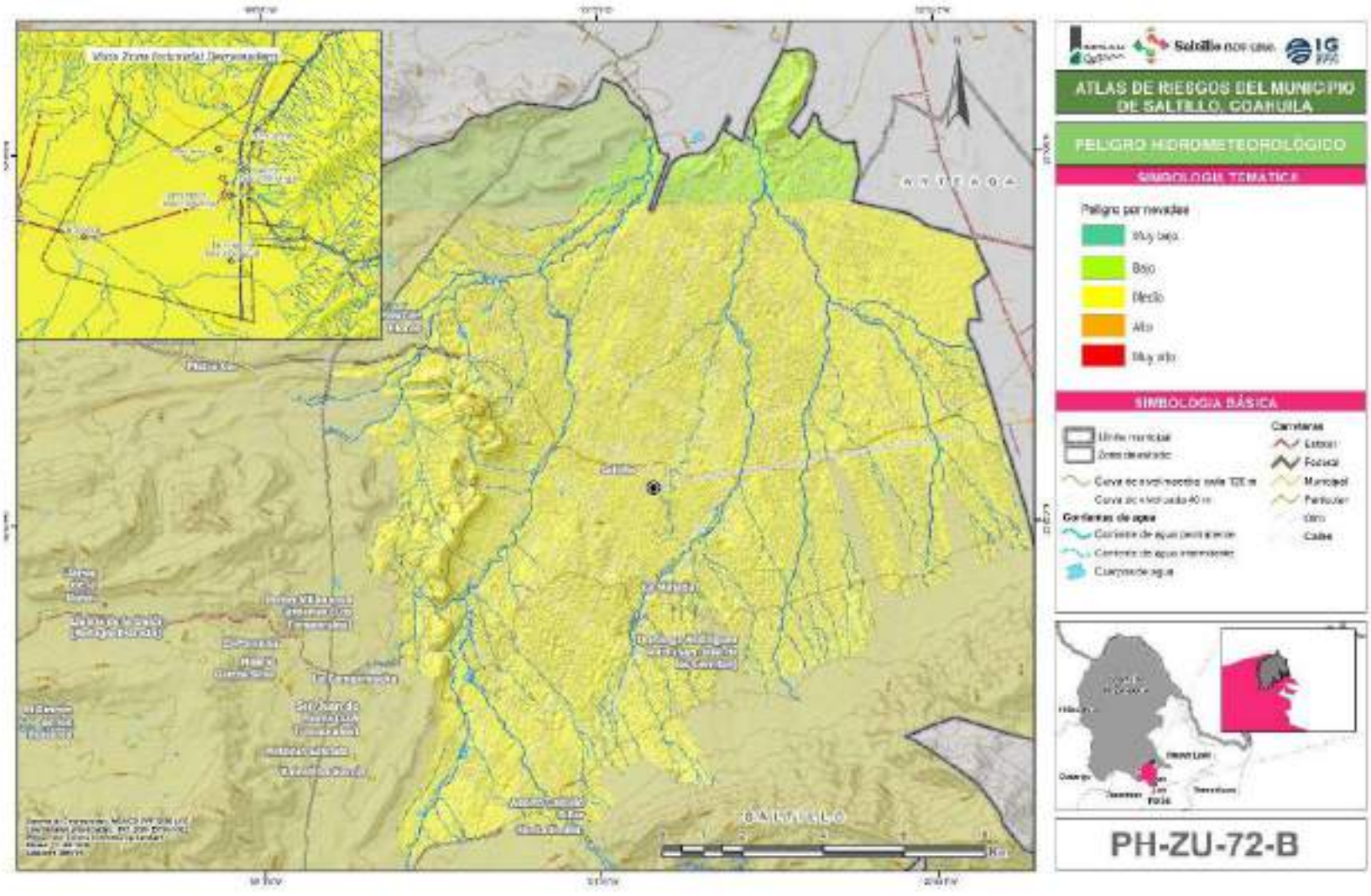
De los mapas mencionados, se tiene que, prácticamente la totalidad del municipio de Saltillo, Coah. presenta un índice de peligro medio por la ocurrencia de nevadas en un año cualquiera, es decir, se tiene una probabilidad que varía entre el 13 y 30% de que se presente dicho fenómeno en todo el territorio municipal.

Mapa 76. Índice de peligro por nevadas según probabilidad de ocurrencia en un año cualquiera para el municipio de Saltillo, Coah.



Fuente: Formado a partir de datos vectoriales obtenidos en http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/descargas/?dir=hidrometeorologicos.

Mapa 77. Índice de peligro por nevadas según probabilidad de ocurrencia en un año cualquiera, para la Zona metropolitana de Saltillo, Coah.



Fuente: Formado a partir de datos vectoriales obtenidos en http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/descargas/?dir=hidrometeorologicos.

Tormentas eléctricas

Introducción / Antecedentes

Las tormentas eléctricas son fenómenos meteorológicos que, debido a la descarga de grandes cantidades de electricidad estática acumulada en las nubes, se manifiestan por un fuerte destello (relámpago o rayo) y estruendo o trueno (*Figura X*), que puede causar daños en los sistemas eléctricos por corto circuito, incendios forestales; y peor aún, heridas serias o la muerte, a las personas y animales.

Estas tormentas se encuentran asociadas a nubes de tipo cumulunimbus y pueden estar acompañadas por lluvia en forma de chubascos; pero también puede ser nieve o granizo (OMM, 1993). Generalmente son de carácter local, pero en ocasiones pueden durar varias horas y recorrer grandes distancias (Tormentas de supercélula). Los cumulunimbus son nubes altas, oscuras y muy inestables producidas por el encuentro de masas de aire caliente y húmedo con masas de aire frío.

Los rayos pueden ser de tres tipos:

1. Nube-aire. La electricidad se desplaza desde la nube hacia una masa de aire de carga opuesta.
2. Nube-nube. El rayo puede producirse dentro de una nube con zonas cargadas con signos contrarios.
3. Nube-suelo Las cargas negativas de las nubes son atraídas por las cargas positivas del suelo (Figura 73).

Figura 73. Descarga eléctrica nube-suelo.



Fuente: https://www.infocampo.com.ar

Las tormentas eléctricas en México se presentan entre mayo y octubre (CENAPRED), es decir, durante la temporada de lluvias. Ocurren frecuentemente durante horas de la tarde y noche. Además, su incidencia es local o regional y son intermitentes como resultado de la topografía del país (UNAM, 2007). El promedio anual de días con tormenta es de 30 y el máximo de 100 sobre las sierras Madre Oriental, Madre Occidental, Madre del Sur, Madre de Chiapas, Montañas del Norte de Chiapas y Faja Volcánica Transmexicana o Eje Neovolcánico.

Metodología

Parte de la metodología empleada, se encuentra referida en M.Jiménez Espinoza et al., "ANÁLISIS DEL PELIGRO Y VULNERABILIDAD POR BAJAS TEMPERATURAS Y NEVADAS", p. 321, CENAPRED, 2008; así como la interpolación de los valores de probabilidad de ocurrencia del fenómeno, estableciendo una escala cualitativa de nivel de peligro.
En términos generales, dicha metodología consiste en:

1. Recopilación y revisión de datos sobre ocurrencia de tormentas eléctricas en las 27 estaciones meteorológicas seleccionadas para los análisis hidrometeorológicos realizados.
2. Análisis estadístico sobre el número de días con tormentas eléctricas anuales, reportados en cada estación meteorológica a lo largo del tiempo de su operación.
3. Aplicación de la función de distribución discreta de probabilidad de Poisson.
4. Modelación cartográfica de índice de peligro por tormentas eléctricas.

Memoria de cálculo

Los datos sobre tormentas eléctricas considerados para su análisis, corresponden con las estaciones meteorológicas mostradas en la Tabla 100.

Tabla 100. Estaciones meteorológicas analizadas para la obtención de datos sobre tormentas eléctricas

ID	CLAVE	NOMBRE	Coordenadas UTM WGS-84		ASNM (m)
			X	Y	
1	5003	ARTEAGA (SMN)	313,982.19	2,816,067.93	1,660
2	5016	GENERAL CEPEDA	250,923.11	2,809,671.61	1,400
3	5032	RAMOS ARIZPE (SMN)	300,709.80	2,825,492.28	1,470
4	5035	SAN ANTONIO LAS ALAZANAS (DGE)	340,959.15	2,796,057.86	2,180
5	5048	SALTILLO (DGE)	298,868.22	2,814,435.83	1,700
6	5049	SAN ANTONIO LAS ALAZANAS (SMN)	337,221.52	2,797,298.76	2,300
7	5081	CARNEROS	287,144.48	2,779,811.85	2,100
8	5136	LAS HORMIGAS	312,165.70	2,761,839.13	2,110
9	5140	RAMOS ARIZPE (DGE)	303,989.17	2,826,093.76	1,400
10	5141	GOMEZ FARIAS	295,035.39	2,762,483.55	1,920
11	5142	HIPOLITO	258,687.34	2,844,469.91	1,150
12	5145	SAN JUAN DE LA VAQUERIA	276,408.64	2,794,999.49	1,840
13	5146	HUACHICHIL	315,657.60	2,789,244.60	2,100
14	5149	CIENEGA DE LA PURISIMA	345,991.44	2,803,266.25	2,420
15	5162	DOS DE ABRIL	240,562.06	2,807,832.97	1,550
16	5170	LA ROSA	260,195.34	2,824,492.35	1,680
17	5175	LA VENTURA	308,733.38	2,726,191.28	1,867
18	5176	JAME	336,940.84	2,806,563.18	2,759
19	19002	AGUA BLANCA	346,976.90	2,826,085.63	2,193
20	19031	LA CRUZ	346,979.70	2,826,329.31	2,224

ID	CLAVE	NOMBRE	Coordenadas UTM WGS-84		ASNM (m)
			X	Y	
21	19032	CARBONERA	319,409.25	2,745,091.36	2,035
22	19054	RINCONADA	327,638.96	2,841,488.20	1,000
23	19057	SAN RAFAEL	343,752.33	2,768,764.39	1,887
24	19115	EL CUIJE	332,369.12	2,777,916.52	1,875
25	19129	EL PEÑUELO	320,462.13	2,717,815.32	1,840
26	32036	MAZAPIL	241,293.45	2,727,559.62	2,274
27	32087	CONCEPCIÓN DEL ORO	258,106.66	2,725,129.15	1,940

Fuente: Elaboración propia con base en información del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

La función de distribución discreta de probabilidad de Poisson se expresa según la siguiente ecuación:

$$p(x,\lambda) = \frac{e^{-\lambda}\lambda^{x}}{x!}$$

Donde:

P = la probabilidad de que no ocurra una tormenta eléctrica

q = probabilidad de que ocurra una tormenta eléctrica (ya que *p* + *q* = 1)

λ = Parámetro de la distribución de Poisson que representa el número promedio de ocurrencias del evento aleatorio por unidad de tiempo

x = Número de eventos que ocurren en el tiempo o el espacio

De la aplicación de la función de Poisson se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 101.

Tabla 101. Cálculo de Probabilidad de Ocurrencia de Tormentas Eléctricas en el Municipio de Saltillo, Coah.

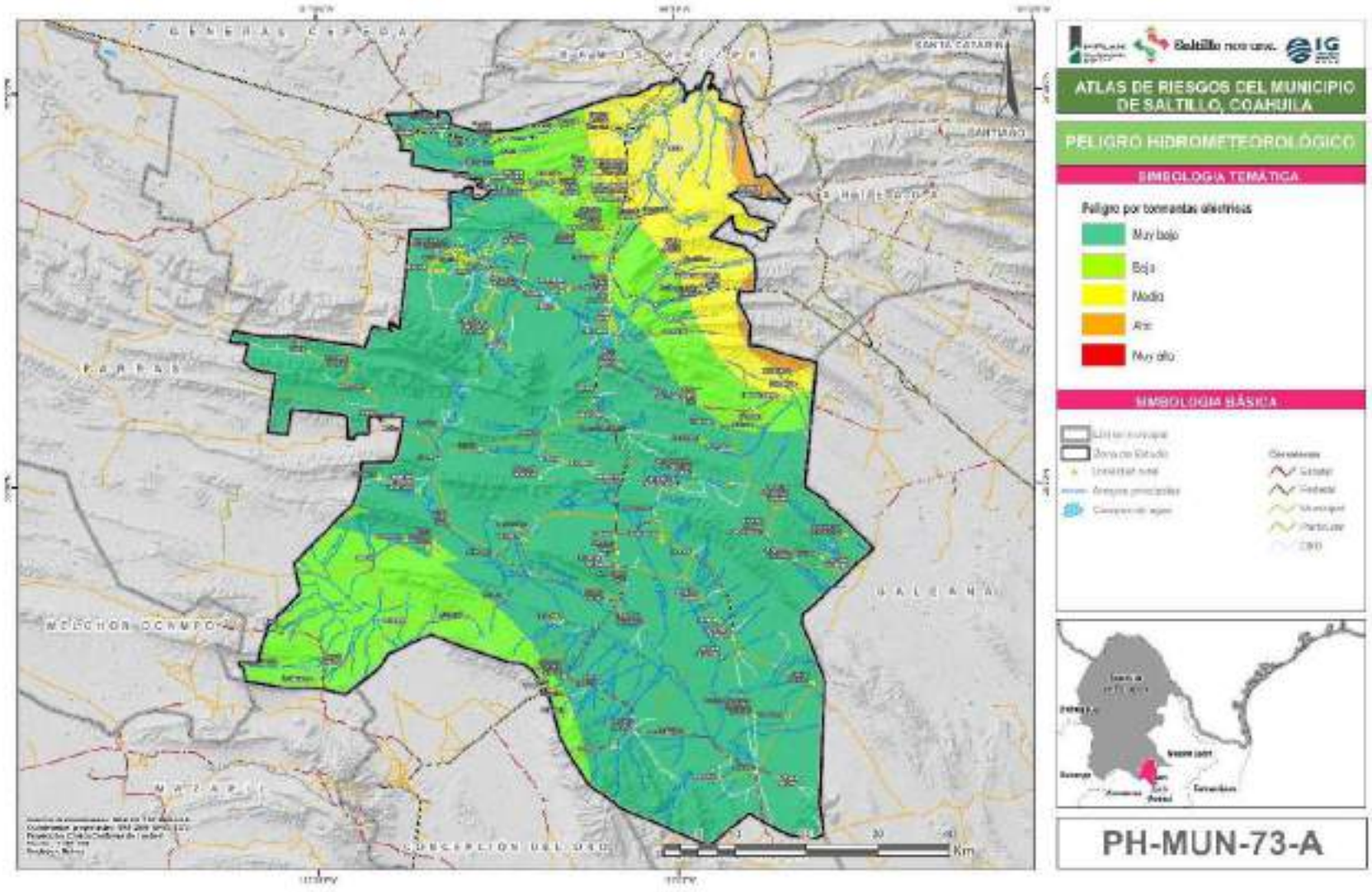
ID	CLAVE	NOMBRE	Torm.Elec.Anuales		Probabilidad	
			Anual	Promedio	No ocurre	Ocurre
1	5003	ARTEAGA (SMN)	14.5	0.25	0.78	0.22
2	5016	GENERAL CEPEDA	2.4	0.03	0.97	0.03
3	5032	RAMOS ARIZPE (SMN)	6.6	0.11	0.89	0.11
4	5035	SAN ANTONIO LAS ALAZANAS (DGE)	0.0	0.00	1.00	0.00
5	5048	SALTILLO (DGE)	8.6	0.12	0.88	0.12
6	5049	SAN ANTONIO LAS ALAZANAS (SMN)	0.2	0.00	1.00	0.00
7	5081	CARNEROS	0.0	0.00	1.00	0.00
8	5136	LAS HORMIGAS	0.1	0.00	1.00	0.00
9	5140	RAMOS ARIZPE (DGE)	3.4	0.09	0.91	0.09
10	5141	GOMEZ FARIAS	0.2	0.01	0.99	0.01
11	5142	HIPOLITO	0.0	0.00	1.00	0.00
12	5145	SAN JUAN DE LA VAQUERIA	0.0	0.00	1.00	0.00
13	5146	HUACHICHIL	9.0	0.24	0.79	0.21
14	5149	CIENEGA DE LA PURISIMA	0.0	0.00	1.00	0.00
15	5162	DOS DE ABRIL	1.1	0.02	0.98	0.02
16	5170	LA ROSA	0.0	0.00	1.00	0.00
17	5175	LA VENTURA	0.2	0.01	0.99	0.01
18	5176	JAME	0.2	0.01	0.99	0.01
19	19002	AGUA BLANCA	2.3	0.05	0.95	0.05
20	19031	LA CRUZ	5.6	0.09	0.91	0.09
21	19032	CARBONERA	0.0	0.00	1.00	0.00
22	19054	RINCONADA	0.0	0.00	1.00	0.00
23	19057	SAN RAFAEL	0.2	0.00	1.00	0.00
24	19115	EL CUIJE	0.0	0.00	1.00	0.00
25	19129	EL PEÑUELO	0.0	0.00	1.00	0.00
26	32036	MAZAPIL	2.1	0.03	0.97	0.03
27	32087	CONCEPCIÓN DEL ORO	11.8	0.20	0.82	0.18

Fuente: Propia a partir de cálculos de probabilidad según función de Poisson.

Resultados

A partir de los valores de probabilidad de ocurrencia contenidos en la Tabla 101, se obtuvieron los mapas del índice de peligro por tormentas eléctricas mostrados en el Mapa 78 y el Mapa 79, que se encuentran disponibles en el anexo cartográfico correspondiente.

Mapa 78. Mapa de peligro por tormenta eléctrica en el municipio de Saltillo, Coah.

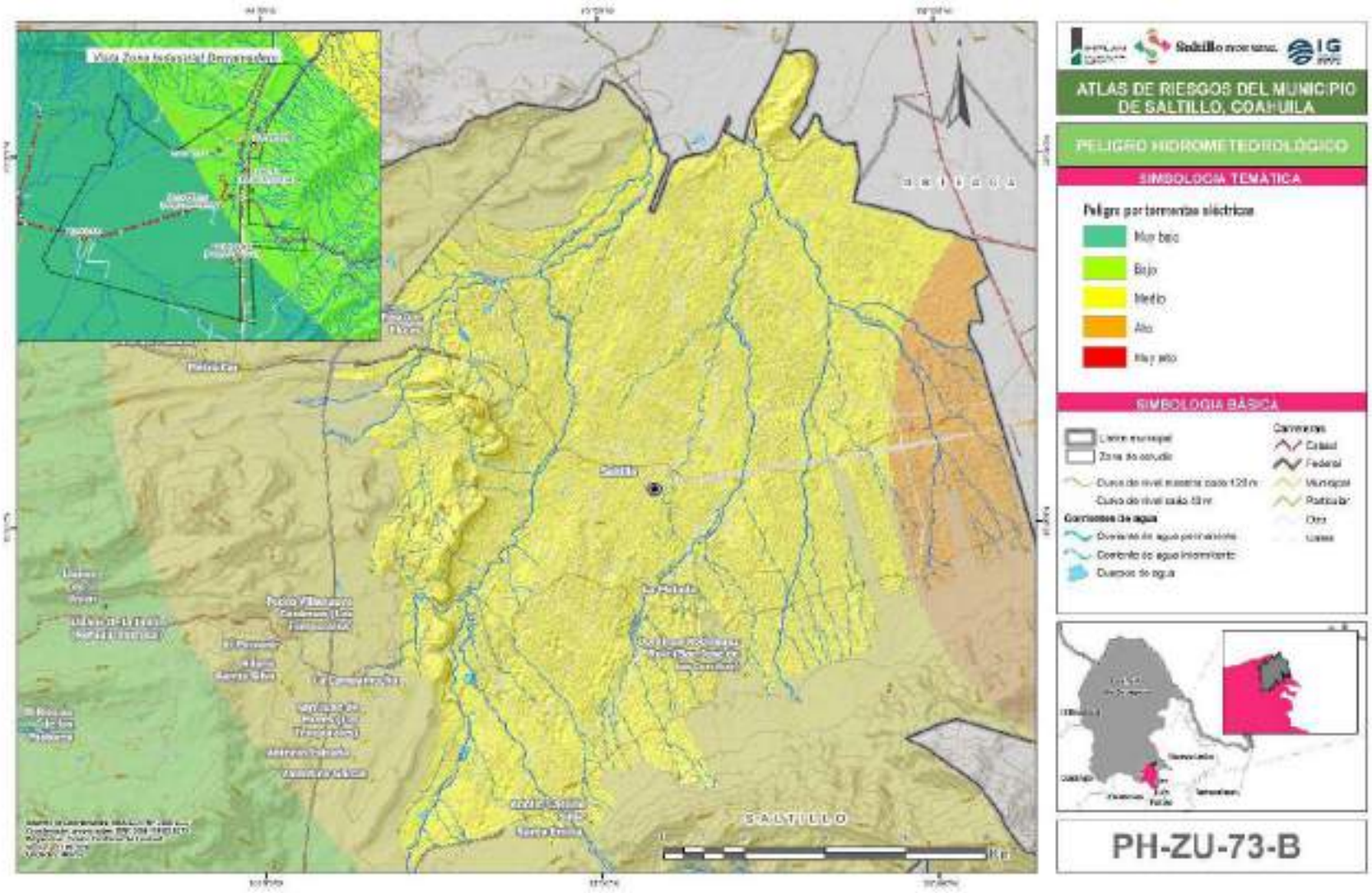


Fuente: Propia, a partir de resultados obtenidos por medio de interpolación de valores de probabilidad por el método IDW.

Para el caso del territorio municipal, se tiene que en las regiones norte y noreste la probabilidad de ocurrencia de tormentas eléctricas en un año cualquiera varía de media a muy alta, presentándose valores medios en la mayor parte de la Zona Metropolitana de Saltillo y un índice alto en la parte oriental de la misma ciudad (Mapa 78). Otra zona con altos índices de peligro se localiza en una pequeña porción del municipio, en este caso situada al sur-sureste de Saltillo en el límite que le separa del estado de Nuevo León.

Por otra parte, la mayoría del territorio municipal presenta un índice de peligro muy bajo a bajo, donde no se ha registrado ninguna tormenta eléctrica o su ocurrencia ha sido muy esporádica.

Mapa 79. Mapa de peligro por tormenta eléctrica en la Zona Metropolitana de Saltillo, Coah.



Fuente: Propia, a partir de resultados obtenidos por medio de interpolación de valores de probabilidad por el método IDW.

Finalmente, y de acuerdo con el Mapa 79, se observa que la mayor parte de la ciudad de Saltillo se encuentra dentro de una zona con probabilidad media en la ocurrencia de tormentas eléctricas (9% al 13%); y, en la zona conformada por las colonias: El Toreo, Loma Linda y Nuevo Mirasierra 2da. Etapa, se tienen índices de peligro altos que varían entre 13% y 17% de probabilidad de ocurrencia, también en un año cualquiera.

Por lo anterior, es muy importante que tanto las autoridades municipales como la población Saltillense estén preparadas ante dicho fenómeno, particularmente en la zona de mayor peligro.

Tormentas de polvo y arena

Introducción / Antecedentes

Las tormentas de polvo y arena (Figura 74) se producen a partir de la erosión eólica (viento) en suelos desérticos o semidesérticos, contribuyendo a la pérdida de la fertilidad del suelo, la contaminación del aire e incluso la alteración de la radiación atmosférica de forma local.

Figura 74. Tolvanera en zona nororiente de la Ciudad de México.



Fuente: Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM: https://www.atmosfera.unam.mx/fuertes-tolvaneras-provocan-una-calidad-del-aire-extremadamente-mala-en-el-valle-de-mexico/

Los principales factores condicionantes que se consideran para que se presente dicho fenómeno son:

1. Condiciones meteorológicas que dan lugar al incremento de la intensidad del viento
2. Condiciones de aridez y deforestación
3. Características granulométricas y humedad del suelo
4. Relieve
5. Clima

Uno de los procesos de degradación ambiental producidos por la acción humana es la desertificación, que deriva de la combinación de sequías severas y recurrentes y de la sobreexplotación. Ésta incluye: la deforestación, el sobrepastoreo; el abandono de la práctica de dejar tierras en barbecho y prácticas agrícolas inadecuadas como el monocultivo, particularmente en ecosistemas frágiles, y la sobreexplotación de los recursos acuíferos.

Las tormentas de arena que afectan grandes extensiones territoriales son eventos catastróficos desencadenados por la desertificación, y no solamente afectan la productividad de los suelos, sino que también producen daños a la salud y perturban actividades humanas como la educación, la industria y el transporte.

Dentro de los principales efectos causados por las tormentas de polvo y arena, se tiene la reducción de la calidad del aire. La calidad del aire es un parámetro cuyos valores varían de 0 a 500, donde el valor más alto representa una contaminación con efectos muy dañinos para la salud. Los contaminantes que se consideran en el monitoreo de la calidad del aire son: ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), partículas suspendidas iguales o mayores a 10 micrómetros (PM_{10}) y partículas suspendidas iguales o menores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$). Durante el desarrollo de las tormentas de polvo las partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ presentan un drástico incremento, disminuyendo la calidad del aire (Fuente: Guevara, M., Miranda, L y Álvarez, C., “Tolvaneras de arena y tolvaneras en México”, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, p. 9 a 14, Universitarios Potosino, 2024.)

Los principales efectos a la salud debido a partículas mayores a 10 micrómetros (µm) son superficiales, causando irritación en piel y ojos. Inhalar polvo atmosférico fino (2.5 µm) puede causar o empeorar enfermedades respiratorias ya que penetra profundamente en el tejido pulmonar. Tampoco se pueden descartar enfermedades infecciosas trasmitidas por el polvo, como esporas de hongos *Coccidioides*, que se encuentran principalmente en suelos de regiones áridas y semiáridas.

Metodología

Debido a la carencia de datos meteorológicos relacionados con la dirección y velocidad del viento en las 27 estaciones climatológicas seleccionadas, además de la escasa bibliografía existente sobre el tema, se utilizó un criterio heurístico consistente en el análisis multicriterio ponderado de dos factores condicionantes y un desencadenante; para posteriormente modelar los de mapas de peligro por tormentas de arena y polvo. Los factores considerados son:

Factores condicionantes:

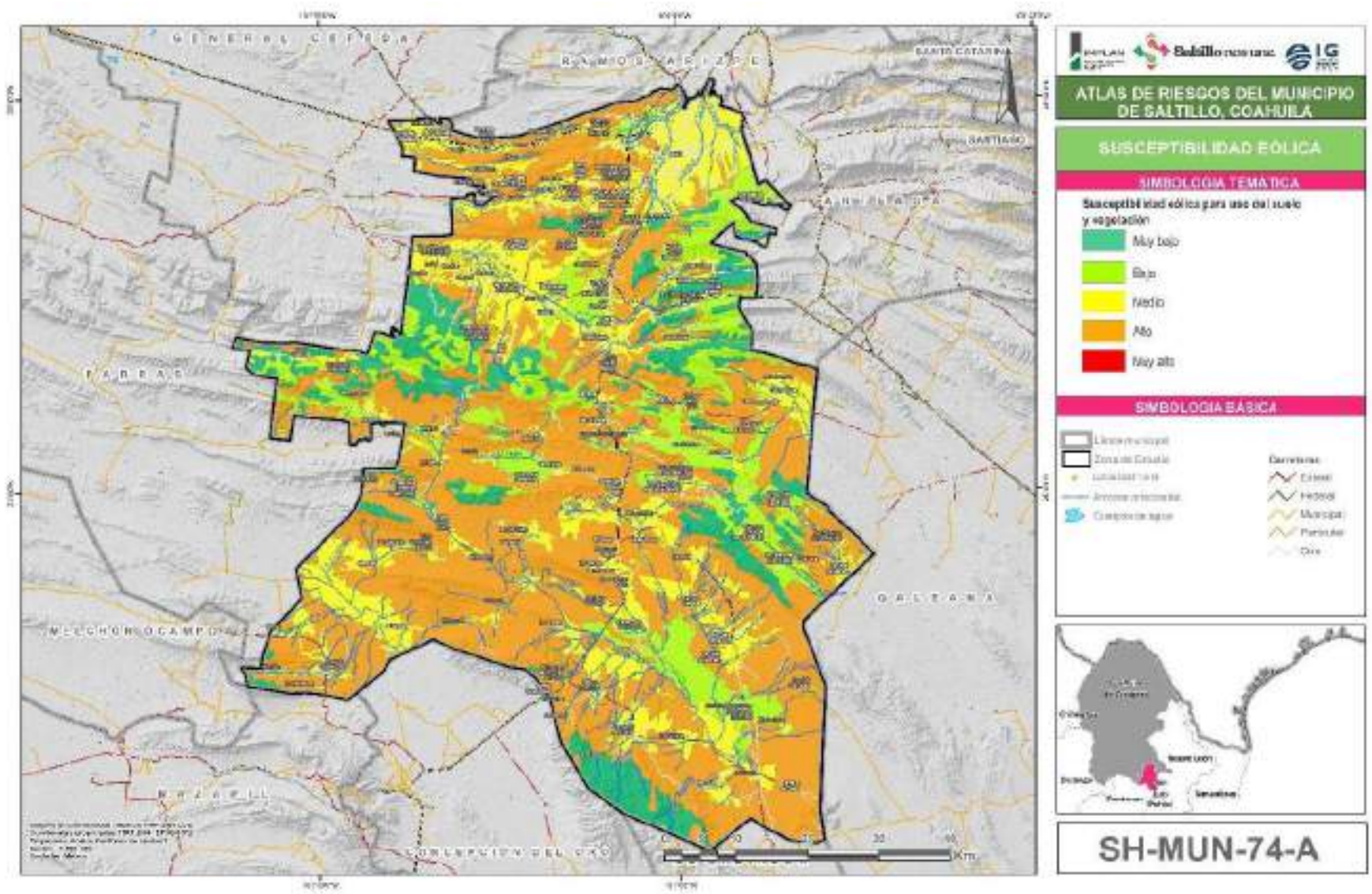
1) Uso del suelo y vegetación
2) Erodabilidad de unidades geológicas

Factor desencadenante:

1) Zonificación eólica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE)

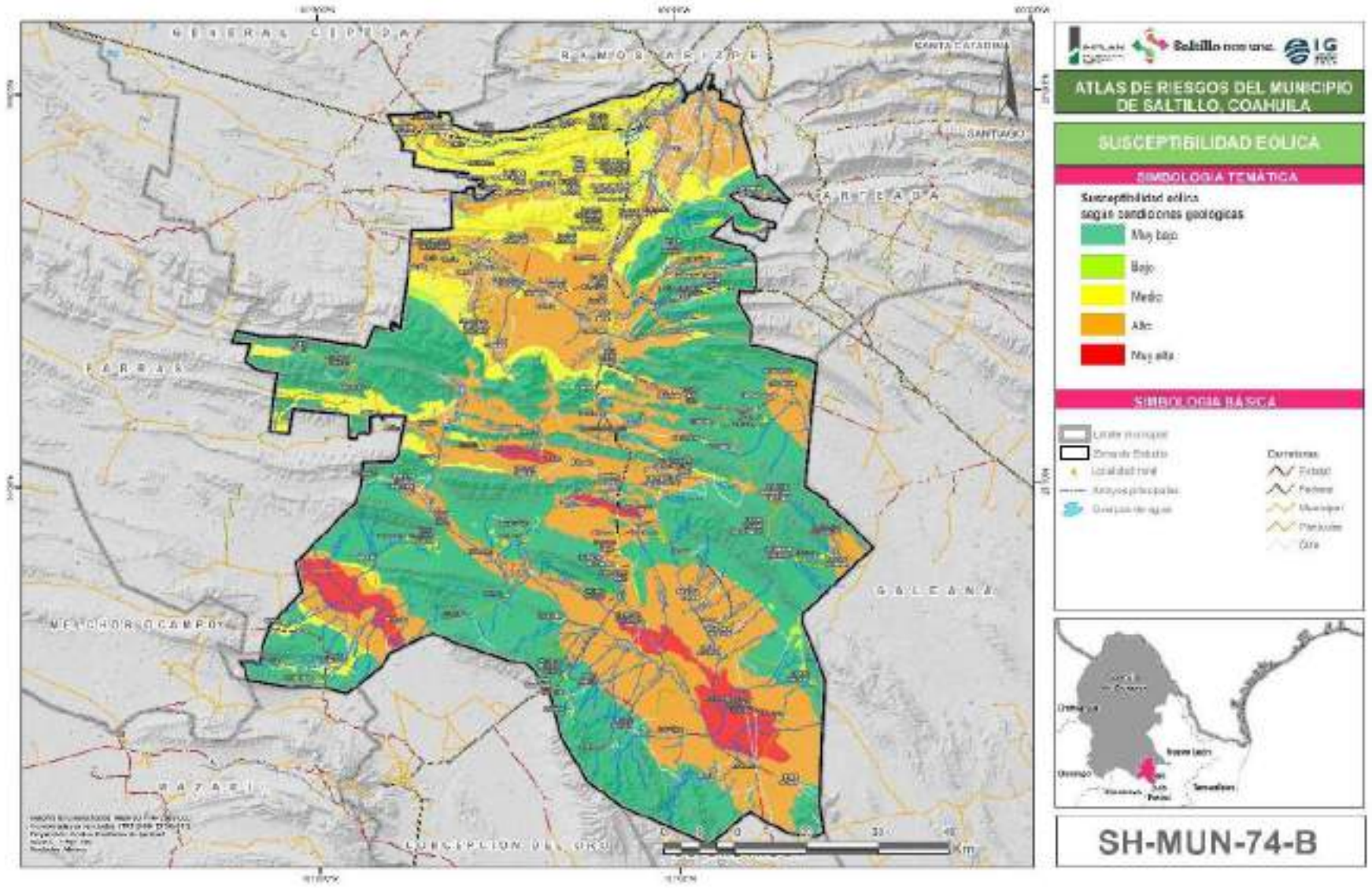
Los mapas de los factores mencionados se muestran a continuación en el Mapa 80, Mapa 81 y Mapa 82.

Mapa 80. Valores de susceptibilidad eólica para uso del suelo y vegetación en el municipio de Saltillo, Coah.



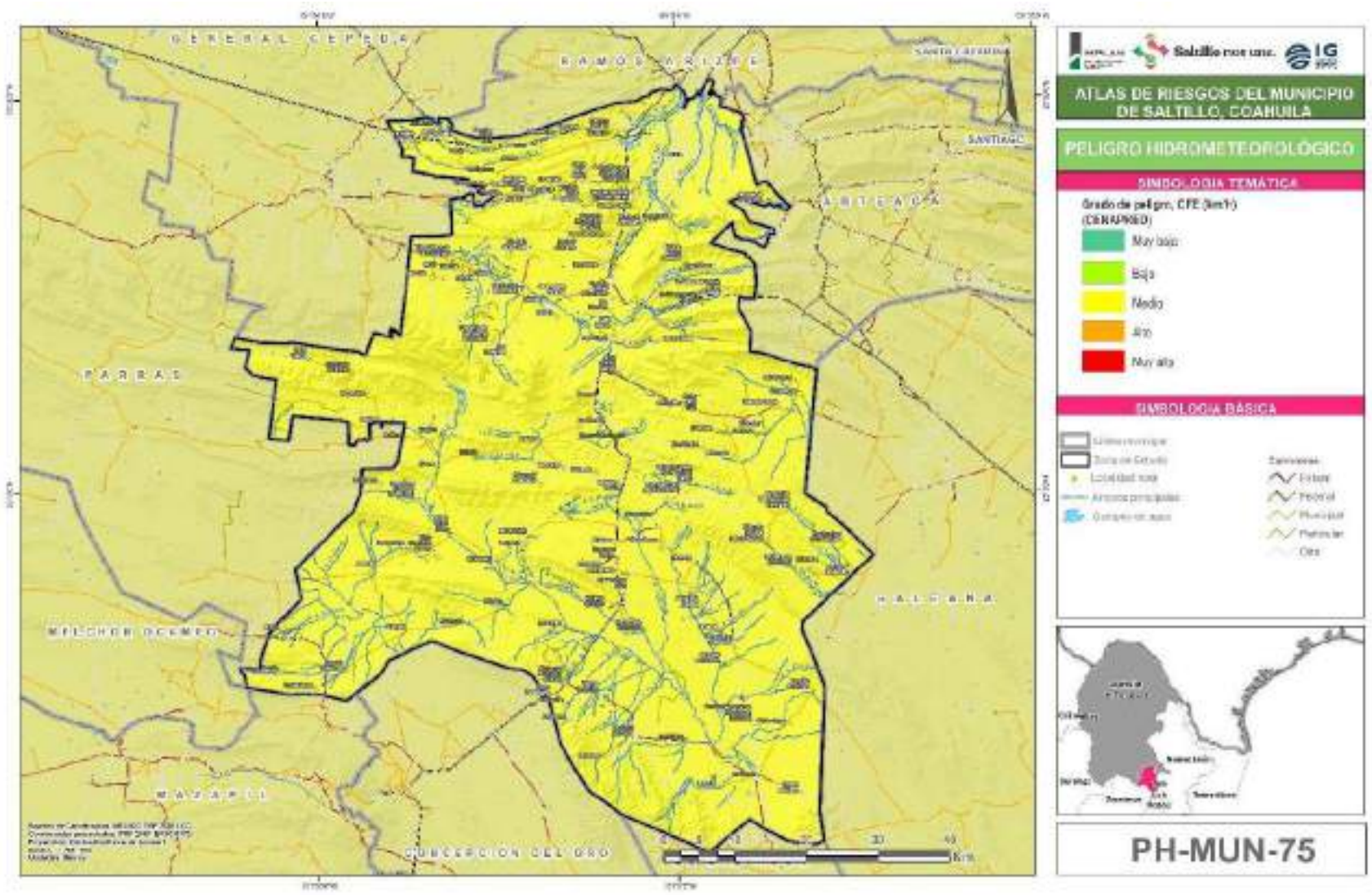
Fuente: Propia a partir de datos vectoriales del INEGI.

Mapa 81. Valores de susceptibilidad eólica para las condiciones geológicas del municipio de Saltillo, Coah.



Fuente: Propia a partir de datos vectoriales del INEGI.

Mapa 82. Grado de peligro por viento, según zonificación eólica de CFE en el municipio de Saltillo, Coah.



Fuente: Formado a partir de datos vectoriales del CENAPRED.

Memoria de cálculo

De acuerdo con los criterios establecidos en la metodología descrita, se realizó el análisis multicriterio ponderado de los factores condicionantes mencionados y el factor desencadenante también ya establecido mediante la herramienta de superposición ponderada de ArcGis 10.4, cuyos valores se muestran en la Tabla 102 siguiente.

Tabla 102. Pesos absolutos determinados para el análisis multicriterio.

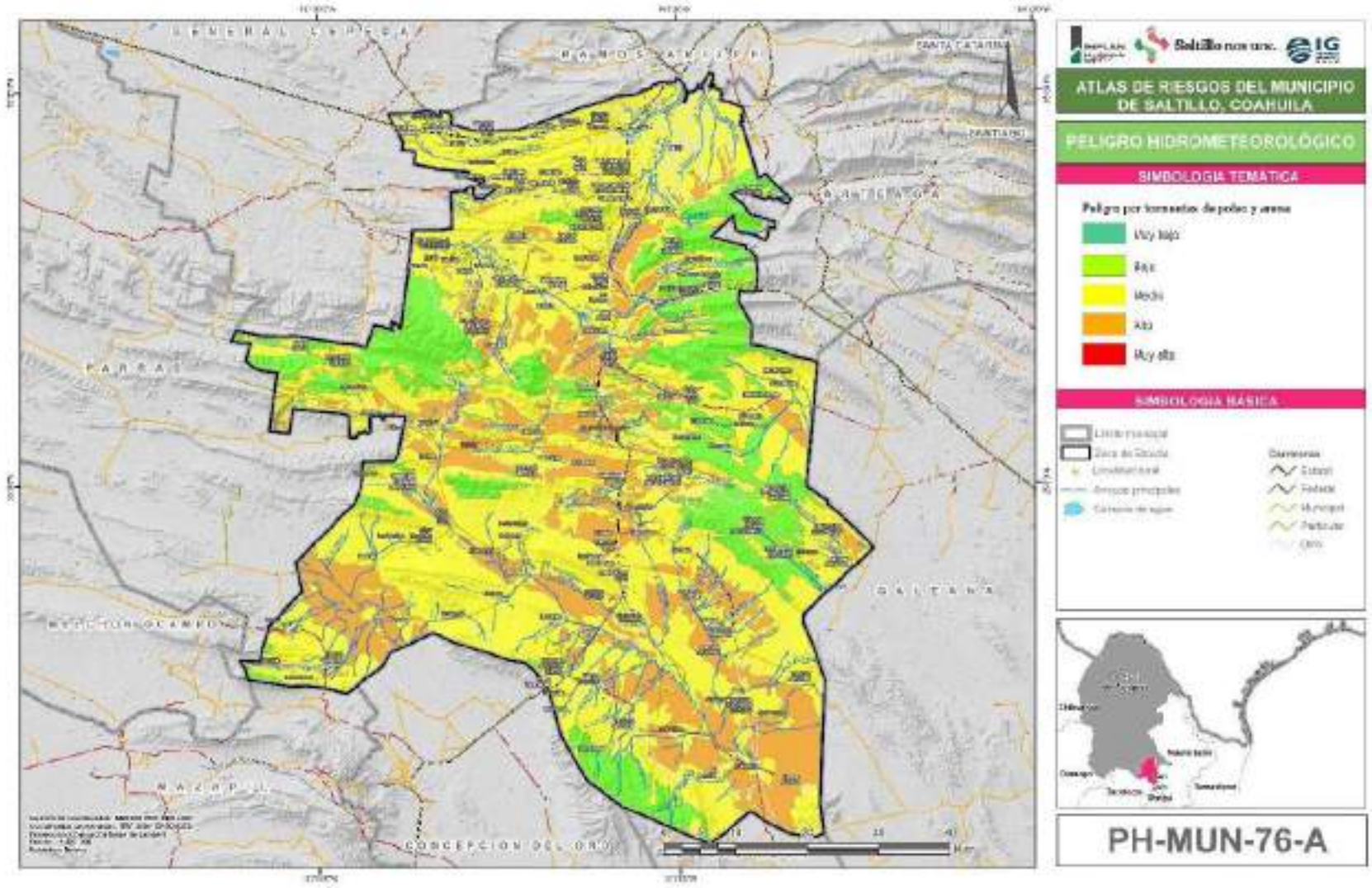
Condicionante	Peso	
Uso del suelo y vegetación	30	
Litología	20	
Desencadenante		
Zonificación eólica CFE	50	

Fuente: Propia

Resultados

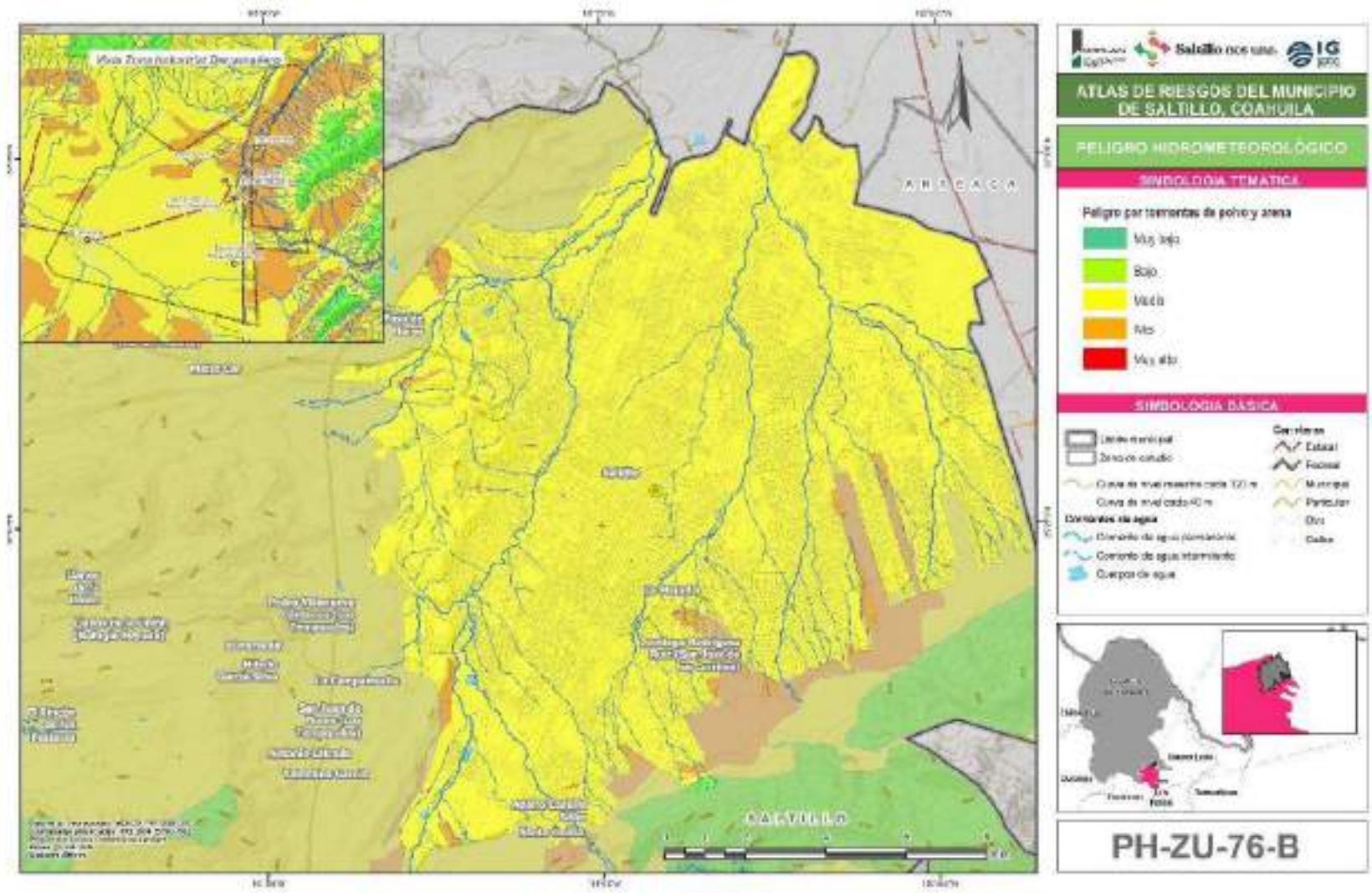
Del proceso geomático descrito, se obtuvieron los mapas de índices de peligro por tormentas de polvo y arena, que muestran el grado de susceptibilidad a la erosión eólica y por consiguiente, las fuentes generadora de polvaredas cuando se presentan fuertes vientos que inciden en dichas superficies. En el Mapa 83 y el Mapa 84se muestran los mapas de este peligro a nivel municipal y en la Zona Metropolitana de Saltillo, respectivamente.

Mapa 83. Índices de peligro por tormentas de polvo y arena en municipio de Saltillo, Coah.



Fuente: Propia, a partir de análisis multicriterio GIS.

Mapa 84. Índices de peligro por tormentas de polvo y arena en la Zona Metropolitana de Saltillo, Coah.



Fuente: Propia, a partir de análisis multicriterio GIS.

Finalmente, en la Tabla 103, se indican las características de cada índice de peligro considerado para su evaluación.

Tabla 103. Características de índices de peligro para tormentas de polvo y arena en el municipio de Saltillo, Coah.

Índice de peligro por tormentas de polvo y arena según la susceptibilidad eólica litológica y cobertura vegetal	
Índice	**Descripción**
Bajo	Áreas boscosas o cubiertas con vegetación arbustiva y pastizales, cuyo sustrato litológico consiste en roca masiva o poco fracturada, localizadas principalmente en serranías y sierras de la región.
Medio	Zonas con una densidad de vegetación media a baja, de tipo xerófita, fijada en roca intemperizada, fracturada o de tipo conglomerático, localizadas en sierras bajas, piedemonte y abanicos aluviales y coluviales.
Alto	Depósitos aluviales y lacustres, constituidos por suelos de textura fina a media, con carencia de vegetación o con muy baja densidad de la misma, zonas de cultivo temporal y deforestadas.

Fuente: Elaboración propia.

6.2 Peligros ante fenómenos perturbadores de origen antropogénico

6.2.1 Peligro por Fenómenos químico - tecnológicos

De acuerdo con la Ley General de Protección Civil, actualizada al 6 de noviembre de 2020, un fenómeno químico - tecnológico se define como: un agente perturbador resultante de la interacción violenta de diversas sustancias a nivel molecular o nuclear. Este tipo de fenómeno incluye eventos destructivos como incendios de cualquier tipo, explosiones, fugas tóxicas, radiaciones y derrames. Esta explicación ayuda a clasificar, además de gestionar los riesgos asociados a sustancias químicas y tecnológicas en diferentes entornos.

La actividad productiva en instalaciones industriales implica una serie de procesos complejos que abarcan desde la manipulación hasta el almacenamiento, así como transporte de una amplia gama de sustancias químicas. Estos materiales son vitales para la fabricación de diversos productos, pero muchas de ellos también pueden representar riesgos significativos para la salud humana y el medio ambiente debido a sus propiedades peligrosas.

Entre los riesgos más comunes asociados con estas sustancias se encuentran la toxicidad, la inflamabilidad, la explosividad, la reactividad y la corrosividad. Por lo tanto, es fundamental que se establezcan regulaciones, también medidas de seguridad adecuadas para mitigar estos riesgos para garantizar un entorno laboral seguro.

En este sentido, varias entidades gubernamentales desempeñan un papel crucial tanto en la regulación , como en la supervisión de estas actividades. La Secretaría de Trabajo y Previsión Social, por ejemplo, clasifica las sustancias químicas peligrosas de acuerdo con la NOM-018-STPS-2000, que establece un sistema para identificar, además de comunicar los peligros y riesgos asociados. Además, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes regula el transporte terrestre de sustancias, también de materiales peligrosos mediante

el cumplimiento del Reglamento correspondiente, que incluye la NOM-002-SCT-2003, que enumera las sustancias más comúnmente transportadas y sus regulaciones asociadas.

Por otro lado, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales desempeña un papel fundamental en la identificación, además de la regulación de actividades altamente riesgosas a través de sus listados correspondientes. Asimismo, establece normativas específicas para el manejo de residuos peligrosos mediante la NOM-052-ECOL-1993, que define las características de estos residuos, su listado y los límites que los clasifican como peligrosos debido a su impacto en el medio ambiente.

Los sistemas expuestos a peligros derivados del almacenamiento, así como transporte de sustancias peligrosas, así como de incendios, explosiones, fugas y derrames, incluyen la zona urbana, las vías de comunicación, viviendas e infraestructura básica como hospitales, clínicas, estaciones de bomberos, escuelas, entre otros lugares de interés público.

Es en este sentido que, a continuación, se exponen conceptos fundamentales sobre: identificación de peligros asociados con fenómenos químico - tecnológicos, con el fin de establecer una base sólida para el desarrollo de procedimientos que faciliten la elaboración de mapas de peligro.

6.2.2 Almacenamiento de sustancias peligrosas

Introducción / Antecedentes

En México, los principales sectores que utilizan sustancias químicas peligrosas son la industria química básica, secundaria y petroquímica, que representan aproximadamente el 40% del total. Le siguen la industria metalmecánica y metálica, con un 10%, y la industria eléctrica, con un 8%, lo que suma un total del 58%. El resto de los químicos peligrosos provienen del uso de plaguicidas, productos químicos en la agricultura, desechos biológico-infecciosos generados por clínicas, así como hospitales, y algunos productos de uso doméstico.

La peligrosidad que una sustancia puede representar para una localidad no depende únicamente de sus propiedades intrínsecas, sino también del volumen o cantidad presente, además de su ubicación. Una forma de diferenciar a las empresas que manejan sustancias y materiales peligrosos es considerando el volumen o cantidad de estos materiales en sus instalaciones.

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, además de la Secretaría de Gobernación elaboraron y publicaron en el Diario Oficial de la Federación el Primer y Segundo Listados de Actividades Altamente Riesgosas (28 de marzo de 1990 y 4 de mayo de 1992). Estos listados establecen como actividades altamente riesgosas aquellas en las cuales se maneje alguna de las sustancias incluidas en los listados en una cantidad igual o superior a la cantidad de reporte.

La cantidad de reporte se define como la cantidad mínima de sustancia peligrosa durante la producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso o disposición final, o la suma de estas, existentes en una instalación o medio de transporte determinados, que, al ser liberada, por causas naturales o derivadas de la actividad humana, ocasionaría una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.

Metodología

La Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos por fenómenos químicos, señala que para efectos de determinar el peligro por almacenamiento o manejo de sustancias peligrosas se deben llevar a cabo una identificación de las industrias o lugares en los que se usen dichas sustancias.

Para este efecto de acuerdo con el INEGI[5], los sectores, subsectores y ramas de la industria que usan alguna sustancia química peligrosa durante sus procesos se pueden observar en la Tabla 104. Estos mismos no son la excepción en el municipio de Saltillo dado su importante crecimiento industrial, así como manufacturero.

Tabla 104. Sectores, subsectores y ramas de la industria que usan o almacenan sustancias químicas peligrosas

Sector	Subsector	Rama
Minería	Minería metálica	Minería de hierro
		Minería de metales no ferrosos
Industrias manufactureras	Productos alimenticios	Carne
		Lácteos
		Aceites y grasas comestibles
		Azucarera
		Bebidas
	Papel y productos de papel	Manufactura de papel, imprenta y editorial
	Sustancias químicas	Petroquímica básica
		Fabricación de sustancias químicas básicas
		Industria de fibras artificiales y/o sintéticas
		Agroquímicos
		Pinturas
		Refinación de petróleo
		Industria del hule
		Elaboración de productos plásticos
	Productos minerales no metálicos	Fabricación de vidrio y productos de vidrio
		Fabricación de cemento, cal y otros productos minerales
		Fundición y moldeo de piezas metálicas ferrosas y no ferrosas

[5] Censo Económico. INEGI 2019

	metal-mecánica	Fabricación de estructuras metálicas, tanques y calderas industriales
		Industria automotriz
		Fabricación y/o ensamble de artículos de maquinaria, equipo y accesorios eléctricos
		Fabricación y/o ensamble de aparatos y accesorios de uso doméstico
		Fabricación y/o ensamble de equipo de transporte y sus partes
		Fabricación y/o ensamble de equipo de radio, televisión, comunicación y de uso médico
		Recubrimiento de metales
Almacenamiento de sustancias químicas	Almacenamiento y distribución	Almacenamiento de sustancias químicas
		Terminales Marítimas
		Almacenamiento de Amoniaco Anhidro
		Terminal de almacenamiento y distribución de combustibles

Fuente: CENAPRED, 2016

Adicionalmente la NORMA Oficial Mexicana NOM-028-STPS-2012, Sistema para la administración del trabajo-Seguridad en los procesos y equipos críticos que manejen sustancias químicas peligrosas enlista un total de 157 sustancias que son consideradas de muy alto riesgo para el ser humano en ciertas cantidades establecidas en la misma NOM, de estas y de acuerdo con el CENAPRED (Tabla 105), 42 son las más usadas por la industria dentro del sector primario, secundario, además del terciario.

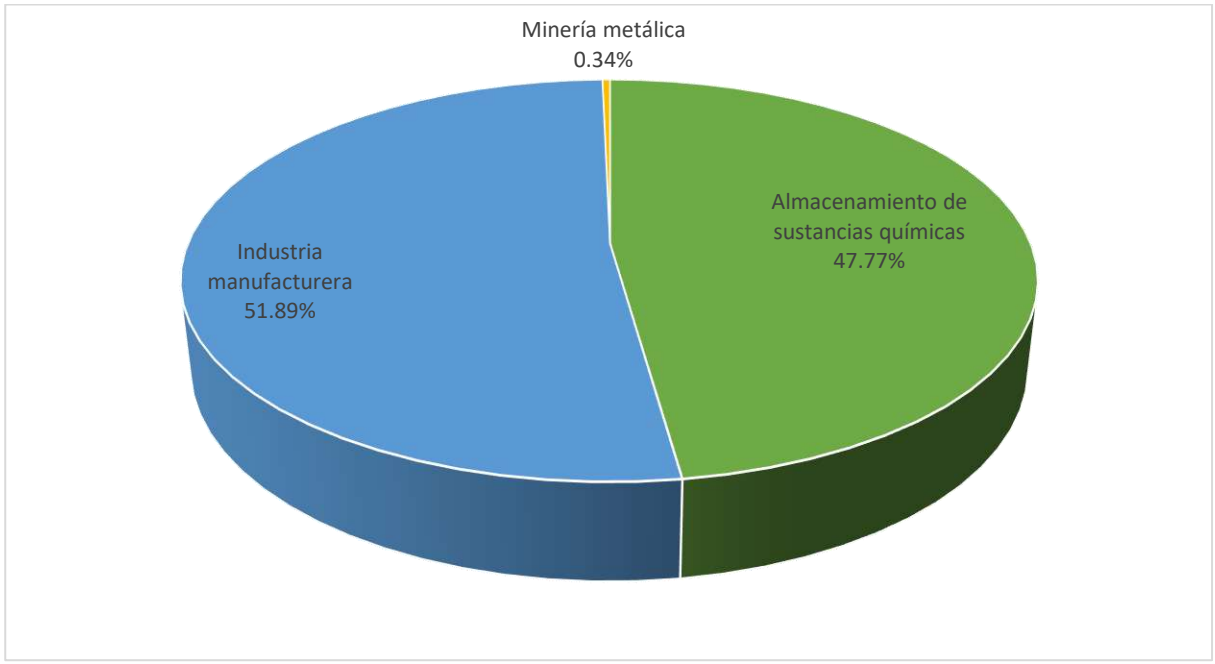
Tabla 105. Principales sustancias químicas que se utilizan en la industria

1	**Acetato de etilo**	**22**	**Dióxido de azufre**
2	Acetato de butilo	23	Disulfuro de carbono
3	Acetato de vinilo	24	Estireno
4	Acetona	25	Fenol
5	Acrilato de etilo	26	Formaldehído
6	Ácido cianhídrico	27	Gas L.P.
7	Ácido clorhídrico	28	Gasolina
8	Ácido fluorhídrico	29	Hexano
9	Ácido nítrico	30	Heptano
10	Ácido sulfúrico	31	Hidrógeno
11	Alcohol butílico	32	Hidróxido de sodio
12	Alcohol etílico	33	Metil etil cetona
13	Alcohol isopropílico	34	Metil isobutil cetona
14	Alcohol Metílico	35	Metil metacrilato
15	Amoniaco	36	Monometilamina
16	Benceno	37	Óxido de etileno
17	Bromuro de metilo	38	Óxido de propileno
18	Cianuro de sodio	39	Peróxido de hidrógeno
19	Cloro	40	Propano
20	Cloruro de vinilo	41	Tolueno
21	Dimetilamina	42	Xileno

Fuente: elaboración propia con datos de CENAPRED. 2016.

De acuerdo con el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), en 2024 existen en el municipio de Saltillo mil 166 unidades económicas dedicadas a actividades industriales relacionadas con el uso o almacenamiento de sustancias químicas peligrosas. Destacan las industrias del sector manufacturero, que representan el 63.9% del total (Gráfica 20), seguidas por las empresas que se dedican exclusivamente al almacenamiento de dichas sustancias.

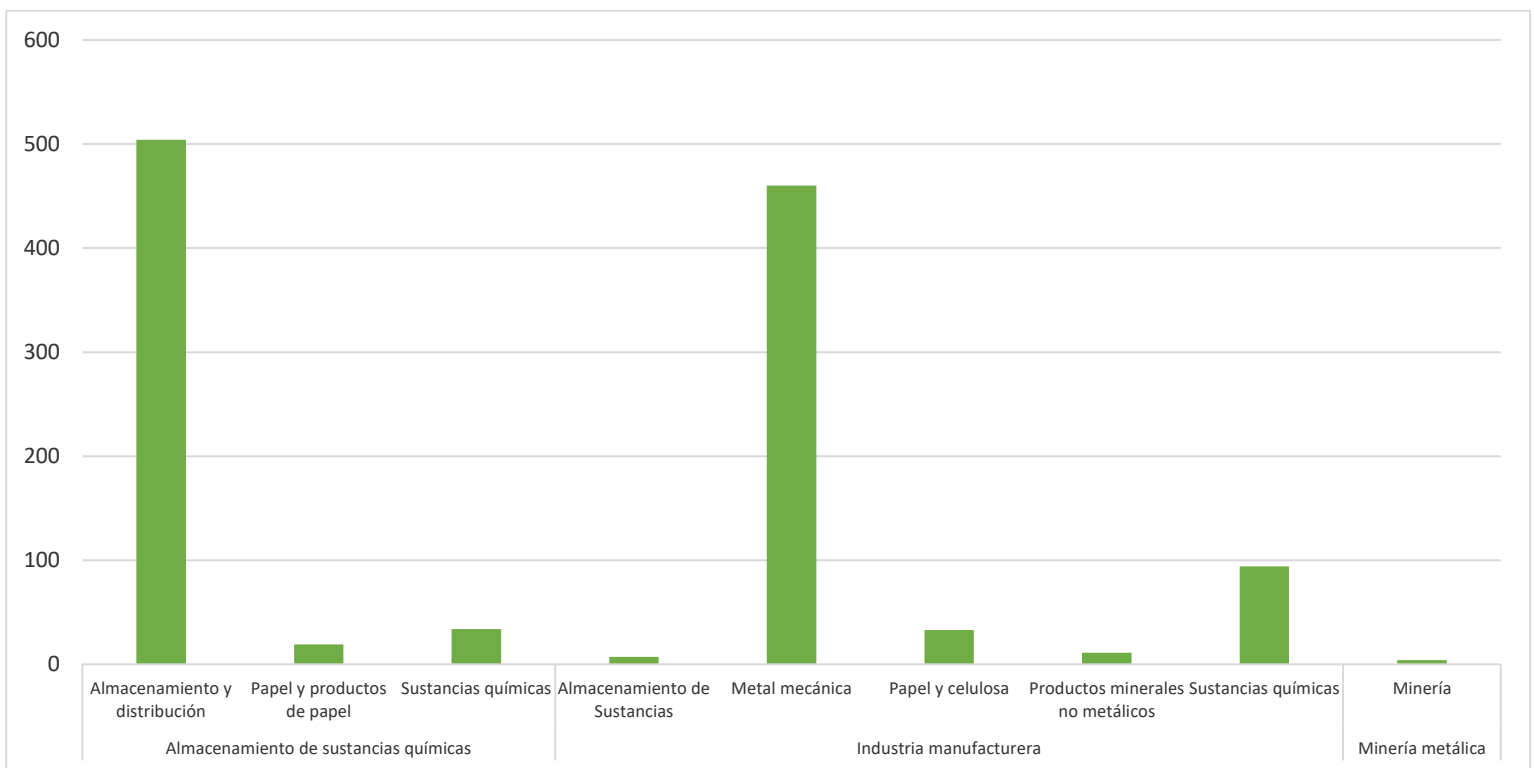
Gráfica 20. Sectores de la economía de Saltillo relacionadas al uso y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas



Fuente: elaboración propia con datos del DENUE, 2024.

Al interior del municipio estos tres sectores se encuentran divididos en ochos subsectores, de los que cinco corresponden al sector manufacturero, tres al almacenamiento de sustancias y cinco en el subsector de la minería metálica. Para el caso de la manufactura predominan los subsectores metal mecánica con el 31% del total de unidades económicas y la producción de alimentos con un 19.2%. Así mismo en el almacenamiento de sustancias, el subsector Almacenamiento y distribución es el de mayor tamaño (Gráfica 21).

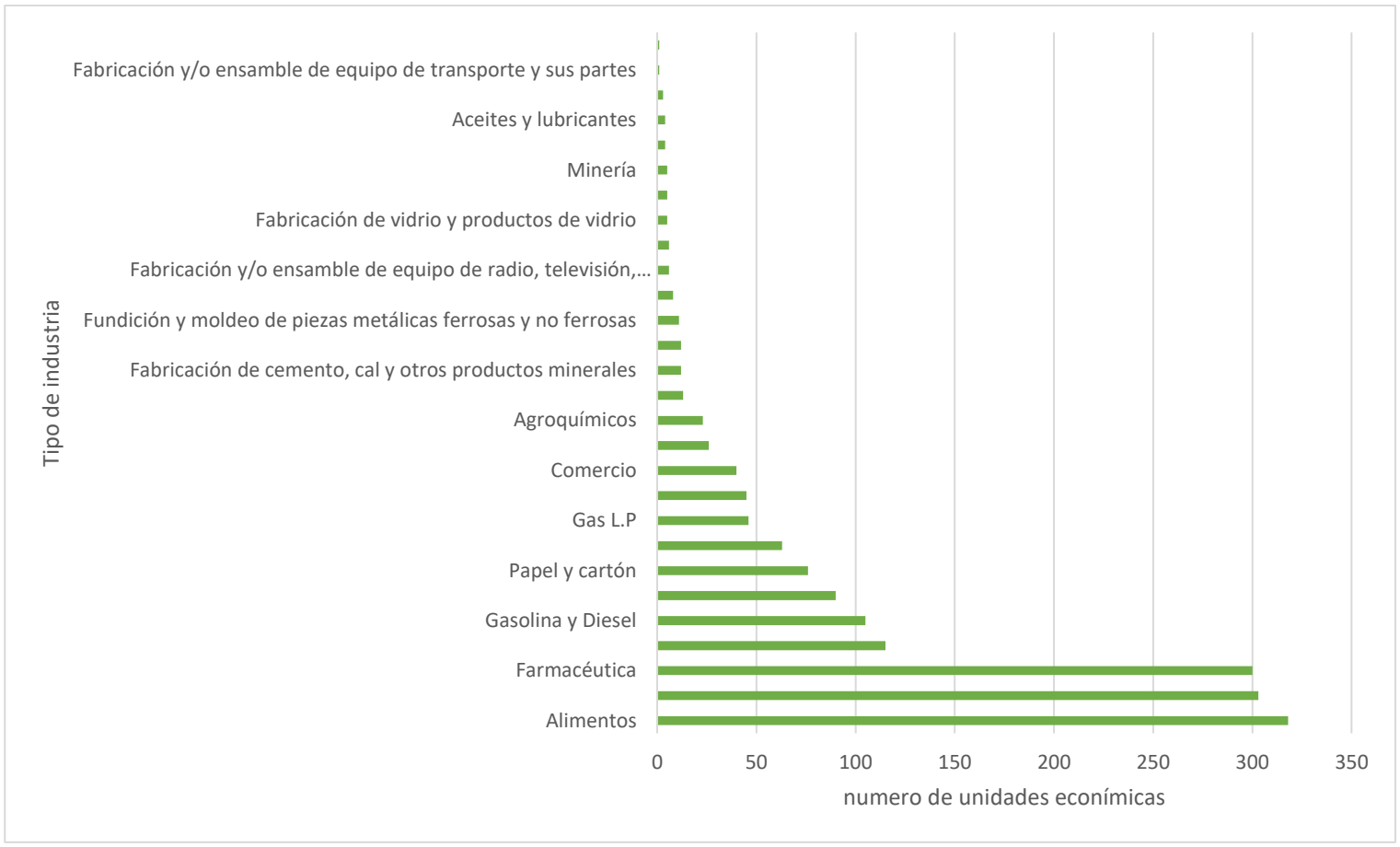
Gráfica 21. Número de unidades económicas por subsector relacionadas al uso o almacenamiento de sustancias químicas peligrosas en el municipio de Saltillo



Fuente: DENUE. 2024.

Dentro de dichos subsectores se encuentran empresas dentro de las ramas de la venta de gas L.P., gasolina, además de diésel, refinerías, instalaciones industriales, plantas potabilizadoras de agua, Plantas de tratamiento de aguas residuales, entre otros (Gráfica 22).

Gráfica 22. Distribución de la industria por Rama

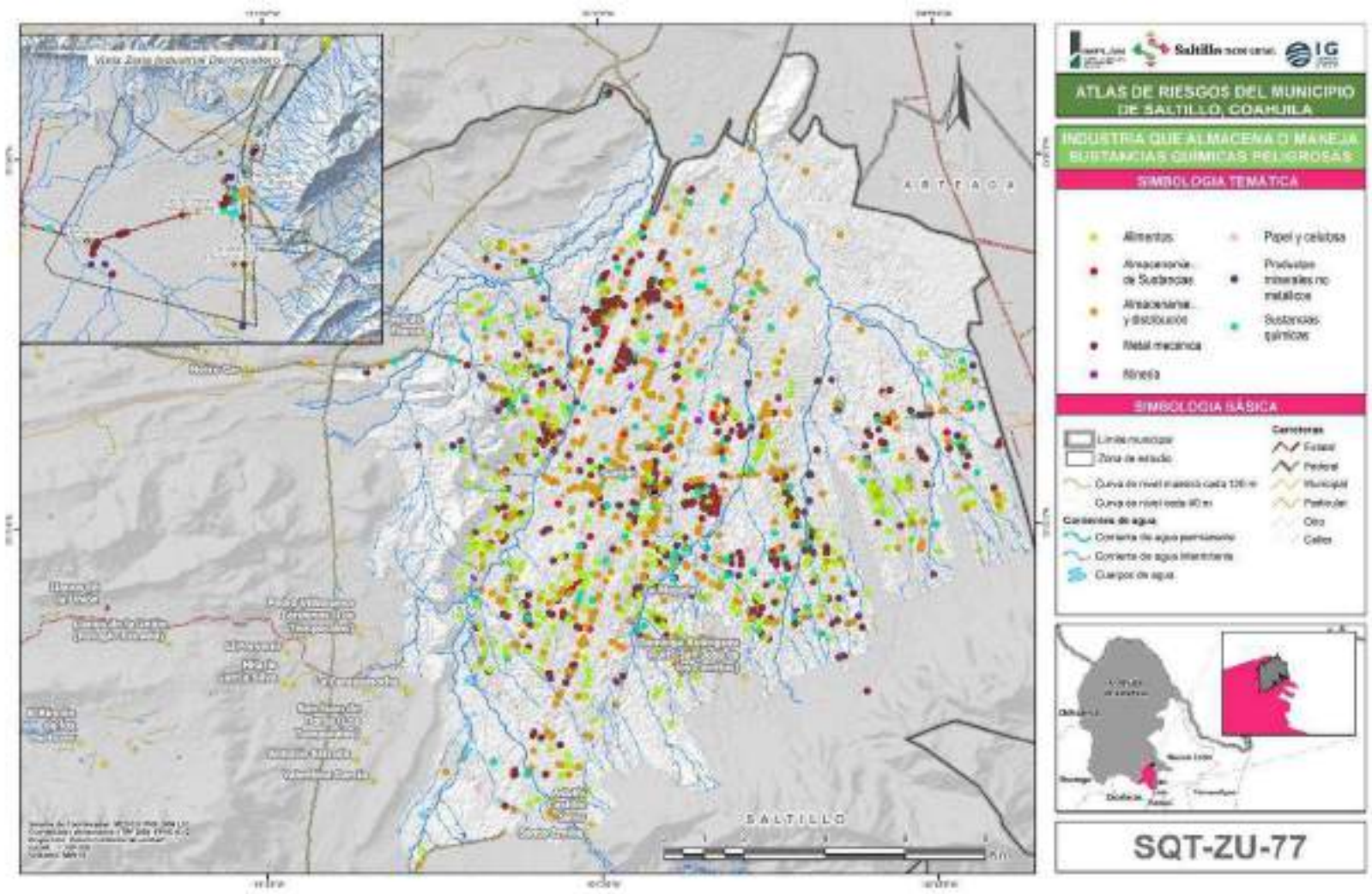


Fuente: elaboración propia con datos del DENUE, 2024.

Como se observa en la gráfica anterior, la rama de los alimentos ocupa el primer lugar en el municipio, seguido de la industria farmacéutica y la venta de combustibles como el diésel y la gasolina en tercer lugar. En el caso de la categoría de los alimentos se consideró a todas aquellas unidades económicas que se dedican a la venta de tortillas, ya que son un numero representativo dentro del municipio (318 unidades); sin embargo, para la estimación del peligro por almacenamiento de sustancias químicas, solo se tomarán a aquellas que se encuentran muy cercanas a estaciones de venta de gas L.P y venta de gasolina, al igual que diésel.

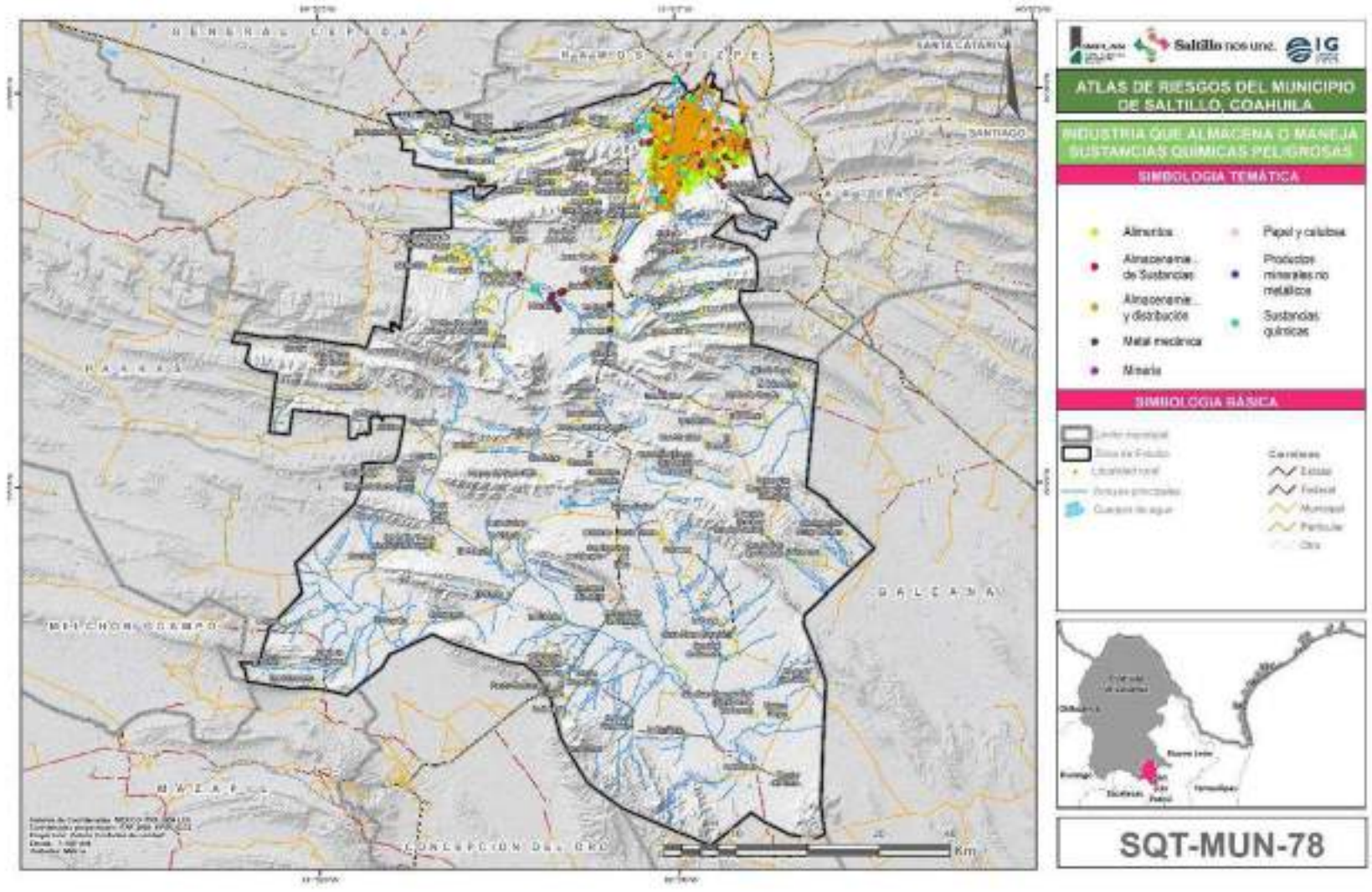
Para efecto de conocer la ubicación de las ramas económicas que almacenan o manejan sustancias químicas peligrosas tanto en la zona urbana, como a nivel municipal se presentan los Mapa 85 y Mapa 86.

Mapa 85. Ubicación de la industria que maneja o almacenas sustancias químicas peligrosas en la zona urbana del municipio



Fuente: elaboración propia con datos del DENUE. 2024.

Mapa 86. Ubicación de la industria que maneja o almacenas sustancias químicas peligrosas a nivel municipal



Fuente: elaboración propia con datos del DENUE. 2024.

En los mapas anteriores se puede observar que la gran mayoría de los lugares ubicados corresponden a estaciones de servicio de venta de gasolina y diésel, gas LP, hospitales y tortillerías. Exceptuando a las estaciones de servicio de venta de combustible, este tipo de empresas no manejan o almacenan grandes cantidades de sustancias químicas, pero, si son importantes por el gran número en el que se encuentran en la zona urbana del municipio de Saltillo.

Otro tema importante para considerar dentro del mapa es la industria química, que se dedica básicamente a producir sustancias químicas peligrosas para otro tipo de industrias como la farmacéutica, manufacturera, hospitales, entre otros. Aunque instalaciones como Petróleos Mexicanos, así como lugares que manejan explosivos y pirotecnia no son muy abundantes en la zona urbana municipal, si almacenan grandes cantidades de sustancias químicas que pueden poner en peligro a las personas que se encuentren a su alrededor.

Con el objetivo de entender el comportamiento de una sustancia química peligrosa ante un evento catastrófico se les puede clasificar en aquellas que tienen principalmente características de ser Combustibles, Reactivas o Solventes. Las actividades industriales que involucran materiales inflamables o explosivos, como la fabricación de pinturas y solventes, Industria química y el almacenamiento, además de la distribución de combustibles como gasolina, diésel y Gas LP, presentan peligros significativos de explosión que pueden resultar en consecuencias graves como, quemaduras de segundo, también de tercer grado, aturdimiento y daños al sistema nervioso.

Para mitigar estos peligros, es crucial que estas actividades cumplan con las normativas vigentes de diseño y operación. Como ejemplo de lo anterior, el almacenamiento, al igual que la distribución de gasolina y diésel deben adherirse a lo establecido en la NOM-EM-001-ASEA-2016, mientras que el manejo de Gas LP debe seguir los lineamientos de la NOM-003-ASEA-2016. Además, es fundamental que cumplan con la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), además de sus reglamentos aplicables.

Es imperativo que cada unidad económica involucrada en estas actividades tenga una Manifestación de Impacto Ambiental (MIA), ya sea en modalidad particular o regional, y realice evaluaciones de riesgo que detallen los impactos, así como daños potenciales asociados a sus operaciones. Estas medidas no solo son necesarias para la prevención de accidentes, sino también para asegurar la protección del medio ambiente y la salud pública.

Como se ha venido mencionando, las diferentes actividades económicas utilizan un gran número de sustancias químicas peligrosas; sin embargo, no todas ellas son almacenadas a niveles que puedan convertirse en un peligro para la población, solo aquellas que son más utilizadas y en cantidades importantes.

Para este caso se utilizaron las sustancias que, de acuerdo con el CENAPRED[6] son las que representan mayor peligro de acuerdo con la clasificación establecida en la norma NOM-018-STPS-2000, es decir, aquellas con valores de cuatro y tres en salud, inflamabilidad y/o reactividad.

[6] Identificación de peligros por almacenamiento de sustancias químicas en industrias de alto riesgo en México. 2003

Para este caso se utilizaron las sustancias que, de acuerdo con el CENAPRED[7] son las que representan mayor peligro de acuerdo con la clasificación establecida en la norma NOM-018-STPS-2000, es decir, aquellas con valores de cuatro y tres en salud, inflamabilidad y/o reactividad.

Sin embargo, para asegurar su relevancia y coherencia con la situación actual, especialmente en el caso de las sustancias utilizadas como combustible, se ha llevado a cabo una actualización. Esta se basa en el cálculo de la tasa promedio anual de aumento del parque vehicular reportado por el INEGI[8] en el municipio durante el periodo de 1980-2022 la cual fue de 6.1%.

Para el resto de las sustancias, la actualización se ha realizado utilizando la tasa promedio de crecimiento poblacional municipal, tomando de base los censos de los años 2000, 2010 y 2020 (2.3%), dado que estas sustancias se emplean principalmente en la industria manufacturera y comercial, sectores estrechamente vinculados con la vida cotidiana de los ciudadanos.

Dado lo anterior, se asegura que los datos reflejen de manera un tanto aproximada las necesidades y el uso actual de estos materiales en el contexto del crecimiento, al igual que desarrollo del municipio (Tabla 106).

Tabla 106. Sustancias químicas peligrosas más usadas y almacenadas en el municipio

Sustancia química	Almacenamiento (Toneladas)	Uso principal
Acetato de butilo	236.98	Solvente en pinturas y resinas
Acetato de etilo	84.80	Solvente en pinturas y barnices
Acetileno	9.51	Corte y soldadura
Ácido clorhídrico	5.64	Limpieza industrial, procesamiento de metales
Ácido fosfórico	356.27	Aditivo alimentario, fertilizantes
Ácido sulfúrico	1,806.50	Fabricación de fertilizantes, baterías
Acrilonitrilo	51.91	Producción de plásticos y fibras sintéticas
Alcohol butílico	369.81	Solvente en lacas y resinas
Alcohol etílico	2.58	Desinfectante, solvente, combustible
Alcohol isopropílico	257.13	Desinfectante, solvente
Alcohol metílico	184.58	Solvente, anticongelante
Amoniaco	8,065.91	Fertilizantes, refrigeración
Aromina	56.75	Producción de colorantes
Cloro	0.32	Desinfectante, producción de plásticos
Cloruro de metileno	231.98	Solvente industrial, desengrasante
Cloruro de pivaloilo	85.28	Síntesis orgánica
Diesel	34,339.17	Combustible para motores diésel
Diisocianato de tolueno	49.33	Producción de espumas de poliuretano
Dimetil acetamida	203,803.35	Solvente orgánico
Disulfuro de carbono	7.74	Solvente, vulcanización del caucho
Etilendiamina	5.48	Síntesis orgánica, producción de resinas
Formaldehído	8.38	Conservante, producción de resinas
Gas LP	3,870.83	Combustible para calefacción y cocina
Gasolina	31,413.95	Combustible para motores de combustión interna
Hidrógeno	3.22	Combustible, síntesis de amoníaco
Hidróxido de amonio	27.89	Limpiador doméstico, fertilizantes
Hidróxido de sodio (sosa caustica)	88.66	Industria química, limpieza, fabricación de papel
Nitrógeno	195,991.82	Gas inerte, preservación de alimentos
Peróxido de hidrógeno	90.28	Desinfectante, agente blanqueador
Piridina	10.32	Solvente, síntesis orgánica
Propano	20.11	Combustible para calefacción y cocina
Trietilamina	76.90	Síntesis orgánica

Fuente: elaboración propia con base en CENAPRED (2003), censos INEGI (2000, 2010, 2020), BIE (2020).

Derivado de la tabla anterior, se puede observar que las sustancias que más se almacenan en el municipio son los combustibles como el diésel, la gasolina y el gas L.P., dado que son necesarios para el movimiento de máquinas, equipos y transportes de uso diario por la industria, así como de la población. Ante esta situación el manejo de los datos correspondientes a las distintas sustancias se llevó a cabo tomando como base la ubicación de las distintitas unidades económicas que usan o almacenan cada una de estas sustancias y realizando una extrapolación a su ubicación en todo el municipio.

[7] Identificación de peligros por almacenamiento de sustancias químicas en industrias de alto riesgo en México. 2003
[8] Banco de Información Económica (BIE). Vehículos de motor registrados en circulación en el municipio de Saltillo. https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0&t=10900530#D10900530

Modelado y escenarios propuestos

Con la intención de llevar a cabo una evaluación de los peligros provocados por una explosión y para efectos de este documento, se utilizaron parámetros generales de las actividades económicas referidas en párrafos anteriores, por lo que, para el adecuado modelado de los datos, se utilizó el software ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) en su versión 5.4.7 desarrollado por la Oficina de Administración de Emergencias de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en ingles) y la División de Respuesta a Emergencias de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en ingles). Este software es recomendado por el CENAPRED en la guía metodología indicada al inicio de la presente sección.

Esta herramienta computacional es utilizada para evaluar la liberación, además de la dispersión de sustancias químicas peligrosas. ALOHA puede predecir la trayectoria, así como la concentración de un derrame químico en tiempo real, lo que ayuda en la planificación de la respuesta ante emergencias, permitiendo a los respondientes, al igual que a los planificadores entender mejor los peligros potenciales para la salud pública y el medio ambiente.

El *software* simula diferentes tipos de liberaciones, como: fugas de gas a alta presión y derrames de líquidos. Estas simulaciones pueden mostrar zonas de amenaza que ayudan a determinar las áreas que podrían necesitar evacuación o medidas especiales de seguridad. ALOHA es ampliamente usado en la gestión de emergencias, también en la formación relacionada con la respuesta a incidentes químicos.

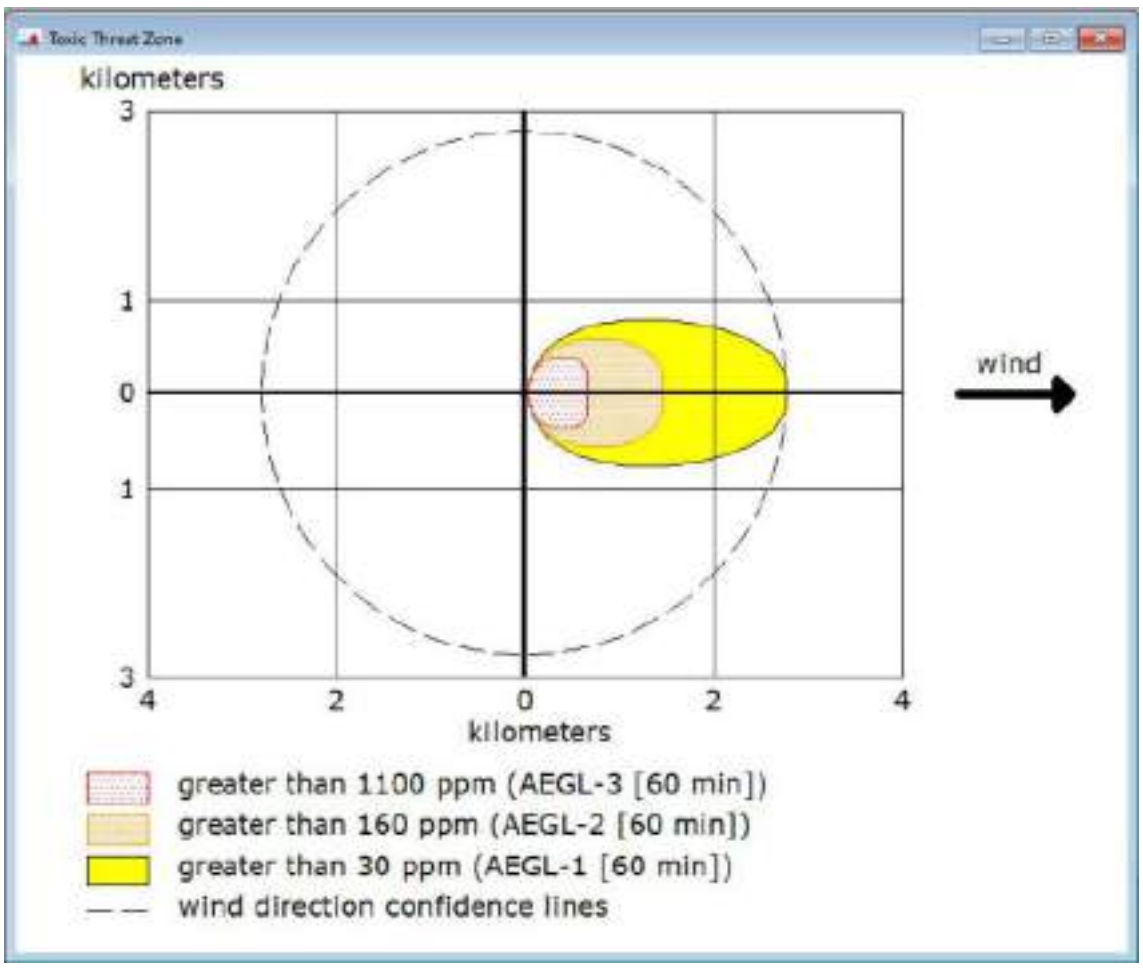
El *software* ALOHA utiliza una base de datos extensa que incluye las características físico-químicas de más de mil sustancias, así también combinaciones químicas para llevar a cabo sus modelaciones. Además de estas propiedades, el software incorpora datos climáticos - atmosféricos clave, como la velocidad, además de la dirección del viento, la temperatura, al igual que la humedad relativa, para mejorar la precisión del modelo.

ALOHA también considera el entorno físico de la zona evaluada, incluyendo si se trata de un área urbana, con vegetación o despejada, lo que permite un análisis detallado, además de adaptado a las condiciones específicas del lugar. Esto asegura que las simulaciones sean lo más realistas, así como aplicables posible a las condiciones del terreno y el entorno circundante, ofreciendo una herramienta robusta para la evaluación de riesgos en diferentes escenarios.

El resultado de la modelación de cada sustancia es el escenario de peligro y al que está expuesta la población por efectos de una explosión o un derrame, dicho panorama se presenta gráficamente a través de un polígono de forma regular o irregular en el que de acuerdo con el tipo de evento o accidente (explosión o derrame) indica el área de letalidad, intermedia, al igual que de amortiguamiento ante un desastre. Esta interpretación gráfica, es de gran ayuda a las instancias de gobierno encargadas tanto de planear, como de prever un evento de dicha naturaleza.

En el caso del municipio de Saltillo, los escenarios de modelación se establecieron basándose en las características de las sustancias involucradas y su comportamiento en situaciones de inflamabilidad o toxicidad. Se plantearon dos escenarios principales: el primero se centró en los vapores emitidos por un derrame de sustancia tóxica, además de los riesgos asociados a la exposición a estos vapores. El segundo escenario se enfocó en evaluar los niveles de sobrepresión, del mismo modo radiación térmica resultantes de una explosión, analizando sus posibles efectos en el entorno. (Figura 75 y Figura 76).

Figura 75. Ejemplo del comportamiento de una nube de vapor tóxica.



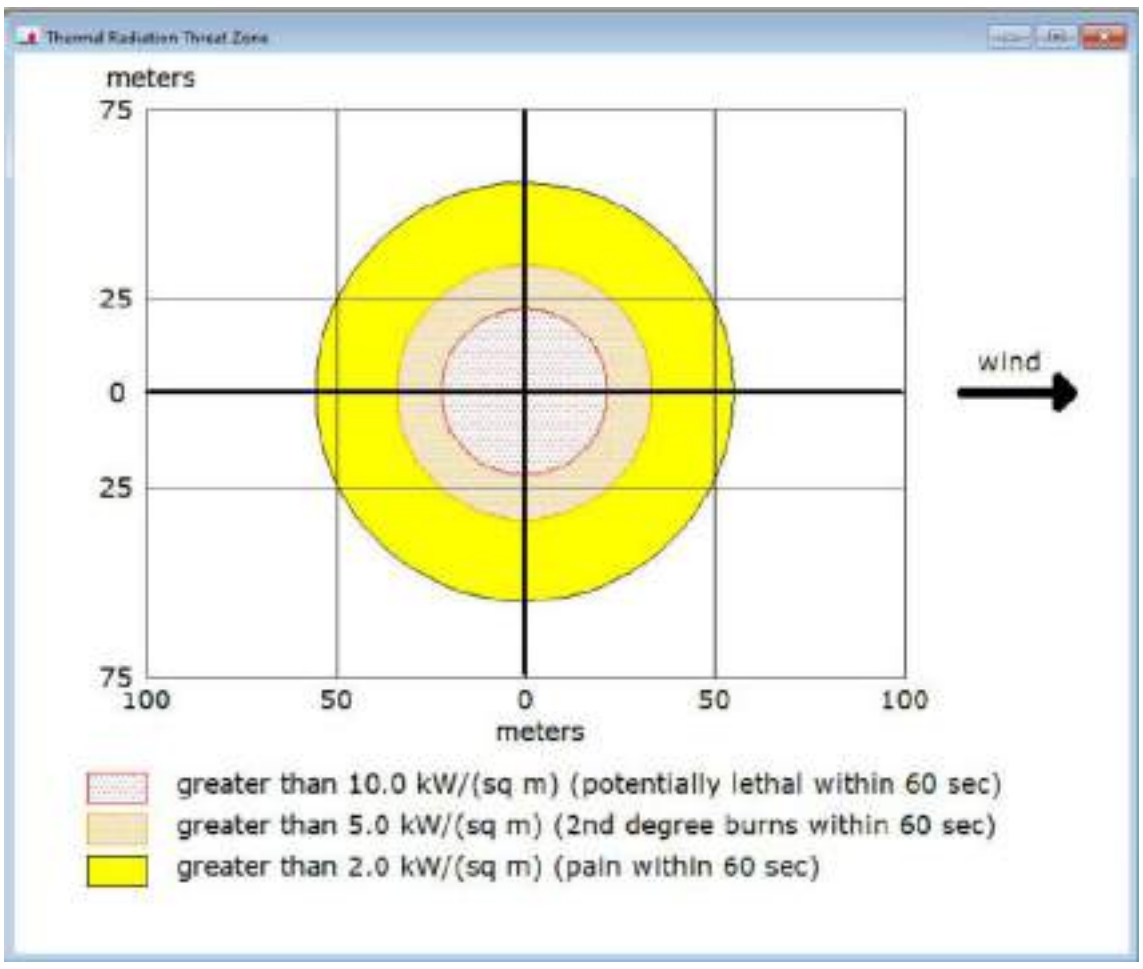
Fuente: elaboración propia con ALOHA.

En la figura anterior se muestra una "**Zona de Amenaza Tóxica**" causada por efecto de un derrame de amoniaco, en la que los diferentes colores representan concentraciones de una sustancia tóxica en el aire en partes por millón (ppm).

- **Rojo**: concentraciones superiores a mil 100 ppm (AEGL-3) que son extremadamente peligrosas en un radio de 673 metros.

- **Naranja**: concentraciones superiores a 160 ppm (AEGL-2) con efectos peligrosos para la salud en un radio de 1.5 kilómetros.
- **Amarillo**: concentraciones superiores a 30 ppm (AEGL-1), que pueden ser leves, pero aún preocupantes en un radio de 2.8 kilómetros.

Figura 76. Ejemplo del comportamiento del nivel de radicación térmica por efecto de una explosión



Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Similar a la imagen anterior, el diagrama muestra las zonas de amenaza de radiación térmica en metros a partir de un punto de origen, como podría ser una explosión o un incendio. Las diferentes áreas están coloreadas para indicar el nivel de radiación térmica y sus efectos sobre las personas:

- **Zona Roja**: radiación superior a 10 kW/m², que podría ser letal en menos de 60 segundos.
- **Zona Naranja**: radiación entre cinco y 10 kW/m², que puede causar quemaduras de segundo grado en menos de 60 segundos.
- **Zona Amarilla**: radiación entre dos y cinco kW/m², que causaría dolor en 60 segundos.

También se muestra cómo la radiación térmica se dispersa en función de la dirección del viento. Esto es importante para evaluar los riesgos en las áreas circundantes, para planificar medidas de emergencia en caso de incidentes que involucren radiación térmica.

Con fines de una mejor interpretación de la información obtenida de los distintos modelos, en la Figura 77 y Figura 78 se puede ver sobre el terreno y en una imagen de satélite, las áreas de afectación resultantes de cada uno de los distintos escenarios propuestos.

Figura 77 .Vista sobre el terreno de un derrame de amoniaco



Fuente: elaboración propia con ALOHA (imagen de satélite de Google earth).

Figura 78 .Vista sobre el terreno de una explosión de gas LP



Fuente: elaboración propia con ALOHA (imagen de satélite de Google earth).

Memoria de cálculo

Para el desarrollo de este apartado, es necesario aclarar que no todas las sustancias químicas presentadas en la Tabla 106 fueron modeladas mediante el software ALOHA, dado que no todas ellas se encuentran dentro de los listados emitidos por la autoridad federal como dentro de las actividades altamente riesgosas[9], a pesar de que algunas de las que no se encuentran, se almacenan en grandes cantidades; sin embargo, para este documento no fueron consideradas.

Por lo que, al realizar la discriminación de sustancias según el criterio de **su inclusión o no** en la lista establecida por el gobierno federal, se determinó que, de un total de 30, solo 13 están clasificadas como actividades peligrosas. Estas se detallan en la Tabla 107.

[9]https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4650309&fecha=28/03/1990#gsc.tab=0

Tabla 107. Sustancias peligrosas modeladas para escenarios de peligro en el municipio.

No. De listado	Sustancia química	Umbral para ser considerado peligroso (kg)	Almacenamiento en el municipio (Kg)	Clasificación	Número CAS	Peligrosidad	Estado físico
2	Acetato de butilo	20,000.00	236,976.70	Solvente	123-86-4	Inflamable	Líquido
2	Acetato de etilo	20,000.00	84,795.74	Solvente	141-78-6	Inflamable	Líquido
2	Acetileno	500.00	9,511.31	Reactivo	74-86-2	Inflamable	Gas
1	Acrilonitrilo	100.00	51,909.18	Reactivo	107-13-1	Inflamable, tóxico	Líquido
2	Alcohol metílico	20,000.00	184,583.89	Solvente	67-56-1	Inflamable, tóxico	Líquido
1	Amoniaco	10.00	8,065,912.98	Reactivo	7664-41-7	Corrosivo, tóxico	Gas
1	Cloro	1.00	322.42	Reactivo	7782-50-5	Tóxico, corrosivo	Gas
2	Disulfuro de carbono	3,000.00	7,738.01	Solvente	75-15-0	Inflamable, tóxico	Líquido
1	Gas LP	50,000.00	3,870,829.01	Combustible	68476-85-7	Inflamable	Gas
2	Gasolina y Disel	10,000.00	65,753,120.06	Combustible	86290-81-5	Inflamable, tóxica	Líquido
2	Hidrógeno	500.00	3,224.17	Reactivo	1333-74-0	Inflamable	Gas
1	Piridina	1.00	10,317.35	Solvente	110-86-1	Inflamable, tóxico	Líquido
2	Trietilamina	20,000.00	76,896.52	Reactivo	121-44-8	Inflamable, tóxico	Líquido

Fuente: elaboración propia y CENAPRED, 2003

Puede observarse en la tabla anterior, y como se mencionó en párrafos anteriores, los combustibles como la gasolina, el diésel y gas LP son las sustancias más comúnmente almacenadas en el municipio, esto también se explica dado que tan solo el número de estaciones de venta de estos productos de acuerdo con el DENUE asciende a 105; así mismo, el total de unidades económicas que se dedican a la venta de gas LP, ya sea al por menor en tanques o carburante asciende a 47.

Otro compuesto químico importante por su volumen de almacenamiento es el amoniaco, que además de ser un producto altamente toxico en largas exposiciones, también es usado en muchos de los procesos manufactureros y de producción de alimentos.

Como se mencionó en la metodología, ALOHA requiere de la integración de datos climáticos en tiempo real, que permiten modelar el accidente en el momento en el que sucede. No obstante, también permite con fines de planeación utilizar datos con promedios históricos para plantear los distintos escenarios de peligro a los que se quiera llegar.

Para el presente documento los datos utilizados de las variables climáticas fueron promedios históricos obtenidos de la estación climática que se encuentra ubicada en el aeropuerto Internacional **Plan de Guadalupe**[10] (Tabla 108), dado que es la fuente de información pública que posee datos históricos que son necesarios para este proceso.

Es necesario señalar que la selección de dichos datos se debió a que las dos estaciones climáticas automáticas pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional (SMN), solo poseen en sus bases de datos información histórica de variables climáticas como precipitación y temperatura, datos que no son suficientes para llevar a cabo el proceso de modelación.

Tabla 108. Datos climático-atmosféricos utilizados para la modelación

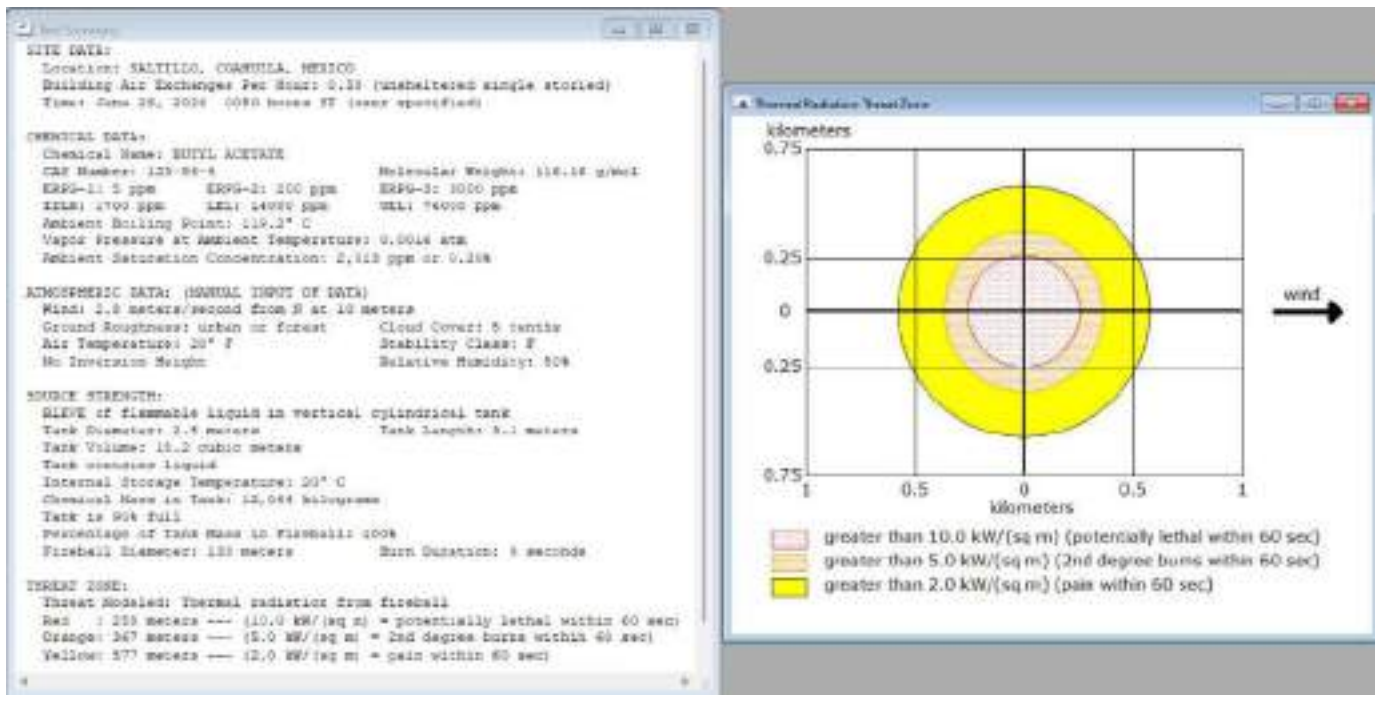
Variable	Promedio (2013-2023)
Temperatura °C	20
Humedad Relativa (%)	50
Velocidad del viento (m/s)	2.8
Dirección del viento	N

Fuente: Archivo De Tiempo En Saltillo (Aeropuerto), METAR, 2024

El proceso de modelación de cada una de las sustancias se realizó por separado y mediante el método de Jenks se llevó a cabo una reclasificación de las sustancias químicas peligrosas que corresponden al grupo de combustibles, reactivos y solventes. De esta manera a partir del grupo de sustancias de cada categoría se construyó el mapa de peligro por almacenamiento que corresponde a cada categoría (Figura 79 a Figura 96).

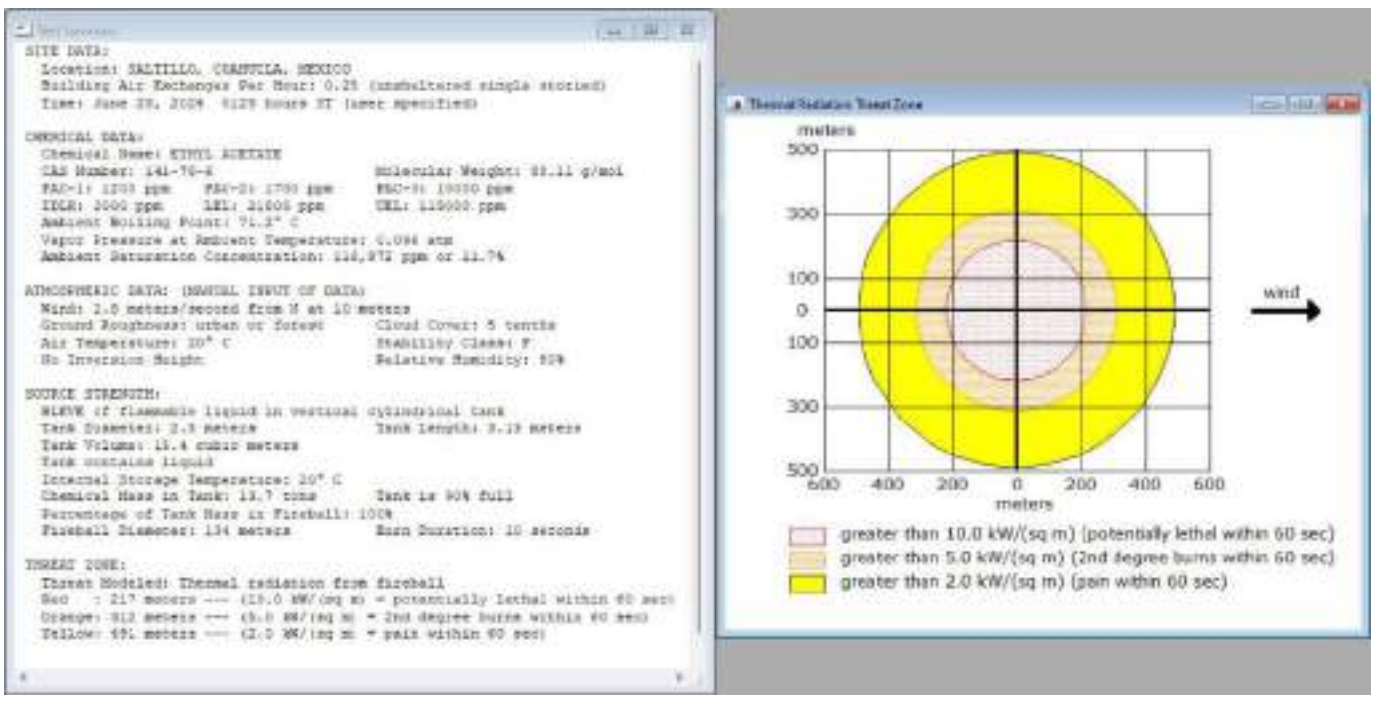
[10]http://dev.rp5.ru.local/archive.php?wmo_id=27612&lang=en http://rp5.ru/metar.php?metar=MMIO&lang=es

Figura 79. Cálculo de la Radiación térmica por explosión de tanque de acetato de butilo



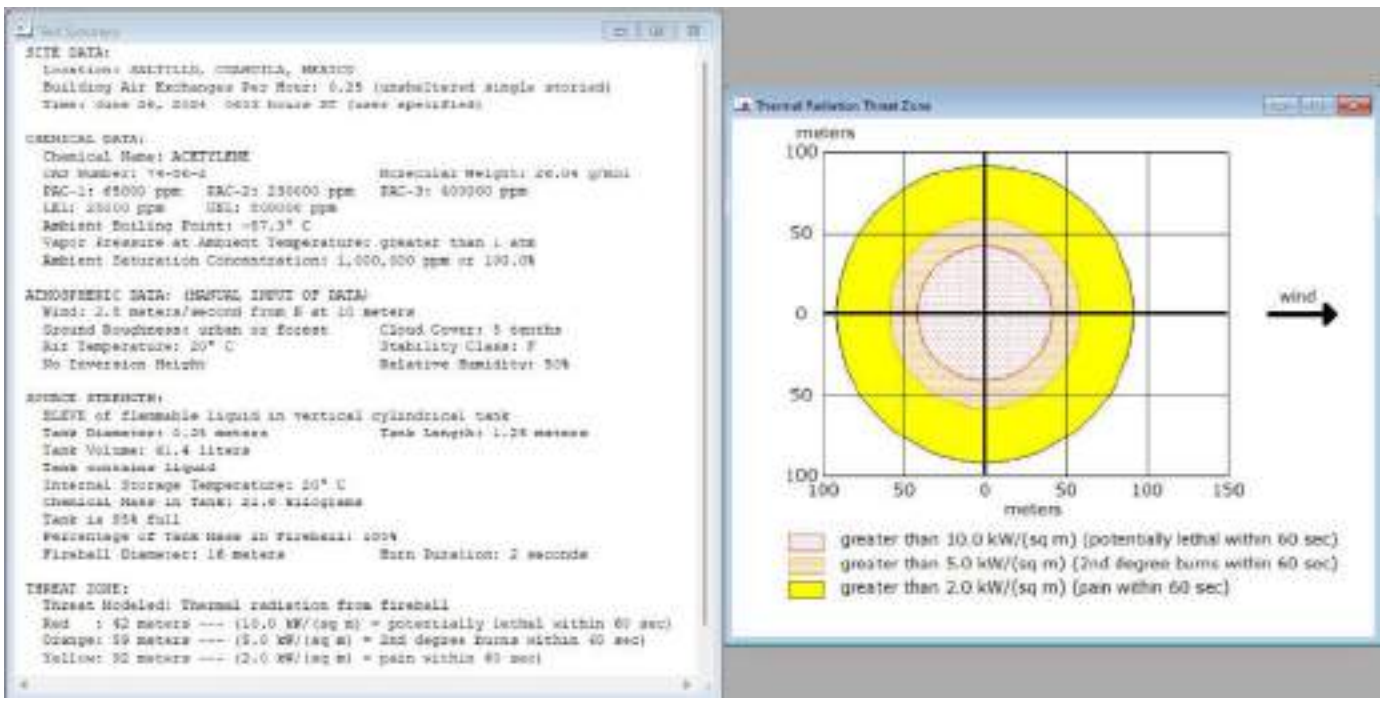
Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Figura 80. Cálculo de la Radiación térmica por explosión de tanque de acetato de etilo



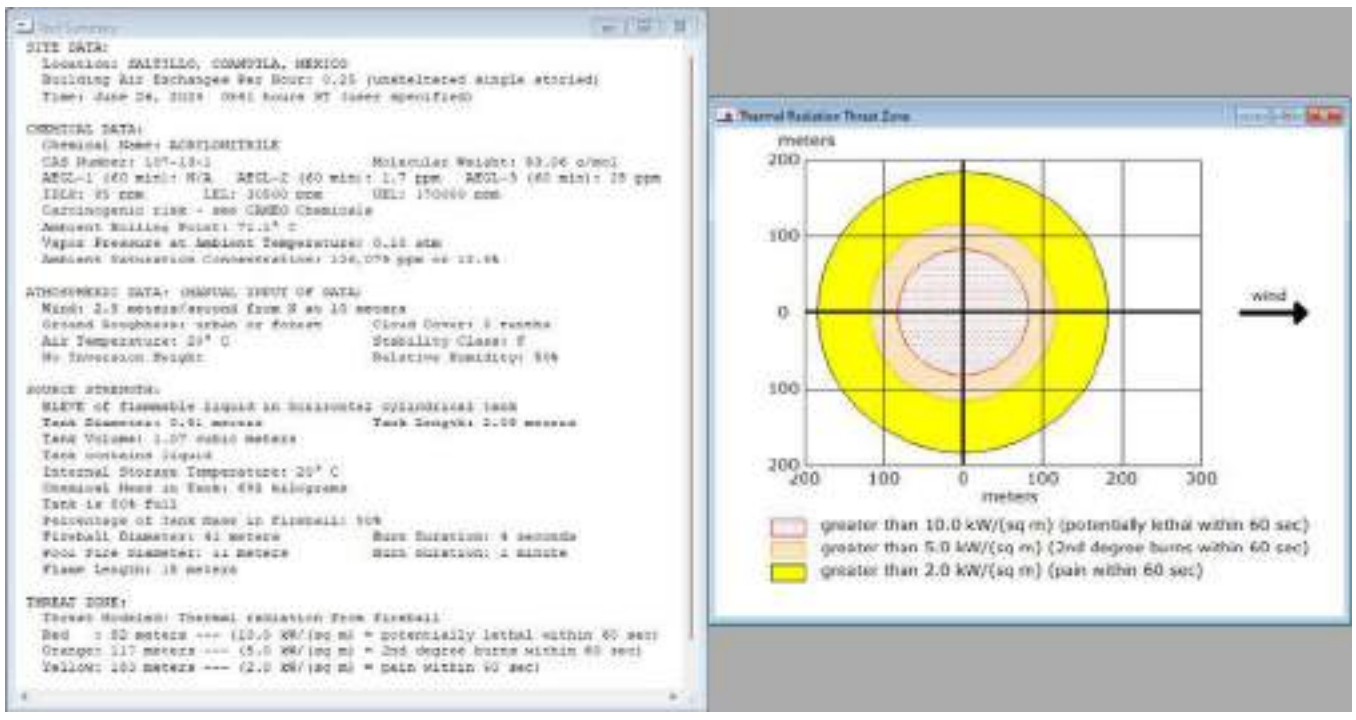
Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Figura 81. Cálculo de la Radiación térmica por explosión de tanque de acetileno



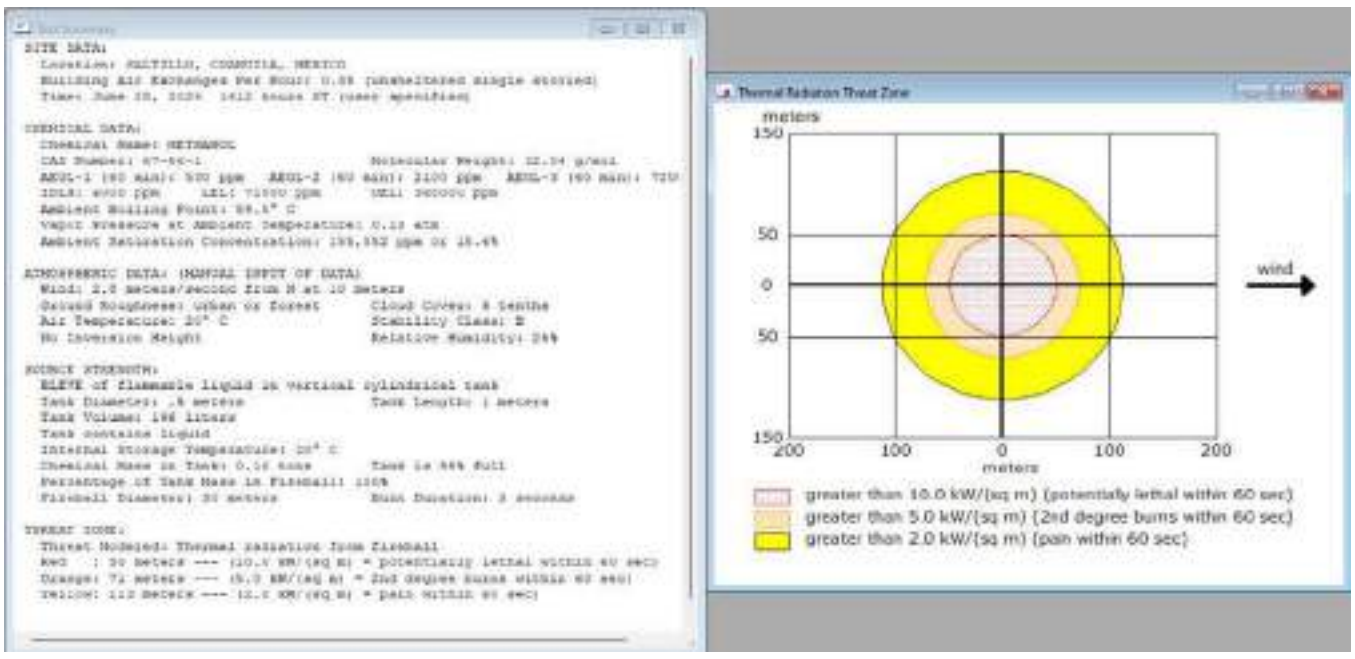
Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Figura 82. Cálculo de la Radiación térmica por explosión de tanque de acrilonitrilo



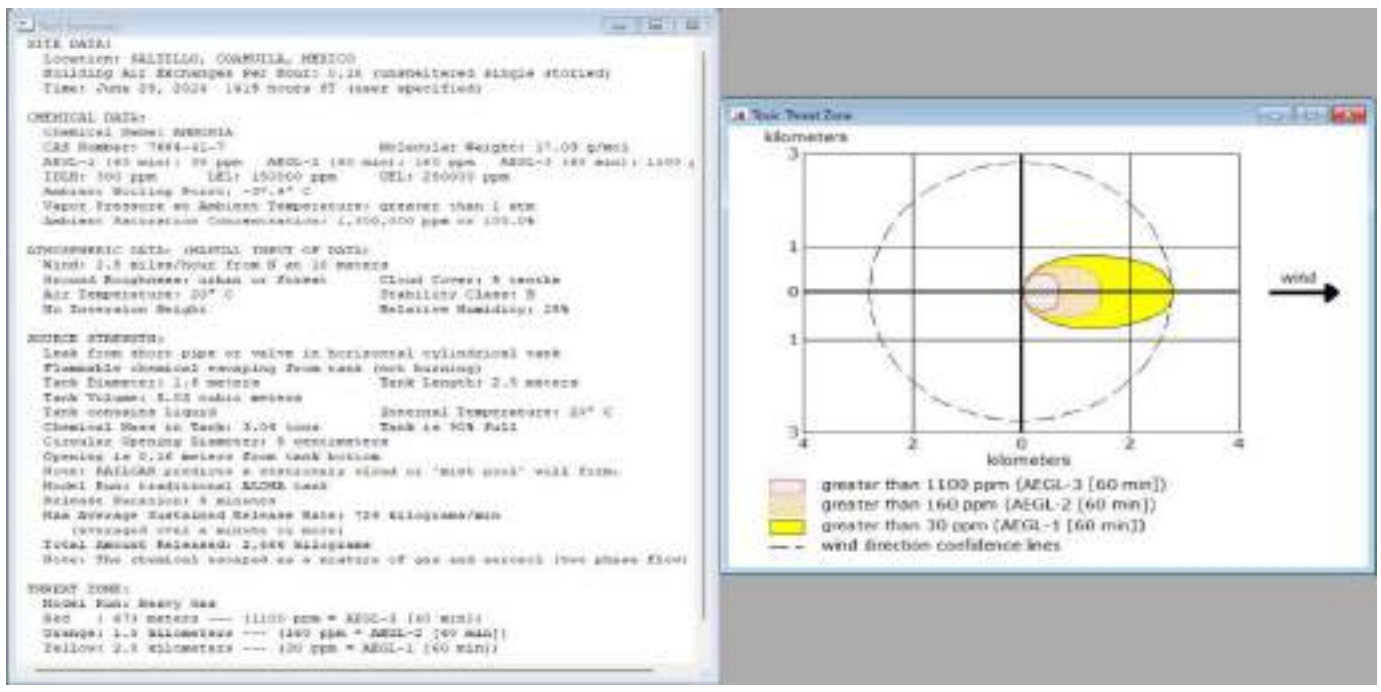
Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Figura 83. Cálculo de la Radiación térmica por explosión de tanque de alcohol metílico



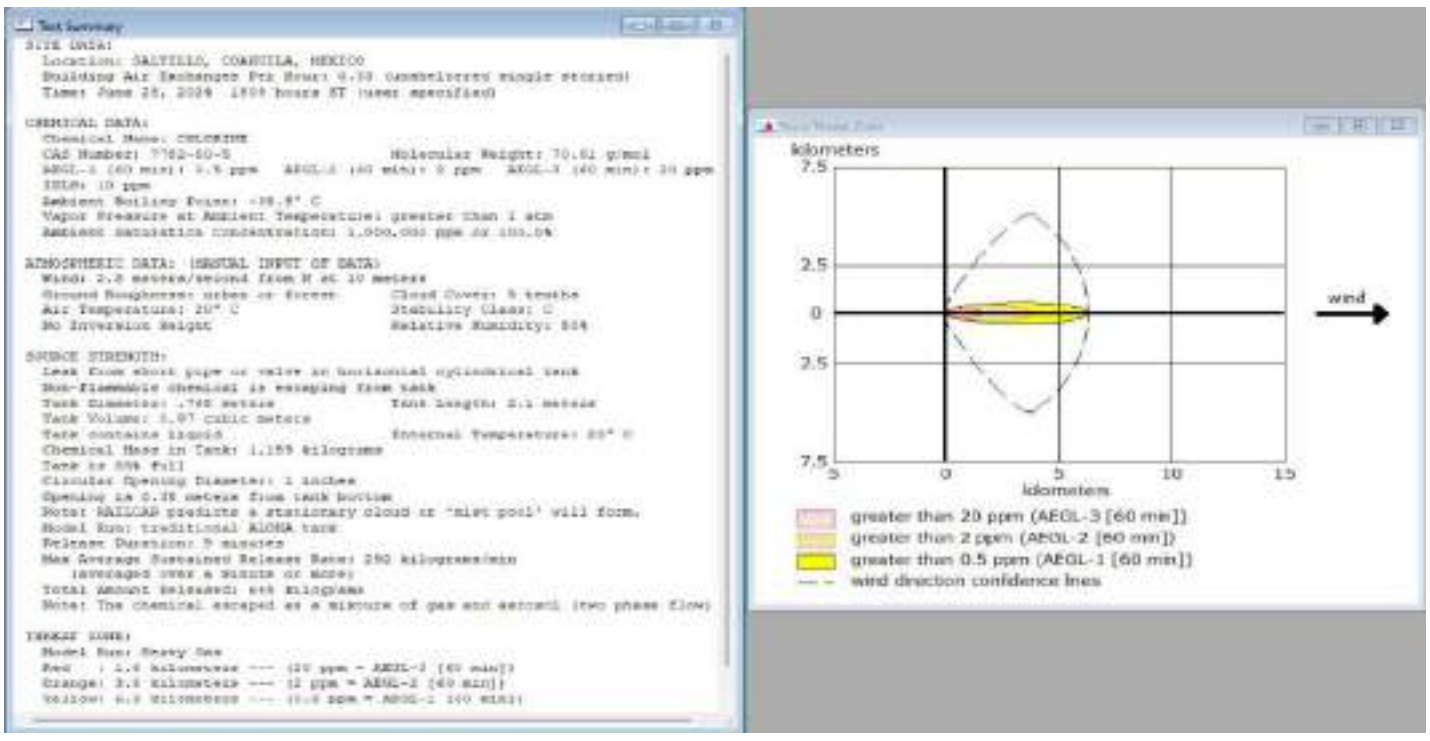
Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Figura 84. Cálculo de la nube de dispersión toxica por derrame de amoniaco



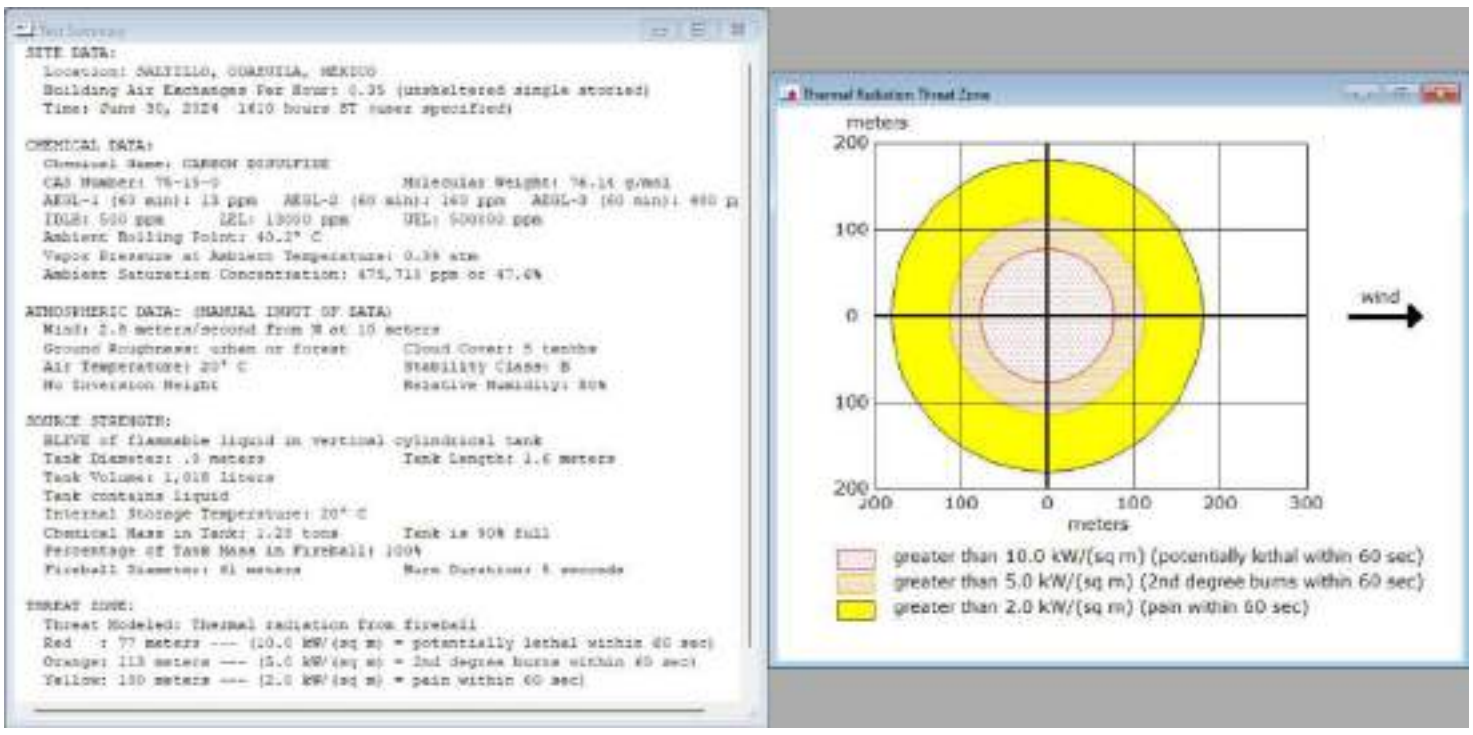
Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Figura 85. Cálculo de la nube de dispersión toxica por derrame de gas cloro



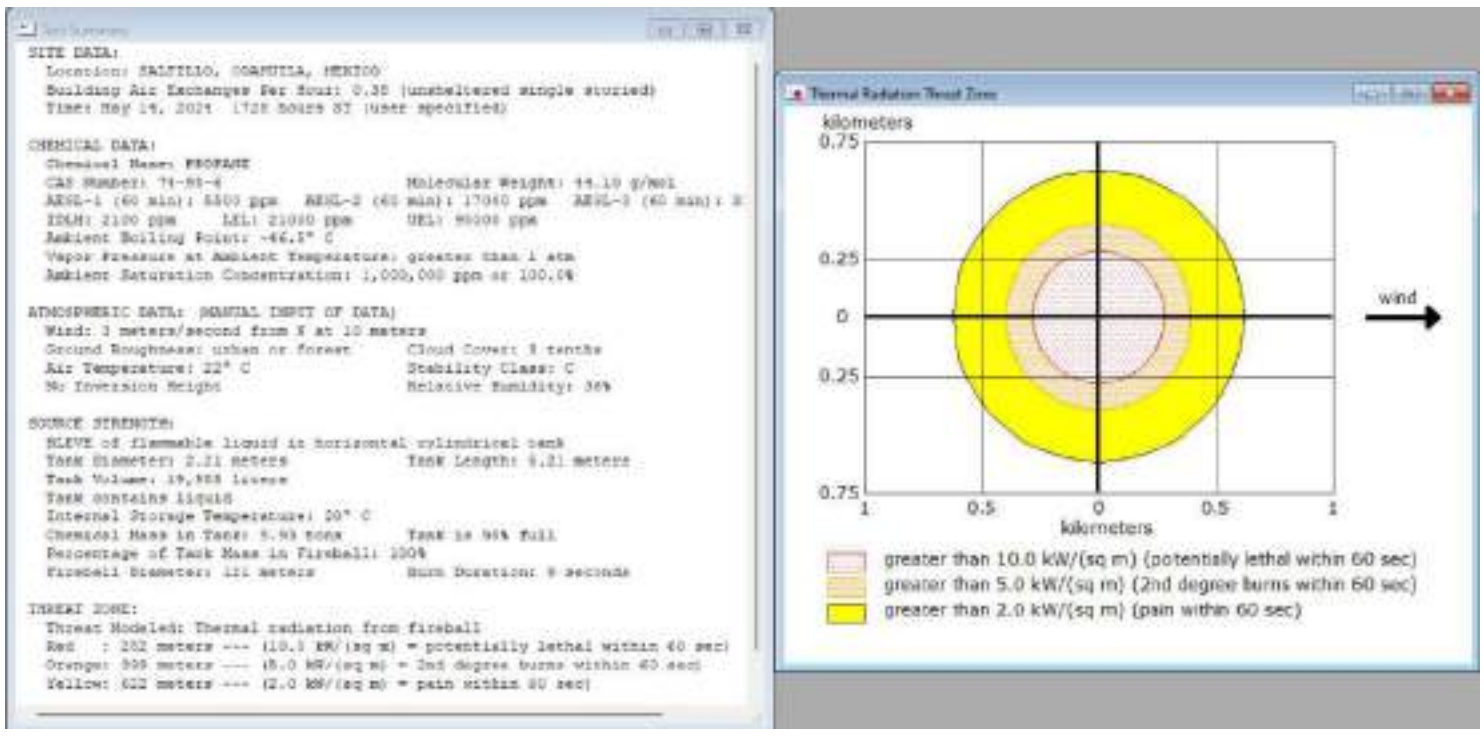
Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Figura 86. Cálculo de la Radiación térmica por explosión de tanque de disulfuro de carbono



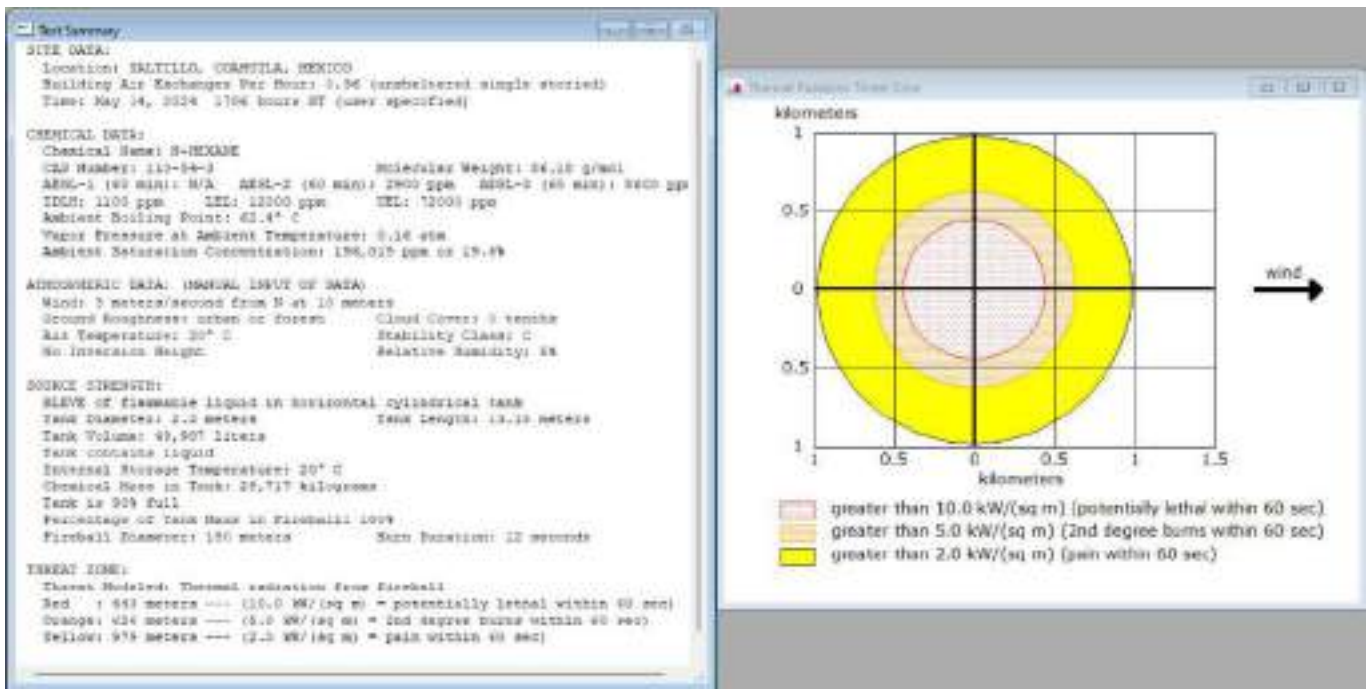
Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Figura 87. Cálculo de la Radiación térmica por explosión de tanque de gas LP



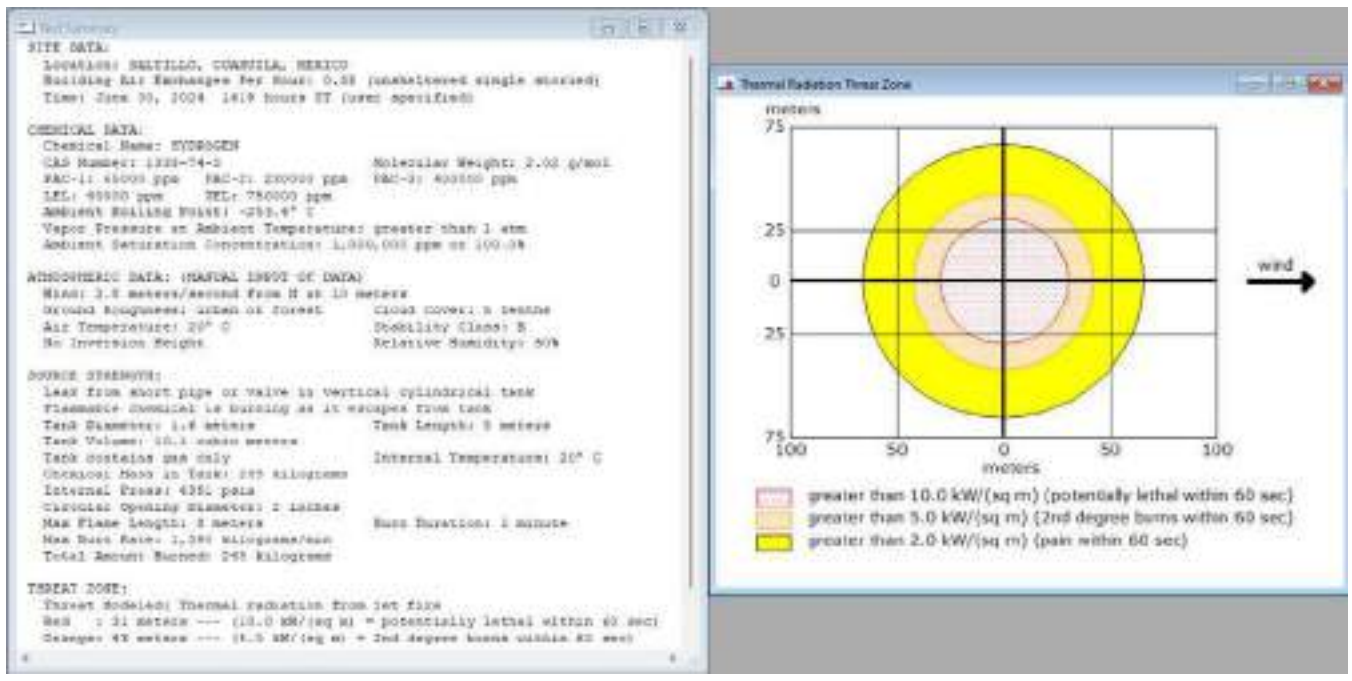
Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Figura 88. Cálculo de la Radiación térmica por explosión de tanque de gasolina



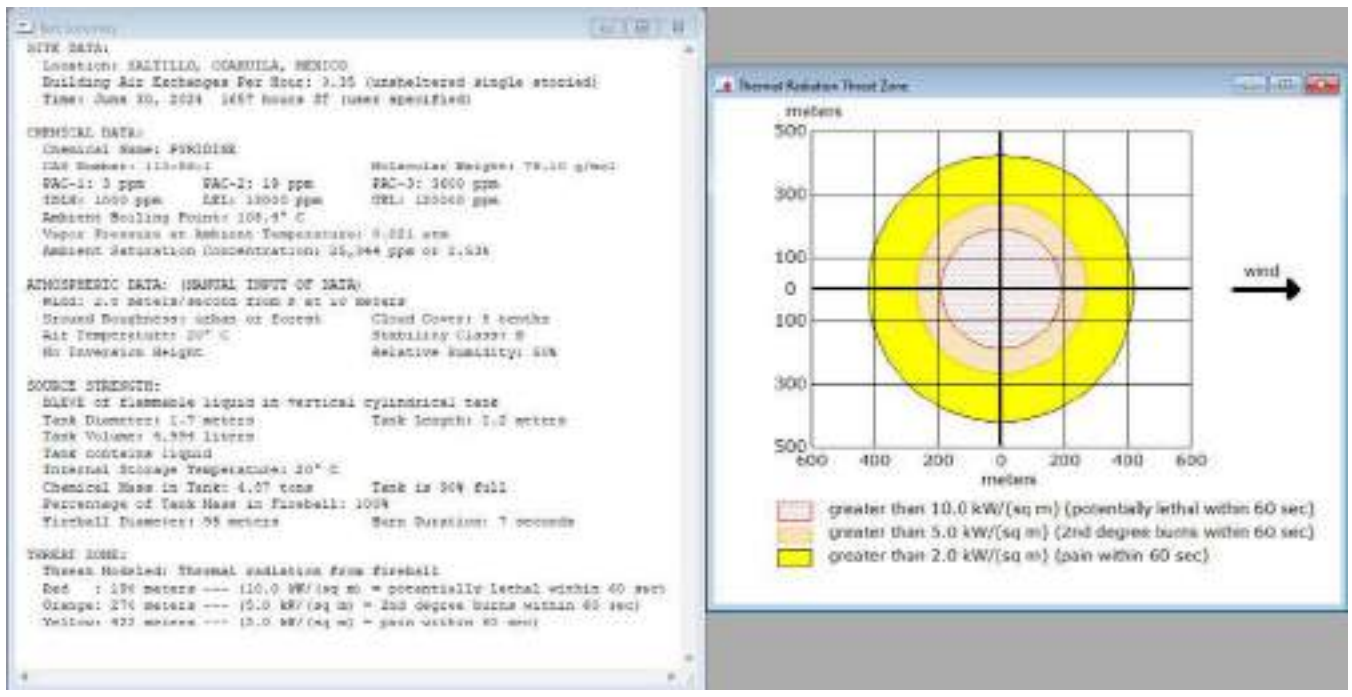
Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Figura 89. Cálculo de la Radiación térmica por explosión de tanque de hidrógeno



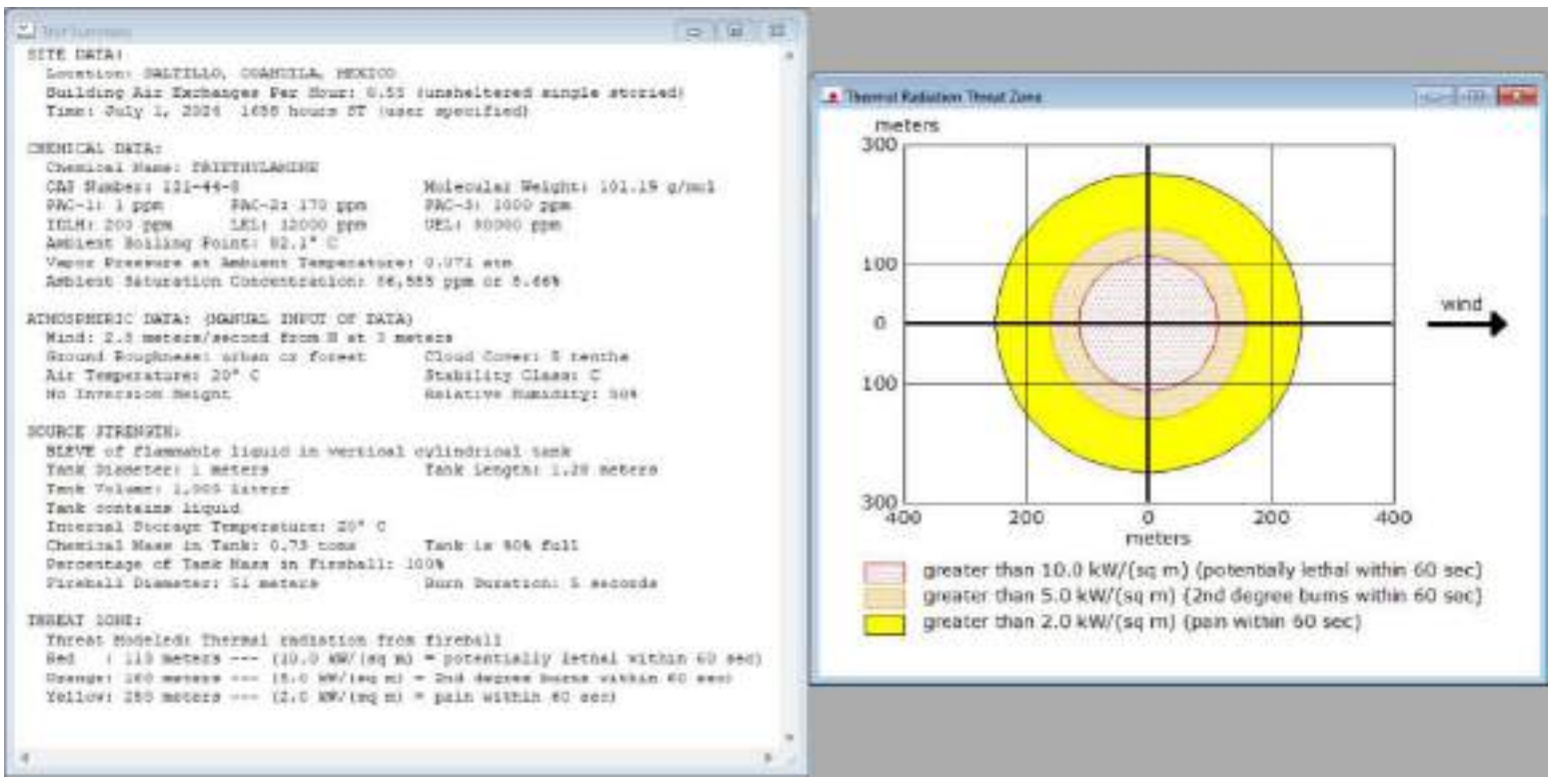
Fuente: elaboración propia con ALOHA

Figura 90. Cálculo de la Radiación térmica por explosión de tanque de piridina



Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Figura 91. Cálculo de la Radiación térmica por explosión de tanque de trietilamina



Fuente: elaboración propia con ALOHA,

Resultados

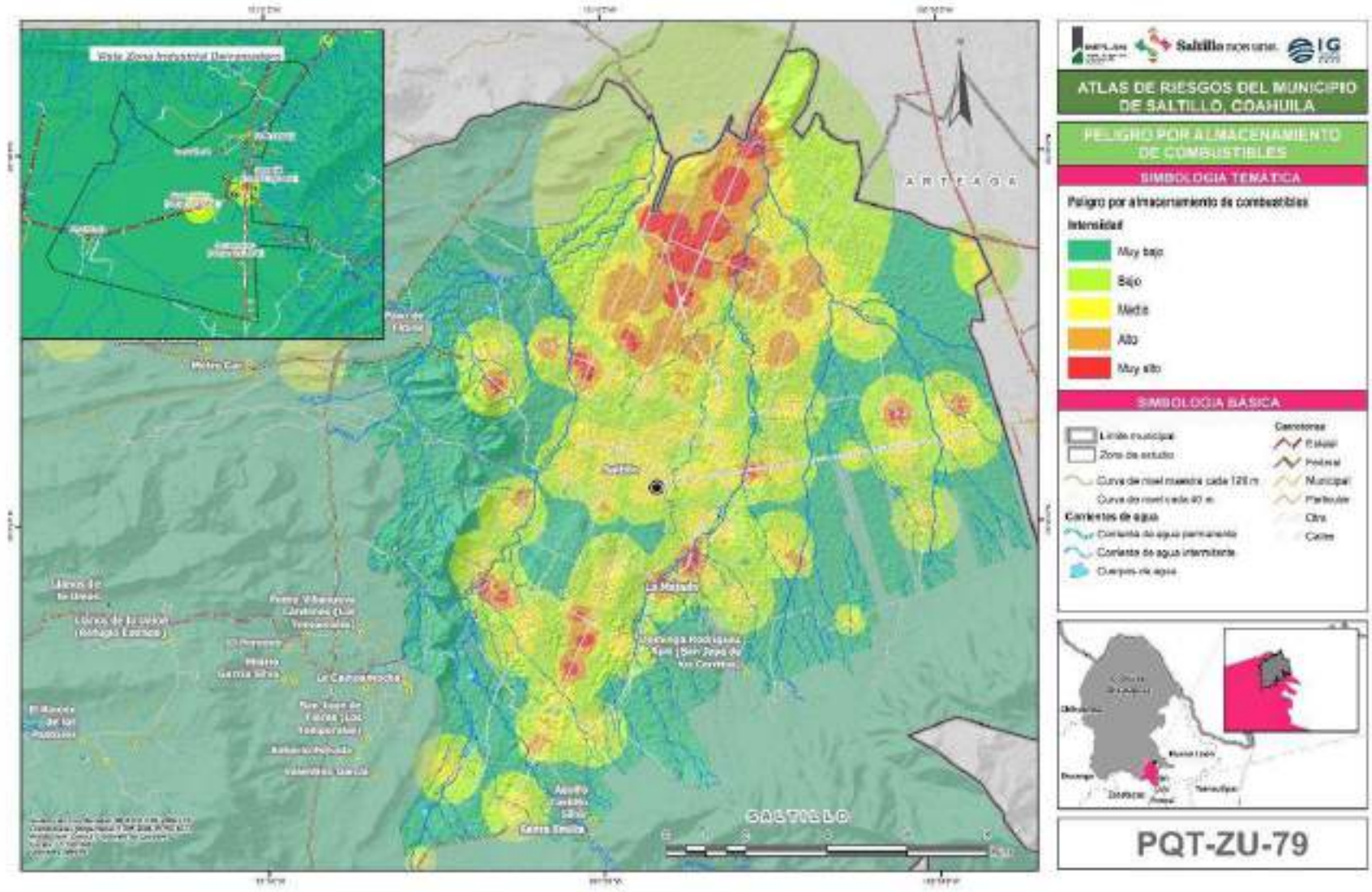
Peligro por almacenamiento de combustibles

De acuerdo con el CENAPRED los combustibles son sustancias químicas que tienen la capacidad de mezclarse con el oxígeno para producir reacciones de combustión. Estas sustancias son peligrosas debido a sus propiedades físico - químicas, que incluyen inflamabilidad, explosividad y toxicidad. Ante esta situación su almacenamiento debe cumplir con normativas específicas que prevean el posible acontecimiento de accidentes por su mal manejo.

Para el presente caso, los combustibles utilizados para el proceso de modelado de esta categoría fueron el Gas LP y la gasolina y el diésel. Los datos considerados para el almacenamiento y su posterior modelación fueron considerados como generales, es decir los datos de capacidades de los recipientes de almacenamiento fueron los que establece la norma técnica internacional del Instituto Americano del Petróleo (API 650 por sus siglas en ingles) que especifica el diseño, construcción, materiales, fabricación, ensamblaje, así como las distintas pruebas que deben llevarse a acabo para su buen funcionamiento. Los datos de almacenaje que se tomaron en cuenta para la gasolina y diésel fueron en promedio tanques con capacidad de 50 mil litros, mientras que para el gas LP, los datos usados fueron de tanques de 20 mil litros.

El resultado del proceso de modelación dio origen al Mapa 87 en donde se puede observar el peligro por almacenamiento de combustibles.

Mapa 87. Peligro por almacenamiento de combustibles en la zona urbana del municipio



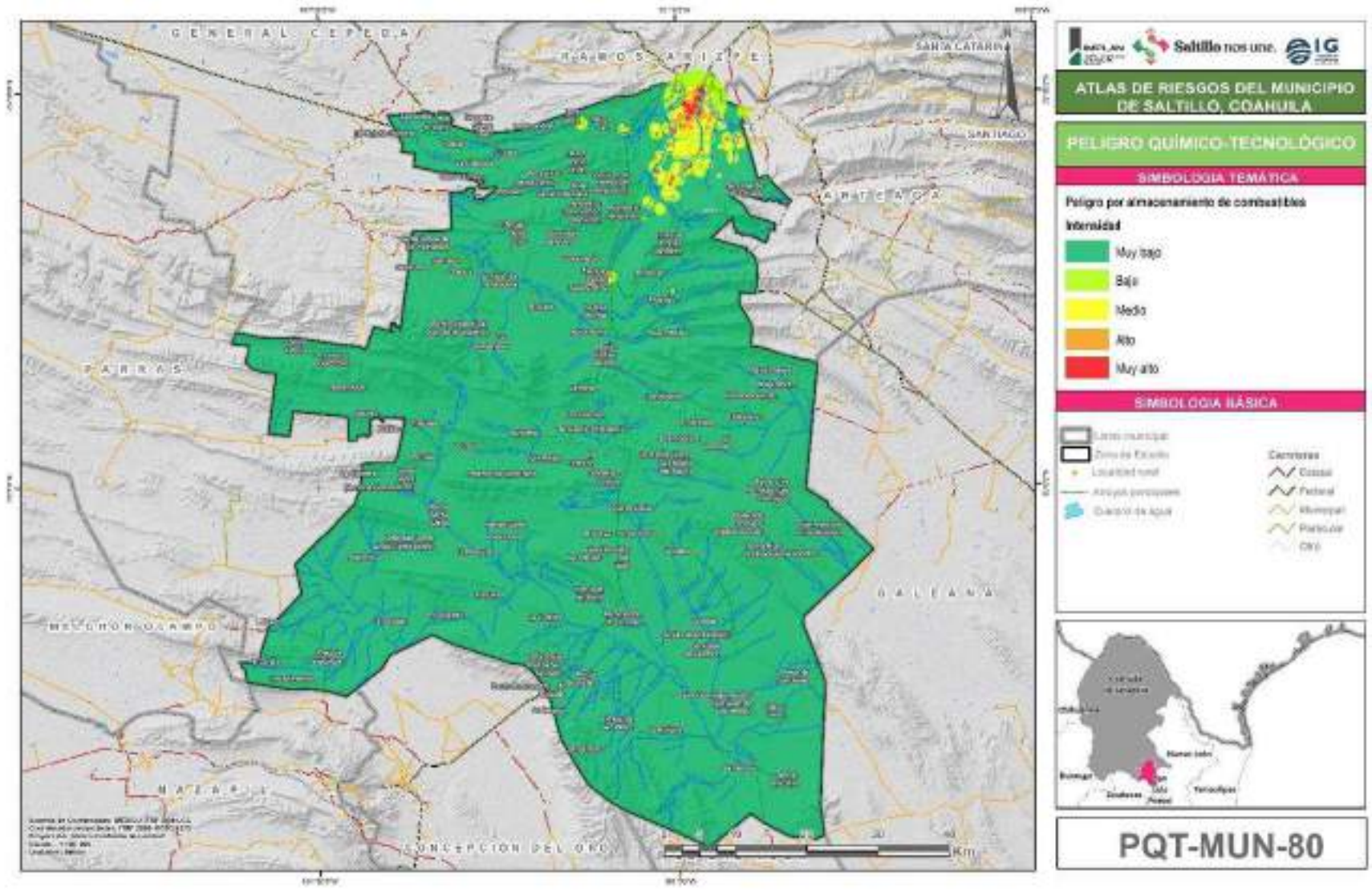
Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que la zona centro y norte del corte urbano se muestran las áreas de peligro de mayor nivel, dado que en esa zona se encuentran la mayoría de las unidades económicas dedicadas al comercio de estos combustibles. En especial la zona norte presenta un nivel de peligro mayor, (rojo) debido por la ubicación de una unidad de almacenamiento, además de distribución de Petróleos Mexicanos, que posee tanques de almacenamiento de porco más de 8.5 millones de litros.

Las áreas con peligro medio (amarillo) rodean las zonas de alto peligro, extendiéndose hacia los sectores periféricos. Esto indica una disminución gradual del riesgo a medida que se aleja del centro de la ciudad.

Las zonas con peligro bajo (verde) y muy bajo (blanco) se encuentran principalmente en los bordes de la ciudad y en espacios menos desarrollados, indicando menor presencia de instalaciones de almacenamiento de combustibles en estas áreas.

Mapa 88. Peligro por almacenamiento de combustibles a escala municipal municipio



Fuente: elaboración propia.

En el área norte del mapa anterior, se observa una concentración significativa de áreas con peligro muy alto (rojo) y alto (naranja) en el centro de Saltillo, similar al de la parte urbana. Esta área continúa siendo la de mayor peligro debido a la alta densidad de almacenamiento de combustibles.

Peligro por almacenamiento de reactivos

La Unión Internacional de Química Pura Aplicada (IUPAC por sus siglas en inglés) define a un reactivo[11] como una sustancia que se añade a un sistema para causar una reacción química o para ver si ocurre una reacción. Los reactivos se utilizan ampliamente en la industria química para detectar, medir, examinar o producir otras sustancias.

Los reactivos son fundamentales en esta industriany en muchas otras debido a su capacidad para transformar sustancias, detectar la presencia de compuestos específicos, así como facilitar la producción de materiales y productos. Su correcta selección, además de manejo son cruciales tanto para la seguridad, como el éxito de los procesos químicos.

De acuerdo con los datos previamente procesados se identificaron un total de seis sustancias con características de reactivos, entre ellas, el acetileno, acrilonitrilo, amoniaco, cloro, hidrogeno y trietilamina. Para estas sustancias los procesos de modelación fueron similares a lo expuesto en el almacenamiento de combustible, con la única diferencia que, para el caso del cloro y el amoniaco, estos se modelaron como el efecto de un derrame a la atmosfera. Los datos de almacenamiento tomados en cuenta para el proceso de modelación son los mostrados en la Tabla 109.

Tabla 109. Datos de almacenamiento para el proceso de modelado de reactivos

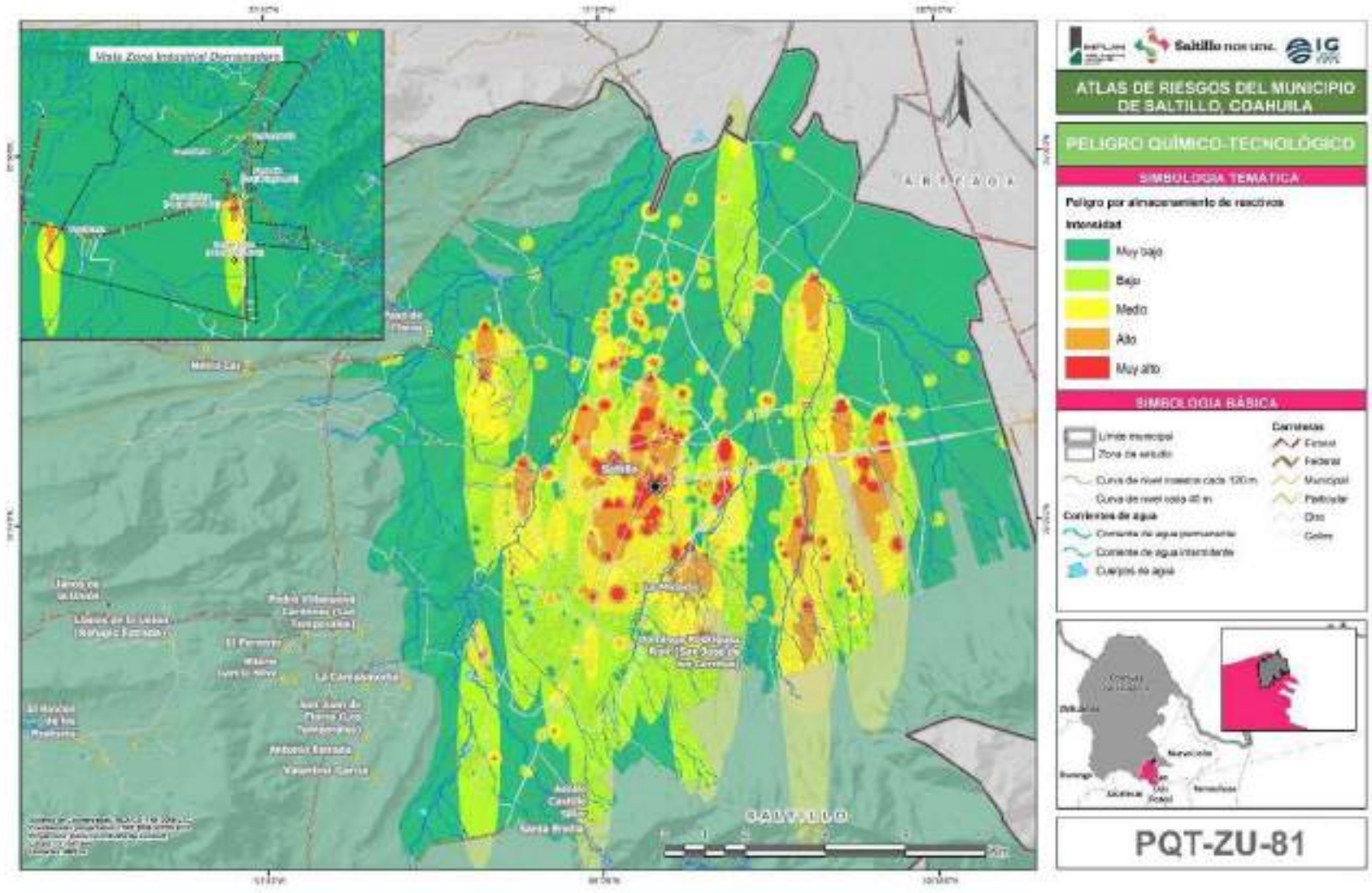
Sustancia	Capacidad del recipiente
Acetileno	62 litros
Acrilonitrilo	1000 litros
Amoniaco	5000 litros
Cloro	907 kg
Hidrógeno	5000 litros
Trietilamina	1000 litros

[11] **IUPAC.** "Reagent (Reactivo)." *Compendium of Chemical Terminology*, 3rd ed. (Gold Book). International Union of Pure and Applied Chemistry, 2019. DOI: 10.1351/goldbook.R05190.

Fuente: elaboración propia con datos técnicos de construcción de tanques para reactivos.

Como resultado del proceso de modelación se obtuvieron en los mapas Mapa 89 y Mapa 90 en los que se muestra la distribución del peligro por efecto de sustancias almacenadas de tipo reactivo.

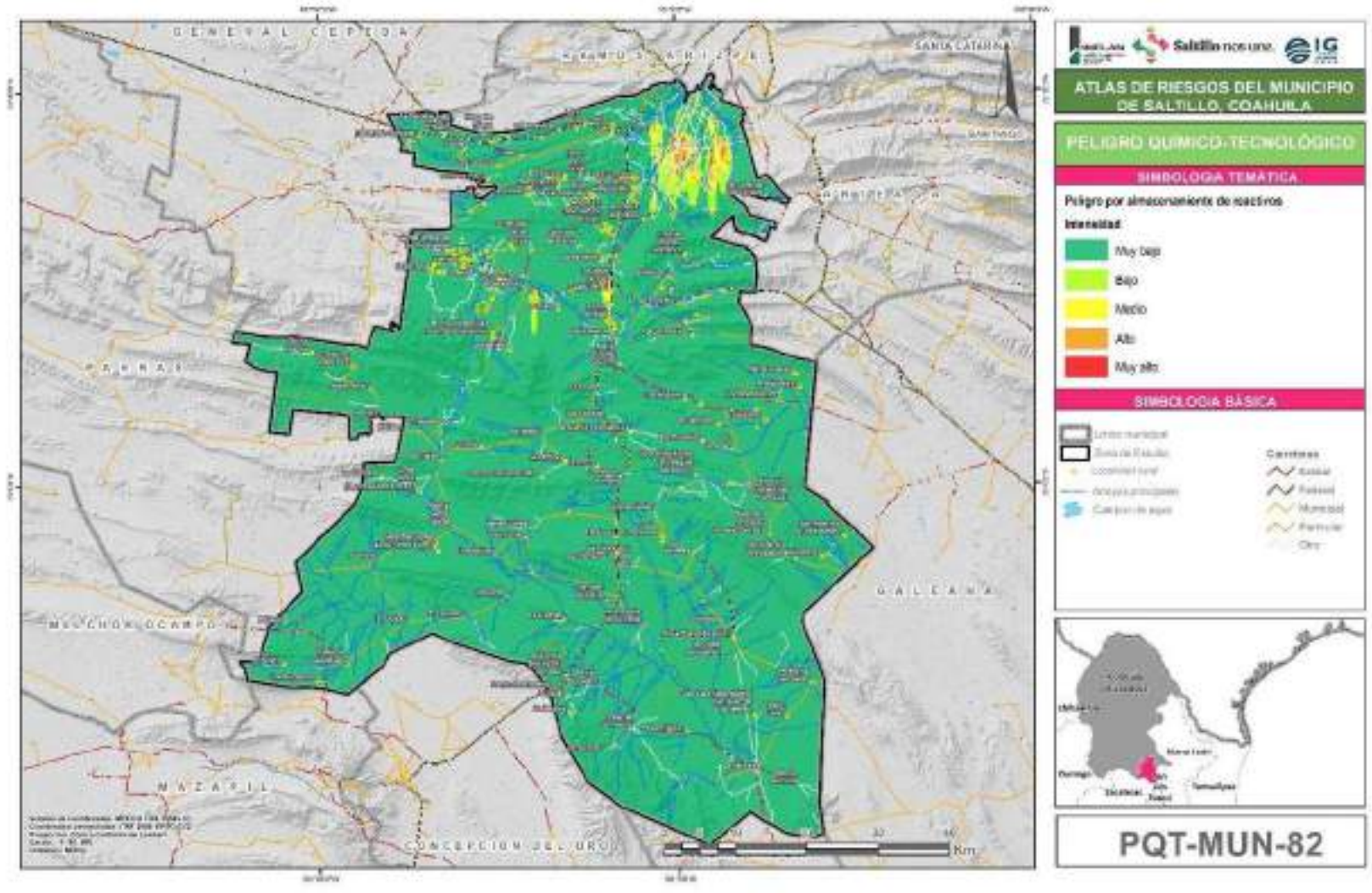
Mapa 89. Peligro por almacenamiento de reactivos en zona urbana



Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Como puede visualizarse en el mapa anterior, las áreas de mayor peligro se concentran hacia el centro y sur de la cabecera municipal, debido a la gran concentración de las unidades económicas que almacenan este tipo de sustancias químicas peligrosas.

Mapa 90. Peligro por almacenamiento de reactivos a escala municipal



Fuente: elaboración propia con ALOHA.

De forma muy similar a la zona urbana, en el ámbito municipal las áreas de mayor peligro se notan en la concentración de las unidades económicas alojadas hacia el centro y norte; sin embargo, sus principales efectos se aprecian hacia el sur, dado que para el caso de los reactivos más tóxicos como el cloro y el amoniaco la nube de dispersión es mayor que los reactivos que son inflamables.

Una parte importante de estos peligros se aprecian también hacia la creciente zona industrial de derramadero y todas las secciones que la componen.

Peligro por almacenamiento de solventes.

De acuerdo con la IUPAC, un solvente[12] es una sustancia que forma una fase líquida homogénea en la cual otras sustancias pueden disolverse. En el contexto de la distribución líquido - líquido, el término solvente se refiere a toda la fase líquida inicial que contiene los extractantes. Un solvente puede consistir en uno o más componentes, incluyendo diluyentes, en ocasiones, modificadores y aceleradores. Es importante destacar que el término "solvente" no debe usarse como sinónimo de ninguno de los componentes individuales de una fase líquida compuesta, aunque en el caso de un componente único pueda coincidir con el extractante.

Dentro del municipio las sustancias que se caracterizan como solventes son cinco: acetato de butilo, acetato de etileno, alcohol metílico, disulfuro de carbono y la piridina. Todos estos productos químicos tienen un fuerte comportamiento hacia la inflamabilidad, por lo que el proceso de modelación se consideró como un escenario de medir las áreas de radiación térmica generadas por ella y las consecuencias que se tienen en cada una.

Para el caso de los solventes los datos tomados en cuenta para los distintos escenarios fueron los enlistados en la Tabla 110.

Tabla 110. Datos de almacenamiento para el proceso de modelado de solventes

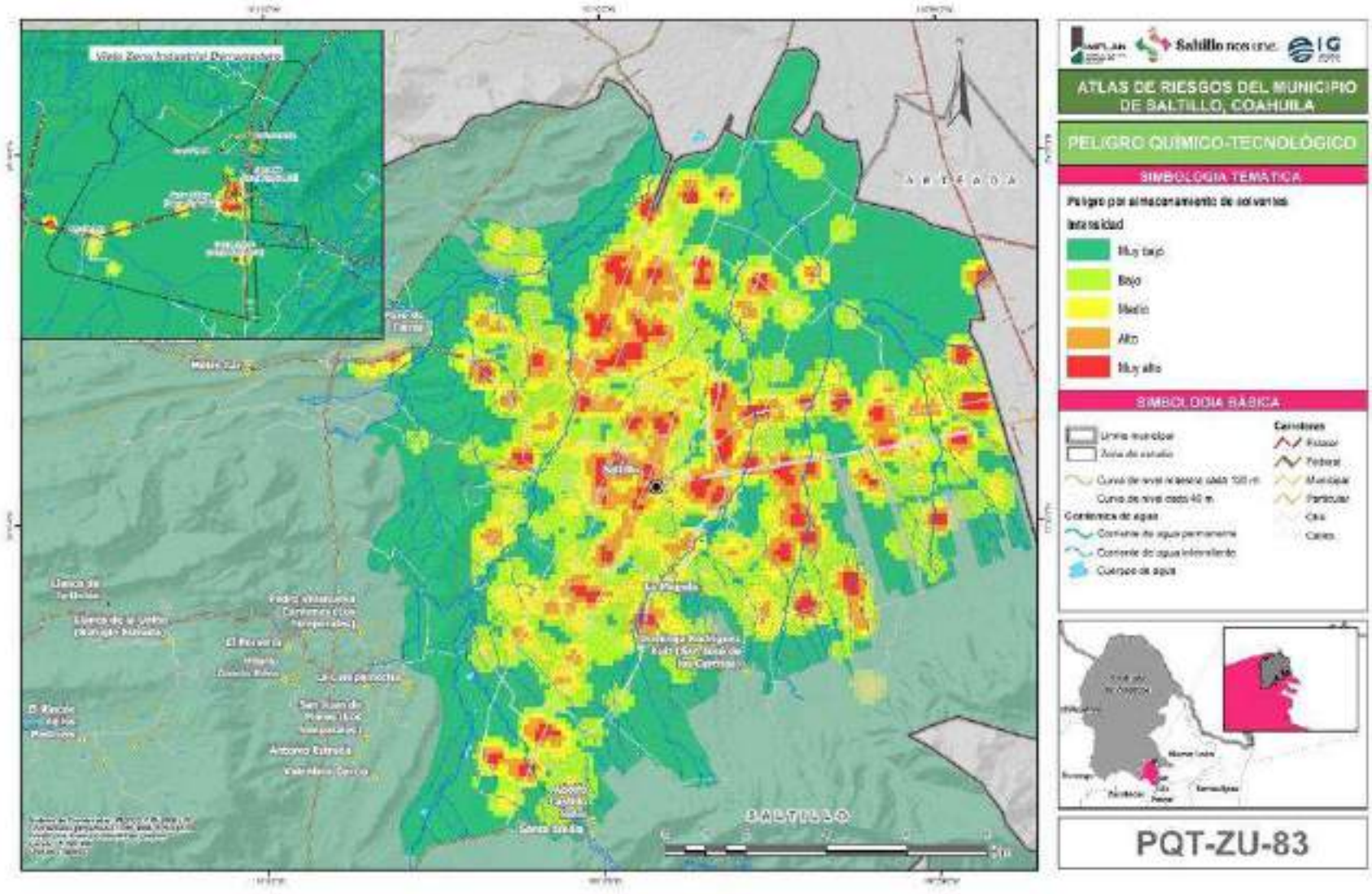
Sustancias	Capacidad del recipiente
Acetato de butilo	15 m^3
Acetato de etilo	15 m^3
Alcohol metílico	200 litros
Disulfuro de carbono	1000 litros
Piridina	5000 litros

Fuente: elaboración propia con datos técnicos de construcción de tanques para solventes.

Derivado del proceso de modelación el resultado de las áreas de peligro por efectos de almacenar este tipo de sustancias es el mostrados en los Mapa 91y Mapa 92 que muestran la distribución de solventes a nivel urbano y municipal.

[12] **IUPAC.** "Solvent." *Compendium of Chemical Terminology*, 3rd ed. (Gold Book). International Union of Pure and Applied Chemistry, 2019. DOI: 10.1351/goldbook.S05751.

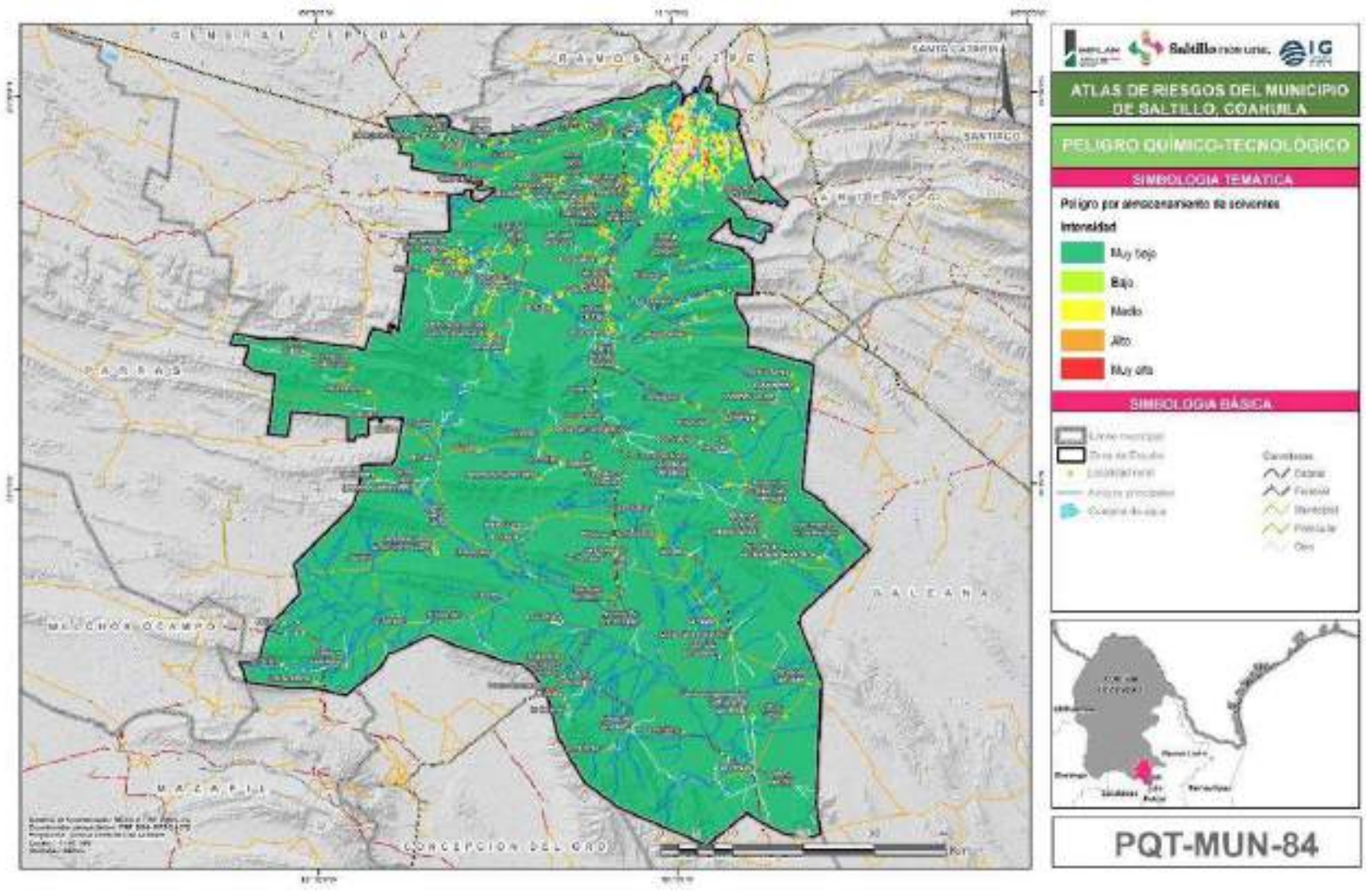
Mapa 91 .Peligro por almacenamiento de solventes en la zona urbana



Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Como se aprecia en el mapa anterior y similar a los otros tipos de peligro por combustibles, así como reactivos, la zona centro urbana sigue manteniendo la característica de concentrar la mayor parte de las unidades económicas que almacenan solventes, dada su alta densidad.

Mapa 92. Peligro por almacenamiento de solventes a escala municipal



Fuente: elaboración propia con ALOHA.

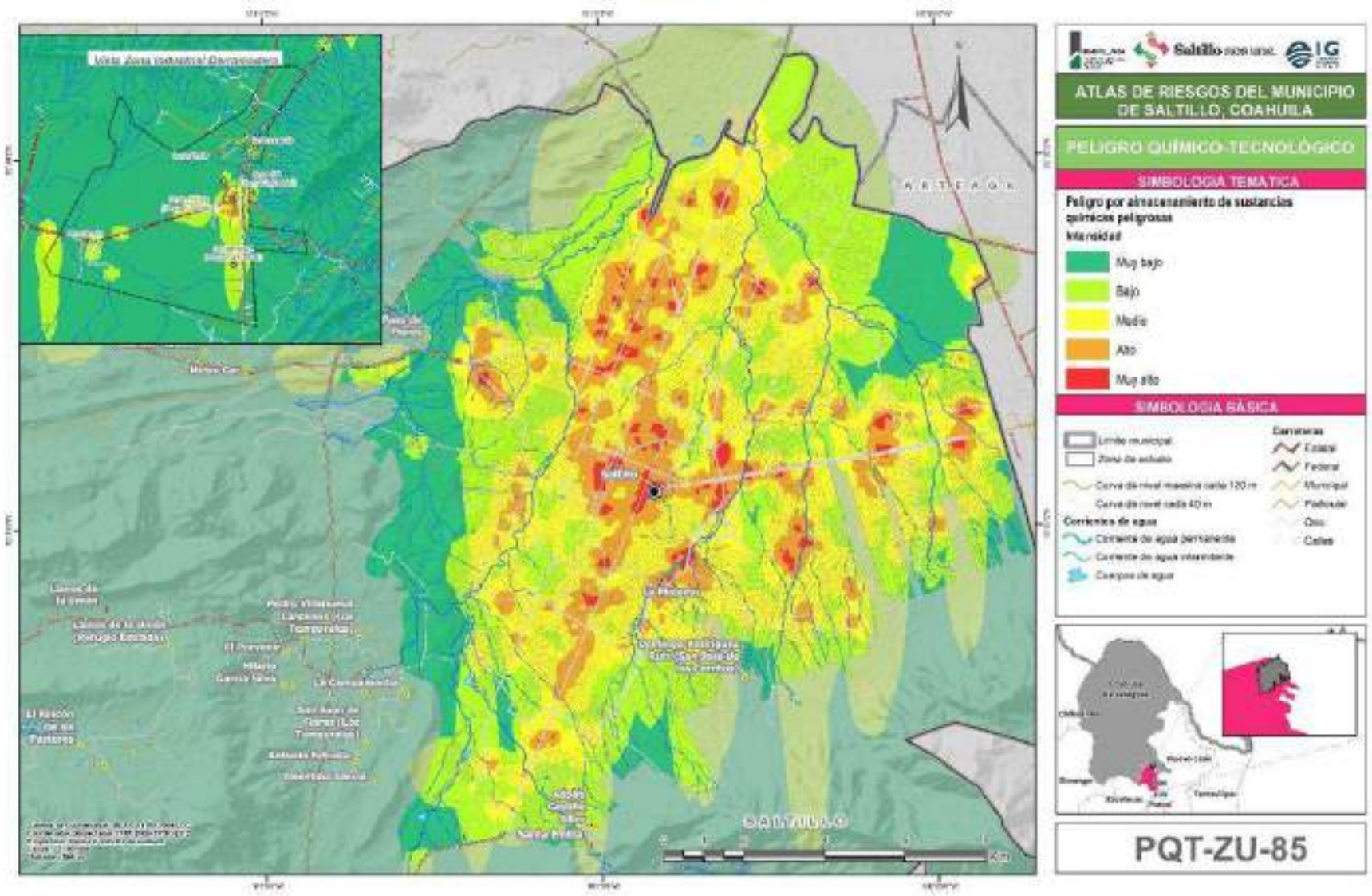
Como se ve en el mapa de escala municipal, y al igual que la zona urbana, el área industrial de derramadero también presenta los tres tipos de peligro por almacenamiento de solventes.

Como se ha venido observando en los mapas de peligro por almacenar combustibles, reactivos y solventes, la mayoría de ellos presenta un nivel de peligro mayor hacia la zona centro, así como en el norte, tanto del municipio como de la zona urbana, sin dejar de lado que algunas de las excepciones se manifiestan por producto altamente tóxicos como el cloro y el amoniaco, en donde sus efectos más importantes se concentran hacia el sur del municipio, también de la zona urbana, dados los efectos del origen y velocidad de los vientos dominantes en el municipio.

Lo dicho manifiesta que en conjunto el peligro por almacenamiento de sustancias químicas peligrosas es de sumo cuidado, así como de suma importancia para tomar en cuenta por las autoridades locales en las que recae la responsabilidad de mantener la prevención y la protección a la ciudadanía.

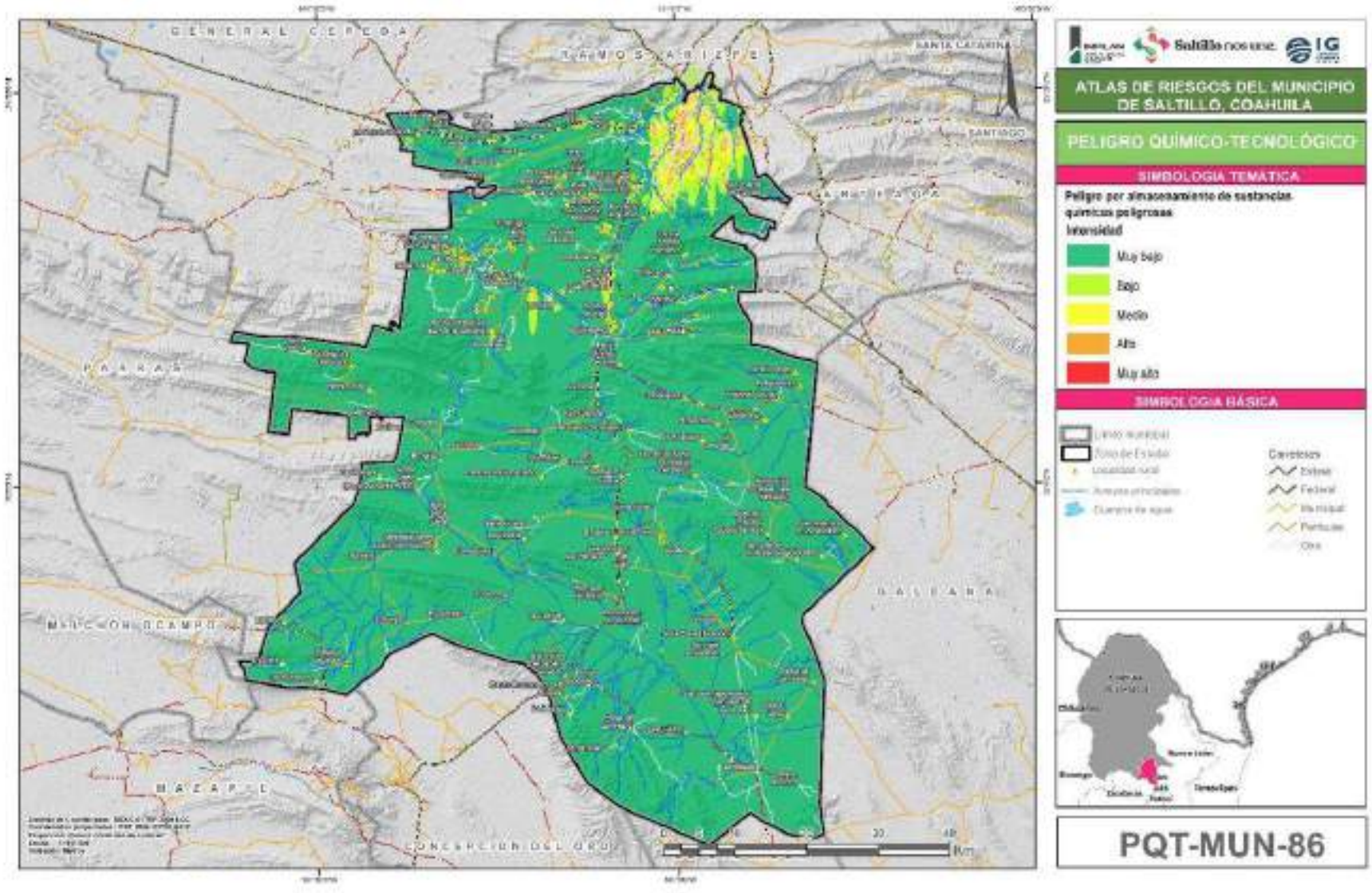
En resumen, en el Mapa 93 y Mapa 94 se puede apreciar a nivel urbano y escala municipal, los efectos en conjunto de almacenar sustancias químicas peligrosas en las tres categorías antes mencionadas.

Mapa 93. Peligro por almacenamiento de sustancias químicas peligrosas en zona urbana



Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Mapa 94. Peligro por almacenamiento de sustancias químicas peligrosas a nivel municipal



Fuente: elaboración propia con ALOHA.

6.1.1 Transporte de sustancias peligrosas

Introducción / Antecedentes

El propósito fundamental del mapa de peligros en el transporte de sustancias y materiales peligrosos es proporcionar una herramienta visual que permita identificar, además de comprender diversos aspectos relacionados con la seguridad en el transporte. Estos mapas tienen como objetivo principal:

1. Identificar las vías terrestres utilizadas para el transporte de sustancias y materiales peligrosos, lo que incluye rutas específicas, carreteras, asimismo caminos transitados por los vehículos de transporte.
2. Describir los tipos de materiales y sustancias transportadas, tanto por sus características, como riesgos asociados. Esto permite tener una visión clara de los posibles peligros que pueden surgir en caso de accidente o incidente durante el transporte.
3. Identificar los posibles tipos de peligro a lo largo de las rutas de transporte, como riesgos de incendio, explosión, fugas químicas, entre otros. Esta información es crucial para planificar medidas de prevención y respuesta ante emergencias.
4. Delimitar y señalar las áreas de peligro a lo largo de las vías de transporte, destacando zonas críticas o sensibles donde la presencia de sustancias peligrosas puede representar un riesgo significativo para la población, de la misma forma del medio ambiente.

Para la creación de mapas de peligro detallados, es esencial acumular una variedad de datos sobre los transportes que llevan sustancias y materiales peligrosos. Esto abarca las especificaciones básicas de los vehículos, tales como el tipo, la capacidad de carga, además de los mecanismos de seguridad implementados.

Es igualmente crucial tener un conocimiento profundo sobre las propiedades de los materiales transportados, las rutas por las que circulan estos vehículos y la historia de incidentes en dichos caminos. La integración de esta información es clave para desarrollar mapas de riesgos que sean tanto precisos como funcionales, contribuyendo así a elevar la seguridad en el manejo de materiales peligrosos.

La **NOM-004-SCT-2008** es una norma que establece los sistemas de identificación para unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos en México. Esta norma es esencial para garantizar la seguridad en el transporte de estos materiales, proporcionando directrices claras sobre la identificación, asimismo del manejo de las unidades de transporte.

La norma tiene como objetivo principal asegurar que las unidades de transporte sean identificadas de manera adecuada para facilitar la gestión de riesgos y la respuesta ante emergencias. La identificación debe ser visible, además de clara para todos los involucrados en el proceso de transporte, incluyendo operarios, personal de emergencia y la comunidad.

Principales requisitos

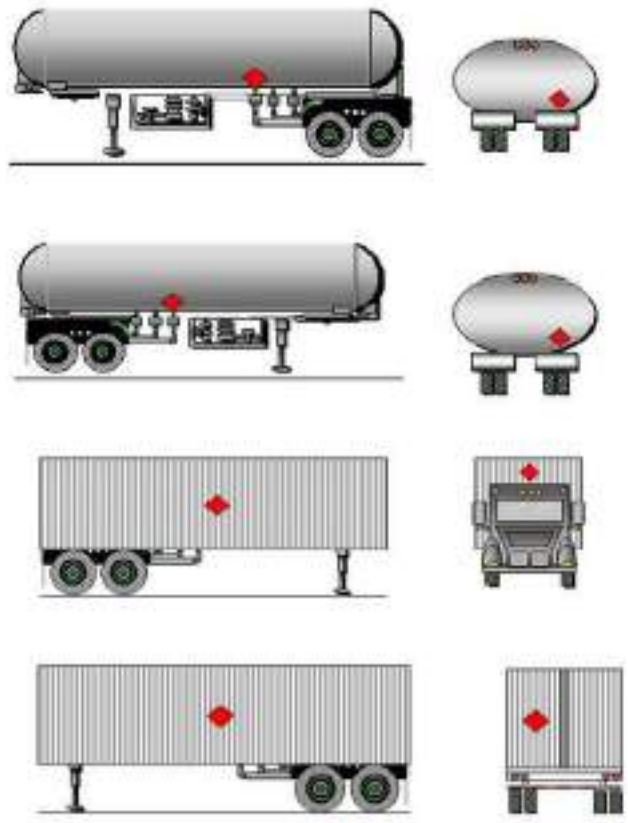
1. **Identificación visual**: todas las unidades deben tener sistemas de identificación que incluyan etiquetas, rótulos y placas que indiquen claramente el tipo de material peligroso que transportan.

2. **Concordancia internacional**: la norma está alineada con estándares internacionales como las Recomendaciones Relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas de la ONU y el Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (IMDG).
3. **Compatibilidad y segregación**: establece disposiciones sobre la compatibilidad y segregación de sustancias peligrosas durante su transporte, evitando reacciones peligrosas entre materiales incompatibles.

Esta normalización de identificación debe ser clara y efectiva a la hora de realizar una inspección o reconocimiento de lo que se está transportando.

La Figura 92 es un ejemplo de cómo debe ser implementado en el transporte este sistema de señalización.

Figura 92. Ubicación del cartel de identificación de sustancias, materiales o residuos peligrosos



Fuente: NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SCT/2008, Sistemas de identificación de unidades destinadas al transporte de substancias, materiales y residuos peligrosos.

Otro aspecto importante sobre el transporte de sustancias químicas peligrosas es la clasificación de carreteras. De acuerdo con la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes (SICT) a través de la Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC) estas se clasifican en las siguientes categorías.

Red federal de carreteras:

- **ET y A**: estas carreteras permiten la circulación de cualquier tipo de vehículo debido a sus prestaciones físicas y características geométricas. Ejemplos incluyen carreteras de cuatro carriles (ET4) y de dos carriles (ET2).

Red primaria (B):

- Estas carreteras prestan un servicio de comunicación interestatal y vinculan el tránsito entre diferentes estados. Ejemplos incluyen carreteras de cuatro carriles (B4) y de dos carriles (B2).

Red secundaria (C):

- Comprende carreteras dentro del ámbito estatal con longitudes medias, estableciendo conexiones con la red primaria.

Red alimentadora (D):

- Estas carreteras sirven dentro del ámbito municipal con longitudes relativamente cortas, conectando con la red secundaria.

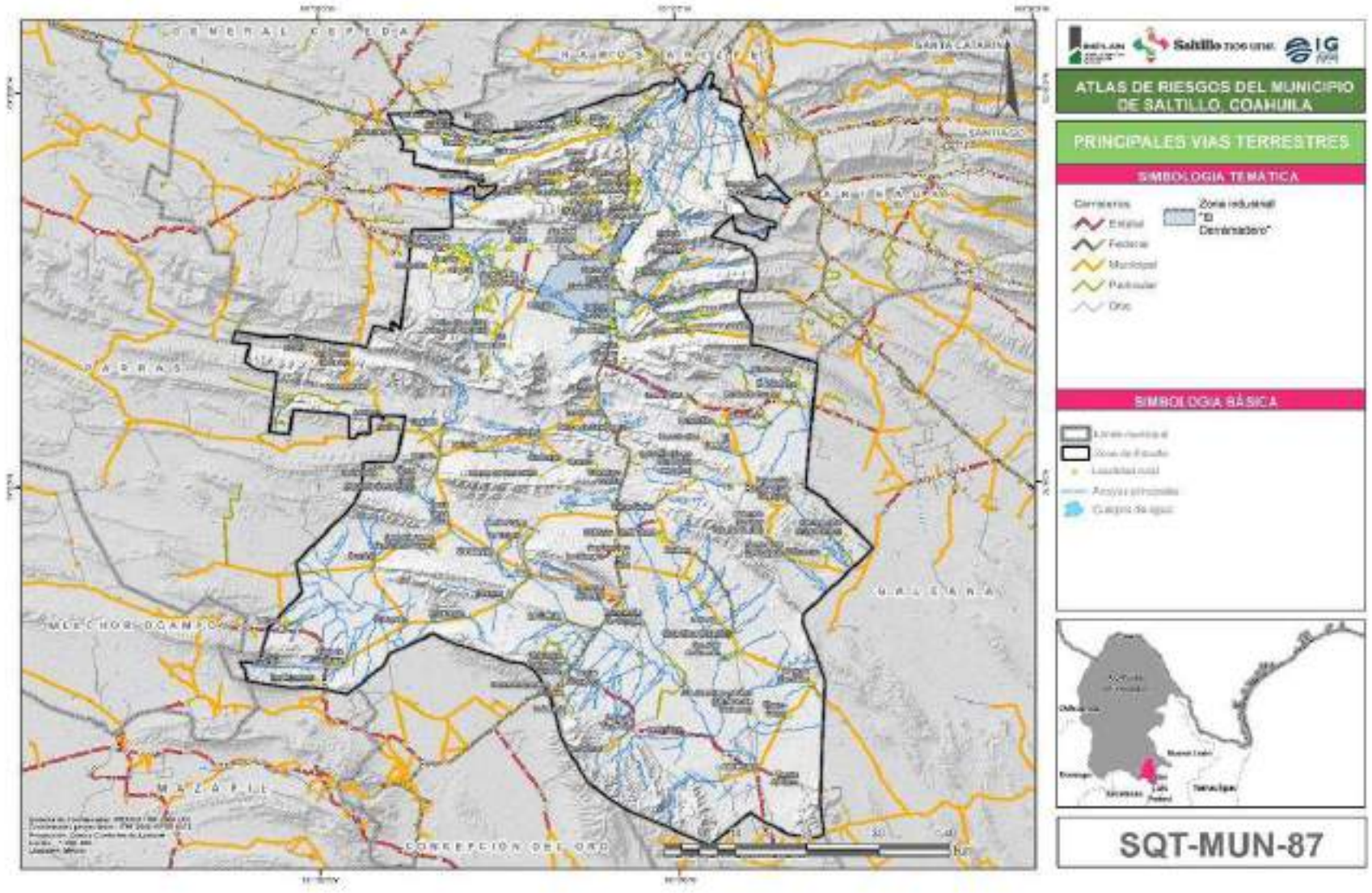
Caminos rurales y brechas mejoradas:

- Vías modestas que, por lo general, carecen de pavimentación. Su importancia es más social que económica, proporcionando acceso a comunidades pequeñas que estarían aisladas sin ellas.

Dentro de los límites territoriales de Saltillo existe un total de 233. 3 km de tramos carreteros (Mapa 95) , de los cuales la mayoría de ellos son de orden federal, abarcando 162.4 km; seguidos por tramos estatales con extensión de 68.7 km, dejando a los tramos municipales en tercer lugar con tan solo 2.2 km.

Además de todas las vialidades dentro de la zona urbana (calles, andadores, avenidas y bulevares), que en total suman un aproximado de 60.4 km de longitud.

Mapa 95. Principales vías terrestres utilizadas para el transporte de sustancias químicas peligrosas



Fuente: Red Nacional de Caminos (INEGI, 2023).

Otro tema de mayor importancia es el de accidentes viales dentro del municipio, dado que este cuestión permite la posibilidad de identificar el tipo de vehículo y la frecuencia con que se ve involucrado en un incidente de este tipo. En Saltillo entre 2022 y 2023, se suscitaron un total de 8 ml 237 siniestros de tránsito, esto de acuerdo con la información proporcionada por el Instituto Municipal de Planeación. De los cuales 68 correspondieron a vehículos con placas del servicio público federal, incluidos vehículos de transporte público local y foráneo.

Ferrocarril

Otro tema importante por considerar es el uso del ferrocarril, ya que juega un papel crucial en el transporte de diversos productos, incluyendo sustancias químicas, debido a su capacidad para mover grandes volúmenes de carga de manera eficiente y a costos significativamente más bajos comparados con el transporte por carretera.

Los trenes tienen la capacidad de transportar una mayor cantidad de carga en un solo viaje en comparación con los camiones, lo cual es especialmente ventajoso para productos pesados, así como voluminosos como minerales, granos y sustancias químicas. Además, el transporte ferroviario ofrece una opción más segura para mover sustancias químicas peligrosas, ya que los vagones de trenes especializados están diseñados para contener, asimismo proteger estos materiales, reduciendo el riesgo de derrames y accidentes en comparación con los camiones.

El transporte por ferrocarril es generalmente más económico que el transporte por carretera, especialmente en largas distancias. Los costos de combustible por tonelada/kilómetro son menores en el ferrocarril, y los trenes pueden aprovechar mejor las economías de escala, lo que reduce los costos operativos totales. Además, los trenes son más eficientes en términos de consumo de combustible, ya que emiten menos gases de efecto invernadero por tonelada de carga transportada en comparación con los camiones, haciendo del ferrocarril una opción más sostenible para el medio ambiente, debido a que la emisión de contaminantes es 3.2[13] veces menor que el trasporte de carga por carretera.

Para la industria química, los ferrocarriles pueden transportar grandes cantidades de sustancias químicas en vagones especializados, ya que, de acuerdo con Ferrocarril Mexicano, S.A. de C.V. (FERROMEX) en nuestro país el 26% de las mercancías son movidas por trenes diseñados para contener materiales peligrosos de manera segura. Esto minimiza los riesgos asociados con el manejo y el transporte de estos productos, además de reducir los costos operativos debido a los menores costos de transporte por ferrocarril. Los trenes operan en horarios fijos, por lo que son menos susceptibles a retrasos por tráfico en comparación con los camiones, lo que asegura una entrega más confiable y puntual de los productos.

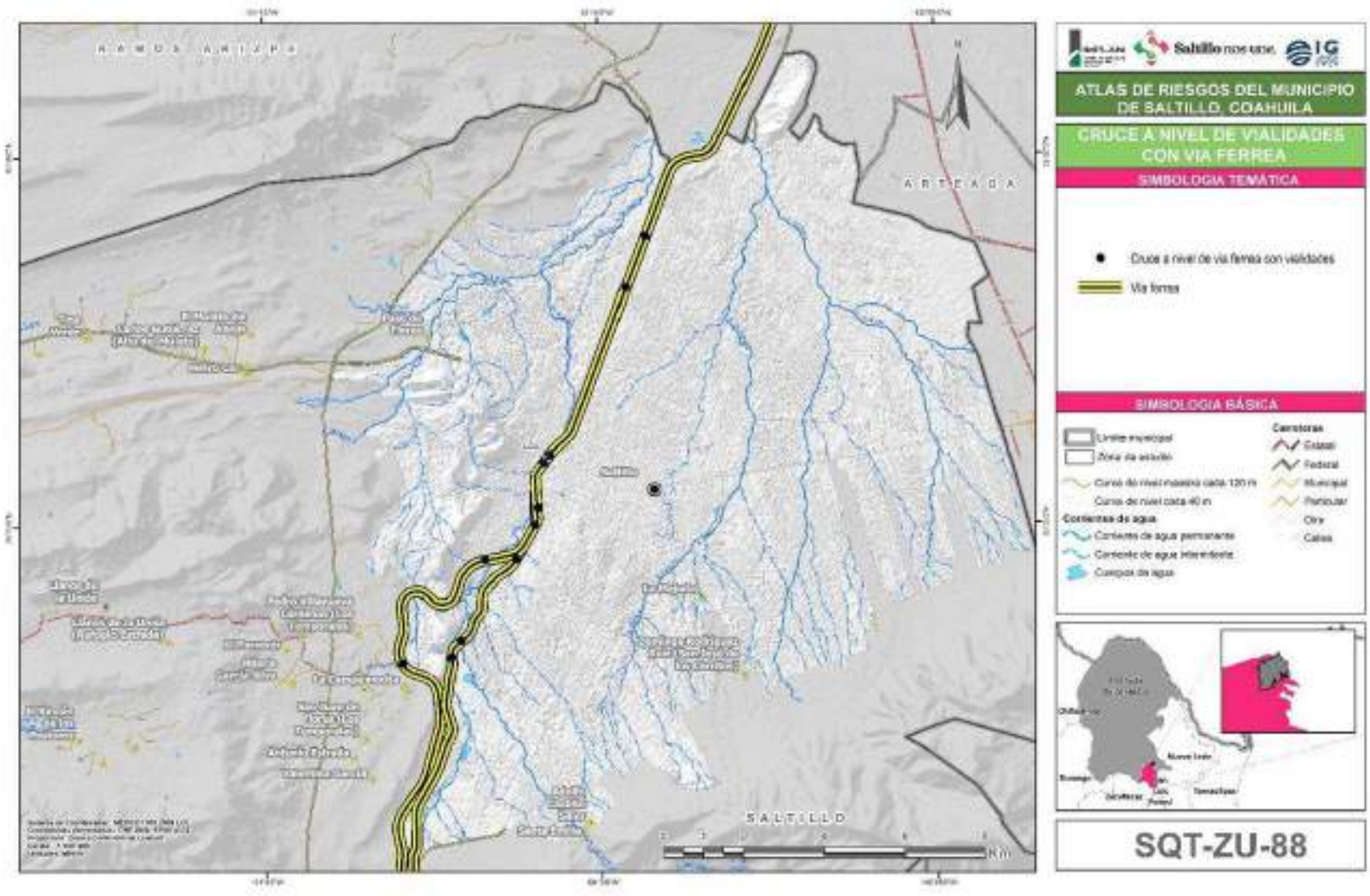
A pesar de ser un transporte seguro, lo trenes al igual que el transporte por carretera sufren de accidentes que pueden provocar daños a las personas y al medio ambiente tratándose de accidentes que involucran sustancias químicas peligrosas. De acuerdo con cifras de la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario (ARTF), en el municipio de Saltillo se reportaron de 2016 a lo que va del 2024 un total de 179 incidentes en los que se vió involucrado el ferrocarril, entre los distintos percances se encuentran choques, descarrilamientos, incendios, arrollamiento de vehículos, así como de personas, fugas, entre otros.

[13] https://www.ferromex.com.mx/ferromex-lo-mueve/ferromex-lo-mueve.jsp

El mayor número de estos incidentes reportados está dado por el arrollamiento de vehículos con 77 eventos, seguido por descarrilamientos con 40 y personas arrolladas con 32 casos reportados. Muchos de estos accidentes se manifiestan principalmente por efecto del cruce de las vialidades urbanas o carreteras a nivel de la vía férrea, la imprudencia o irresponsabilidad de algunos conductores provocan que se susciten este tipo de siniestros dando como consecuencia fatalidades que derivan en la muerte o derrames o explosiones.

Para llevar a cabo la modelación del transporte por ferrocarril se identificaron las vías férreas principales, además de las que están en operación que se encuentran dentro de los limites municipales, así como los cruces que existen y son a nivel entre la via y las vialidades dentro de la traza urbana. Este proceso permitió identificar ocho cruces (Mapa 96) de este tipo solo en la zona urbana de Saltillo, mientras que para el resto del municipio no se identifican este tipo de pasos.

Mapa 96. Cruces a nivel entre vialidades y vía férrea



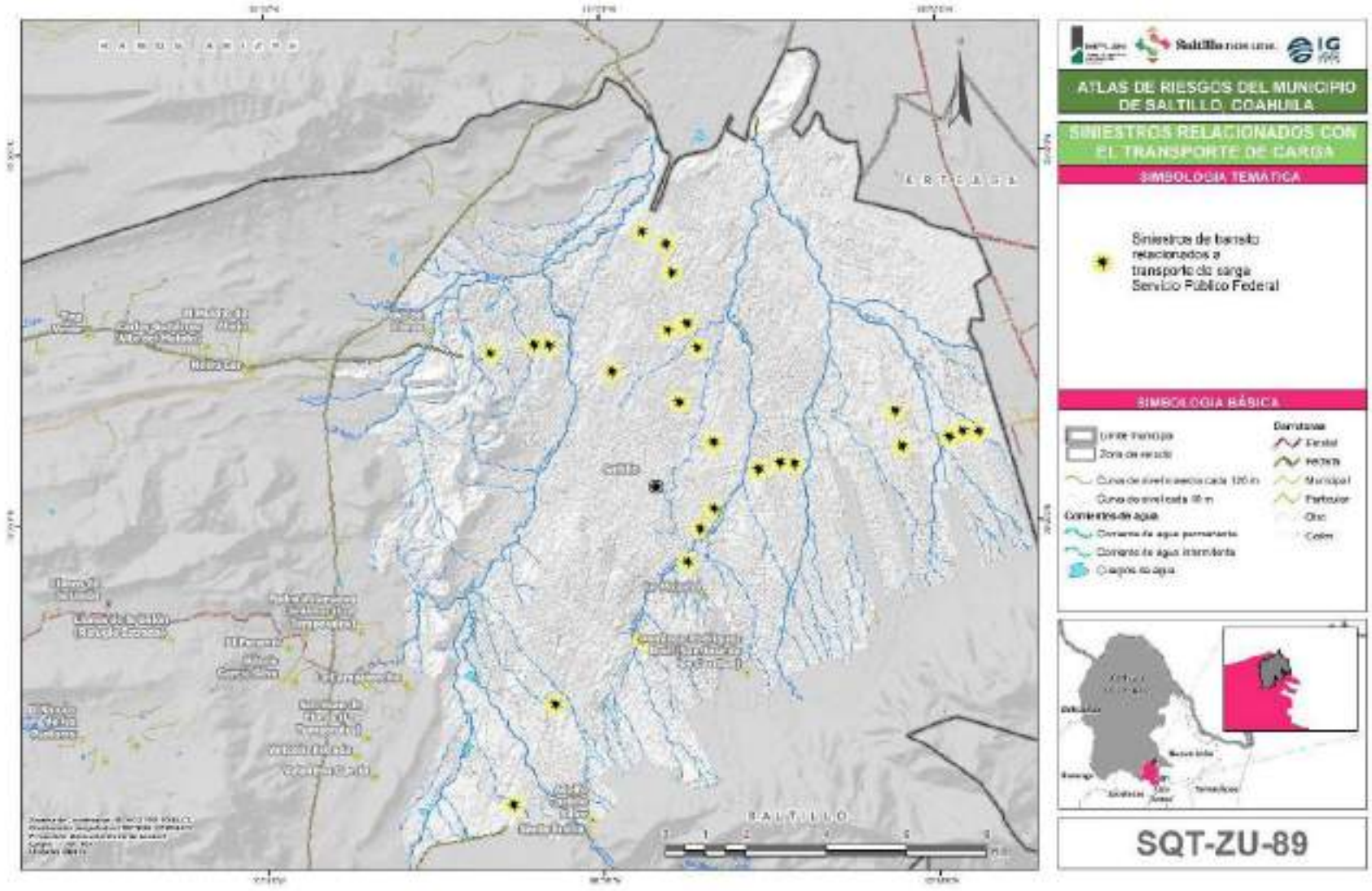
Fuente: elaboración propia con datos de siniestro de tránsito municipal.

Ante este resultado y de acuerdo con los antecedentes, se determinó que, de acuerdo con la información recabada sobre la incidencia de siniestros reportados por el ferrocarril, los cruces a nivel son los de mayor probabilidad de ocurrencia de un accidente de tren, por lo que se decidió que en esos puntos se llevarían a cabo los distintos escenarios de modelación para accidentes que involucran sustancias químicas peligrosas transportadas por ferrocarril.

Metodología

A través de un análisis de la información de siniestros de tránsito, se realizó una clasificación de los accidentes que involucraron vehículos automotores identificados como tractocamiones, tráileres o pipas, pertenecientes al Servicio Público Federal (dada la falta de información sobre transporte especializado de sustancias químicas peligrosas), se decidió inferir que estos vehículos son los utilizados para el transporte de diversas sustancias químicas peligrosas. Derivado de este análisis se obtuvo el Mapa 97, de siniestros relacionados con el transporte de carga en la zona urbana.

Mapa 97. Siniestros de tránsito relacionados al transporte de carga del Servicio Público Federal



Fuente: elaboración propia con información de siniestros de tránsito 2022 - 2023.

Después de identificar los puntos críticos en siniestros de tránsito, se procedió a modelar las mismas sustancias químicas consideradas previamente en el análisis de peligro por almacenamiento. Este modelado asumió que cada sustancia debe ser transportada a las industrias correspondientes. Para ello, se utilizaron los datos promedio de variables climáticas mencionadas, ajustando únicamente las capacidades de almacenamiento según el tipo de transporte utilizado. Esta aproximación permitió simular condiciones más realistas en el proceso de transporte de las sustancias.

Memoria de cálculo

Los vehículos como los tractocamiones y tráileres suelen transportar grandes volúmenes de líquidos, además de gases peligrosos en contenedores especiales que pueden manejar presiones y temperaturas variadas.

Las pipas, por otro lado, están diseñadas para transportar líquidos a granel, por lo que cuentan con compartimentos sellados que previenen la fuga de sustancias químicas. Las capacidades de estos vehículos varían, con tractocamiones y tráileres que pueden transportar entre 20 mil y 40 mil litros, mientras que las pipas tienen capacidades que oscilan entre 10,000 y 30,000 litros, dependiendo del diseño, al igual que del tipo de sustancia transportada. Tanto la utilización de estos vehículos, como sus capacidades de carga son esenciales para la distribución segura y eficiente de sustancias químicas a diversas industrias.

Las capacidades de los distintos tipos de transporte, así como sus características técnicas fueron obtenidos directamente de empresas dedicadas a su construcción, al igual que a la venta. Para el caso del transporte de gasolina y diésel se utiliza el autotanque pipa para gasolina con capacidad de 20 mil litros, está diseñado para el transporte seguro, además de eficiente de combustible. Fabricado en acero al carbón A-36, cumple con los requisitos, así como normativas vigentes, por ejemplo la NOM-020-SCT2-1995, que establece los estándares para el diseño y construcción de autotanques destinados al transporte de materiales, así también de residuos peligrosos (Figura 93).

Figura 93. Autotanque para el transporte de gasolina y Diesel



Fuente: pipas para Transporte de Combustible Gumex.

Por otro lado, para las sustancias como gas LP, amoniaco, Alcohol, disulfuro de carbono, acetato de metilo, acetato de butilo y piridina el tipo de autotanque más comúnmente utilizado es de capacidades que oscilan entre los 15 y 35 mil litros (Figura 94) y fabricados de acero al carbón para resistir la corrosión de los distintos materiales. Además de cumplir con la NOM-012-SCT-2-2006, NOM-012-SCT-2-2008 y NOM-020-SCT2-1995.

Figura 94. Autotanque para el transporte de sustancias como amoniaco, gas LP y otras.



Fuente: Pipas - TRISA Comercial S.A. de C.V.

Para el caso del transporte de acetileno, los vehículos deben cumplir con estrictas normativas de seguridad debido a las propiedades altamente inflamables y potencialmente explosivas del gas. Estos vehículos están equipados con sistemas de sujeción, además de protección específicos para asegurar que los cilindros de acetileno se mantengan estables, así como seguros durante el transporte.

Además de que los tanques o cilibdros para el transporte de este gas altamente inflamable están fabricados en acero al carbón dada su durabilidad y resistencia. Estos cilindros cumplen con la especificación DOT-8[14] o DOT-8AL[15] para el transporte de acetileno, conforme a la normativa Internacional 49 CFR 173.301[16]. La capacidad de carga de dichos vehículos oscila entre los 30 a 50 tanques de entre 42 y 50 litros (Figura 95).

Figura 95. Vehículos comúnmente utilizados en el transporte de acetileno



Fuente: Google images

Los vehículos destinados al transporte de cilindros de cloro de 907 kg en México deben cumplir con estrictas normativas de seguridad, también estar diseñados para manejar las propiedades peligrosas del cloro. Estos cilindros están fabricados con acero al carbono SA-516-70 y una presión de diseño de 17.58 kg/cm², cumplen con el Código ASME Sección VIII, División 1, garantizando su resistencia estructural, además de seguridad en condiciones extremas.

Los vehículos deben estar equipados con sistemas de localización vía satélite y cumplir con la NOM-012-SCT-2-2008, que regula las dimensiones, así como la capacidad de los autotransportes, deben contar con válvulas de cierre rápido, además de dispositivos de alivio de presión para asegurar la integridad durante el transporte. La obtención de un permiso general emitido por la SEDENA es esencial para el transporte especializado de materiales peligrosos, como el cloro, asegurando el cumplimiento de todas las normas de seguridad pertinentes (Figura 96).

[14] Los cilindros DOT-8 están fabricados de acero.
[15] Los cilindros DOT-8AL están hechos de aluminio, lo que los hace más ligeros en comparación con los cilindros de acero.
[16] La normativa 49 CFR 173.301 establece los requisitos generales para el transporte de gases comprimidos

Figura 96. ejemplo de vehículo para el transporte de tanques de gas cloro.



Fuente: Google images.

De forma resumida los datos utilizados para la modelación de sustancias químicas transportadas por carretera en zona urbana son los presentados en la Tabla 111.

Tabla 111. Capacidades de los autotanques utilizados para la modelación de transporte de sustancias químicas peligrosas

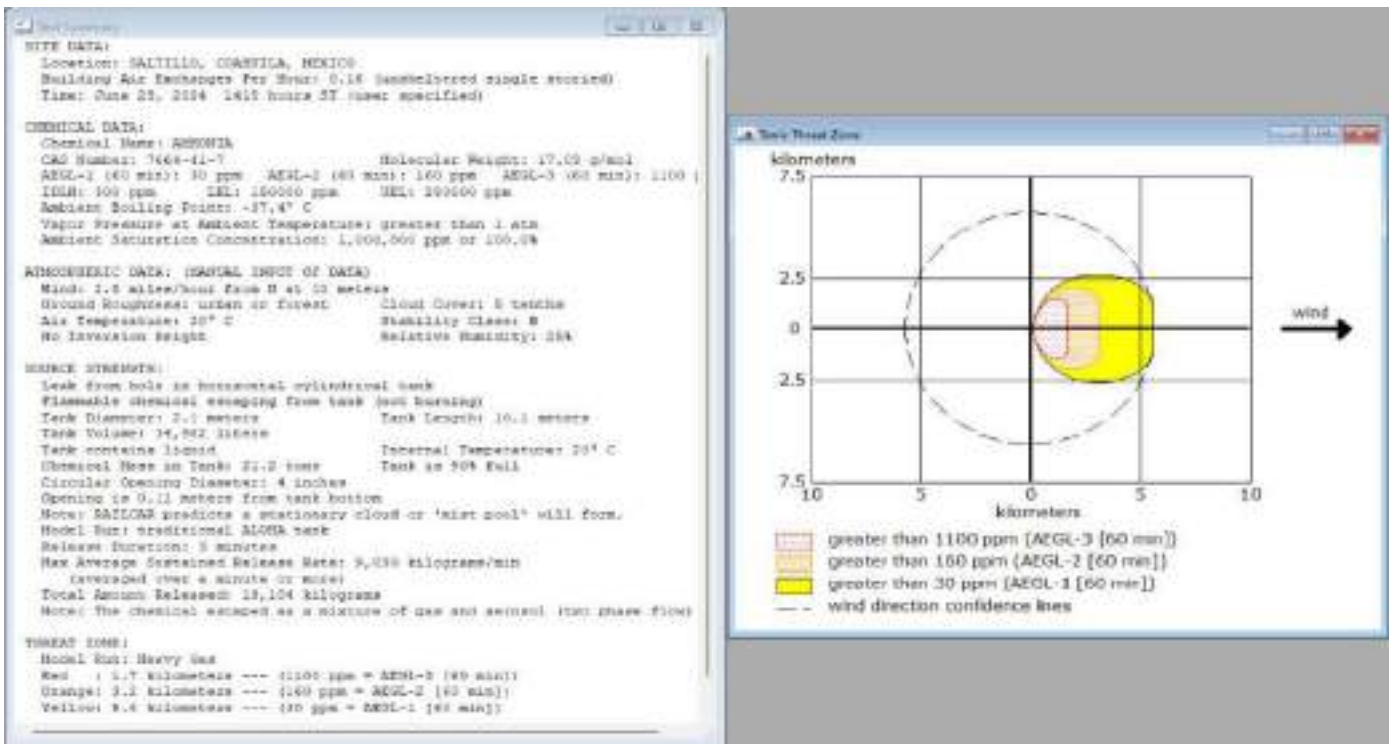
Sustancia transportada	Capacidad del autotanque
Gasolina y Disel	20, 000 litros
Gas LP Amoniaco Alcohol Disulfuro de carbono Acetato de metilo Acetato de butilo Piridina Acetato de Butilo Acetato de Etilo	35,000 litros
Acetileno	30 a 50 tanques de 50 litros
Cloro	5 a 10 tanques de 907 kg

Fuente: elaboración propia.

Para el proceso de modelación se utilizó la misma clasificación de sustancias mencionada en el apartado de almacenamiento, es decir, solventes, reactivos y combustibles. De la Figura 97 a la

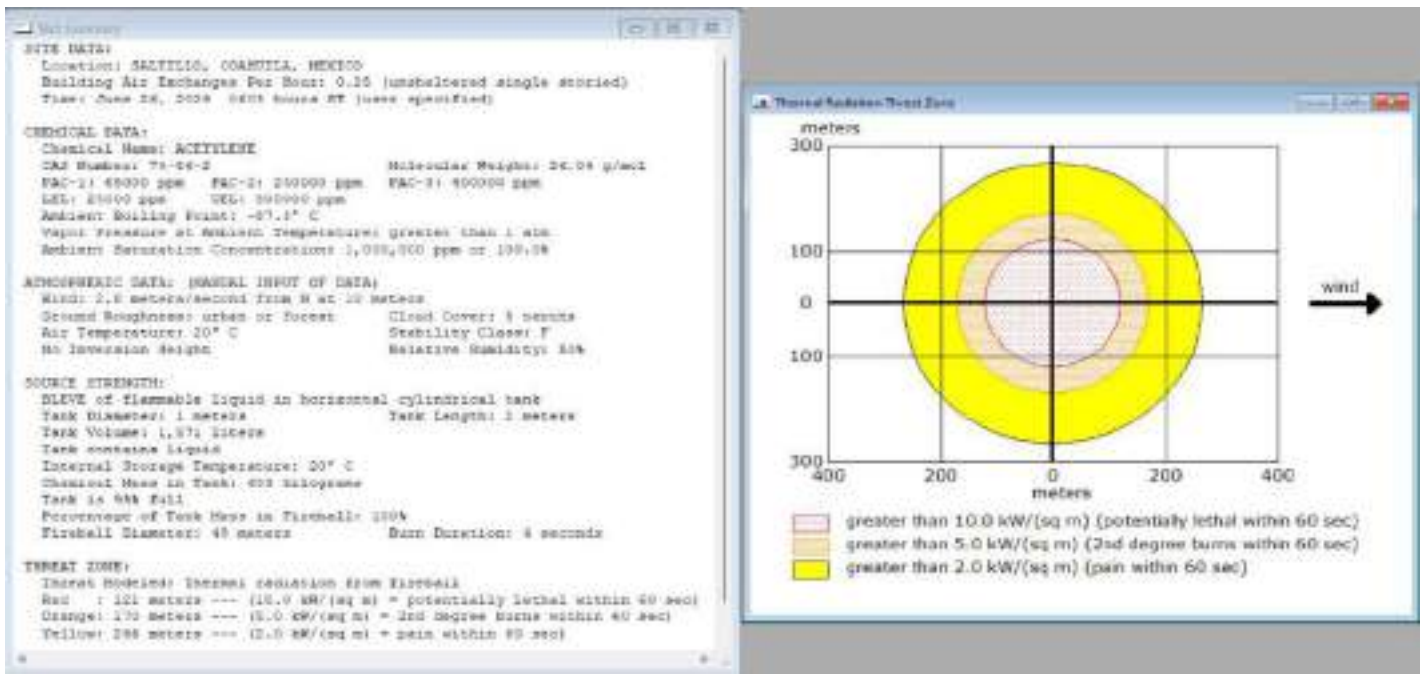
Figura 104 se muestra el resultado del proceso de modelación para las sustancias consideradas para el transporte en zona urbana.

Figura 97. Cálculo de la nube de dispersión toxica por derrame en autotanque de amoniaco



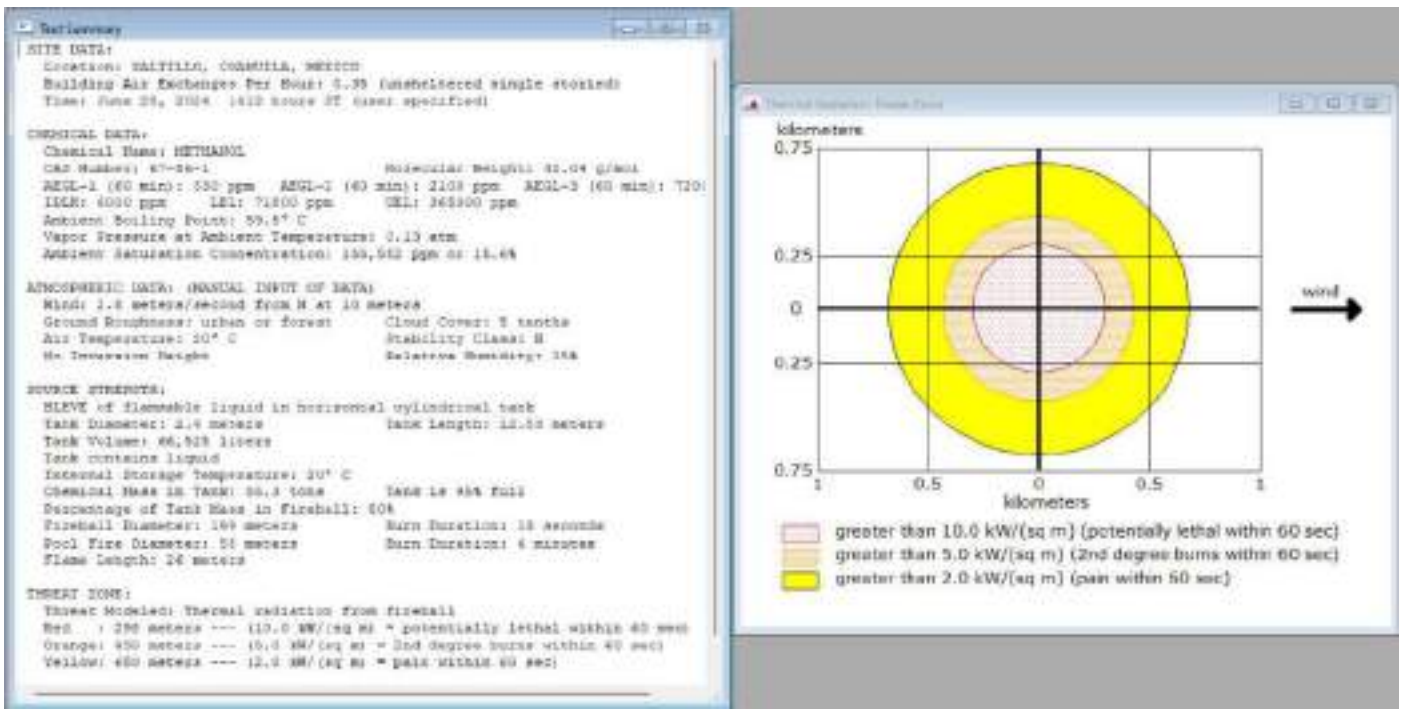
Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Figura 98. Cálculo de la Zona de radiación térmica por explosión de autotanque de acetileno



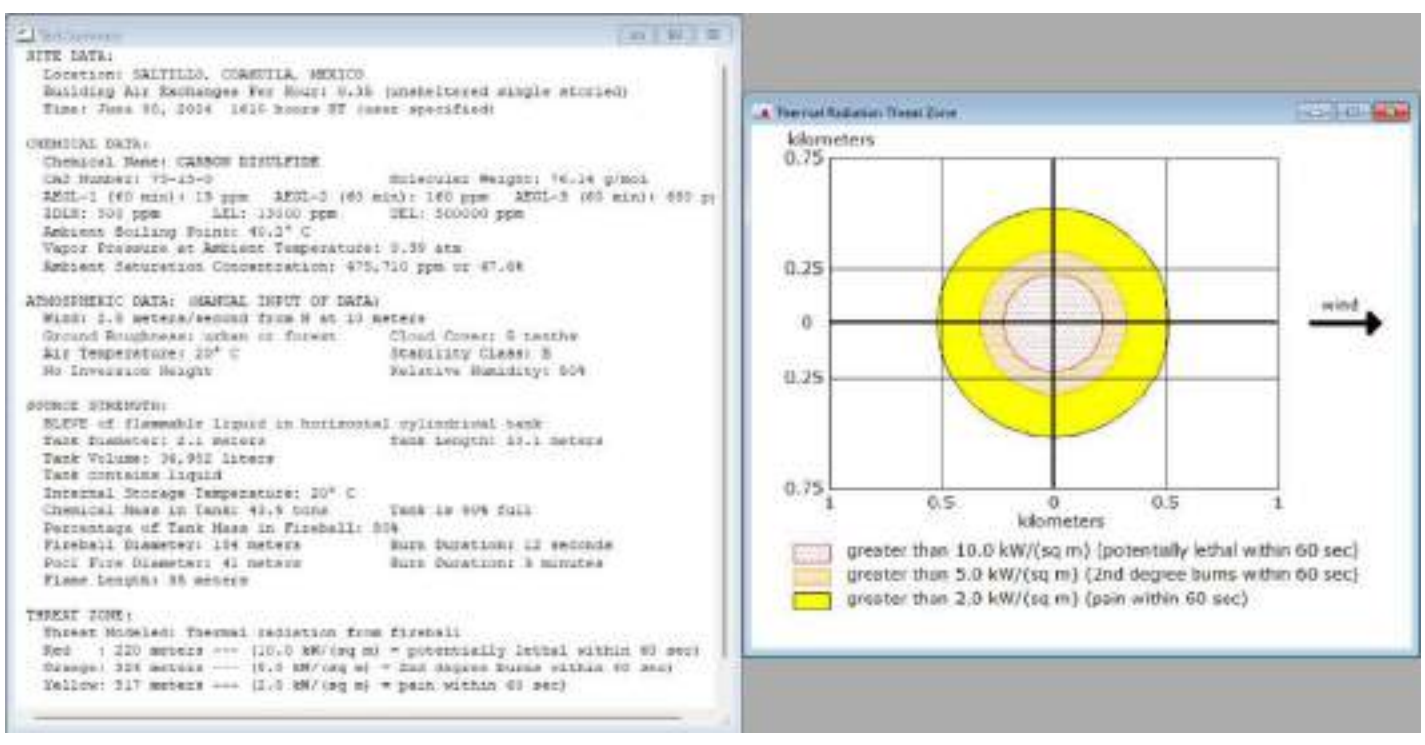
Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Figura 99. Cálculo de la Zona de radiación térmica por explosión de autotanque alcohol metílico



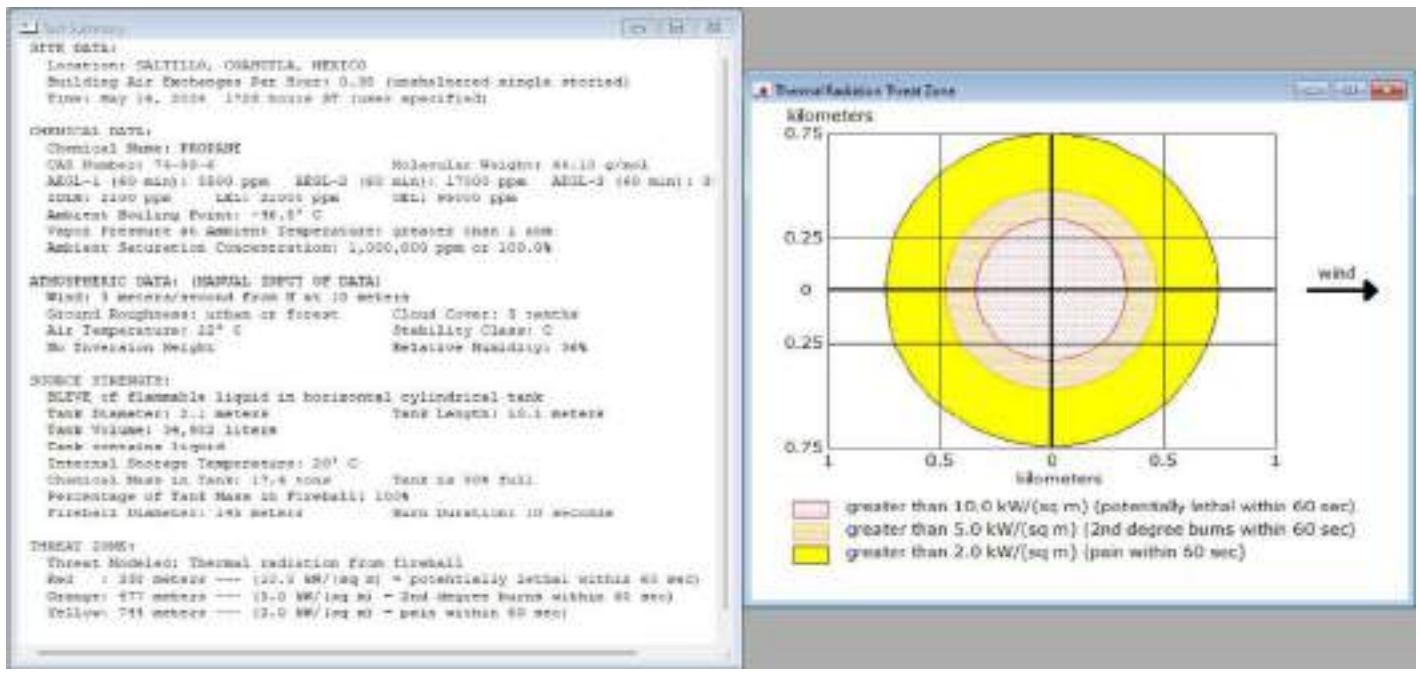
Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Figura 100. Cálculo de la Zona de radiación térmica por explosión de autotanque de disulfuro de carbono



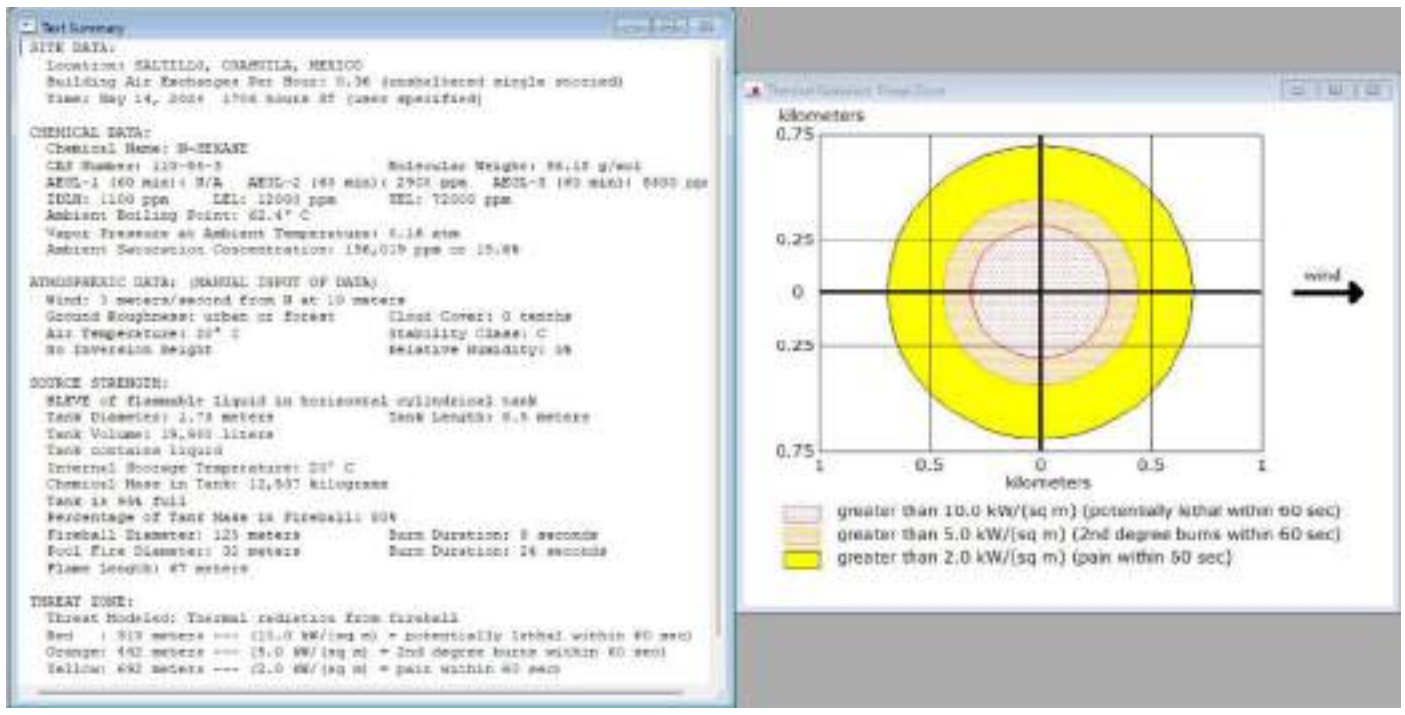
Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Figura 101. Cálculo de la Zona de radiación térmica por explosión de autotanque de gas LP



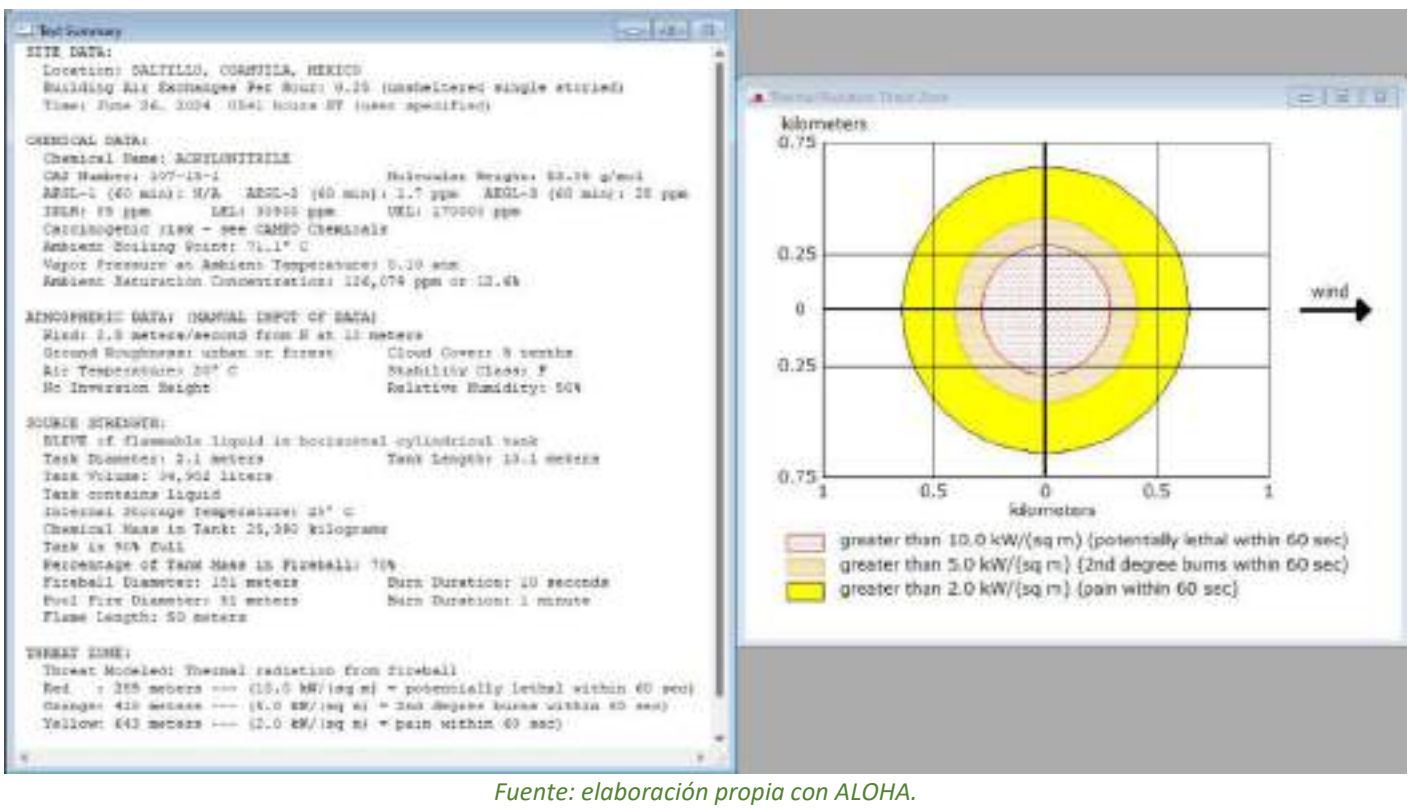
Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Figura 102. Cálculo de la Zona de radiación térmica por explosión de autotanque de gasolina



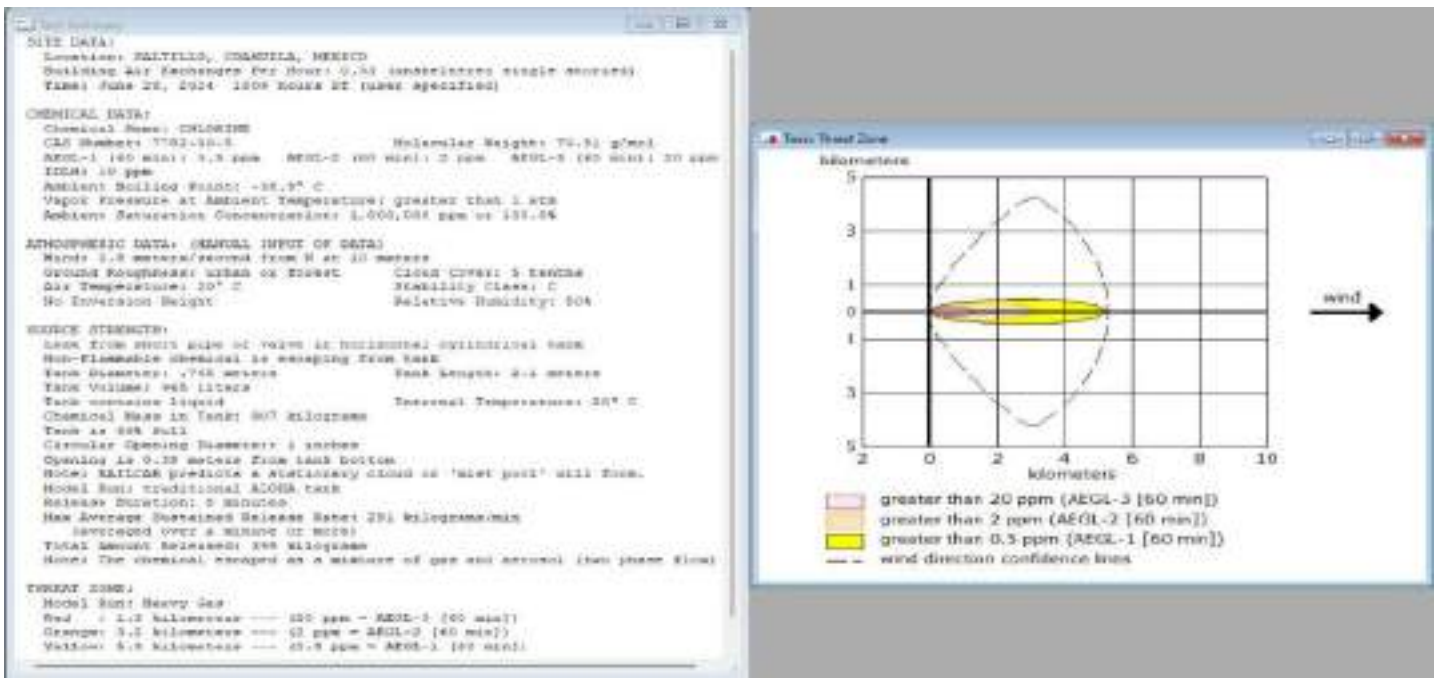
Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Figura 103. Cálculo de la Zona de radiación térmica por explosión de autotanque de Acrilonitrilo



Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Figura 104. Cálculo de la nube de dispersión toxica por derrame en autotanque de cloro



Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Ferrocarril

Para determinar los escenarios de modelación para el transporte por ferrocarril se utilizaron datos estándar usados en el trasporte de materiales químicos peligrosos. Por lo que se tomaron como referencia las especificaciones técnicas (Tabla 112 y Figura 105) de un carrotanque de forma cilíndrica usado por Ferrocarriles Mexicanos (FERROMEX).

Están construidos con acero al carbono SA-516-70; este material permite soportar presiones de trabajo máximas de hasta 14 bar y presiones de prueba de 21 bar. Equipados con válvulas de cierre rápido y dispositivos de alivio de presión, estos carros tanque cumplen con la especificación DOT 112J500W y la NOM-020-SCT2-1995, asegurando que se adhieren a los más altos estándares de seguridad internacional, así como mexicana para el transporte de materiales peligrosos.

Tabla 112. Características técnicas de un carro tanque de ferrocarril

Longitud	12.3 metros
Altura	4.8 metros
Capacidad	66525 litros
Peso neto sin carga	37.19 toneladas
Presión de trabajo máxima	14 bares

Fuente: FERROMEX, 2024.

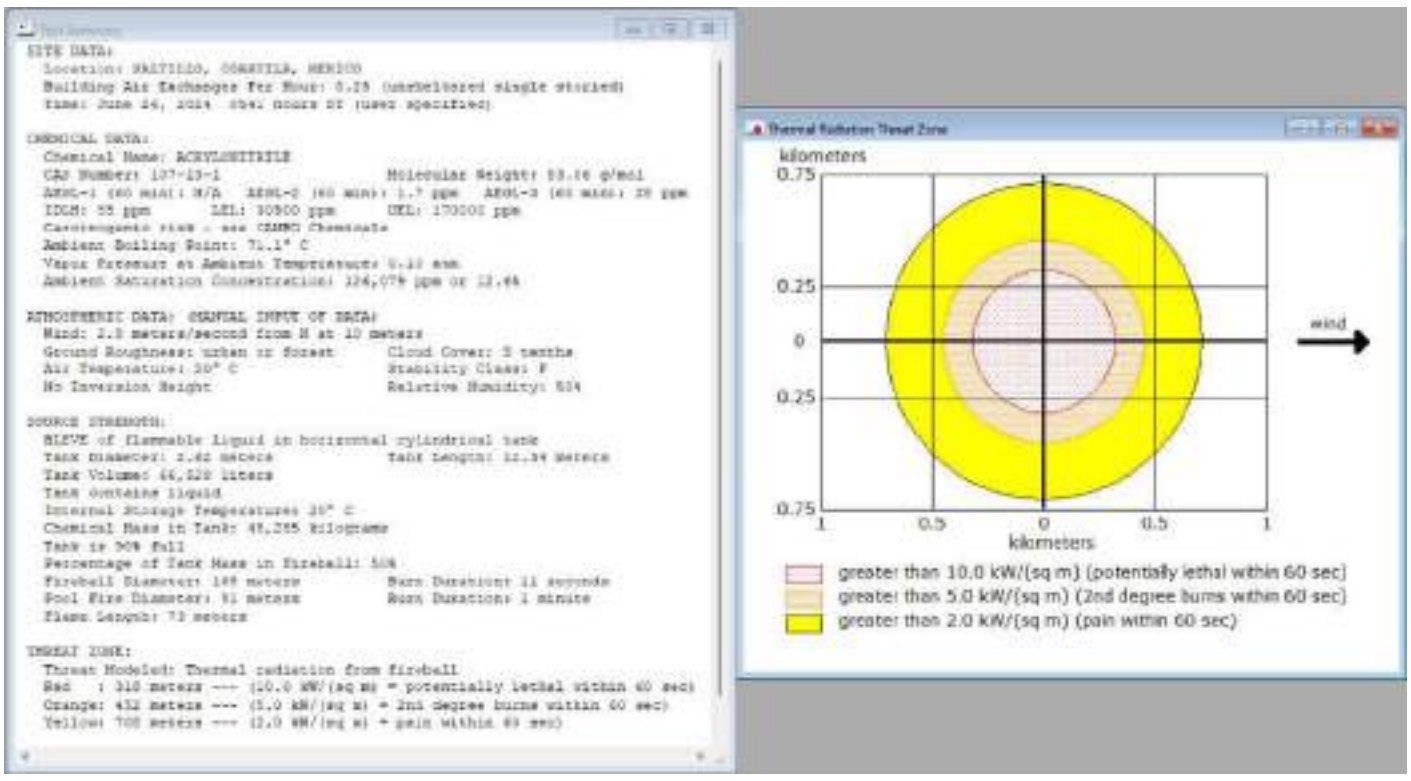
Figura 105. Carro tanque tipo para transporte de sustancias químicas por ferrocarril



Fuente: FERROMEX, S.A de C.V.

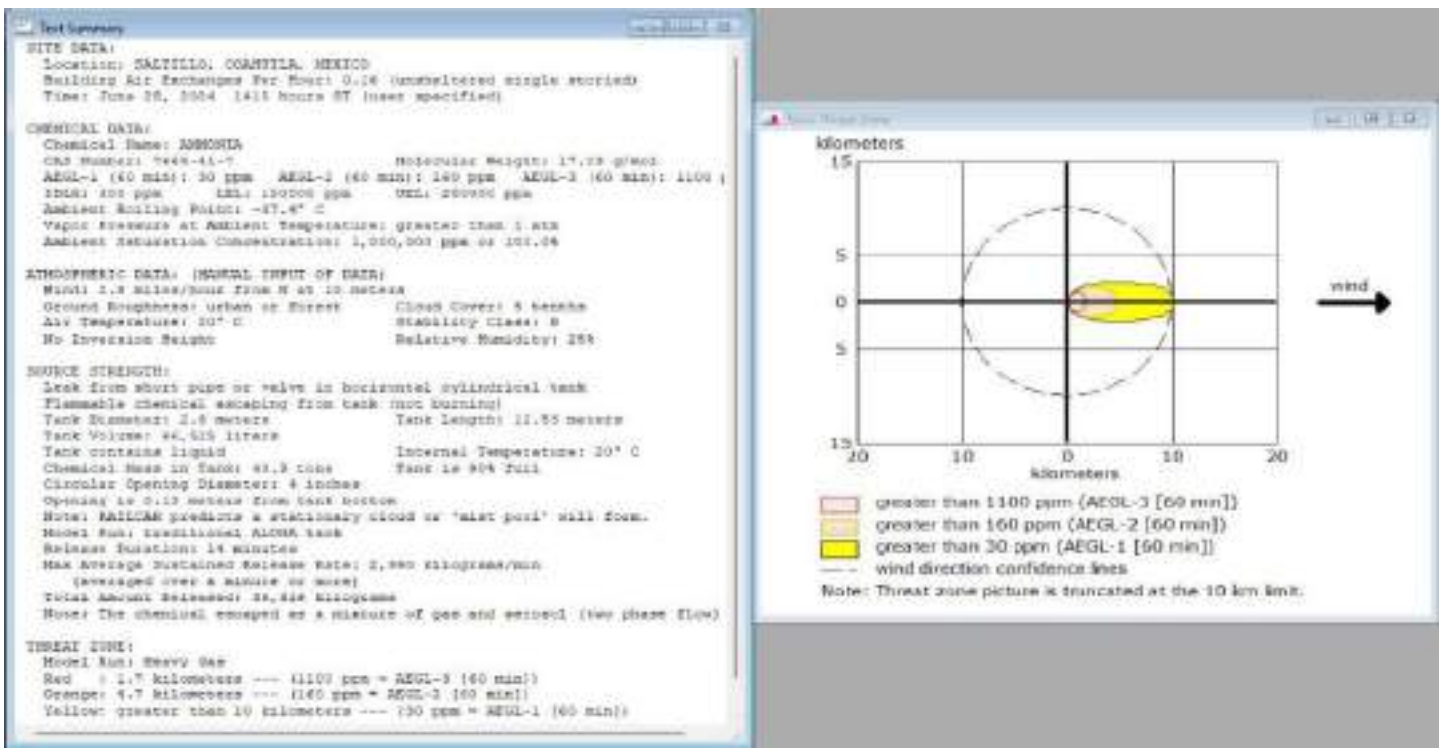
El proceso de modelación de sustancias químicas transportadas por ferrocarril se realizó para un total de cuatro de ellas que son las más comúnmente transportadas al interior del municipio.

Figura 106. Cálculo de la Zona de radiación térmica por explosión de carro tanque de ferrocarril con acrilonitrilo



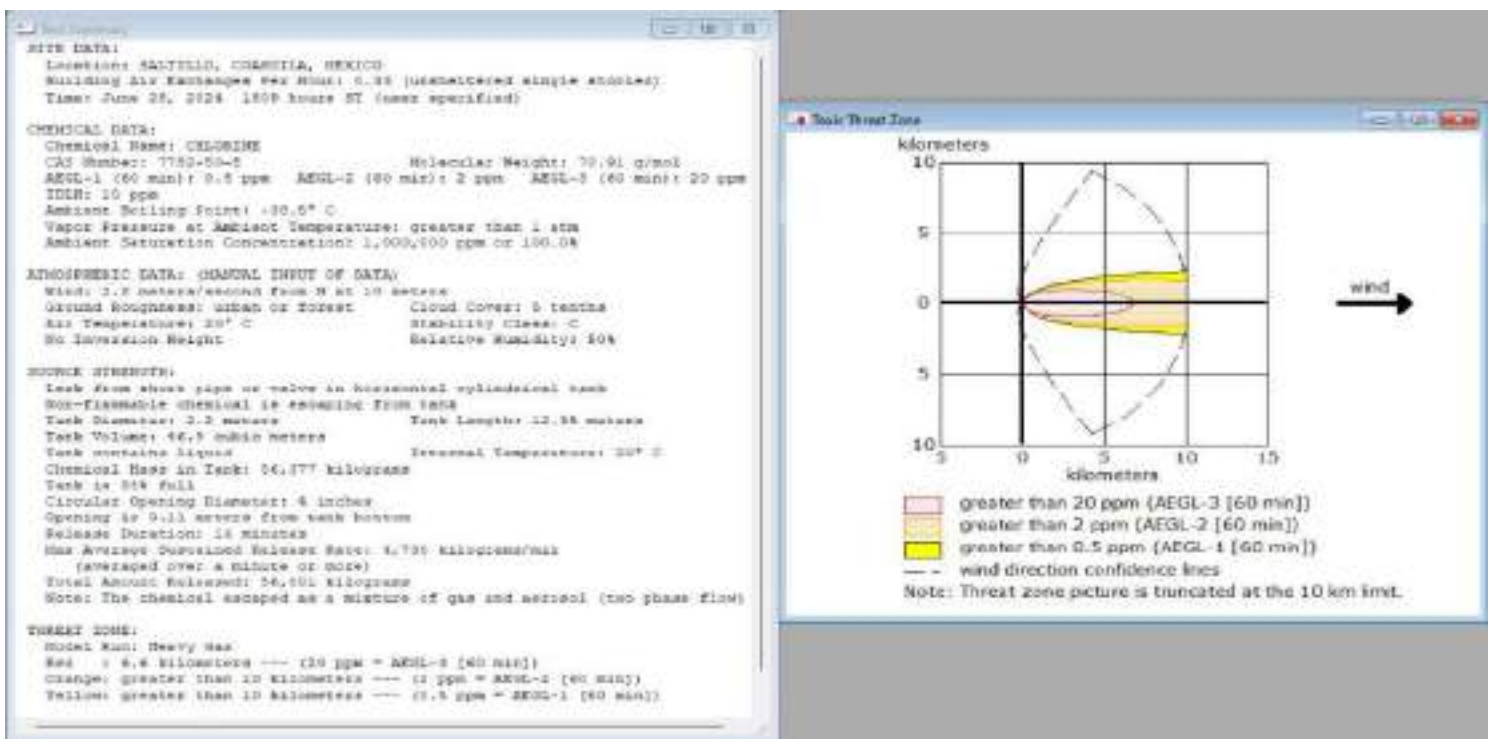
Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Figura 107. Cálculo de la nube de dispersión toxica por derrame de cloro en carro tanque de ferrocarril



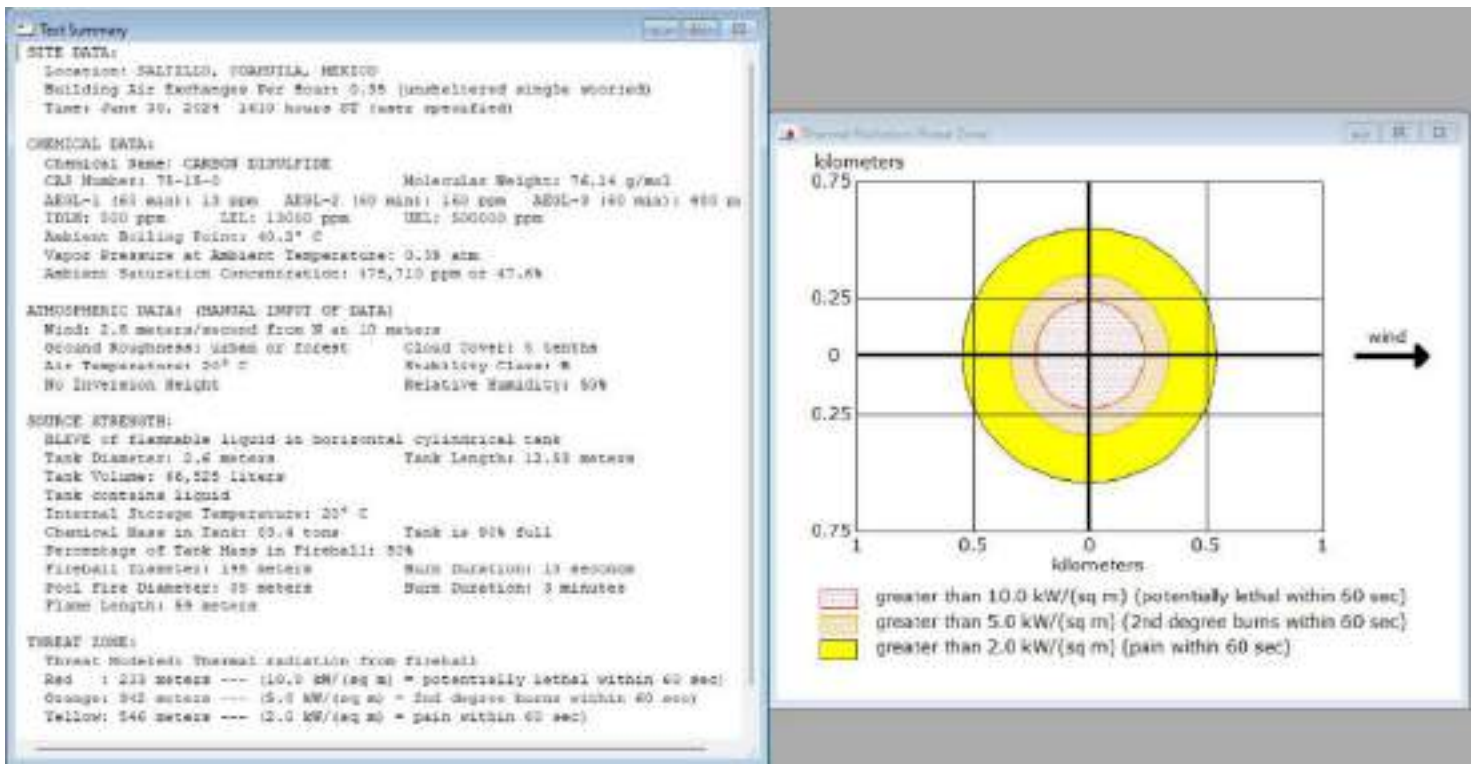
Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Figura 108. Cálculo de la nube de dispersión toxica por derrame de cloro en carro tanque de ferrocarril



Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Figura 109. Cálculo de la Zona de radiación térmica por explosión de carro tanque de ferrocarril con acrilonitrilo



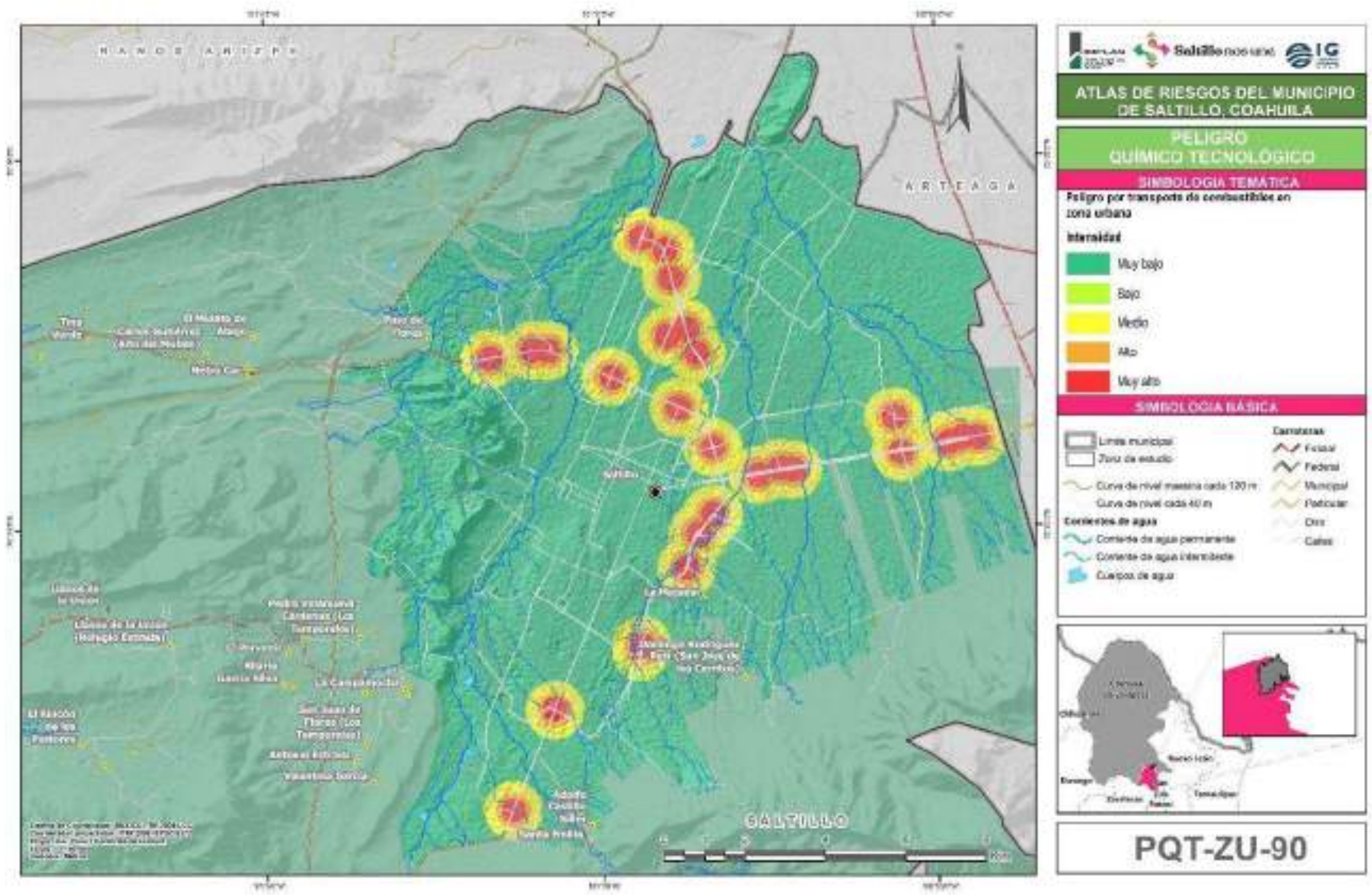
Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Resultados

Transporte terrestre en zona urbana

Como resultado de la modelación de sustancias clasificadas como combustibles, se generó un mapa de peligro específico para el transporte de combustibles por vías terrestres en zonas urbanas utilizando vehículos automotores. Este mapa refleja los peligros asociados con el movimiento de estas sustancias en entornos urbanos, ayudando a identificar áreas críticas, además de planificar medidas de seguridad adecuadas para mitigar posibles incidentes durante el transporte. El Mapa 98 indica las zonas de peligro para este tema.

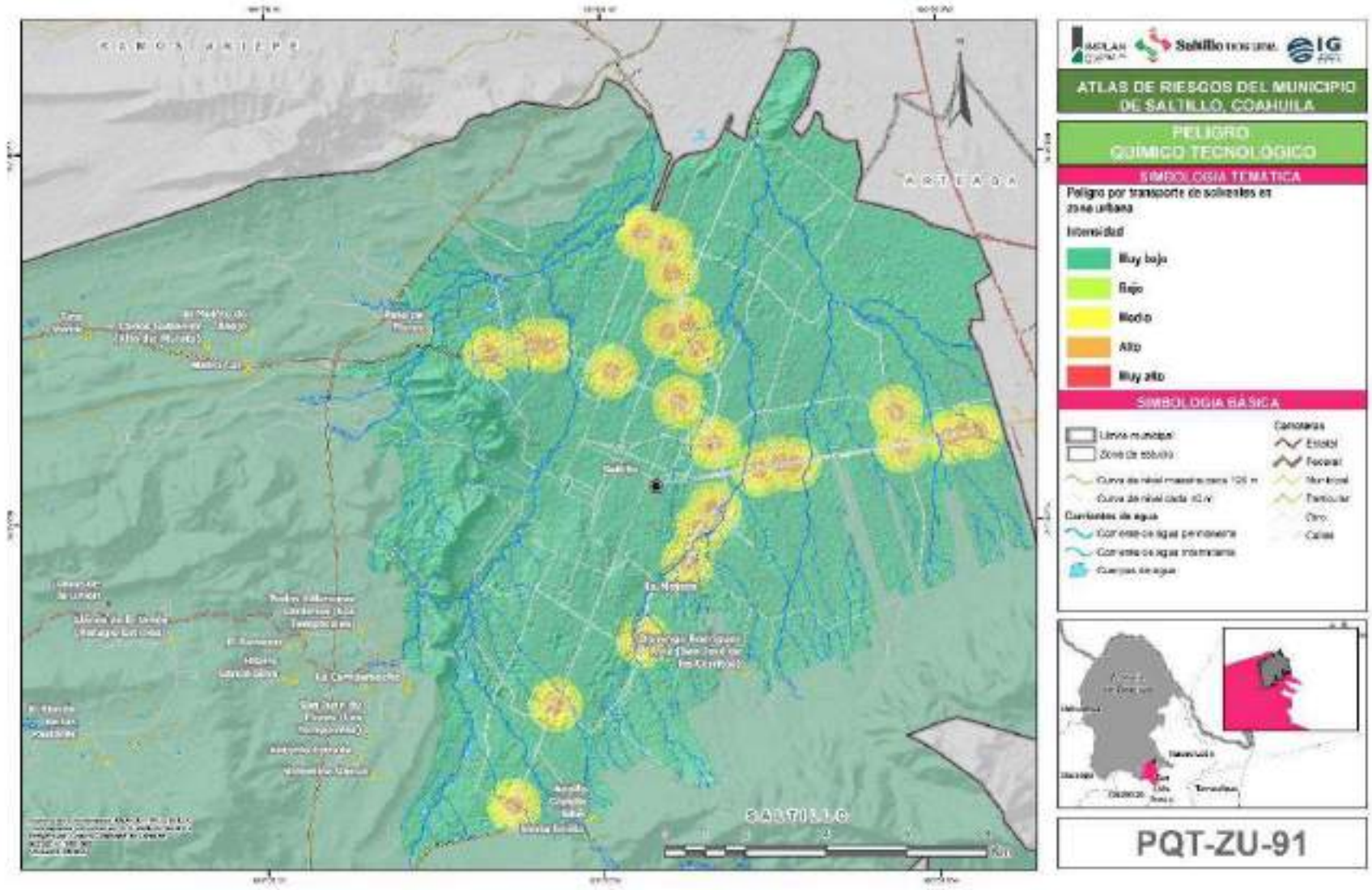
Mapa 98. Peligro por transporte terrestre de combustibles en zona urbana



Fuente: elaboración propia con ALOHA.

La modelación de las sustancias que corresponden a solventes permitió determinar el mapa de peligro por transportar dichos productos en la zona urbana del municipio, dando como resultado el Mapa 99, en el que se aprecian las zonas de mayor peligro, las de medio y bajo respectivamente.

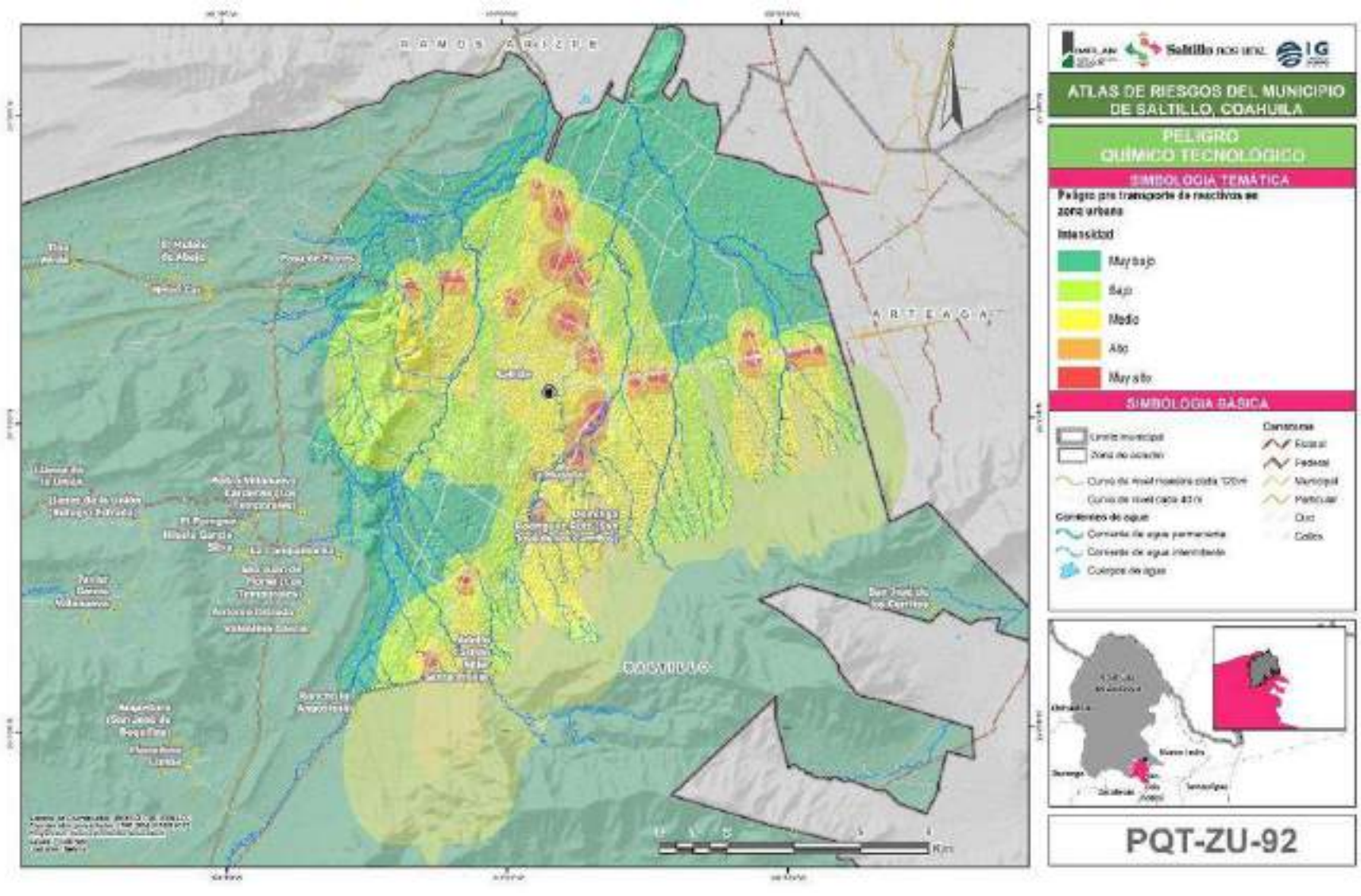
Mapa 99. Peligro por transporte terrestre de solventes en zona urbana



Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Para el caso de las sustancias que se configuran como reactivas, el proceso de modelación dio como resultado el Mapa 100, en el que se aprecian de forma precisa, las áreas que pueden presentar afectación por la acción de un accidente ante un derrame o explosión de cualquiera de ellas.

Mapa 100. Peligro por transporte terrestre de reactivos en zona urbana

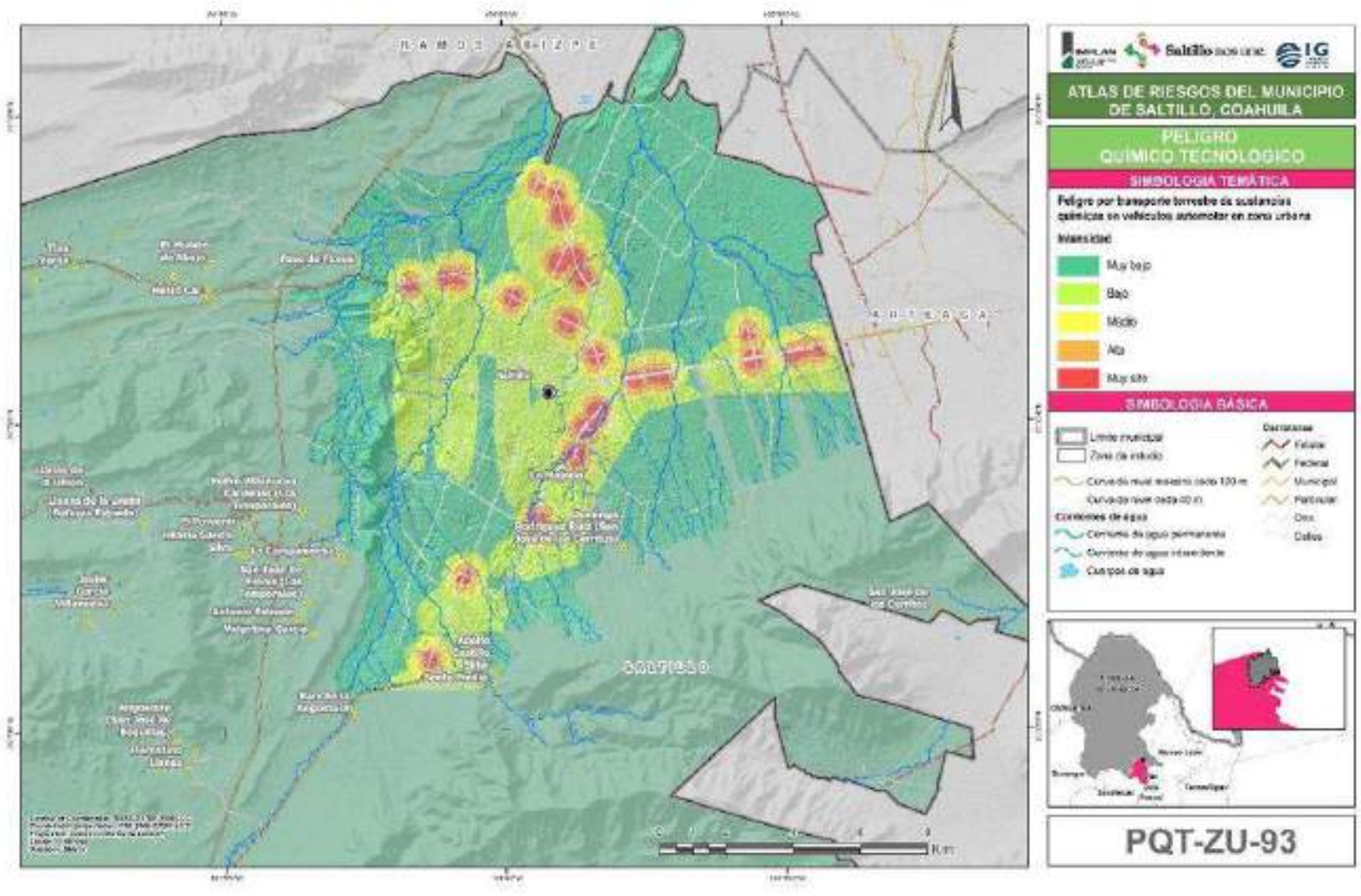


Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Al igual que en el caso del almacenamiento, la integración de todos los tipos de peligros asociados a cada categoría o clasificación de sustancias químicas permitió la creación de un mapa general de peligro para el transporte terrestre de estas sustancias dentro del área urbana municipal.

Este mapa facilita la identificación de las zonas con mayores niveles de peligro debido al abastecimiento de compuestos químicos a las industrias y comercios que los requieren, proporcionando una visión clara para la gestión de seguridad en el transporte de estas sustancias. (Mapa 101).

Mapa 101. Peligro por transporte terrestre de sustancias químicas en vehículos automotor en zona urbana.



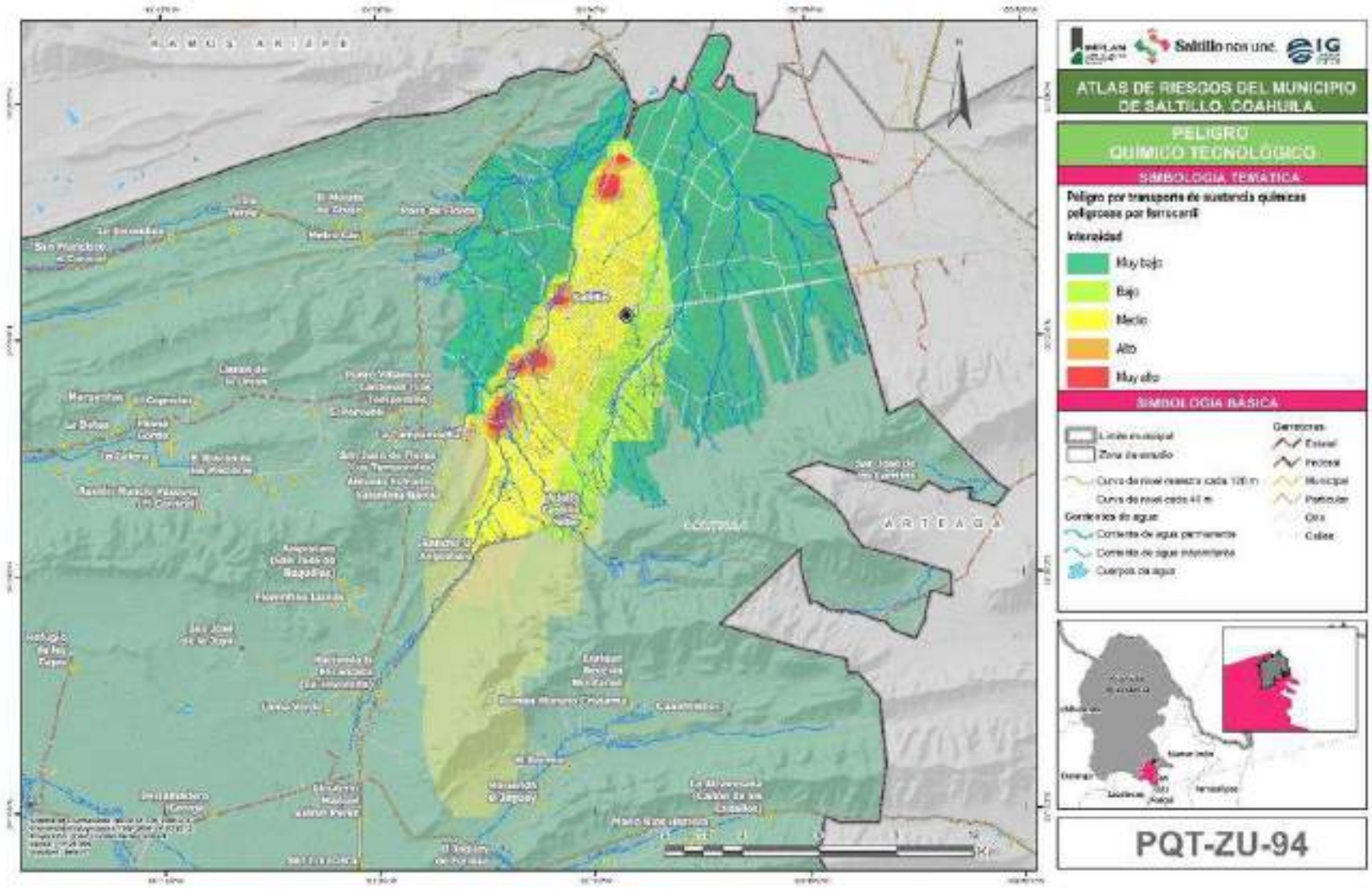
Fuente: elaboración propia con ALOHA.

Ferrocarril

El resultado obtenido del procesamiento de esta información a través del *software* ALOHA son las áreas de amenaza o peligro por el efecto de un accidente relacionado con cualquiera de estos materiales químicos peligrosos. Por separado cada una de estas áreas determinan el peligro ante la explosión o derrame por suscitarse un accidente ferroviario con consecuencias catastróficas.

La conjunción de todas estas áreas de amenaza o peligro, dan como resultado el Mapa 102 que se refiere al peligro por transportar sustancias químicas peligrosas a través del uso de sistema de transporte ferroviario.

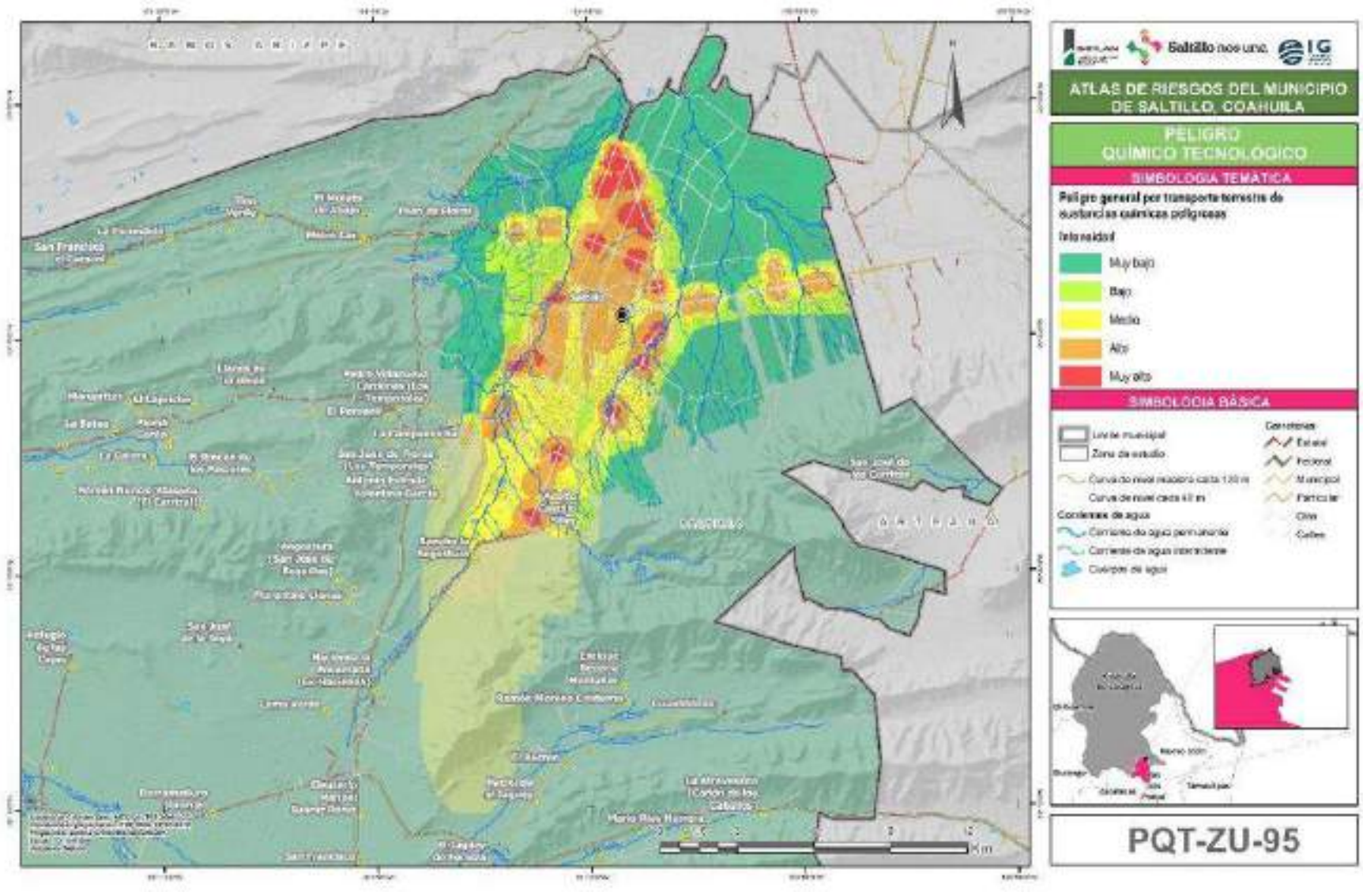
Mapa 102. Peligro por transporte de sustancia químicas peligrosas por ferrocarril



Fuente: elaboración propia con ALOHA.

En resumen, el peligro por transporte terrestre de sustancias químicas peligrosas estará dado por la conjunción del peligro por transporte terrestre con vehículos automotores y ferrocarril. Lo que se puede apreciar en el Mapa 103.

Mapa 103. Peligro general por transporte terrestre de sustancias químicas peligrosas



Fuente: elaboración propia con algebra de mapas en ARCGIS.

6.1.2 Ductos de sustancias peligrosas

Introducción / Antecedentes

El transporte de productos a través de ductos se clasifica como un sistema no tripulado, donde cápsulas o trenes de cápsulas circulan confinados en espacios restringidos a lo largo de tuberías, facilitando el movimiento de carga entre terminales. Estos sistemas subterráneos tienen la capacidad de transportar grandes volúmenes de carga en áreas urbanas densamente pobladas, minimizando el impacto en las redes de transporte superficiales.

Su implementación en zonas urbanas podría permitir la separación entre vehículos de carga y de pasajeros, mejorando así tanto la eficiencia, como la seguridad de ambos modos de transporte.

En México, persiste una problemática crónica en los poliductos de Pemex-Refinación, como indican Olivera y Rodríguez (2005)[17]; las estadísticas oficiales de accidentes y recurrencias confirman esta situación. Entre las causas principales del incremento de accidentes en los poliductos de Pemex se encuentran la evaluación inadecuada de estos, así como la falta de gestión para abordar la problemática. Además, la carencia de una base de datos histórica de accidentes en ductos de transporte de hidrocarburos oficial en el país afecta negativamente su funcionalidad.

Metodología

La guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, por fenómenos químicos, señala que para ductos que transportan y distribuyen hidrocarburos, los señalamientos, además de colores de identificación deben estar de acuerdo con lo establecido en las normas de referencia NRF-009-PEMEX-2001 Identificación de productos transportados por tuberías o contenidos en tanques de almacenamiento y NRF-030-PEMEX-2003 Diseño, construcción, inspección y mantenimiento de ductos terrestres para transporte y recolección de hidrocarburos.

En esta misma guía se indica que la primera fase para la elaboración del mapa de peligro por ductos es la identificación del ducto y el tipo de sustancia transportada, así como datos adicionales de diámetro del ducto, presión de transporte, además de la longitud de este, sumado a otra serie de criterios que se establecen dentro de ella. Aunque es necesario señalar que, dada la falta de información sobre los sistemas de distribución de las distintas sustancias, se optó por realizar las consideraciones necesarias que se manifestaran más adelante.

Para determinar la señalización de los ductos para la distribución de gas natural, así como gas licuado de petróleo se considerarán las normas de referencia NRF-009-PEMEX-2001, NRF-030-PEMEX-2003 y la norma oficial mexicana NOM-003-SECRE-2002 Distribución de gas natural y gas licuado de petróleo por ductos; para tuberías enterradas, además de superficiales debe contemplarse lo indicado en la NOM anterior y lo indicado en la NOM-026-STPS-1998 Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.

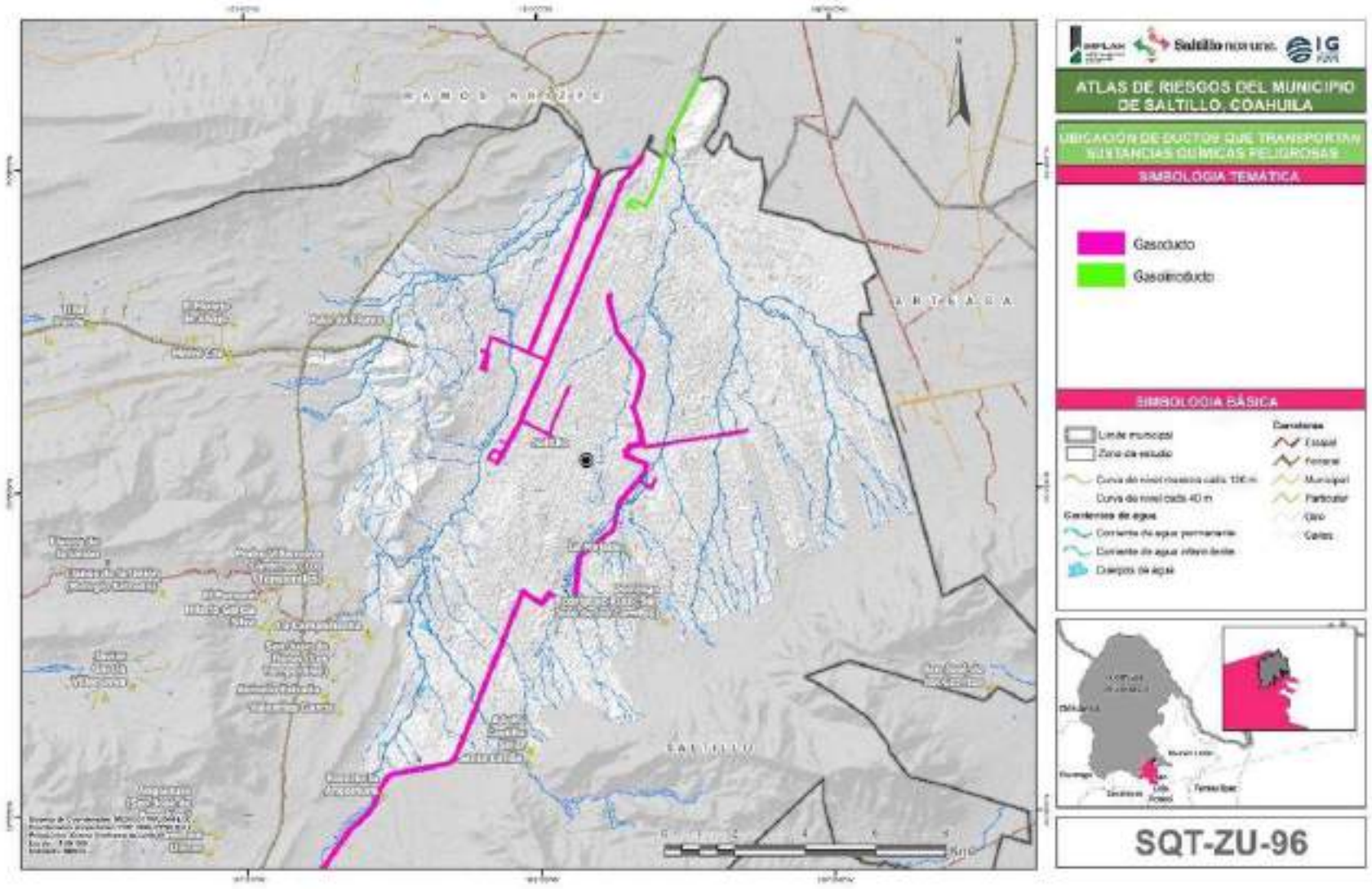
De acuerdo con información de la Secretaría de Energía (SENER) y la red de distribución de gas natural, hasta 2019 ningún ducto de esta infraestructura básica corre dentro de los limites municipales; en la misma situación se encuentran los oleoductos que se encargan del transporte de gasolina y diésel. Por lo que de forma aparente el municipio no se ve afectado por este tipo de transporte.

Sin embargo, existe una pequeña excepción, dado que dentro del municipio se ubica una unidad de almacenamiento y distribución de Petróleos Mexicanos que recibe tanto gasolina, como diésel a través de una derivación de poliducto de ocho pulgadas que procede de la comunidad de Ojo Caliente por la que pasa un sistema de poliductos de 10 y 14 pulgadas que nace en la estación de Santa Catarina. Dicha derivación tiene una longitud de poco menos de cuatro kilómetros (3,984.16 metros) al interior del municipio desde la zona norte.

Por otro lado, el sistema de gas natural para la distribución local no es especifico, dado que se trata de una red particular que, a través de ductos de dos, cuatro, seis, ocho y 10 pulgadas distribuyen el combustible a hogares e industria. Esta información de referencia sobre los ductos de gas natural fue proporcionada directamente por la Dirección de Protección Civil, basada en inspecciones de campo realizadas por el equipo a lo largo de su experiencia profesional. En el Mapa 104 y Mapa 105 se muestran la distribución de los Gasoductos y gasolinoductos que se encuentran dentro del municipio.

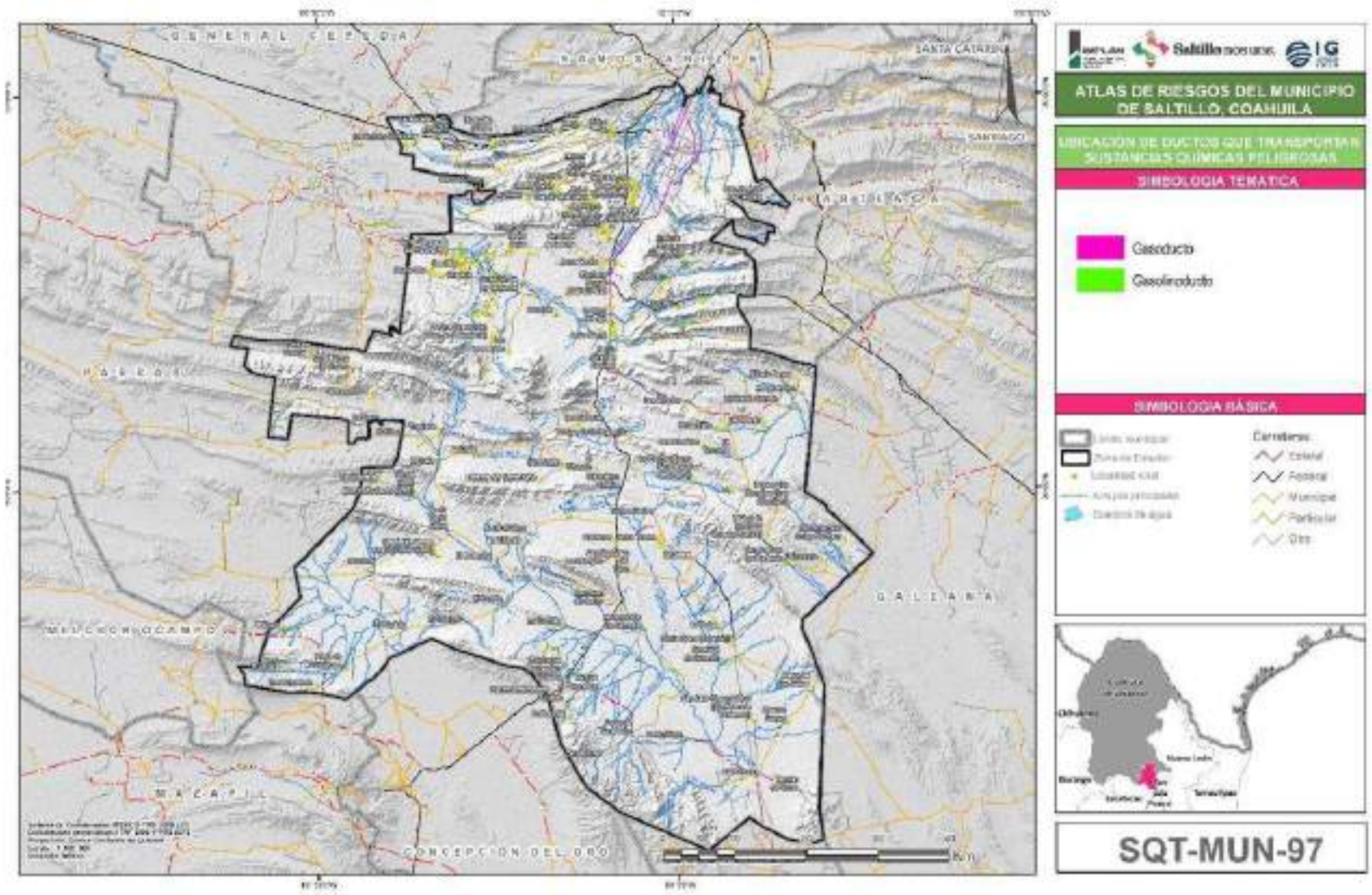
[17] Estudio del riesgo en ductos de transporte de gasolinas y diésel en México. https://www.redalyc.org/pdf/614/61429285003.pdf

Mapa 104. Ubicación de ductos que trasportan sustancias químicas peligrosas en zona urbana



Fuente: Red de Ductos de PEMEX 2019 e información de Protección Civil municipal, 2023.

Mapa 105. Ubicación de ductos que trasportan sustancias químicas peligrosas a nivel municipal



Fuente: Red de Ductos de PEMEX 2019 e información de Protección Civil municipal, 2023.

Memoria de cálculo

Posterior a la identificación de los distintos ductos y sus respectivos tipos de sustancias transportadas se determinaron los datos que se obtuvieron de las distintas y ya mencionadas fuentes de información para integrar lo propuesto en la Tabla 113.

Tabla 113. características de los ductos que transportan sustancias peligrosas

Sustancia transportada	*Diámetro (pulgadas)*	*Longitud (m)*	*Presión (kg/cm²)*
Gas natural	*2*	*253.19*	*50>P≥15*
Gas natural	*4*	*11,115.82*	*50>P≥15*
Gas natural	*6*	*42,699.87*	*80>P≥ 50*
Gas natural	*8*	*47,224.42*	*80>P≥ 50*
Gas natural	*10*	*1,696.48*	*100>P≥80*
Gasolina	*8*	*3,984.16*	*50>P≥15*

Fuente: elaboración propia con datos de PEMEX 2019 y Protección civil municipal 2023.

El Centro Nacional de Prevención de Desastres indica en su metodología las distancias de seguridad a la que debe establecerse el margen de contingencia derivado de un accidente. Dichas distancias están calculadas basándose en distintos estudios, además de experiencias proporcionadas por expertos en el manejo y construcción de ductos, este mismo indica una tabla que muestra las distancias que deben considerarse de acuerdo con el diámetro nominal de la tubería, la presión de operación y la sustancia transportada. Esta distancia se mide en ambos lados a lo largo del eje del ducto. En la Tabla 114 se muestra los datos a tomar en cuenta.

Tabla 114. Distancias de seguridad en ductos de transporte de hidrocarburos[18]

Diámetro (pulgadas)	Área de trampas de diablos	Gasoducto		Oleoducto y gasolinoducto	Gasoducto	
		100 > P ≥ 80 kg/cm2	80 > P ≥ 50 kg/cm2		50 > P≥³ 15 kg/cm2	P < 15 kg/cm2
48	250 m	200 m	150 m	150 m	100 m	50 m
36	250 m	200 m	150 m	150 m	100 m	50 m
30	250 m	200 m	150 m	150 m	100 m	50 m
24	200 m	150 m	150 m	100 m	100 m	50 m
20	200 m	150 m	100 m	100 m	100 m	50 m
18	150 m	100 m	100 m	100 m	75 m	35 m
16	150 m	100 m	100 m	75 m	75 m	35 m
14	150 m	100 m	75 m	75 m	75 m	35 m
12	150 m	100 m	75 m	75 m	75 m	35 m
10	100 m	75 m	75 m	75 m	50 m	35 m
8	100 m	75 m	75 m	50 m	50 m	35 m
6	75 m	75 m	75 m	50 m	35 m	35 m
4	75 m	50 m	50 m	35 m	35 m	35 m
3	50 m	35 m	35 m	35 m	35 m	35 m
2	35 m	35 m	35 m	35 m	35 m	35 m

Fuente: CENAPRED, 2016.

Estas distancias de seguridad fueron desarrolladas a partir del análisis de diversos accidentes y del empleo de modelos de simulación.

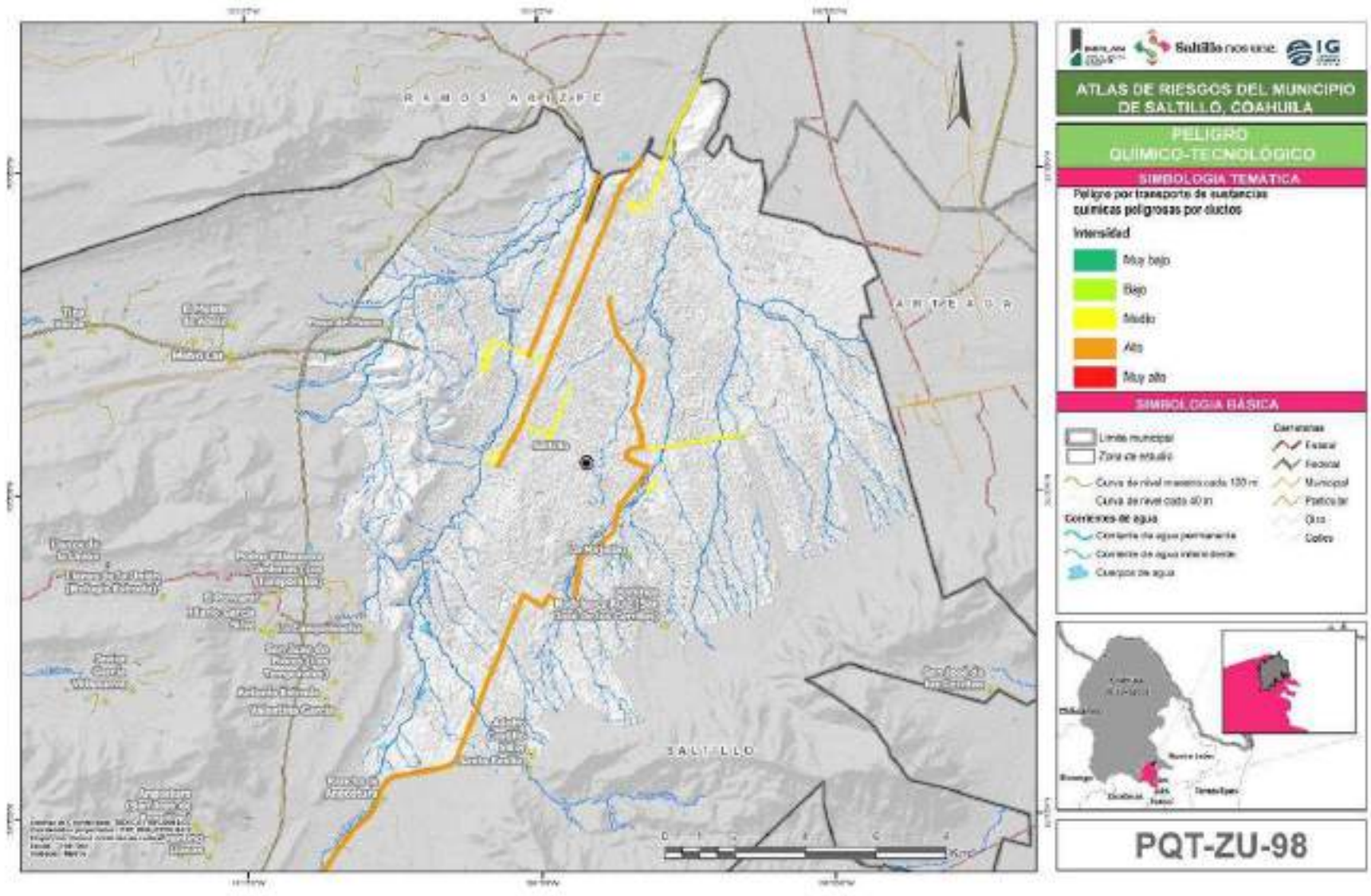
Tomando en cuenta los datos indicados para cada uno de los distintos ductos y mediante el uso de la herramienta *buffer* del *Software* ArcGis, se establecieron las distintas distancias de seguridad tal y como se indican en la Tabla 114.

[18] Distancias de seguridad en ductos de transporte de hidrocarburos, Hernández García C., Hernández Ortega J. A., Contreras. Cruz J. C. 7º Congreso Internacional de Ductos, Puebla, Pue., noviembre, 2003.)

Resultados

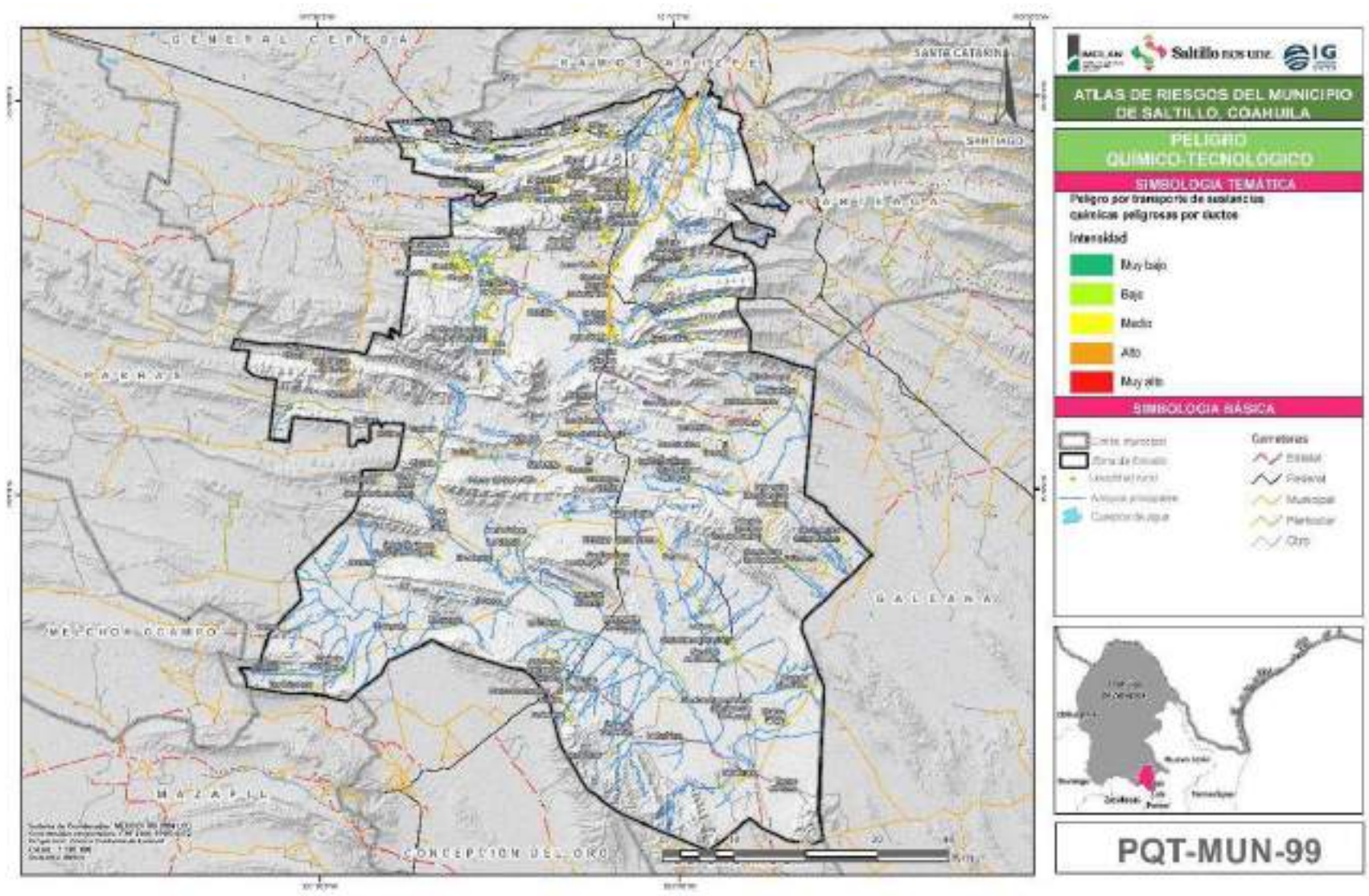
Como resultado de este proceso se obtuvieron las zonas de peligro por efectos de transporte de sustancias químicas peligrosas por ductos. En el Mapa 106 y Mapa 107 se muestran las distintas zonas de peligro.

Mapa 106. Peligro por transporte de sustancias químicas peligrosas por ductos en zona urbana



Fuente: elaboración propia.

Mapa 107. Peligro por transporte de sustancias químicas peligrosas por ductos en zona urbana



Fuente: elaboración propia.

En el mapa anterior puede observarse que el mayor peligro se encuentra en la parte centro de la zona urbana, dado que en ella se localiza una línea de distribución de gas natural de seis y ocho pulgadas, además de la pequeña porción de ducto que transporta gasolina a la unidad de almacenamiento de PEMEX. La afectación por peligro medio y bajo, refieren a ductos de menos diámetro, ya que son líneas de distribución secundarias que transportan el gas directo a los hogares y la industria.

6.1.3 Incendios forestales

Introducción / Antecedentes

Los incendios forestales son parte del desarrollo de la humanidad y son vistos desde diversas perspectivas, desde lo maligno hasta lo divino, tal como lo describe Rodríguez (2015) generan afectaciones de diversa índole según el espacio, además del tiempo en donde se presentan. Así, pueden se dañinos para los ecosistemas cuando su magnitud rebasa la resiliencia natural de tales ecosistemas o benéficos si su dimensión propicia la dinámica necesaria para que algunas especies alcancen el punto de madurez para su renovación o para acrecentar la disponibilidad de los nutrientes dentro de los ecosistemas.

Por otra parte, la presencia de incendios forestales adquiere una relevancia particular el situarlos en el contexto de los sociosecosistemas, como una unidad bio-geofísica en la que los factores sociales, desde una perspectiva antropocéntrica, se ven amenazados por la presencia, así como magnitud de este fenómeno, que al paso de los años ha pasado de ser de origen natural a origen antropogénico en su gran mayoría, convirtiendo al hombre en juez y parte de este fenómeno.

La Secretaría del Medio Ambiente del Estado de Coahuila en su portal, menciona que el Programa Nacional de Manejo del Fuego dependiente de la Semarnat-Conafor, coordina acciones con diversas dependencias del Gobierno de la República (**SEDENA, SEMAR, SAGARPA, SEP, SHCP, SSALUD, SEGOB, SCT, SEDESOL, SRA, PGR, PFP, CNA, CONANP, PROFEPA y CONABIO**, entre otros), Gobiernos Estatales, así como Municipales, dueños, además de poseedores a través de las asociaciones de silvicultores, prestadores de servicios técnicos forestales y organismos no gubernamentales.

Esta misma instancia señala que en el año **2023** se registraron **49** incendios forestales en la entidad con una superficie afectada de **11255-00-00** has., de diferentes estratos de vegetación como matorrales y pastizales de las cuales **52%** fueron causadas principales por efectos naturales y que son provocadas por tormentas eléctricas, asociadas a frentes fríos, los otros **48%** restantes por causas humanas (https://sma.gob.mx/incendios-forestales/).

Referente a las causas de tipo natural que dan origen a los incendios forestales en Coahuila la frecuencia y lugares donde se presentan (áreas remotas del estado), dificulta, además de que complica tanto su control, como manejo dando como resultado que la afectación de superficies sea considerable en términos generales.

Sin embargo cuando el agente causal es el hombre se requiere de más horas hombres y equipo especializado, así como la aplicación de recursos económicos para su control aumentando los riesgos ya que muchos de ellos se presentan en zonas de interfaz o transición de áreas agropecuarias con ecosistemas forestales como en el caso de bosques, matorrales y plantaciones forestales, además de localidades rurales que pueden sufrir afectación por los incendios forestales.

Derivado de lo anterior y con base en la estadística histórica a nivel nacional indica que una de las principales causales de incendios forestales tiene su origen en actividades de origen humano principalmente por negligencia y por descuidos, por lo tanto y a consecuencia de ello es importante enfatizar acciones que permitan a corto plazo minimizar los impactos que provocan instrumentando estrategias claves como la prevención en sus tres facetas primordiales como son: cultural, física y legal. (https://sma.gob.mx/incendios-forestales/).

De lo anterior, surge la necesidad de considerar a los incendios forestales como un elemento de análisis en el contexto de la gestión integral del riesgo y particularmente de su integración en los atlas de riego.

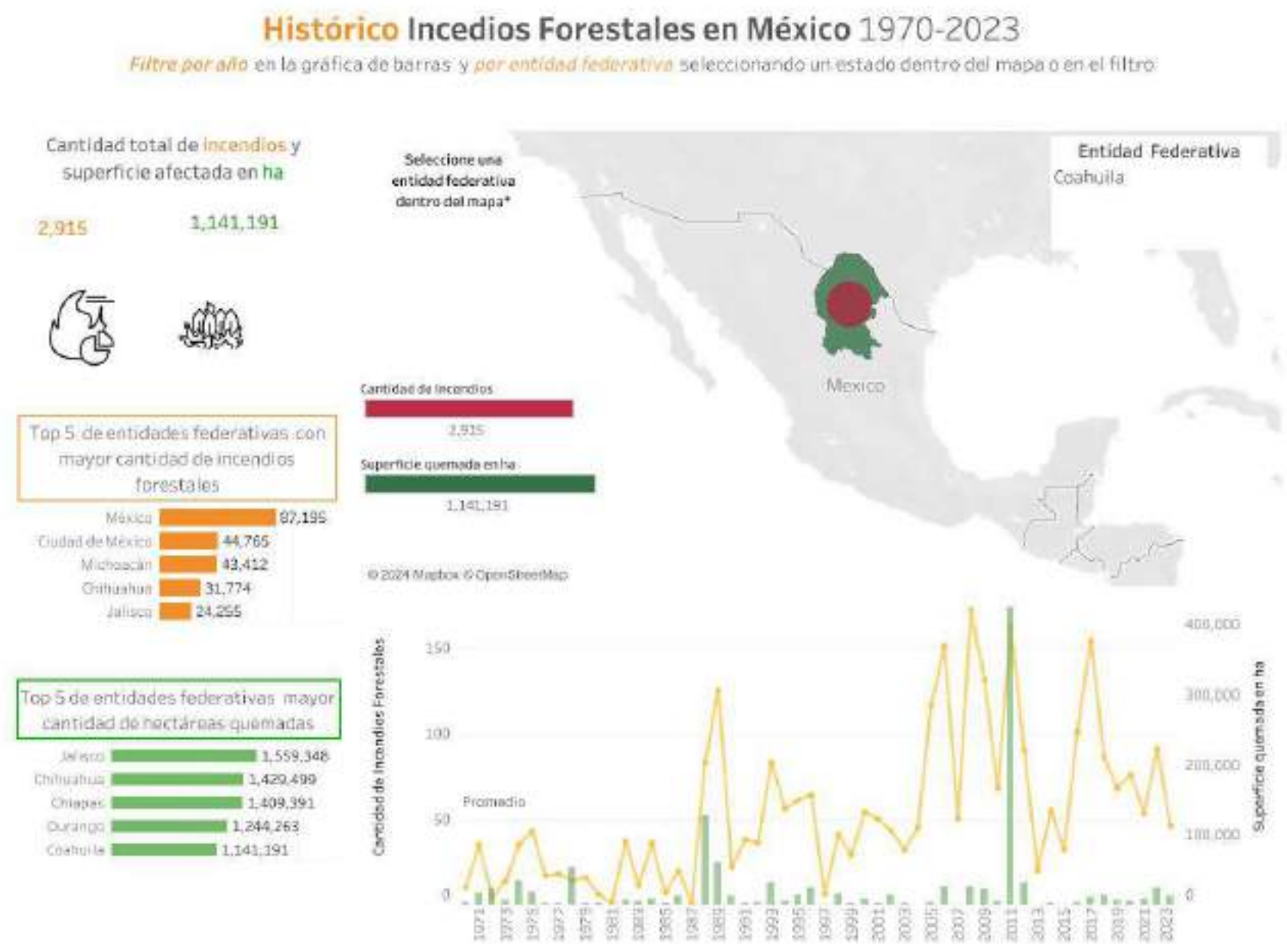
No hay evidencia de que la pobreza en el campo pueda reducirse significativamente en México en los próximos años, y esa condición también constituye un factor de riesgo de incendios forestales; la mayor parte de las evidencias indican que a futuro se esperan más incendios forestales tanto en superficie como en magnitud (Rodríguez, *op cit*.).

Además de lo mencionado, los efectos del calentamiento global, que provocan cambios climáticos más rápidos y visibles hoy en día, generan condiciones meteorológicas propicias para los incendios forestales en el país, incluidas las del municipio de Saltillo, Coahuila. Las características climáticas de la región, como tormentas eléctricas, heladas y sequías, combinadas con el uso de fuego en la agricultura, aumentan el riesgo de incendios forestales.

Metodología

De acuerdo con la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) en el estado de Coahuila los incendios forestales han mostrado una tendencia poco uniforme a lo largo del periodo de 1970-2023 (Figura 110); sin embargo, ha incrementado en los últimos años, pudiéndose observar para el caso del año 2011 un ascenso significativo en el número de incendios, así como en la superficie afectada.

Figura 110. Registro histórico de incendios forestales en el Estado de Coahuila



Fuente: obtenido de CONAFOR (https://snif.cnf.gob.mx/incendios/): fecha de consulta 23 de marzo del 2024.

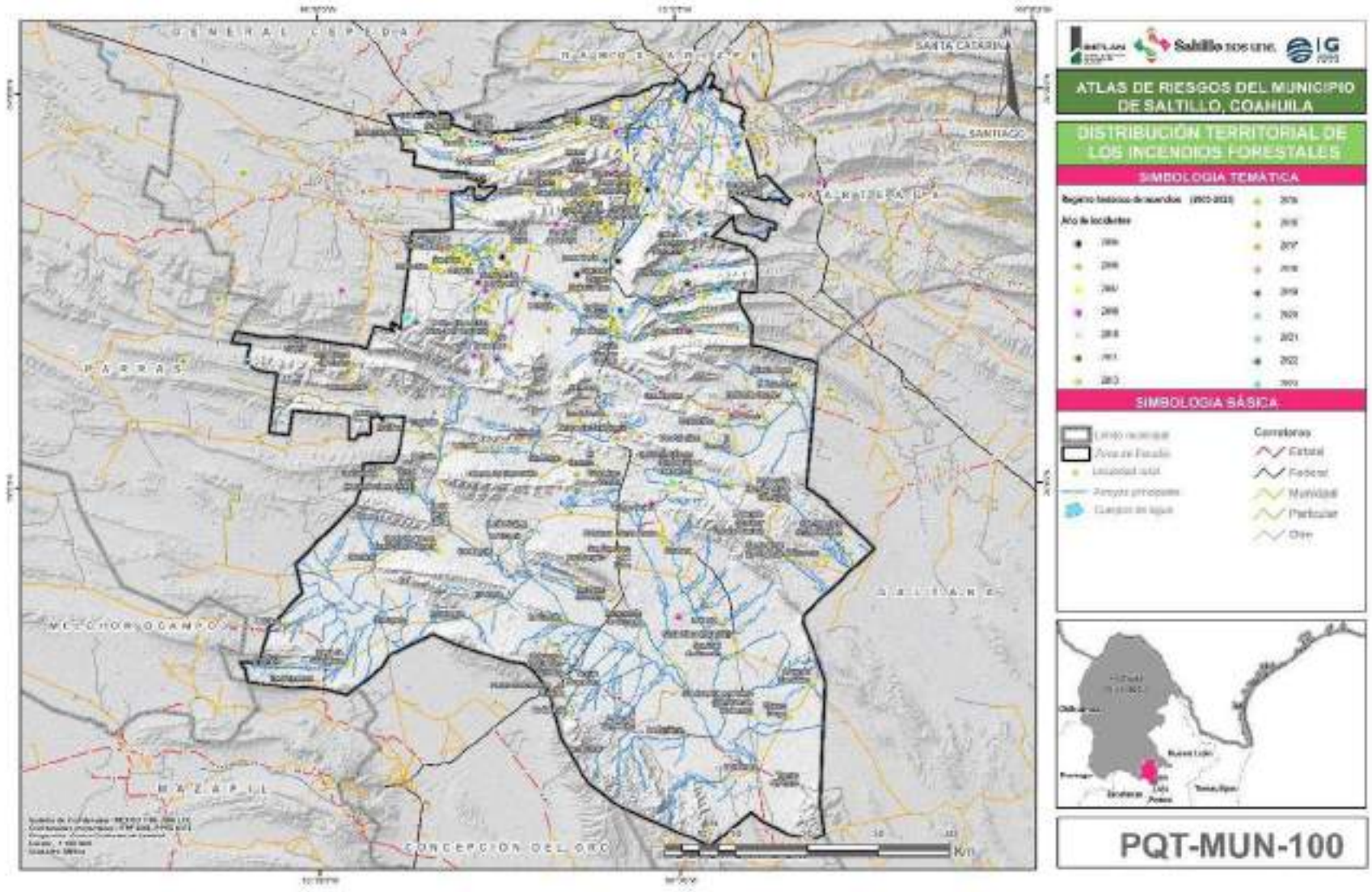
Datos de la CONAFOR indican que para el año 2011, en Coahuila se registraron 162 incendios forestales con una afectación total de 424 mil 451 hectáreas de terrenos forestales, siendo este año en el que mayor número de incendios forestales y superficie se han registrado.

En el caso, del municipio de Saltillo esta misma fuente registra 143 incendios forestales para el periodo de 2005 a 2022 que corresponden en su mayoría a matorral desértico (104), pastizales (23) bosques de pino y ayarín (13) y los tres restantes a otros tipos de ecosistemas.

Las causas de estos incendios forestales son principalmente desconocidas (66), seguidas de la limpia de derechos de vía (19), actividades agropecuarias (18), naturales (13), quema de basureros (12), fogatas y fumadores (6), transportes (6), otras actividades productivas (dos) e intencionales (uno).

Cabe señalar que, por las características de la vegetación y relieve del territorio municipal, la distribución espacial de los incendios forestales ocurridos en el municipio de Saltillo, en el periodo de 2005 a 2022, muestran que estos se concentran en la zona centro, además del noreste de dicha entidad en donde las actividades agropecuarias, también el cambio de uso de suelo derivado del crecimiento urbano está concentrado (Mapa 108).

Mapa 108. Distribución territorial de los incendios forestales en el Municipio de Saltillo en el periodo 2005-2022



Fuente: elaboración propia con base en datos del Sistema Nacional de Incendios Forestales de la CONAFOR.

Tomando como base las consideraciones previas y acorde a la propuesta para la estimación simplificada de la amenaza por incendios forestales, contenida en las Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y Riesgos: Fenómenos Químicos del Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED), en la cual se señala que un elemento importante tanto en el estudio, como en la evaluación de los incendios tiene que ver con el uso de técnicas modernas para el monitoreo y seguimiento de este fenómeno, principalmente la percepción remota; se revisaron las fuentes sugeridas y que se indican a continuación a fin de determinar el peligro de incendios forestales para el municipio de Saltillo obteniendo los resultados siguientes.

Sistema de alerta de incendios (http://incendios.conabio.gob.mx/#) de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

Este sistema tiene como antecedente el programa de “Detección de puntos de calor mediante técnicas de percepción remota” del año 1999, en respuesta a la situación de emergencia registrada por los incendios forestales de la temporada de 1998. En la detección de los puntos de calor con imágenes AVHRR se aplica el algoritmo de Flasse y Ceccato (1996) con algunos ajustes para México.

En el año 2000, el programa fue semi - automatizado, mejorando notablemente la presentación de la información en el portal (v.2000), utilizando un formato de calendario. Ese mismo año, se permitió el acceso a la información para todo el público. En 2009, se lanzó la tercera versión del portal (v.2009), que optimizó significativamente la integración, organización, presentación y acceso a la información.

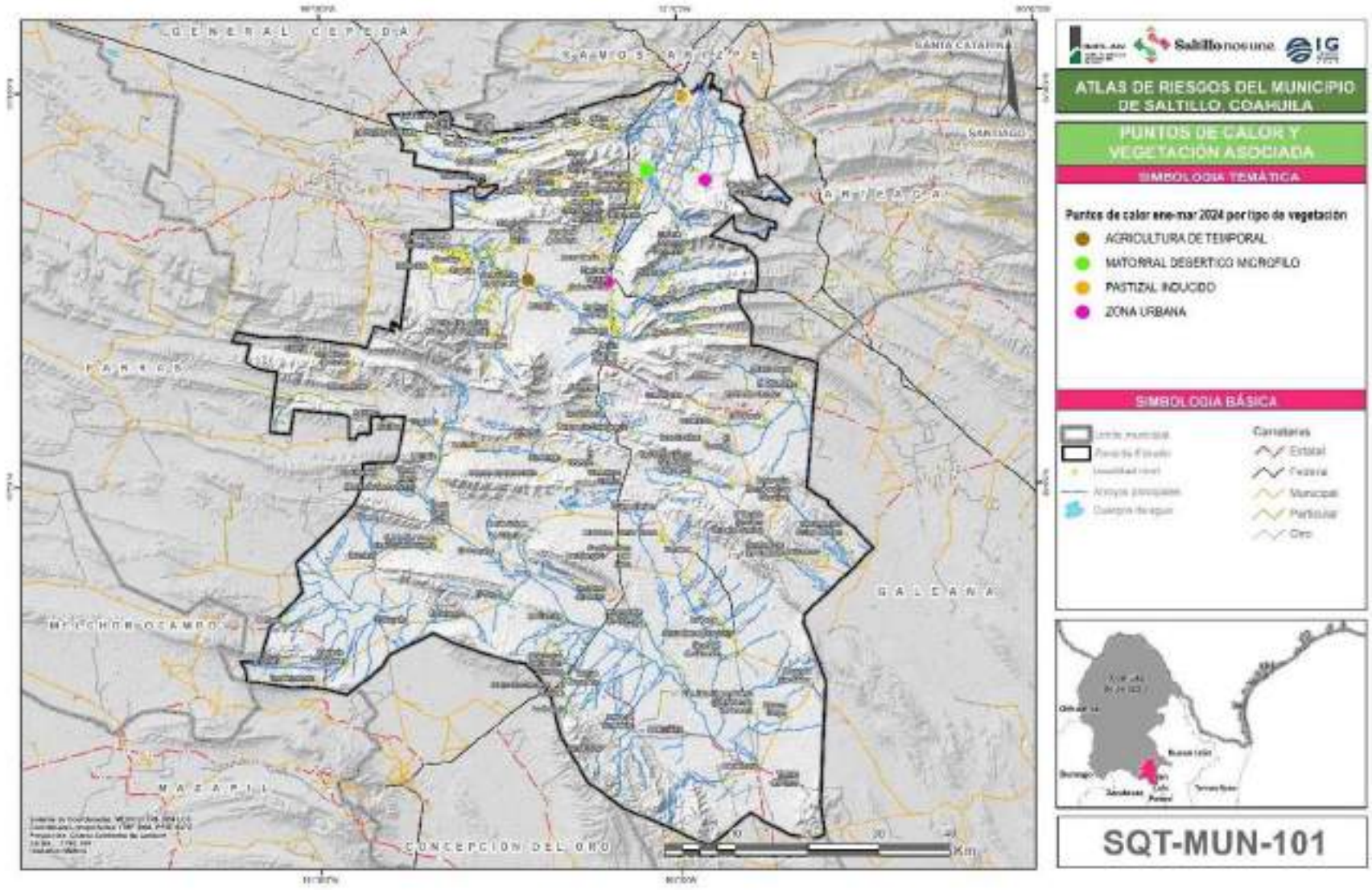
Memoria de cálculo

Actualmente el programa de puntos de calor evolucionó para convertirse en un sistema de alerta temprana que tiene como objetivo: *contar con un sistema de alerta temprana, monitoreo e impacto de los incendios forestales, mediante información satelital e información geográfica, que contribuya en la prevención, así como el combate de incendios forestales para la conservación de la biodiversidad y la salvaguarda de la vida humana.*

Mediante este sistema es posible obtener información georreferenciada sobre los puntos de calor hasta nivel municipal y la vegetación asociada con dichos puntos, la presencia de estos dentro de alguna Área Natural Protegida, lo cual es de mucho valor en el contexto de la vulnerabilidad de los sistemas expuestos en donde de acuerdo con la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y Riesgos: Fenómenos Químicos del Centro Nacional para la Prevención de Desastres, en el análisis de peligro y riesgo por incendios forestales, se puede considerar a la vegetación como una variable implícita en la vulnerabilidad y en la determinación del nivel de peligro. Por ejemplo, una mayor densidad de vegetación aumenta la posibilidad de afectación del sistema expuesto (vulnerabilidad) y adicionalmente el nivel de peligro se determina entre otras cosas por la carga de material combustible, de ahí que la vegetación cumpla un doble rol en el estudio del fenómeno.

En el Mapa 109, se muestran los puntos de calor obtenidos para el municipio de Saltillo para el periodo del primero de enero del 2024 al 23 de marzo de este mismo año.

Mapa 109. Punto de calor y vegetación asociada en el Municipio de Saltillo en el periodo enero - marzo del 2024



Fuente: elaboración propia con base en datos del Sistema de Alerta de Incendios de la CONABIO.

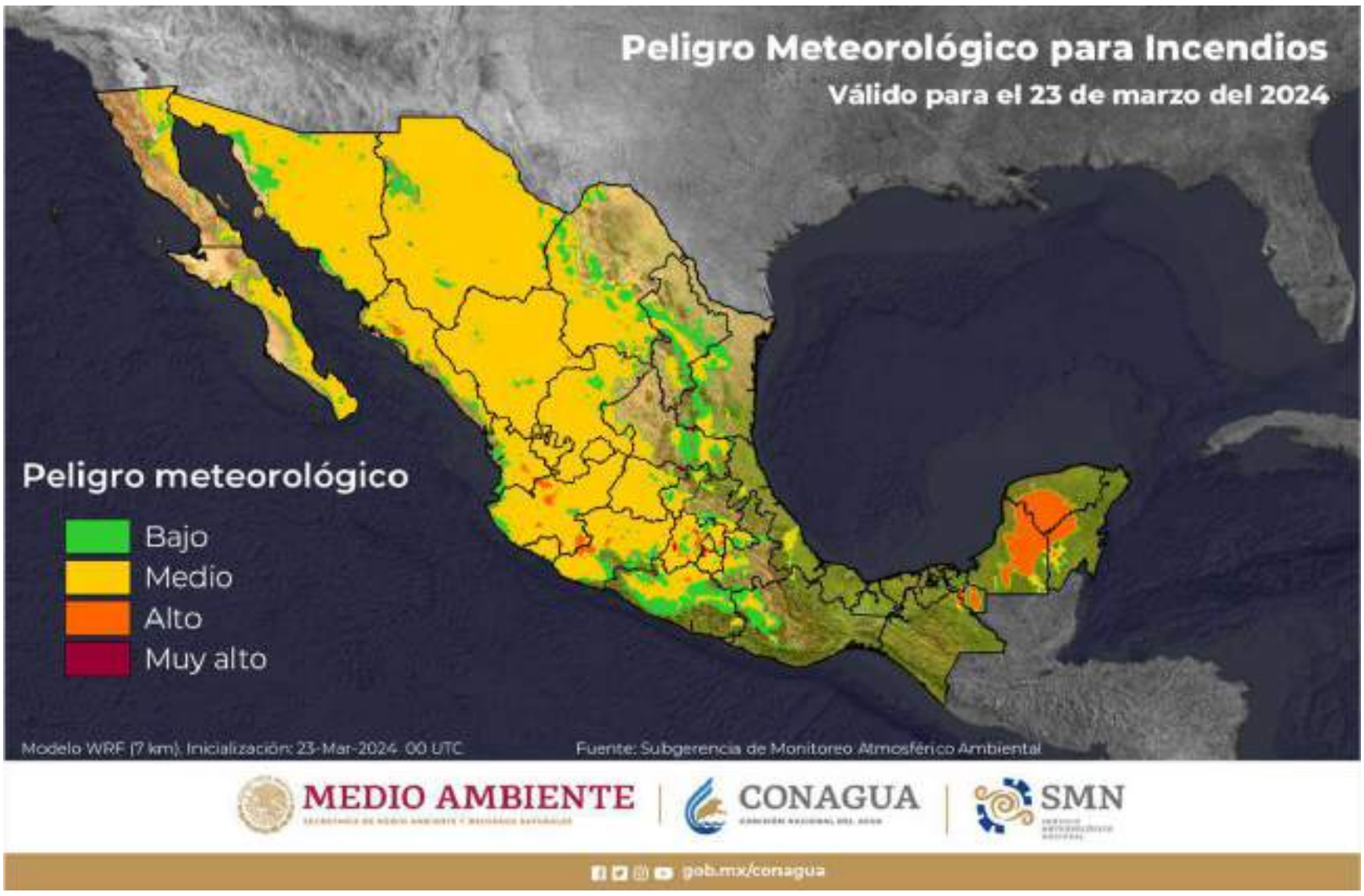
Los mapas de peligro meteorológico para incendios forestales https://smn.conagua.gob.mx/es/mapas-pronostico-peligros-meteorologio-incendios) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), en el cual se indica que los mapas de Peligro Meteorológico para Incendios muestran áreas con condiciones de tiempo atmosférico adversas, que por sus características pueden facilitar el proceso de ignición y favorecer el desarrollo de grandes incendios forestales.

El pronóstico se realiza con el modelo WRF dos veces por día (001Z y 12Z) para un periodo de 72 h, por lo que se generan 72 mapas horarios de peligro meteorológico y tres mapas acumulados, estos últimos concentran el valor máximo de peligro en un periodo de 24 h. A diferencia de los mapas horarios, los acumulados también consideran la ocurrencia histórica de incendios, por lo que ponderan con mayor peso aquellas áreas que han registrado el mayor número de incendios forestales.

Las zonas de peligro se determinan con base a cuatro variables meteorológicas de acuerdo a los siguientes umbrales: Peligro bajo [temperatura menor o igual a 25 °C, velocidad del viento entre 0 - 10 km/h y humedad relativa hasta 50%]. Peligro medio [temperatura menor o igual a 30 °C, velocidad del viento entre 10 - 20 km/h y humedad relativa hasta 30%]. Peligro alto [temperatura entre 30-36 °C, velocidad del viento mayor a 20 km/h, humedad relativa menor a 20% y precipitación acumulada menor a cinco mm]. Peligro muy alto [temperatura mayor a 36 °C, velocidad del viento mayor a 30 km/h, humedad relativa menor a 10% y ausencia de precipitación].

De esta manera, es posible obtener una imagen como la que se muestra en la Figura 111, en la que se puede apreciar que en el municipio de Saltillo el peligro meteorológico para la presencia de incendios forestales es bajo a medio.

Figura 111. Pronóstico de peligro meteorológico para incendios



Fuente: obtenido de SMN-COANGUA (https://smn.conagua.gob.mx/es/mapas-pronostico-peligros-meteorologio-incendios): fecha de consulta 23 de marzo del 2024

Se considera que esta herramienta es útil por la facilidad de consulta, además de su actualización diaria, que sirve de referencia para la planeación del control y combate de incendios forestales.

El Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México (http://forestales.ujed.mx/incendios2/#) de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) desarrollado en el proyecto CONAFOR-CONACYT 2014-2-252620 y ampliado mediante el proyecto de reforzamiento al mismo CONAFOR-CONACYT 2018-2-BS-131553, es una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para el manejo del fuego en México.

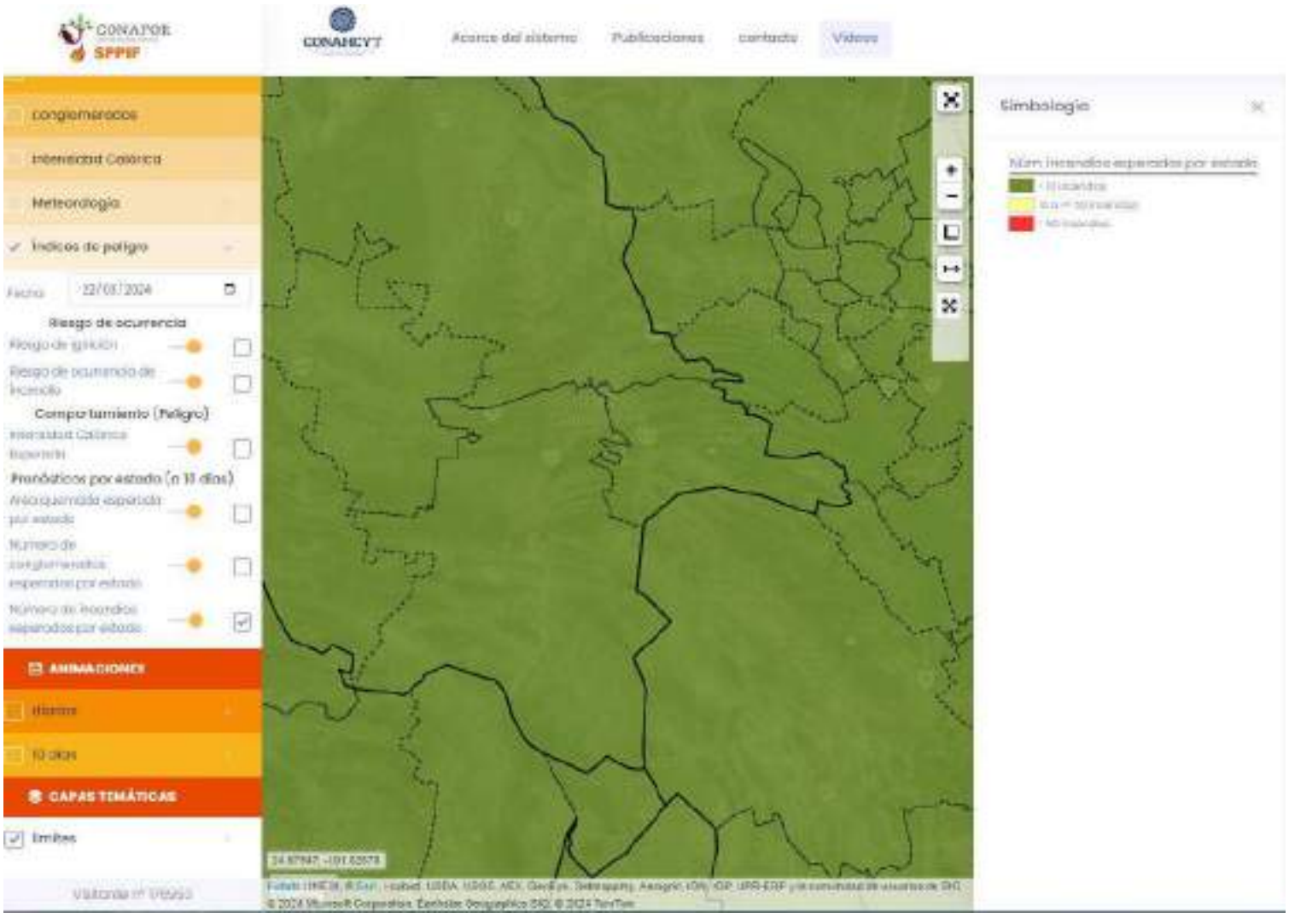
Ha sido desarrollado por la Universidad Juárez del Estado de Durango, con la colaboración de CONABIO, SMN-CONAGUA, Universidad de Washington (EE.UU.), USDA Forest Service (EE.UU.), Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais (Brasil), Universidad de Santiago de Compostela. (España), Universidad Autónoma de Chapingo, Universidad Nacional Autónoma De México, Universidad de Guadalajara y el Centro de Investigaciones Forestales de Lourizán (España), el cual permite evaluar en tiempo casi real los conglomerados de puntos de calor e incendios forestales activos, así también mapear en tiempo casi real la superficie aproximada de los mismos a partir de los perímetros de conglomerados de puntos de calor.

El sistema mapea diariamente las condiciones de secuencia del combustible, el peligro de ignición y el peligro de incendio forestal, así como el número de incendios forestales esperados por estado. Los mapas se actualizan diariamente con base en la información meteorológica, incendios, igualmente conglomerados de puntos de calor activos. Además, el sistema incluye además datos históricos de perímetros de conglomerados de puntos de calor, incendios forestales combatidos, e índices de peligro en el periodo 2011 a la fecha.

Resultados

Acorde con los aspectos mencionados se realizó la consulta del índice de peligro de incendio el 22 de marzo del 2024, como una fecha de importancia al estar dentro de la temporada de incendios a nivel nacional y en donde se puede observar que en el municipio de Saltillo el número de incendios esperado fue bajo. En la Figura 112 se muestra el resultado de dicha consulta.

Figura 112. Índice de peligro de incendio para el Municipio de Saltillo, marzo 2024



Fuente: obtenido a partir del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de la CONAFOR (http://forestales.ujed.mx/incendios2/#): fecha de consulta 22 de marzo del 2024.

Mediante el empleo de este sistema, se efectuó la simulación del riesgo y cuyos resultados se muestran en la

Figura 113 en donde destaca el elevado riesgo de ocurrencia en la parte noreste del Municipio de Saltillo en sus límites con el Municipio de Arteaga.

Es importante señalar que, debido a la estructura metodológica en la que se basa esta plataforma, y según la terminología utilizada en el área de incendios forestales, el riesgo asociado a la cantidad y tipo de combustibles vegetales se estima a partir de la interacción de este peligro con factores climáticos y de relieve, que son los otros dos elementos clave para evaluar el riesgo. En la presente actualización del atlas de riesgos, este riesgo se maneja como peligro de incendio forestal, ya que, en términos de gestión integral del riesgo, el sistema empleado no considera el factor de vulnerabilidad en su modelado.

Figura 113. Riesgo de ocurrencia de incendios forestales en el Municipio de Saltillo, marzo 2024



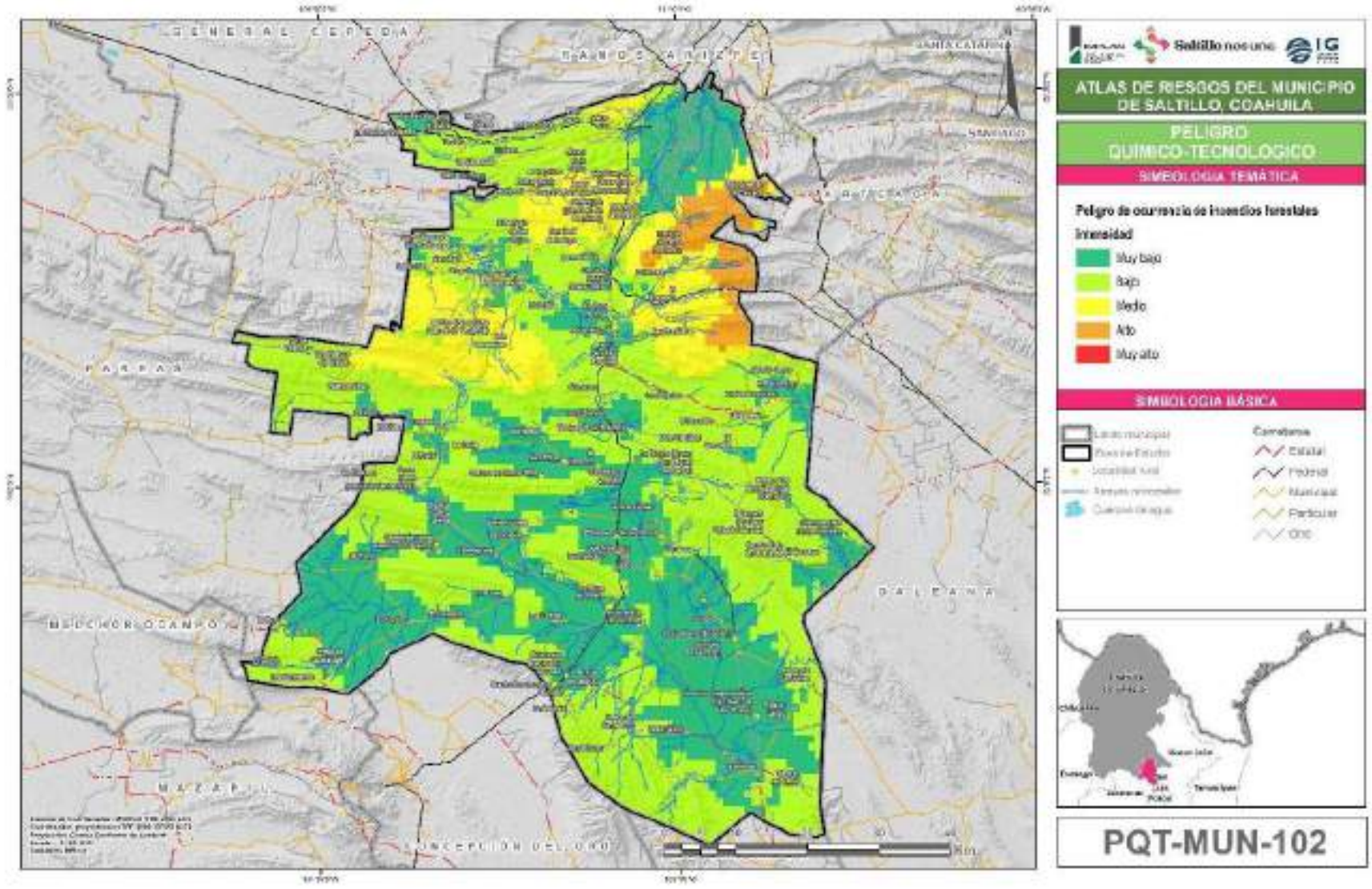
Fuente: obtenido a partir del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de la CONAFOR (http://forestales.ujed.mx/incendios2/#): fecha de consulta 22 de marzo del 2024.

Sobre la base de esta modelación se agruparon las categorías de riesgo integrando a la categoría de riesgo muy bajo, la de riesgo bajo; ; mientras que a la de riesgo extremo, se le vinculó con la de muy alto, con el fin de tener las cinco categorías que se manejan por los términos de referencia del CENAPRED para representar el peligro, así como el riesgo, dando como resultado el peligro por incendios forestales mostrado el Mapa 110.

Cabe señalar que esta agrupación se sustenta en un factor determinante para que se presente un incendio forestal que, es la ignición de los combustibles forestales, misma que en el caso de peligro muy bajo se asociaría a causas de origen antropogénico, toda vez que otros factores que considera el modelo como la temperatura, la pendiente, la humedad relativa, además de la carga de combustibles se pueden considerar similares para ambas categorías, dado que la incidencia de incendios forestales por causas antropogénicas es baja en el municipio de Saltillo se consideró viable dicha recategorización.

En la categoría de riesgo extremo, donde la carga de combustibles forestales juega un papel clave en su determinación, y considerando que los rayos son la causa principal de los incendios forestales en el municipio de Saltillo, usualmente acompañados de lluvias que disminuyen la combustión, se consideró que el peligro extremo se reduce, pudiendo asociarse con un peligro muy alto debido a la respuesta potencial en ambos casos.

Mapa 110. Peligro de ocurrencia de incendios forestales en el Municipio de Saltillo, marzo 2024



Fuente: Elaboración propia a partir del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de la CONAFOR (http://forestales.ujed.mx/incendios2/#): fecha de consulta 22 de marzo del 2024.

Este Sistema integra las funcionalidades presentadas de la CONABIO, asimismo del Servicio Meteorológico Nacional, así como los aspectos de la carga de combustibles, sumado a diversos apoyos para el manejo del fuego, teniendo como herramienta agrosilvopastoril, constituyéndose en una opción recomendable para determinar el peligro por incendios forestales.

Finalmente, con base en los resultados presentados y considerando que la vulnerabilidad se define como la susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados por un peligro o amenaza —en este caso, un incendio forestal—, además de las acciones implementadas por la Semarnat, Conafor y otras instancias del gobierno federal, la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de Coahuila (https://sma.gob.mx/incendios-forestales/) señala, entre otros, los siguientes efectos de los incendios forestales en la sociedad, la vida cotidiana y la naturaleza:

- Efectos sobre el suelo: el suelo se erosiona, perdida de cubierta vegetal.
- Efectos sobre plantas y animales: plantas y animales mueren por la intensidad del fuego.
- Efectos sobre el clima y el ser humano: la contaminación causada por el humo origina cambios en el clima que afectan a los seres vivos, incrementan el calentamiento global.
- Efectos sobre el turismo: los incendios dañan el paisaje, hay pérdida de valores culturales e históricos, perjudicando a los esfuerzos por hacer un país atractivo.
- Efectos sobre las corrientes de agua: después de un incendio los suelos quedan expuestos. Al llover, el agua arrastra suelo y cenizas que contaminan el agua de las ciudades, que muchas veces se utiliza para consumo humano.

Acorde a lo anterior, dicha Secretaría, plantea entre sus objetivos específicos impulsar la capacitación, además de fortalecimiento de brigadas comunitarias, oficiales, voluntarias, así como de organizaciones civiles, fortalecer e incrementar las acciones de prevención (física, cultural y legal) en el estado, con el fin de lograr la participación de la población en la prevención, así también la instrumentación de un programa de educación ambiental que permee a la sociedad la importancia de la prevención y los beneficios ecológicos del fuego.

Estos objetivos se traducen en acciones como campañas de prevención durante todo el año, en especial en el periodo vacacional de Semana Santa realizando recorridos terrestres, aéreos, se proporciona información a los paseantes sobre la veda del fuego en zonas boscosas, también las semiáridas del estado, además de la integración y equipamiento de brigadas rurales que apoyen a la detección, el control de incendios forestales, así como apoyo en diversas actividades de manejo del fuego, que resaltan entre otras acciones especializadas en monitoreo ambiental, el control, así como el manejo del fuego, por sus implicaciones con entes de la sociedad que coadyuvan a entender el peligro de los incendios forestales y a aumentar la capacidad de respuesta, por ende disminuir la vulnerabilidad de la sociedad ante este tipo de peligro.

6.1.4 Fenómenos sanitario ecológicos

En este apartado se analiza el fenómeno sanitario - ecológico, el cual se define en la Ley General de Protección Civil, 2012 como: agente perturbador que se genera por la acción patógena de agentes biológicos que afectan a la población, a los animales y a las cosechas, causando su muerte o la alteración de su salud. Las epidemias, así como plagas constituyen un desastre sanitario en el sentido estricto del término.

Las epidemias son un aumento inesperado, a menudo repentino, de una enfermedad específica dentro de una comunidad o región.

Las pandemias se dan cuando ocurre una epidemia en todo el mundo, que cruza fronteras internacionales y afecta a un gran número de personas. Varias enfermedades transmisibles pueden representar una amenaza importante para la salud a nivel local, regional, además de mundial, dando lugar a epidemias o pandemias. Tanto las epidemias, como las pandemias se pueden prevenir, así como mitigar mediante una serie de medidas en el hogar y la comunidad, como una buena higiene, el distanciamiento social y la vacunación.

Dentro de la clasificación de fenómenos sanitario ecológicos también se ubica la contaminación del aire, agua, suelo y alimentos. En este contexto se reconoce a la contaminación como el cambio en las características físicas, químicas o biológicas del ambiente natural, se considera resultado de la ineficiencia de los procesos de producción desarrollados por el hombre. La extracción de materias primas, la fabricación de productos, la energía necesaria para el proceso de fabricación y el producto mismo poseen ineficiencias esenciales que generan desperdicios (contaminación) que ya no son útiles; estos desperdicios deben desecharse, por lo que al ingresar a la naturaleza presentan cambios en el medio ambiente. (CENAPRED, 2016).

El crecimiento poblacional, así como los patrones de consumo son factores que han propiciado la sobreexplotación de los recursos naturales y la degradación ambiental que, aunados al desarrollo industrial, además del económico, han ocasionado que se incremente la contaminación ambiental, por lo que esta se convierte actualmente en un problema más crítico que en épocas pasadas perturbando de manera sistemática a sus entornos.

6.1.5 Contaminación de suelo, aire y agua

Se entiende por contaminación ambiental a la presencia de componentes nocivos (ya sean químicos, físicos o biológicos) en el ambiente (entorno natural y artificial), que supongan un perjuicio para los seres vivos que lo habitan, incluyendo a los seres humanos pero originada principalmente por causas derivadas de estos mismos (Ambiente, s.f.).

Introducción / Antecedentes

Saltillo, se enfrenta a serios desafíos en cuanto a la contaminación ambiental. Esta ciudad, conocida por su industria manufacturera y su rápido crecimiento urbano, ha visto cómo sus niveles de contaminación aumentan significativamente en las últimas décadas. La calidad del aire en Saltillo es uno de los problemas más preocupantes, con altos niveles de partículas PM10 y PM2.5, así como de dióxido de nitrógeno (NO2) y ozono (O3). Estos contaminantes provienen principalmente de las emisiones vehiculares, la industria pesada y las actividades de construcción.

El crecimiento desmedido de la ciudad ha llevado a una expansión urbana sin una adecuada planificación ambiental, lo que agrava los problemas de polución. Las emisiones de los vehículos se ven incrementadas por el tráfico denso, además de la falta de un transporte público eficiente. A esto se suma el uso excesivo de combustibles fósiles en fábricas y plantas de producción, que liberan grandes cantidades de gases contaminantes al aire.

Otro factor que contribuye a la contaminación ambiental en Saltillo es la deforestación en las zonas circundantes para el desarrollo urbano y agrícola. La pérdida de cobertura vegetal disminuye la capacidad de la región para absorber dióxido de carbono, así como otros contaminantes, empeorando la calidad del aire.

Las aguas superficiales y subterráneas, también están en riesgo debido a la contaminación industrial, como la urbana. El uso intensivo de productos químicos en la agricultura y los residuos industriales no tratados adecuadamente han contaminado ríos, además de acuíferos, afectando la calidad del agua disponible para la población.

El uso indiscriminado de pesticidas y fertilizantes en la agricultura también ha contribuido a la degradación del suelo. Los productos químicos utilizados en los campos agrícolas pueden ser arrastrados por la lluvia hacia zonas urbanas, así como rurales, contaminando el suelo y afectando la calidad del agua. Esta contaminación no solo reduce la fertilidad del suelo, sino que también pone en peligro la biodiversidad local.

Además, los vertederos ilegales y la disposición inadecuada de residuos sólidos urbanos han agravado el problema. La acumulación de basura en terrenos baldíos, al igual que áreas no reguladas libera toxinas, además de metales pesados al suelo, creando focos de contaminación que son difíciles de remediar. Estos sitios no solo son una fuente de contaminación, sino que también representan un riesgo sanitario para las comunidades cercanas.

Metodología

La metodología empleada para el análisis de los fenómenos sanitario ecológicos, corresponde a la establecida en la Guía de Contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos, específicamente en lo indicado en la fracción VII y en el Anexo 23.

Cabe resaltar, que los análisis que se presentan, se abordan y desarrollan a partir de la información disponible que se obtuvo a partir de fuentes oficiales como de datos proporcionados por diversas áreas del municipio, así como de las visitas a campo realizadas durante la elaboración del Atlas.

Sin embargo, la metodología mencionada no pudo aplicarse en su totalidad, ya que requería estudios específicos e incluso pruebas de laboratorio que estaban fuera del alcance presupuestario, además de temporal para la elaboración del Atlas. Por ello, el tema se abordó

utilizando la información disponible, lo cual permitió obtener resultados a nivel de identificación de fuentes de contaminación y, en algunos casos, alcanzar una evaluación preliminar de la susceptibilidad al fenómeno sanitario ecológico en el municipio de Saltillo.

Los aspectos de contaminación de suelo, aire y agua se analizaron a partir de las siguientes fuentes de información:

- Cartografía sobre ubicación de pozos urbanos y extraurbanos ubicados en el municipio (Aguas de Saltillo).
- Reportes sobre mediciones de calidad del agua en pozos urbanos y extraurbanos 2022 y 2023 (Aguas de Saltillo).
- Cartografía sobre la ubicación de descargas de aguas residuales sin previo tratamiento (Dirección de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de Saltillo).
- Cartografía sobre la ubicación de sitios de disposición de residuos sólidos (tiraderos clandestinos) (Dirección de Servicios Públicos, Saltillo).
- Cartografía de la red de monitoreo de agua subterránea (CONAGUA).
- Inventario de sitios contaminados (SEMARNAT).
- Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes (Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Coahuila).
- Reportes de la estación de monitoreo de calidad del aire “Finanzas” (Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Coahuila).
- Reporte mensual de los sensores de tecnología láser que permiten revisar la concentración de partículas PM2.5 (Coordinación de Sustentabilidad y Cambio Climático IMPLAN Saltillo).
- Bibliografía relacionada con los aspectos analizados.
- Notas periodísticas.

La información obtenida de diversas fuentes fue categorizada según el tipo de fenómeno que representa y, posteriormente, espacializada. En los casos en que los datos carecían de referencia espacial, se procedió a georreferenciarlos para generar la cartografía correspondiente.

Memoria de cálculo

Como ya se mencionó, para el análisis se utilizaron datos provenientes de diversas fuentes, que fueron seleccionadas de acuerdo con su relevancia y accesibilidad. A continuación, se enumeran las fuentes clave:

- **Aguas de Saltillo**: cartografía de pozos (urbanos y extraurbanos), reportes de calidad del agua para 2022 y 2023.
- Dirección de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de Saltillo: cartografía de descargas de aguas residuales sin tratamiento.
- **Dirección de Servicios Públicos, Saltillo**: cartografía de sitios de disposición de residuos sólidos (tiraderos clandestinos).
- **CONAGUA**: cartografía de la red de monitoreo de agua subterránea.
- **SEMARNAT**: inventario de sitios contaminados.
- **Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Coahuila**: registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes y reportes de calidad del aire de la estación “Finanzas”.
- **IMPLAN Saltillo**: datos de sensores de tecnología láser para monitoreo de partículas PM2.5.
- **Otras fuentes**: bibliografía relevante y notas periodísticas para contexto adicional.

La información obtenida fue clasificada según el tipo de fenómeno abordado (contaminación de suelo, agua y aire). En el caso de datos sin referencia espacial, se realizó un proceso de georreferenciación para asegurar su correcta localización en el Atlas. Este proceso incluyó los siguientes pasos:

1. Clasificación por tipo de fenómeno.
    - Los datos fueron agrupados en tres categorías principales: contaminación de suelo, agua y aire.
2. Georreferenciación.
    - Los datos sin referencias espaciales (ubicación geográfica) fueron georreferenciados empleando herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica).
3. Mapeo y generación de cartografía.
    - Una vez georreferenciada, la información fue integrada en el Atlas mediante mapas temáticos para representar visualmente las fuentes de contaminación y áreas afectadas.

A continuación, se describe el procedimiento de cálculo y análisis para cada tipo de fenómeno:

1. Contaminación de agua:
    - **Método**: se analizaron los reportes de calidad del agua para determinar concentraciones de contaminantes en pozos urbanos y extraurbanos.

- **Cálculo**: para cada pozo, se obtuvo el promedio de concentraciones de contaminantes reportados (2022 y 2023).
- **Interpretación**: se identificaron zonas con niveles críticos de contaminantes y se compararon con las normativas locales.

2. Contaminación de suelo y residuos sólidos:
   - **Método**: los sitios de disposición de residuos (tiraderos clandestinos) fueron identificados y se evaluó su proximidad a áreas residenciales y cuerpos de agua.
   - **Cálculo**: se utilizó el número de sitios y sus condiciones para establecer la susceptibilidad del suelo a la contaminación.
   - **Interpretación**: los resultados señalaron áreas susceptibles de contaminación de suelo que requieren intervenciones de saneamiento.
3. Calidad del aire:
   - **Método**: a partir de los datos de calidad del aire de la estación “Finanzas” y los sensores de partículas PM2.5, se evaluaron los niveles de contaminantes en el aire, así como de los sensores laser del IMPLAN.
   - **Cálculo**: promedio de concentración de partículas PM2.5 en distintos periodos, utilizando datos mensuales.
   - **Interpretación**: se identificaron patrones de contaminación atmosférica que representan un riesgo para la salud en ciertas zonas del municipio.

Resultados

Contaminación del aire

De acuerdo con el Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes (RETC), que consiste en una base de datos pública nacional integrada por las **emisiones a los diferentes medios (aire, agua y suelo)**, además de las transferencias en Residuos Peligrosos, Residuos Sólidos Urbanos, Residuos de Manejo Especial y descargas en agua residual a cuerpos receptores nacionales, estatales y municipales de 200* sustancias, las cuales son manifestadas por los establecimientos sujetos a reporte.

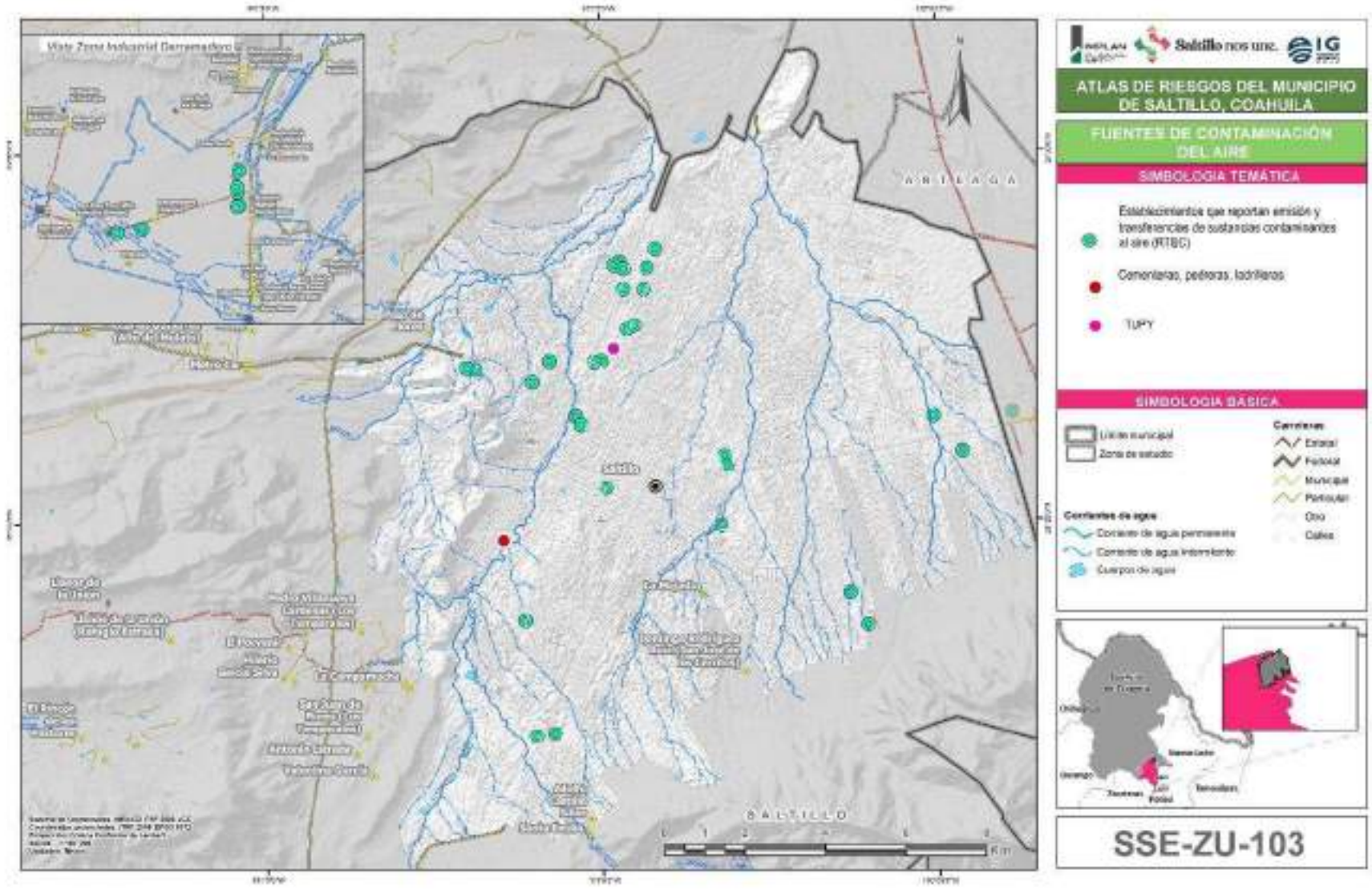
Para el año 2022 (fecha del RETC disponible más actual) en el municipio de Saltillo existen 37 establecimientos que reportan emisiones de sustancias con potencial de ocasionar daños al ambiente, a la salud del ser humano y a los ecosistemas (Tabla 115 y Mapa 111).

Tabla 115. Listado de establecimientos que reportan transferencia de contaminantes al aire

No.	Nombre empresa / Industria	No.	Nombre empresa / Industria
1	Adient México Automotriz, S de R.L. de C.V.	19	IMMI de México Production, S. de R.L. de C.V.
2	Aguas Industriales de SALTILLO, S.A. de C.V.	20	Industrias Martinrea de México S.A. de C.V.
3	Bebidas Purificadas, S. de R.L. C.V. Cedis Saltillo	21	Internacional de Fundentes, S.A. de C.V.
4	Borgwarner México, S. de R.L. de C.V. / Delphi Diesel Systems, S. de R.L. de C.V.	22	Marco Antonio Guerrero de Peña
5	Calentadores de América, S.A. de C.V.	23	Metalsa S.A.P.I. DE C.V.
6	César Eduardo Castrejón Briones	24	Moldes Saltillo S.A. de C.V.
7	Cie Plásticos México, S.A. de C.V.	25	Pilgrim’s Pride, S. de R.L. de C.V. (Planta de alimentos)
8	Cinsa, S.A. de C.V.	26	Pintura y ensambles de México, S.A. de C.V.
9	Cinsa S.A. de C.V. Planta Santa Anita	27	Productos Esmaltados de Saltillo, S.A. de C.V.
10	Corporación Seats de México, s. de R.L. de C.V.	28	Productos Industrializados de Saltillo, S. de R.L. de C.V.
11	Csi en Saltillo, S. de R.L. de C.V.	29	Quimmco Centro Tecnológico, S.A. de C.V.
12	Daimler Vehículos Comerciales México, S. de R.L. de C.V.	30	R.A. Phillips Industries de México, S. de R.L. de C.V.
13	Fundación Teletón México, A.C.	31	Sigma Alimentos Lácteos, S.A. de C.V. Planta Saltillo
14	Generación Ecológica Sustentable S.A. de C.V.	32	Taesung Rubber México, S. de R.L. de C.V.
15	GHSP México S.A. de C.V.	33	Technotrim de México, S. de R.L. de C.V.
16	GT Plastics Solutions, S.A.P.I. DE C.V.	34	Teijin Automotive Technlogies Saltillo, S. de R.L. de C.V.
17	GU Plumbing de México S.A. de C.V.	35	Thyssenkrupp Materials de México, S.A. de C.V.
18	IACNA México, S. de R.L. DE C.V.	36	Tostadores y Molinos S.A. de C.V.
		37	Transportes José Guadalupe Jiménez, S.A. de C.V.

Fuente: Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes del Estado de Coahuila, 2022.

Mapa 111. Ubicación de los establecimientos que reportan transferencia de contaminantes al aire



Fuente: elaboración propia con datos del RECT, 2022.

Estos establecimientos reportan un total de 17 sustancias contaminantes. Estas sustancias y las cantidades emitidas para el año 2022 se presentan en la Tabla 116. Así mismo en el Mapa 111 también se identifican cementeras, pedreras, así como ladrilleras, mismas que por el tipo de actividad que realizan emiten contaminantes al aire, principalmente partículas suspendidas.

Tabla 116. Sustancias contaminantes emitidas al aire por los 37 establecimientos que reportan en Saltillo para el año 2022.

No.	Sustancias	Cantidad emitida al aire kg/año
1	Acetaldehído (75-07-0)	0.1423553
2	Acroleina (107-02-8)	0.0171776
3	Arsénico(4) (7440-38-2)	0.022757936
4	Benceno (71-43-2)	0.269182949
5	Bióxido de carbono (124-38-9)	99123462.14
6	Bióxido de nitrógeno (10102-44-0)	998083.796
7	Butadieno (106-99-0)	0.007285977
8	Cadmio4 (7440-43-9)	0.1050298
9	Cromo4 (7440-47-3)	0.471429728
10	Estireno (fenil-etileno) (100-42-5)	33662
11	Formaldehído (50-00-0)	9.899998163
12	Mercurio4 (7439-97-6)	0.025240361
13	Metano (74-82-8)	318303.6377
14	Níquel4 (7440-02-0)	0.200046061
15	Óxido nitroso (10024-97-2)	212.3172137
16	Plomo4 (7439-92-1)	0.05053909
17	Tolueno (108-88-3)	0.320601187

Fuente: elaboración propia con datos del RECT, 2022.

Como se observa en la tabla anterior la mayor transferencia de emisiones corresponde al bióxido de carbono, seguida del bióxido de nitrógeno, metano, estireno y finalmente óxido nitroso.

Adicionalmente, y como se había mencionado, las condiciones de la ciudad de Saltillo, la concentración de actividades económicas principalmente de tipo industrial, aunado al parque vehicular, generan condiciones negativas en la calidad del aire.

Saltillo cuenta con una estación para la medición de la calidad del aire que se encuentra normada por la Secretaría de Medio Ambiente del Estado, la estación se ubica en el edificio de Finanzas del municipio localizada al centro de la zona urbana. De acuerdo con los datos de esta estación, y para el año más reciente disponible (2022), la calidad del aire que predomina en Saltillo a lo largo del año corresponde a una calidad satisfactoria que no presenta un riesgo (Figura 114).

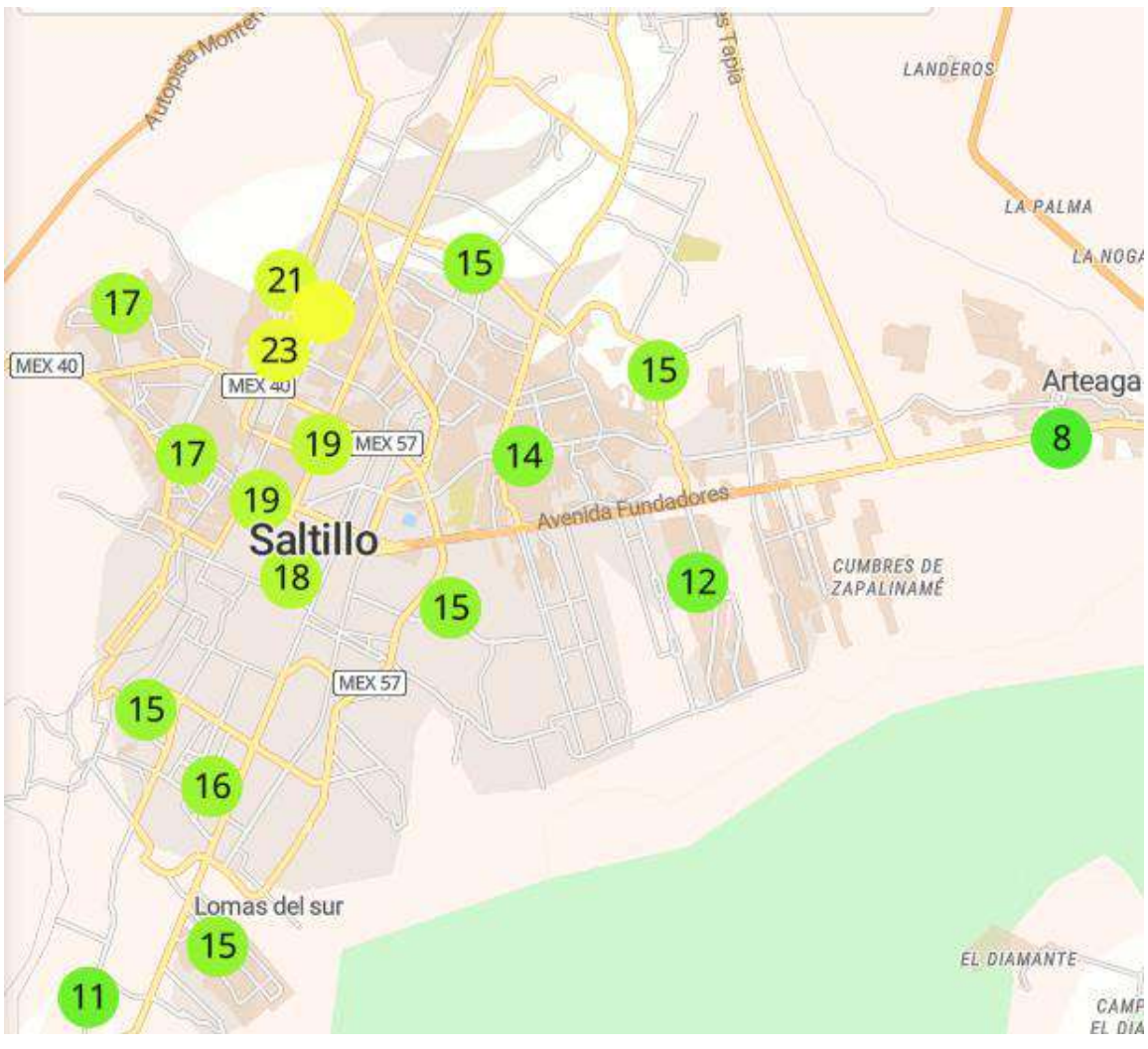
Figura 114. Datos mensuales 2022 de calidad del aire en Saltillo para la estación normada "Finanzas"



Fuente: Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Coahuila, 2022.

No obstante a lo anterior, se identificó que la estación presenta discontinuidad en la recolección de datos, situación que puede generar resultados inconsistentes, por esta razón y con el objetivo de generar más, así como mejor información sobre la calidad del aire en Saltillo, el gobierno municipal instaló en el año 2024 20 sensores de tecnología láser que permiten revisar la concentración de partículas PM2.5 en diferentes puntos de la ciudad (Figura 115).

Figura 115. Localización de sensores láser para la medición de concentración de partículas PM2.5



Fuente: Coordinación de Sustentabilidad y Cambio Climático IMPLAN Saltillo, 2024.

Derivado de la reciente instalación de los sensores, solo se cuenta con datos para el mes de junio de 2024, mismos que en conjunto arrojan un promedio diario de 19.9 µg/m³ PM 2.5, valor que corresponde a una calidad del aire aceptable pero que puede afectar a personas sensibles a contaminación (asma, EPOC, etc), si se mantienen exposición por más de 24 horas.

De acuerdo con los datos anteriores, se observa que Saltillo enfrenta un problema de contaminación del aire atribuido principalmente a su parque industrial, concentrado en sectores específicos de la ciudad. Con base en el Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes (RETC) para el año 2022, se identificaron 37 establecimientos industriales que emiten al aire diversas sustancias contaminantes, siendo las principales el dióxido de carbono (CO_2), el dióxido de nitrógeno (NO_2), el metano (CH_4), y el óxido nitroso (N_2O), que tienen efectos negativos sobre la calidad del aire y la salud de la población.

Dentro de Saltillo, algunas zonas presentan mayor susceptibilidad a la contaminación del aire debido a la alta concentración de actividades industriales y al tráfico vehicular. Estas áreas se pueden clasificar en tres sectores principales:

1. **Zona industrial oriente**: localizada en las cercanías de la autopista Saltillo - Monterrey, esta zona alberga gran parte de las industrias manufactureras y automotrices de la ciudad. Las emisiones generadas incluyen partículas suspendidas, así como compuestos orgánicos volátiles que contribuyen al deterioro de la calidad del aire. La proximidad a áreas residenciales como Mirasierra, además del Valle de las Flores aumenta la exposición de los habitantes a estos contaminantes.
2. **Zona centro y sur**: aquí se concentra la mayor actividad vehicular, especialmente en avenidas principales como el Periférico Luis Echeverría y el Boulevard Venustiano Carranza. La combinación de emisiones vehiculares, además del tráfico constante genera altos niveles de dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno. También el monitoreo de la calidad del aire en la estación "Finanzas" ubicada en el centro muestra variaciones en las concentraciones de contaminantes, reflejando la influencia del tráfico en la contaminación del aire.
3. **Área de cementeras y pedreras (norponiente)**: en esta región se ubican industrias cementeras y de extracción, que emiten principalmente partículas suspendidas PM10 y PM2.5. Estos contaminantes son particularmente peligrosos, ya que afectan a zonas residenciales cercanas como Lomas de Lourdes, además de Rancho de Peña. Las partículas suspendidas representan un riesgo de salud significativo, especialmente para personas con enfermedades respiratorias.

Actualmente, Saltillo cuenta con una estación de monitoreo oficial ubicada en el centro, así como con 20 sensores láser instalados en diferentes puntos estratégicos desde 2024. Los datos más recientes (junio de 2024) indican una concentración de 19.9 µg/m³ de PM2.5 en promedio, considerada aceptable, aunque potencialmente dañina para grupos sensibles en exposición prolongada. Las zonas identificadas como las más afectadas son aquellas cercanas a los polos industriales y vías principales, confirmando la necesidad de monitoreo continuo y de acciones para mitigar la exposición.

De acuerdo con lo anterior, en Saltillo el **radio de afectación promedio de las zonas industriales** para contaminantes en el aire varía en función de factores como el tipo de industria, condiciones atmosféricas, geografía, y la presencia de otras fuentes de emisión, como el parque vehicular.

Para determinar las zonas de mayor susceptibilidad de Saltillo ante la contaminación del aire se realizó un análisis sobre los radios de afectación de los contaminantes atmosféricos generados por la industria, además del parque vehicular a partir de estudios y otras referencias técnicas que pueden ayudar a respaldar los datos que a continuación se describen y que se enlistan a continuación:

1. **Estudios de dispersión de contaminantes industriales**: los modelos de dispersión, como el AERMOD y el CALPUFF, se utilizan comúnmente en estudios de impacto ambiental para estimar cómo los contaminantes se diseminan desde fuentes puntuales como industrias. Estos modelos demuestran que contaminantes como partículas , así como gases pueden afectar áreas en un radio de hasta 10 kilómetros en condiciones de viento moderado.

- **Referencia**: U.S. Environmental Protection Agency (EPA). *AERMOD: Description of Model Formulation*. Accesible en el sitio de la EPA.

2. **Investigaciones en ciudades con actividades industriales**: investigaciones realizadas en ciudades con características similares a Saltillo, como Monterrey y Guadalajara, indican que las emisiones de partículas finas y gases industriales afectan principalmente a áreas dentro de un radio de uno a tres kilómetros, aunque en condiciones de viento, así como dispersión adecuadas, el impacto puede extenderse hasta 10 kilómetros o más.

- **Referencia**: SEMARNAT y Gobierno del Estado de Nuevo León. *Evaluación de la calidad del aire en la zona metropolitana de Monterrey*. Disponible en el sitio de la SEMARNAT.

3. **Impacto de tráfico vehicular en áreas urbanas**: Estudios realizados por el World Resources Institute (WRI) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre el impacto de las emisiones vehiculares en zonas urbanas establecen que contaminantes como NOx y PM2.5 pueden afectar la calidad del aire en un radio de hasta 3 kilómetros desde vías de alta densidad de tráfico.

- **Referencia**: World Health Organization (WHO). *Air Pollution and Child Health: Prescribing Clean Air*. Disponible en el sitio de la OMS.

4. **Informe de la Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA)**: este informe señala que los contaminantes derivados de la industria y el transporte, como los óxidos de nitrógeno y las partículas finas, tienden a extenderse de 3 a 5 kilómetros en áreas con una combinación de industria y tráfico urbano.

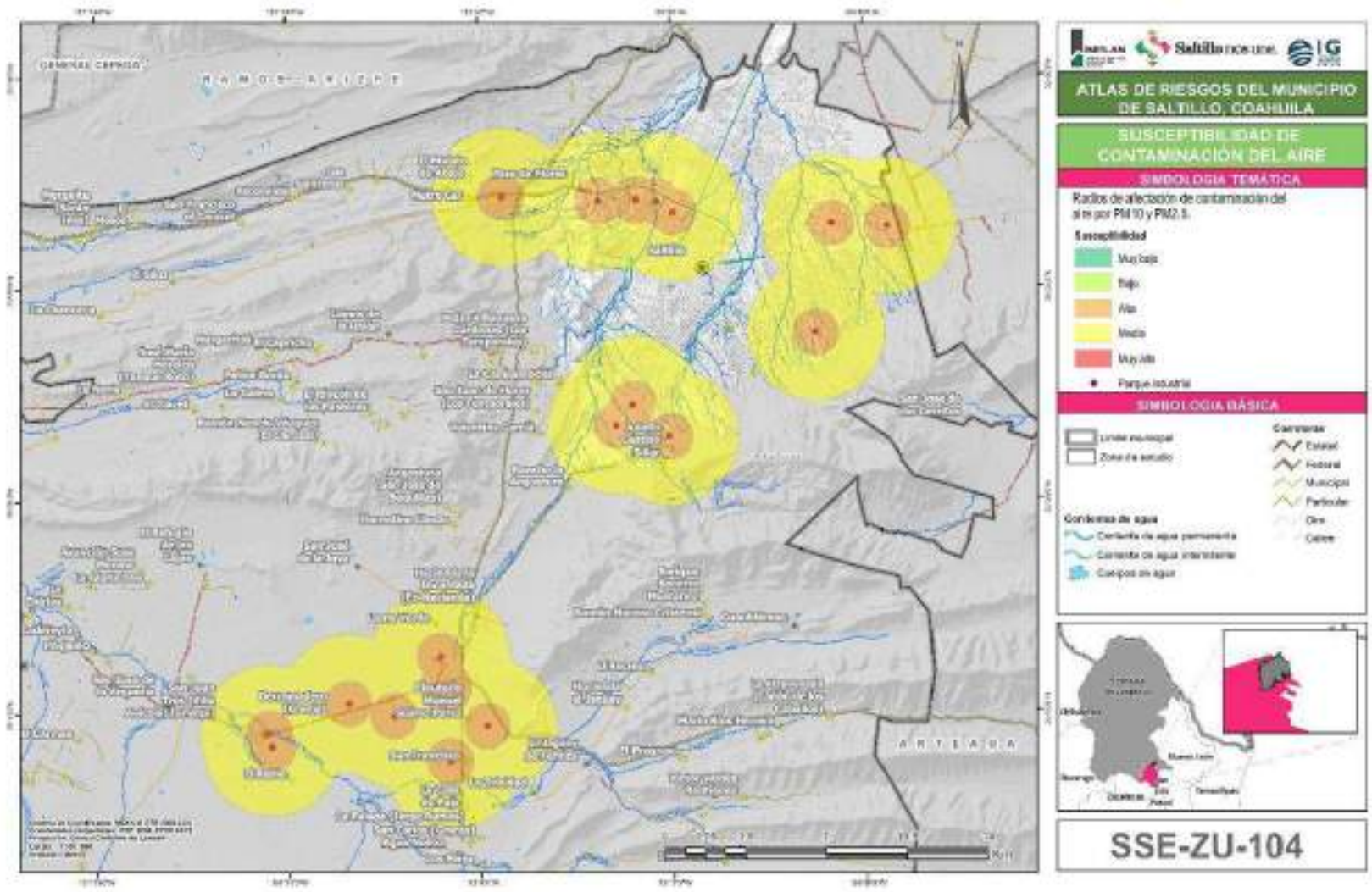
- **Referencia**: European Environment Agency (EEA). *Air Quality in Europe - 2020 Report*. Disponible en el sitio de la EEA.

A partir de la revisión y análisis de las fuentes antes señaladas se determinaron los siguientes radios de influencia o afectación de las fuentes contaminantes, los cuales se describen a continuación:

1. **Radio cercano (uno a tres kilómetros)**: las partículas contaminantes como PM10 y PM2.5, provenientes de industrias y vehículos, afectan más las áreas próximas a las fuentes de emisión. En zonas industriales y carreteras de alta circulación vehicular, estas partículas pueden acumularse y afectar la salud de poblaciones en un radio de uno a tres kilómetros, especialmente en días sin viento o durante inversiones térmicas, que son comunes en la región.
2. **Radio más amplio (cinco a 10 kilómetros)**: los contaminantes gaseosos, como los óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (COVs), tanto industriales como de automóviles, pueden dispersarse a mayores distancias. Estas sustancias tienen un alcance promedio de entre cinco y 10 kilómetros bajo condiciones de viento moderado, impactando así áreas residenciales aledañas a parques industriales y avenidas de alta circulación, especialmente en el oriente de Saltillo y en el municipio de Ramos Arizpe.
3. **Contaminación vehicular**: el parque vehicular en Saltillo contribuye significativamente a los niveles de contaminación, especialmente en áreas de alta densidad de tráfico y en avenidas como el Periférico Luis Echeverría y el Boulevard Venustiano Carranza. Los automóviles y camiones generan NOx y partículas finas, que empeoran la calidad del aire en zonas urbanas de alto tráfico y pueden elevar los niveles de contaminación en un radio de hasta tres kilómetros desde estas vías principales.
4. **Condiciones geográficas y meteorológicas**: la ubicación de Saltillo en un valle genera condiciones que, en días de poca ventilación, pueden atrapar contaminantes cerca del suelo, aumentando así la concentración en radios menores. Esto es especialmente problemático en áreas cercanas a vías y zonas industriales.

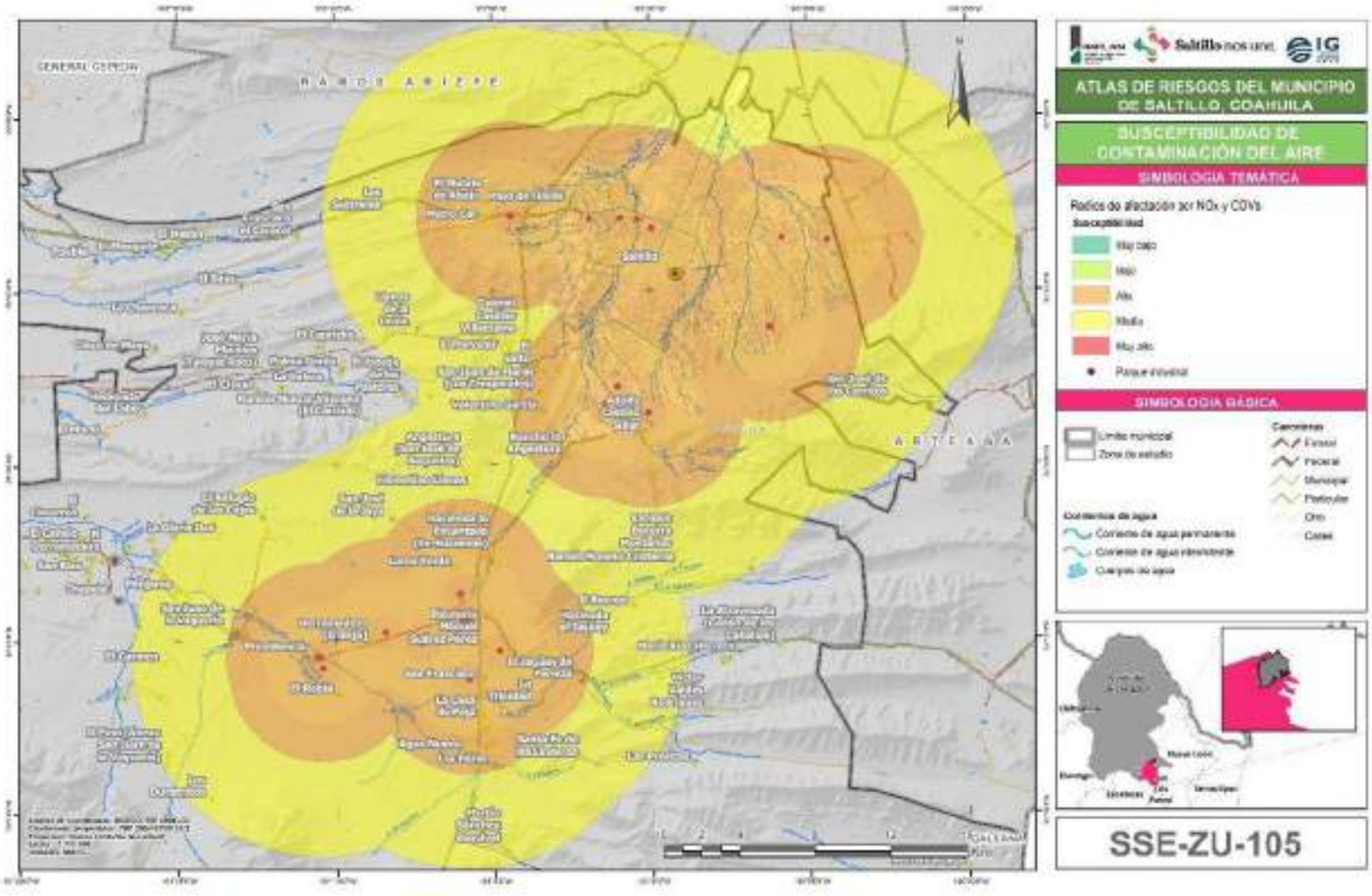
A partir de estas distancias o radios de afectación se generaron tres capas vectoriales en las que se establecen las distancias señaladas en el párrafo anterior, a partir de la ubicación de los parques industriales de Saltillo, tal como se observa en el Mapa 112 y Mapa 113, así como la susceptibilidad por contaminación del parque vehicular (Mapa 114).

Mapa 112. Susceptibilidad de contaminación del aire por PM10 y PM2.5



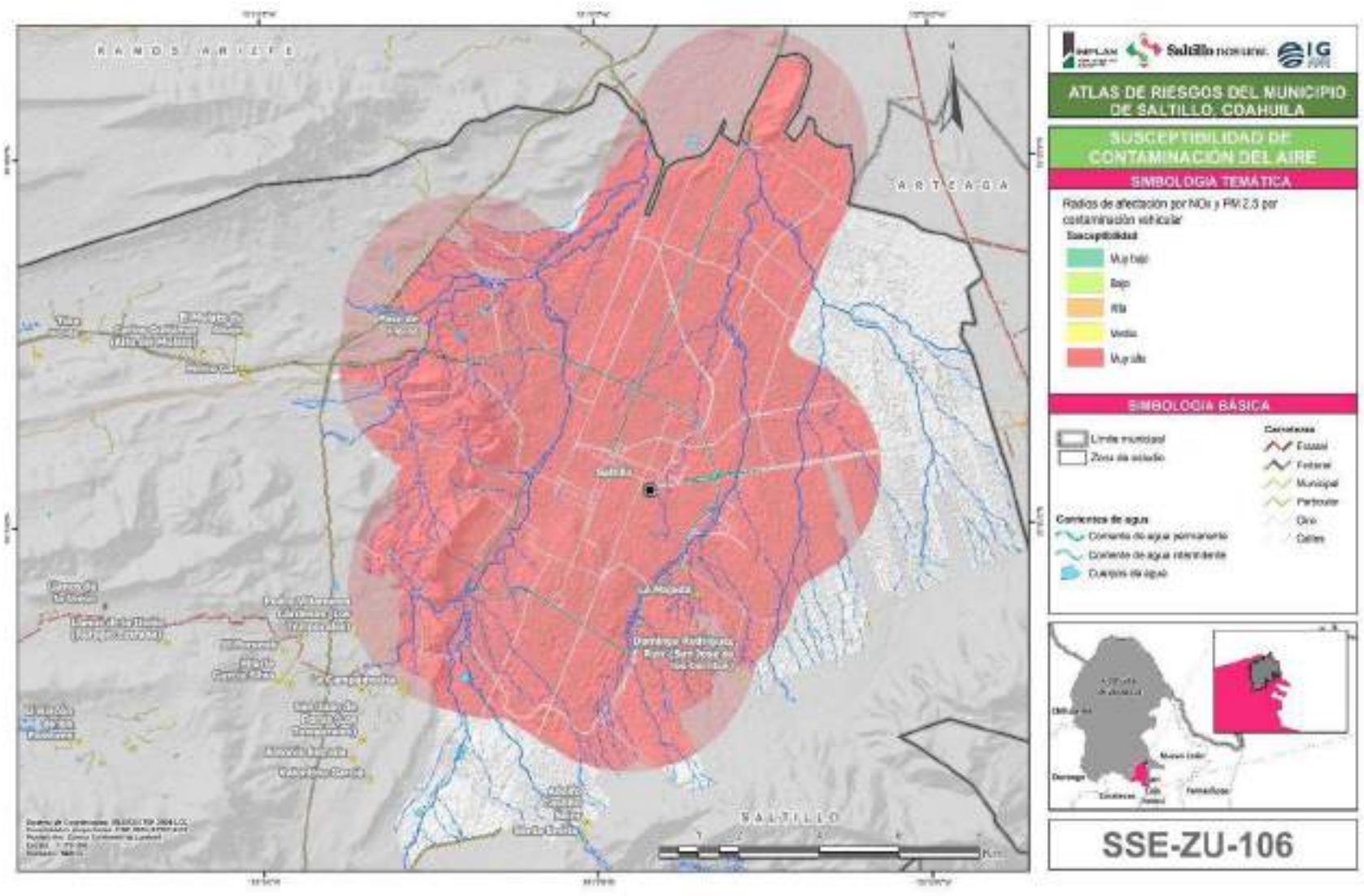
Fuente: elaboración propia.

Mapa 113.Susceptibilidad de contaminación del aire NOx y COVs



Fuente: elaboración propia.

Mapa 114. Susceptibilidad de contaminación del aire por NOx y PM 2.5 por parque vehicular



Fuente: elaboración propia.

Los datos recopilados, así como los análisis realizados, muestran que la calidad del aire en Saltillo está afectada principalmente por emisiones de dióxido de carbono y bióxido de nitrógeno, que provienen de diversas industrias, además del parque vehicular. A pesar de que las mediciones actuales califican la calidad del aire como satisfactoria, es necesario considerar la posible subestimación de riesgos debido a la discontinuidad en el monitoreo. Además, la presencia de partículas PM2.5 en niveles que afectan a poblaciones

sensibles indica un riesgo para la salud pública que podría agravarse con la expansión de actividades industriales, también el incremento de vehículos.

La instalación de sensores adicionales en 2024 representa un avance hacia la obtención de datos más precisos y continuos. No obstante, se recomienda implementar políticas de control de emisiones, asimismo de reducción de contaminantes en las zonas urbanas, así como fortalecer los mecanismos de monitoreo. La tendencia de crecimiento industrial y vehicular, de no ser regulada, puede aumentar el riesgo de contaminación en el futuro y comprometer la salud ambiental, además de los habitantes de Saltillo.

Contaminación del suelo

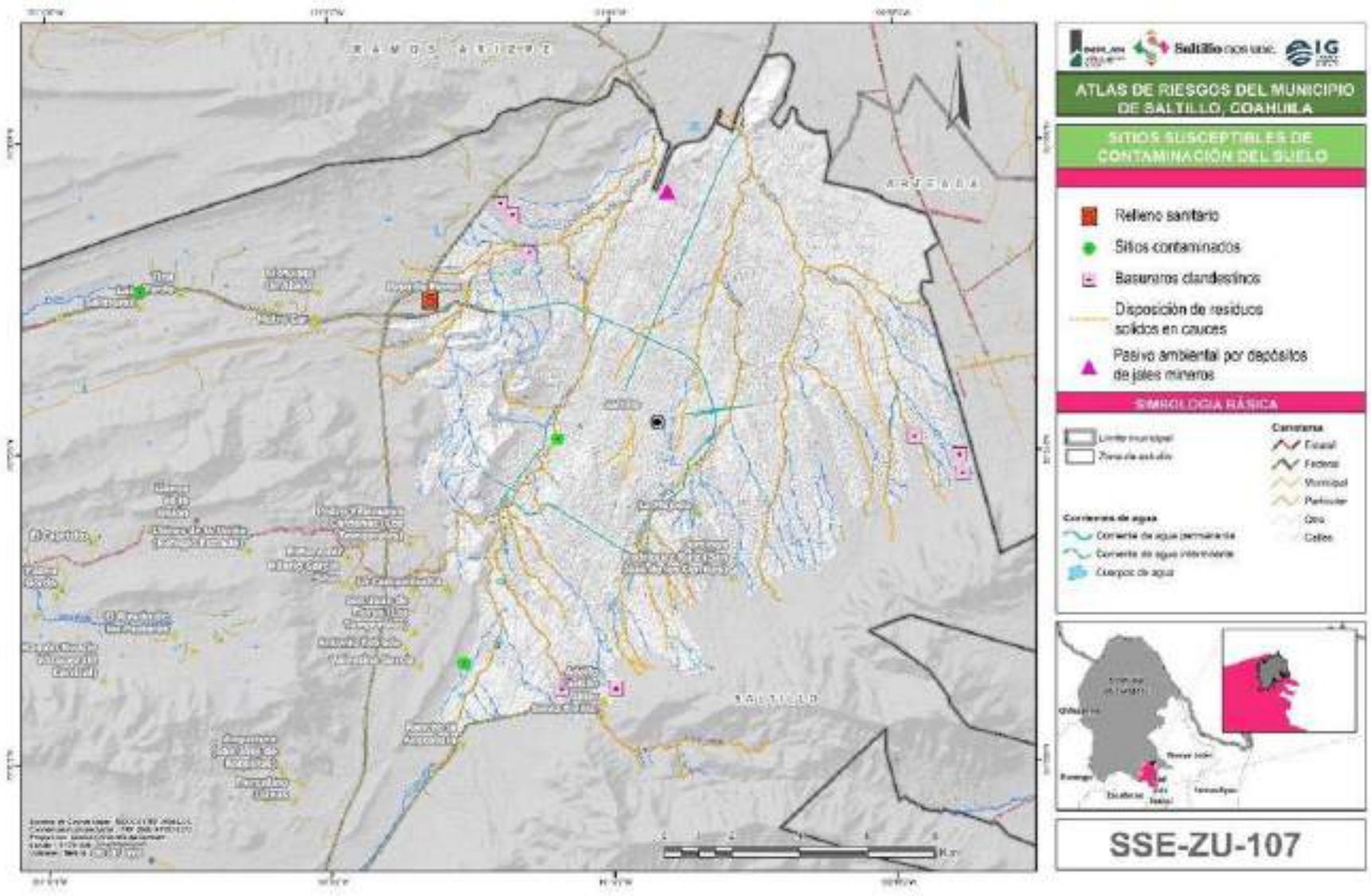
En Saltillo existen diversas fuente de contaminación de suelo; sin embargo, entre las más graves destaca la acumulación por resiudos sólidos en tiraderos clandestinos (Figura 117), y en las inmediaciones de los cauces de los arroyos que cruzan la zona urbana.

Además de lo anterior, se tienen identificados dos puntos clasificados por la SEMARNAT en el inventario de sitios contaminados como pasivos ambientales. El primero de ellos se ubica en el extremo centro norte de la zona urbana, corresponde a un sitio contaminado por depósitos de jales mineros al que no se atendió mediante remediación.

El segundo sitio se ubica al centro poniente del municipio y corresponde al Ex taller de Ferrocarriles Nacionales de México en Liquidación, sitio en el que en el año 2009 sucedió un derrame de hidrocarburos de fracción media y pesados en un área de mil 30 m^2 afectando un volumen de suelo de mil 660m^3; de acuerdo con el inventario de sitios contaminados, hasta el año 2023 el sitio no había sido remediado.

En el Mapa 115 se ilustra la distribución de los sitios que presentan susceptibilidad a contaminación de suelo así como aquellos identificados como pasivos ambientales.

Mapa 115. Sitios susceptibles a contaminación de suelo



Fuente: Elaboración propia con datos de SEMARNAT, 2024; Municipio de Saltillo y trabajo de campo, 2024.

El sitio de disposición final de los residuos sólidos urbanos de Saltillo se localiza en la Carretera Torreón Km 3.5, en Saltillo, Coahuila, y abarca un área de 60 hectáreas. Este sitio cumple con lo establecido en la NOM-083-SEMARNAT-2003, está clasificado como Relleno Sanitario Tipo A, lo que corresponde a instalaciones que reciben más de 100 toneladas de residuos sólidos urbanos y de manejo especial por día.

Según los datos proporcionados por el municipio, la capacidad total del sitio es de 3 millones 647 mil 389.35 m^3 , recibe un promedio de 700 toneladas diarias de residuos. El lugar cuenta con siete fosas. Las fosas uno, dos, tres y cuatro ya están clausuradas, mientras que las fosas cinco y seis están en proceso de clausura. Actualmente, la fosa siete está en operación, con una superficie de 48 mil 760.678 m^2 y una geomembrana de 71 mil 300 m^2, lo que le otorga una capacidad volumétrica de 839 mil 126.35 m^3.

En las fosas uno, dos, tres y cuatro que ya fueron clausuradas, se cumplió exitosamente con los procedimientos establecidos en la NOM-083-SEMARNAT-2003. El sitio de disposición final está equipado con un sistema de captación de lixiviados, que son tratados mediante un proceso de recirculación y evaporación. Además, el sistema cuenta con un cárcamo en el interior de la fosa, conectado a una bomba sumergible para la extracción de los lixiviados. También dispone de 67 pozos para la extracción de biogás, lo que contribuye a la gestión ambiental adecuada del relleno sanitario.

Figura 116. Toma aérea del sitio de disposición final de residuos sólidos de Saltillo



Fuente: trabajo de campo, 2023.

Dadas las condiciones del sitio de disposición final, que cumple con la normatividad vigente, así como su adecuado equipamiento, infraestructura, y gestión organizacional, se considera que no representa un riesgo significativo de contaminación del suelo.

El caso contrario ocurre con los tiraderos clandestinos, localizados principalmente en las afueras de la zona urbana (Mapa 115 y Figura 117). En estos sitios, donde la población dispone de residuos sólidos de manera descontrolada, sin ningún tipo de manejo adecuado, se generan diversos impactos ambientales significativos.

Uno de los principales problemas es la contaminación por lixiviados, ya que los residuos sólidos urbanos, al descomponerse, producen una mezcla de sustancias tóxicas que se filtran al suelo. Estos lixiviados pueden contener metales pesados, compuestos orgánicos volátiles y otros contaminantes que no solo afectan la calidad del suelo, sino que también pueden infiltrarse en las capas subterráneas y contaminar acuíferos.

Además, estos lixiviados tóxicos, que incluyen metales pesados como plomo, mercurio y cadmio, pesticidas y productos químicos, alteran la fertilidad del suelo, lo que impide el crecimiento de plantas, además afecta tanto la biodiversidad como la productividad agrícola de las áreas dañadas.

La acumulación de materiales no biodegradables como plásticos, caucho, así como vidrio, que no se descomponen fácilmente, también tiene un efecto negativo en el suelo, reduciendo su porosidad, además de su capacidad para retener agua. Esto altera el ciclo natural del agua en los ecosistemas y limita la capacidad del suelo para sustentar vegetación.

Además, la acumulación de materiales inflamables como plásticos, papel, también textiles incrementa el riesgo de incendios, lo que no solo degrada aún más el suelo, sino que también provoca la emisión de gases tóxicos, afectando la calidad del aire.

En los tiraderos clandestinos, los residuos se descomponen de manera descontrolada, liberando gases como metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), los cuales contribuyen al calentamiento global. También pueden liberarse otros gases tóxicos que representan riesgos tanto para la salud humana como para el medio ambiente.

Estos sitios, además, favorecen la proliferación de plagas, atrayendo roedores, insectos y otros vectores de enfermedades, lo que supone un riesgo adicional para la salud pública, así también puede alterar el equilibrio ecológico, afectando a la fauna local.

Por último, los lixiviados generados por estos tiraderos pueden filtrarse, llegar a cuerpos de agua cercanos como ríos, lagos y acuíferos, contaminando el agua, afectando su disponibilidad tanto para el consumo humano como para el riego agrícola.

Por lo anterior, estos sitios se consideran altamente susceptibles de presentar contaminación del suelo.

Figura 117. Tiraderos clandestino en Saltillo



Fuente: Dirección de Servicios Públicos Municipales. Subdirección de Limpieza, Saltillo.

Además de los tiraderos clandestinos, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) ha identificado dos puntos específicos en su Inventario de Sitios Contaminados clasificados como pasivos ambientales, lo que indica que no han sido debidamente remediados.

El primero de ellos, corresponde a depósitos de jales mineros. Ubicado en el extremo centro - norte de la zona urbana de Saltillo, en la Colonia Zona Industrial y muy cercano a la colonia Brisas Poniente, este sitio está contaminado debido a residuos mineros acumulados. Los jales mineros, residuos sólidos generados por la actividad minera, contienen metales pesados como plomo, arsénico, así como cadmio, que se infiltran en el suelo y representan un riesgo significativo para tanto para la salud, como pata el ambiente. La falta de remediación ha permitido que el sitio siga siendo una fuente de contaminación activa (Figura 118).

Figura 118. Ubicación del depósito de jales mineros



Fuente: elaboración propia con datos de SEMARNAT, 2023.

La acumulación de material suelto en los depósitos de jales mineros representa una amenaza, especialmente cuando ocurren lluvias intensas. En ocasiones previas, esta combinación ha provocado que el agua saturada en estos depósitos cause el desplazamiento del material hacia las viviendas y calles cercanas, generando daños y pérdidas (Figura 114).

Estas condiciones resaltan la alta susceptibilidad de este pasivo ambiental a la contaminación del suelo, además de los peligros asociados a otros fenómenos de origen natural. Por ello, es fundamental implementar acciones integrales que permitan mitigar los

impactos ambientales provocados por los jales mineros y prevenir daños a largo plazo en el suelo, así como reducir los riesgos asociados a estos depósitos.

Figura 119. Condición y daños causados por el depósito de jales mineros derivado de las precipitaciones.



Fuente: Vanguardia, Saltillo, 2022.

El segundo pasivo ambiental, corresponde al ubicado en el ex taller de Ferrocarriles Nacionales de México en Liquidación. Este segundo punto se encuentra en el centro poniente del municipio. En 2009, ocurrió un derrame de hidrocarburos de fracción media y pesada en un área de mil 30 m^2, afectando un volumen de suelo estimado en mil 660 m^3.

Este tipo de derrames es especialmente problemático ya que los hidrocarburos son altamente persistentes en el medio ambiente, al no ser remediados pueden filtrarse en las capas más profundas del suelo, afectando también a los acuíferos subterráneos. De acuerdo con el inventario de sitios contaminados, de los cuatro sitios identificados en Saltillo (Mapa 115), solo este punto no cuenta con un programa de remediación aprobado y hasta el año 2023, este sitio no había recibido ningún tipo de remediación formal.

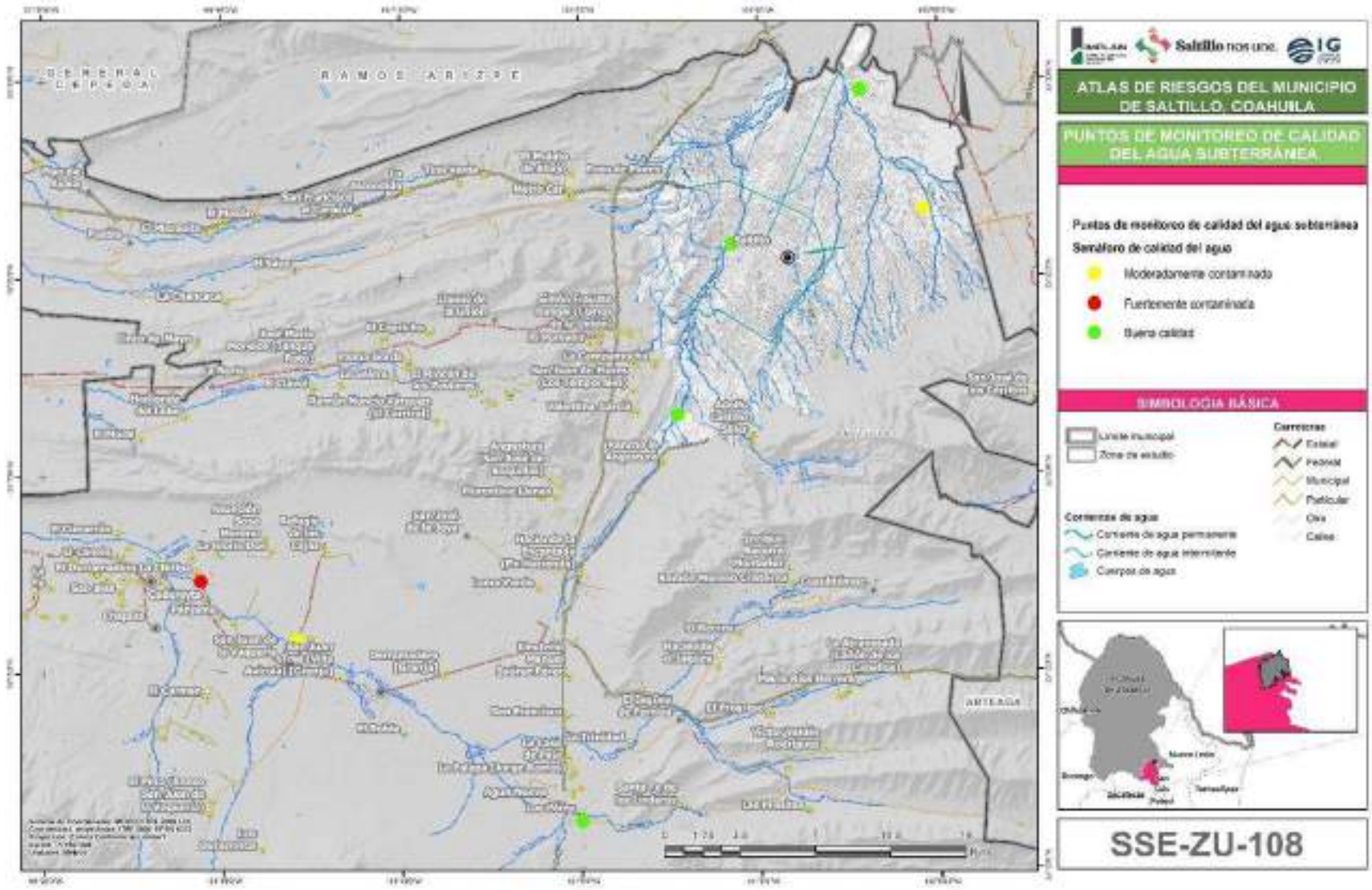
Contaminación del agua

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en saltillo existen nueve puntos para medir la calidad del agua subterránea, cuatro de ellos ubicados en la zona urbana del municipio, los cuales presentan buena calidad del agua y solo uno presenta una calidad moderada.

En el territorio rural del municipio existe un punto que presenta muy mala calidad del agua o se encuentra altamente contaminada, ubicado el sur este de la zona urbana y cercano a la localidad “La Pompa”.

En el Mapa 116 se presentan los puntos de monitoreo de calidad del agua, además del semáforo que maneja CONAGUA para identificar el grado de contaminación, donde el color verde representa buena calidad del agua, el color amarillo moderadamente contaminada y el color rojo corresponde a fuertemente contaminada.

Mapa 116. Puntos de monitoreo de calidad del agua subterránea y su nivel de contaminación

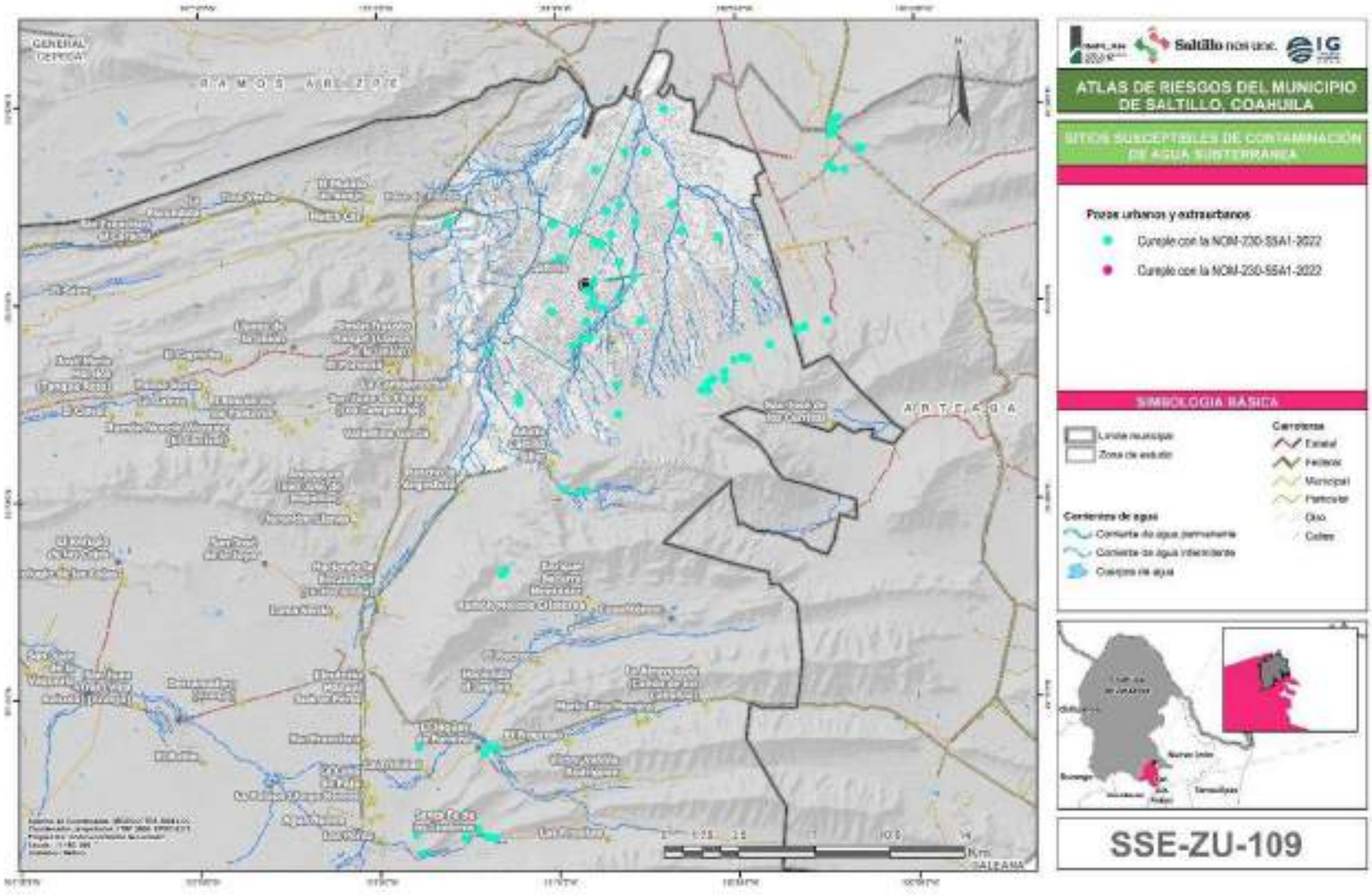


Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA, 2020.

Aunado a lo anterior, a través del mapeo de la información sobre las mediciones de la calidad del agua en los pozos urbanos y extraurbanos del municipio proporcionada por Aguas de Saltillo, se identificó que, de acuerdo a los estudios realizados en el 2023, todos los pozos de Saltillo cumplen con la NOM-230-SSA1-2022, por lo que el peligro por contaminación del agua en el municipio es muy baja (Mapa 117).

Esta condición se refuerza con el reconocimiento otorgado a la empresa paramunicipal Aguas de Saltillo S.A de C.V. emitido por la Secretaría de Saludo del Estado de Coahuila a través de la Subsecretaría de Regulación y Fomento Sanitario, por haber cumplido con las condiciones sanitarias del sistema, así como de la calidad bacteriológica y físico química del agua para uso, además de consumo humano.

Mapa 117. Calidad del agua en los pozos urbanos y extraurbanos de Saltillo

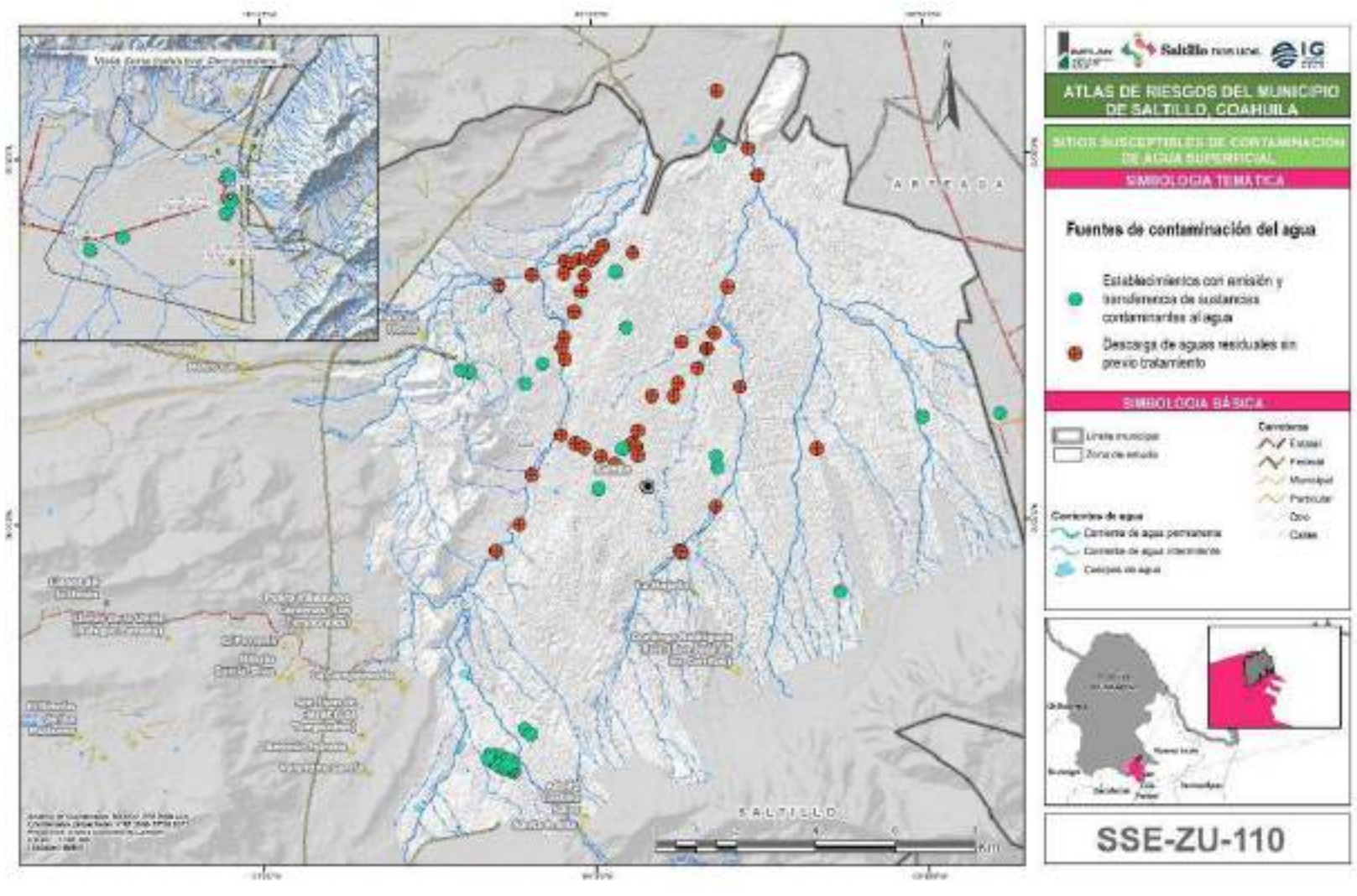


Fuente: elaboración propia con datos de Aguas de Saltillo 2022 y 2023.

En cuanto a las aguas superficiales, la contaminación al agua se presenta principalmente por tres aspectos: 1) descargas de aguas residuales hacia los cauces sin previo tratamiento; 2) transferencia de sustancias contaminantes por establecimientos, y 3) contaminación por disposición de residuos sólidos en cauces.

La ubicación de los puntos de contaminación y sus fuentes se observa en el Mapa 118, donde los puntos corresponden a sitios con susceptibilidad por contaminación del agua superficial.

Mapa 118. Fuentes y ubicación de sitios de contaminación del agua superficial



Fuente: elaboración propia con datos del RETC, 2022; Dirección de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de Saltillo, 2024.

En conclusión, Saltillo enfrenta serios problemas de calidad del aire, principalmente debido a emisiones vehiculares, industriales y actividades de construcción. Los principales contaminantes identificados son partículas PM10 y PM2.5, dióxido de nitrógeno (NO2), y ozono (O3).

La concentración de actividades industriales y la falta de planificación urbana adecuada han incrementado los niveles de contaminación. La ciudad cuenta con estaciones de monitoreo que revelan que, aunque en términos generales la calidad del aire es satisfactoria, existen discontinuidades en la recolección de datos que podrían afectar la interpretación de la calidad del aire. Para mejorar la medición, así como la gestión de la contaminación, el gobierno municipal ha instalado sensores de tecnología láser para medir partículas PM2.5, cuyos primeros datos indican niveles de calidad aceptables pero potencialmente dañinos para personas sensibles.

En cuanto a la contaminación del suelo en Saltillo, es causada principalmente por la disposición inadecuada de residuos sólidos en tiraderos clandestinos y cerca de cauces de arroyos. Además, existen pasivos ambientales significativos, como el depósito de jales mineros, además de sitios con derrames de hidrocarburos que no han sido remediados, lo que agrava el peligro para la salud pública y el medio ambiente. Tanto la falta de control sobre estos sitios, como la acumulación de residuos en áreas no reguladas contribuyen a la contaminación del suelo con metales pesados y otras sustancias tóxicas.

Con respecto a las aguas superficiales y subterráneas de Saltillo también presentan susceptibilidad. La contaminación proviene principalmente de descargas de aguas residuales sin tratamiento, actividades industriales y la disposición de residuos sólidos en cauces. Los puntos de monitoreo indican que mientras algunas áreas presentan buena calidad del agua subterránea, otras, especialmente en zonas rurales, muestran altos niveles de contaminación, lo cual representa un riesgo significativo para las comunidades locales.

Como se observa, Saltillo enfrenta una crisis ambiental multifacética, marcada por la contaminación del aire, suelo y agua. Estos problemas son resultado de una combinación de factores como el crecimiento urbano descontrolado, la falta de planificación ambiental, la intensa actividad industrial, así como la deforestación. La situación se agrava por la gestión ineficiente de residuos, además de la insuficiente implementación de medidas de control y remediación.

6.1.6 Epidemias y plagas

Introducción / Antecedentes

Cuando se producen alteraciones drásticas en el equilibrio de los ecosistemas, los organismos no logran adaptarse con la rapidez necesaria para afrontar los cambios, lo que afecta especialmente a las especies más vulnerables y provoca alteraciones significativas en las interacciones de todo el ecosistema. Esto puede dar lugar a diversos fenómenos sanitarios, entre los cuales destacan:

Epidemias: son definidas como un aumento considerable en la frecuencia de casos de una enfermedad infectocontagiosa que afecta a una zona extensa o incluso a un país completo. Existen dos mecanismos principales que pueden desencadenar una epidemia: 1) por contagio, donde virus o bacterias se transmiten a través del aire, agua, alimentos o de persona a persona; y 2) por inoculación a través de vectores como mosquitos y otros insectos. Las epidemias tienen efectos negativos significativos, incluyendo la enfermedad, así como decesos masivos en la población, además de un impacto económico debido a los costos asociados con los tratamientos y las incapacidades laborales.

Plagas: se refiere a cualquier organismo que resulte perjudicial para los humanos o sus actividades agropecuarias, especialmente cuando su presencia causa pérdidas en las cosechas o la muerte de animales destinados al consumo humano. Las plagas afectan negativamente la producción de alimentos para la población y tienen un impacto directo en la economía del país.

Metodología

La metodología empleada para el análisis de las epidemias y plagas, corresponde a la establecida en la Guía de Contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos, específicamente en lo indicado en la fracción VII.

Memoria de cálculo

Los aspectos de epidemias se analizaron a partir de las siguientes fuentes de información:

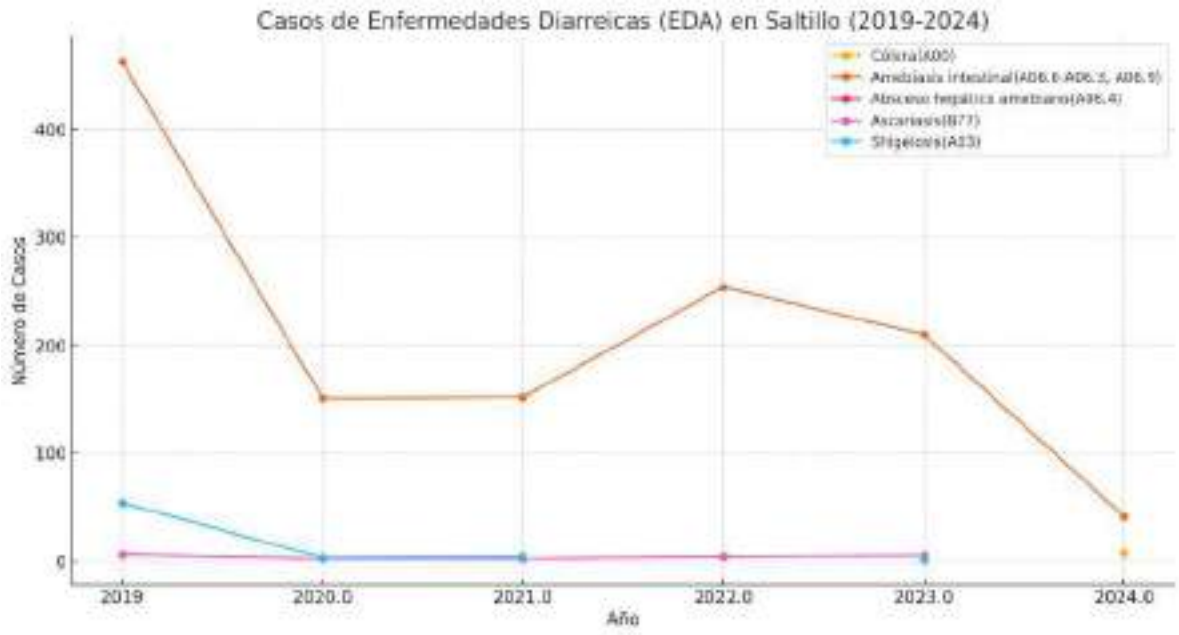
- Estadísticas sobre enfermedades infecciosas del aparato respiratorio 2019 - 2024
- Enfermedades infecciosas y parasitarias del aparato digestivo 2019 – 2024
- Enfermedades transmisibles por vector 2019 – 2024
- Otras enfermedades exantemáticas 2019 – 2024
- Enfermedades zoonóticas 2019 - 2024

Toda la información anteriormente listada fue proporcionada por la Dirección de Salud de municipio de Saltillo.

Resultados

Enfermedades diarreicas agudas

Grafica 4. Casos de Enfermedades Diarreicas (EDA) en Saltillo (2019 – 2024)



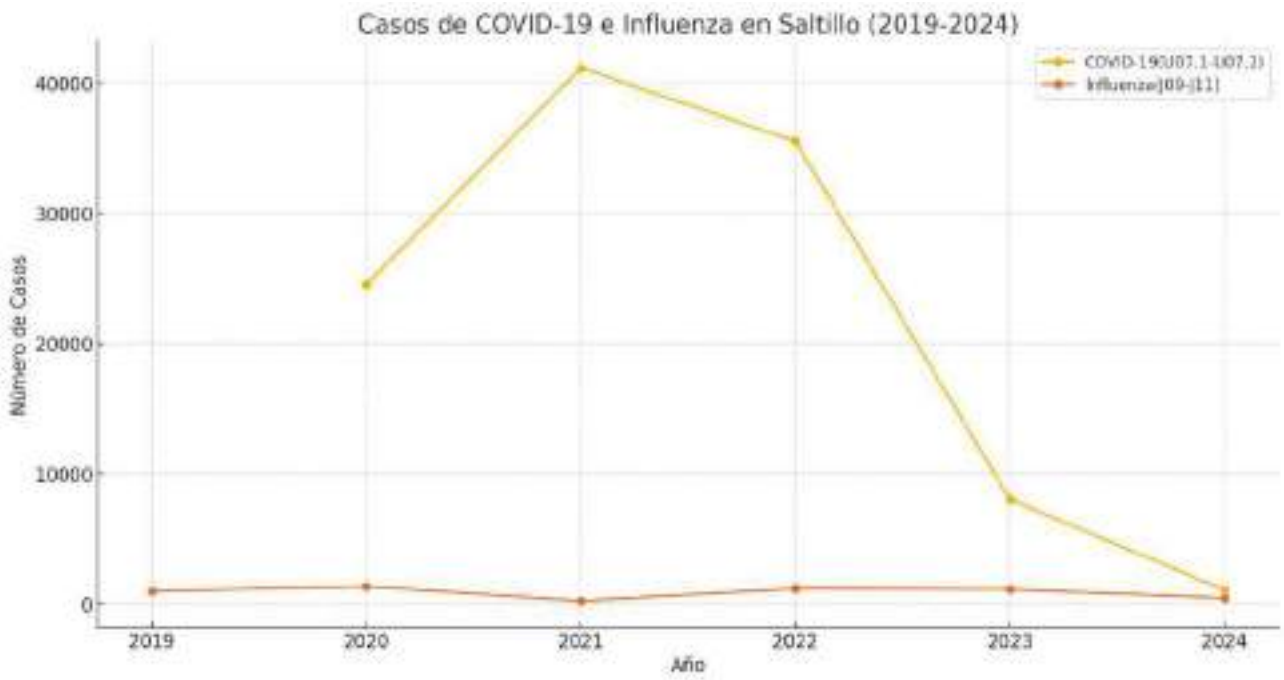
Fuente: elaboración propia con datos de la Dirección de Salud de Saltillo, 2019 – 2024.

La gráfica muestra las tendencias en los casos de Enfermedades Diarreicas Agudas (EDA) en Saltillo de 2019 a 2024, centrándose en varios padecimientos como cólera, amebiasis intestinal, absceso hepático amebiano, ascariasis y shigelosis.

La amebiasis intestinal es la enfermedad con el mayor número de casos, mostrando una notable disminución desde 2019 hasta 2020, seguida de un ligero aumento en 2021 y 2022, además de una disminución significativa en 2024. Los casos de cólera, así como otras enfermedades como absceso hepático amebiano, ascariasis y shigelosis presentan muy pocos casos a lo largo de los años, con algunos años sin registro de casos.

El análisis sugiere que las intervenciones para el control de las enfermedades diarreicas, como el tratamiento del agua y la mejora de las condiciones sanitarias, podrían haber contribuido a la reducción en la incidencia de estos padecimientos, especialmente en el caso de la amebiasis intestinal. Sin embargo, las variaciones anuales en los casos también destacan la necesidad de continuar con medidas preventivas constantes, al igual que eficaces para evitar posibles repuntes, especialmente en las enfermedades que muestran una tendencia a fluctuar a lo largo del tiempo.

Grafica 5. Casos de COVID – 19 e Influenza en Saltillo (2019 – 2024)



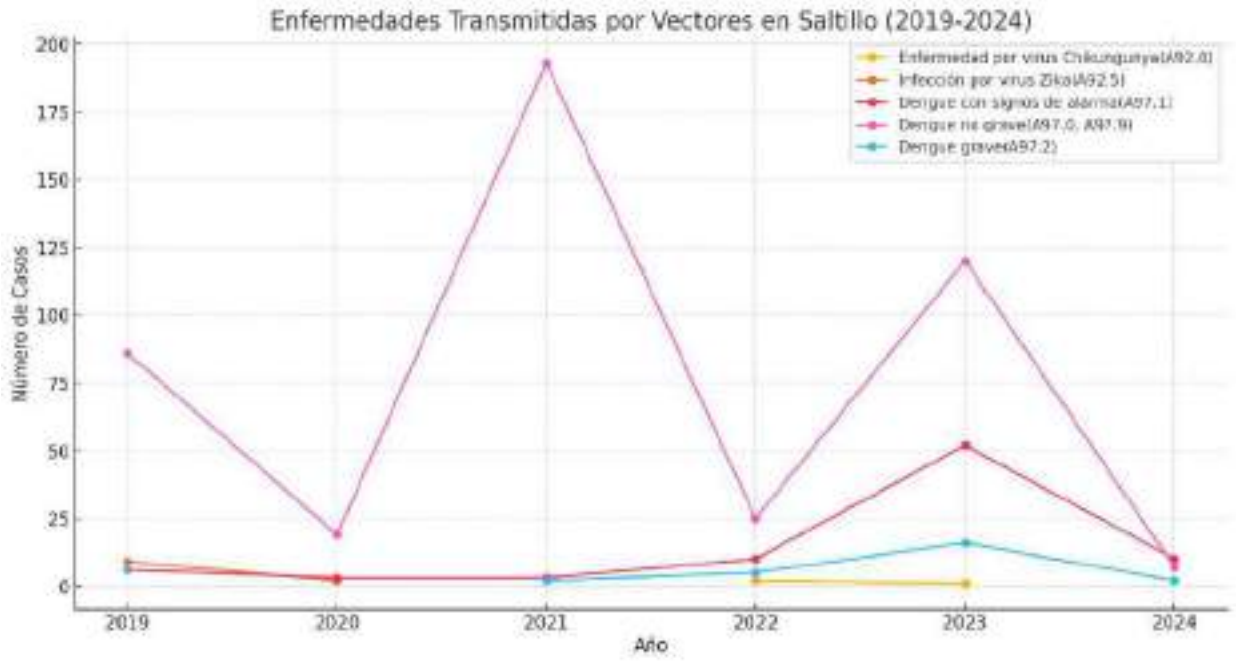
Fuente: elaboración propia con datos de la Dirección de Salud de Saltillo, 2019 – 2024.

Como se observa en la gráfica anterior, los casos de COVID-19 muestran un aumento significativo a partir de 2020, alcanzando su punto más alto en 2021 con más de 40 mil casos. A partir de ahí, los casos disminuyen gradualmente hasta 2024, reflejando el control progresivo de la pandemia mediante medidas de salud pública y vacunación.

En cuanto a la influenza, los casos se mantienen relativamente bajos y estables durante todo el período, con un leve aumento en 2020, posiblemente relacionado con la atención hacia enfermedades respiratorias durante la pandemia de COVID-19. A lo largo de los años, los casos disminuyen ligeramente, manteniéndose en niveles bajos comparados con COVID-19.

Estos resultados subrayan la importancia de continuar con la vigilancia epidemiológica, además delas estrategias de salud pública para mantener bajo control tanto el COVID-19 como otras infecciones respiratorias como la influenza.

Grafica 6. Casos de Enfermedades Transmitidas por Vectores en Saltillo (2019 – 2024)



Fuente: elaboración propia con datos de la Dirección de Salud de Saltillo, 2019 – 2024.

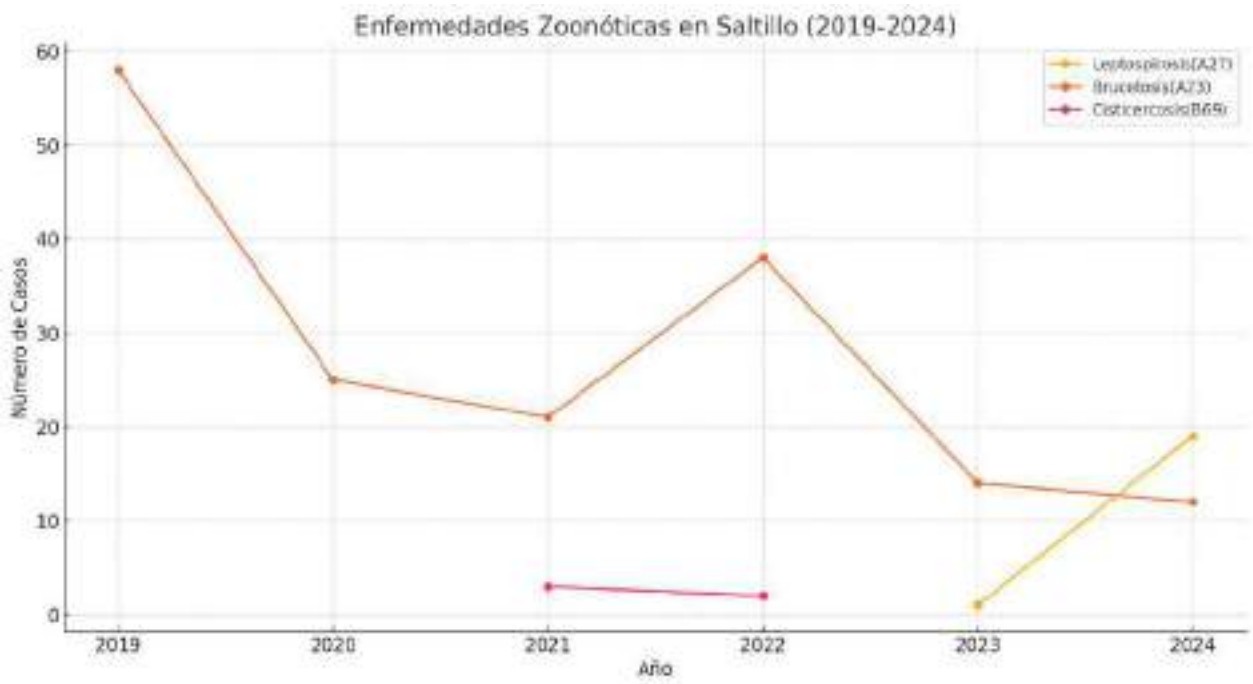
La gráfica muestra las tendencias de las enfermedades transmitidas por vectores en Saltillo desde 2019 hasta 2024, incluyendo enfermedades como chikungunya, Virus del Zika, dengue con signos de alarma, dengue no grave y dengue grave.

El dengue no grave muestra fluctuaciones significativas a lo largo de los años, con un pico notable en 2022, seguido de una fuerte disminución en 2024. Esto sugiere que hubo un brote que posteriormente fue controlado o disminuyó.

El dengue con signos de alarma presenta una tendencia similar al no grave, con un aumento de casos a partir de 2022, alcanzando su máximo en 2023 y luego disminuyendo, mientras que el dengue grave muestra un aumento gradual en los casos a partir de 2021, con un pico en 2023, lo cual podría indicar un empeoramiento de las condiciones entre los pacientes con dengue o una mayor tasa de transmisión. El Chikungunya y virus del Zika mantienen un número de casos bajo, además de estable a lo largo de los años, lo que indica medidas de control efectivas o menores tasas de transmisión.

Los datos sugieren que el dengue, en particular el no grave y con signos de alarma, siguen siendo un desafío importante de salud pública en Saltillo, con brotes periódicos que fluctúan en gravedad. El aumento de casos de 2021 a 2023 para estas enfermedades resalta la necesidad de continuar con el control de vectores, la educación en salud pública y, posiblemente, una vigilancia mejorada para prevenir futuros brotes. Tanto el chikungunya, como Zika parecen estar bien controlados, pero es necesario un monitoreo continuo para evitar posibles aumentos.

Grafica 7. Casos de Enfermedades Zoonóticas en Saltillo (2019 – 2024)



Fuente: elaboración propia con datos de la Dirección de Salud de Saltillo, 2019 – 2024.

La gráfica muestra las tendencias en los casos de enfermedades zoonóticas en Saltillo desde 2019 hasta 2024, incluyendo leptospirosis, brucelosis y cisticercosis.

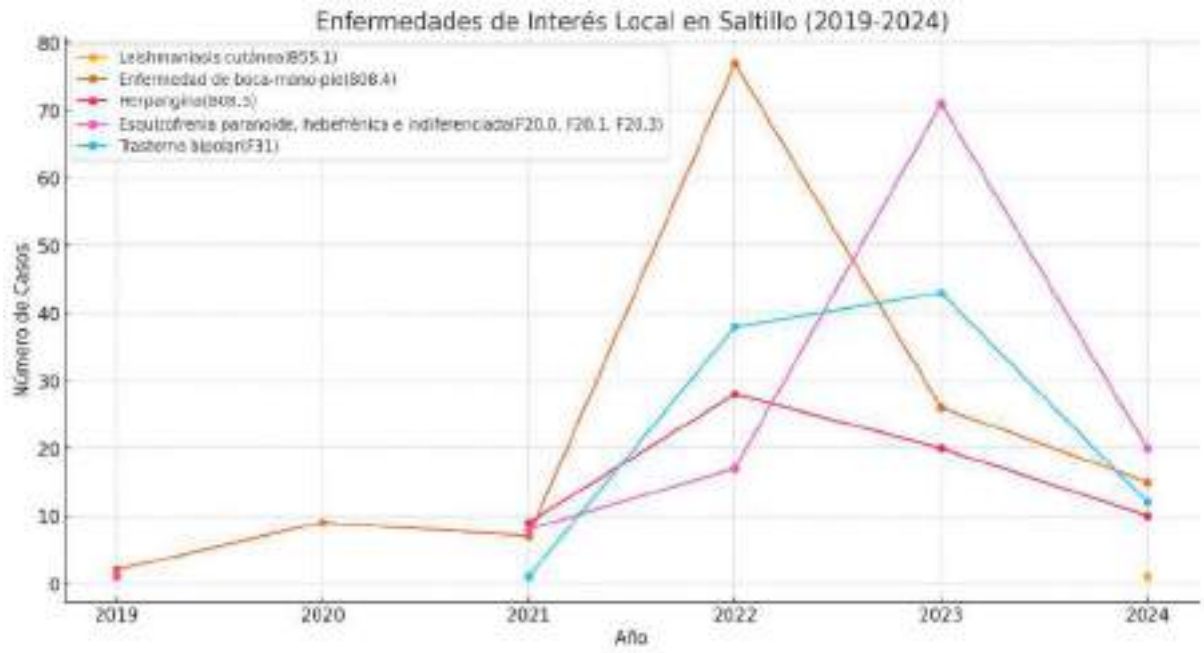
Los casos de leptospirosis muestran un aumento notable en 2024, después de mantenerse en niveles bajos en años anteriores. Esto indica un posible brote o aumento en los factores de riesgo asociados a esta enfermedad.

La brucelosis presenta un comportamiento fluctuante con un descenso significativo desde 2019, un aumento en 2022 y una nueva disminución en 2023, al igual que en 2024. Esta variabilidad podría estar relacionada con cambios en las prácticas de control, así como prevención.

Los casos de cisticercosis permanecen en niveles muy bajos y relativamente estables a lo largo del período, lo que sugiere un control efectivo o baja incidencia de esta enfermedad.

Las enfermedades zoonóticas en Saltillo presentan patrones diversos, con brucelosis siendo la más variable y leptospirosis mostrando un aumento reciente. Esto subraya la importancia de mantener una vigilancia constante, así como reforzar las medidas de prevención, especialmente en las áreas donde las enfermedades zoonóticas pueden resurgir. Es crucial seguir promoviendo tanto prácticas de seguridad alimentaria, como el manejo adecuado de animales para minimizar los riesgos de transmisión.

Grafica 8. Casos de Enfermedades de Interés Local en Saltillo (2019 – 2024)



Fuente: elaboración propia con datos de la Dirección de Salud de Saltillo, 2019 – 2024.

Las enfermedades de interés local en Saltillo son aquellas que tienen una relevancia particular para la región debido a factores ambientales, sociales o económicos. Estas enfermedades corresponden a:

- Brucelosis

  Descripción: es una enfermedad bacteriana que se transmite principalmente a los humanos a través del consumo de productos lácteos no pasteurizados, contacto directo con animales infectados o inhalación de aerosoles.

  Impacto: puede causar síntomas como fiebre, sudoración, debilidad, dolor en las articulaciones, además de fatiga. Es una enfermedad que puede volverse crónica y difícil de tratar sin un diagnóstico adecuado.

- Leptospirosis

  Descripción: enfermedad bacteriana causada por la bacteria Leptospira. Se transmite a través de la orina de animales infectados, y el contacto con agua o suelo contaminado.

  Impacto: los síntomas pueden variar desde fiebre leve, dolor de cabeza, dolores musculares, hasta enfermedad severa con daño hepático o renal. Es común en áreas con climas cálidos y húmedos, especialmente después de lluvias intensas.

- Cisticercosis

  Descripción: es causada por la infección con larvas del parásito Taenia solium (tenia del cerdo). Se adquiere al consumir alimentos o agua contaminados con huevos del parásito.

  Impacto: puede afectar varios tejidos del cuerpo, incluyendo el cerebro, donde causa neurocisticercosis, una condición grave que puede llevar a convulsiones y otros problemas neurológicos.

6.1.7 Fenómenos socio - organizativos

Los fenómenos socio-organizativos forman parte de los fenómenos de origen antropogénico, es decir, que derivan o son producidos por la actividad humana.

De acuerdo con la Ley General de Protección Civil (LGPC) en su texto vigente, los fenómenos socio -organizativos son agentes perturbadores que se generan con motivo de errores humanos o por acciones humanas premeditadas, que se dan en el marco de grandes concentraciones o movimientos masivos de población, tales como: demostraciones de inconformidad social, concentración masiva de población, terrorismo, sabotaje, vandalismo, accidentes aéreos, marítimos o terrestres, e interrupción o afectación de los servicios básicos o de infraestructura estratégica.

Las manifestaciones de los fenómenos socio - organizativos se clasifican en los siguientes aspectos:

- Concentraciones masivas de población y demostraciones de inconformidad social
- Terrorismo, sabotaje (acciones intencionadas)

- Vandalismo (acciones intencionadas)
- Accidentes aéreos, marítimos o terrestres
- Interrupción o afectación del os servicios básicos o de infraestructura estratégica

Metodología

La metodología empleada para el análisis de los fenómenos socio organizativos, corresponde a la establecida en la Guía de Contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos, específicamente en lo indicado en la fracción VI.

Cabe resaltar, que los análisis que se presentan, se abordan y desarrollan a partir de la información disponible que se obtuvo a partir de fuentes oficiales como de datos proporcionados por diversas áreas del municipio.

Memoria de cálculo

El análisis se desarrolla a partir de los datos proporcionados por la Dirección de Protección civil de Saltillo, sobre los diferentes fenómenos a analizar, así como de datos obtenidos de fuentes oficiales, así como de recorridos y visitas de campo.

6.1.8 Concentraciones masivas de población

Introducción / Antecedentes

Estos eventos son los más representativos entre los fenómenos socio - organizativos. Las ciudades con mayor densidad de población son las que están más expuestas a este tipo de fenómenos; sin embargo, pueden ocurrir en sitios con bajo número de habitantes cuando en determinados eventos se congrega una cantidad de personas fuera de lo habitual.

Las características de estos eventos se asociaron con diversos motivos o actividades dentro de las que se pueden mencionar:

- Religiosas
- Deportivas
- Culturales
- Tradicionales
- Oficiales
- Turísticas
- Entretenimiento

Es importante mencionar, que en el contexto del riesgo de desastres, la concentración masiva de población no es por sí misma un accidente o un desastre de facto, sino que para que ocurra deben interactuar otros elementos como: desconocimiento o incumplimiento de las medidas de seguridad, así como autoprotección, imprudencia, el desorden y la falta de preparación. Por tal razón, cada evento deberá ser analizado previamente para evaluar el riesgo, además de las medias preventivas.

Para ello se debe considerar, entre otros aspectos, si el evento se realiza en un espacio abierto o cerrado, el tipo de público al que va dirigido, el horario en el que se desarrolló y la duración de este, así como de manera relevante los aforos posibles.

Resultados

El análisis del peligro por la congregación de personas en espacios específicos, se presenta especialmente en eventos masivos o lugares de alta afluencia. A partir de los datos de la Tabla 117 proporcionados por la Dirección de Protección Civil de Saltillo, se identifican varios sitios con diferentes capacidades de aforo, lo cual presenta diversos niveles de peligro socio - organizativo por concentraciones masivas de población dependiendo de la actividad, las medidas de seguridad implementadas y la respuesta ante emergencias.

Tabla 117. Sitios que congregan concentraciones masivas de población.

	Nombre	Domicilio	Aforo
1	Lienzo charro Enrique González Treviño	Nazario Ortiz Garza s/n, Rancho de Peña, 25210 Saltillo, Coah.	5,000
2	Terrenos de la Expo feria Saltillo	Calle Blvd. Centenario de Torreón, El Toreo, 25016 Saltillo, Coah.	30,000
3	Teatro de la ciudad Fernando Soler	Calle Xicoténcatl & Boulevard General Francisco Coss, Zona Centro, 25265 Saltillo, Coah.	1,120
4	Auditorio Maravillas	Blvd. Carlos Abedrop Dávila 3745, Parque Centro Metropolitano, 25022 Saltillo, Coah.	5,700
5	Arena 8 segundos	Real del Sol III, 25294 Saltillo, Coah.	5,750
6	CANACINTRA	Blvd. Vito Alessio Robles 2888, Nazario S Ortiz Garza, 25100 Saltillo, Coah.	4,900

	Nombre	Domicilio	Aforo
7	Paraninfo del Ateneo Fuente	Blvd. Venustiano Carranza y avenida Universidad, 25280, colonia República	724
8	Plaza de toros Fermín Espinoza Armillita	Boulevard Doctor Jesús Valdez Sánchez, Toreo, 25298 Saltillo, Coah.	5,175
9	Hacienda El mimbre	Blvd. Emilio Arizpe de la Maza 1899, Rancho el Mimbre, 25080 Saltillo, Coah.	10,000
10	Centro de convenciones el sarape CTM	Libertad, Lourdes, 25060 Saltillo, Coah.	1,800
11	Gimnasio colegio Ignacio Zaragoza	La Salle 552, La Salle, 25240 Saltillo, Coah.	1,750
12	Unidad deportiva de la U. A. de C.	Boulevard Nazario S. Ortiz Garza, 25225 Saltillo, Coah.	8,750
13	Salón El teniente	Perif. Luis Echeverría SN-S, Sin Nombre de Col 4, 25057 Saltillo, Coah.	1,800
14	Estadio de béisbol Francsico I. Madero	Blvd. Jesús Valdez Sánchez 1-Int. B, Topochico, 25284 Saltillo, Coah.	14,000

Fuente: Dirección de Protección Civil y Bomberos de Saltillo, 2024.

Mediante la capacidad de aforo de cada lugar y los riesgos asociados a la concentración de personas en espacios específicos, se determinaron diferentes categorias de peligro por concentraciones masivas de población. Los criterios utilizados son los siguientes:

1. Grandes aforos y puntos críticos

- **Capacidad:** se consideraron sitios con capacidades de aforo de 10 mil personas o más como puntos críticos debido al gran número de asistentes potenciales.
- **Peligros asociados:** los eventos en estos lugares suelen implicar problemas significativos, como dificultades de evacuación, manejo de multitudes, posibles estampidas, y dificultades para controlar el acceso. Estos riesgos aumentan con el tamaño de la multitud, por lo que cualquier problema menor puede escalar rápidamente a un incidente grave.

2. Peligros en espacios de aforo medio:

- **Capacidad:** sitios con capacidades entre aproximadamente 5 mil y 10 mil personas se consideraron de aforo medio.
- **Peligros asociados:** estos espacios siguen siendo significativos en términos de gestión de multitudes que requieren una planificación adecuada para manejar el flujo de personas y responder a emergencias, aunque los desafíos son más manejables comparados con lugares de aforo mayor.

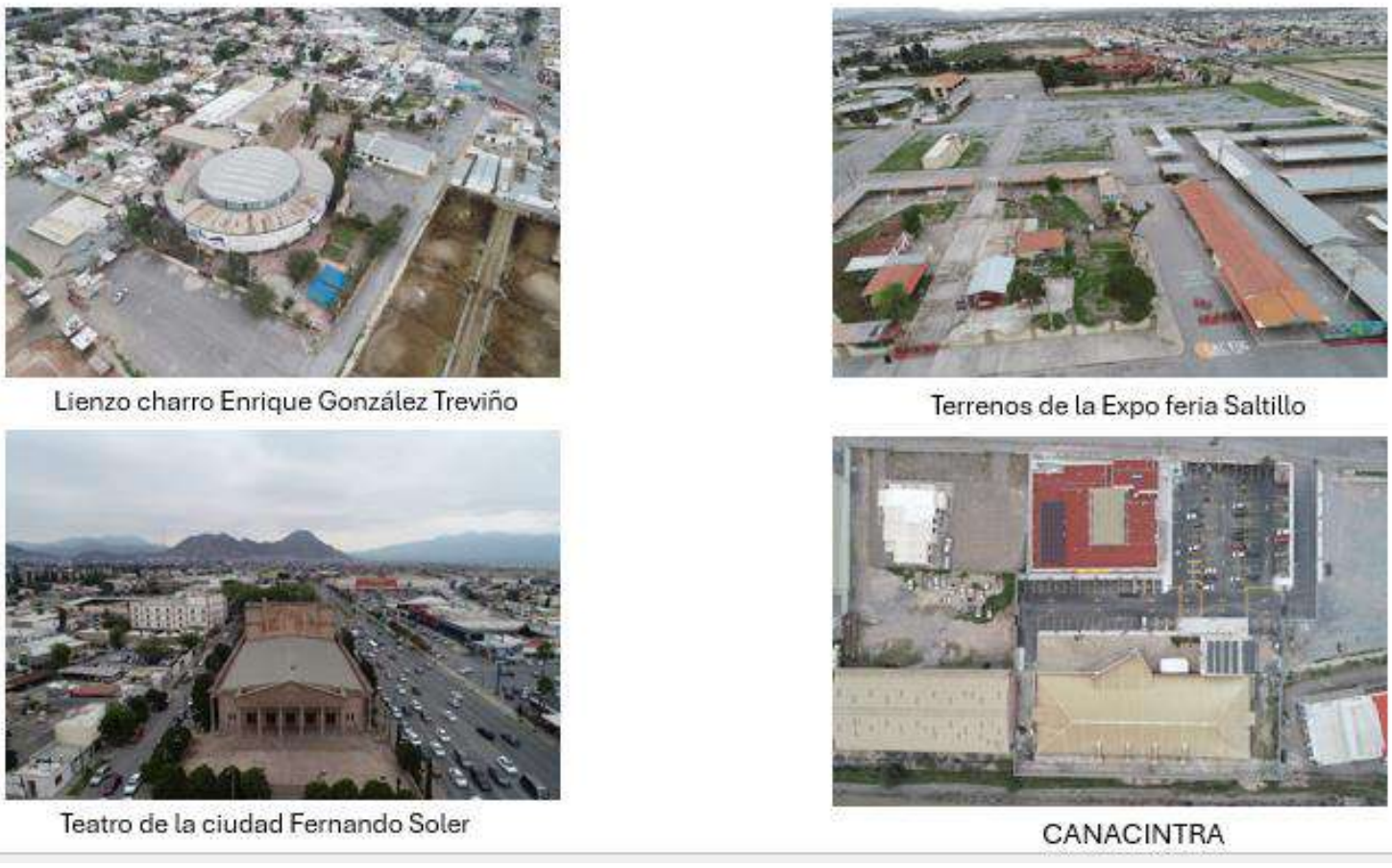
3. Peligros en espacios de aforo menor

- **Capacidad:** sitios con capacidad inferior a 5 mil personas, pero generalmente superiores a mil, fueron categorizados como de aforo menor.
- **Peligros asociados:** aunque los problemas de manejo de multitudes son menores, la evacuación y la seguridad siguen siendo cruciales, especialmente en espacios cerrados o con acceso limitado. En emergencias, como incendios o fallas estructurales, la rapidez en la respuesta, así como la disponibilidad de rutas de escape son fundamentales.

Criterios considerados

- **Aforo:** el número de personas que un lugar puede albergar es un indicador clave del nivel de riesgo potencial; a mayor aforo, mayor es la complejidad de manejar situaciones de emergencia.
- **Tipo de evento:** la naturaleza del evento (conciertos, eventos deportivos, ferias, etc.) también puede influir en los riesgos, aunque este análisis se centró principalmente en la capacidad de los lugares.
- **Características físicas y ubicación:** factores como la accesibilidad, las salidas de emergencia, además de la infraestructura también son cruciales, pero no se especificaron en la tabla proporcionada; estos aspectos complementan el enfoque basado en aforo.

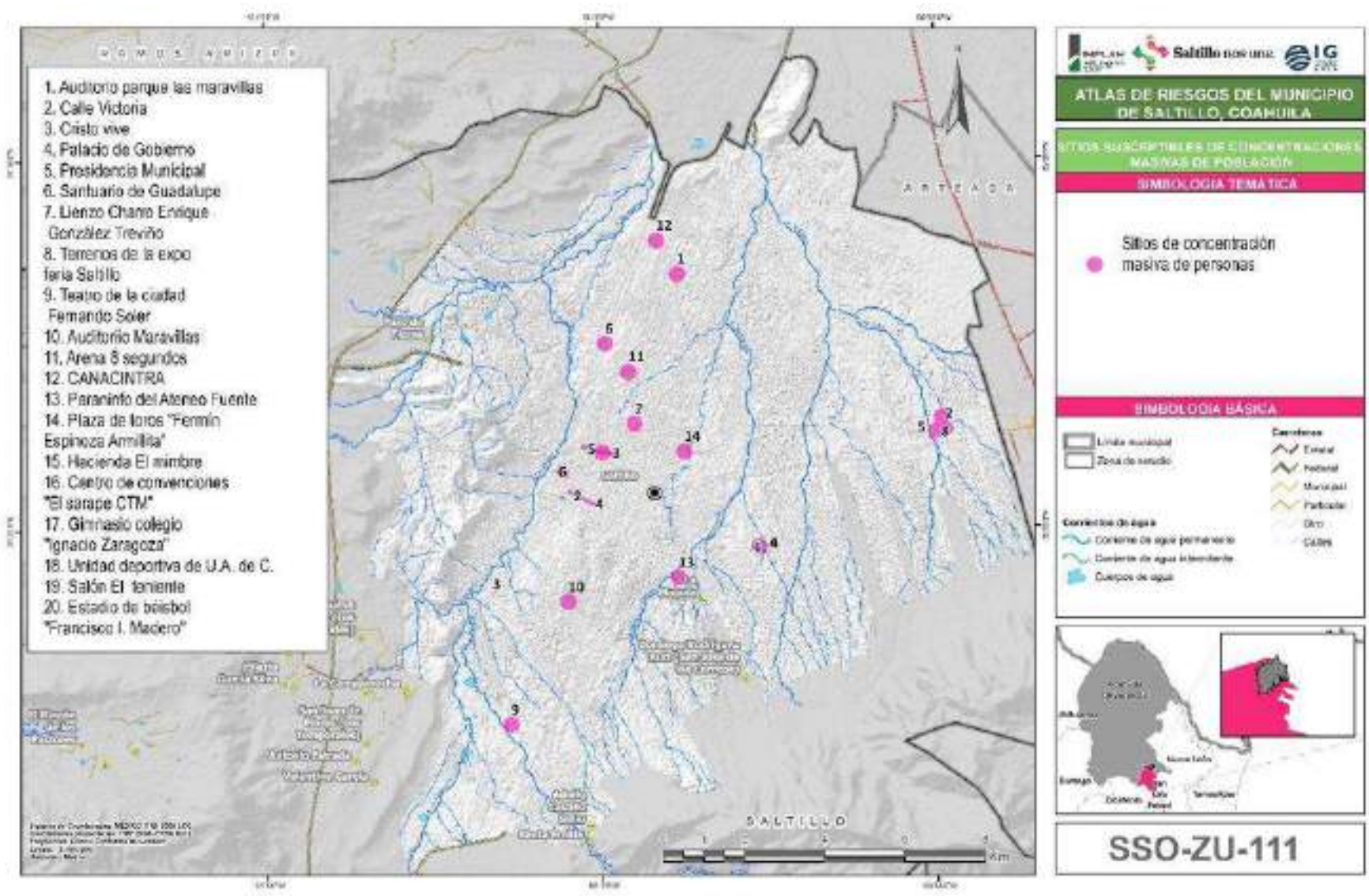
Figura 120. Algunos sitios de concentraciones masivas de población en Saltillo



Fuente: trabajo de campo, 2023.

En el Mapa 119 se observa la ubicación de los sitios identificados en la Tabla 117, mismos que presentan susceptibilidad de peligro por concentraciones masivas de población.

Mapa 119. Mapa de sitios de concentración masiva de población



Fuente: elaboración propia con datos de la Dirección de Protección Civil y Bomberos de Saltillo, 2024.

6.1.9 Accidentes terrestres, aéreos y marítimos

Introducción / Antecedentes

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) define los accidentes de transporte como aquellos sucesos que ocurren durante el uso de una aeronave, barco o vehículo terrestre, y que resultan en lesiones graves o la muerte de una o más personas. Estos accidentes pueden involucrar tanto a personas que se encuentren a bordo de dichos medios de transporte, como a quienes entren en contacto con sus partes o contenido.

Por el ámbito en el que ocurren los accidentes de transporte se clasifican en: aéreo, carretero, por agua, ferroviario y multimodal.

Dentro de estos tipos de accidentes, los de tipo carretero son los que representan el mayor porcentaje de ocurrencia dentro de los fenómenos de tipo socio - organizativo.

De acuerdo con las Estadísticas de Transporte de América del Norte (ETAN) el 99.1% de los decesos relacionados con los accidentes de transporte son de tipo carretero, provocados principalmente por vehículos de pasajeros y camionetas.

En México, las lesiones causadas por accidentes de tránsito siguen encontrándose entre las 10 principales causas de muerte. De acuerdo con el INEGI, en Saltillo durante los últimos años (2020-2022) los accidentes automovilísticos en la ciudad se mantuvieron rondando los 817 casos al año.

En la última década, el 2014 tiene el registro más grande de accidentes viales en la capital con más de 2 mil y en el histórico de esta capital a partir del 2001 con 6 mil 599 accidentes de este tipo.

De acuerdo con estadísticas de la Comisaría de Seguridad Pública y Protección Ciudadana, en 2023 se registraron 796 accidentes de tránsito; mientras que en 2022 se registraron 764.

Según información del área de Tránsito Municipal de Saltillo, diariamente se registran al menos 30 accidentes viales, la mayoría son percances menores que se solucionan con un convenio entre los conductores, muchos de estos son turnados al ministerio público para que se le dé el seguimiento pertinente.

Estos percances tienen lugar principalmente en las vialidades con mayor tránsito vehicular como lo son Nazario Ortiz Garza, Arizpe de la Maza, Periféricos Luis Echeverría y el bulevar Venustiano Carranza. La principal causa el exceso de velocidad, así como la falta de atención de los conductores en atender las indicaciones de tránsito.

Accidentes terrestres

Resultados

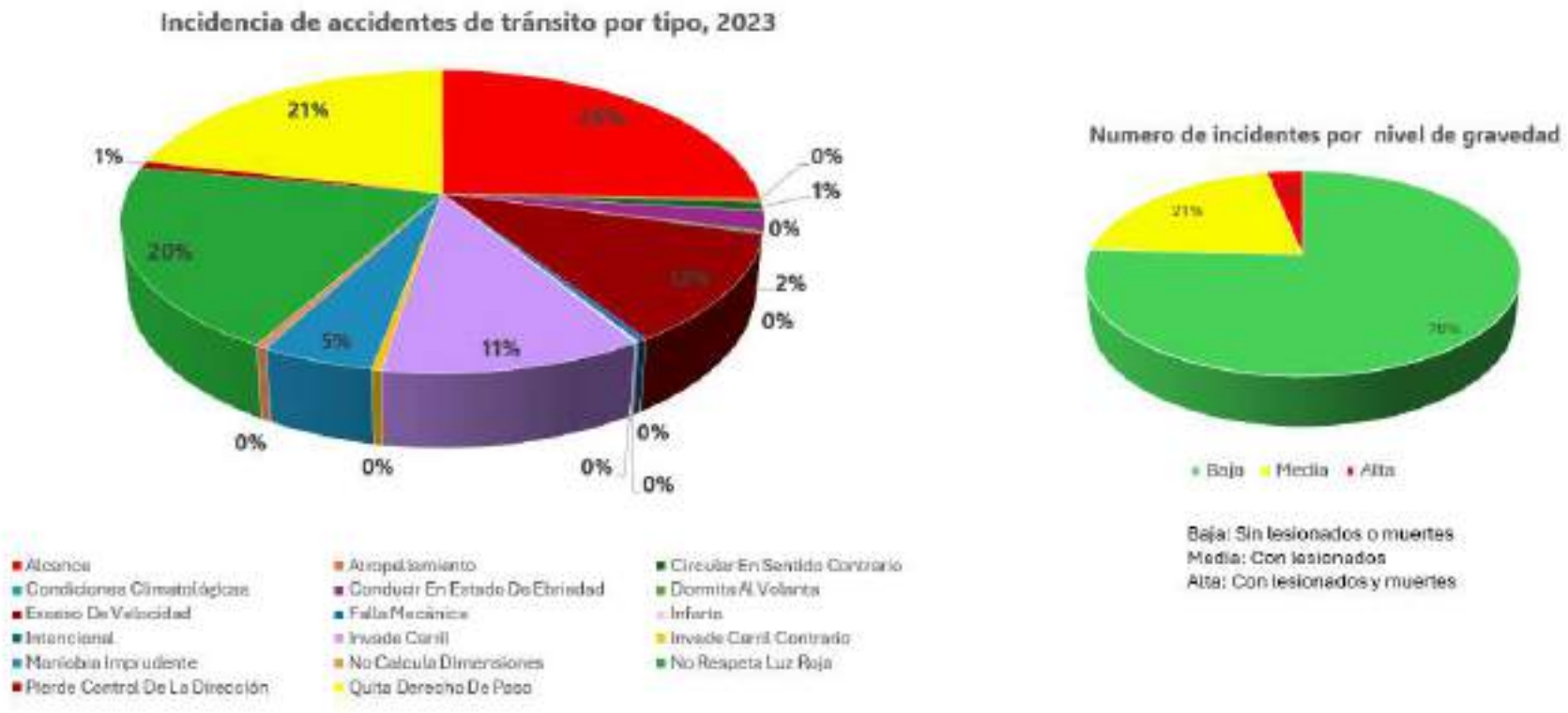
A partir de la base de datos de accidentes de tránsito registrados en el municipio de Saltillo, proporcionada por la Dirección de Seguridad Pública, se obtuvo que la causa más recurrente de accidentes de tránsito corresponde a los accidentes por “alcance” representando un 26% del total de los eventos ocurridos en el año 2023.

En segundo lugar, se encuentran los accidentes de tránsito ocasionados por conductores que no respetan la luz roja, con un 20% del total; otra causa relevante corresponde a aquellos accidentes producidos por conducir a exceso de velocidad representando el 12%, así como el 11% por invadir carril (Figura 121).

De las cifras anteriores, las autoridades competentes clasifican los accidentes por su gravedad, siendo aquellos de gravedad baja donde no hubo lesionados, de gravedad media donde se presentaron lesiones en los pasajeros y de gravedad alta en aquellos accidentes donde hubo lesionados e incluso fallecimientos.

En este sentido, para el año 2023, solo el 3% de los accidentes fueron catalogados como de gravedad alta.

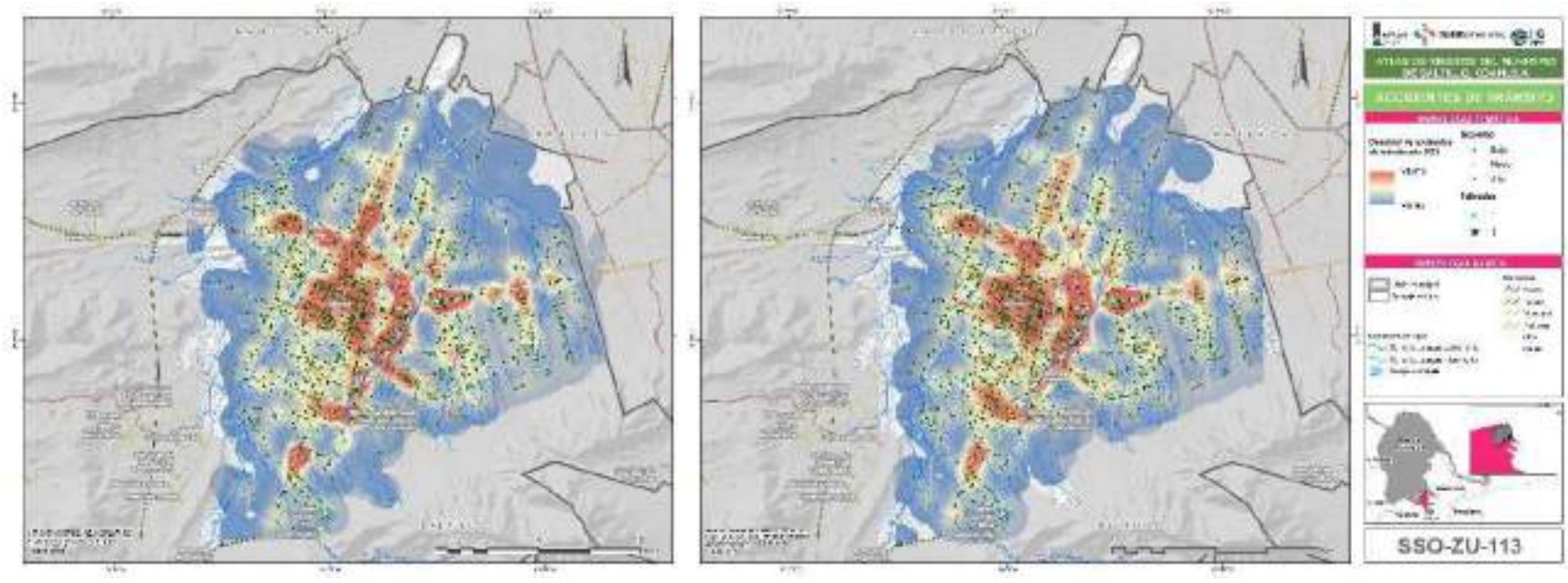
Figura 121. Estadísticas de incidencia de accidentes de tránsito



Fuente: Dirección de Seguridad Pública, Saltillo.

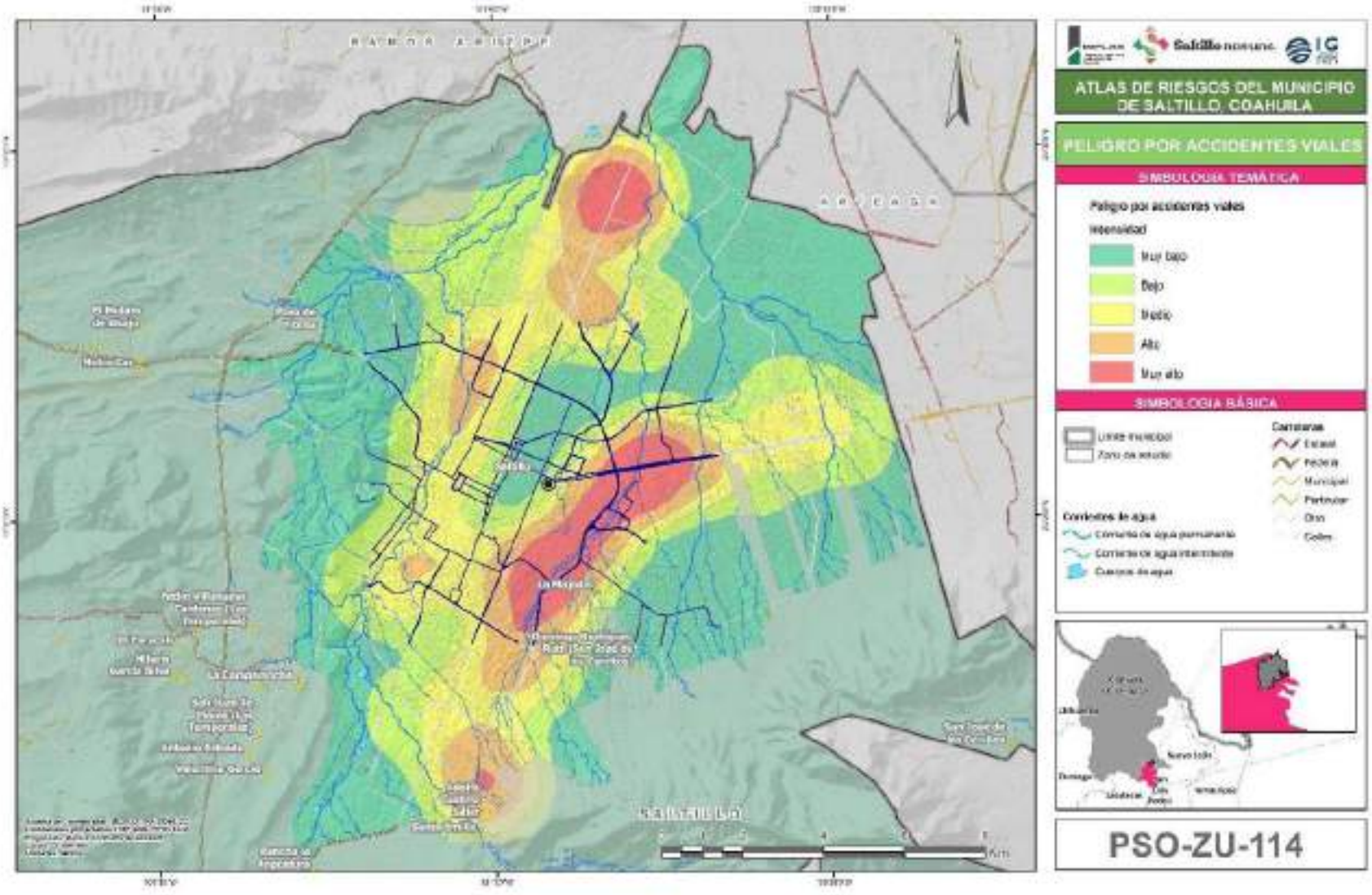
A partir de la base de datos de accidentes antes mencionada, se realizaron los mapas de calor, los cuales representan el grado o densidad de accidentes en los diferentes sitios de la ciudad. Como se observa en la Figura 122, la concentración de accidentes muestra un patrón en los dos años analizados, donde el centro de la cuidad concentra el mayor número de accidentes de tránsito. En este sentido en el Mapa 120, las zonas con coloraciones naranjas a rojas representan las zonas de mayor peligro ante accidentes de tránsito.

Figura 122. Densidad de accidentes de tránsito 2022 y 2023



Fuente: elaboración propia con datos de la Dirección de Seguridad Pública, Saltillo, 2024.

Mapa 120. Mapa de peligro por accidentes viales



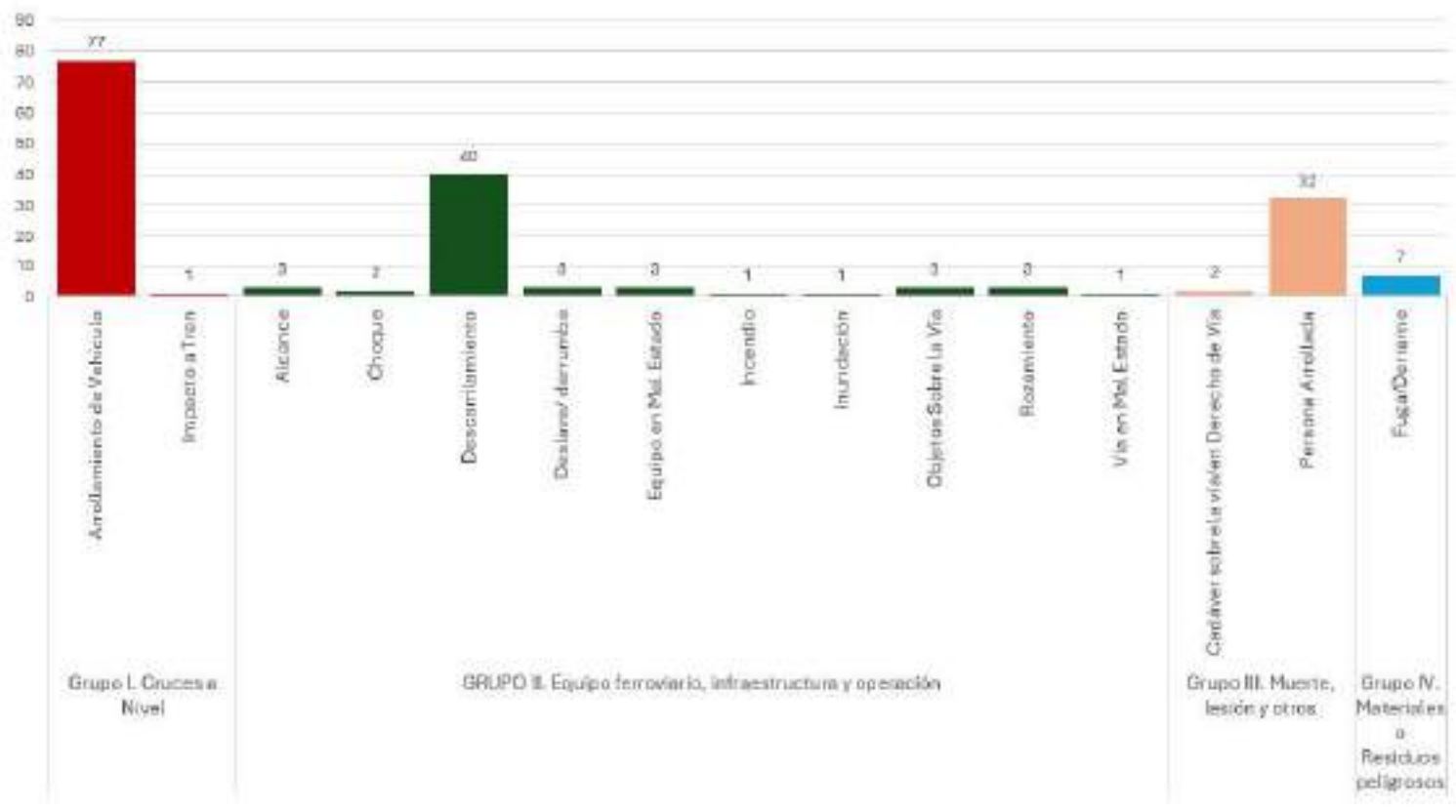
Fuente: elaboración propia con datos de la Dirección de Seguridad Pública, Saltillo, 2024.

Accidentes ferroviarios

De acuerdo con los datos de la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario, entre el 2016 y hasta el mes de marzo del 2024, el principal tipo de accidentes ferroviarios corresponde a arrollamiento de vehículos con 77 casos en el periodo mencionado, seguido de descarrilamientos con 48 casos y con 32 casos de personas arrolladas (Figura 123).

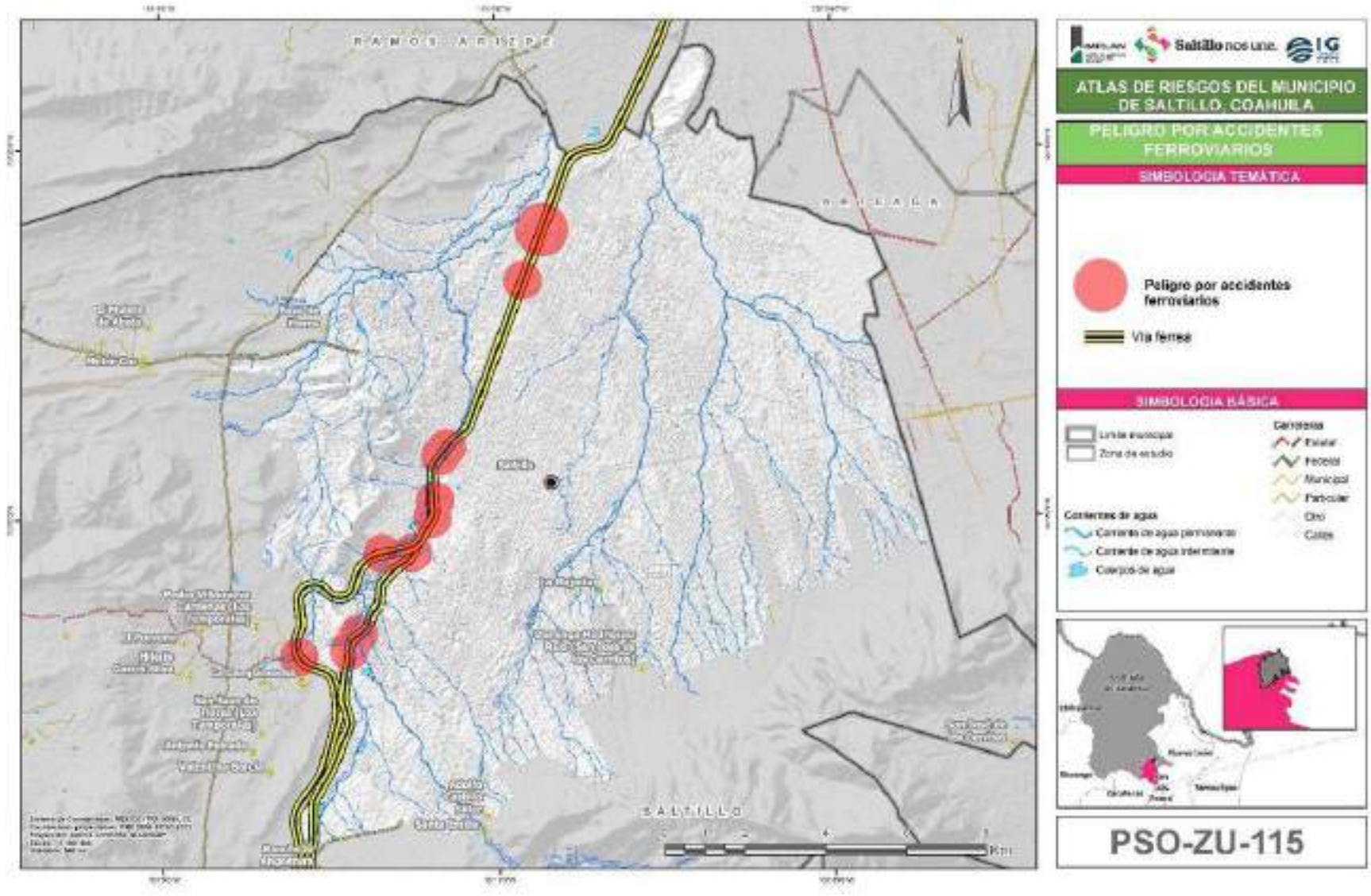
Mediante un análisis y compendio de información obtenida de diversas fuentes hemerográficas, así como de los reportes de la SCT, se mapearon los sitios donde existe mayor recurrencia de accidentes con el ferrocarril en la ciudad de Saltillo, estos puntos coinciden con cruces a nivel con algunas vialidades de la zona urbana y se presentan en el Mapa 121; estos sitios representan las áreas de peligro ante este tipo de eventos.

Figura 123. Siniestros Ferroviarios Saltillo 2016 - 2024



Fuente: Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario.

Mapa 121. Peligro por accidentes ferroviarios.



Fuente: elaboración propia.

6.1.10 Demostraciones de inconformidad social

Introducción / Antecedentes

Este fenómeno se refiere al disentimiento de un grupo de personas a lo establecido en el orden político, social, económico, moral, etcétera. Al igual que en el caso de las concentraciones masivas de población este fenómeno per se no es un peligro, solamente si sale de control y afecta a personas o bienes.

Resultados

Para la Identificación de este fenómeno, se recolectó información y se elaboró una base de datos sobre los eventos ocurridos (manifestaciones) en el periodo 2014 - 2024 incluyendo fecha, lugar o tramo carretero donde se ha presentado las manifestaciones de inconformidad social en Saltilo, así como sus causas y consecuencias (decesos, población e inmuebles afectados, daños o pérdidas económicas, etcétera.).

A esta base de datos se le denominará catálogo de eventos, y la cual posteriormente se procesó en el sistema de información geográfica para generar el mapa de sitios donde se han presentado manifestaciones de inconformidad social (Tabla 118).

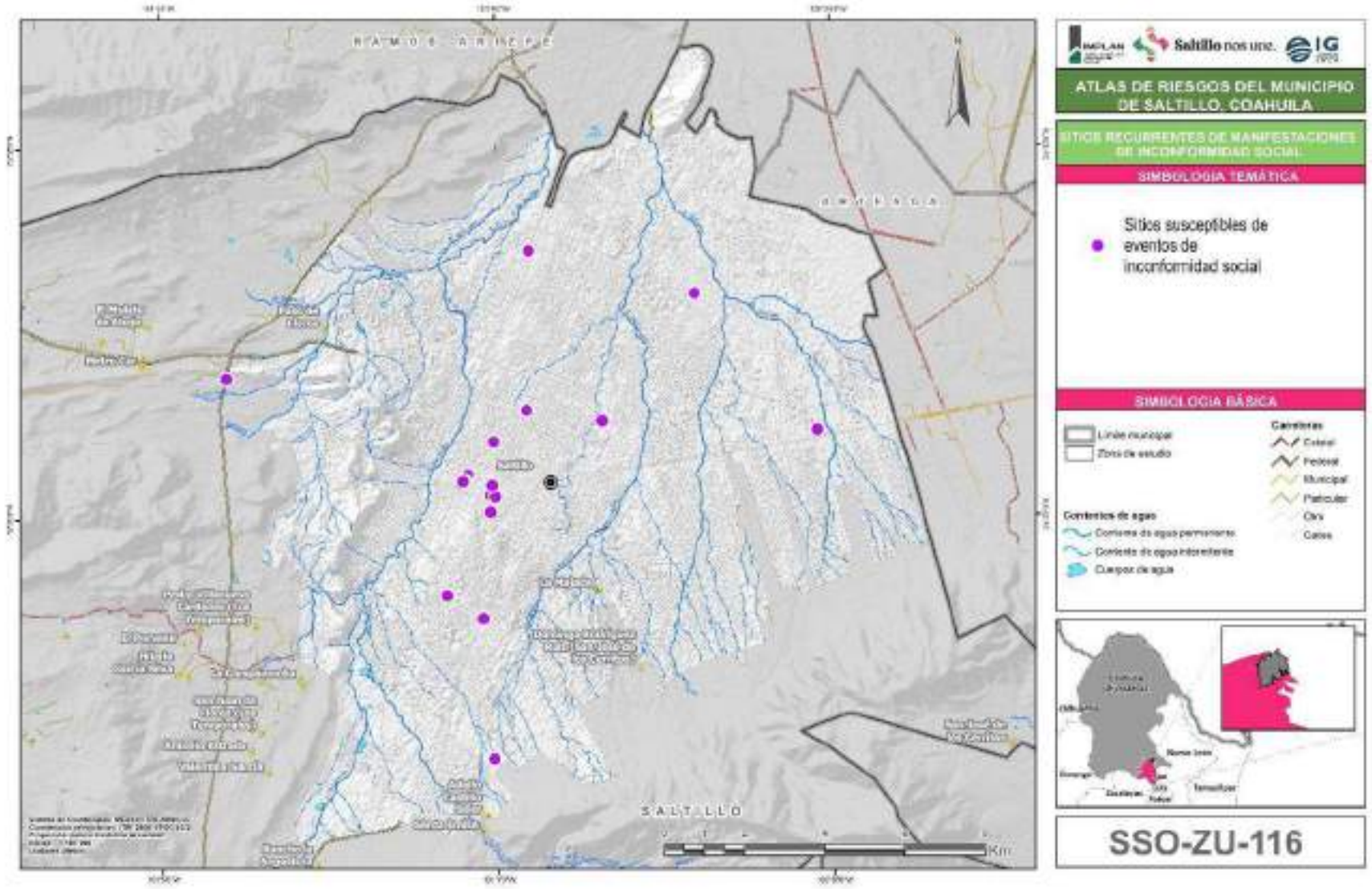
Tabla 118. Catálogo de manifestaciones de inconformidad social

Fecha	Ubicación	Evento	Causas	Consecuencias	Fuente
17-05-24	Bulevar Venustiano Carranza, a la altura del Instituto Tecnológico de Saltillo	Protestas por homicidio de dos jóvenes	Asesinato de dos jóvenes coahuilenses quienes perdieron la vida en 2023 a causa de un presunto abuso policial.	una de las vialidades más importantes de Saltillo fue bloqueada paralizando un sector de la ciudad	unomásuno
20-09-23	Bulevar Venustiano Carranza, frente a las instalaciones del Instituto Tecnológico de Saltillo.	Huelga protagonizada por alumnos, docentes, padres de familia, exalumnos y la sociedad civil en el Tecnológico de Saltillo	Aparentes injusticias cometidas por la directora de la institución	una de las principales arterias de la ciudad lleva paralizada por 2 días	Nueva Era coahuila

Fecha	Ubicación	Evento	Causas	Consecuencias	Fuente
13-06-22	Periférico Luis Echeverría Álvarez y calle Reforma	Desatan migrantes caos vial con bloqueo en Saltillo	Migrantes denuncian que no se les permite abordar los autobuses de las diferentes líneas, pese a contar con los pasajes comprados con anterioridad y llevar consigo papelería emitida por el Instituto Nacional de Migración (INM) para su libre tránsito por el territorio nacional.	caos vial	INFONOR
13-06-22	Periférico Luis Echeverría Álvarez a la altura del Distribuidor Vial el Sarape	Desatan taxistas caos vial con bloqueo en Saltillo	La detención ilegal de un taxista, aseguran sus compañeros.	caos vial	INFONOR
18-03-22	Centro	Marcha feminista en la capital de Coahuila	Indignación por feminicidios y violencia de género	pintas y grafitis	Espacio4
12-11-21	cruce de las calles Benito Juárez y Miguel Hidalgo	Manifestación en Plaza de Armas de Saltillo Colectivos exigen su 'liberación'	La plaza rodeada por vallas metálicas que impiden el paso de los ciudadanos.	Se desconoce	El Siglo Torreón
03-08-20	Dirección de Servicios Primarios	Realizan paro trabajadores de recolección de basura en Saltillo	un trabajador de recolección de basura falleció, tras recibir una deficiente atención hospitalaria	suspensión del servicio de basura en Saltillo.	El Siglo de Torreón
30-04-19	Periférico Luis Echeverría Álvarez a la altura de la calle Ferrocarril	Vecinos de las colonias Lázaro Cárdenas y Bella Vista cerraron la vía	Falta de agua	Bloqueo del periférico Luis Echeverría	Milenio
19-02-19	Plaza Acuña-Plazan Zaragoza	Un grupo de mujeres, la mayoría estudiantes, profesionistas e integrantes de colectivos LGTBI, se congregaron en la Plaza Acuña de Saltillo, para sumarse a la protesta nacional	Violencia de género, y el alto índice de feminicidios registrados en el país.	Congestión vial	Milenio
19-02-19	Instalaciones del 69 Batallón de Infantería de la Secretaría de Defensa Nacional.	Habitantes de varios ejidos del municipio de General Cepeda, integrantes de la CTM y trabajadoras de las estancias infantiles se manifestarán en el evento del presidente Andrés Manuel López Obrador.	Intentan hacerle llegar las exigencias del sector que representaban.	Se desconoce	Vanguardia
07-01-17	Del Congreso hacia la Plaza de Armas	El grupo 'Ciudadanos Unidos de Saltillo' realizó una marcha	Gasolinazo y los incrementos a las tarifas eléctricas y al gas	Caos vial	Milenio
12-07-16	Caseta de peaje La Cuchilla de la autopista Saltillo-Torreón	Profesores y activistas realizaron ayer por primera vez protestas en carreteras	Solidarizarse con sus compañeros de la Coordinadora Nacional de Trabajadores de la Educación (CNTE). en repudio a la reforma educativa	Bloqueos en carreteras	La Jornada
12-11-15	Sagarpa en Saltillo	Productores del campo protestan en oficinas de Sagarpa	Retraso en la entrega de los apoyos de Procampo que no les ha pagado la Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa).	Se desconoce	Vanguardia
29-09-15	Sección 5 del SNTE en Saltillo	Maestros protestan en Saltillo	Exigen pago de aguinaldo y bono sexenal	toma simbólica del edificio de la Sección 5 del SNTE	Vanguardia
27-04-14	Televisa y después en la plaza de armas, frente al palacio de gobierno	Ciudadanos de Coahuila, Guanajuato y Chihuahua se manifestaron en plazas públicas	la iniciativa de ley de telecomunicaciones y radiodifusión	Se desconoce	La Jornada

Fuente: elaboración propia a partir de fuentes hemerográficas.

Mapa 122. Mapas de puntos recurrentes de manifestaciones de inconformidad social



Fuente: elaboración propia a partir de fuentes hemerográficas.

6.1.11 Interrupción y afectación de servicios básicos e infraestructura estratégica

Introducción / Antecedentes

La Ley Genral de Protección Civil en su artículo 2 fracción XXXI indica que la infraestructura estratégica es aquella que es indispensable para la provisión de bienes y servicios públicos, cuya destrucción o inhabilitación es una amenaza en contra de la seguridad nacional.

Los principales elementos de infraestructura que pueden causar esta amenazas al ser afectados corresponden a: infraestructura hidráulica, por ende falta de agua; infraestructura eléctrica, falta de energía, interrupción en los medios de transporte e incluso en la infraestructura y sistemas de distribución de combustibles.

La suspensión o disminución de este tipo de servicios puede ser consecuencia de fenómenos de origen natural, como la falta de energía eléctrica a causa de sismos o de origen antropogénico como la interrupción del servicio de agua por mantenimiento del sistema.

Así mismo, la falla en el servicio de agua potable o la falla de la energía eléctrica o en el funcionamiento adecuado del transporte pueden ocasionar fenómenos socio - organizativos como concentraciones masivas de población producto de manifestaciones de inconformidad, además de problemas de tipo sanitario.

Resultados

El municipio de Saltillo, como una de las principales ciudades del estado de Coahuila, cuenta con una amplia infraestructura de servicios básicos que son fundamentales tanto para la calidad de vida de sus habitantes como para la capacidad del municipio de enfrentar, además de gestionar riesgos.

En el contexto de la gestión integral de riesgos, es esencial que los servicios básicos e infraestructura estratégica estén preparados para mitigar, responder y recuperarse de eventos adversos que puedan comprometer su operatividad. A continuación, se describe el estado de los servicios, así como su relevancia en este ámbito.

Abastecimiento de agua

El servicio de abastecimiento de agua en Saltillo está gestionado por Aguas de Saltillo, una empresa pública -privada que proporciona agua potable a la mayor parte de la ciudad. La infraestructura hidráulica incluye pozos subterráneos, redes de distribución y plantas de tratamiento de aguas residuales.

El abastecimiento de agua es un componente crítico, especialmente frente a fenómenos como sequías o inundaciones. Saltillo, por su ubicación en una zona semiárida, es vulnerable a la escasez de agua, lo que requiere planes de contingencia y un manejo adecuado de los acuíferos. Además, la infraestructura de tratamiento de aguas residuales debe estar preparada para evitar contaminación en caso de desbordamientos o fallas en el sistema, que podrían derivar en riesgos sanitarios.

Red eléctrica y energía

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es responsable del suministro eléctrico en Saltillo. La red de distribución eléctrica es robusta; sin embargo, la ciudad no es inmune a cortes de energía derivados de fenómenos naturales como tormentas eléctricas o vientos fuertes.

Desde la perspectiva de la gestión de riesgos, es vital contar con sistemas de respaldo para mantener en funcionamiento infraestructuras críticas, como hospitales, sistemas de abastecimiento de agua y centros de atención de emergencias. Además, la incorporación de energías renovables (como parques solares) puede contribuir a la resiliencia energética del municipio frente a riesgos asociados a cambios climáticos o interrupciones en la red tradicional.

Gestión de residuos

Saltillo cuenta con un sistema de recolección y disposición final de residuos sólidos, siendo el relleno sanitario el principal sitio de disposición. La correcta gestión de residuos es clave para evitar problemas de contaminación del suelo y agua, especialmente en eventos como lluvias intensas que puedan generar lixiviados.

La capacidad de gestionar de manera adecuada los residuos peligrosos, así como los residuos de manejo especial también es esencial para minimizar los impactos ambientales. Una gestión integral de residuos previene la proliferación de tiraderos clandestinos y reduce la exposición a peligros que puedan afectar la salud pública.

Vías ferroviarias, aeropuertos y helipuertos

Saltillo también cuenta con infraestructura de transporte que incluye vías ferroviarias y un aeropuerto, lo que le otorga ventajas logísticas en términos de movilidad, además de transporte de mercancías, así como en la atención de emergencias.

El aeropuerto Plan de Guadalupe, ubicado en el área metropolitana, ofrece una vía de entrada y salida crucial para operaciones de emergencia o transporte de recursos en caso de desastres.

Las vías ferroviarias son de gran relevancia para el movimiento tanto de productos industriales, asimismo comerciales, pero también juegan un papel importante en la movilización de recursos durante situaciones de emergencia. Además, la existencia de helipuertos en algunos hospitales y centros estratégicos garantiza una rápida respuesta ante eventos de riesgo que requieran transporte aéreo de urgencia.

Ductos

En cuanto a la infraestructura energética, Saltillo está atravesado por varios ductos que transportan gas y productos derivados del petróleo. Estos ductos son vitales para el abastecimiento energético de la región, pero también representan un riesgo potencial en caso de fugas o accidentes. Por lo tanto, es fundamental que exista un monitoreo constante de su estado, así como planes de contingencia claros para hacer frente a posibles incidentes. La capacidad de reaccionar rápidamente ante un evento adverso relacionado con esta infraestructura es esencial para la mitigación de riesgos asociados a la energía.

Infraestructura vial

La red vial de Saltillo, que conecta la ciudad con otros centros urbanos como Monterrey y Torreón, es un elemento fundamental tanto para la movilidad de la población, como para la respuesta a emergencias. La Carretera 57 es una de las vías estratégicas que soporta gran parte del tráfico industrial y comercial.

En el marco de la gestión de riesgos, es importante que esta infraestructura sea resistente a fenómenos como inundaciones, deslizamientos de tierra o accidentes industriales. La implementación de sistemas de monitoreo vial y la planificación de rutas alternas en situaciones de emergencia son medidas que aumentan la capacidad de respuesta del municipio.

Infraestructura de salud

Saltillo cuenta con una red de hospitales y centros de salud públicos, así como privados que forman parte de su infraestructura estratégica. La capacidad del sistema de salud para atender emergencias, como pandemias, desastres naturales o eventos tecnológicos, depende de su infraestructura física y logística.

En el contexto del riesgos por desastres, es esencial asegurar que los hospitales cuenten con suministros suficientes, energía de respaldo, además de recursos humanos capacitados para enfrentar situaciones críticas. El acceso rápido a estos centros es fundamental en casos de emergencia, lo que subraya la importancia de la conectividad vial y la infraestructura de transporte.

Protección civil y gestión de emergencias

La infraestructura destinada a la respuesta de emergencias incluye estaciones de bomberos, centros de mando y alertamiento, así como equipos de comunicación.

La infraestructura de protección civil debe estar preparada para eventos como incendios, sismos, inundaciones y contaminación ambiental. Los sistemas de monitoreo, además de alerta temprana, junto con planes de evacuación, son componentes críticos para la reducción de riesgos.

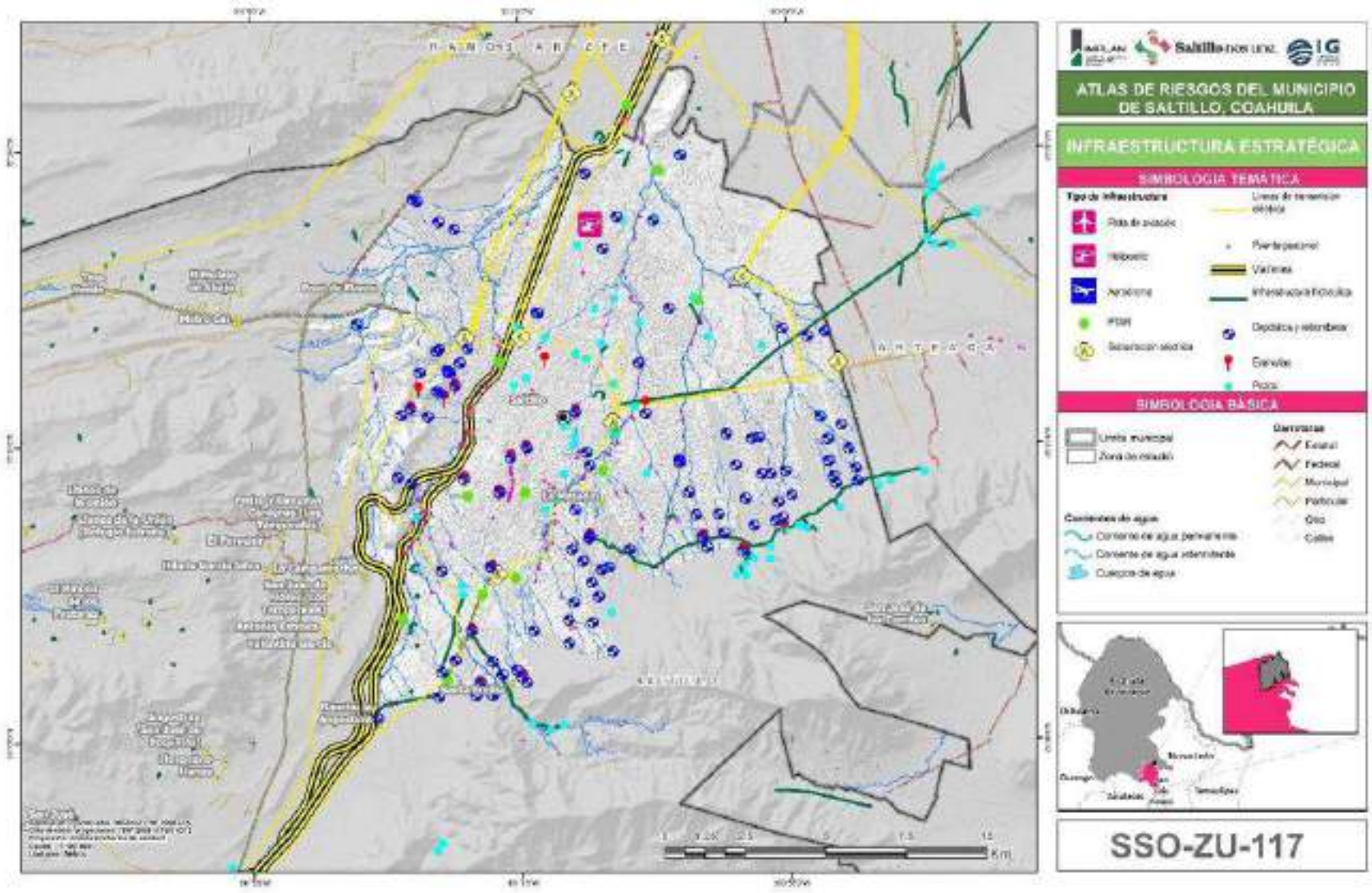
Infraestructura de comunicaciones

Las redes de telecomunicaciones, incluidas las redes de telefonía móvil e Internet, son esenciales para la coordinación de emergencias y la comunicación con la población. Las interrupciones en estas redes pueden afectar gravemente la capacidad del municipio tanto para responder, como para coordinar acciones en tiempos de crisis.

En el contexto de gestión de riesgos, la resiliencia de estas redes ante desastres naturales o fallas técnicas es vital. Los sistemas redundantes y los protocolos de emergencia para la comunicación masiva (alertas, sirenas, mensajes a celulares) son esenciales para informar rápidamente a la población sobre las acciones a tomar ante cualquier evento adverso.

En el Mapa 123 se presenta la ubicación de la infraestructura considerada como estratégica en el municipio de Saltillo.

Mapa 123. Mapa de ubicación de la infraestructura estratégica en Saltillo



Fuente: elaboración propia con datos del Atlas Nacional de Riesgos, 2024, Gobierno municipal de Saltillo y DENUE-INEGI, 2024.



Fase III

Sistemas expuestos y vulnerabilidad

7 Fase III. Sistemas expuestos y vulnerabilidad

7.1 Inventario de sistemas expuestos

Se considera sistema expuesto a la cantidad de personas, bienes, valores, infraestructura y sistemas susceptibles a ser dañados o perdidos, ya sea vidas humanas o pérdidas económicas.

La información de sistemas expuestos tiene por objetivo identificar la ubicación y concentración de los elementos existentes en el territorio, mismos que son propensos a daños o afectaciones en caso de que ocurra algún fenómeno perturbador. Su reconocimiento consiste, en primera instancia como método para reconocer los activos productivos o que prestan servicios en el área de análisis, así como el reconocimiento de las zonas con mayor exposición y bienes expuestos.

El análisis de los sistemas expuestos para el municipio de Saltillo se realiza a partir de los datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del INEGI, generando con ellos mapas de calor que son una técnica de visualización de datos bidimensional que representa la magnitud de valores individuales dentro de un conjunto de datos como un color. La variación del color puede ser por matiz o intensidad.

Este análisis se realiza para 10 elementos que permiten tener una aproximación clara de cómo se distribuyen aquellas actividades y servicios y que al presentar determinada exposición ante un fenómeno perturbador podrían exacerbar las condiciones de los escenarios de riesgo. Los 10 aspectos que se analizan son: giros mercantiles, comercio al por menor, industria manufacturera, infraestructura estratégica, servicios recreativos, así como deportivos, salud, asimismo asistencia social, servicios educativos, servicios especializados, transportes, además de movilidad urbana y transporte por ductos.

Giros mercantiles

En el presente apartado se describe brevemente la dinámica de concentración de giros económicos de acuerdo con el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), lo cual permitirá determinar los sistemas expuestos como zonas propensas al daño implicando un costo social por tipo de giro.

Administración

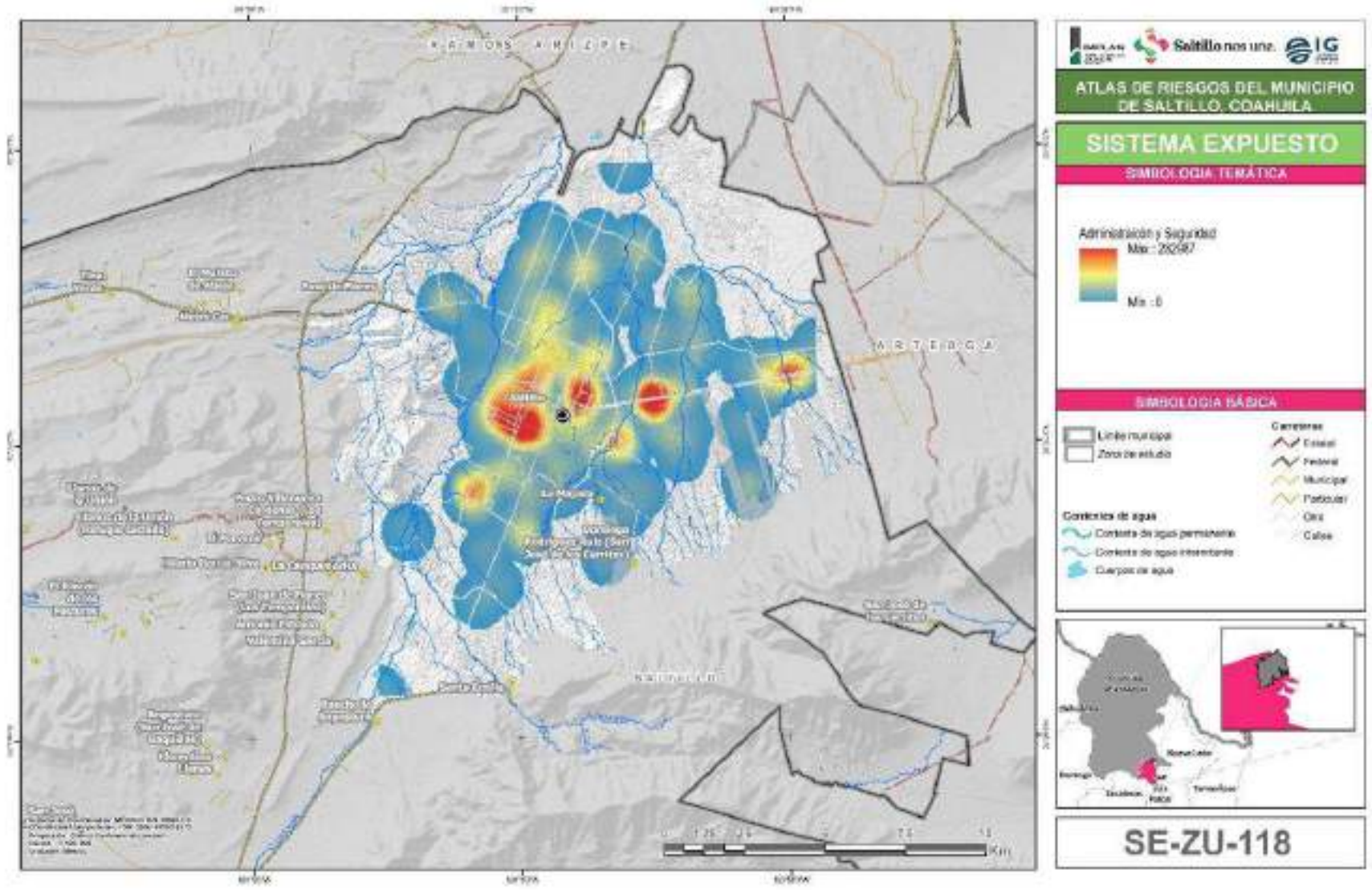
Este sector comprende unidades económicas dedicadas a las actividades legislativas, gubernamentales, de impartición de justicia y de organismos internacionales y extraterritoriales, también comprende los organismos internacionales, así como extraterritoriales.

Para la realización del análisis cartográfico correspondiente al sector *"Administración"* se consideraron las actividades económicas siguientes:

- Actividades legislativas, gubernamentales y de impartición de justicia
- Órganos legislativos
- Administración pública en general
- Regulación y fomento del desarrollo económico
- Impartición de justicia y mantenimiento de la seguridad y el orden público
- Regulación y fomento de actividades para mejorar y preservar el medio ambiente
- Actividades administrativas de instituciones de bienestar social
- Relaciones exteriores
- Actividades de seguridad nacional
- Organismos internacionales y extraterritoriales

A continuación se presenta el mapa resultante:

Mapa 124. Administración y seguridad pública



Fuente: elaboración propia con datos de DENUE-INEGI, 2024.

Comercio al por mayor

Este sector comprende unidades económicas dedicadas principalmente a la compra-venta (sin transformación) de bienes de capital, materias primas, además de suministros utilizados en la producción, y de otros bienes para ser revendidos a otros comerciantes, distribuidores, fabricantes, al igual que productores de bienes y servicios.

Comprende también unidades económicas dedicadas solamente a la compra o la venta, por ejemplo, unidades que compran las mercancías, aunque no las venden ellas directamente, sino que las distribuyen para su reventa a otras unidades económicas con las cuales comparten la misma razón social, así como a las que reciben esas mercancías y las venden sin haberlas comprado.

Además se incluyen en este sector las unidades económicas dedicadas principalmente a actuar como intermediarias entre negocios en la compra o venta de productos, ya sea a través de métodos tradicionales o exclusivamente a través de internet y otros medios electrónicos.

Los comercios al por mayor que venden bienes de su propiedad son conocidos como distribuidores importadores - exportadores, distribuidores de fábrica, abastecedores de mercancías, entre otras denominaciones; mientras que los que promueven la compra-venta de bienes propiedad de otros a cambio de una comisión o pago, son conocidos como agentes de ventas, corredores de mercancías, comisionistas, intermediarios de comercio o agentes importadores y exportadores.

Los comercios al por mayor pueden proporcionar servicios adicionales a la venta de los bienes, como clasificación, inventariado, embalaje, empacado, así como etiquetado.

La construcción de este sector se basó en el análisis de tres componentes en conjunto, éstos son: tipo de bien que se comercializa (bienes de capital, materias primas, además de suministros utilizados en la producción, y otros bienes para ser revendidos).

Tipo de cliente (otros comerciantes, distribuidores, fabricantes o productores de bienes y servicios), y el preponderante, que es la forma de comercializar (las unidades operan desde una bodega u oficina de ventas, tienen poca o nula exhibición de mercancías, atraen clientes generalmente por vía telefónica, mercadeo personalizado o por medio de publicidad especializada a través de medios electrónicos, ferias, así como exposiciones; ni el diseño ni la ubicación de las unidades económicas tienen el propósito de proporcionar acceso al público en general).

En este sector se clasifican siempre, independientemente de la forma en que comercializan, las unidades económicas que tienen como actividad principal el comercio de: cueros, además de pieles, materias primas para el curtido, así como para la elaboración de los productos de cuero y piel; fertilizantes, plaguicidas, también semillas para siembra; medicamentos veterinarios y alimentos para animales (excepto para mascotas); ganado y aves en pie; productos químicos para la industria farmacéutica, al igual que para otro uso industrial.

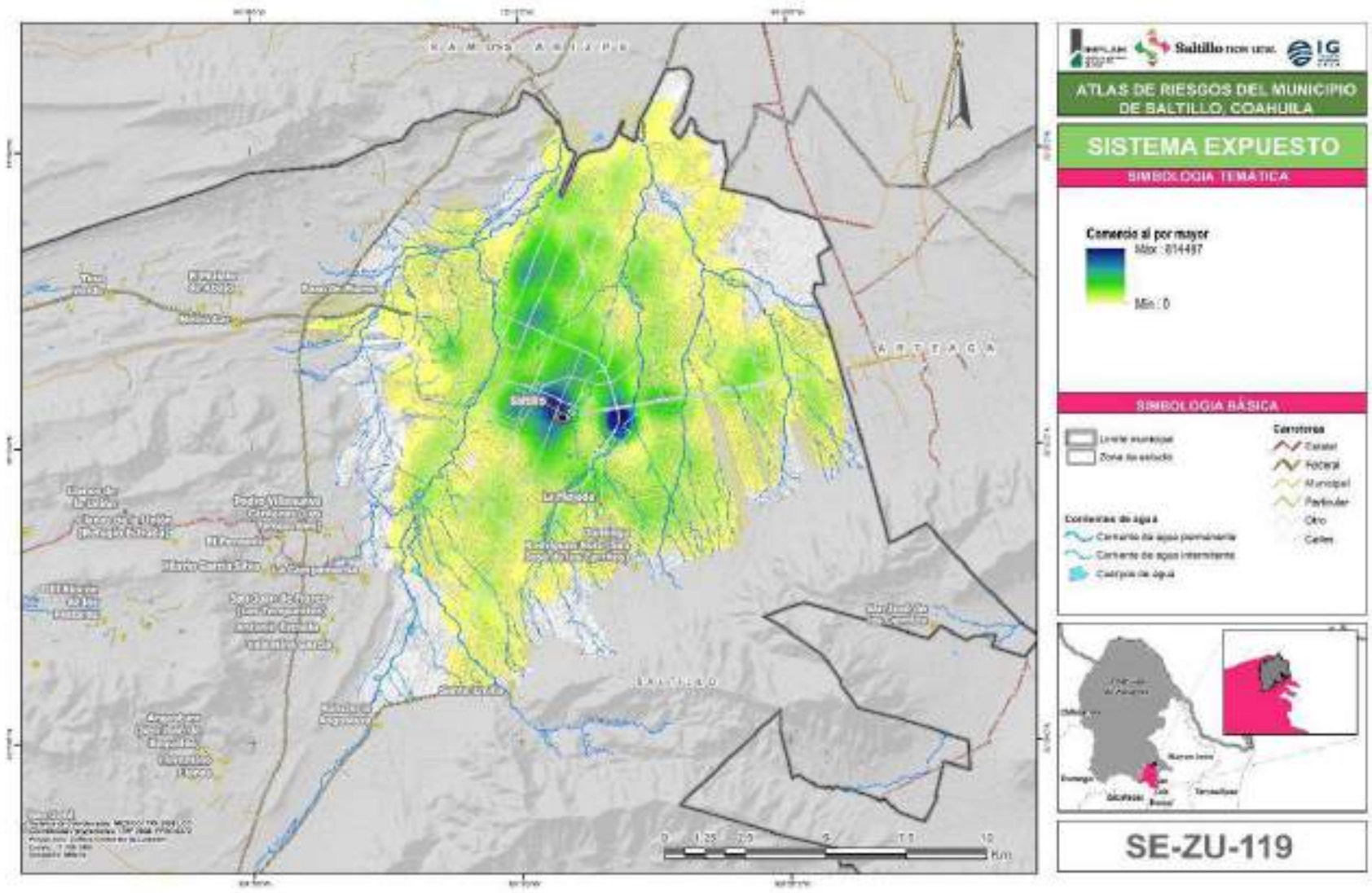
Envases en general, papel y cartón para la industria; equipo y material eléctrico; materiales de desecho; maquinaria y equipo (agropecuario, forestal, para la pesca, construcción, minería, industria manufacturera); mobiliario, equipo e instrumental médico, también de laboratorio; mobiliario y equipo de oficina; maquinaria y equipo para otros servicios, así como para actividades comerciales; camiones; madera para la construcción y la industria; materiales metálicos para la manufactura y la construcción;

comercio especializado de material para la construcción, como cemento, tabique, grava, productos de asfalto, láminas de cartón, asbesto o acrílico, aislantes térmicos, tablarroca; comercio especializado de artículos y accesorios para diseño y pintura artística.

Para la realización del análisis cartográfico correspondiente al tema *"comercio al por mayor"* se consideraron las actividades económicas siguientes:

- Comercio al por mayor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco
- Comercio al por mayor de productos textiles y calzado
- Comercio al por mayor de productos farmacéuticos, de perfumería, artículos para el esparcimiento, electrodomésticos menores y aparatos de línea blanca
- Comercio al por mayor de materias primas agropecuarias y forestales, para la industria, además de materiales de desecho
- Comercio al por mayor de maquinaria, equipo y mobiliario para actividades agropecuarias, industriales, de servicios, así como comerciales, y de otra maquinaria y equipo de uso general
    - Comercio al por mayor de camiones, de partes, refacciones nuevas para automóviles, camionetas y camiones

- *Mapa 125. Comercio al por mayor*



Fuente: elaboración propia con datos de DENUE-INEGI, 2024.

Comercio al por menor

Este sector comprende unidades económicas dedicadas principalmente a la compra - venta (sin transformación) de bienes para el uso personal o para el hogar para ser vendidos a personas y hogares, aunque en algunas ocasiones esos productos también se comercializan a negocios, como el comercio de gasolina o de automóviles.

Comprende también unidades económicas dedicadas a revender mercancías sin haberlas comprado, es decir, las reciben de otras unidades económicas con las cuales comparten la misma razón social.

También se clasifican en este sector las unidades económicas dedicadas principalmente al comercio al por menor de productos propios exclusivamente a través de internet de negocios a consumidores; a actuar como intermediarias de negocios a consumidores y entre consumidores en la compra o venta de productos exclusivamente a través de internet; a la venta por televisión, al comercio al por menor mediante la utilización de alguno de los siguientes métodos:

Comercio puerta por puerta, comercio por catálogo, comercio multinivel, comercio con demostración de productos en hogares, comercio de productos a través de máquinas expendedoras:

- Telemercadeo con ventas vía telefónica
- Los comercios al por menor son conocidos como tiendas, farmacias, supermercados, minisúper, ferreterías, tlapalerías, o derivan su nombre de los productos que comercializan
- Los comercios al por menor pueden proporcionar servicios adicionales a la venta de los bienes, como empacado, envasado y entrega a domicilio

La construcción de este sector se basó en el análisis de tres componentes en conjunto, éstos son: tipo de bien que se comercializa (bienes para el uso personal o para el hogar); tipo de cliente (personas y hogares), el preponderante, que es la forma de comercializar ["lucen como tiendas", es decir, tienen acceso al público en general (se trata de lugares de venta abiertos al público) y extensa exhibición de mercancías para facilitar a los clientes la selección de las mismas (mercancías disponibles a través de dependientes, mercancías presentadas en aparadores, salas de exhibición, unidades económicas con pasillos que permiten al cliente transitar para elegir su mercancía), atraen clientes por la ubicación, así como el diseño del establecimiento, hacen publicidad masiva por medio de volantes, prensa, radio, televisión, etcétera.

En este sector se clasifican, independientemente de la forma en que comercializan, las unidades económicas cuya actividad principal es el comercio de diversos artículos. Estos incluyen lentes, artículos ortopédicos, instrumentos musicales, mascotas, regalos, artículos religiosos, artesanías, ataúdes, pañales desechables, muebles para el hogar, así como jardín, cristaleria, loza y utensilios de cocina. También se incluyen artículos de decoración de interiores, como alfombras, tapices, plantas, además de flores naturales, antigüedades, obras de arte, lámparas ornamentales y candiles.

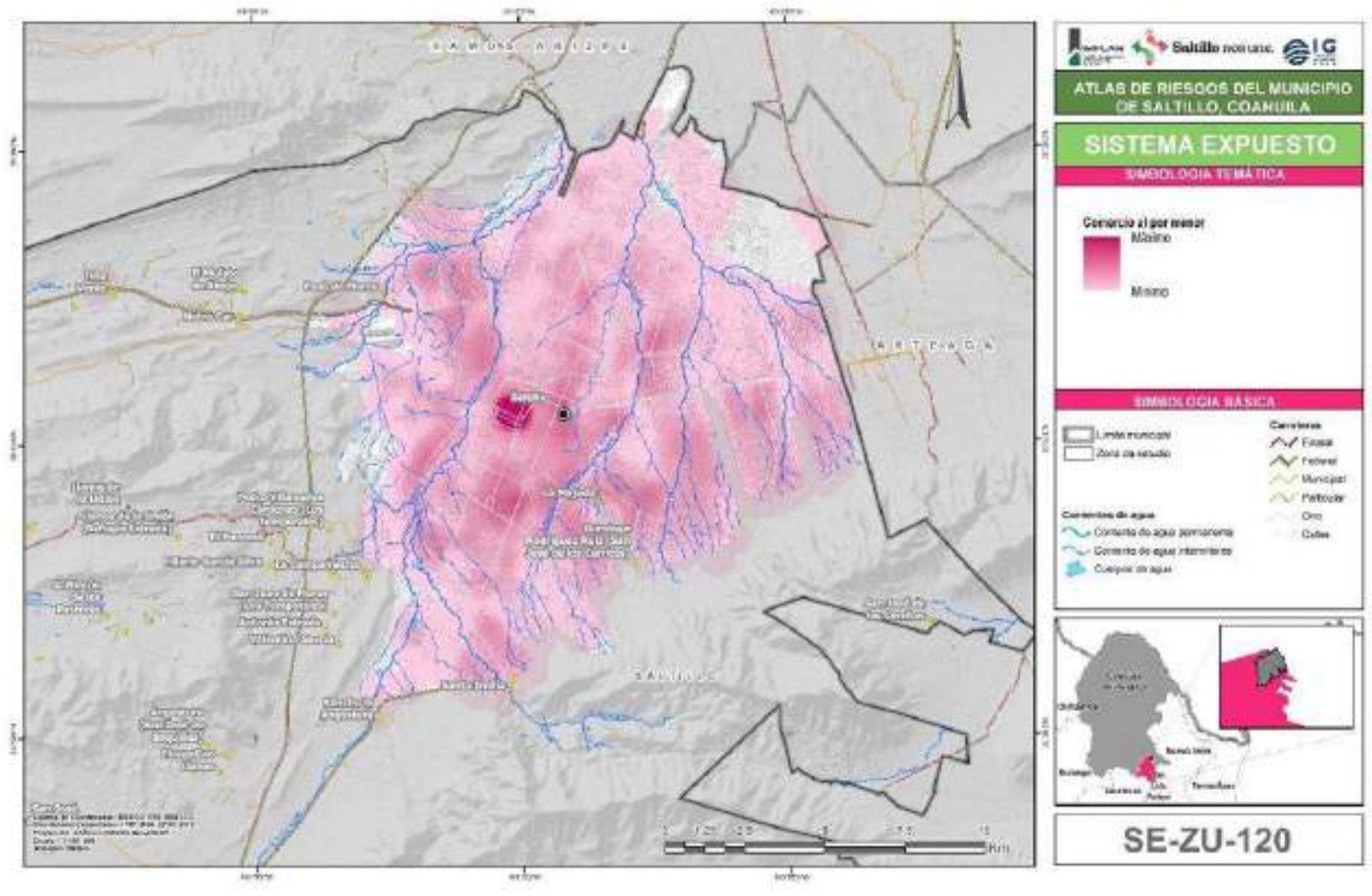
Asimismo, se encuentran artículos para limpieza (excepto papel higiénico, detergentes y jabones), artículos para albercas, artículos usados, automóviles, también camionetas, partes, además de refacciones usadas para vehículos, llantas, cámaras, motocicletas y otros vehículos de motor.

También abarca la comercialización de gas L.P. en cilindros, para tanques estacionarios y en estaciones de carburación, gas natural vehicular, el comercio en farmacias, supermercados, minisúper, tiendas departamentales, ferreterías, tlapalerías y tiendas de autoservicio que venden materiales para la construcción.

Para la realización del análisis cartográfico correspondiente al tema *"comercio al por menor"* se consideraron las actividades económicas siguientes:

- Comercio al por menor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco
- Comercio al por menor en tiendas de autoservicio y departamentales
- Comercio al por menor de productos textiles, bisutería, accesorios de vestir y calzado
- Comercio al por menor de artículos para el cuidado de la salud
- Comercio al por menor de artículos de papelería, para el esparcimiento y otros artículos de uso personal
- Comercio al por menor de enseres domésticos, computadoras, artículos para la decoración de interiores y artículos usados
- Comercio al por menor de artículos de ferretería, tlapalería y vidrios
- Comercio al por menor de vehículos de motor, refacciones, combustibles y lubricantes
- Comercio al por menor exclusivamente a través de internet, catálogos impresos, televisión y similares

Mapa 126. Comercio al por menor



Fuente: elaboración propia con datos de DENUE-INEGI, 2024.

Industria manufacturera

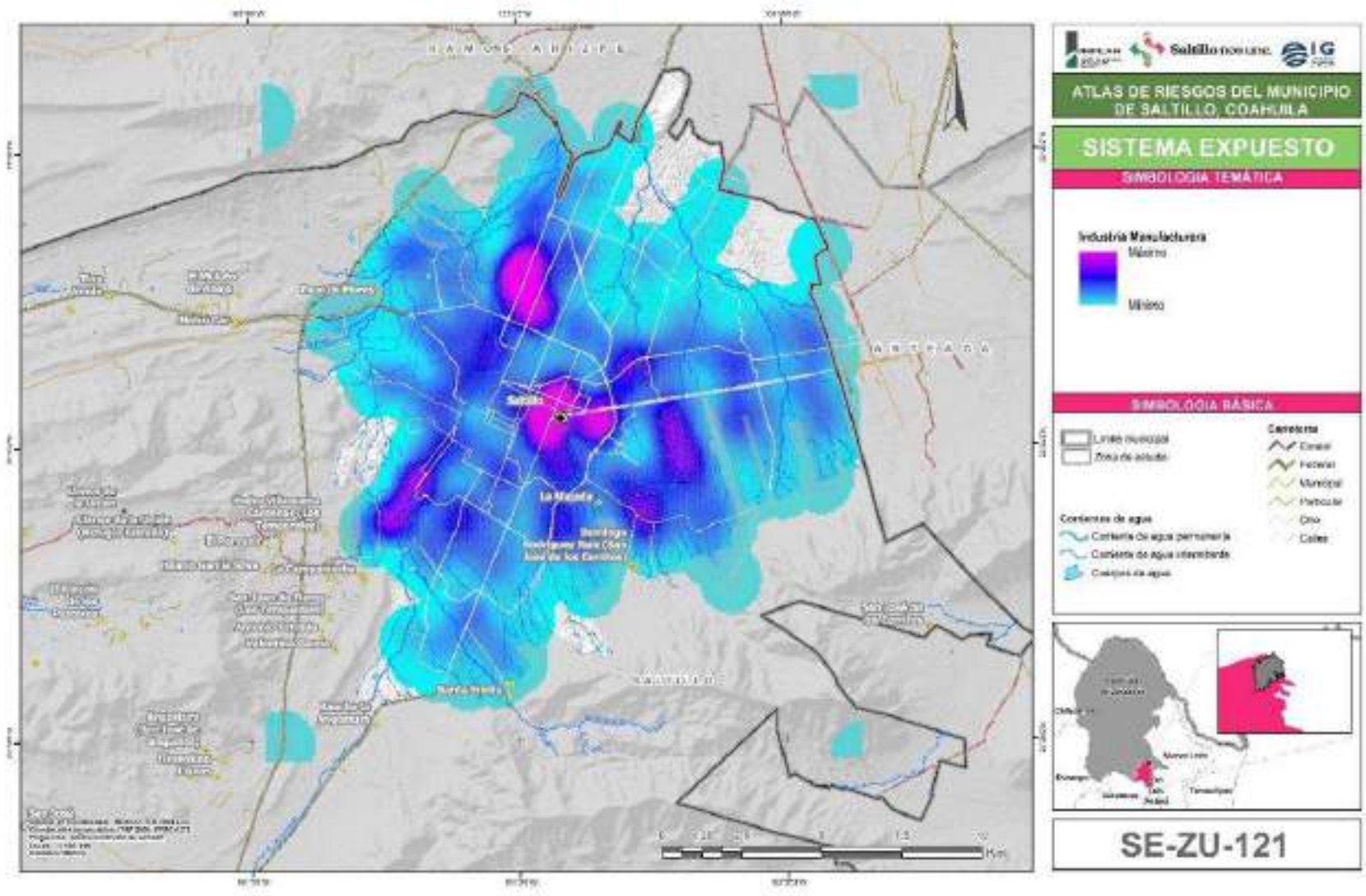
Este sector comprende unidades económicas dedicadas principalmente a la transformación mecánica, física o química de materiales o sustancias con el fin de obtener productos nuevos. Asimismo, se incluye la mezcla de productos para obtener otros diferentes, como aceites, lubricantes, resinas plásticas y fertilizantes.

Estas unidades económicas usan, generalmente, máquinas accionadas por energía y equipo manual para su funcionamiento; sitios como plantas, fábricas, talleres, maquiladoras, entre otros, entran dentro de esta categoría.

Para la realización del análisis cartográfico correspondiente al sector *"*industria*"* se consideraron las actividades económicas siguientes:

- Industrias manufactureras
- Industria alimentaria
- Industria de las bebidas y del tabaco
- Fabricación de insumos textiles y acabado de textiles
- Fabricación de productos textiles, excepto prendas de vestir
- Fabricación de prendas de vestir
- Curtido y acabado de cuero, así como piel, además de la fabricación de productos de cuero, piel y materiales sucedáneos
- Industria de la madera
- Industria del papel
- Impresión e industrias conexas
- Industria del plástico y del hule
- Fabricación de productos a base de minerales no metálicos
- Fabricación de equipo de computación, comunicación, medición entre otros equipos, componentes y accesorios electrónicos
- Fabricación de accesorios, aparatos eléctricos y equipo de generación de energía eléctrica
- o Fabricación de muebles, colchones y persianas
- Otras industrias manufactureras
- Fabricación de equipo no electrónico y material desechable de uso médico, dental y para laboratorio, además de artículos oftálmicos
- Metalistería y joyería
- Fabricación de artículos deportivos
- Fabricación de juguetes
- Fabricación de artículos y accesorios para escritura, pintura, dibujo, así como actividades de oficina
- Fabricación de anuncios y señalamientos

Mapa 127. Industria manufacturera



Fuente: elaboración propia con datos de DENUE-INEGI, 2024.

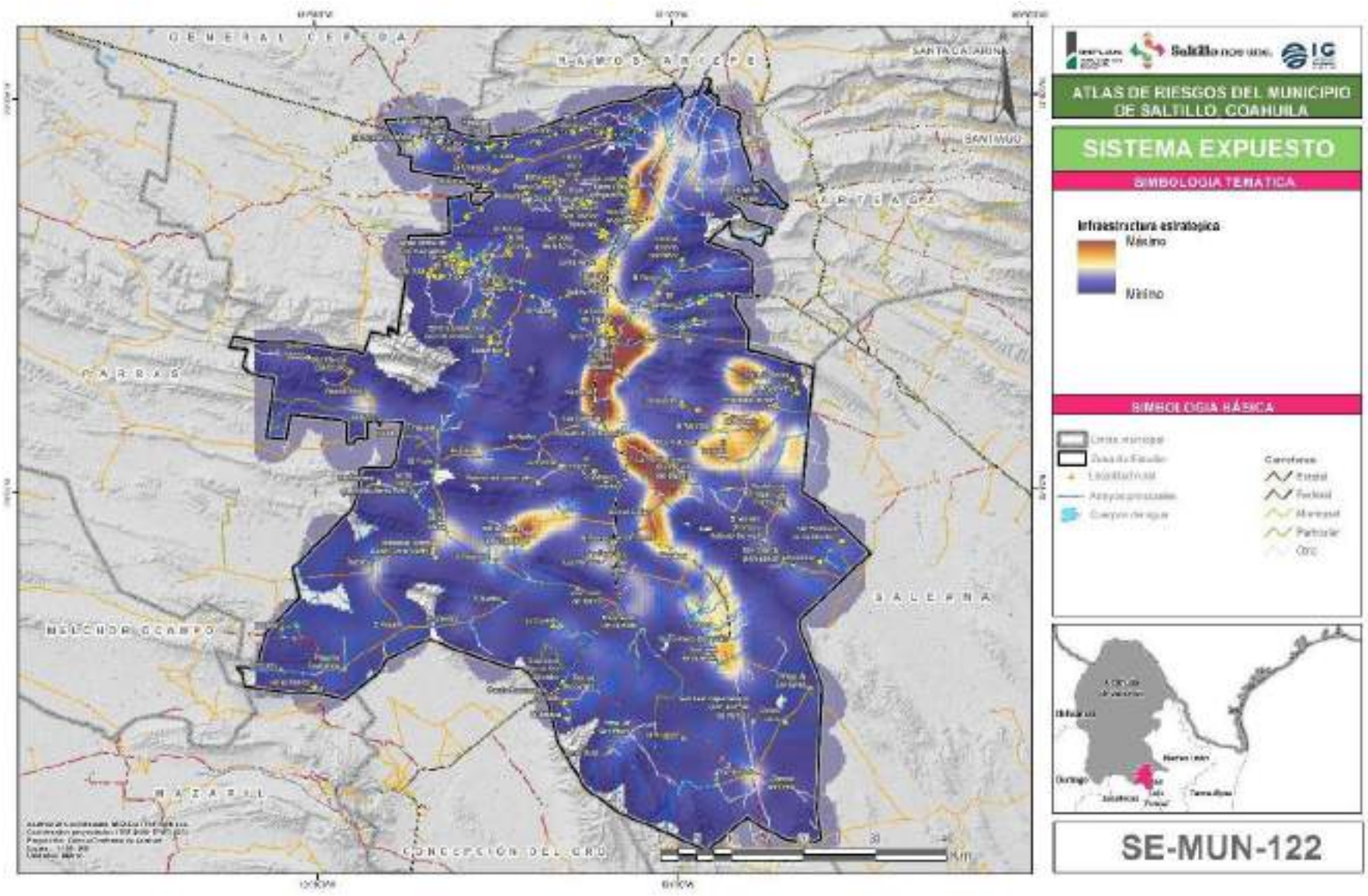
Infraestructura estratégica

Este sector comprende unidades económicas dedicadas a la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, suministro de agua, así como de gas natural por ductos al consumidor final.

Para la realización del análisis cartográfico correspondiente al sector "Servicios urbanos" se consideraron las actividades económicas siguientes:

- Generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica
- Generación de energía eléctrica
- Transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica
- Suministro de gas natural por ductos al consumidor final
- Captación, tratamiento y suministro de agua

Mapa 128. Infraestructura estratégica



Fuente: elaboración propia con datos de DENUE-INEGI, 2024.

Servicios recreativos y deportivos

Este sector comprende tres subsectores, con unidades económicas dedicadas principalmente a los servicios de esparcimiento culturales y deportivos, además de otros servicios recreativos.

Las unidades económicas que se clasifican en el subsector servicios artísticos, culturales y deportivos, y otros servicios relacionados se dedican principalmente a la producción, promoción, así como presentación de espectáculos artísticos, culturales, deportivos y similares; a la representación, al igual que administración de artistas, deportistas y similares, y a la creación, también a la producción, por cuenta propia, de trabajos tanto artísticos, como culturales o a proveer la experiencia técnica necesaria para realizar dichos trabajos.

El subsector museos, sitios históricos, zoológicos y similares agrupa unidades económicas que se dedican principalmente a exhibir colecciones de carácter artístico, científico, histórico y en general de valor cultural; a exhibir plantas, además de animales salvajes vivos; a hacer posible el acceso del público a edificios históricos, zonas arqueológicas y otros lugares de interés histórico, al igual que hacer posible el acceso del público a zonas naturales y otros sitios del patrimonio cultural de la nación.

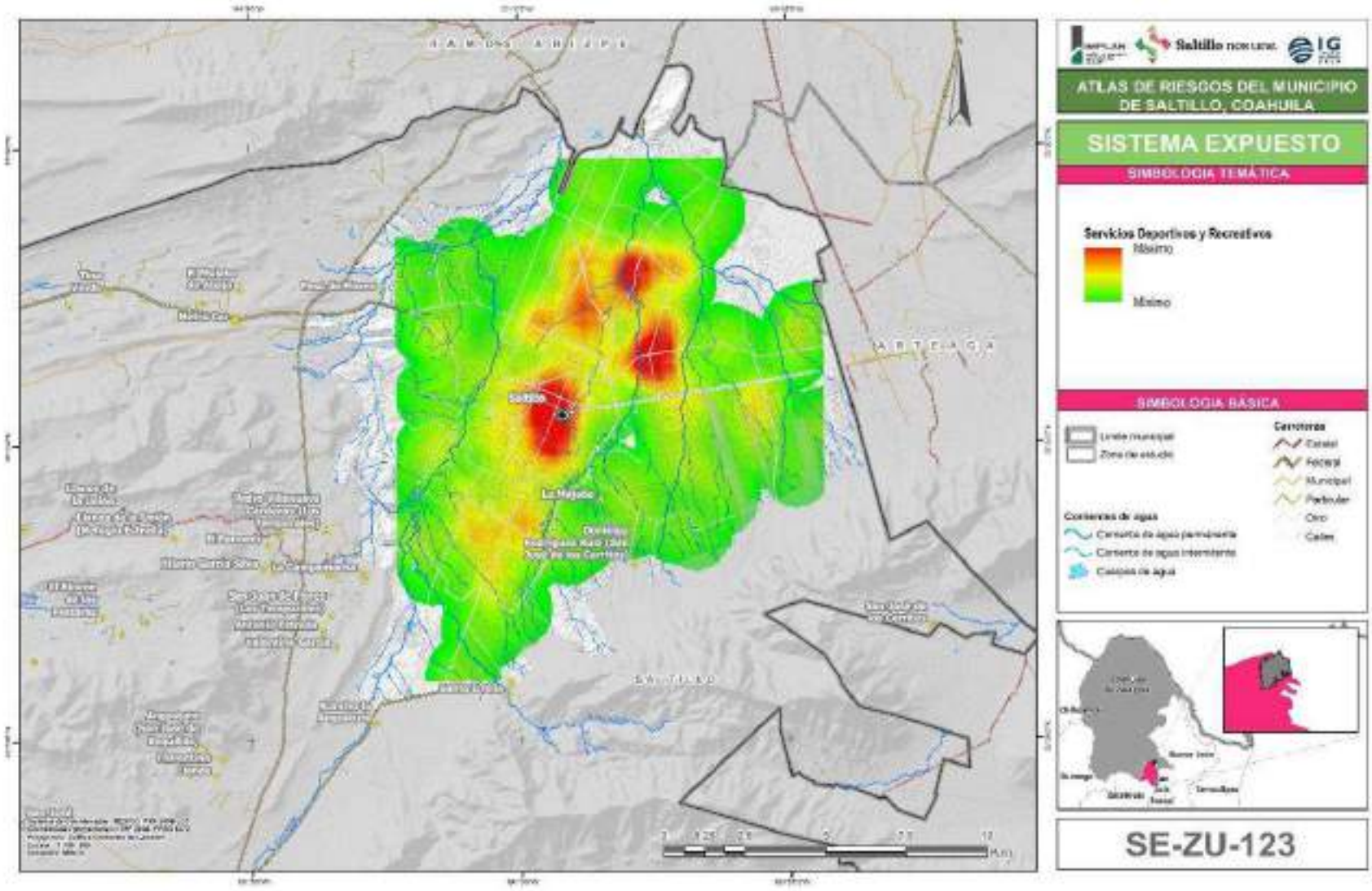
En el subsector servicios de entretenimiento en instalaciones recreativas y otros servicios recreativos se clasifican las unidades económicas dedicadas principalmente a proporcionar servicios de entretenimiento en instalaciones equipadas para la práctica de actividades deportivas, además de otras de tipo recreativo.

Para la realización del análisis cartográfico correspondiente al sector *"Recreación y deporte"* se consideraron las actividades económicas siguientes:

- Servicios de esparcimiento culturales, además de deportivos y otros servicios recreativos
- Servicios artísticos, culturales, deportivos y otros servicios relacionados

- Compañías y grupos de espectáculos artísticos, así como culturales
- Promotores de espectáculos artísticos, culturales, deportivos y similares
- Artistas, escritores y técnicos independientes
- Museos, sitios históricos, zoológicos y similares
- Servicios de entretenimiento en instalaciones recreativas y otros servicios recreativos
- Parques con instalaciones recreativas y casas de juegos electrónicos
- Casinos, loterías y otros juegos de azar
- Parques naturales y otros sitios del patrimonio cultural de la nación
- Clubes deportivos y centros de acondicionamiento físico
- Billares, otros servicios recreativos prestados por el sector privado
- Otros servicios excepto actividades gubernamentales
- Asociaciones y organizaciones
- Asociaciones y organizaciones religiosas, políticas y civiles
- Asociaciones y organizaciones religiosas
- Asociaciones y organizaciones civiles

Mapa 129. Servicios deportivos y recreativos



Fuente: elaboración propia con datos de DENUE-INEGI, 2024.

Salud y asistencia social

Este sector comprende unidades económicas dedicadas a proporcionar servicios de cuidados de la salud y asistencia social.

La función de producción de las actividades económicas incluidas en este sector tiene como componente muy importante el capital humano: una característica común a todas las actividades de este sector es el requisito de conocimientos, así como experiencia por parte de quienes las desarrollan. Muchas de las actividades económicas de este sector fueron definidas con base en el nivel de estudios del personal que lleva a cabo tales actividades. Otro componente importante de la función de producción son las instalaciones y el equipo con que deben contar las unidades económicas.

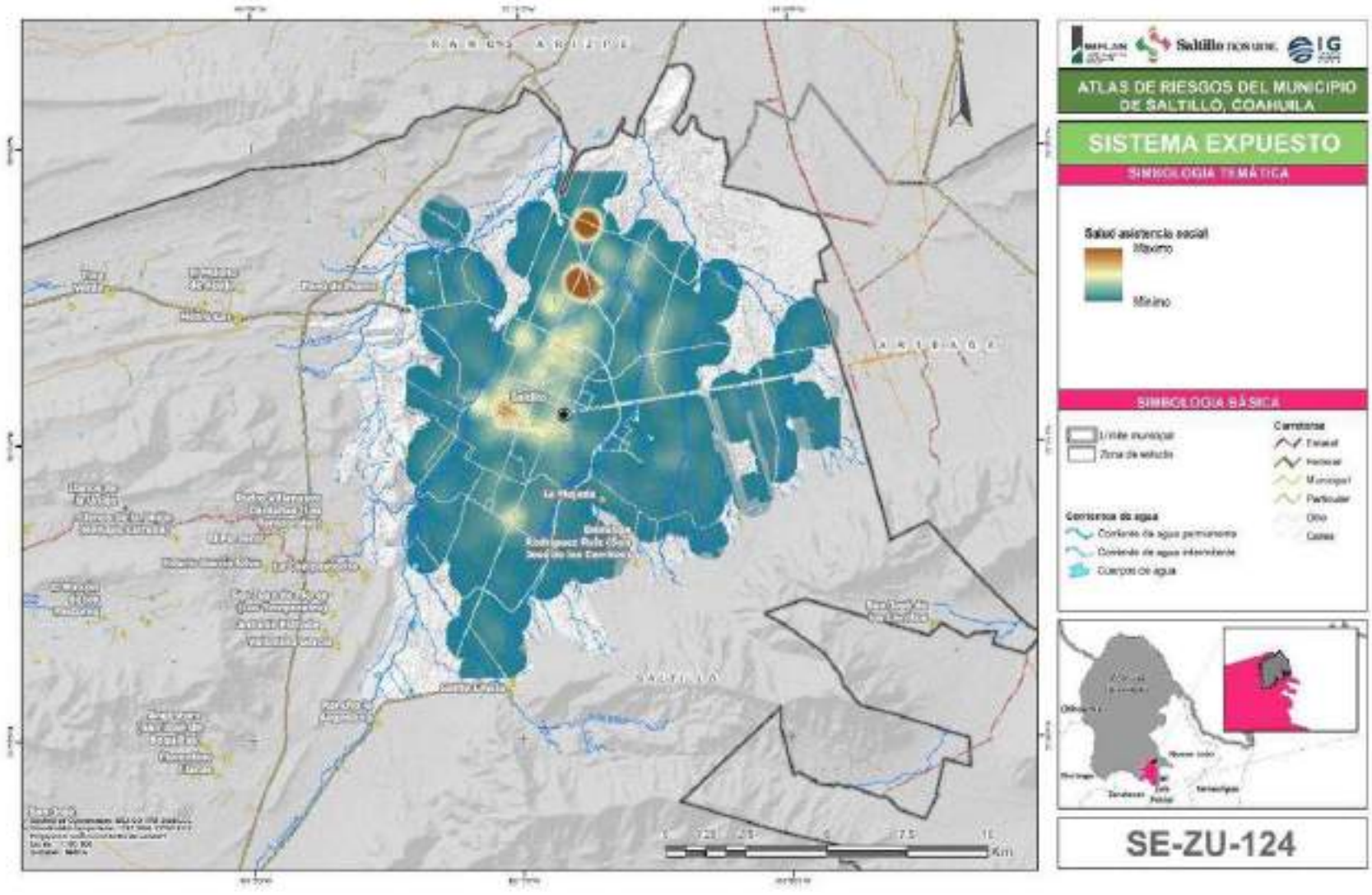
Los servicios de salud, además de asistencia social se conjuntan en un solo sector debido a que es difícil distinguir los límites entre el cuidado de la salud y la asistencia social.

Para la realización del análisis cartográfico correspondiente al tema *"salud y asistencia social"* se consideraron las actividades económicas siguientes:

- Servicios de salud y de asistencia social
- Servicios médicos de consulta externa y servicios relacionados
- Consultorios médicos
- Consultorios de medicina general del sector privado
- Consultorios de medicina general del sector público
- Consultorios de medicina especializada del sector privado

- Consultorios de medicina especializada del sector público
- Clínicas de consultorios médicos del sector privado
- Clínicas de consultorios médicos del sector público
- Consultorios dentales
- Consultorios dentales del sector privado
- Consultorios dentales del sector público
- Otros consultorios para el cuidado de la salud
- Consultorios de quiropráctica
- Consultorios de optometría
- Consultorios de psicología
- Consultorios de audiología y de terapia ocupacional, física, así como del lenguaje
- Consultorios de nutriólogos y dietistas
- Centros para la atención de pacientes que no requieren hospitalización
- Centros de planificación familiar
- Centros de atención médica externa para enfermos mentales y adictos
- Otros centros para la atención de pacientes que no requieren hospitalización
- Laboratorios médicos y de diagnóstico
- Servicios de enfermería a domicilio
- Servicios de ambulancias, de bancos de órganos y otros servicios auxiliares al tratamiento médico
- Hospitales
- Hospitales generales
- Hospitales psiquiátricos y para el tratamiento por adicción
- Hospitales de otras especialidades médicas
- Residencias de asistencia social y para el cuidado de la salud
- Residencias con cuidados de enfermeras para enfermos convalecientes, en rehabilitación, incurables y terminales
- Residencias para el cuidado de personas con problemas de retardo mental, trastorno mental y adicciones
- Asilos y otras residencias para el cuidado de ancianos
- Orfanatos y otras residencias de asistencia social
- Otros servicios de asistencia social
- Servicios de orientación y trabajo social
- Servicios de orientación y trabajo social para la niñez y la juventud
- Centros de atención y cuidado diurno de ancianos y personas con discapacidad
- Otros servicios de orientación y trabajo social
- Agrupaciones de autoayuda para alcohólicos y personas con otras adicciones
- Otros servicios de orientación y trabajo social prestados por el sector privado
- Otros servicios de orientación y trabajo social prestados por el sector público
- Servicios comunitarios de alimentación, refugio y emergencia
- Servicios de alimentación comunitarios
- Refugios temporales comunitarios
- Servicios de emergencia comunitarios
- Servicios de capacitación para el trabajo para personas desempleadas, subempleadas o con discapacidad
- Guarderías del sector privado
- Guarderías del sector público

Mapa 130. Salud y asistencia social



Fuente: elaboración propia con datos de DENUE-INEGI, 2024

Servicios educativos

Este sector comprende unidades económicas dedicadas a ofrecer servicios de enseñanza y capacitación en una gran variedad de materias. Estas unidades económicas (como escuelas, colegios, universidades, academias, centros de entrenamiento o capacitación) pueden ser privadas o públicas, por lo que es probable que se oferten servicios de alimentación o alojamiento para sus alumnos.

Los lugares donde se ofrece la instrucción son diversos y van desde las instituciones educativas, los centros de entrenamiento, hasta el hogar, a través de correspondencia, televisión u otros medios. Todas las categorías definidas en este sector tienen algo en común en cuanto a sus procesos de producción: capital humano —maestros e instructores— con conocimiento sobre una materia determinada y con aptitudes para la enseñanza.

Para estructurar este sector se consideraron los siguientes criterios: el nivel de enseñanza y el tipo de servicios educativos. De acuerdo con el nivel de enseñanza se encuentran las escuelas de educación preescolar, primaria, secundaria, media, técnica superior y superior, que corresponden a niveles educativos seriados entre sí, reconocidos formalmente mediante certificados, títulos, diplomas y grados.

El resto de las categorías se basan en el tipo de instrucción o entrenamiento ofrecido y los niveles no siempre se hallan formalmente definidos. Los establecimientos están a menudo altamente especializados, algunos en un número muy limitado de materias, como puede ser la instrucción de un paquete de software para computadora. Dentro del sector, el nivel, así como los tipos de entrenamiento que se requieren para los instructores y personal educativo varían dependiendo de la instrucción que se quiera impartir.

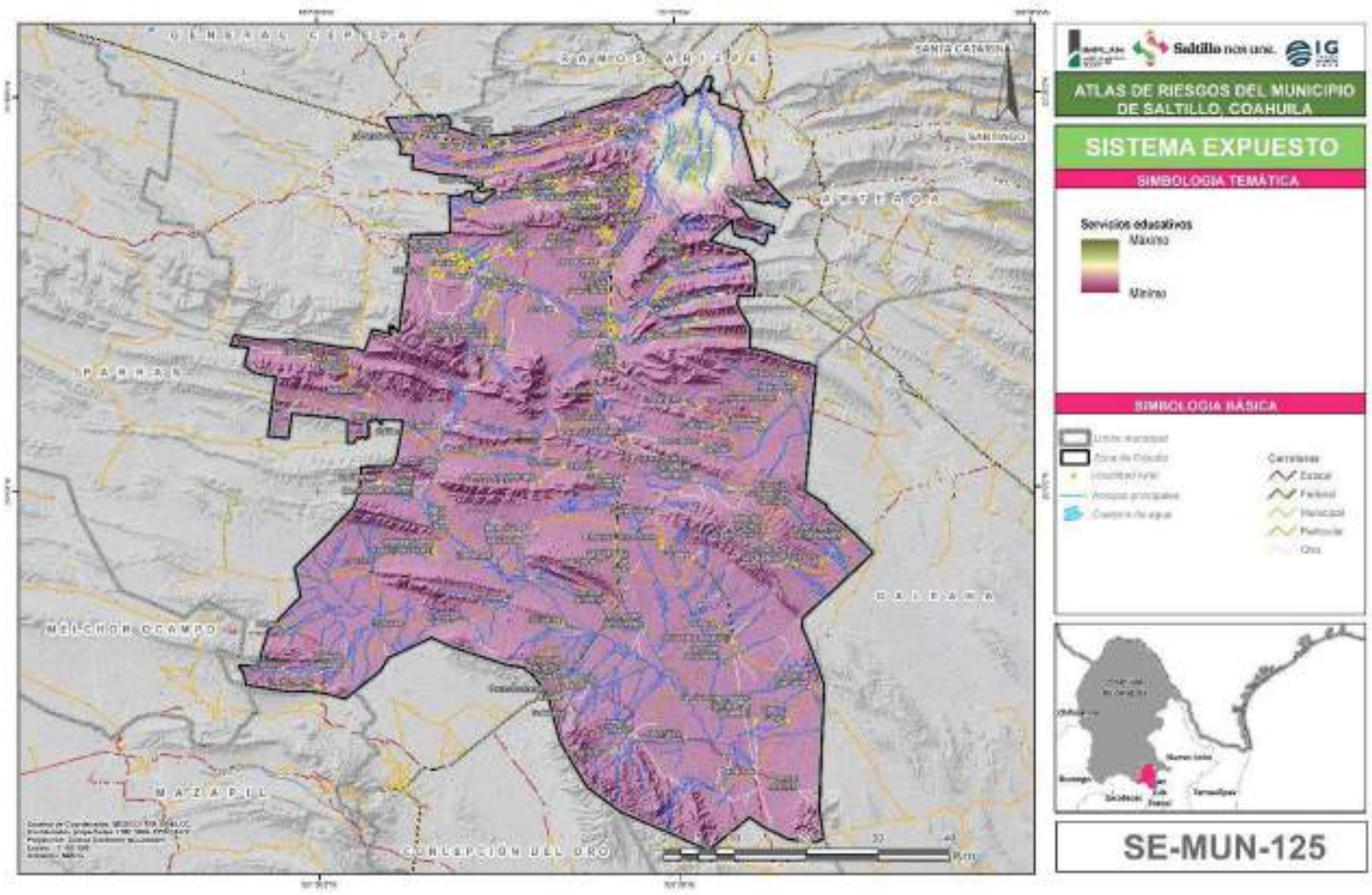
Por educación formal se entiende la enseñanza impartida en instituciones educativas que constituyen una “escalera” de enseñanza de tiempo completo para niños, asimismo jóvenes, mientras que la educación no formal se puede impartir dentro o fuera de una unidad económica docente, está destinada a personas de cualquier edad. Los programas de educación no formal no siguen necesariamente el sistema de “escalera” y su duración es variable.

Para la realización del análisis cartográfico correspondiente al tema *“*educación*”* se consideraron las actividades económicas siguientes:

- Servicios educativos
- Escuelas de educación básica, media y para necesidades especiales
- Escuelas de educación preescolar
- Escuelas de educación primaria
- Escuelas de educación secundaria general
- Escuelas de educación secundaria técnica
- Escuelas de educación media técnica terminal
- Escuelas de educación media superior
- Escuelas que combinan diversos niveles de educación
- Escuelas de educación para necesidades especiales

- Escuelas de educación técnica superior
- Escuelas de educación técnica superior del sector privado
- Escuelas de educación técnica superior del sector público
- Escuelas de educación superior
- Escuelas de educación superior del sector privado
- Escuelas de educación superior del sector público
- Escuelas comerciales, de computación y de capacitación para ejecutivos
- Escuelas comerciales y secretariales
- Escuelas de computación
- Escuelas para la capacitación de ejecutivos
- Escuelas de oficios
- Escuelas del sector privado dedicadas a la enseñanza de oficios
- Escuelas del sector público dedicadas a la enseñanza de oficios
- Otros servicios educativos
- Escuelas de arte
- Escuelas de deporte
- Escuelas de idiomas
- Servicios de profesores particulares
- Otros servicios educativos proporcionados por el sector privado
- Otros servicios educativos proporcionados por el sector público
- Servicios de apoyo a la educación

Mapa 131. Servicios educativos



Fuente: elaboración propia con datos de DENUE-INEGI, 2024.

Servicios especializados

Este sector comprende unidades económicas dedicadas principalmente a producir, administrar, explotar o distribuir productos protegidos por la ley de derechos de autor. En él se distinguen tres tipos de unidades económicas:

1) las dedicadas a la producción, manejo y distribución de información, así como productos culturales (que son aquellos que expresan directamente actitudes, opiniones, ideas, valores y creatividad artística; proporcionan entretenimiento e información);

2) las que proporcionan los medios para transmitir o distribuir estos productos, la información o las comunicaciones, y

3) las que procesan información.

También comprende las unidades económicas dedicadas a proporcionar servicios de apoyo a los negocios, son servicios que por lo regular son parte integral de las actividades de las unidades económicas que se encuentran en todos los sectores de la economía, como: administración de negocios, contratación y colocación de personal, preparación de documentos, fotocopiado, fax, acceso a computadoras y afines, recepción de llamadas telefónicas, cobranza, organización de viajes, vigilancia, además de seguridad, limpieza de inmuebles, y empacado, así como etiquetado de bienes propiedad de terceros. Estas unidades económicas se especializan en una

o más de las actividades de apoyo y pueden, por lo que pueden proporcionar servicios a clientes de todos los sectores económicos y, en algunos casos, a hogares.

De igual forma se agruparon en este las unidades económicas dedicadas principalmente a la regulación de la emisión y circulación de la moneda (Banca central); a la intermediación tanto crediticia, como financiera no bursátil; a las actividades bursátiles, cambiarias, así como de inversión financiera; a la emisión de pólizas de seguros, también suscripción de pólizas de fianzas; a proporcionar servicios relacionados con los seguros, además de fianzas; a la administración de fondos para el retiro, y sociedades de inversión especializadas en fondos para el retiro y fondos de inversión.

Las unidades económicas dedicadas principalmente a los servicios inmobiliarios, al alquiler de bienes muebles y al alquiler de bienes intangibles, se consideraron en este apartado.

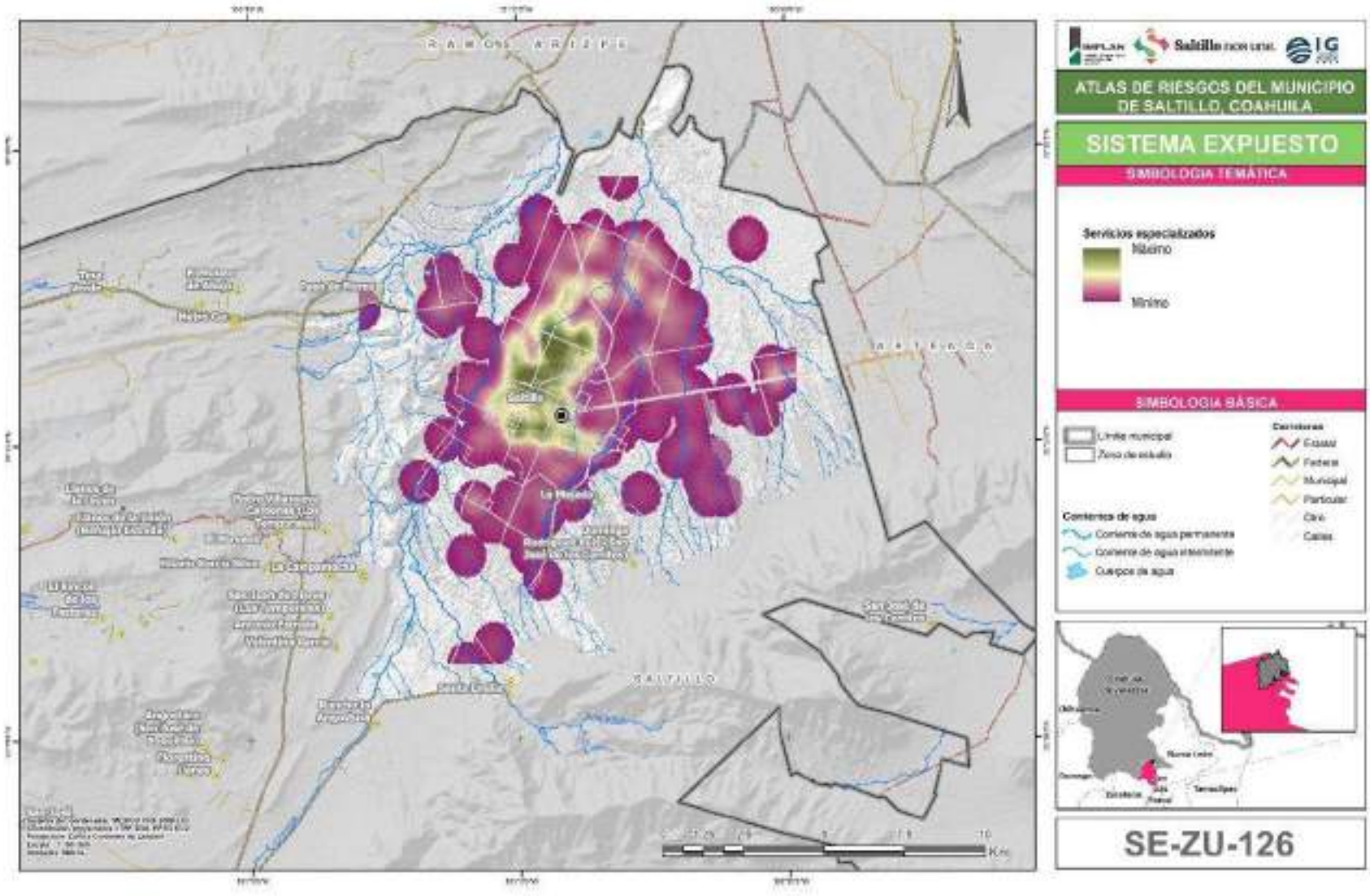
Finalmente, este sector comprende también las unidades económicas cuya actividad consiste en prestar servicios profesionales, científicos, además de técnicos. Estos servicios requieren conocimientos y habilidades especializados, por lo que el que forman este sector es, precisamente, el capital humano.

Las unidades económicas incluidas en este sector se dedican principalmente a proporcionar servicios legales, de contabilidad y auditoría, arquitectura e ingeniería, diseño especializado, diseño de sistemas de cómputo, consultoría administrativa, científica y técnica, investigación científica, además de desarrollo, publicidad, investigación de mercados, también encuestas de opinión pública, fotografía y videograbación, traducción e interpretación, servicios veterinarios, y otros servicios profesionales, científicos y técnicos.

Para la realización del análisis cartográfico correspondiente al tema *"*servicios especializados*"* se consideraron las actividades económicas siguientes:

- Servicios profesionales, científicos y técnicos
- Servicios legales
- Servicios de contabilidad, auditoría y servicios relacionados
- Servicios de arquitectura, ingeniería y actividades relacionadas
- Diseño especializado
- Servicios de diseño de sistemas de cómputo y servicios relacionados
- Servicios de consultoría administrativa, científica y técnica
- Servicios de investigación científica y desarrollo
- Servicios de publicidad y actividades relacionadas
- Otros servicios profesionales, científicos y técnicos
- Servicios de fotografía y videograbación
- Servicios de traducción e interpretación
- Servicios veterinarios
- Otros servicios excepto actividades gubernamentales
- Servicios de reparación y mantenimiento
- Reparación y mantenimiento de automóviles y camiones
- Reparación y mantenimiento de equipo electrónico, así como de equipo de precisión
- Reparación y mantenimiento de maquinaria, también equipo agropecuario, industrial, comercial, además de servicios
- Reparación y mantenimiento de artículos para el hogar y personales
- Servicios personales
- Salones y clínicas de belleza, baños públicos y bolerías.
- Lavanderías y tintorerías
- Servicios funerarios y administración de cementerios
- Estacionamientos y pensiones para vehículos automotores
- Servicios de revelado e impresión de fotografías y otros servicios personales

Mapa 132. Servicios especializados



Fuente: elaboración propia con datos de DENUE-INEGI, 2024.

Transportes y movilidad urbana

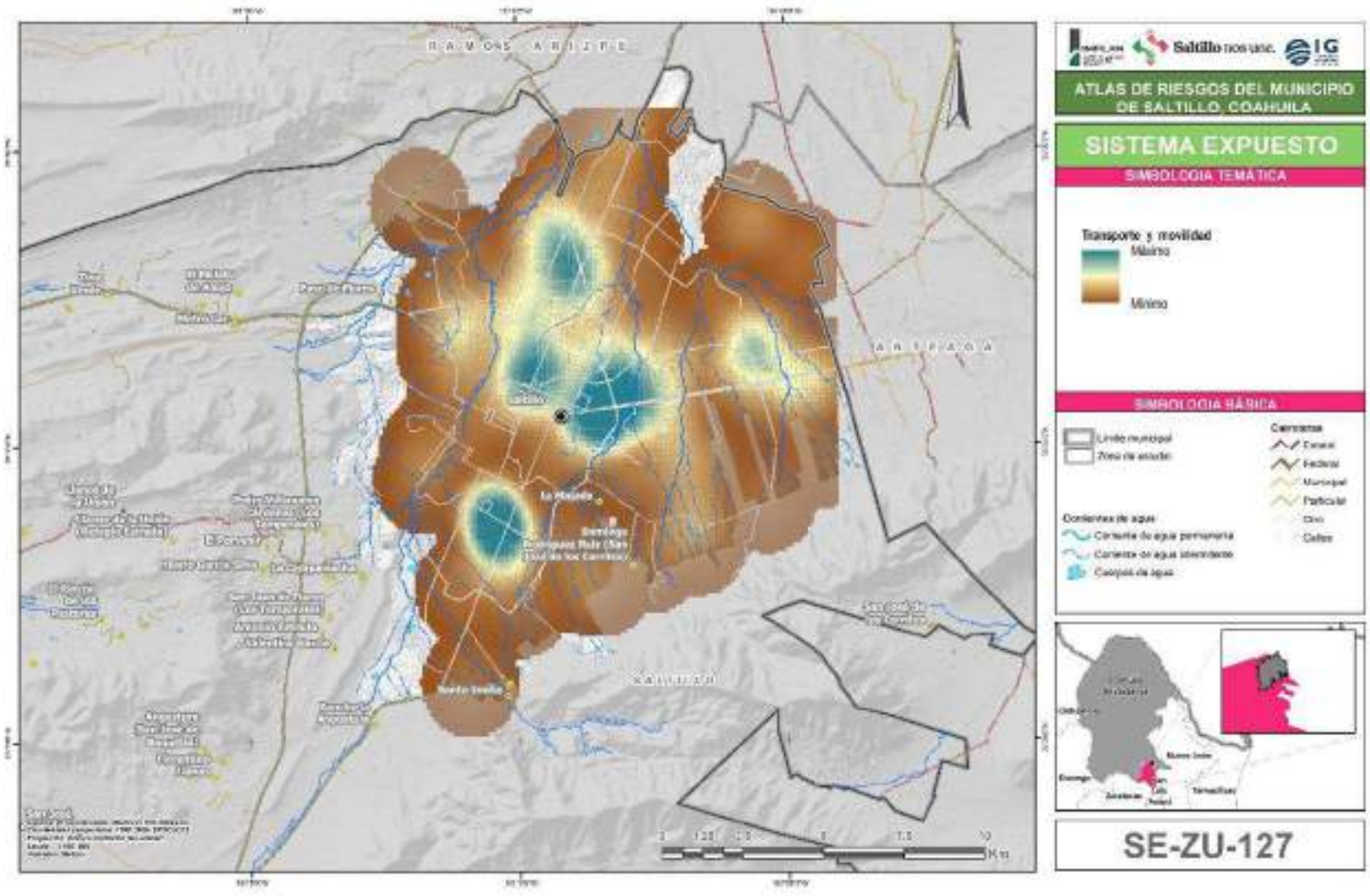
Este sector comprende unidades referentes a la movilidad y el transporte, correos, también almacenamiento. En virtud de que las actividades de las oficinas postales, al igual que de las mensajerías consisten en transportar bienes, también fueron clasificadas en este sector.

Para la realización del análisis cartográfico correspondiente al sector *"*transporte y movilidad urbana*"* se consideraron las actividades económicas siguientes:

- Transporte aéreo regular
- Transporte aéreo no regula
- Transporte por ferrocarril
- Transporte marítimo
- Transporte por aguas interiores
- Autotransporte de carga general
- Autotransporte de carga especializado
- Transporte terrestre de pasajeros, excepto por ferrocarril
- Transporte colectivo urbano y suburbano de pasajeros de ruta fija
- Transporte colectivo foráneo de pasajeros de ruta fija
- Servicio de taxis y limusinas
- Transporte escolar y de personal
- Alquiler de autobuses con chofer
- Otro transporte terrestre de pasajeros
- Transporte por ductos
- Transporte de petróleo crudo por ductos
- Transporte de gas natural por ductos
- Transporte por ductos de otros productos
- Transporte turístico
- Transporte turístico por tierra
- Transporte turístico por agua
- Otro transporte turístico
- Servicios relacionados con el transporte
- Servicios relacionados con el transporte aéreo
- Servicios relacionados con el transporte por ferrocarril
- Servicios relacionados con el transporte por agua
- Servicios relacionados con el transporte por carretera
- Servicios de intermediación para el transporte de carga

- Otros servicios relacionados con el transporte
- Servicios postales, servicios de mensajería y paquetería foránea
- Servicios de mensajería y paquetería local
- Servicios de almacenamiento

Mapa 133. Transporte y movilidad urbana



Fuente: elaboración propia con datos de DENUE-INEGI, 2024.

El patrón en la distribución de la infraestructura estratégica en Saltillo, según el análisis del inventario de sistemas expuestos, revela una tendencia a concentrarse en la zona urbana del municipio, particularmente en las zonas industriales y comerciales clave. Estos centros son críticos para la funcionalidad, así como resiliencia del municipio frente a riesgos.

La infraestructura relacionada con el suministro de energía, agua y gas, así como la infraestructura para la producción, además de la distribución industrial, se concentra en áreas industriales. Estas zonas albergan fábricas, plantas manufactureras, también centros de distribución que son vitales para la economía local, pero también son vulnerables a accidentes tecnológicos y desastres de origen natural.

La red de transporte es otro aspecto clave de la infraestructura estratégica, con carreteras principales como la Carretera 57 y vías ferroviarias conectando las zonas industriales, así como comerciales de Saltillo. Además, la infraestructura de transporte aéreo y ductos de gas está distribuida de manera que respalda tanto la actividad industrial como la capacidad de respuesta en emergencias.

Los hospitales y centros de salud se encuentran distribuidos de manera estratégica en la zona urbana, pero también hay infraestructura médica en áreas rurales, además de periféricas para asegurar acceso en situaciones de emergencia.

Esta distribución permite una mejor respuesta frente a fenómenos naturales o químico tecnológicos. No obstante, estas instalaciones deben contar con planes de respaldo energético y acceso vial seguro para garantizar su operatividad ante emergencias.

La concentración de centros educativos, desde nivel básico hasta superior, juega un rol importante no solo en la formación de la población, sino también como posible infraestructura de apoyo en situaciones de emergencia.

No obstante lo anterior, la infraestructura estratégica en Saltillo enfrenta varios problemas relacionados con su vulnerabilidad frente a fenómenos naturales, además de antropogénicos, que pueden comprometer su operatividad y, por lo tanto, la seguridad, además del bienestar de la población.

Algunos de los problemas más destacados se asocian con la vulnerabilidad de estos sistemas, ciertas áreas de la ciudad donde se concentra infraestructura crítica, como plantas de energía, ductos de gas, así como sistemas de tratamiento de agua, están expuestas a fenómenos como inundaciones. Esto puede interrumpir los servicios esenciales como el suministro de agua y energía, afectando tanto a la población como a la industria.

Existe infraestructura ubicada en terrenos inestables o en áreas cercanas a cauces de agua puede verse gravemente afectada por deslizamientos de tierra o movimientos sísmicos. Estas zonas incluyen ductos, instalaciones industriales y áreas residenciales.

Además, Saltillo cuenta con una fuerte presencia industrial, lo que implica el manejo de materiales peligrosos en plantas manufactureras, además de almacenes. La infraestructura relacionada con el transporte de gas y otros materiales inflamables está

sujeta a riesgos de fugas, explosiones o incendios, que podrían tener graves consecuencias tanto para la población, como para el medio ambiente.

Las áreas residenciales cercanas a zonas industriales también enfrentan riesgos derivados de accidentes industriales. Esta proximidad aumenta la exposición de la población a situaciones de peligro, como fugas de sustancias químicas o incendios en plantas industriales.

En cuanto a la infraestructura de transporte existe deterioro en las vías de comunicación, carreteras clave como la Carretera Federal 57 y otras rutas importantes que conectan Saltillo con ciudades cercanas, como Monterrey, así como Torreón, enfrentan problemas de mantenimiento y son vulnerables a daños por fenómenos hidrometeorológicos.

Esto puede afectar la movilidad y la capacidad de respuesta ante emergencias. En cuanto a la red ferroviaria, aunque es vital para el transporte de mercancías industriales, puede verse afectada por accidentes o fenómenos de origen natural, lo que afectaría tanto a la logística, como el transporte de productos esenciales en la región.

La deficiencia en el suministro de agua y energía es otro aspecto relevante, Saltillo enfrenta una creciente demanda de agua debido a su expansión urbana e industrial, lo que genera estrés sobre los sistemas de suministro.

La infraestructura hídrica debe adaptarse a los retos de una ciudad en una zona semiárida, donde la escasez de agua es un riesgo constante. Asimismo, fenómenos meteorológicos extremos, como tormentas eléctricas, han causado interrupciones en el suministro eléctrico, afectando áreas críticas como hospitales, instalaciones industriales, además de sistemas de emergencia; esto resalta la necesidad de contar con sistemas de respaldo robustos.

Finalmente, la infraestructura para la gestión de residuos en Saltillo, aunque funcional, enfrenta limitaciones para manejar adecuadamente los residuos peligrosos y los generados por la industria. En situaciones de emergencia, como lluvias intensas, estos sistemas pueden colapsar, así como generar contaminación ambiental.

Los problemas relacionados con la infraestructura estratégica en Saltillo son complejos, además abarcan desde riesgos naturales hasta fallos en la gestión industrial y de servicios públicos. Para abordar estos desafíos, es crucial implementar mejoras en la planificación, la resiliencia de las infraestructuras, y los planes de contingencia, asegurando una mayor capacidad de respuesta frente a emergencias.

7.2 Vulnerabilidad

El grado de afectación procedente de la incidencia de algún fenómeno perturbador, la magnitud de un desastre depende en gran medida de la vulnerabilidad que presenta una población. Diferentes condiciones sociales, económicas, físicas y políticas contribuyen a la posible generación de afectaciones (Wilches-Chaux, 1993; Cardona, 2003). El análisis de vulnerabilidad se elabora en tres dimensiones: vulnerabilidad social, física y global.

7.2.1 Vulnerabilidad social

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) define a la vulnerabilidad social como la capacidad que tiene la sociedad para evitar daños a los bienes expuestos ante el impacto de un fenómeno perturbador, así como la competencia de recuperarse del mismo. Además, la vulnerabilidad social ante un desastre estará definida por una serie de factores económicos, sociales, asimismo culturales, los cuales determinan en qué grado un grupo social tiene la facultad para atender una emergencia, recuperarse y rehabilitarse ante un desastre.

Para obtener el grado de vulnerabilidad social ante un fenómeno perturbador, se utilizan una serie de variables socioeconómicas, además de una evaluación a la capacidad de respuesta, igual prevención por parte de las autoridades gubernamentales; también se aplica otra hacia la población para conocer la percepción local del riesgo.

Todo lo anterior basado y alineado con la metodología propuesta por CENAPRED. En el análisis de las condiciones socioeconómicas se hace uso de diferentes indicadores, separados en grupos temáticos de salud, educación, vivienda, población y empleo e Ingresos, con los cuales es posible obtener parte del grado de vulnerabilidad social a una escala municipal.

Por otra parte, se hace uso de los mismos grupos temáticos con los indicadores disponibles a nivel de manzana urbana y localidades con el fin de identificar cómo es su comportamiento al interior del municipio para proveer de herramientas en la toma de decisiones locales con fines a disminuir el grado de vulnerabilidad social que impera en el territorio.

Condiciones socioeconómicas por indicadores de vulnerabilidad

Las condiciones socioeconómicas se analizan a través de cinco temáticas de indicadores: salud, educación, vivienda, empleo e ingresos y población, compuestos por 18 indicadores socioeconómicos, de acuerdo con la metodología del CENAPRED. Los indicadores se construyeron con la información más actual, a nivel municipal y manzana urbana del Censo de Población y Vivienda de INEGI, 2020, con información del Sistema Nacional de Información Municipal (SNIM) del Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED) 2020, datos de la Encuesta Nacional de Ocupación y empleo 2022 y la cobertura de servicios de salud de la Secretaría de Salud 2022.

Cada uno de los cinco componentes constituye el 10% del índice de vulnerabilidad social, en conjunto el 50%. El otro 50% se integra con la información adquirida por las capacidades de respuesta y percepción local presente en el municipio.

Conforme la metodología del CENAPRED (2014), se asigna un grado de vulnerabilidad a cada uno de los indicadores a nivel municipal que integran los componentes de vulnerabilidad social.

Para el análisis espacial se integra una cartografía de cada temática de vulnerabilidad social; salud, educación, vivienda, población, empleo e ingreso, en una sola cobertura relativa a las condiciones socioeconómicas presentes en el municipio. En la cartografía de la caracterización social, se aprecia la representación espacial de los indicadores que integran la vulnerabilidad al interior del municipio, ella se clasificó conforme los intervalos y grados vulnerabilidad establecidos por el CENAPRED (2014).

El valor de vulnerabilidad de los indicadores se clasifica en cinco categorías: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo grado de vulnerabilidad, donde un alto grado representa peores condiciones socioeconómicas y un bajo grado mejores condiciones.

Clasificar la vulnerabilidad al interior del municipio facilita la toma de decisiones a nivel local al identificar zonas específicas con menor o mayor vulnerabilidad, ya que el asignar un solo valor municipal no identifica las diferentes condiciones presentes en las localidades y manzanas urbanas del territorio.

Sin embargo, existen indicadores disponibles únicamente a escala municipal, como es el caso de: médicos por cada mil habitantes, tasa de mortalidad infantil, porcentaje de viviendas con paredes de material de desecho y lámina de cartón, déficit de vivienda, porcentaje de la PEA que recibe ingresos de menos de dos salarios mínimos, por tanto, el grado de vulnerabilidad se elabora con la información disponible en las fuentes oficiales.

De esta forma las zonas con mayor susceptibilidad de sufrir impactos, por sus condiciones socioeconómicas, que pueden desencadenar desastres en el municipio son representadas por cada cobertura temática. Las áreas identificadas con altos grados de vulnerabilidad necesitan albergar la mayor atención para reducir la vulnerabilidad, además de aumentar la capacidad de resistencia de su población mediante la ejecución oportuna de programas sociales, infraestructura, etcétera. Conjuntamente, se necesitan enfocar esfuerzos, gestión de recursos y planeación para mejorar la prevención en lo referente a la acción civil, así como gubernamental.

Características sociales y económicas por componente temático

A continuación, se muestra un análisis de la vulnerabilidad social por componente temático, en el cual se presenta a nivel municipal la información estadística obtenida para cada indicador utilizado y clasificada según los rangos establecidos por el CENAPRED. A nivel local se muestra un análisis espacial de cada componente temático mediante la integración de indicadores, resultando en una cartografía por componente temático.

Componente salud

Al analizar los indicadores del componente de salud en el municipio es posible estimar el acceso y la capacidad de atención a servicios básicos de salud que la población municipal tiene. Este análisis también refleja el desarrollo socioeconómico, además el grado de vulnerabilidad presente en la población.

A continuación, se desarrollan los indicadores que se utilizaron, así como la metodología empleada y las fuentes utilizadas.

Tabla 119. Indicadores empleados para el componente salud

Indicador	Procedimiento de elaboración	Fuente de las variables empleadas
Cobertura de servicios de salud (médicos por cada 1,000 habitantes)	La proporción de médicos por mil habitantes se obtiene de dividir el número de médicos del municipio entre el total de la población, el resultado se multiplica por mil.	Indicadores Sociodemográficos del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) Recursos de la Secretaría de Salud del municipio de Saltillo 2022.
Tasa de mortalidad infantil	Este indicador se puede establecer para un periodo dado, en este caso el primer año de vida. El resultado se obtiene de dividir el número de defunciones de niños menores de un año de edad en un período determinado, entre los nacidos vivos en el mismo periodo y el resultado se multiplica por cien.	Estadística de defunciones registradas para 2020 (INEGI)
Porcentaje de la población no derechohabiente	El porcentaje de la población no derechohabiente se obtiene dividiendo el total de la población no derechohabiente entre el total de la población y el resultado se multiplica por cien.	Censo de Población y Vivienda de INEGI, 2020

Fuente: Elaboración propia con base en CENAPRED,2014.

En la Tabla 120 se muestran los intervalos establecidos por el CENAPRED y el grado de vulnerabilidad que cada uno de ellos representa, además se reporta el valor obtenido para el municipio de Saltillo para cada uno de los indicadores y su calificación de acuerdo con el mismo.

En general para los tres indicadores empleados se obtuvo un grado de vulnerabilidad bajo. El municipio de Saltillo cuenta con un aproximado de un médico por cada mil habitantes, según los intervalos de CENAPRED, tiene una vulnerabilidad baja, no obstante, esta relación está por debajo de la recomendación de la OMS de tres médicos por cada mil habitantes.

El hecho de que este valor sea menor a uno repercute directamente en la vulnerabilidad de la población, ya que, en caso de una emergencia o desastre, la disponibilidad de médicos resultaría relativamente insuficiente para atender a la población.

Tabla 120.Indicadores del componente salud del municipio de Saltillo

Componente	Indicador	Intervalos	Grado de vulnerabilidad	Calificación de vulnerabilidad	Valor del municipio de saltillo	Calificación de vulnerabilidad saltillo
Salud	Cobertura de servicios de salud (médicos por cada 1,000 habitantes)	De 0.20 a 0.39 médicos por cada 1,000 habitantes	Muy alto	1		
		De 0.4 a 0.59 médicos por cada 1,000 habitantes	Alto	0.75		
		De 0.6 a 0.79 médicos por cada 1,000 habitantes	Medio	0.50		
		De 0.8 a 0.99 médicos por cada 1,000 habitantes	Bajo	0.25	0.989	0.25
		Uno o más médicos por cada mil habitantes	Muy bajo	0		
	Tasa de mortalidad infantil	De 17.2 a 27.1	Muy bajo	0	12.83	0
		De 27.2 a 37.0	Bajo	0.25		
		De 37.1 a 47.0	Medio	0.50		
		De 47.1 a 56.9	Alto	0.75		
		De 57.0 o más	Muy alto	1		
	Porcentaje de la población no derechohabiente	De 17.63% a 34.10%	Muy bajo	0	16.17	0
		De 34.11% a 50.57	Bajo	0.25		
		De 50.58% a 67.04%	Medio	0.50		
		De 67.05% a 83.51%	Alto	0.75		
		83.52% o más	Muy alto	1		

Fuente: elaboración propia con base en CENAPRED,2014.

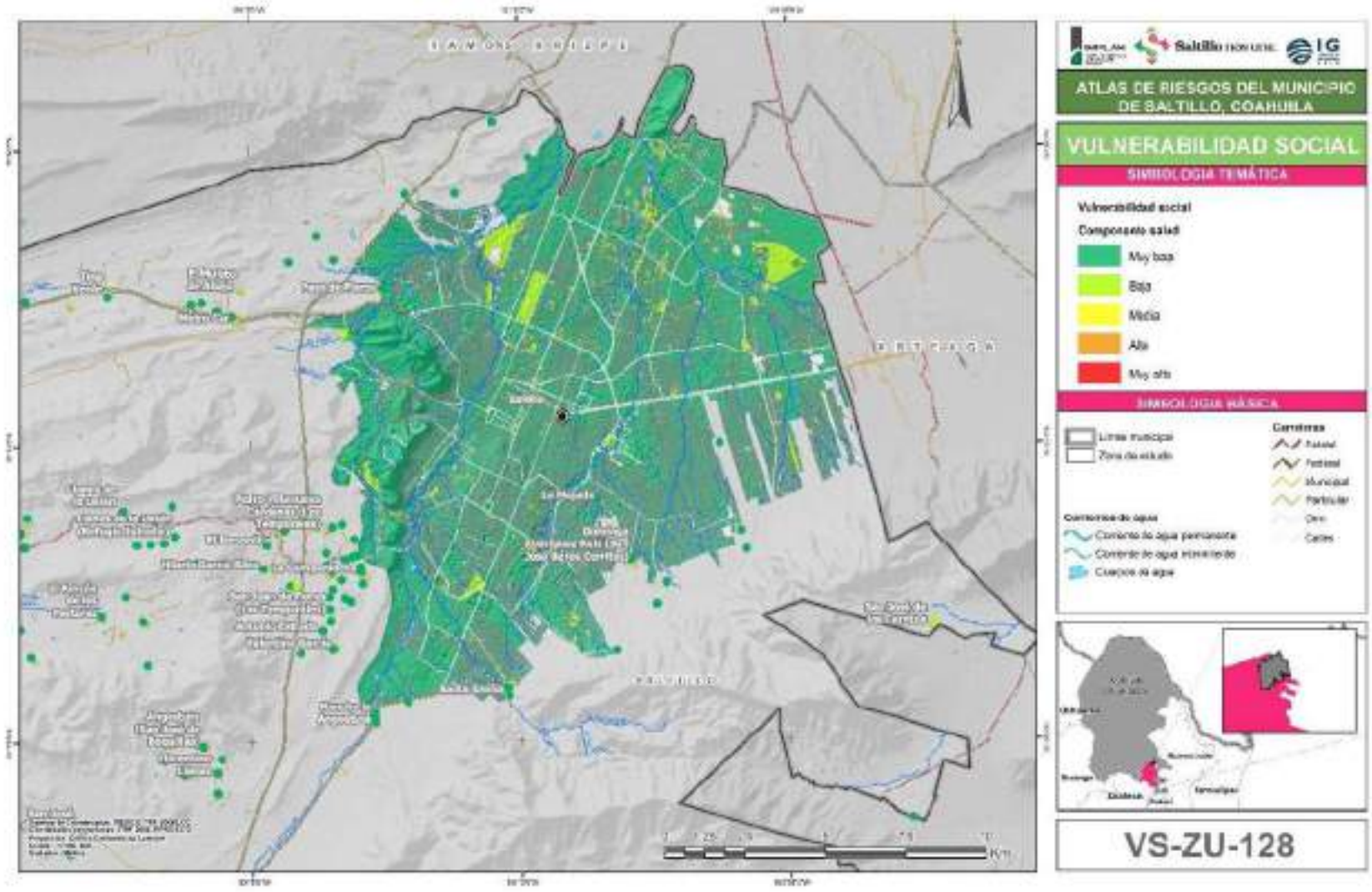
La tasa de mortalidad infantil para el municipio de Saltillo corresponde a 12.83 defunciones infantiles por cada 100 mil habitantes, considerada este como un grado muy bajo de vulnerabilidad. Este indicador puede dar una idea del funcionamiento actual de sistema de salud para la población infante, además de ser un indicativo del acceso que tiene la población a los servicios de salud, además de la efectividad de este, al poseer niveles muy bajos se traduce de un sistema de salud eficaz y con buena accesibilidad.

De acuerdo con el censo de población y vivienda del año 2020, la población afiliada en alguna institución de salud, representa más del 83% del total municipal, por lo que en caso de presentarse una emergencia gran parte de la población tendría acceso a la atención medica requerida.

Para representar espacialmente la distribución de los niveles de vulnerabilidad a nivel manzana y localidad del municipio de Saltillo, se realizó una composición cartográfica. Mediante un SIG, se vincularon los resultados de cada manzana urbana del componente salud con las claves geoestadísticas de las manzanas del Marco Geoestadístico del municipio de Saltillo (INEGI, 2020), de igual manera se vincularon dichos resultados para cada localidad rural del municipio.

Posteriormente se clasificaron las manzanas urbanas y las localidades rurales con base en los grados de vulnerabilidad determinados por la metodología de cálculo de Vulnerabilidad social del CENAPRED (2014), como resultado de este análisis se puede apreciar que en el área urbana de Saltillo, solo existen dos grados de vulnerabilidad para el componente salud correspondientes a baja y muy baja (Mapa 134) mientras que para el resto del municipio el grado bajo se acota a las localidades rurales (Mapa 135).

Mapa 134. Vulnerabilidad social por el componente de salud a nivel manzana urbana en el municipio de Saltillo

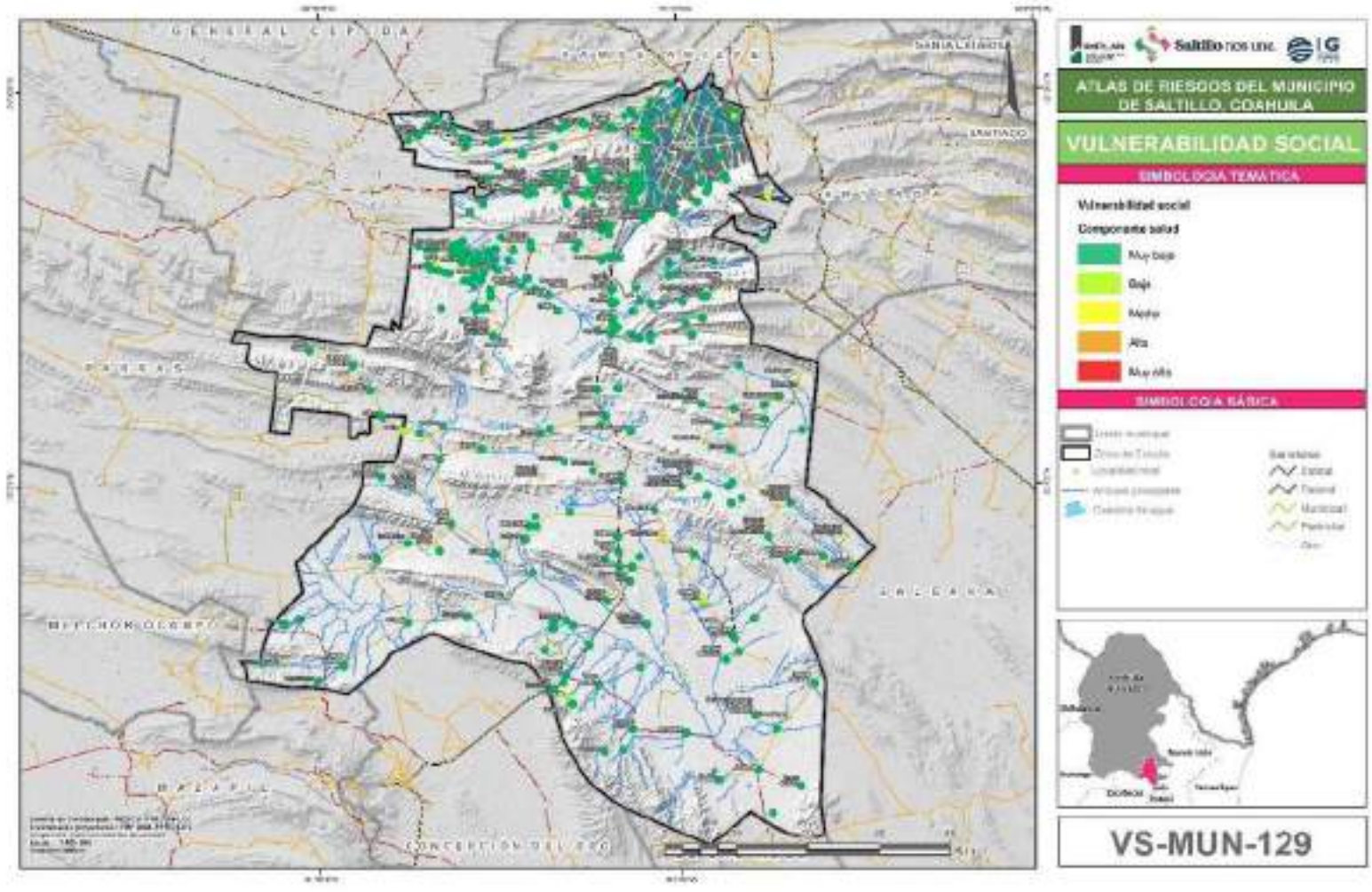


Fuente: elaboración propia con datos del Marco Geoestadístico y Censo de Población Vivienda de INEGI, 2020.

Desde una perspectiva espacial, el grado de vulnerabilidad muy bajo se extiende en la mayor parte del municipio, mientras que el grado de vulnerabilidad bajo solamente se distribuye en ocho localidades rurales, la primer zona donde se ubican la mayor parte de estas localidades se encuentra en la porción norte del municipio, en la periferia de la zona urbana de la cabecera municipal, se trata de las localidades de La parcela 74, El Cerrito de Oro, El cañón, El Mesón y San José de los Cerritos.

Los indicadores del componente salud pueden reflejar las condiciones de salud de la población en un periodo de tiempo, en el caso del municipio de Saltillo muestran una cobertura adecuada y de servicios médicos, así como la accesibilidad de la población a distintas opciones de servicios de salud.

Mapa 135. Vulnerabilidad social para el componente de salud a nivel municipal de Saltillo (localidades rurales)



Fuente: elaboración propia con datos del Marco Geoestadístico y Censo de Población Vivienda de INEGI, 2020.

Componente educación

Las características educativas de la población de un determinado sitio influyen directamente en la adopción de conductas preventivas y de auto protección, además, esta característica podría indicar que hay un mejor conocimiento sobre fenómenos, además de riesgos. La educación que tiene determinada población influye en el bienestar personal.

En la Tabla 121 se muestran los indicadores utilizados para este componente, su método de obtención y la fuente de donde se obtiene la información.

En general el análisis de los tres indicadores obtuvo un grado de vulnerabilidad muy bajo. En la Tabla 122, se desglosan los valores obtenidos para el municipio y los intervalos que CENAPRED establece para obtener el grado de vulnerabilidad para este componente.

Según el Censo de Población y Vivienda 2020 de INEGI, a nivel nacional existe un grado promedio de escolaridad de 9.7 y a nivel estatal es de 10.4, es decir, la población a nivel nacional alcanza un poco más de la secundaria concluida, mientras que en el estado de Coahuila el grado promedio de escolaridad equivale a poco más de primer año de bachillerato. Para el municipio de Saltillo el grado promedio de escolaridad es de 11.02, un equivalente a poco más del segundo año de bachillerato.

Tabla 121.Indicadores del componente educación

Indicador	Procedimiento de elaboración	Fuente de las variables empleadas
Porcentaje de analfabetismo	Se obtiene dividiendo a la población analfabeta de 15 años y más entre el total de la población de ese mismo rango de edad. El resultado se multiplica por cien.	Censo de Población y Vivienda de INEGI, 2020
Porcentaje de la demanda en educación básica. (Porcentaje de población de 3 a 14 años que asiste a la escuela)	Este indicador se estima dividiendo la matrícula de educación básica (preescolar, primaria y secundaria) entre la población de tres a 14 años (o en su defecto de seis a 14 años), que es el rango de edad de asistencia a tales niveles educativos. Para la obtención del porcentaje de la cobertura de la demanda de la educación básica, se toma en cuenta la educación preescolar (a partir de los tres años) en el nivel municipal. Para el caso del análisis espacial a nivel manzana urbana, sólo se toman en cuenta desde la educación primaria hasta la educación secundaria.	
Grado Promedio de Escolaridad	El INEGI elabora este indicador. Lo obtiene de dividir la suma de los años aprobados desde el primero de primaria hasta el último año alcanzado de las personas de 15 años y más entre el total de la población de 15 años y más. Incluye a la población de 15 años y más, excluye a la población de 15 años y más con grados no especificados en algún nivel y a la población con nivel de escolaridad no especificado.	

Fuente: elaboración propia con base en CENAPRED,2014.

El municipio de Saltillo tiene un porcentaje de población analfabeta que apenas alcanza el 1.25%, en comparación con el estado de Coahuila que a nivel nacional, ocupa el tercer lugar con el menor porcentaje de población analfabeta con 1.7%.

Por otra parte, el porcentaje de la demanda en educación básica es de 92.66% a nivel municipal; cabe mencionar que para el análisis a nivel manzana urbana se obtuvo un porcentaje superior (95.76%).

Para el componente de educación se realizó nuevamente una representación espacial de los distintos grados de vulnerabilidad a nivel manzana urbana y localidad rural del municipio; la metodología antes mencionada en el componente de salud, fue utilizada para cada uno de los componentes de vulnerabilidad que son desarrollados.

El resultado del análisis territorial del grado de vulnerabilidad para el componente de educación se representa a nivel manzana urbana en el

Mapa 136, donde se puede apreciar que la zona urbana de Saltillo se compone principalmente de un grado de vulnerabilidad muy bajo, no obstante, se pueden apreciar manzanas con un grado bajo en los límites con el municipio de Arteaga y Ramos Arizpe, además de algunas manzanas en la zona de la periferia sur de la cabecera municipal.

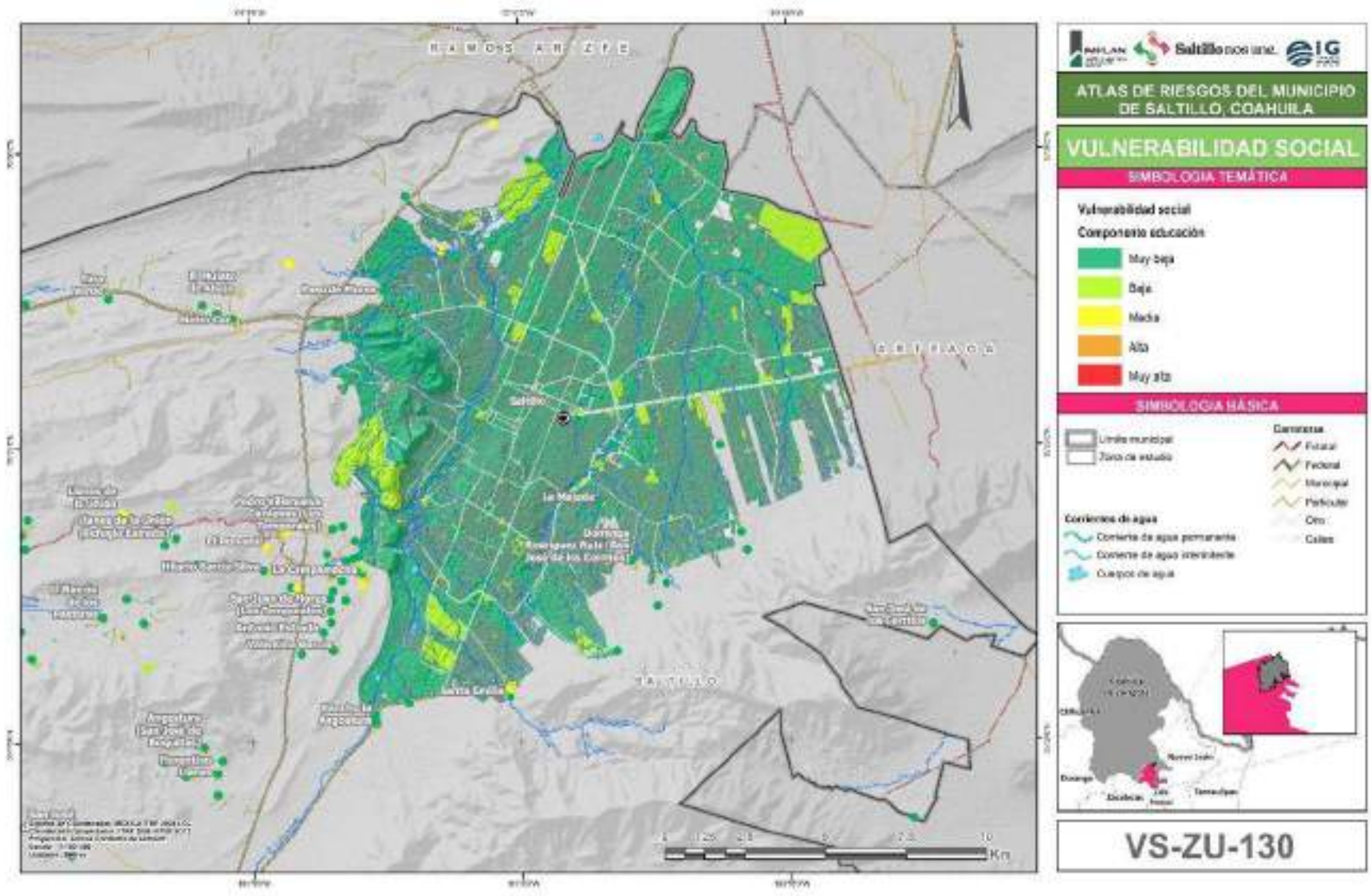
Tabla 122.Indicadores del componente educación del municipio de Saltillo.

Componente	Indicador	Intervalos	Grado de vulnerabilidad	Calificación de vulnerabilidad	Valor del municipio de saltillo	Calificación de vulnerabilidad saltillo
Educación D	Porcentaje de analfabetismo	De 1.07% a 15.85%	Muy bajo	0	1.25%	0
		De 15.86% a 30.63%	Bajo	0.25		
		De 30.64% a 45.41%	Medio	0.50		
		De 45.42% a 60.19%	Alto	0.75		
		60.20% o más	Muy alto	1		

	Porcentaje de la demanda en educación básica. (Porcentaje de población de tres a 14 años que asiste a la escuela)	De 42.72% a 54.17%	Muy alto	1		
		De 54.18% a 65.62%	Alto	0.75		
		De 65.63% a 77.07%	Medio	0.50		
		De 77.08% a 88.52%	Bajo	0.25		
		88.53% o más	Muy bajo	0	92.66%	0
	Grado promedio de escolaridad	De 1 a 3.2	Muy alto	1		
		De 3.3 a 5.4	Alto	0.75		
		De 5.5 a 7.6	Medio	0.50		
		De 7.7 a 9.8	Bajo	0.25		
		De 9.9 o más	Muy bajo	0	11.02	0

Fuente: elaboración propia con base en CENAPRED,2014.

Mapa 136. Vulnerabilidad social por el componente de educación a nivel manzana urbana en el municipio de Saltillo



Fuente: elaboración propia con datos del Marco Geoestadístico y Censo de Población Vivienda de INEGI, 2020.

En el Mapa 137 se representa el resultado de vulnerabilidad para el componente de educación a nivel municipal. En general las localidades de Saltillo presentan un grado de vulnerabilidad bajo; no obstante, existe de manera puntual algunas localidades cuyo grado de vulnerabilidad para este componente llega a ser alto. La distribución espacial se describe a continuación:

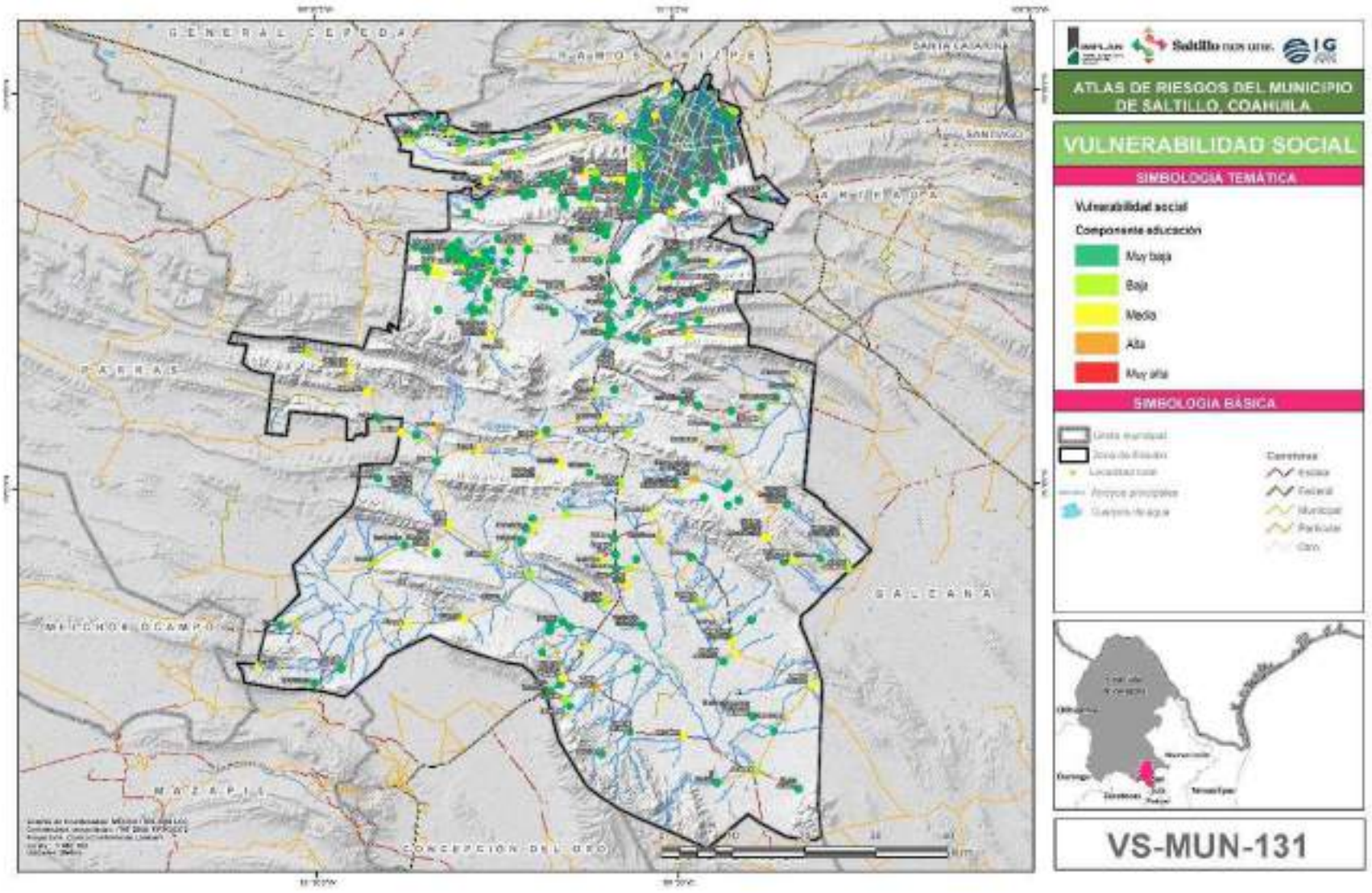
Muy baja: este grado es el de mayo predominancia en el municipio, ya que se compone de 73 localidades.

Baja: consta de 31 localidades distribuidas en todo el municipio.

Media: se distribuye entre 38 localidades y se extienden principalmente en la porción central de Saltillo.

Alta: este grado de vulnerabilidad se limita a cinco localidades, Santa Fe de los Linderos, Tanque Escondido, La Majada y Tinaja, La Puerta y Tinajuela.

Mapa 137.Vulnerabilidad social para el componente de educación a nivel municipal de Saltillo



Fuente: elaboración propia con datos del Marco Geoestadístico y Censo de Población Vivienda de INEGI, 2020.

Componente vivienda

Las características de la vivienda reflejan el grado de exposición y de calidad de vida de determinada población, pues es en ella donde se desarrolla gran parte de la vida. La vulnerabilidad de la vivienda se determina por los materiales de construcción, así como los servicios básicos con los que cuenta, o bien, de los que carece.

En la Tabla 123, se presentan los indicadores que se utilizaron, así como la metodología empleada y las fuentes utilizadas. En tanto que en la Tabla 124 se muestran los intervalos establecidos por el CENAPRED, además del grado de vulnerabilidad que cada uno de ellos representa, también se reporta el valor obtenido para el municipio de Saltillo para cada uno de los indicadores y su calificación de acuerdo con el mismo. En general para los tres indicadores empleados se obtuvo un grado de vulnerabilidad muy bajo.

Tabla 123.Indicadores del componente vivienda

Indicador	Procedimiento de elaboración	Fuente de las variables empleadas
Porcentaje de viviendas sin servicio de agua entubada	Este porcentaje se obtiene de la diferencia del total de viviendas particulares habitadas y el total de viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada, el resultado se divide entre el total de viviendas y se multiplica por cien.	Censo de Población y Vivienda de INEGI, 2020
Porcentaje de viviendas sin servicio de drenaje	Este indicador se adquiere de la diferencia del total de viviendas particulares habitadas y el total de viviendas particulares habitadas que disponen de drenaje. El resultado se divide entre el total de viviendas y se multiplica por cien.	
Porcentaje de viviendas sin servicio de electricidad	Este porcentaje se calcula con la diferencia del total de viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica, el resultado se divide entre el total de viviendas y se multiplica por cien.	
Porcentaje de viviendas con paredes de material de desecho y lámina de cartón*	Se obtiene dividiendo el total de viviendas con paredes de material de desecho y láminas de cartón entre el total de viviendas y multiplicando el resultado por cien.	
Porcentaje de viviendas con piso de tierra	Este indicador se obtiene de la diferencia del total de viviendas habitadas y el total de viviendas con piso de material diferente a tierra, el resultado se divide entre el total de viviendas habitadas y se multiplica por cien.	
Déficit de Vivienda	El déficit de vivienda se obtiene de la diferencia del total de hogares y el total de viviendas particulares habitadas, este resultado representa el número de viviendas faltantes para satisfacer la demanda de hogares. A este resultado se le suman las viviendas	

	construidas con material de desecho y lámina de cartón, así como las viviendas con piso de tierra. El resultado representa tanto las viviendas nuevas que se requieren, sumado a las viviendas que necesitan mejoramiento. Para efectos de la metodología el resultado deberá ser un porcentaje, por lo que a dicho resultado se le debe multiplicar por cien y dividir entre el total de viviendas particulares habitadas.	

Fuente: elaboración propia con base en CENAPRED,2014.

En general, el municipio presenta un grado de vulnerabilidad muy baja obteniendo una calificación de cero en los seis indicadores de este componente. En el caso de los servicios, sobresalen las viviendas sin agua entubada por ser el que mayor porcentaje presenta, 11.48% de las viviendas del municipio carecen de este servicio. En cuanto al acceso al servicio de drenaje es un porcentaje de 9.96%, las viviendas que carecen de energía eléctrica representan poco más del 1.79%.

Respecto a las características y materiales de la vivienda, el porcentaje de viviendas con piso de tierra (0.57%) y viviendas con paredes de material de desecho (1.52%) representan un pequeño porcentaje del municipio; no obstante, son las edificaciones de mayor susceptibilidad ante la presencia de alguna amenaza. Por último, el déficit de vivienda para todo el municipio es apenas de 0.57%.

De igual manera que con los componentes anteriores, la distribución de los distintos grados de vulnerabilidad para este componente se representa espacialmente en una composición cartográfica en el Mapa 138, donde se puede apreciar que predomina un grado muy bajo para las manzanas urbanas y localidades rurales de Saltillo.

Tabla 124.Indicadores del componente vivienda del municipio de Saltillo.

Componente	Indicador	Intervalos	Grado de vulnerabilidad	Calificación de vulnerabilidad	Valor del municipio de saltillo	Calificación de vulnerabilidad Saltillo
Vivienda	Porcentaje de viviendas sin servicio de agua entubada	De 0% a 19.96%	Muy bajo	0	11.48	0
		De 19.97% a 39.92%	Bajo	0.25		
		De 39.93% a 59.88%	Medio	0.50		
		De 59.89% a 79.84%	Alto	0.75		
		79.85% o más	Muy alto	1		
	Porcentaje de viviendas sin servicio de drenaje	De 0% a 20.96%	Muy bajo	0	9.96	0
		De 20.97% a 40.71%	Bajo	0.25		
		De 40.72% a 60.46%	Medio	0.50		
		De 60.47% a 80.21%	Alto	0.75		
		De 80.22% o más	Muy alto	1		
	Porcentaje de viviendas sin servicio de electricidad	De 0% a 19.76%	Muy bajo	0	1.79	0
		De 19.77% a 39.52%	Bajo	0.25		
		De 39.53% a 59.28%	Medio	0.50		
		De 59.29% a 79%.04%	Alto	0.75		
		De 79.05% o más	Muy alto	1		
	Porcentaje de viviendas con paredes de material de desecho y lámina de cartón	De 0% a 3.84%	Muy bajo	0	1.52	0
		De 3.85% a 7.68%	Bajo	0.25		
		De 7.69% a 11.52%	Medio	0.50		
		De 11.53% a 15.36%	Alto	0.75		
		De 15.37% o Más	Muy alto	1		
	Porcentaje de viviendas con piso de tierra	De 1.52% a 20.82%	Muy bajo	0	0.57	0
		De 20.83% a 40.12%	Bajo	0.25		
		De 40.13% a 59.42%	Medio	0.50		
		De 59.43% a 78.72%	Alto	0.75		
		De 78.73% o más	Muy alto	1		

Componente	Indicador	Intervalos	Grado de vulnerabilidad	Calificación de vulnerabilidad	Valor del municipio de saltillo	Calificación de vulnerabilidad Saltillo
	Déficit de Vivienda	De 1.63% a 13.72%	Muy bajo	0	0.57	0
		De 13.73% a 25.81%	Bajo	0.25		
		De 25.82% a 37.90%	Medio	0.50		
		De 37.91% a 49.99%	Alto	0.75		
		De 50% o más	Muy alto	1		

Fuente: elaboración propia con base en CENAPRED,2014.

Mapa 138. Vulnerabilidad social por el componente de vivienda a nivel manzana urbana en el municipio de Saltillo

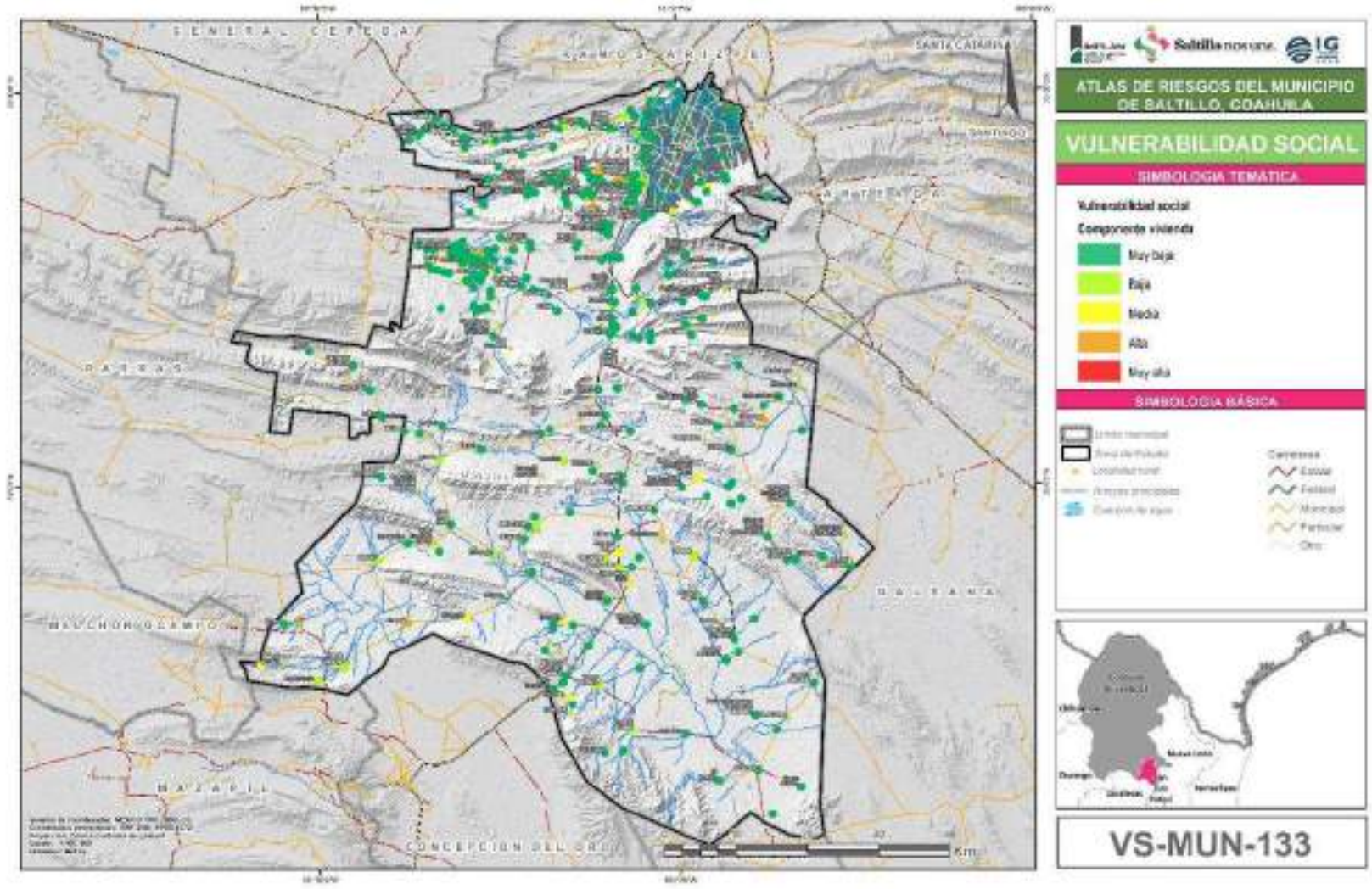
Fuente: elaboración propia con datos del Marco Geoestadístico y Censo de Población Vivienda de INEGI, 2020.

En el resultado a nivel manzana urbana se destaca el grado de vulnerabilidad muy baja; pese a esto, existen algunas manzanas con grado muy alto localizadas en la porción oeste y suroeste de la localidad de Saltillo, estas colindan con localidades rurales como José Torres, Efraín Gutiérrez y Padres Santos segunda sección, Ampliación Rincón de los Pastores.

El estado de Coahuila posee una cobertura del 92.5% de viviendas con agua entubada dentro de la vivienda, 99.5% de las viviendas con energía eléctrica y 89.1% tienen drenaje conectado a la red pública, se podría decir, que las características y porcentajes a nivel municipal son similares.

Respecto a la distribución espacial del componente vivienda a nivel localidad urbana, existe una mayor proporción de localidades con un grado de vulnerabilidad muy bajo, mientras que el grado de vulnerabilidad alto es el de menor presencia, se limita a las localidades rurales de El Porvenir, El Rayado, Cumbres y Humberto Nuncio García.

Mapa 139.Vulnerabilidad social para el componente de vivienda del municipio de Saltillo



Fuente: elaboración propia con datos del Marco Geoestadístico y Censo de Población Vivienda de INEGI, 2020.

Componente empleo e ingresos

Este componente proporciona elementos sobre el empleo y los ingresos, considerando estos fundamentales para determinar el grado de vulnerabilidad social ya que proporcionan la base económica necesaria para acceder a recursos, así como servicios esenciales, mejorar el bienestar general, además de fortalecer las redes de apoyo comunitario; todos estos factores son clave para reducir la vulnerabilidad social. En la Tabla 125 se muestran los indicadores utilizados.

En general el análisis de los tres indicadores arrojó un grado de vulnerabilidad muy bajo para el territorio municipal. En la Tabla 125, se presentan los indicadores analizados y los intervalos que el CENAPRED establece para obtener el grado de vulnerabilidad para este componente. Mientras que en la Tabla 126, se presentan los valores obtenidos para el municipio de Saltillo.

Según el Censo de Población y Vivienda 2020 de INEGI, a nivel estatal existen 50 personas en edad de dependencia por cada 100 en edad productiva, para Coahuila de Zaragoza la razón de dependencia es de 50.5, mientras que para el municipio de Saltillo la razón de dependencia es de 48.6, una cifra muy similar.

Respecto al población ocupada con ingresos de hasta dos salarios mínimos el CONEVAL (2020) indica que el municipio de Saltillo tiene un 47.02% y la tasa de desempleo abierto del municipio se encuentra en un valor muy bajo de apenas 2.06.

Tabla 125.Indicadores del componente empleo e ingresos

Indicador	Procedimiento de elaboración	Fuente de las variables empleadas
Porcentaje de la población económicamente activa que recibe ingresos de menos de dos salarios mínimos*	El indicador se calcula al dividir a la Población Económicamente Activa (PEA) que recibe hasta dos salarios mínimos entre el total de la PEA y el resultado se multiplica por cien. Este indicador lo estima el INEGI.	Censo de Población y Vivienda de INEGI, 2020 Información de la Encuesta intercensal de INEGI, 2015. (Nivel municipal) Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social (CONEVAL, 2022)
Razón de Dependencia	La razón de dependencia se obtiene de la suma del total de las personas que por su edad se consideran como dependientes (menores de 15 años y mayores de 64 años) entre el total de personas que por su edad se identifican como económicamente productivas (mayores de 15 años y menores de 64 años), y dicho resultado se multiplica por cien.	
Tasa de desempleo abierto	Para calcular la Tasa de Desempleo Abierto se debe dividir el número de personas desocupadas (sin empleo) entre la PEA y multiplicar el resultado por cien.	

Fuente: elaboración propia con base en CENAPRED,2014.

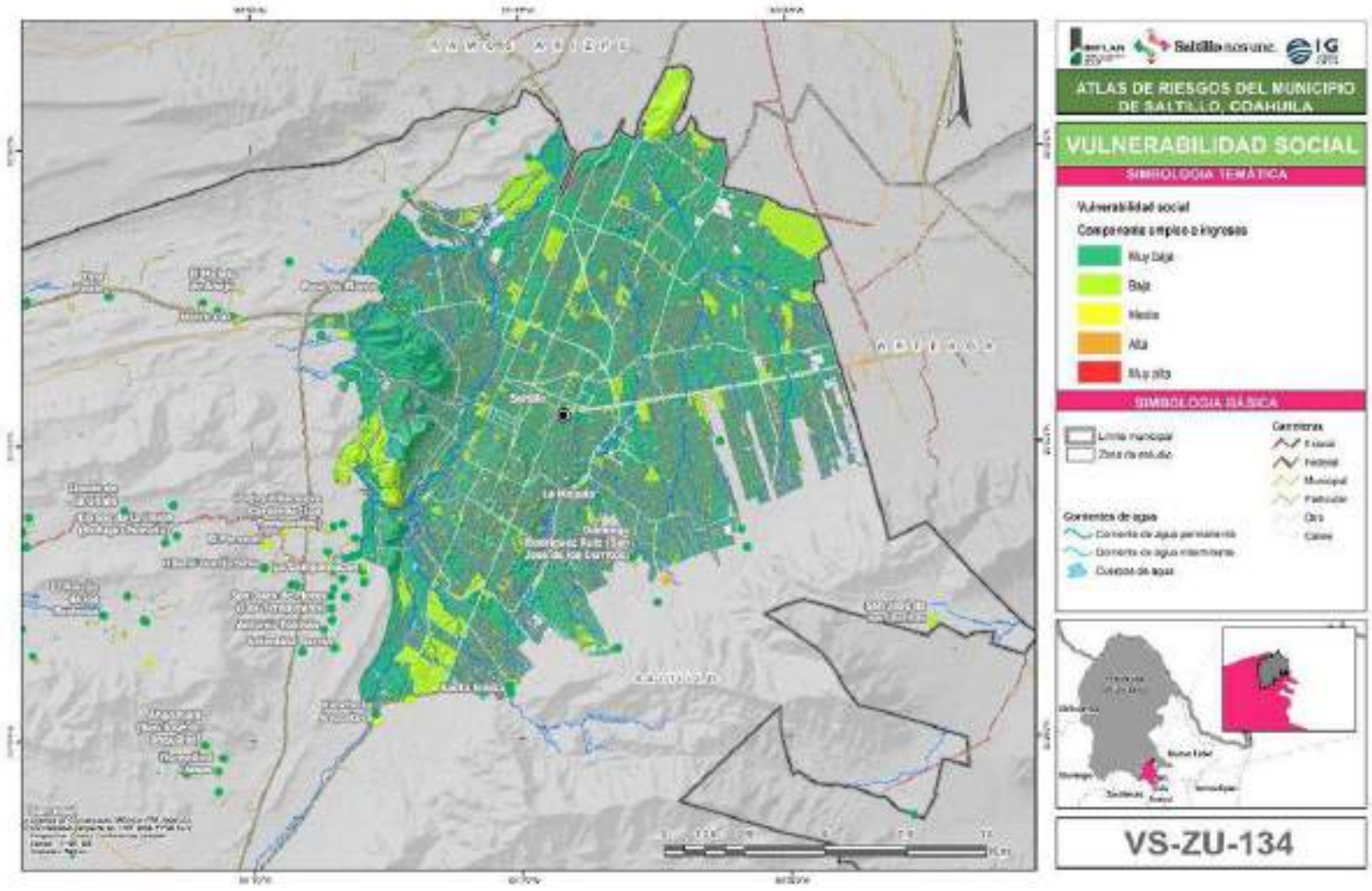
Tabla 126.Indicadores del componente educación del municipio de Saltillo

Componente	Indicador	Intervalos	Grado de vulnerabilidad	Calificación de vulnerabilidad	Valor del municipio de saltillo	Calificación de vulnerabilidad saltillo
Empleo e ingresos D	Porcentaje de la población económicamente activa que recibe ingresos de menos de dos salarios mínimos	De 0% a 34.50%	Muy bajo	0		
		De 34.51% a 50.59%	Bajo	0.25	47.02	0.25
		De 50.60% a 66.68%	Medio	0.50		
		De 66.69% a 82.77%	Alto	0.75		
		De 82.78% o más	Muy alto	1		
	Razón de Dependencia	De 30 a 57.69	Muy bajo	0	48.6	0
		De 57.70 a 77.66	Bajo	0.25		
		De 77.67 a 97.63	Medio	0.50		
		De 97.64 a 117.60	Alto	0.75		
		117.61 o más	Muy alto	1		
	Tasa de desempleo abierto	De 0% a 3.09	Muy bajo	0	2.06	0
		De 3.10 a 6.18	Bajo	0.25		
		De 6.19 a 9.27	Medio	0.50		
		De 9.28 a 12.36	Alto	0.75		
		12.37 o más	Muy alto	1		

Fuente: elaboración propia con base en CENAPRED,2014.

El resultado del análisis territorial del grado de vulnerabilidad para el componente empleo e ingresos se representa a nivel manzana urbana en el Mapa 131 donde se puede apreciar que la zona urbana de Saltillo se compone principalmente de un grado de vulnerabilidad muy bajo; no obstante, se pueden apreciar manzanas con un grado bajo en los límites con el municipio de Arteaga y Ramos Arizpe, además de algunas manzanas en la zona de la periferia sur de la cabecera municipal.

Mapa 140. Vulnerabilidad social por el componente de empleo e ingresos a nivel manzana urbana en el municipio de Saltillo

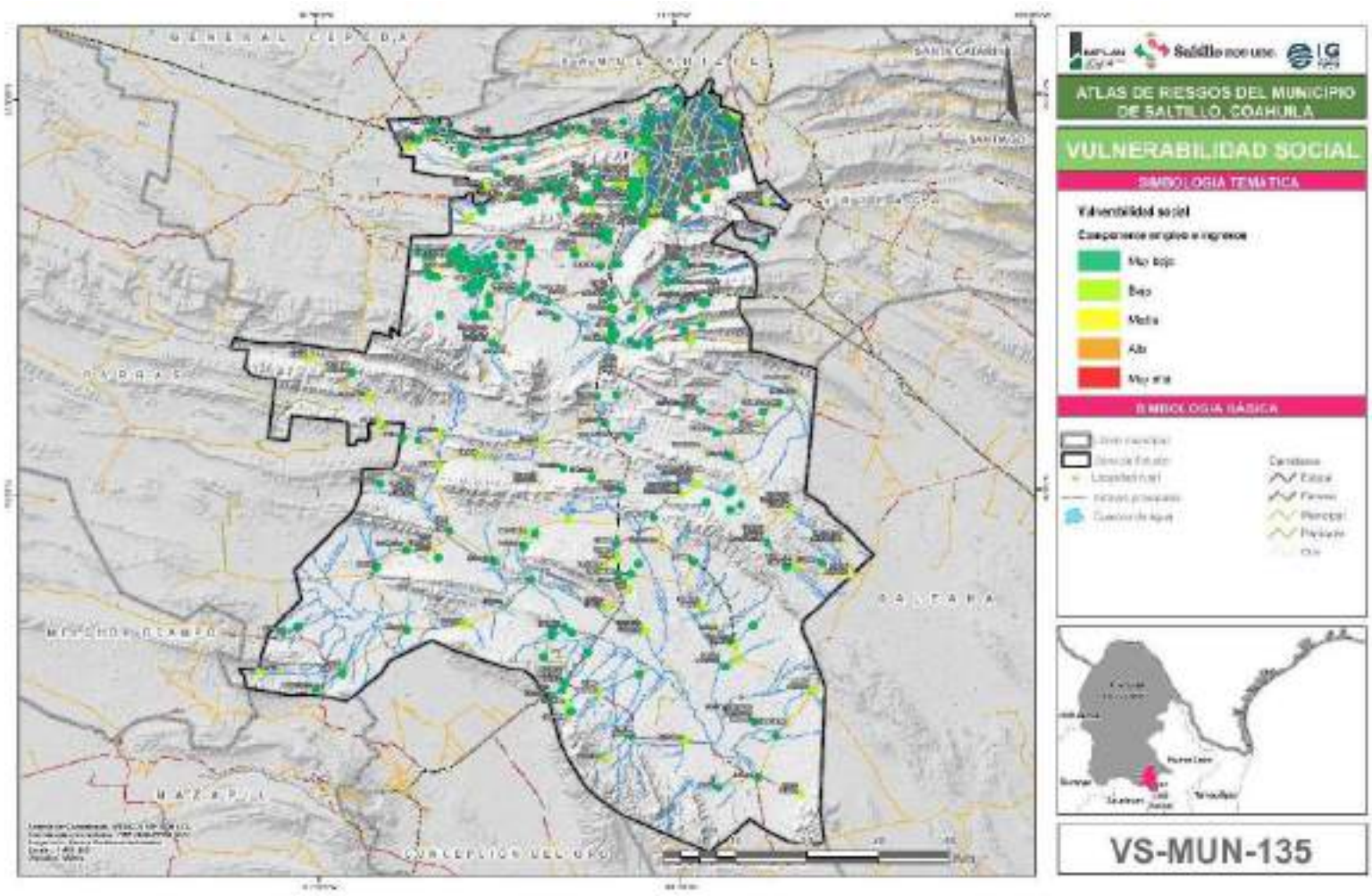


Fuente: elaboración propia con datos del Marco Geoestadístico y Censo de Población Vivienda de INEGI, 2020.

En el Mapa 141 se representa el resultado de vulnerabilidad para el componente de empleo e ingresos a nivel municipal. En general las localidades de Saltillo presentan un grado de vulnerabilidad muy bajo; pese a esto, existe de manera puntual algunas localidades cuyo grado de vulnerabilidad para este componente llega a ser bajo y medio. La distribución espacial se describe a continuación:

- Muy baja: este grado es el de mayo predominancia en el municipio, ya que se compone de 232 localidades.
- Baja: consta de 53 localidades distribuidas en todo el municipio
- Media: se acota a dos localidades, La Angostura (Salvador Huerta Lara) y San José del Alamito.
- Alta: este grado de vulnerabilidad se limita a la localidad de Jardines de Zapalinamé

Mapa 141. Vulnerabilidad social para el componente de empleo e ingresos a nivel municipal de Saltillo



Fuente: elaboración propia con datos del Marco Geoestadístico y Censo de Población Vivienda de INEGI, 2020.

Componente población

La distribución espacial de la población en México representa uno de los principales desafíos de desarrollo, según el Consejo Nacional de Población (CONAPO). Por un lado, hay aproximadamente 3 mil 772 áreas urbanizadas donde residen cerca de 86.4 millones de personas; por otro, alrededor de 26 millones de personas viven dispersas en 188 mil localidades que cuentan con menos de 2 mil 500 habitantes.

Esta disparidad genera diferencias sustanciales en las condiciones de vida, la cobertura de servicios, los niveles de marginación y rezago, así como en las características poblacionales, además de económicas de estas áreas. Estas desigualdades contribuyen a profundizar las diferencias entre las regiones del país y dentro de ellas mismas, afectando la cohesión social, también el acceso equitativo a oportunidades de desarrollo (INAFED, 2024).

Este componente identifica condiciones de dispersión y concentración poblacional dentro del municipio, así como el porcentaje que representa la población de habla indígena, ya que al ser grupos étnicos cuyas condiciones de vida se asocian tanto a diferencias culturales, como sociales, representan uno de los grupos más vulnerables, además de marginados en relación con la población mayoritaria.

La Tabla 127 muestra los indicadores a utilizar y posteriormente la Tabla 128 los datos obtenidos para cada indicador, así como su clasificación correspondiente.

Tabla 127.Indicadores del componente población

Indicador	Procedimiento de elaboración	Fuente de las variables empleadas
Densidad de población	Se obtiene de dividir el total de la población de un determinado territorio entre la superficie de este. El resultado indica el número de habitantes por kilómetro cuadrado (nivel municipal) o por hectárea (nivel urbano, análisis espacial) según la unidad de medida de la superficie territorial.	Censo de Población y Vivienda de INEGI, 2020
Porcentaje de población de habla indígena	Se obtiene de dividir a la población de cinco años y más que habla alguna lengua indígena entre el total de la población de cinco años y más, el resultado se multiplica por cien. El INEGI establece que para considerar a una población predominantemente indígena al menos el 40% de la población debe hablar alguna lengua indígena.	
Dispersión poblacional	La dispersión poblacional se calcula con el porcentaje de personas con respecto al total de la población de un territorio que habitan en localidades pequeñas, el INEGI consideran localidades pequeñas a las menores de 2 mil 500 habitantes.	

Fuente: elaboración propia con base en CENAPRED,2014.

A nivel nacional, el estado de Coahuila de Zaragoza es uno de los que poseen menor porcentaje de población hablante de lengua indígena, con apenas 0.19% de hablantes. Para Saltillo este porcentaje representa 0.26% del total de población municipal; las lenguas indígenas más frecuentes son náhuatl (31.0%) y Zapoteco (10.8%), cabe destacar que la población que no habla español de los hablantes de lengua indígena es de 0.55%.

Por otra parte, la densidad de población a nivel estatal es de 20.8 Hab/km^2, mientras que el municipio de Saltillo tiene una densidad de población de 156.6 habitantes por kilómetro cuadrado y representa 28% de la población estatal.

Esta alta densidad genera una mayor demanda de servicios públicos, como agua, electricidad, transporte y salud, lo que puede llevar a una saturación de la infraestructura en áreas densamente pobladas. Por el contrario, las zonas rurales o con baja densidad suelen enfrentar un déficit en la cobertura de servicios básicos, lo que exacerba las desigualdades regionales.

Respecto a la dispersión poblacional en las localidades de menos de 2 mil 500 habitantes, es principalmente muy baja, mientras que para las dos localidades rurales con mayor población es baja, siendo estas Agua nueva (0.177) y San Juan de la Vaquería(0.15).

En el Mapa 142 se representa los distintos niveles de vulnerabilidad para el componente de población en la localidad de Saltillo a nivel manzana urbana. Se puede apreciar que predomina el nivel de susceptibilidad bajo, mientras que el valor alto se concentra en la zona céntrica de la zona urbana, así como sobre las principales vialidades, sitios donde el tamaño de las manzanas es reducido y concentra un mayor número de habitantes, es decir, son manzanas con alta densidad poblacional.

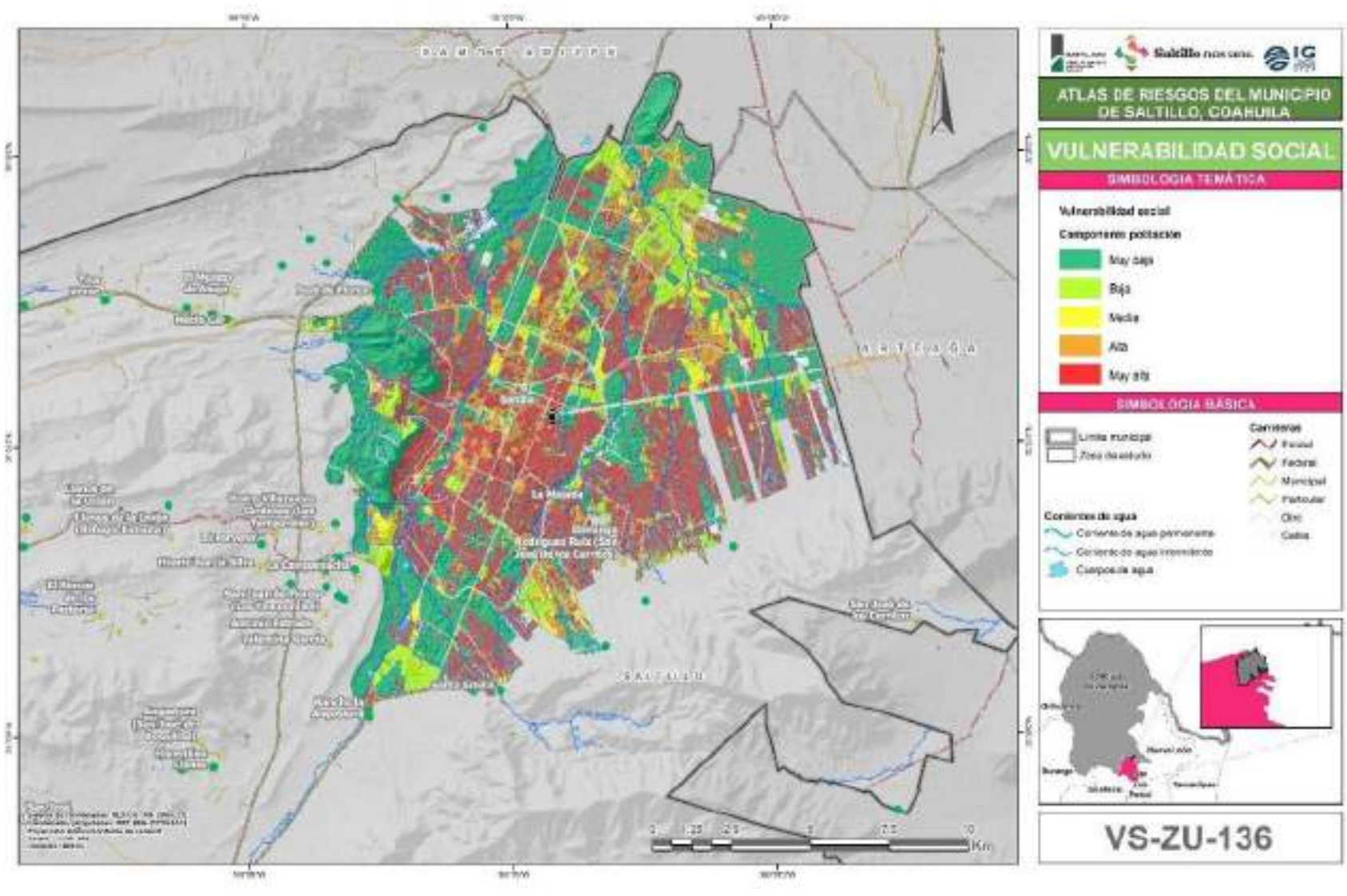
Tabla 128.Indicadores del componente población del municipio de Saltillo.

Componente	Indicador	Intervalos	Grado de vulnerabilidad	Calificación de vulnerabilidad	Valor del municipio de Saltillo	Calificación de vulnerabilidad Saltillo
Población	Densidad de población	De un a 99 habitantes por km^2	Muy bajo	0		
		De 100 a 499 habitantes por km^2	Bajo	0.25	156.6	0.25
		De 500 a 999 habitantes por km^2	Medio	0.50		
		De mil a 4 mil 999 habitantes por km^2	Alto	0.75		
		Más de 5 mil habitantes por km^2	Muy alto	1		

	Porcentaje de población de habla indígena	Más del 40% de la población	Predominantemente indígena	1		
		Menos del 40% de la población	Predominantemente no indígena	0	0.26	0
	Dispersión poblacional	De 0 a 9.9	Muy bajo	0	0.9	0
		De 10 a 19.9	Bajo	0.25		
		De 20 a 29.9	Medio	0.50		
		De 30 a 39.9	Alto	0.75		
		40 o más	Muy alto	1		

Fuente: Elaboración propia con base en CENAPRED,2014.

Mapa 142. Vulnerabilidad social por el componente de población a nivel manzana urbana en el municipio de Saltillo



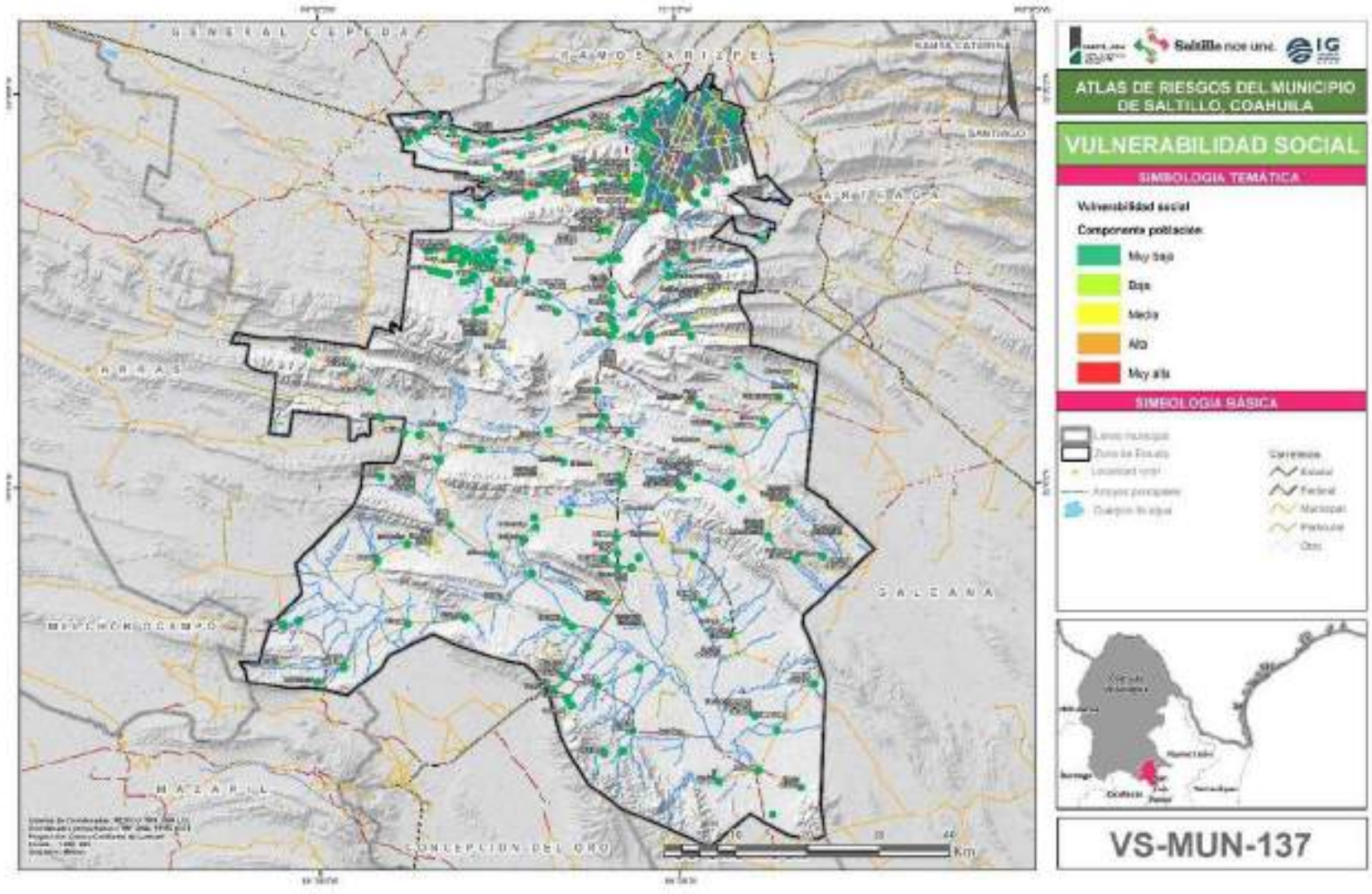
Fuente: elaboración propia con datos del Marco Geoestadístico y Censo de Población Vivienda de INEGI, 2020.

En el

Mapa 143 se representa el resultado de vulnerabilidad para el componente de población a nivel municipal. En general las localidades de Saltillo presentan un grado de vulnerabilidad muy bajo, no obstante, existe de manera puntual algunas localidades cuyo grado de susceptibilidad para este componente llega a ser muy alto. La distribución espacial se describe a continuación:

- Muy baja: este grado es el de mayo predominancia en el municipio, en casi todas las localidades rurales, principalmente es debido a la dispersión poblacional y el bajo porcentaje de población hablante indígena.
- Muy alta: este tipo de vulnerabilidad se acota principalmente a la zona urbana en la localidad de Saltillo y las localidades rurales de Agua Nueva y San Juan de la Vaquería, al concentrar una mayor dispersión poblacional.

Mapa 143. Vulnerabilidad social para el componente de población a nivel municipal de Saltillo



Fuente: elaboración propia con datos del Marco Geoestadístico y Censo de Población Vivienda de INEGI, 2020.

En lo general, el análisis revela una baja vulnerabilidad en la mayoría de los indicadores, especialmente en el área urbana de Saltillo. Sin embargo, ciertas localidades rurales muestran niveles más altos de susceptibilidad, principalmente en cuanto a acceso a servicios básicos y dispersión poblacional.

El componente de salud muestra una cobertura adecuada, con un bajo grado de vulnerabilidad en términos de médicos, así como médicas por cada mil habitantes y tasa de mortalidad infantil, aunque el número de personal médico sigue siendo inferior al recomendado por la OMS. En cuanto a educación, Saltillo destaca por su alto nivel de escolaridad, con solo el 1.25% de analfabetismo, reflejando un nivel muy bajo de vulnerabilidad en la mayoría del territorio.

El análisis del componente de vivienda muestra que un porcentaje significativo de las viviendas carece de servicios como agua entubada, aunque el acceso a electricidad y drenaje es mayoritariamente alto. Las características de los domicilios en Saltillo reflejan un nivel bajo de vulnerabilidad, con pocos casos de viviendas construidas con materiales precarios.

En términos de empleo e ingresos, la tasa de desempleo es baja y la mayoría de la población económicamente activa tiene ganancias de hasta dos salarios mínimos, lo que contribuye a la baja vulnerabilidad económica en el municipio.

Finalmente, la densidad de población es significativamente más alta en Saltillo que a nivel estatal, lo que genera una mayor demanda de servicios públicos en el área urbana. En contraste, las zonas rurales presentan desafíos como la dispersión poblacional, así como un menor acceso a servicios básicos, lo que aumenta su vulnerabilidad. En general, el municipio de Saltillo muestra una distribución desigual en cuanto a vulnerabilidad social, con el área urbana mejor equipada y las rurales en mayor desventaja.

Capacidad de respuesta y percepción local del riesgo

La segunda parte de la metodología para calcular la vulnerabilidad social, se enfoca tanto en la capacidad de prevención, como en la de respuesta, la cual se refiere a la preparación de las autoridades, así como de la población antes y después de un evento.

El principal objetivo en esta segunda parte es evaluar de forma general el grado en el que se encuentra capacitado el encargado de la protección civil en el municipio para incorporar conductas preventivas, además de ejecutar tareas para la atención de la emergencia, lo cual complementará el grado de vulnerabilidad social, según los indicadores descritos anteriormente.

Esta parte consta de un cuestionario cuya importancia radica en el conocimiento de los recursos, programas y planes con los que dispone la Unidad de Protección Civil Municipal en caso de una emergencia, por lo que está dirigido al responsable de ésta.

Dentro de los problemas comunes ocasionados al presentarse un desastre se encuentran: el desplazamiento de la población, las enfermedades transmisibles, problemas de alimentación, así como nutrición; suministro de agua, además de saneamiento y el daño a la infraestructura de viviendas, centros educativos, vías de comunicación, servicios públicos básicos, presas, también áreas de cultivo entre otros. Tomando en cuenta los efectos anteriores, tanto la capacidad de prevención, como de respuesta se deben considerar acciones para planificar, organizar y mejorar las condiciones existentes frente a los posibles efectos de los eventos adversos.

Capacidad de respuesta

Conforme a los resultados obtenidos en la aplicación de dicho cuestionario a los funcionarios de la Dirección de Protección Civil de Saltillo, se obtuvo un resultado de 27 participantes. A continuación, se muestra la plantilla de las preguntas que se incluyen en el cuestionario y el resultado obtenido de cada una para el municipio de Saltillo, así como el valor final obtenido para la capacidad de respuesta.

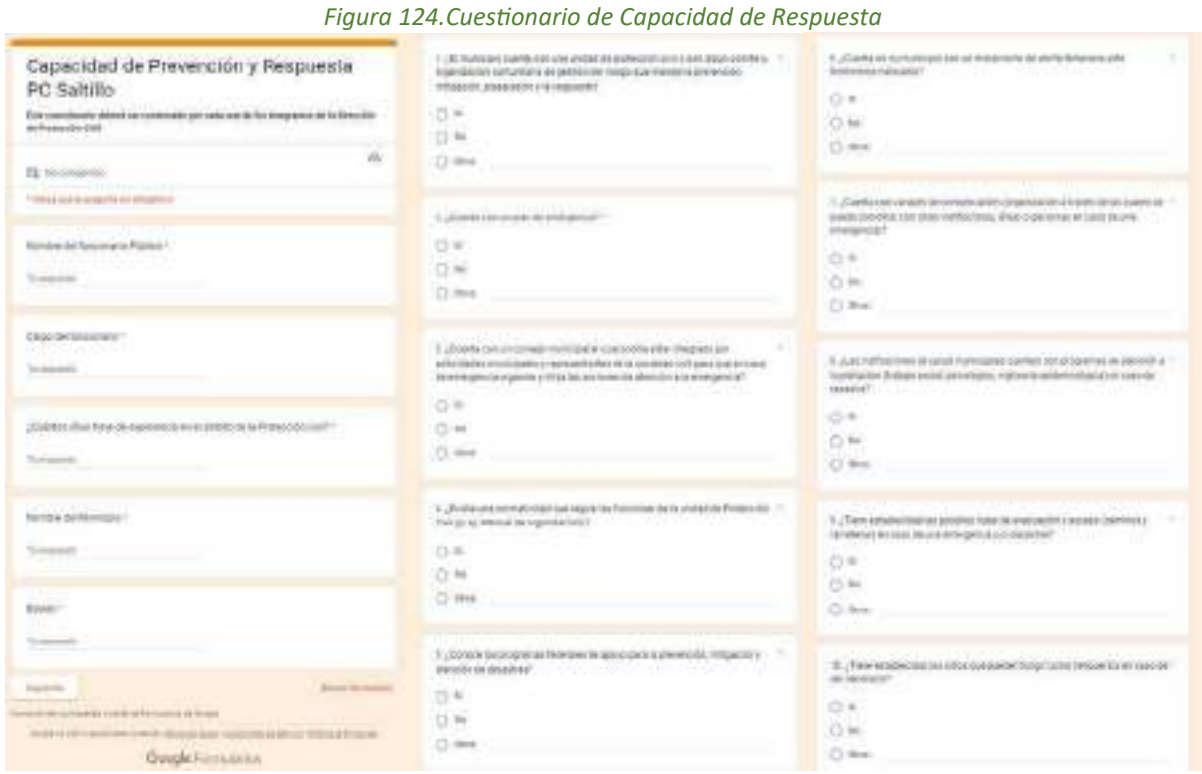
Tabla 129.Cuestionario de Capacidad de respuesta.

Pregunta	Puntaje obtenido
1. ¿El municipio cuenta con una unidad de protección civil o con algún comité u organización comunitaria de gestión del riesgo que maneje la prevención, mitigación, preparación y la respuesta?	0.037037037
2. ¿Cuenta con un plan de emergencia?	0.259259259
3. ¿Cuenta con un consejo municipal el cual podría estar integrado por autoridades municipales y representantes de la sociedad civil para que en caso de emergencia organice y dirija las acciones de atención a la emergencia?	0.185185185
4. ¿Existe una normatividad que regule las funciones de la unidad de Protección Civil (p. ej. Manual de organización)?	0.148148148
5. ¿Conoce los programas federales de apoyo para la prevención, mitigación y atención de desastres?	0.375
6. ¿Cuenta en su municipio con un mecanismo de alerta temprana ante fenómenos naturales?	0.185185185
7. ¿Cuenta con canales de comunicación (organización a través de las cuales se pueda coordinar con otras instituciones, áreas o personas en caso de una emergencia)?	0.153846154
8. ¿Las instituciones de salud municipales cuentan con programas de atención a la población (trabajo social, psicológico, vigilancia epidemiológica) en caso de desastre?	0.333333333
9. ¿Tiene establecidas las posibles rutas de evacuación y acceso (caminos y carreteras) en caso de una emergencia y/o desastre)?	0.259259259
10. ¿Tiene establecidos los sitios que pueden fungir como helipuertos en caso de ser necesario?	0.518518519
11. ¿Tiene ubicados los sitios que pueden funcionar como refugios temporales en caso de desastre?	0
12. ¿Tiene establecido un stock de alimentos, cobertores, colchonetas y pacas de láminas (cartón, asbesto, metálicas, etc) para casos de emergencia?	0.111111111
13. ¿Tienen establecido un vínculo con centros de asistencia social (DIF, DICONSA, LICONSA, etc.) para la operación de los albergues y distribución de alimentos, cobertores, etc.?	0.083333333
14. ¿Se llevan a cabo simulacros en las distintas instituciones (escuelas, centros de salud, etc.) sobre qué hacer en caso de una emergencia y promueve un Plan Familiar de Protección Civil?	0
15. ¿Cuenta con un número de personal activo?	0
16¿Cuántas personas conforman el equipo de PC municipal?	0
17. ¿El personal está capacitado para informar sobre qué hacer en caso de una emergencia?	0.125
18. ¿Cuenta con mapas o croquis de su localidad que tengan identificados puntos críticos o zonas de peligro?	0
19. ¿Cuenta con el equipo necesario en su unidad para la comunicación tanto para recibir como para enviar información (computadora, internet, fax, teléfono, etc.)?	0.083333333
20. ¿Cuenta con acervos de información históricos de desastres anteriores y las acciones que se llevaron a cabo para atenderlos?	0.291666667
21. ¿Cuenta con equipo para comunicación estatal y/o municipal (radios fijos, móviles y/o portátiles)?	0
22. ¿Cuenta con algún Sistema de Información Geográfica (SIG) para procesar y analizar información cartográfica y estadística con el fin de ubicar con coordenadas geográficas los puntos críticos en su localidad?	0
23. ¿Cuenta con algún equipo de Geoposicionamiento Global (GPS) para georreferenciar puntos críticos en su localidad?	0
24¿Existe un módulo de la Cruz Roja en su municipio separado de la dirección de PC?	0
25. ¿Existe un cuerpo de bomberos municipal separado de la dirección de PC?	0.416666667
Capacidad de respuesta final	0.148578466

Fuente: elaboración propia IGg-UNAM 2024.

El cuestionario consta de 25 reactivos, la liga donde se aloja es https://forms.gle/shYAxxgm81hrw4Gw7. En la Figura 124 se presenta una vista previa del mismo, donde se aprecia la estructura de este y las primeras preguntas que sirvieron para registrar la identidad de los funcionarios públicos que contestaron, así como algunas de las interrogantes antes mencionadas.

Figura 124.Cuestionario de Capacidad de Respuesta



Fuente: elaboración propia IGg UNAM-2024.

Percepción local del riesgo

La tercera parte para el cálculo de la vulnerabilidad social, también consta de un cuestionario y se refiere a la percepción local de riesgo, es decir, el imaginario colectivo que tiene la población acerca de las amenazas que existen en su comunidad, así como de su grado de exposición frente a las mismas.

Para complementar la metodología se incluye un cuestionario de 25 preguntas que dan de manera muy general un panorama de la percepción de la población acerca del riesgo. En este caso, la importancia de las preguntas se enfoca tanto a la percepción de los peligros en su entorno, así como a la manera en que consideran las acciones preventivas en su comunidad, además de la información o preparación que poseen acerca de cómo enfrentar una emergencia.

Las preguntas del cuestionario se diseñaron con el objetivo de que a cada respuesta se le pudiera asignar un valor entre cero y uno. Los rangos en algunos casos son distintos según la naturaleza de la pregunta, sin embargo, el valor de las respuestas se situará entre los rangos establecidos para las dos fases anteriores.

En la Figura 125 se presentan una captura de pantalla como ejemplo del llenado del cuestionario en línea. Es posible visualizar dicho cuestionario en la liga:

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfCApYUyqa2ldWq_RN9m9yK4oHqeP9DRW7CYkFBLJ-uzOnD6w/closedform.

Figura 125. Cuestionario de percepción local del riesgo



Fuente: elaboración propia UNAM-IGg 2024.

La Tabla 130 muestra la adaptación de los 25 reactivos del cuestionario de percepción local del CENAPRED, con los respectivos rangos de vulnerabilidad que le fueron asignados a cada una de las distintas respuestas posibles. Adicionalmente se incluye una columna con el valor total resultante para cada una de las preguntas, cabe destacar que se obtuvieron 4 mil 20 cuestionarios respondidos para este tercer bloque, por loque se considera una amplia participación para el cálculo de la percepción de la ciudadanía en relación con el peligro y exposición a los diferentes peligros en su territorio.

Tabla 130.Cuestionario de percepción local del riesgo.

	Valores de respuesta y su rango de vulnerabilidad		
Pregunta	**Valor**	**Rango**	**Total**
¿Considera que un fenómeno natural se puede convertir en desastre?	Sí	1	0.05621891
	No sé	0	
	No	0	
¿Considera que su vivienda está localizada en un área susceptible de peligro o riesgo (que se encuentre en una ladera, en una zona sísmica, en una zona inundable, industrial, etc.)?	Sí	1	0.7880597
	No	0	
¿Ha sufrido la perdida de algún bien a causa de un desastre natural?	Sí	1	0.91293532
	No	0	
En caso de que recuerde algún desastre, los daños que se presentaron en su comunidad fueron:	Altos (personas fallecidas, daño total en muchas viviendas y daños graves a la infraestructura pública)	0.75	0.29776119
	Medios (personas fallecidas, algunas viviendas con daño total y daños a infraestructura pública)	0.5	
	Bajos (ninguna fatalidad daños leves a viviendas e infraestructura)	0.25	
¿Alguna vez se ha quedado aislada su comunidad a causa de la interrupción de vías de comunicación, por algunas horas, debido a algún tipo de fenómeno?	Sí	1	0.69378109
	No	0	
¿Cree que en su comunidad se identifican riesgos?	Sí	1	0.56268657
	No	0	
¿Conoce algún programa, obra o institución que ayude a disminuir efectos de fenómenos naturales (construcción de bordos, presas, terrazas, sistema de drenaje, sistema de alertamientos, etc.)?	Sí	1	0.67711443
	No	0	
¿En los centros educativos de su localidad o municipio se enseñan temas acerca de las consecuencias que trae consigo un fenómeno natural o antropogénico (provocado por el hombre)?	Sí	1	0.40945274
	No	0	
¿Alguna vez en su comunidad se han llevado a cabo campañas de información acerca de los peligros existentes?	Sí	1	0.63681592
	No	0	
En caso de haberse llevado campañas de información. ¿Cómo se enteró?	A través de medios digitales (radio, televisión, redes sociales, internet)	1	0.64154229
	A través de medios digitales (radio, televisión, redes sociales, internet)	0.5	
	No ha habido campañas	0	
¿Ha participado en algún simulacro en alguna ocasión?	Sí	1	0.310199
	No	0	
¿Sabe a quién o a donde acudir en caso de una emergencia?	Sí	1	0.28084577
	No	0	
¿Sabe si existe en su comunidad un sistema de alertamiento para avisar a la población sobre alguna emergencia?	Sí	1	0.70323383
	No	0	
En caso de haber sido afectado a causa de un fenómeno natural. ¿Se le brindó algún tipo de apoyo?	Sí	1	0.70174129
	No	0	
¿Ha sido evacuado a causa de un fenómeno natural (inundación, sismo, erupción, deslizamiento, etc.)?	Sí	1	0.89651741
	No	0	
De acuerdo con su experiencia. ¿Considera que su comunidad está lista para afrontar una situación de desastre tomando en cuenta las labores de prevención?	Sí	1	0.71641791
	No	0	
¿Existe en su comunidad/localidad/municipio alguna organización que trabaje en la atención de desastres?	Sí	1	0.45646766
	No	0	
¿Conoce la existencia de la unidad de protección civil municipal?	Sí	1	0.20970149
	No	0	
¿Sabe dónde está ubicada y qué función desempeña la unidad de protección civil municipal?	Sé donde se encuentra y sé lo que hace	1	0.43395522
	Sé que hace, pero no sé dónde se encuentra	0.5	
	No sé dónde se encuentra y no sé lo que hace	0	
	Sí	1	0.63233831

¿Estaría usted preparado para enfrentar otro desastre como el que enfrentó?	No	0	
¿Considera que su comunidad puede afrontar una situación de desastre y tiene la información necesaria?	Sí	1	0.62636816
	No	0	
Según su percepción y conocimiento. ¿Qué tanto puede ayudar la unidad de protección civil ante una situación de desastre?	Nada	0	0.25665423
	Poco	0.25	
	Suficiente	5	
	Mucho	1	
De acuerdo con su conocimiento. ¿La unidad de protección civil puede afrontar una situación de desastre y tiene la información necesaria?	Sí	1	0.27661692
	No	0	
¿Si usted tuviera la certeza de que su vivienda se encuentra en peligro estaría dispuesto a reubicarse?	Sí	1	0.17512438
	No	0	
29. En este apartado puede poner sugerencias, observaciones o comentarios adicionales que considere importantes para el tema de peligros y riesgos en su municipio			
30. Si usted esta de acuerdo puede proporcionarnos su correo electrónico para contacto. Esto no es obligatorio.			
3.1 Respecto a los peligros mencionados en la pregunta No. 3 ¿Recuerda o sabe si ha habido emergencias asociadas a estas amenazas en alguno de los siguientes periodos? [Otro]		PROMEDIO FINAL	0.51

Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Obtención del grado de vulnerabilidad social

Para obtener el grado de vulnerabilidad social es necesario sumar las tres partes de las que se conforma. La primera parte de la metodología fue diseñada para evaluar los principales aspectos que propician la vulnerabilidad social, los cuales se acentúan en caso de desastre.

Esta primera parte conformada por 18 indicadores es promediada por cada uno de los cinco componentes temáticos por lo que existirá un promedio para salud, uno para vivienda, etcétera. Se calcula el promedio simple de los indicadores para dar el mismo peso a cada indicador. Una vez obtenido, se sumarán los resultados de cada gran rubro (educación, salud, vivienda, entre otros) y se dividirá entre cino para obtener el promedio total. Finalmente, este promedio total será el valor final para la primera parte de esta metodología.

La segunda parte de la metodología se elabora a nivel cualitativo. Corresponde al cuestionario diseñado para conocer de manera general tanto la capacidad de prevención, como la respuesta ante una emergencia por parte del municipio dirigido hacia los responsables de la unidad de protección civil municipal. Para la obtención de este resultado se sumó el resultado de cada pregunta y se asignó el valor correspondiente en la tabla de llenado del cuestionario, tomando en cuenta que entre menor es la capacidad de prevención, así como de respuesta, es más alto el grado de vulnerabilidad. Este será el segundo valor de la metodología.

La tercera parte corresponde al cuestionario de percepción local, el cual se aplicó a través de una muestra no probabilística; el número de encuestas estuvo sujeto a la disponibilidad de tiempo y recurso; sin embargo, se alcanzó un número significativo logrando 4 mil 20 cuestionarios completos.

A cada pregunta del cuestionario se le asignó un valor, el cual se sumó al final de cada cuestionario. Una vez aplicados todos los sondeos se sumó el valor total de cuestionarios, además se dividió entre el total de estos que fueron empleados para obtener un promedio, este número se categorizó en alguno de los rangos, al cual le corresponde un valor que se anexa al final de la plantilla de percepción local. El número que se obtuvo es el valor final será de esta tercera y última parte para el cálculo de la vulnerabilidad social.

Finalmente, a la primera parte de la metodología se le dio un peso del 50%, ya que las condiciones de vida de la población determinarán en gran medida el grado de vulnerabilidad. A la capacidad de prevención y respuesta se le dio un peso del 25%. Por último, a la percepción local de riesgo de la población se le asignó un valor del 25%.

El número final para la medición de la vulnerabilidad social se obtiene de la siguiente manera:

GVS = (R1 * .50) + (R2 * .25) + (R3 * .25)

Donde: GVS = es el grado de Vulnerabilidad Social asociada a desastres

R1 = resultado de los 18 indicadores socioeconómicos

R2 = resultado del cuestionario de capacidad de prevención y respuesta

R3 = resultado del cuestionario de percepción local de riesgo

Finalmente, el número que se obtiene de la operación anterior representa el grado de vulnerabilidad de una población, el cual incluye tanto a las condiciones socio - económicas, como a la capacidad de prevención y respuesta de esta ante un desastre, además de la percepción local del riesgo.

Los rangos para la medición de la vulnerabilidad social van de cero a uno, donde cero representa el grado más bajo de vulnerabilidad social y uno equivale el valor más alto de la misma. Se establecen de la siguiente manera:

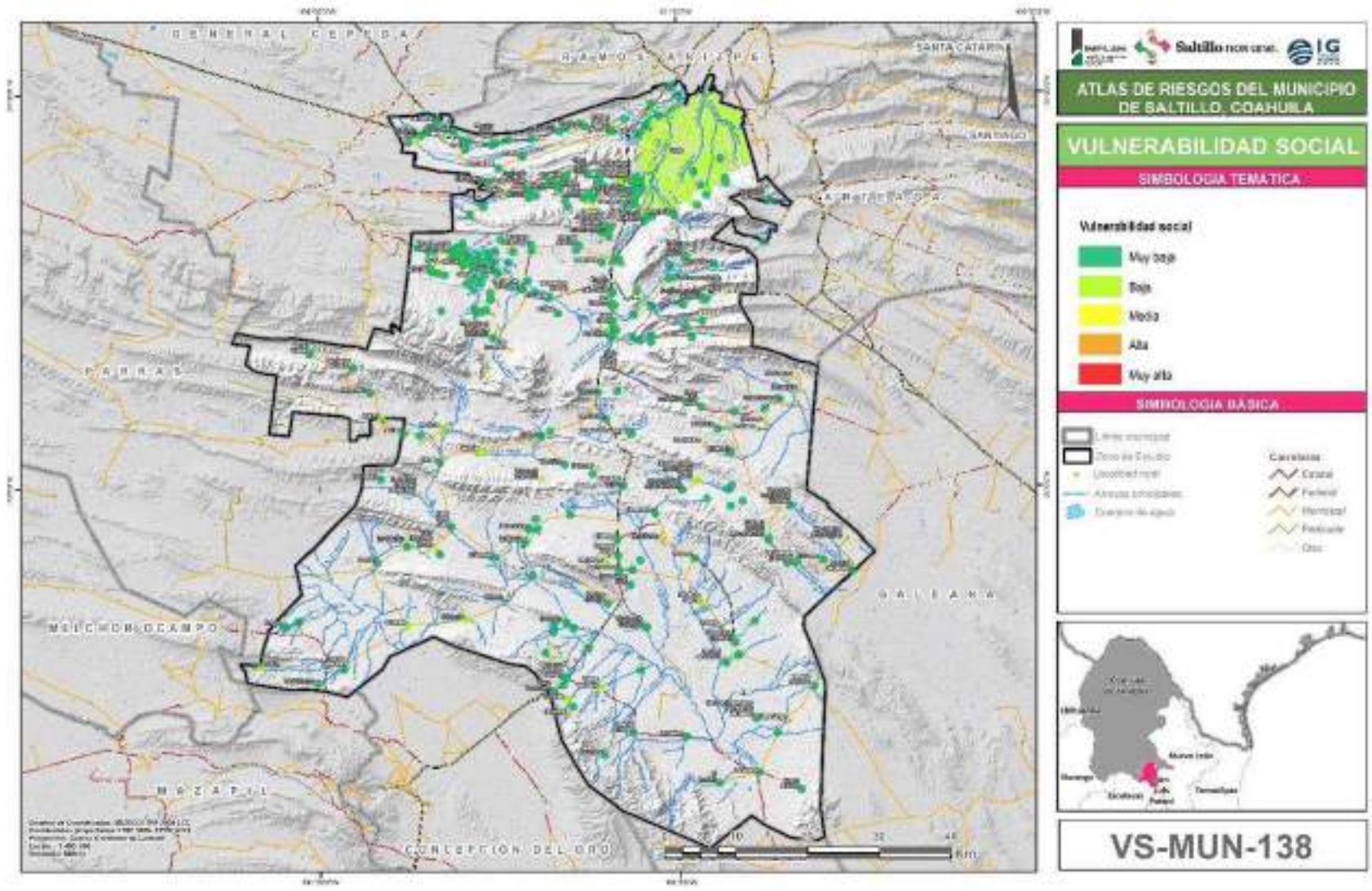
Tabla 131. Rangos para determinar el grado de vulnerabilidad social nivel municipal

Valor final	Grado de vulnerabilidad social	Valor asignado según condición de vulnerabilidad	Calificación
De 0 a .20	Muy Bajo	0	0.06475 Grado de vulnerabilidad social muy bajo
De .21 a .40	Bajo	0.25	
De .41 a .60	Medio	0.5	
De .61 a .80	Alto	0.75	
Más de .80	Muy alto	1	

Fuente: elaboración propia con base en CENAPRED, 2016.

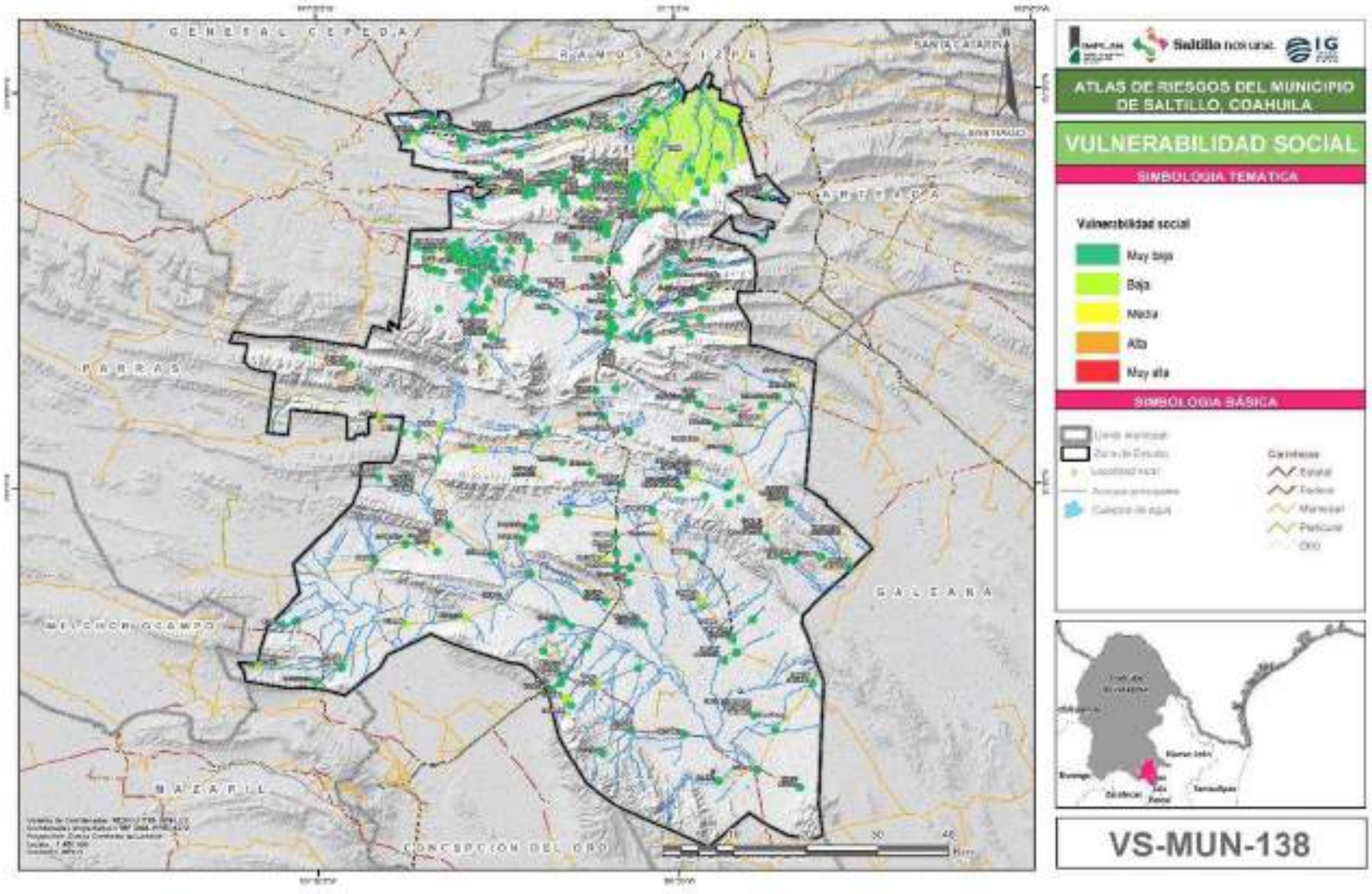
Para una mejor perspectiva espacial de los distintos niveles de vulnerabilidad social en el municipio de Saltillo se realizaron composiciones cartográficas en dos escalas de representación, la primera a nivel municipal y la segunda para la zona urbana. Los resultados para la escapa municipal se presentan en el Mapa 144, mientras que en el Mapa 145 se presenta el resultado para la vulnerabilidad social a nivel zona urbana.

Mapa 144. Distribución de la vulnerabilidad social en el municipio de Saltillo.



Fuente: elaboración propia con base en INEGI, 2020.

Mapa 145. Distribución de la vulnerabilidad social en la cabecera de municipal de Saltillo



Fuente: elaboración propia con base en INEGI,2020.

Como se observa en los mapas anteriores, en general la población del municipio de Saltillo presenta un grado de vulnerabilidad social entre bajo y muy bajo.

Distribución espacial de la vulnerabilidad social por fenómeno perturbador

El enfoque para analizar la vulnerabilidad social por fenómeno perturbador, ha sido retomado del Atlas de Peligros y Riesgos del Municipio de Puebla (2021); este proporciona una base metodológica valiosa que puede ser utilizada para el desarrollo de otros Atlas a nivel municipal, estatal o nacional, especialmente en lo que respecta al análisis de la vulnerabilidad diferenciada para cada tipo de fenómeno perturbador.

Este enfoque se considera más integral y detallado, por lo que permite identificar de manera más específica las zonas más susceptibles a sufrir daños ante diversas amenazas naturales, así como antropogénicas, adaptando los análisis según las características socioeconómicas, físicas, además de geográficas de cada territorio.

De acuerdo con lo anterior, y con el fin de diferenciar la vulnerabilidad social a la que está expuesta la población frente a distintos fenómenos perturbadores, se asignaron grados de ponderación porcentual a cada uno de los cinco componentes del Índice de Vulnerabilidad Social (salud, educación, vivienda, empleo e ingresos y población). Esta clasificación se realizó tomando en cuenta las características específicas que más impactan a la población según el tipo de fenómeno natural o antropogénico que pueda desencadenar un desastre.

En el caso de fenómenos geológicos, factores como la pobreza, el tipo de vivienda y la concentración de la población influyen más en los daños provocados por un desastre que el nivel educativo de los habitantes. Por ejemplo, si ocurre un derrumbe y los habitantes viven en áreas aisladas con viviendas frágiles, aunque hayan completado el bachillerato, será más difícil para ellos proteger sus pertenencias e incluso su vida, en comparación con personas que solo tengan la secundaria pero vivan en mejores condiciones. Lo mismo sucede con fenómenos hidrometeorológicos como inundaciones, tornados, así como ciclones tropicales, donde un mayor ingreso salarial facilita la recuperación, además de la mitigación de daños personales.

Es crucial destacar que el componente de vivienda en la vulnerabilidad social se refiere al acceso a servicios básicos como electricidad, agua potable y drenaje, así como a la calidad de la vivienda (por ejemplo, si tiene piso de tierra). No obstante, las condiciones estructurales de las edificaciones, derivadas del tipo de material empleado, se valoran dentro del ámbito de la vulnerabilidad física.

Para fenómenos como ondas gélidas o heladas, el componente de salud adquiere una mayor relevancia que el de la educación, ya que en situaciones como la neumonía, contar con acceso a servicios médicos es más relevante que el nivel educativo. En el caso de fenómenos químicos - tecnológicos, factores como la densidad poblacional se consideran más relevantes, ya que una alta concentración de personas aumenta la magnitud del desastre en caso de una explosión.

En cuanto a los fenómenos sanitario - ecológicos, la salud y la concentración de población tienen un mayor impacto que el empleo, además de los ingresos, ya que el número de habitantes expuestos a la contaminación del agua, por ejemplo, puede ser considerablemente alto.

En los fenómenos socio - organizativos, factores como la densidad de población tienen un peso similar al nivel educativo, el empleo y la marginación, ya que las áreas con alta concentración de habitantes en condiciones de carencia social son más propensas a eventos negativos como el vandalismo o disturbios.

La tabla a continuación presenta las ponderaciones porcentuales aplicadas para cada componente en la construcción de los índices de vulnerabilidad por tipo de fenómeno. Los colores resaltan las similitudes entre los fenómenos cuyas características son afines, y se integran sus respectivos mapas para una mejor visualización.

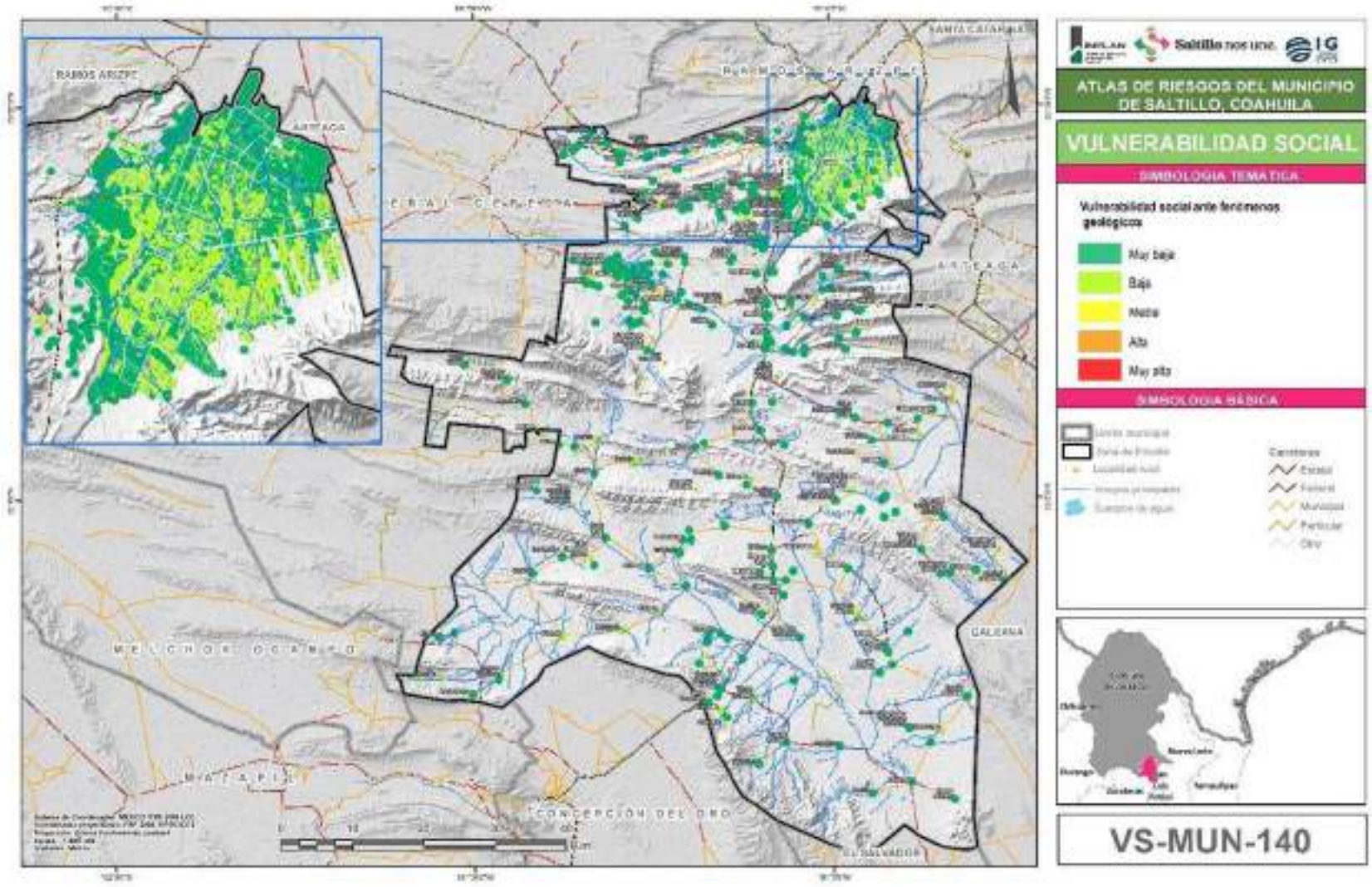
Tabla 132.Porcentajes de ponderación para los componentes temáticos de vulnerabilidad social por tipo de fenómeno perturbador.

Fenómeno	Agente perturbador	Salud	Educación	Vivienda	Empleo e ingresos	Población	Total
Geológicos		**10%**	10%	**30%**	30%	**20%**	100%
Hidrometeorológicos	**Inundaciones**	**10%**	**10%**	**30%**	**30%**	**20%**	**100%**
	Ciclón tropical	**15%**	15%	**30%**	20%	**20%**	100%
	Tormentas de granizo	**15%**	**15%**	**30%**	**20%**	**20%**	**100%**
	Tormentas eléctricas	**15%**	15%	**30%**	20%	**20%**	100%
	Sequías	**15%**	**15%**	**30%**	**20%**	**20%**	**100%**
	Vientos fuertes	**15%**	15%	**30%**	20%	**20%**	100%
	Ondas cálidas	**30%**	**10%**	**25%**	**15%**	**20%**	**100%**
	Ondas gélidas	**30%**	10%	**25%**	15%	**20%**	100%
	Heladas	**30%**	**10%**	**25%**	**15%**	**20%**	**100%**
	Tormentas de nieve	**30%**	10%	**25%**	15%	**20%**	100%
	Tormentas de polvo	**30%**	**10%**	**25%**	**15%**	**20%**	**100%**
Químico - tecnológicos	Almacenamiento de sustancias peligrosas	**30%**	10%	**20%**	10%	**30%**	100%
	Transporte de sustancias químicas peligrosas	**30%**	**10%**	**20%**	**10%**	**30%**	**100%**
	Transporte por ductos	**30%**	10%	**20%**	10%	**30%**	100%
	Incendios forestales	**30%**	**30%**	**10%**	**10%**	**20%**	**100%**
Socio - organizativos	Inconformidad social	15%	25%	10%	20%	**30%**	100%
	Concentraciones masivas	**15%**	**25%**	**10%**	**20%**	**30%**	**100%**
	Terrorismo	10%	30%	**30%**	10%	**20%**	100%
	Sabotaje	**10%**	**30%**	**30%**	**10%**	**20%**	**100%**
	Vandalismo	10%	30%	**30%**	10%	**20%**	100%
	Accidentes aéreos	**10%**	**30%**	**30%**	**10%**	**20%**	**100%**
	Accidentes terrestres	**20%**	30%	10%	10%	**30%**	100%
Sanitario - ecologicos	**Contaminación del suelo aire y agua**	**30%**	**15%**	**15%**	**10%**	**30%**	**100%**
	Epidemias y plagas	**30%**	15%	15%	10%	**30%**	100%

Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

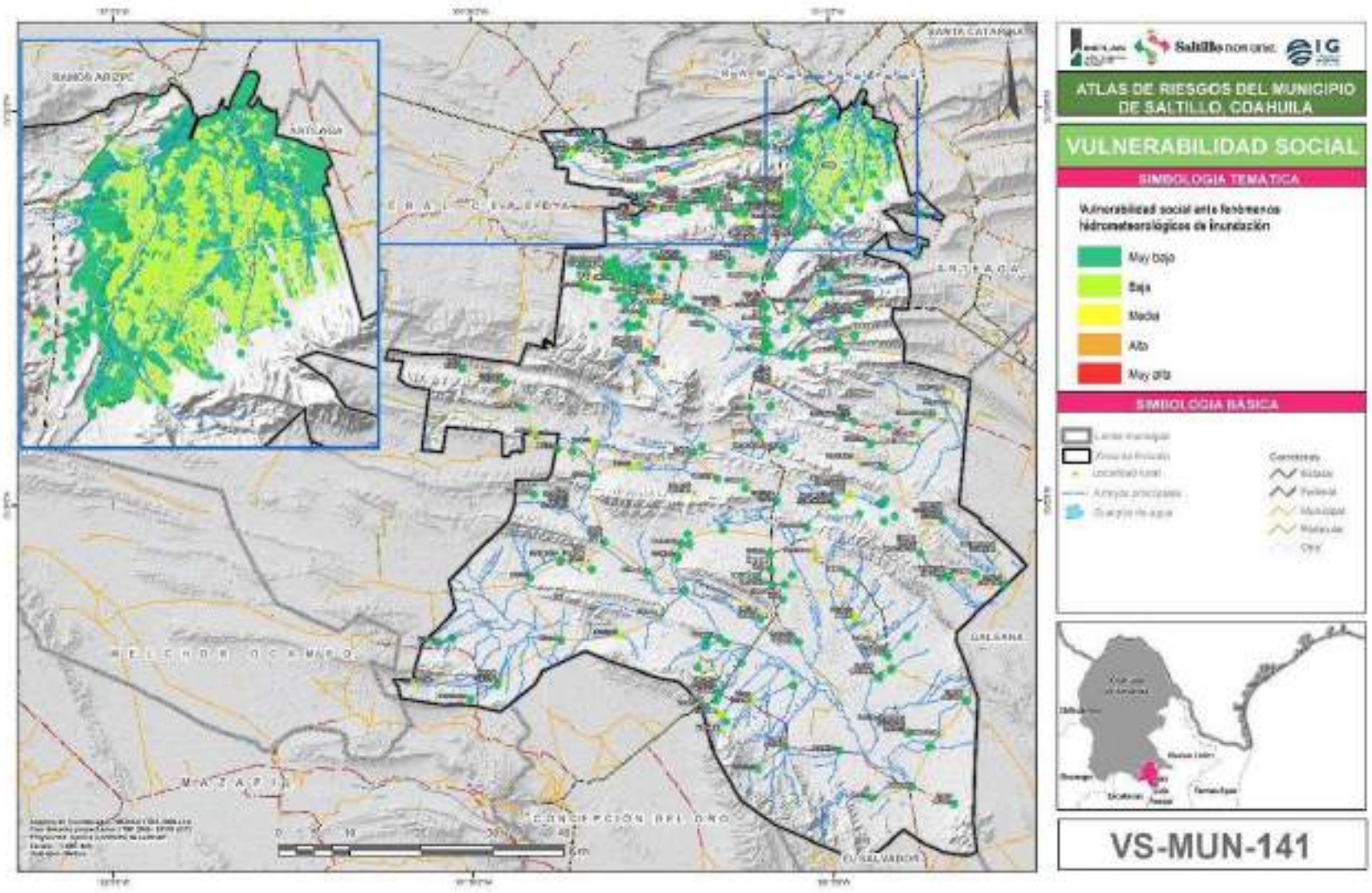
La integración de los componentes de vulnerabilidad social por fenómeno perturbador se lleva a cabo a través de álgebra de mapas a nivel de manzana y localidad. Los resultados de este análisis espacial permiten identificar las áreas prioritarias donde se deben concentrar los esfuerzos para llevar a cabo campañas de prevención, concientización sobre medidas de protección civil, además de establecer mecanismos gubernamentales que mejoren las condiciones de vida de la población, esto permitirá reducir de manera integral la vulnerabilidad social frente a fenómenos perturbadores tanto de origen natural como antropogénico.

Mapa 146. Vulnerabilidad social ante fenómenos geológicos



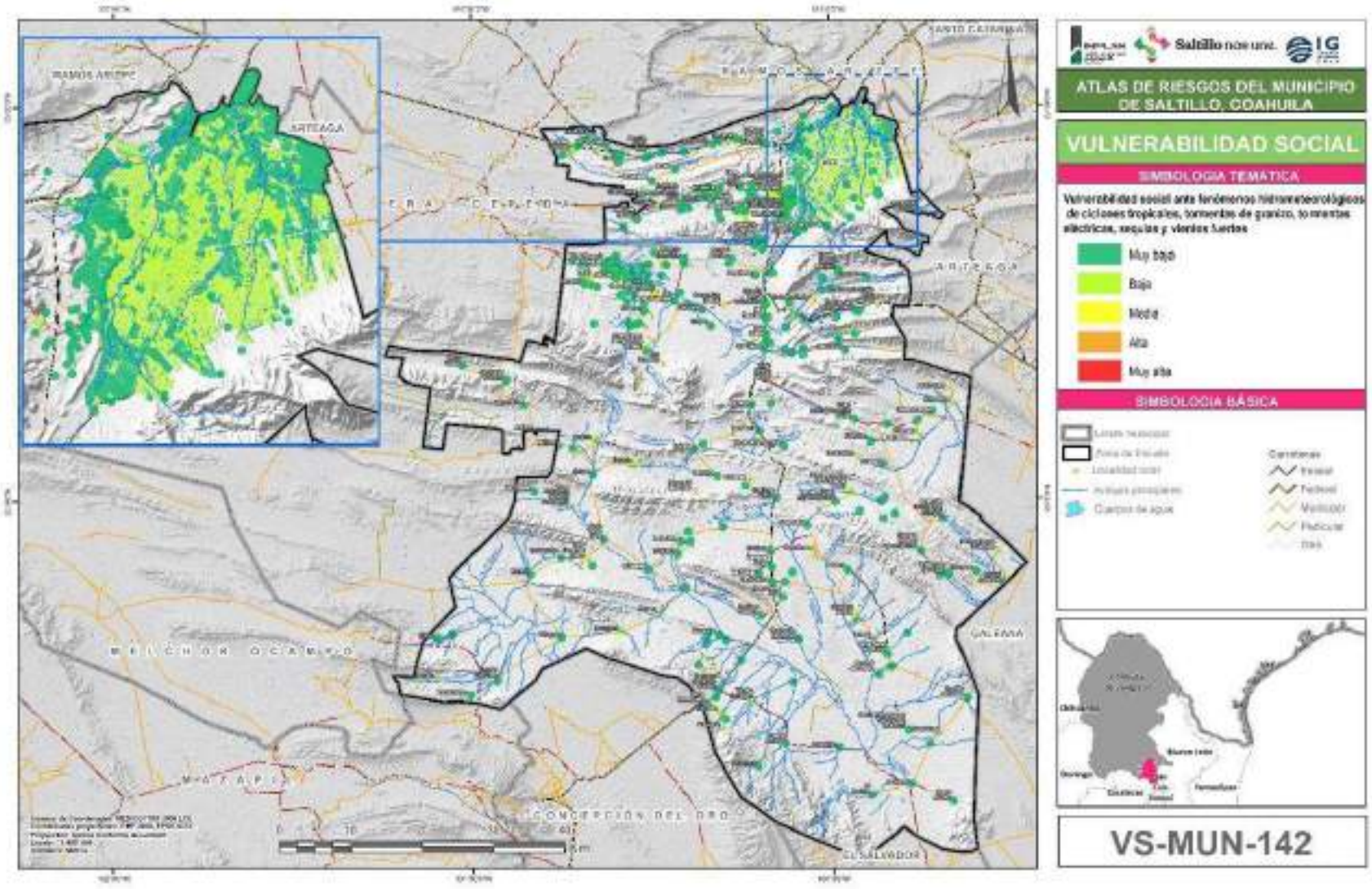
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024

Mapa 147. Vulnerabilidad social ante fenómenos hidrometeorológicos de inundación



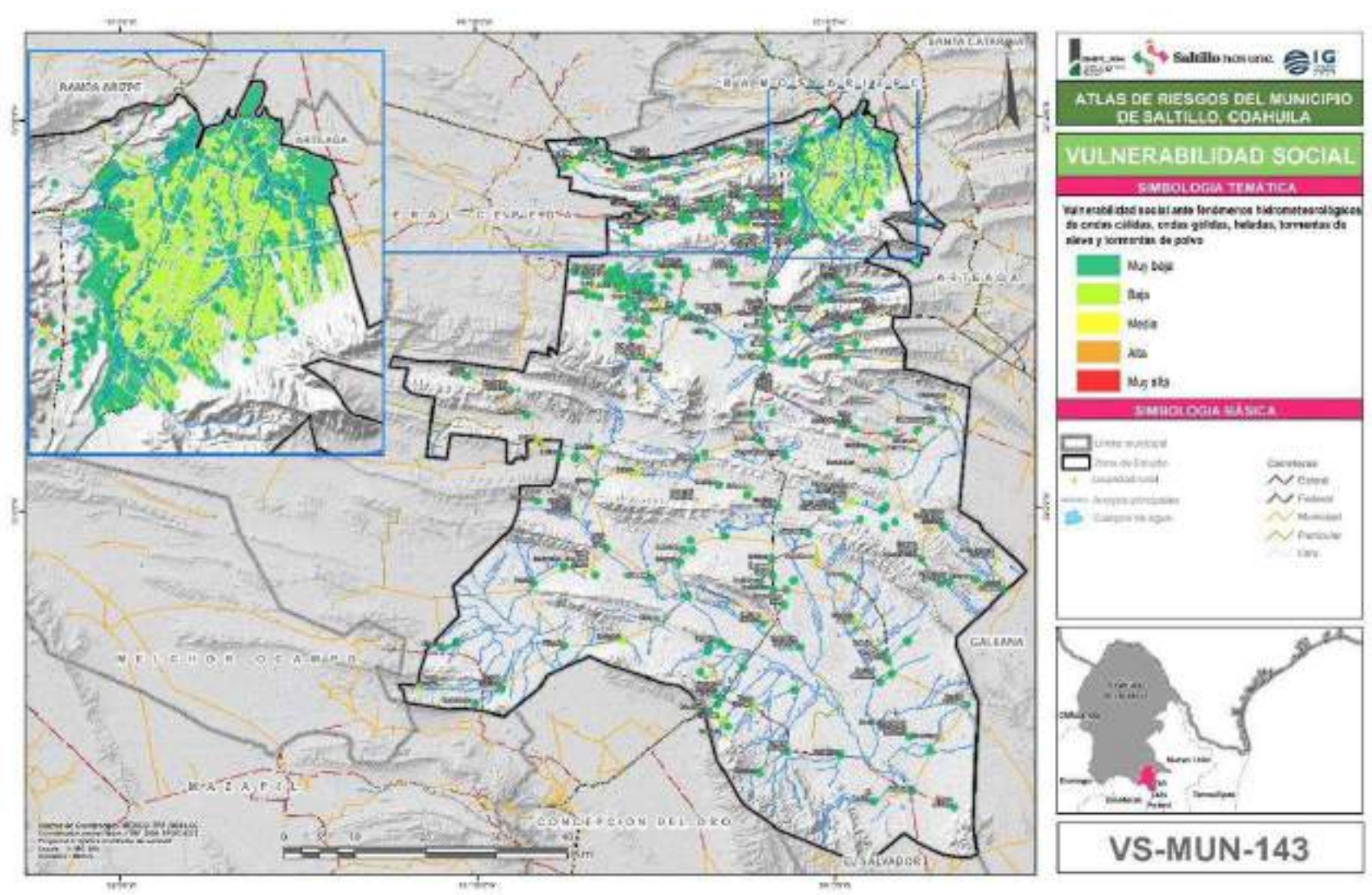
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 148. Vulnerabilidad social ante fenómenos hidrometeorológicos de ciclones tropicales, tormentas de granizo, tormentas eléctricas, sequías y vientos fuertes



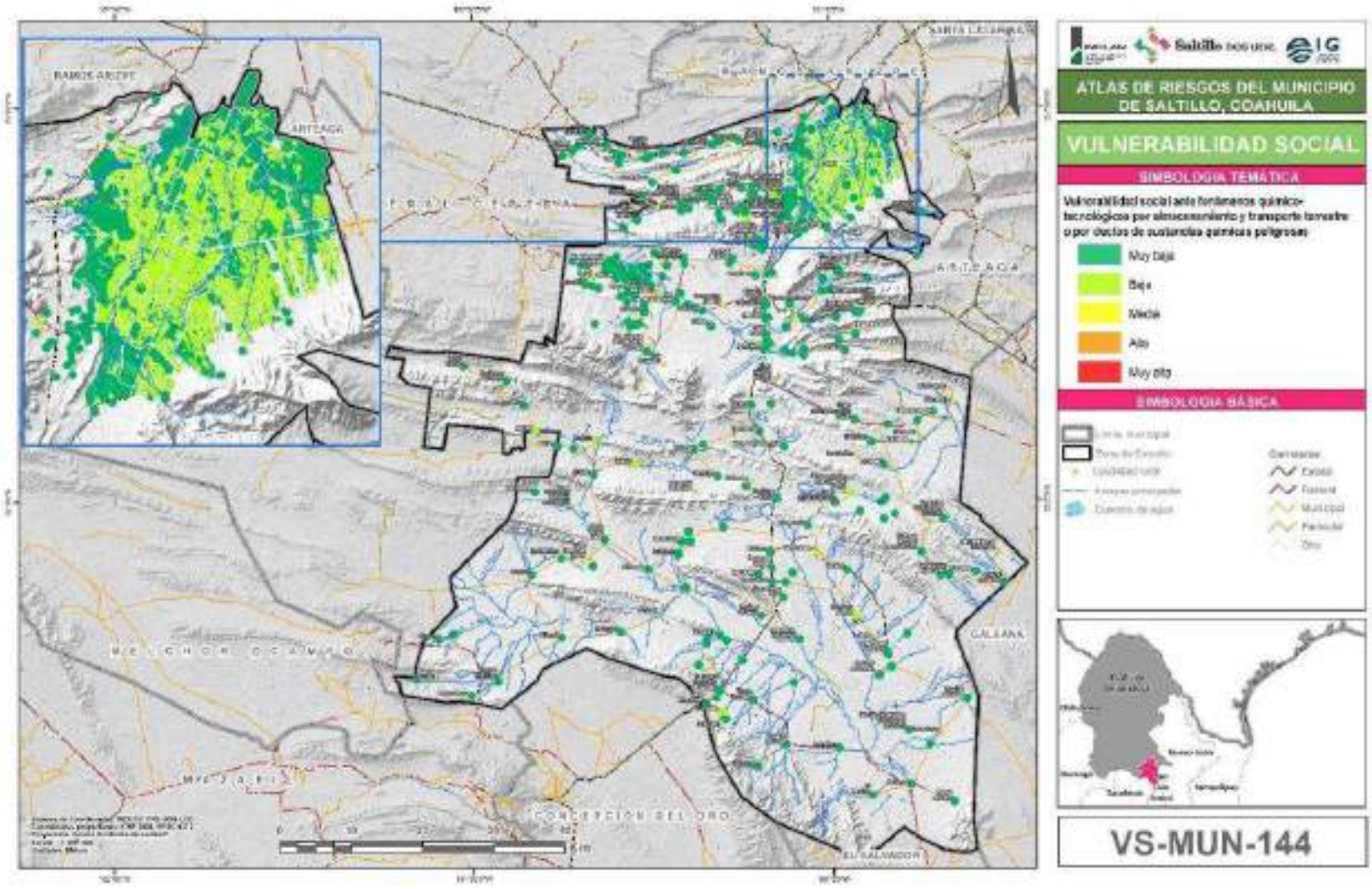
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024

Mapa 149. Vulnerabilidad social ante fenómenos hidrometeorológicos de ondas cálidas, ondas gélidas, heladas, tormentas de nieve y tormentas de polvo



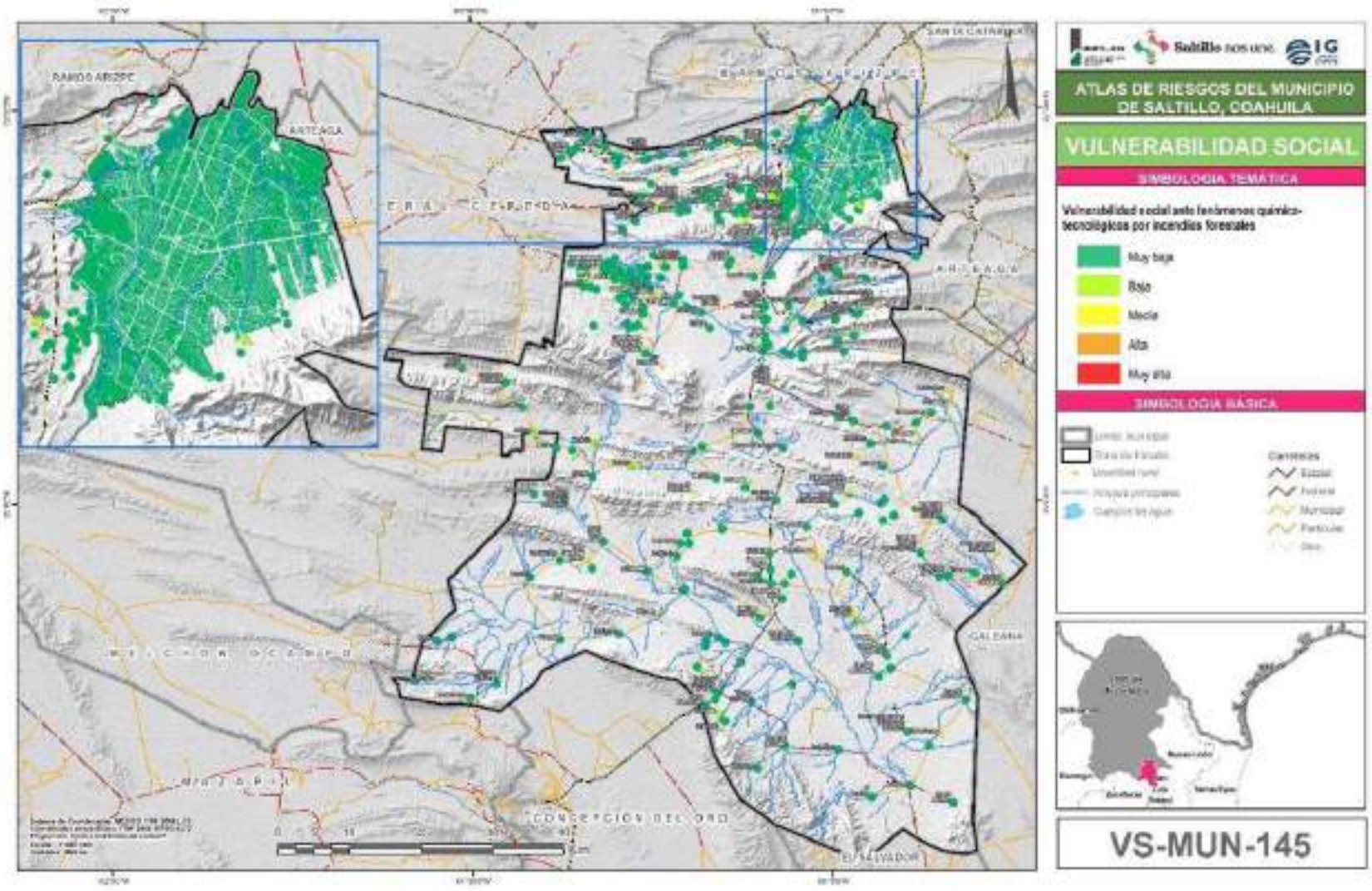
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 150.Vulnerabilidad social ante fenómenos químico-tecnológicos por almacenamiento y transporte terrestre o por ductos de sustancias químicas peligrosas



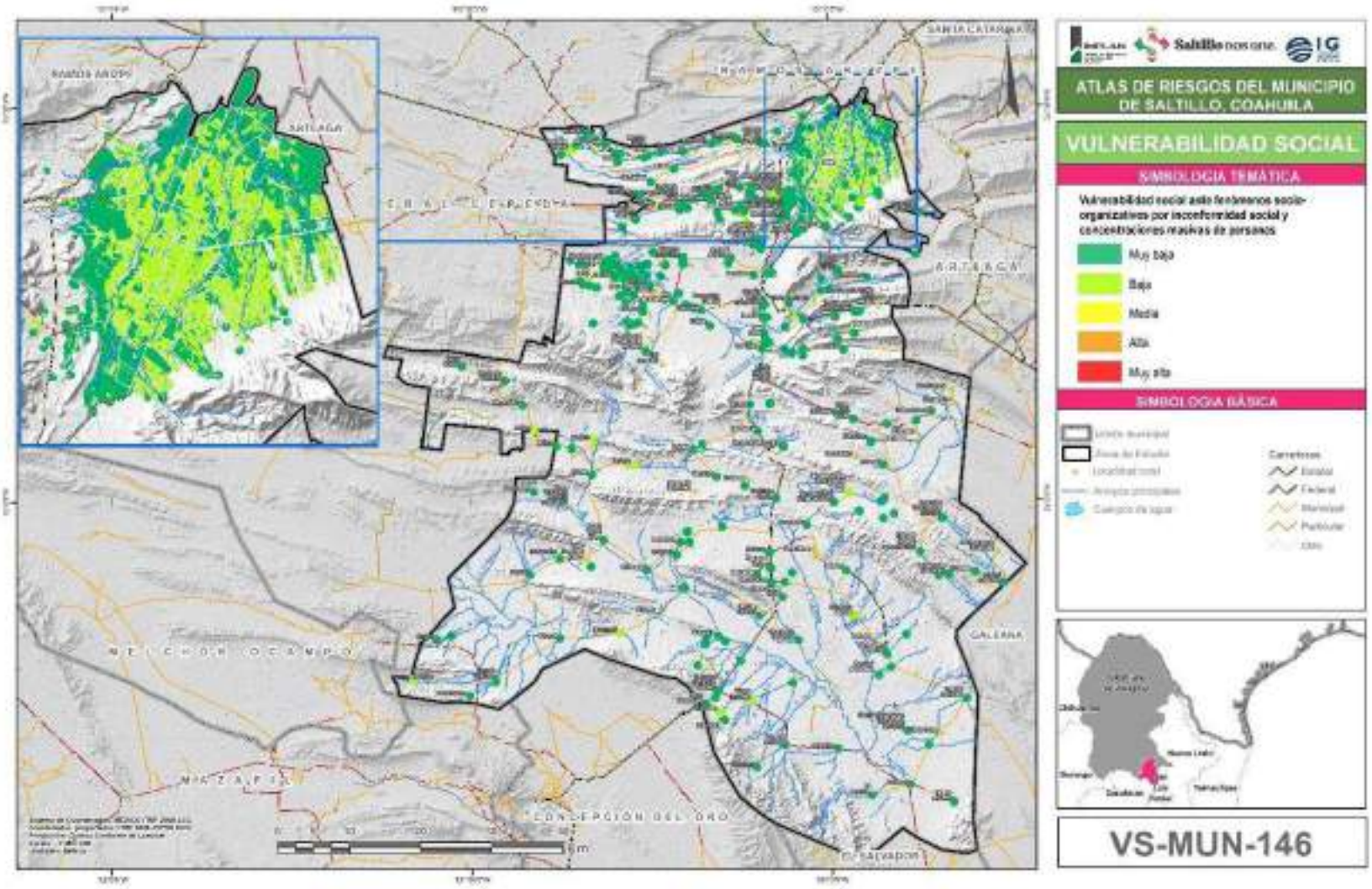
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 151.Vulnerabilidad social ante fenómenos químico - tecnológicos por incendios forestales



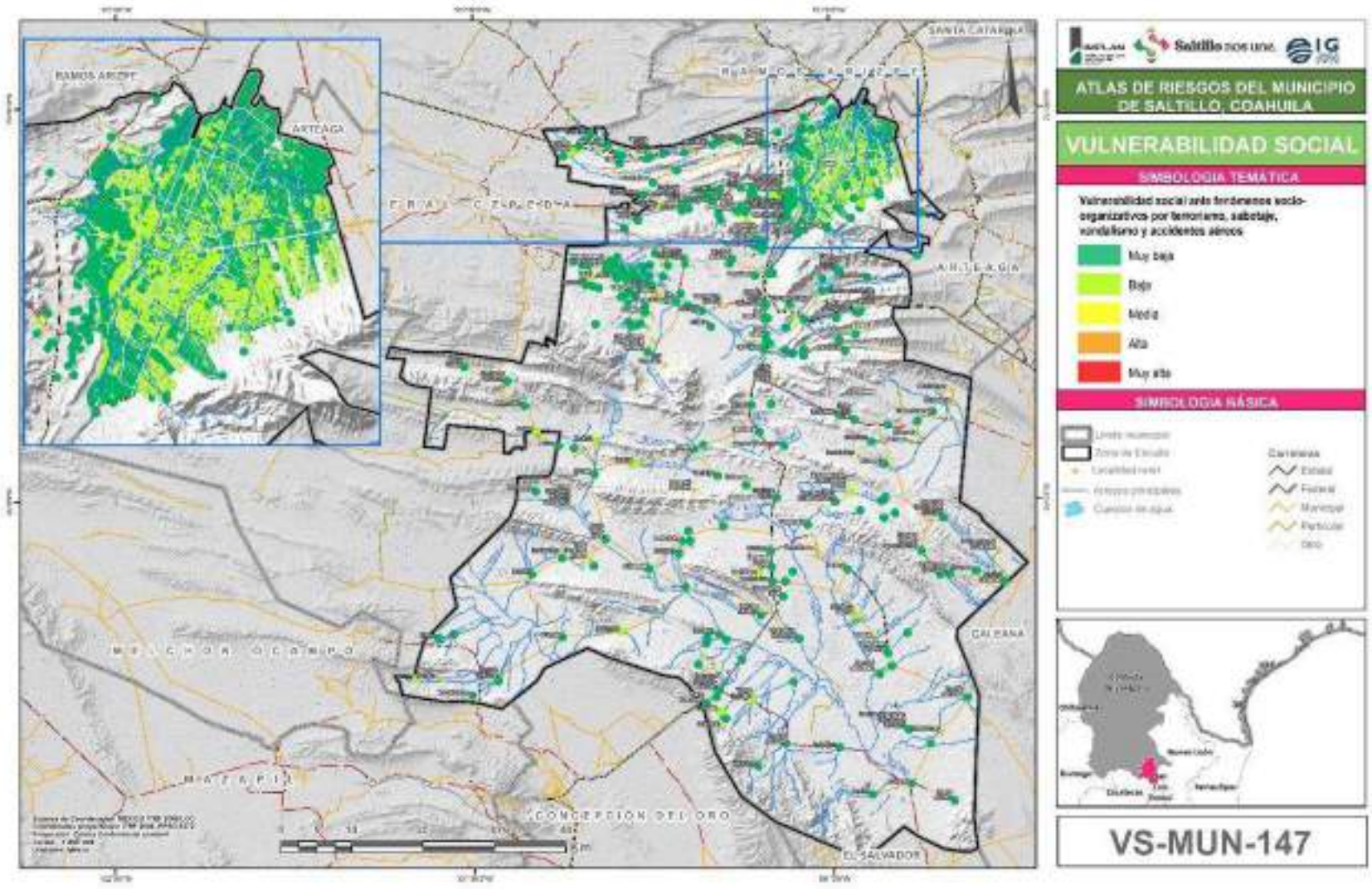
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 152. Vulnerabilidad social ante fenómenos socio organizativos por inconformidad social y concentraciones masivas de personas



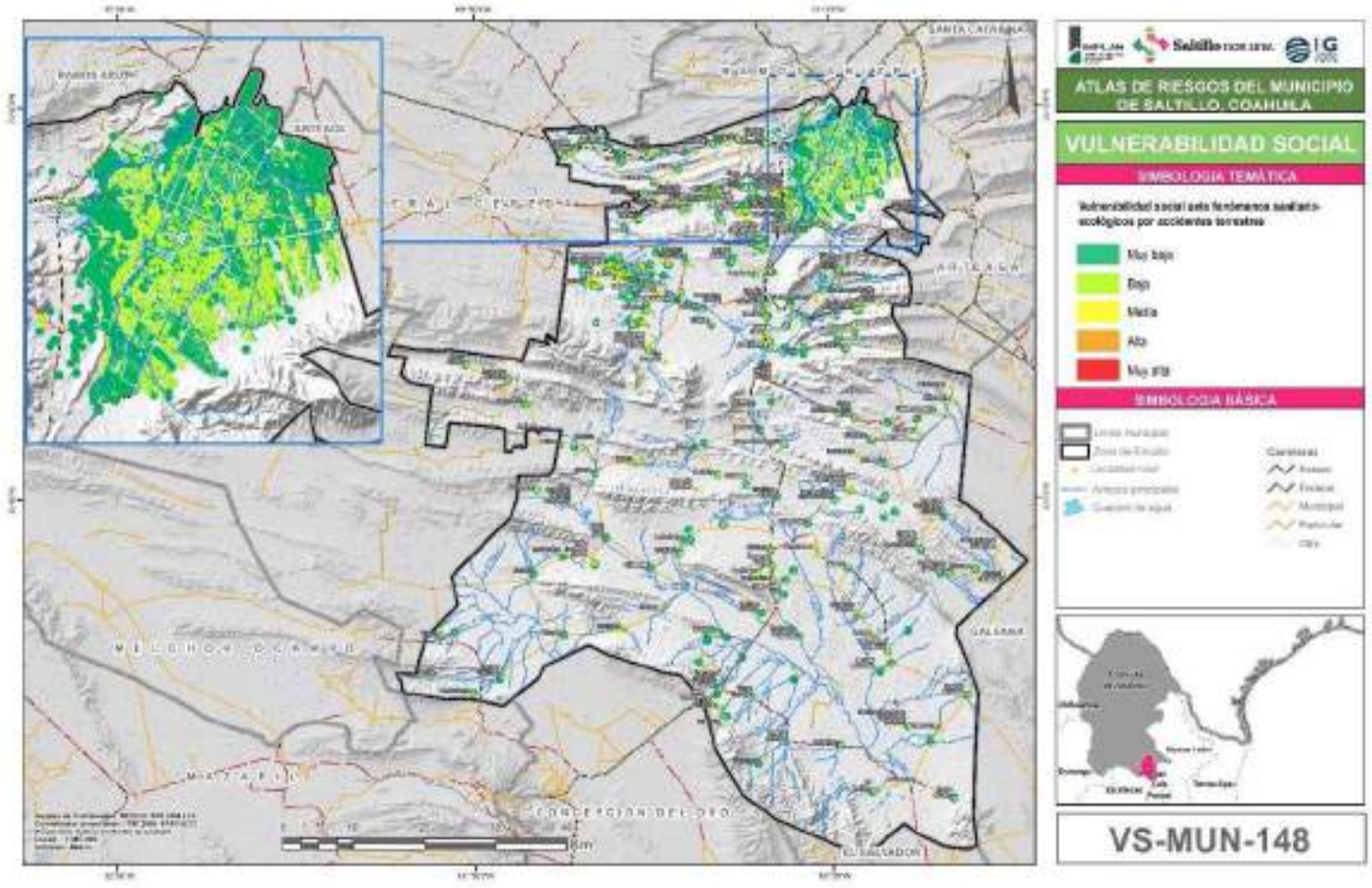
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 153. Vulnerabilidad social ante fenómenos socio organizativos por terrorismo, sabotaje, vandalismo y accidentes aéreos



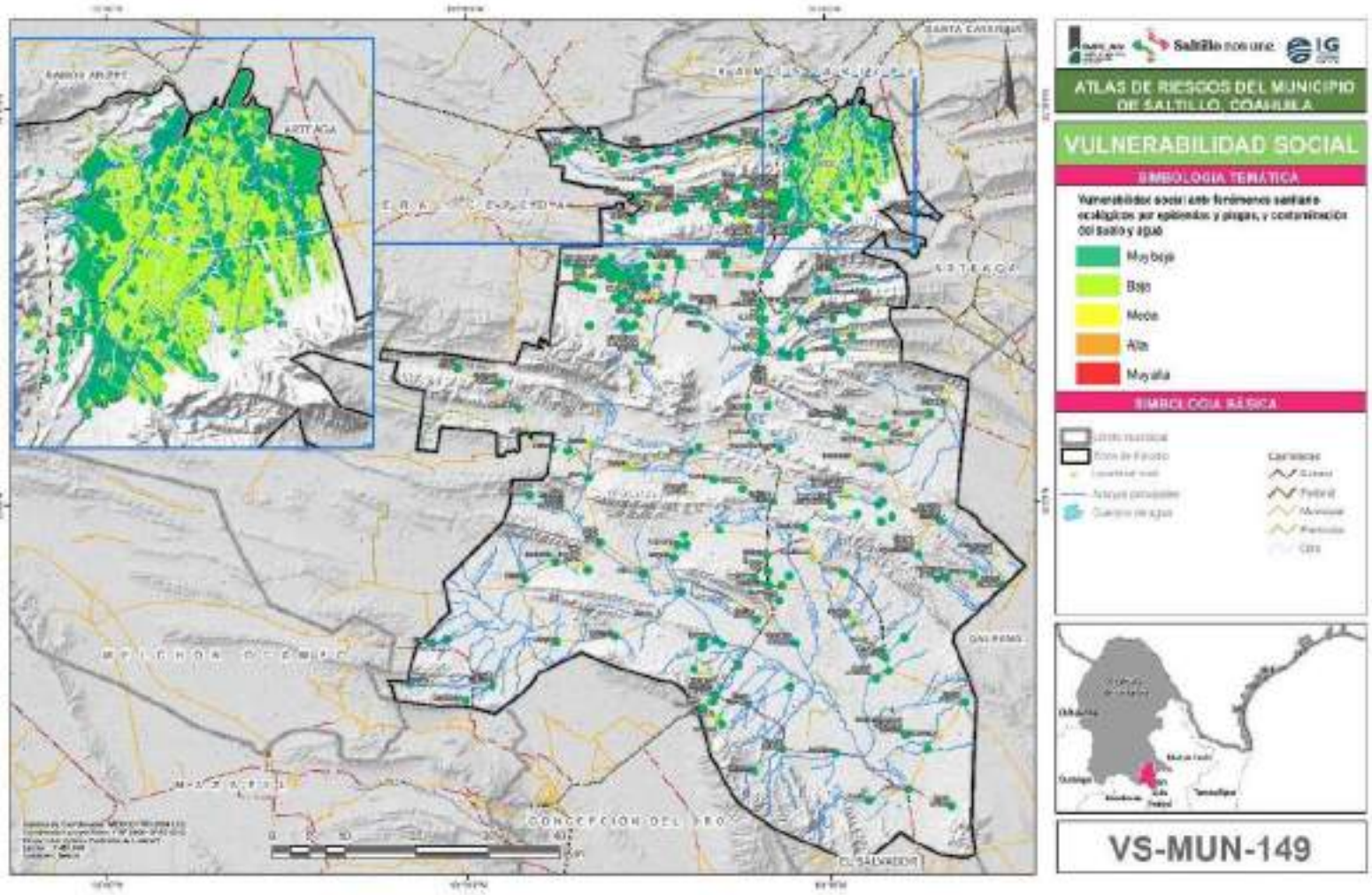
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 154. Vulnerabilidad social ante fenómenos socio organizativos por accidentes terrestres



Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 155. Vulnerabilidad social ante fenómenos sanitario - ecológicos por epidemias y plagas, contaminación del suelo y agua



Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

7.2.2 Vulnerabilidad física de la vivienda ante sismo y viento

Antecedentes

La vulnerabilidad física de las viviendas en México es un problema multifacético que afecta a una gran parte de la población. Según la Encuesta Nacional de Vivienda (ENI) 2020, una proporción significativa de hogares habita en viviendas que no cumplen con los estándares adecuados de habitabilidad. Esta situación se ve agravada por factores como el hacinamiento, la construcción con materiales de baja calidad y la falta de acceso a servicios básicos(INEGI[19]).

El Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) ha identificado que la falta de capacidades institucionales y la necesidad de una mejor gestión integral del riesgo son desafíos clave para mejorar la calidad de las viviendas en México. Un diagnóstico reciente realizado por el PNUD, así como la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) destaca la importancia de fortalecer las capacidades institucionales para asegurar viviendas adecuadas, sostenibles y seguras ante desastres (UNDP[20]).

Por otro lado, ONU - Habitat subraya que el 38.4% de la población vive en condiciones de vivienda inadecuada, lo que incluye la falta de materiales duraderos, servicios mejorados de agua y saneamiento, además de la ubicación en áreas de riesgo. Para abordar estos problemas, ONU - Habitat propone varias estrategias, incluyendo la promoción de la vivienda social intraurbana, así como la intervención en asentamientos precarios para mejorar los servicios públicos y reducir la vulnerabilidad física de las viviendas (ONU-Habitat[21]).

Estas diversas perspectivas resaltan la complejidad del problema y la necesidad de abordar la vulnerabilidad física de las viviendas desde múltiples frentes, integrando políticas de desarrollo urbano sostenible, gestión de riesgos, asimismo el fortalecimiento institucional.

Para determinar la vulnerabilidad de la vivienda es necesaria información básica como la presentada por el INEGI respecto de sus características. Esta información permite hacer una evaluación tanto simplificada, como cualitativa al establecer la vulnerabilidad a distintas escalas territoriales, ya sea regional, estatal o municipal.

La información almacenada por el INEGI clasifica a las viviendas según el material utilizado en techos, pisos y muros (paredes). Para los fines de vulnerabilidad ante sismos y vientos, son de interés únicamente los datos de techos, además de muros.

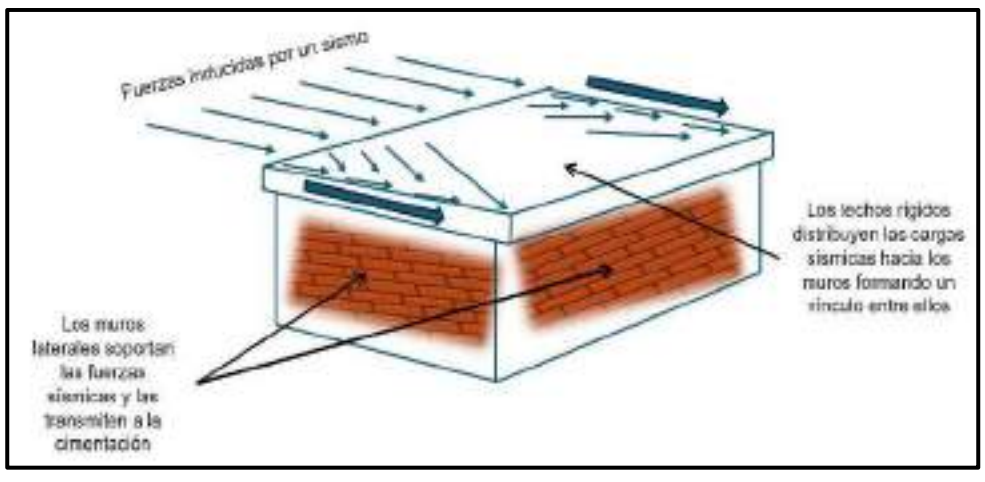
Desafortunadamente, aunque los datos se desglosan por separado para diversos materiales ligeros (como desechos, lámina, madera, palma, adobe y teja), no se hace una distinción entre los muros y techos "sólidos". Se reporta un solo dato para muros de materiales sólidos, así como de mayor resistencia (tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento y concreto), un solo dato para techos rígidos (losa de concreto, tabique, ladrillo, además de terrado con viguería).

Cuando las ondas sísmicas excitan el terreno donde se encuentra una construcción, generan aceleraciones horizontales y verticales que inducen fuerzas sísmicas sobre todos los elementos resistentes de la estructura (Figura 126) (CENAPRED, 2016).

De acuerdo con lo dicho por esta misma institución, los elementos estructurales que componen una vivienda son:

1. **Cimentación**. Transmiten al terreno los esfuerzos producto de las cargas verticales (inducidas por el peso de la propia construcción, su contenido, así como sus ocupantes) y horizontales (inducidas por la acción del sismo o viento).
2. **Muros de carga**. Son los elementos fundamentales encargados de resistir las fuerzas sísmicas, además de transmitir las cargas verticales y laterales a la cimentación.
3. **Techos y entrepisos**. En el caso de sistemas rígidos (losas de concreto, de tabique u otros) los techos y entrepisos transmiten las fuerzas sísmicas horizontales hacia los muros, permitiendo que estas fuerzas se distribuyan entre los elementos estructurales más adecuados para resistir su acción. Además, participan para mantener unidos a dichos muros con lo que permiten que su funcionamiento sea en conjunto.

Figura 126. Efecto del sismo sobre una vivienda



Fuente: elaboración propia con CENAPRED 2016.

[19] México - Encuesta Nacional de Vivienda (ENVI) 2020 (inegi.org.mx)

[20] Diagnóstico institucional y participativo del sector vivienda en México | Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo (undp.org)

[21] ONU-Hábitat - La vivienda en el centro de los ODS en México

De acuerdo con lo reportado en el apartado de sismos de este documento, dentro del municipio de Saltillo se han registrado desde 1978 a la fecha actual un total de 66 sismos, entre los que destacan sismos de magnitudes que van de los 3.5 a los 4.6 grados. Mismos que en ocasiones no son imperceptibles y no representan un peligro importante a las edificaciones dado el tipo, así como el modo constructivo de la mayoría de ellas. Sin embargo, es importante considerar el análisis que hace en dicho apartado, ya que se reporta que en los últimos nueve años se ha incrementado la actividad sísmica de manera importante claramente alineados con las estructuras que conforman la geología municipal.

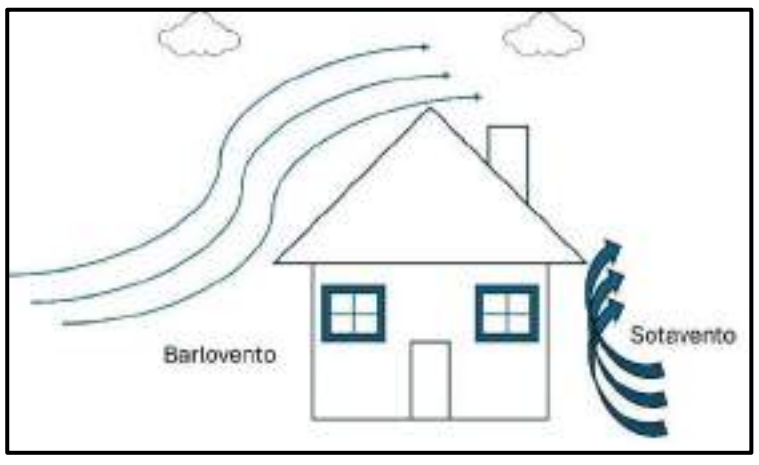
Viento

Al igual que los sismos, el viento desempeña un papel importante como elemento que pone en peligro la integridad física de la vivienda. Los vientos como cualquier otro fenómeno de flujo son adaptables, dependiendo del entorno en el que se desarrolla y de los obstáculos que encuentra a su paso, lo que quiere decir, que en entornos despejados las velocidades alcanzadas suelen ser mayores que en entornos obstaculizados por barreras naturales (montañas, bosques, etcétera.) o artificiales como edificaciones, además de construcciones utilizadas para vivienda o actividades comerciales.

Esta adaptabilidad propicia que los elementos constructivos que conforman una vivienda sean vulnerables por su tipo y modo de ser construidos, por lo que de ello dependerá la resistencia que ejerzan ante la acción de fuertes vientos.

De tal manera que cuando el viento incide sobre una vivienda, existe cierta presión adicional a la atmosférica (Figura 127**Error! Reference source not found.**), por lo que cuando se desea evaluar la fuerza que el viento ejerce sobre la estructura de una edificación se deberán sumar las fuerzas individuales sobre cada una de sus componentes o superficies. Estas fuerzas que actúan sobre las partes de cada elemento constructivos se denominan fuerzas de arrastre (CENAPRED, 2016).

Figura 127. Efecto del viento sobre una vivienda



Fuente: elaboración propia con CENAPRED 2016.

Barlovento: fenómeno causado por el choque del flujo del viento contra la superficie o cara de un objeto que se encuentra en su dirección.

Sotavento: fenómeno causado por la separación del viento en la cara opuesta del objeto.

El INEGI informó en el INV de 2020 que Saltillo cuenta con un total de 271 mil 428 viviendas. De estas, el 97.2% tiene techos y paredes construidos con materiales resistentes, mientras que el 2.8% restante está hecho de materiales que no son lo suficientemente fuertes para soportar fenómenos como sismos o fuertes vientos.

Del mismo modo, el proceso de análisis elaborado para el tema de tornados y vientos fuertes, indica que en la superficie municipal predominan principalmente vientos que se mantienen en un intervalo de entre los 138 a los 178 kilómetros por hora (Km/hr), dominando un sistema de isotacas[22] que en promedio están conformadas por vientos de 140 Km/hr para un periodo de retorno de 50 años.

Metodología

En la Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y riesgos - Evaluación de la vulnerabilidad física y social, se establece la metodología para la evaluación de la vulnerabilidad física de la vivienda ante los efectos de un sismo, además de viento.

En ella se especifican los requisitos de información, así como los criterios a seguir para establecer de forma cuantitativa o cualitativa dicha vulnerabilidad. Para el caso de susceptibilidad física de la vivienda por efecto de un sismo, se utilizó el criterio simplificado usando como referencia información del último Censo de Población y Vivienda, así como del INV, ambos del 2020. Para la estimación de la vulnerabilidad por efecto del viento, se utilizó el criterio cualitativo para evaluar la susceptibilidad de daño de la vivienda de bajo costo ante la acción de viento.

En dicha guía se muestra una clasificación del tipo de construcción adoptada por el INEGI. En ella se determina una numeración de tipo descendente que toma valores de uno al cinco (Tabla 128), este rango de valores está basado en la susceptibilidad al daño de la vivienda causado por un sismo o viento.

El valor numérico más alto se refiere a una mayor susceptibilidad a ser dañada en relación con los tipos de materiales con los que se construye, mientras que el valor más bajo indica que el nivel de susceptibilidad es menor, lo que quiere decir que la resistencia es la de mayor nivel ante estos fenómenos de origen natural.

[22] Línea que une todos los puntos en los que el viento alcanza la misma velocidad.

Tabla 133. Clasificación de la vivienda según características usadas por el INEGI

Tipo	Características de la vivienda
1	Muros de mampostería con techos rígidos.
2	Muros de mampostería con techos flexibles.
3	Muros de adobe con techo rígidos.
4	Muros de adobe con techos flexibles.
5	Muros de materiales débiles con techos flexibles.

Fuente: CENAPRED, 2016.

Es importante mencionar que además del uso de las fuentes de información ya referidas, se utilizó la base de datos con información catastral del municipio (en formato excel y shapefile), misma que contiene las clasificaciones del tipo de construcción según criterio de la dependencia, además de las superficies del terreno, el Tipo de construcción, entre otros (Tabla 134)

Tabla 134. Ejemplo de la estructura de la base de datos de catastro municipal

Tipo de Predio	Id Tipo de terreno	Nombre de tipo de Terreno	Superficie del Terreno (m^2)	Id tipo de construcción	Nombre de tipo de construcción
Urbano	20	Zona centro	795.00	6	Comercial especial superior
Urbano	20	Zona centro	3,888.50	3	Industrial especial económico
Urbano	20	Zona centro	4,421.25	6	Comercial especial superior
Urbano	20	Zona centro	338.50	15	Comercio especial media superior
Urbano	20	Zona centro	329.00	7	Habitacion antigua económica
Urbano	20	Zona centro	427.06	8	Hab. Antigua media
Urbano	20	Zona centro	208.00	12	Hab. Moderno económico

Fuente: Dirección de Catastro municipal.

Adicional al uso de esta base de datos, se utilizó una tabla de clasificación para los tipos de construcción enlistados en la base de datos catastral (Tabla 135) proporcionada por la dirección de catastro municipal. En ella se muestra una descripción de la tipología de la vivienda en Saltillo, tomando en cuenta los tipos de materiales utilizados en su proceso constructivo, además de dividir el uso de los materiales por cada sección de construcción de la vivienda.

Tabla 135. Tabla de clasificación de la tipología de la vivienda en Saltillo

Clave	Material de cimientos	Material de muros y estructuras	Material de entrepisos y techo
1	Mampostería.	Tabique, alambrados, postes largueros, marcos de madera de ocote, *block.*	Vigas de madera con láminas de cartón o tela estructura metálica ligera.
2	Mampostería de piedra o dados de concreto cimiento ciclópeo.	Tabique, *block*, armadura ligeras, lámina diferentes tipos.	Vigas o armaduras ligeras, de madera o fierro con lámina de cartón, teja y asbesto.
3	Mampostería, zapatas aisladas o corridas cimiento de ciclópeo.	Tabique, *block*, piedra. Trabes o columnas, etcétera. De concreto o acero cantera, sillar.	Vigas o armaduras de acero, viguetas con lámina de asbesto o lámina galvanizada, galvateja.
4			
5	Mampostería, zapatas aisladas o corridas, trabes, contratrabes , etcétera. ciclópeo	Tabique, *block* de concreto, piedra, trabes, columnas de concreto o acero, cantera, sillar vidrios	Losas sólidas, aligeradas, estructuras con lámina galvanizada , etcétera.
6	Mampostería, zapatas aisladas o corridas, trabes, contratrabes , etcétera. ciclópeo.	Tabique, *block* de concreto, piedra, trabes, columnas de concreto o acero, cantera, sillar vidrios.	Parabloides, cascarones, losas sólidas y aligeradas.
7	Consolidación de lodo con piedra o pedacería de tabique.	Adobe o majareque.	Vigas de madera terrados y entortados.
8	Mampostería de piedra de mina, con cemento arena.	Adobe, tabique o piedra.	Vigas de madera terrado y entortado, o bóveda de ladrillo.
9	Mampostería de piedra braza, cemento arena.	Piedra, adobe o tabique, piedra labrada, dalas, castillos,	Vigas de madera o fierro, bóveda de ladrillo, losa de concreto.

Clave	Material de cimientos	Material de muros y estructuras	Material de entrepisos y techo
		cerramientos, trabes y escaleras mixto.	
10	Mampostería de piedra braza o mina.	Tabique, dalas, castillos, cerramientos de concreto.	Losas ligeras, entortado y escobillado.
11	Mampostería de piedra braza o mina con refuerzo de concreto.	Tabique, dalas, *block* de concreto ligero, dalas, castillos, trabes columnas y escaleras de concreto.	Losas de concreto, ligeras en ladrillo y escobilladlo, impermeabilizante comercial.
12			
13	Mampostería de piedra braza, zapatas aisladas o corridas de concreto armado.	Tabique, *block* de concreto, piedra, dalas, castillos, trabes, columnas de concreto y escaleras de concreto.	Losas de concreto armado con claros pequeños y reticulares, aligeradas impermeabilizante calidad.
14	Mamposteríade piedra braza, zapatas aisladas o corridas de concreto armado, lotes, etcétera.	Tabique, *block* de concreto, piedra, celosías, dalas, castillos, trabes, columnas y escaleras de concreto o fierro.	Losas de concreto reforzado, reticulares y nervados, tejas nacionales y de importación, losa aligerada con casetón de nieve seca.
15	Mampostería, zapatas aisladas o corridas, trabes, contratrabes, etcétera. ciclópeo.	Tabique, *block* de concreto, piedra, trabes, columnas de concreto o acero, cantera, sillar vidrios.	Losas sólidas, aligeradas, estructuras con lámina galvanizada, etcétera.

Fuente: Dirección de Catastro Municipal.

Derivado de recorridos de campo, se pudo observar que en la región rural del municipio y a diferencia de la zona urbana, la vivienda en su mayoría está constituida por construcciones en las que predominan paredes de adobe con algunos techos rígidos, así como otros con techos flexibles. Esta apreciación se ajusta a la clasificación que corresponde a los valores tres y cuatro según en la escala de clasificación del INEGI.

Para estimar la vulnerabilidad física se tomó en cuenta el análisis sobre viento dentro de este documento. En este análisis se indicó que la velocidad promedio del viento en Saltillo para periodos de retorno de 50 años es de 140 km/hr, este dato corresponde a vientos que no causan daños severos a las edificaciones aun siendo de las categorías antes mencionadas.

Es de este modo que, para estimar la vulnerabilidad física de la vivienda por efecto del viento, se tomó como referencia el uso del Índice de Susceptibilidad al Daño (ISD) causado cuando la vivienda es sometida ante este fenómeno. El ISD parte de la definición propuesta por la CFE (1993) de lo que es un agente perturbador, que, para efecto de calcular este parámetro, será la velocidad del viento regional asociada a un periodo de retorno o lo que significa, la probabilidad de que ocurra un evento en un cierto lapso que por lo general se indica en años (CENAPRED, 2016).

EL ISD toma valores entre cero y uno, valores dados por tablas incluida en los apéndices 1.B.1 al 1.B.10 calculados a partir de funciones de vulnerabilidad específicas para este tipo de casos y daños causados por el viento (López-Bátiz et al., 2006). Para este caso la unidad habitación se compone de dos elementos básicos llamados “La Casa” (EC) y “La Barda colindante” (BC), además de conocer el valor de la velocidad regional en la que se encuentra la zona de estudio, que para este caso fue el municipio de Saltillo.

Tomando en cuenta lo anterior el ISD se dará de la forma:

$$ISD_{UH} = \frac{ISD_{EC} + ISD_{BC}}{2}$$

donde:

ISD_{UH}: representa el índice que mide la vulnerabilidad física de la Unidad-Habitación ante el nivel de intensidad seleccionado.

ISD_{EC}: representa el índice que mide la vulnerabilidad física de la vivienda (la casa) ante el nivel de intensidad seleccionado.

ISD_{BC}: representa el índice que mide la vulnerabilidad física de la barda de colindancia (si existe) ante el nivel de intensidad seleccionado. Si no existe este elemento, entonces se considerará $ISD_{EC} = ISD_{BC}$, por lo que resultaría $ISD_{UH} = ISD_{EC.}$

Memoria de cálculo

Tomando como referencia la clasificación de la tipología de la vivienda de la tabla anterior, se realizó un análisis para llevar a cabo un reajuste a la clasificación actual con la propuesta por el INEGI. Este se hizo comparando los tipos de materiales constructivos entre ambas clasificaciones derivando en lo expuesto por la

Tabla 136.

Tabla 136. Reclasificación de la tipología de la vivienda municipal ajustada a INEGI

Clasificación catastro	Clasificación INEGI	Cimientos	Muros y estructuras	Entrepisos y techo
1	2	Mampostería.	Tabique, alambrados, postes largueros, marcos de madera de ocote, *block.*	Vigas de madera con láminas de cartón o tela estructura metálica ligera.
2	2	Mampostería de piedra o dados de concreto cimiento ciclópeo.	Tabique, *block*, armadura ligeras, lámina diferentes tipos.	Vigas o armaduras ligeras, de madera o fierro con lámina de cartón, teja y asbesto.
3	2			
	2	Mampostería, zapatas aisladas o corridas cimiento de ciclópeo.	Tabique, *block*, piedra. Trabes o columnas, etcétera. De concreto o acero cantera, sillar.	Vigas o armaduras de acero, viguetas con lámina de asbesto o lámina galvanizada, galvateja.
4	2			
5	3	Mampostería, zapatas aisladas o corridas, trabes, contratrabes etcétera. ciclópeo.	Tabique, *block* de concreto, piedra, trabes, columnas de concreto o acero, cantera, sillar vidrios.	Losas sólidas, aligeradas, estructuras con lámina galvanizada, etcétera.
6	3	Mampostería, zapatas aisladas o corridas, trabes, contratrabes etcétera. ciclópeo.	Tabique, *block* de concreto, piedra, trabes, columnas de concreto o acero, cantera, sillar vidrios.	Paraboloides, cascarones, losas sólidas y aligeradas.
7	4	Consolidación de lodo con piedra o pedacearía de tabique.	Adobe o majareque.	Vigas de madera terrados y entortados.
8	4	Mampostería de piedra de mina, con cemento arena.	Adobe, tabique o piedra.	Vigas de madera terrado y entortado, o bóveda de ladrillo.
9	4	Mampostería de piedra braza, cemento arena.	Piedra, adobe o tabique, piedra labrada, dalas, castillos, cerramientos, trabes y escaleras mixto.	Vigas de madera o fierro, bóveda de ladrillo, losa de concreto.
10	1	Mampostería de piedra braza o mina.	Tabique, dalas, castillos, cerramientos de concreto.	Losas ligeras, entortado y escobillado.
11	1			
	1	Mampostería de piedra braza o mina con refuerzo de concreto.	Tabique, dalas, block de concreto ligero, dalas, castillos, trabes columnas y escaleras de concreto.	Losas de concreto, ligeras en ladrillo y escobilladlo, impermeabilizante comercial.
12	1			
13	1	Mampostería de piedra braza, zapatas aisladas o corridas de concreto armado.	Tabique, *block* de concreto, piedra, dalas, castillos, trabes, columnas de concreto y escaleras de concreto.	Losas de concreto armado con claros pequeños y reticulares, aligeradas impermeabilizante calidad.
14	1	Mampostería de piedra braza, zapatas aisladas o corridas de concreto armado, lotes, etcétera.	Tabique, *block* de concreto, piedra, celosías, dalas, castillos, trabes, columnas y escaleras de concreto o fierro.	Losas de concreto reforzado, reticulares y nervados, tejas nacionales y de importación, losa aligerada con casetón de nieve seca.
15	1	Mampostería, zapatas aisladas o corridas, trabes, contratrabes etc. ciclópeo.	Tabique, *block* de concreto, piedra, trabes, columnas de concreto o acero, cantera, sillar vidrios.	Losas sólidas, aligeradas, estructuras con lámina galvanizada, etcétera.
	1			

Fuente: elaboración propia con datos de la Dirección de Catastro Municipal.

Con el ajuste a la nueva tipología, se utilizó el índice que toma en cuenta la vulnerabilidad física, este índice integra las características físicas de la vivienda que la hacen susceptible al daño asociado a sismo o viento y es determinado con la siguiente ecuación.

$$I_{vf} = \frac{V_i P_i}{V_p P_m}$$

Donde:

I_{vf}: representa el índice que mide la vulnerabilidad física de la vivienda.

V_i: representa la calificación según el tipo de vivienda de acuerdo con la tipología de INEGI.

V_p: vivienda con el peor desempeño en relación a su vulnerabilidad.

P_i: nivel de peligro por sismo o viento en la zona en estudio.

P_M: nivel de peligro máximo por sismo o viento.

De acuerdo con la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la República Mexicana se encuentra Dividida en cuatro zonas sísmicas, en las que el nivel de intensidad sísmica varía de acuerdo con la composición y origen geológico, así para cada área, esta comisión calculó una serie de factores o parámetros aplicables a los espectros de diseño de la vivienda (Tabla 137).

Tabla 137. Parámetros relacionados a la zona sísmica

Zona sísmica	Factor aplicable
A	0.08
B	0.14
C	0.36
D	0.8

Fuente: CENAPRED, 2016.

En relación con la tabla anterior la zona sísmica A es la de menor peligro, mientras que la zona D, posee el factor de peligro más alto.

En relación con el análisis específico sobre peligro sísmico hecho en el apartado correspondiente integrado en este documento, se sostiene que el municipio de Saltillo se encuentra en una zona sísmica equivalente a la zona B, lo que quiere decir que representa un nivel de peligro bajo a lo que se ajusta a un parámetro de 0.14, según la tabla anterior. De este modo el cálculo de la vulnerabilidad física de la vivienda se determinó, tomando en cuenta los valores de la base de datos catastral y sus respectivas equivalencias ajustadas a la clasificación de INEGI.

Un ejemplo del cálculo de la vulnerabilidad física de la vivienda ante sismo en Saltillo se da mediante la sustitución de los valores correspondientes en la ecuación arriba descrita, en ella se lleva a cabo el cálculo para una vivienda tomada de la base de datos catastral.

$$I_{vf} = \frac{(1)(0.14)}{(4)(0.8)} = 0.044$$

V_i: tipología de INEGI, que para el ejemplo es de 1, lo que quiere decir vivienda de Muros de mampostería con techos rígidos.

V_p: vivienda con el peor desempeño en relación a su vulnerabilidad, para el caso del municipio de Saltillo y de acuerdo a la tipología INEGI, la vulnerabilidad mas alta es de tipo 4 (Tabla 137).

P_i: nivel de peligro por sismo o viento en la zona de estudio, que para este ejemplo toma el valor.

de 0.14 dado que el muicipio se encuentra en zona sísmica **B** (Tabla 137).

P_M: nivel de peligro máximo por sismo o viento, que es el nivel de la Zona sísmica **D**, que es la de mayor peligro sísmico y toma el valor de 0.8 (Tabla 138).

El valor obtenido de la aplicación de la ecuación permite determinar el nivel de vulnerabilidad social para una vivienda de la base de datos catastral, que de acuerdo con los valores de referencia de dados por el CENAPRED en la guía de la que se habla al inicio de esta metodología, indica que la vulnerabilidad es de nivel “Muy Bajo” tomando como referencia los valores de la Tabla 138.

Tabla 138. Nivel de vulnerabilidad

$0.0 \leq I_{Vf} < 0.2$	Muy bajo
$0.2 \leq I_{Vf} < 0.4$	Bajo
$0.4 \leq I_{Vf} < 0.5$	Medio
$0.6 \leq I_{Vf} < 0.8$	Alto
$0.8 \leq I_{Vf} \leq 1.0$	Muy alto

Fuente: CENAPRED, 2016.

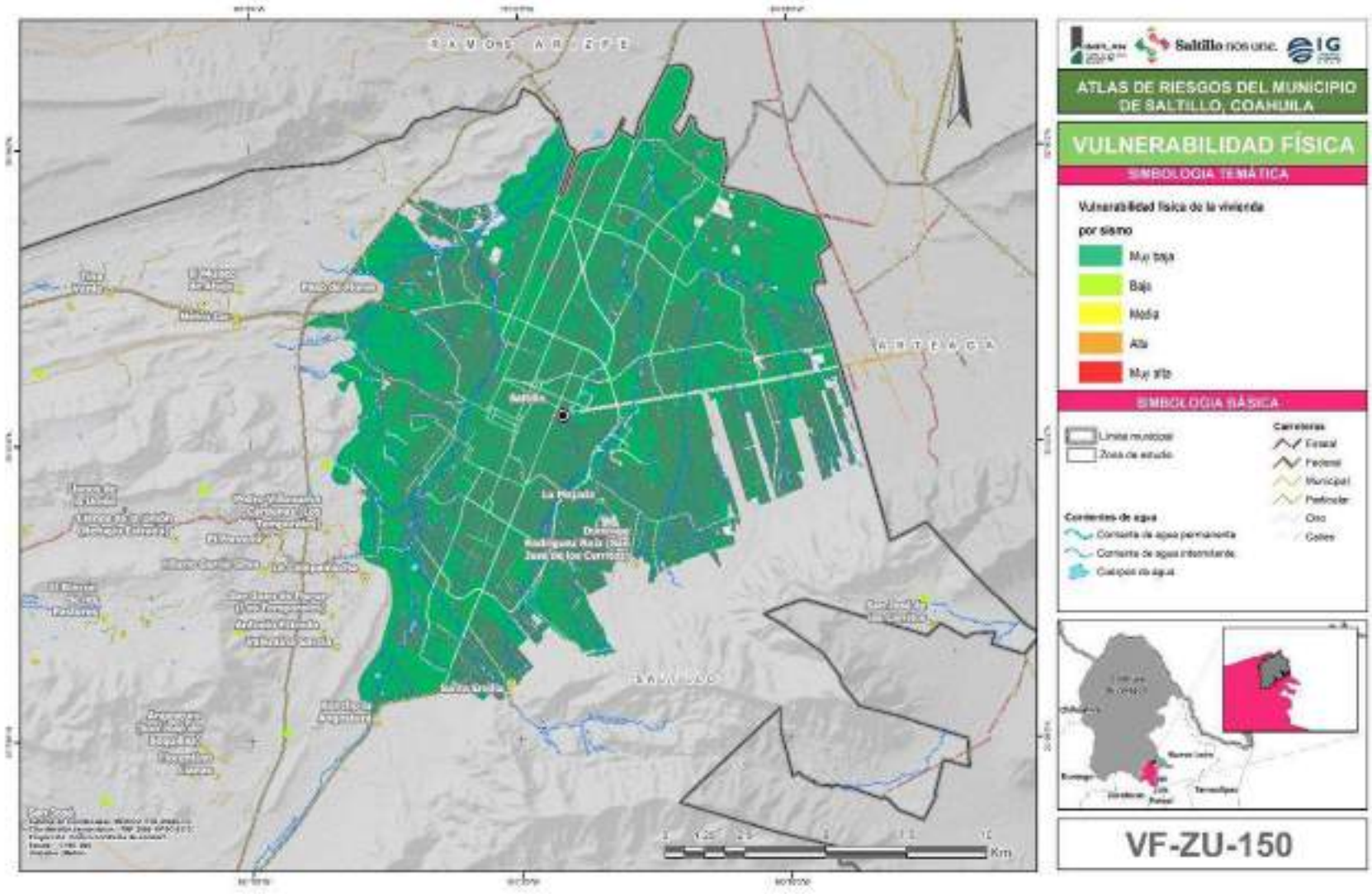
La aplicación de dicha formula se realizó para todas las viviendas reportadas en la base de datos catastral directamente sobre la capa de tipo *shapefile*, utilizando el software ArcGis.

De la misma manera que con los sismos, para realizar los cálculos de la vulnerabilidad de la vivienda ante vientos, se clasificó a esta de rural de acuerdo con su composición estructural, para este efecto se utilizó la capa de información catastral, así como de las de localidades rurales en formato *shapefile* y se le asignaron los valores correspondientes de entre según la clasificación del INEGI.

Resultados

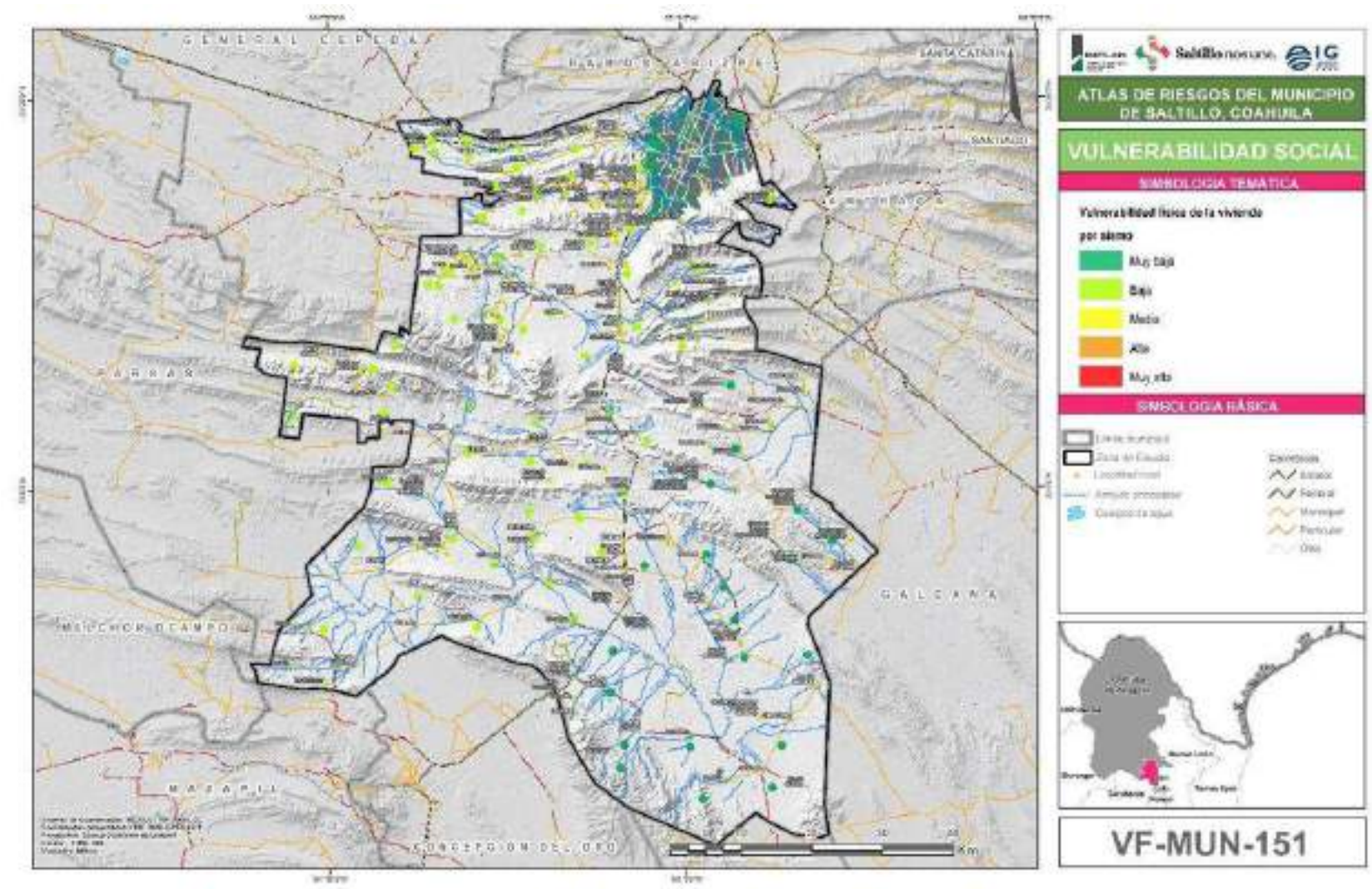
El resultado de la aplicación de la ecuación a la capa de datos catastral sirvió para determinar el nivel de vulnerabilidad física de la vivienda ante el efecto de un sismo y construir el mapa respectivo de niveles de vulnerabilidad por sismo en la zona urbana (Mapa 156), además de nivel municipal (Mapa 157).

Mapa 156. Vulnerabilidad física de la vivienda por sismo en zona urbana



Fuente: elaboración propia

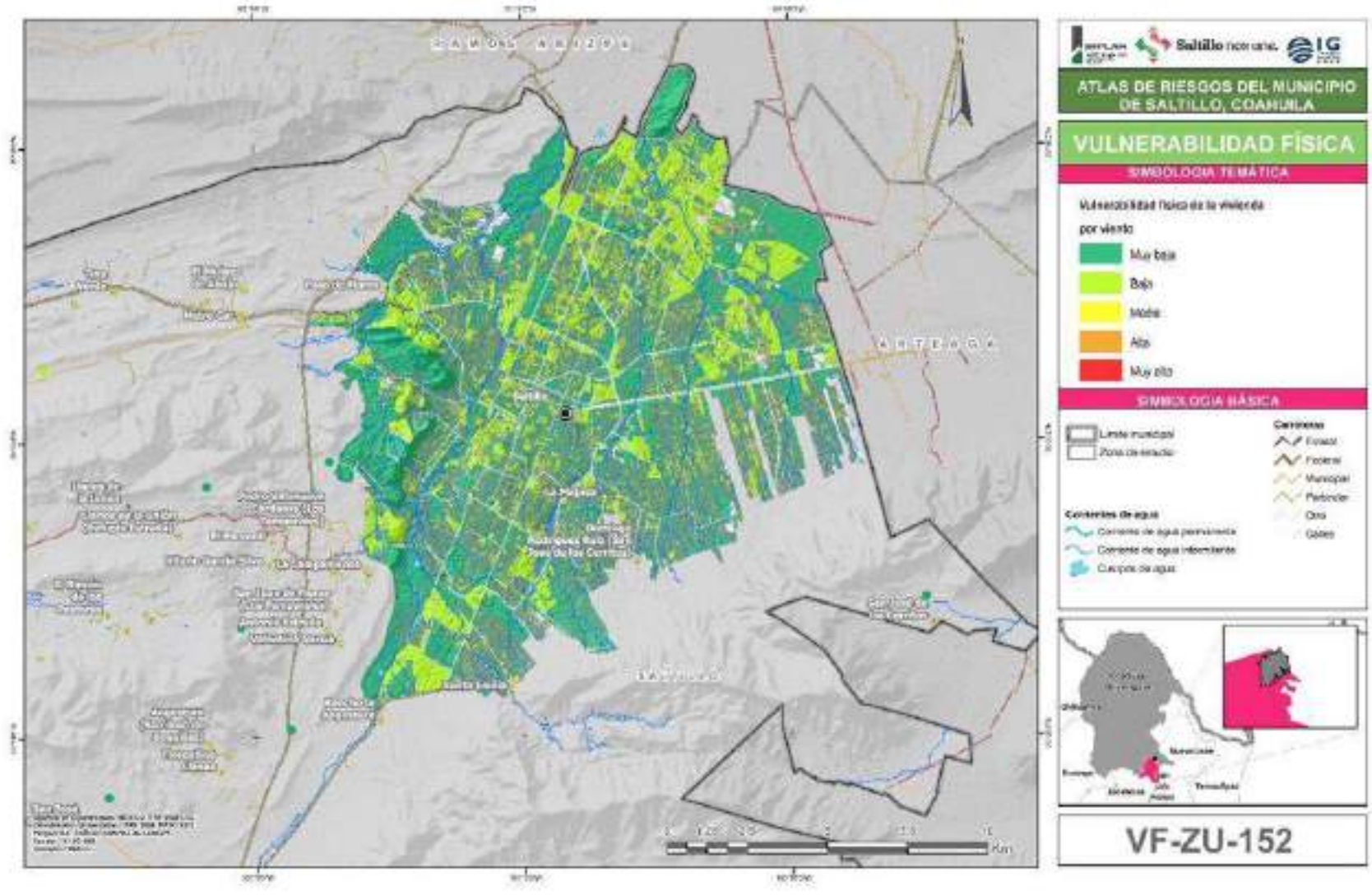
Mapa 157. Vulnerabilidad física de la vivienda por sismo a nivel municipal



Fuente: elaboración propia.

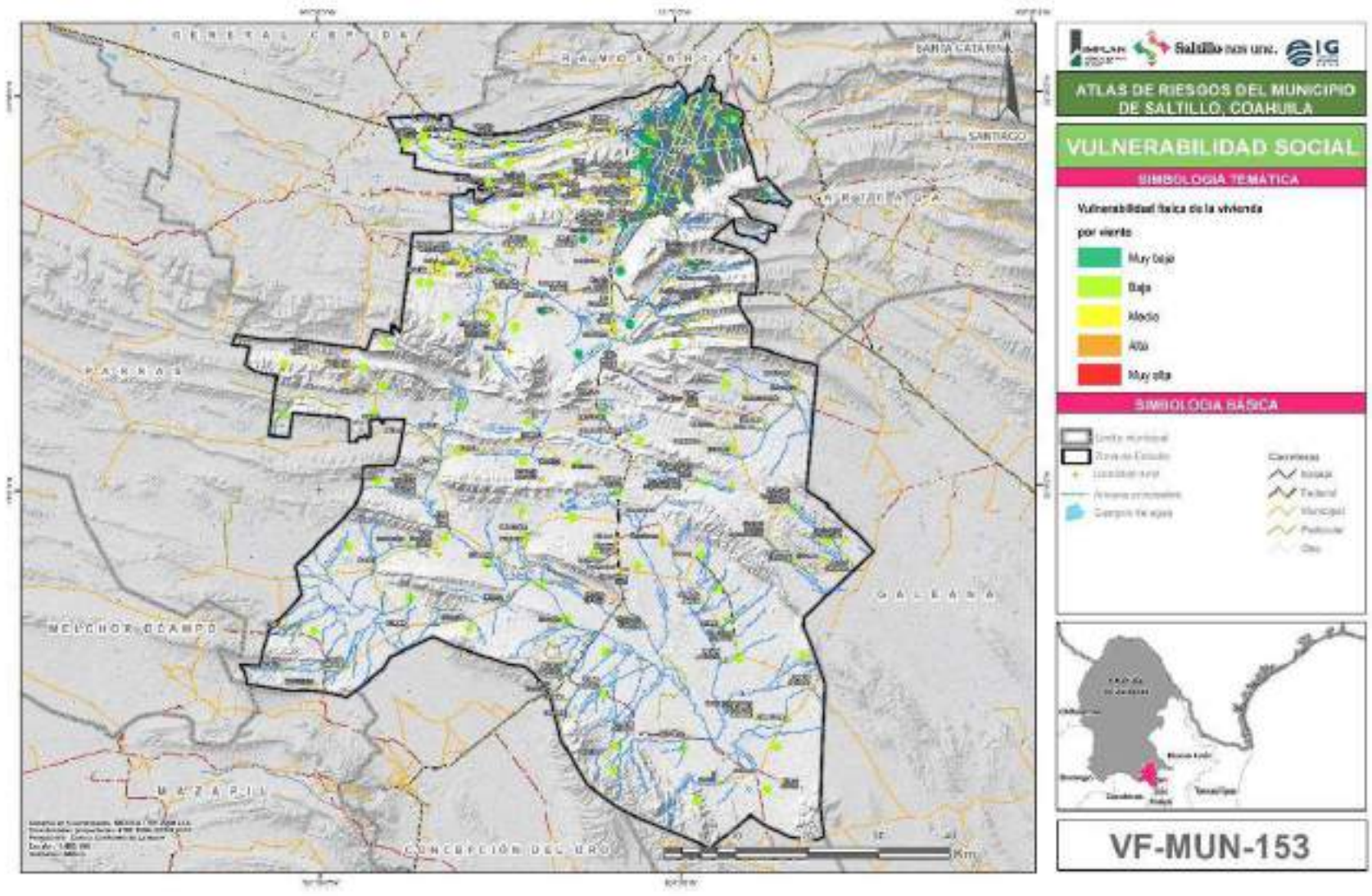
De la aplicación de la metodología para el cálculo de la vulnerabilidad física de la vivienda ante los efectos del viento se obtuvieron el Mapa 158 y el Mapa 159 .

Mapa 158. Vulnerabilidad física de la vivienda por viento en zona urbana



Fuente: elaboración propia.

Mapa 159. Vulnerabilidad física de la vivienda por viento a nivel municipal



Fuente: elaboración propia.

Vulnerabilidad global

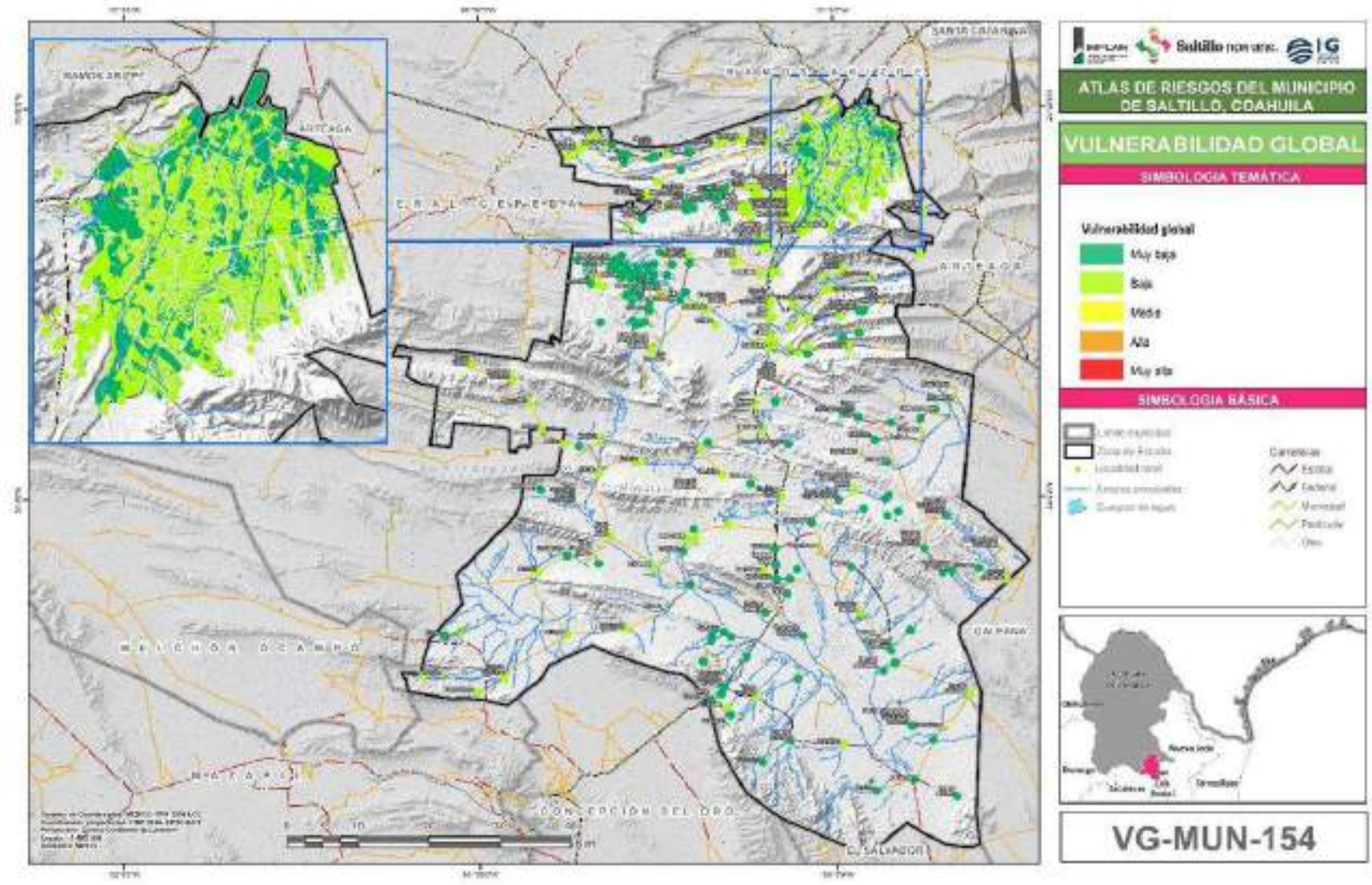
La vulnerabilidad global de un territorio frente a fenómenos perturbadores está determinada por una combinación de factores físicos, así como sociales, que incluyen las condiciones socioeconómicas, la percepción del riesgo a nivel local, además de la capacidad de respuesta y prevención. También está influida por el nivel de exposición física a daños que enfrenta una población ante riesgos naturales o antropogénicos (SEGOB/CENAPRED, 2014).

Este concepto abarca tanto la capacidad de una comunidad para enfrentar amenazas como los recursos disponibles para mitigar sus efectos, además de la exposición de la vivienda y la infraestructura local.

Para representar la vulnerabilidad global, los productos cartográficos de vulnerabilidad social y física se integran, con una ponderación equitativa del 50%, en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Este enfoque permite crear una cobertura espacial detallada que proporciona información precisa a nivel municipal sobre las áreas más expuesta, así como vulnerables frente a diversos tipos de amenazas.

El resultado de este proceso se presenta en la Mapa 160, en el cual se puede observar los grados de vulnerabilidad global. En él se observa también que, el nivel de vulnerabilidad baja es predominante en todo el municipio, mientras que el nivel de vulnerabilidad muy bajo se intercala con menor distribución.

Mapa 160.Vulnerabilidad global del municipio de Saltillo.



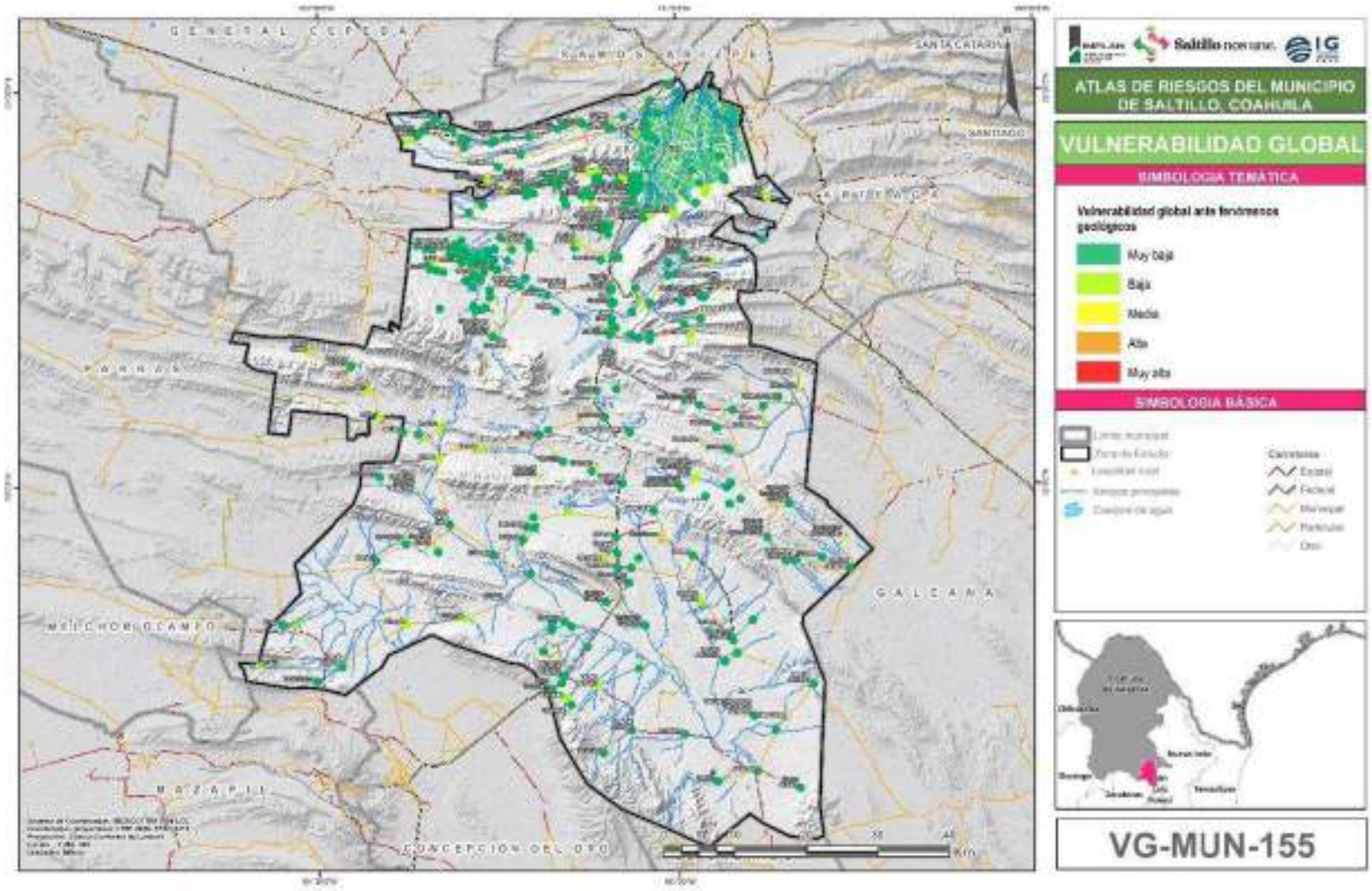
Fuente: elaboración propia.

Distribución espacial de la vulnerabilidad global por fenómeno perturbador

La integración de los componentes de vulnerabilidad global por fenómeno perturbador se elabora mediante la misma metodología de algebra de mapas utilizando la información generada a nivel localidad, también manzana urbana de la vulnerabilidad social por fenómeno perturbador y el índice de vulnerabilidad física, componentes analizados en las etapas anteriores de este estudio.

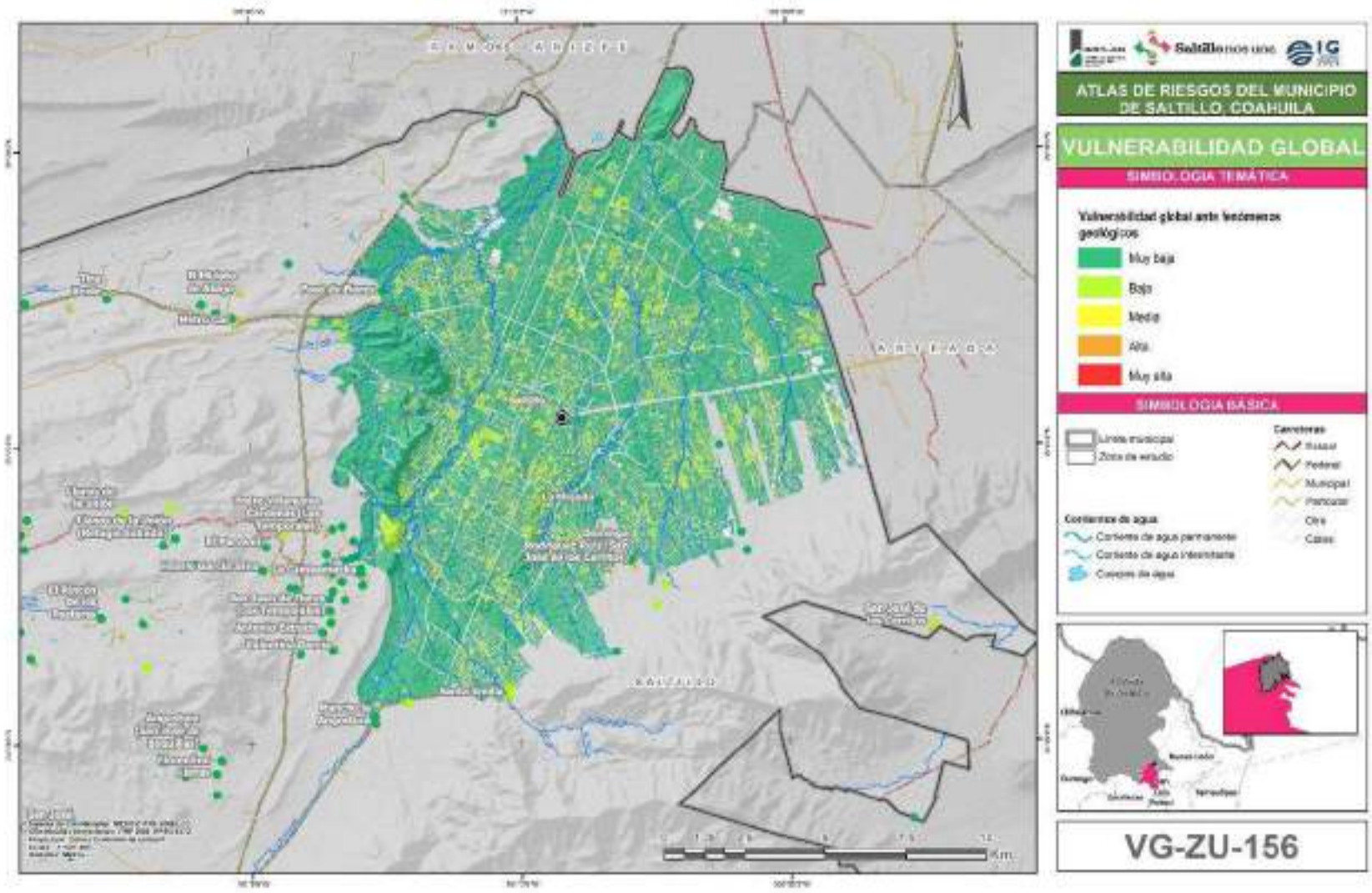
Los resultados de este análisis espacial identifican las zonas donde se deben enfocar los mayores esfuerzos para prevenir y reducir la vulnerabilidad presente ante determinado tipo de fenómeno perturbador mediante la acción coordinada de los organismos gubernamentales municipales enfocados a la planeación territorial, a la atención y reacción como lo es Protección Civil, entre otros muchos actores e inclusive la ciudadanía en general, para instaurar mecanismos de mejora en las condiciones de vida actuales.

Mapa 161. Vulnerabilidad global ante fenómenos geológicos a nivel municipal



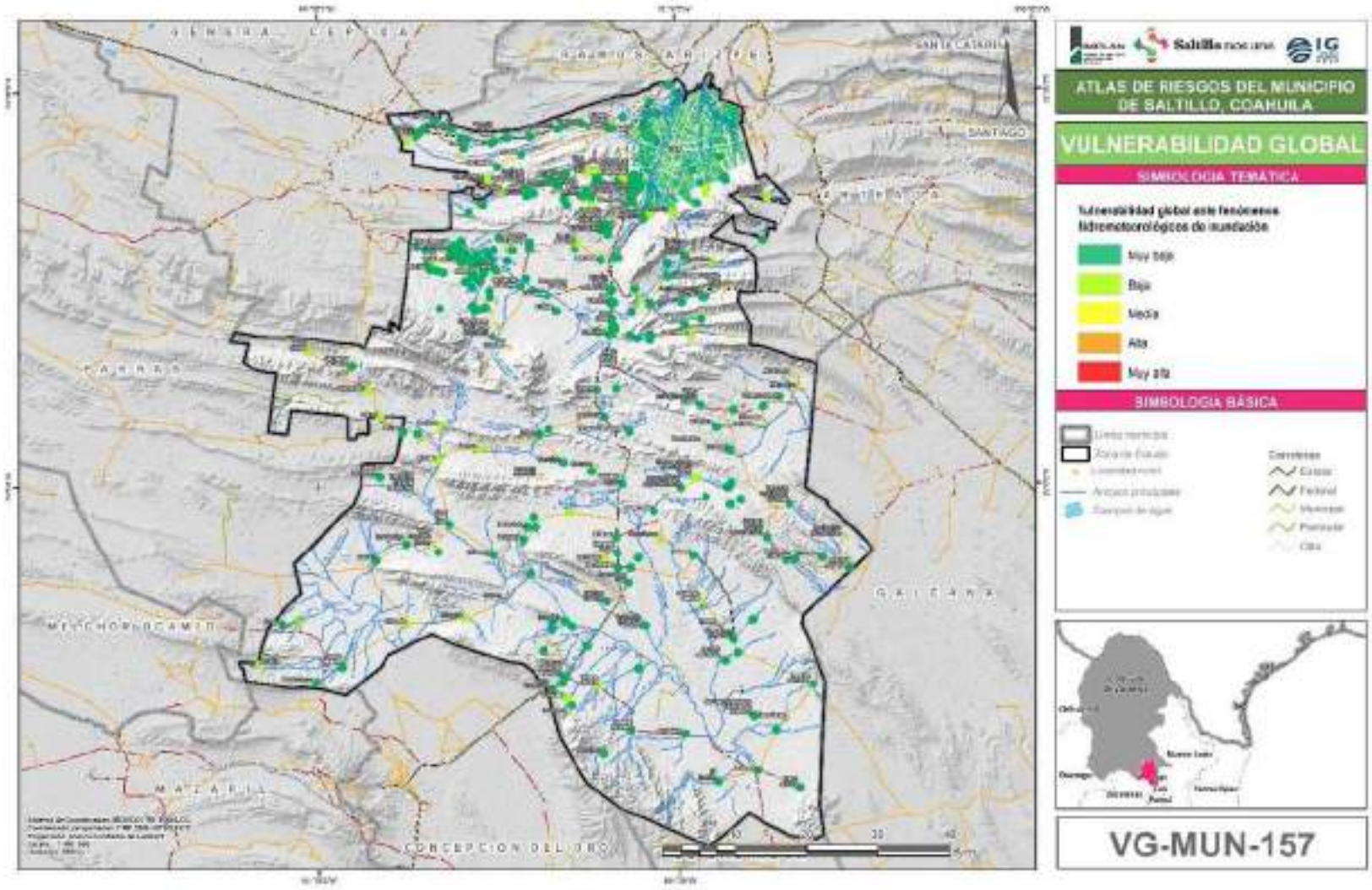
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 162.Vulnerabilidad global ante fenómenos geológicos a nivel manzana para el municipio de Saltillo



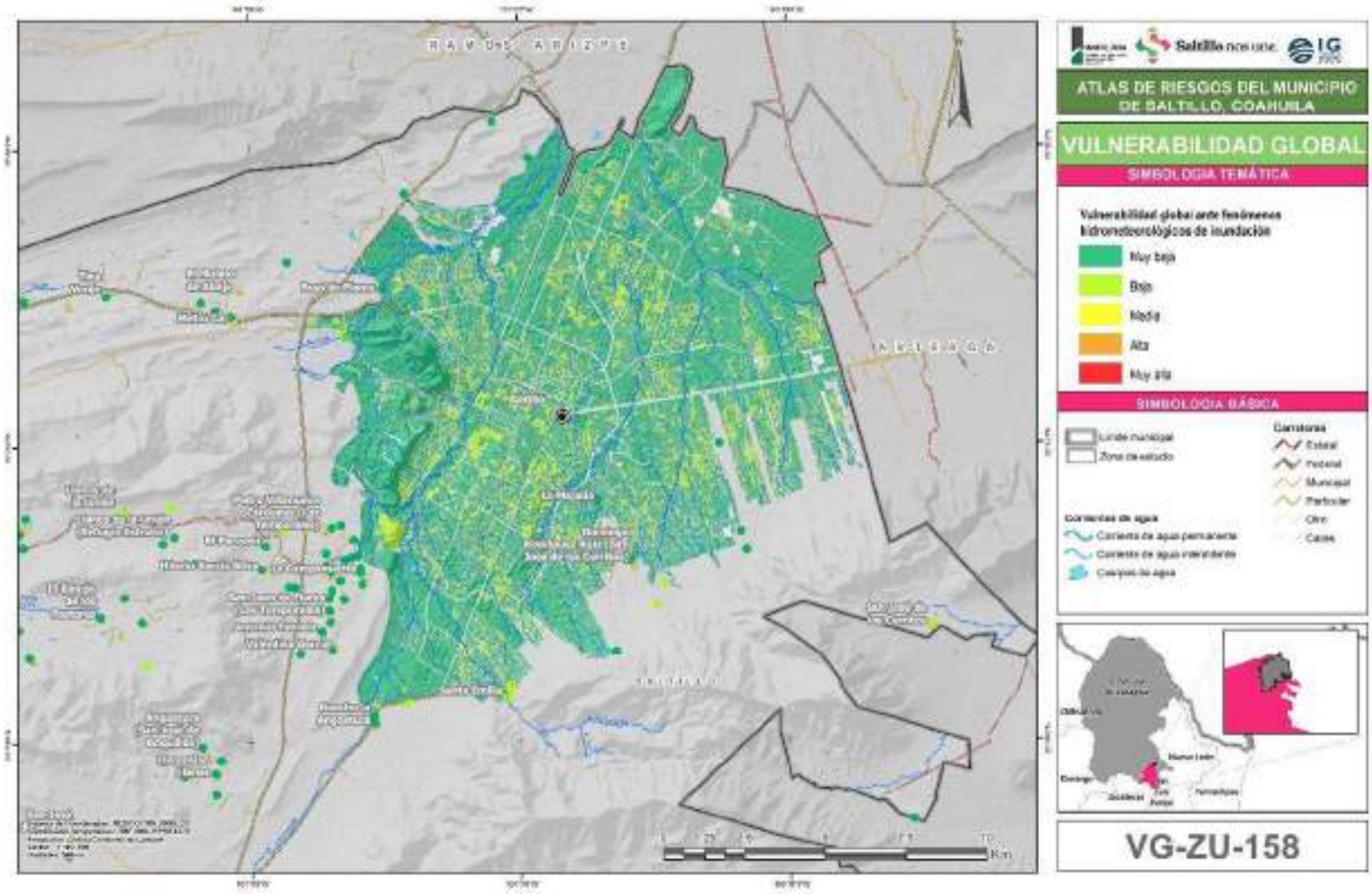
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 163.Vulnerabilidad global ante fenómenos hidrometeorológicos de inundación a nivel municipal



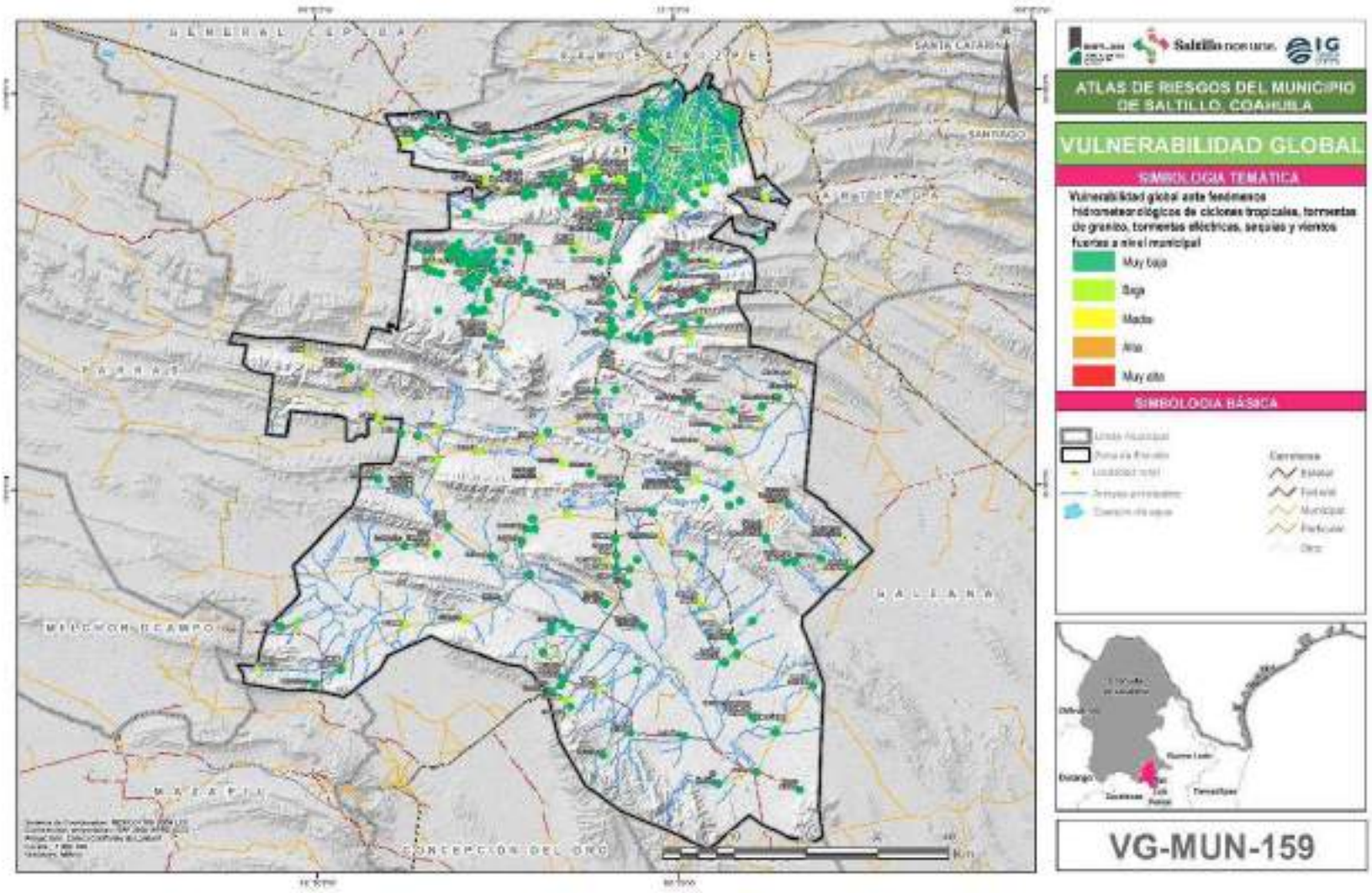
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 164.Vulnerabilidad global ante fenómenos hidrometeorológicos de inundación a nivel manzana



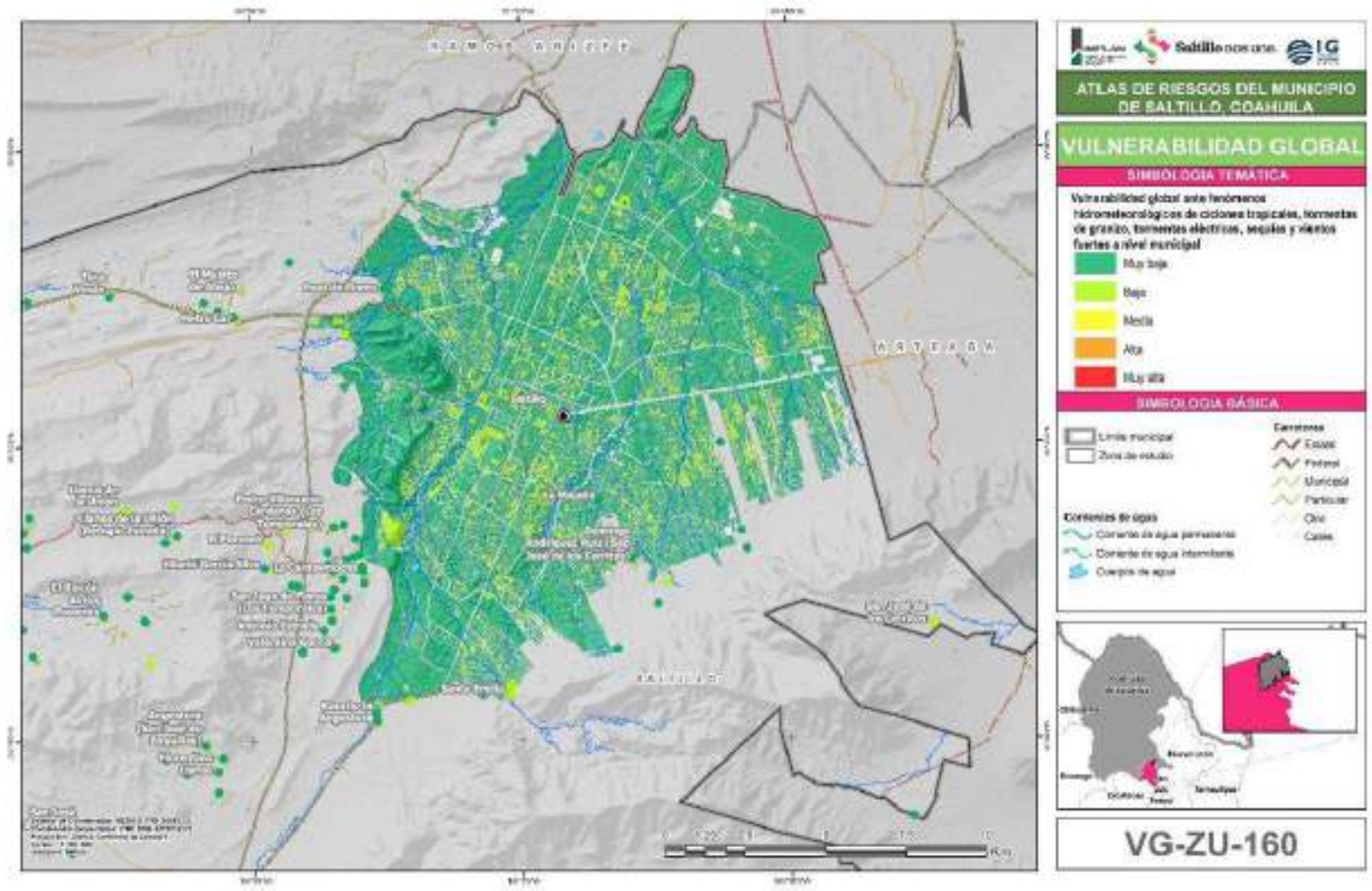
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 165.Vulnerabilidad social ante fenómenos hidrometeorológicos de ciclones tropicales, tormentas de granizo, tormentas eléctricas, sequías y vientos fuertes a nivel municipal



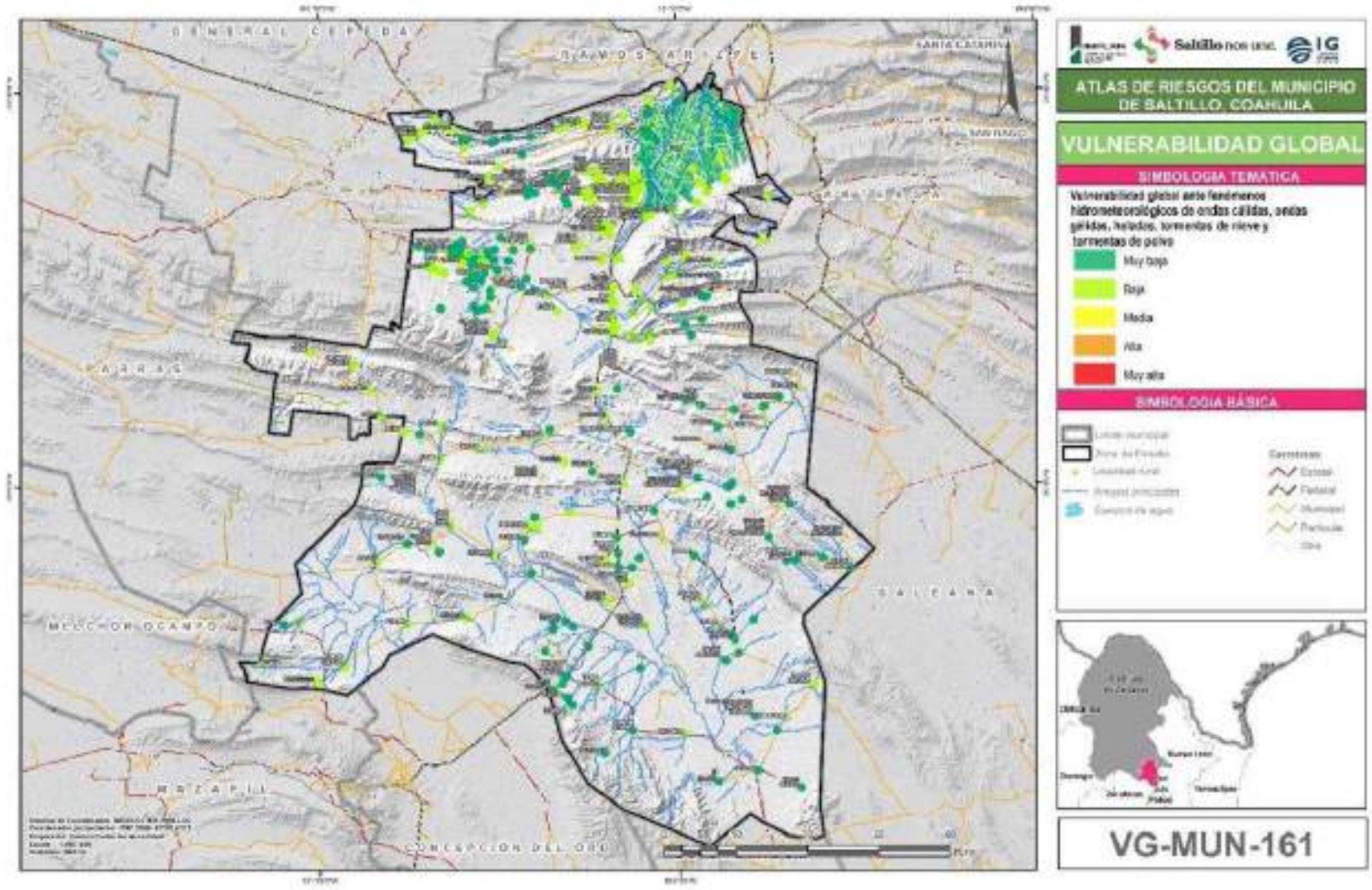
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 166. Vulnerabilidad social ante fenómenos hidrometeorológicos de ciclones tropicales, tormentas de granizo, tormentas eléctricas, sequías y vientos fuertes a nivel manzana



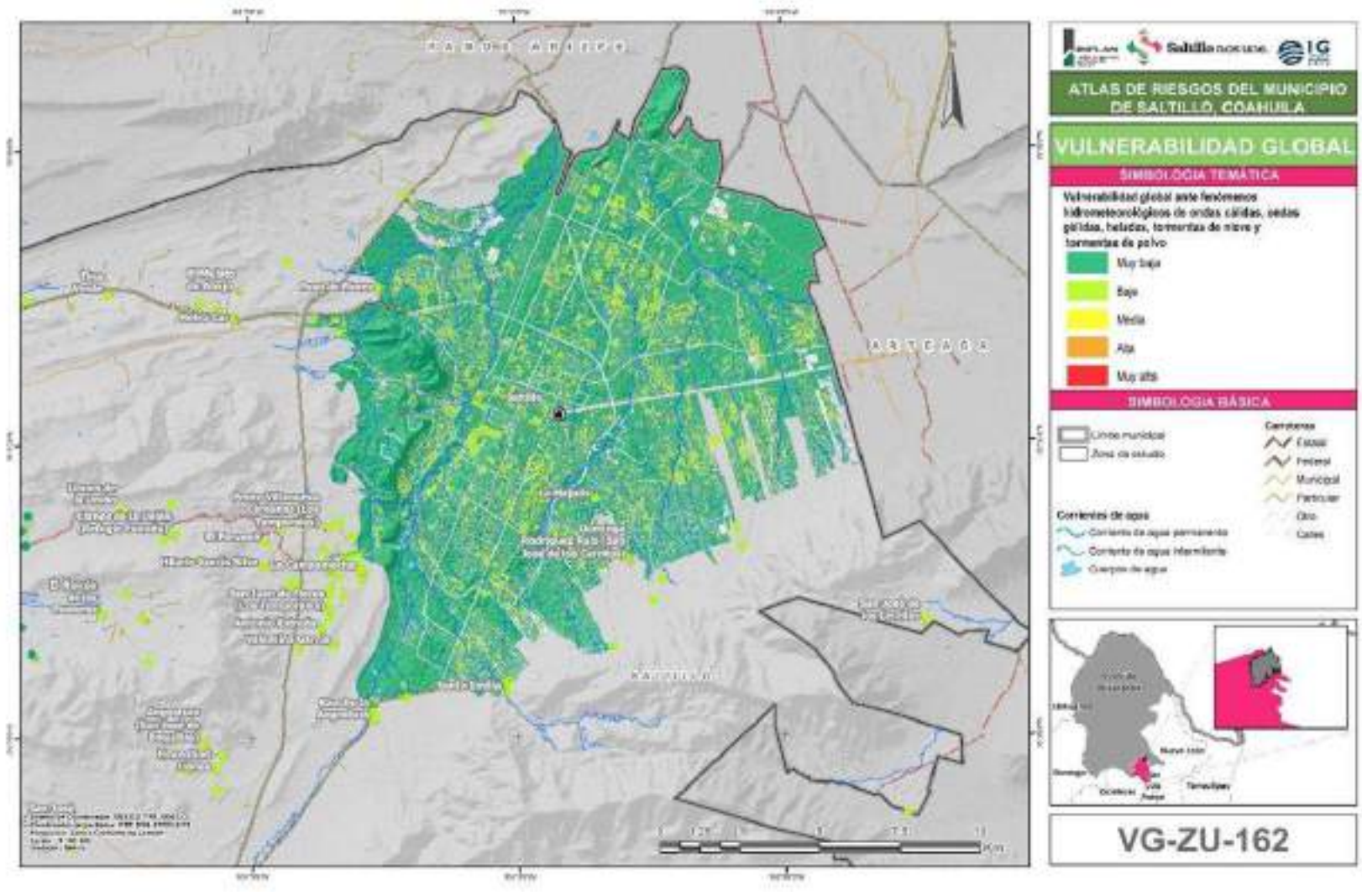
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 167. Vulnerabilidad social ante fenómenos hidrometeorológicos de ondas cálidas, ondas gélidas, heladas, tormentas de nieve y tormentas de polvo a nivel municipal



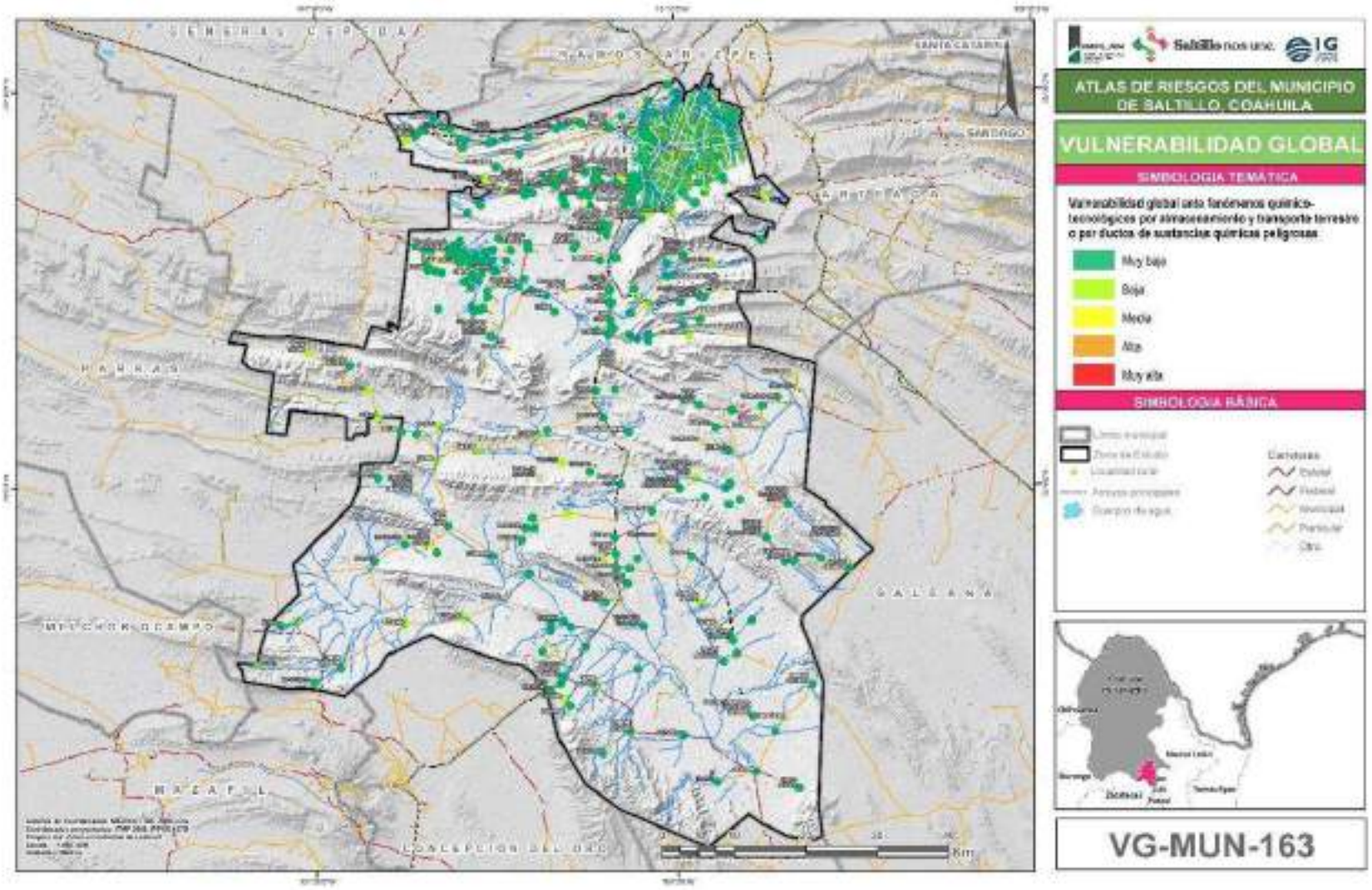
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 168.Vulnerabilidad social ante fenómenos hidrometeorológicos de ondas cálidas, ondas gélidas, heladas, tormentas de nieve y tormentas de polvo a nivel manzana



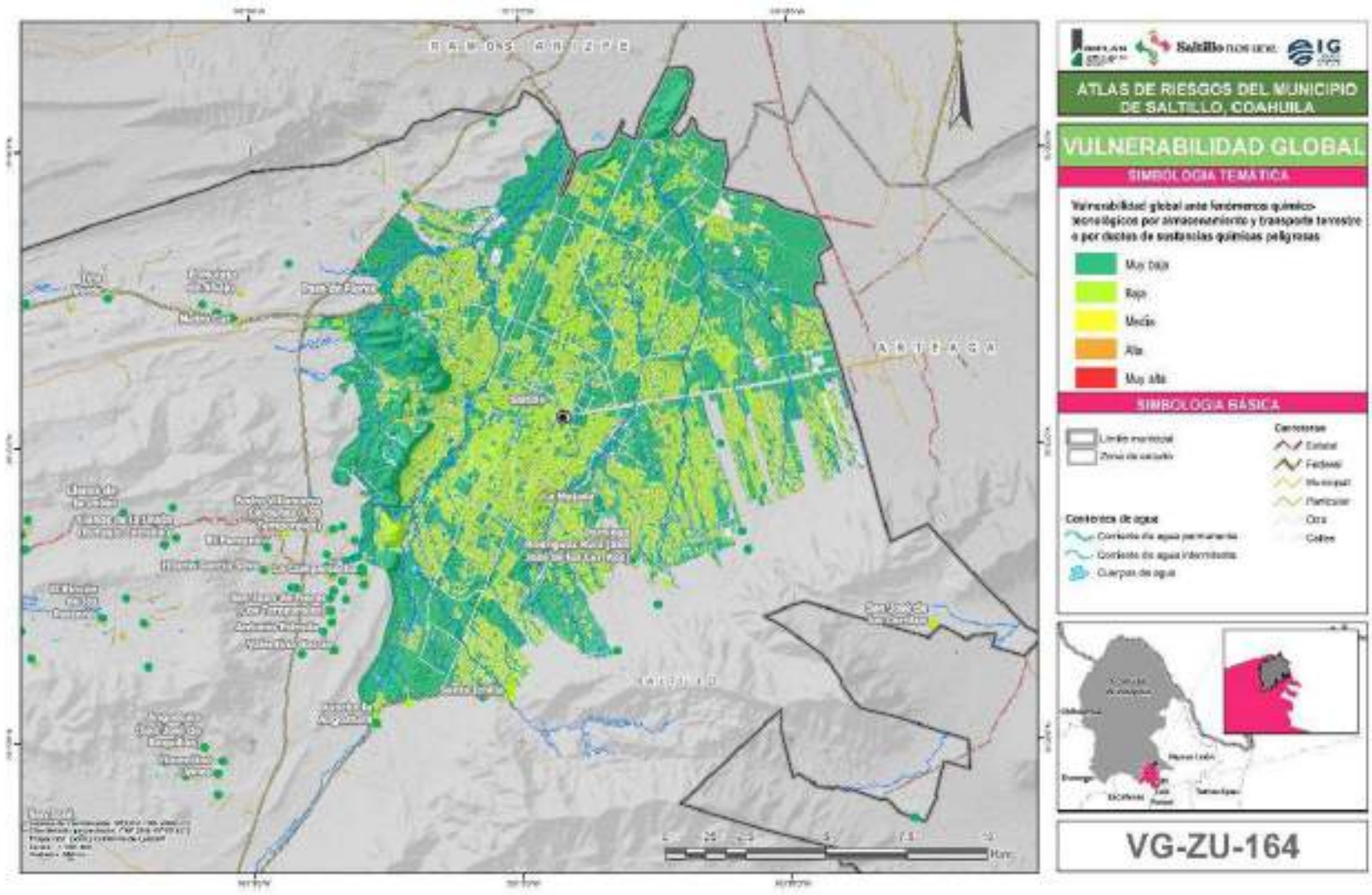
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 169.Vulnerabilidad social ante fenómenos químico-tecnológicos por almacenamiento y transporte terrestre o por ductos de sustancias químicas peligrosas a nivel municipal



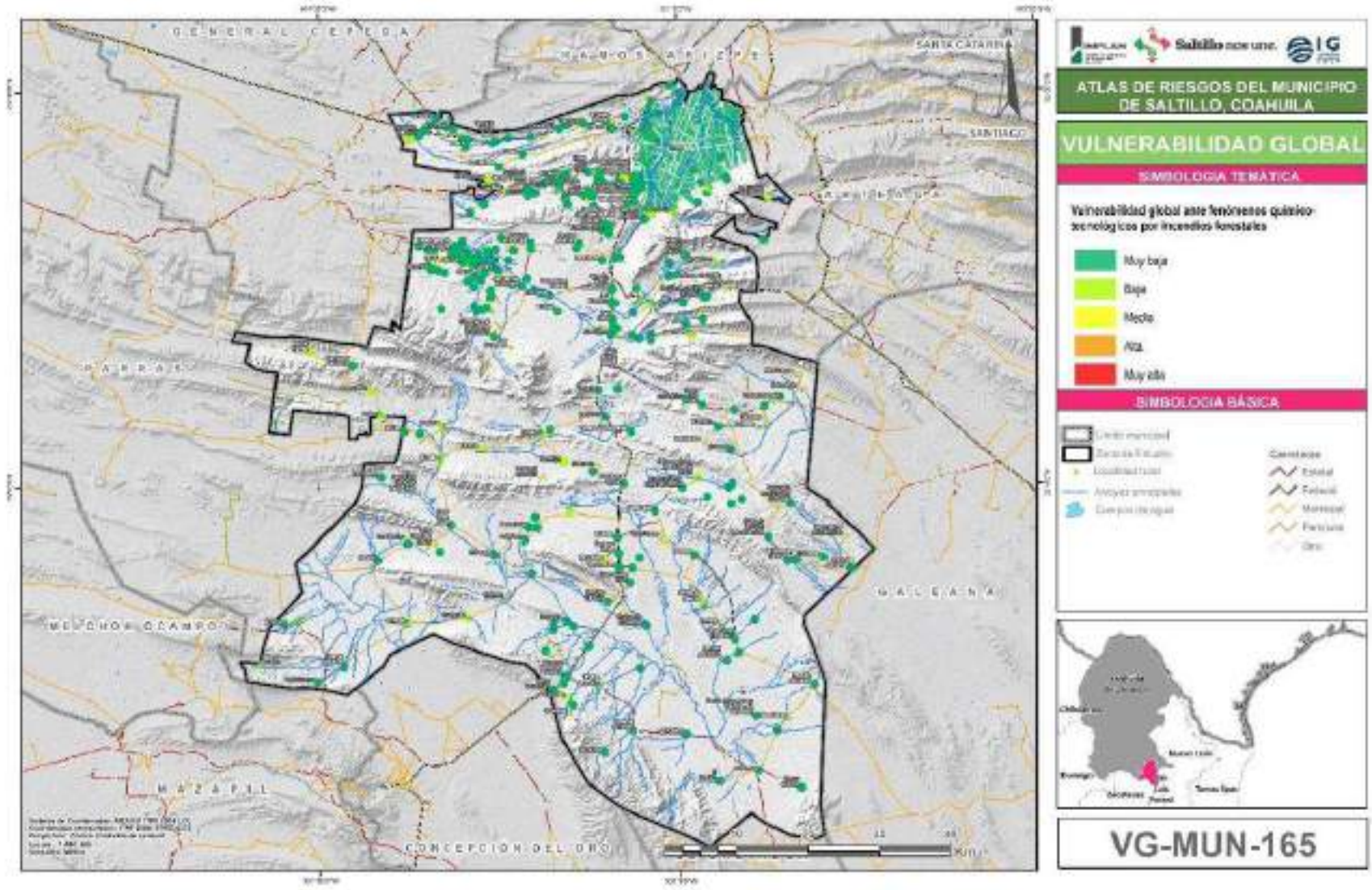
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 170.Vulnerabilidad social ante fenómenos químico-tecnológicos por almacenamiento y transporte terrestre o por ductos de sustancias químicas peligrosas a nivel manzana



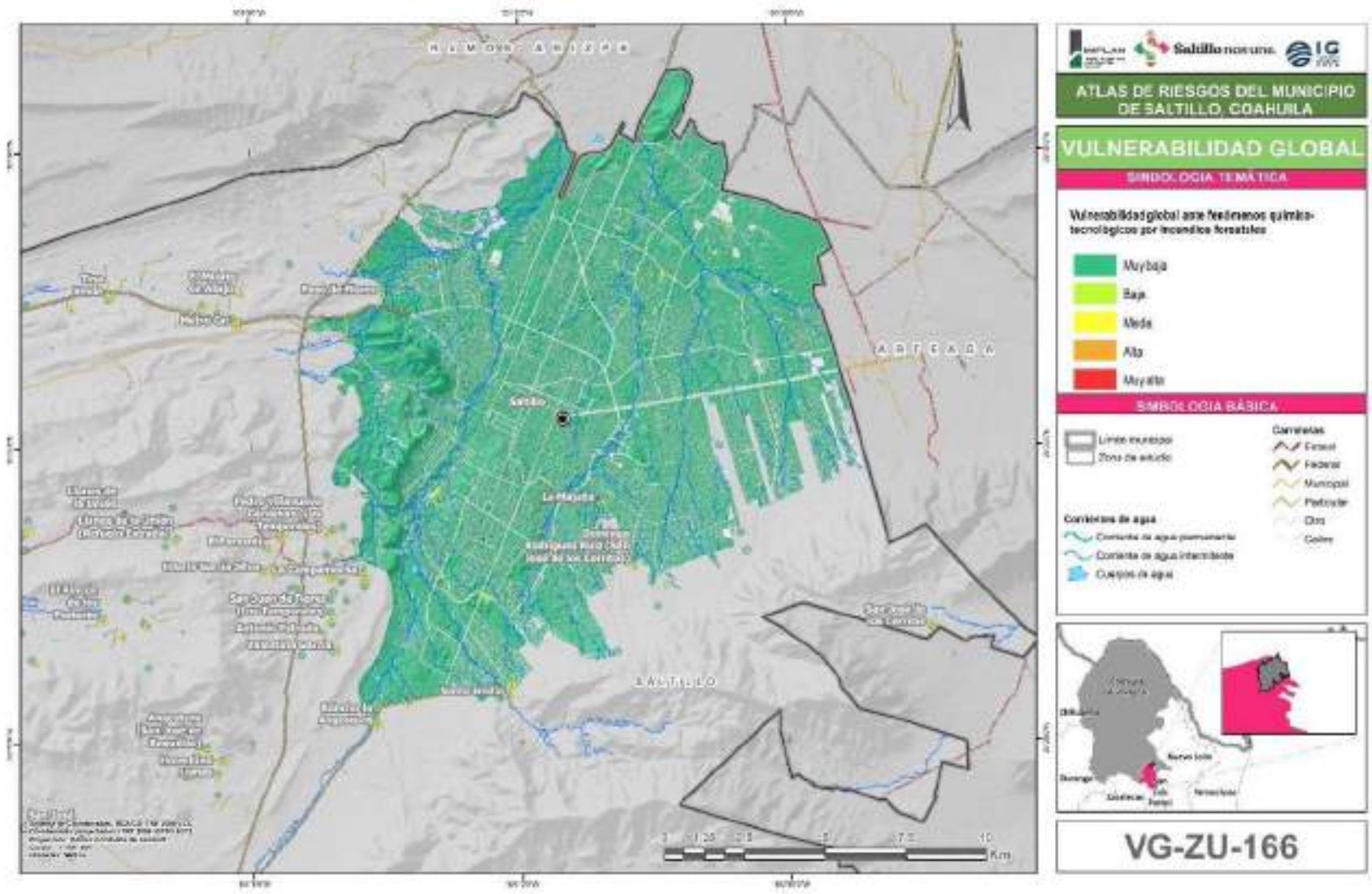
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 171.Vulnerabilidad social ante fenómenos químico - tecnológicos por incendios forestales a nivel municipal



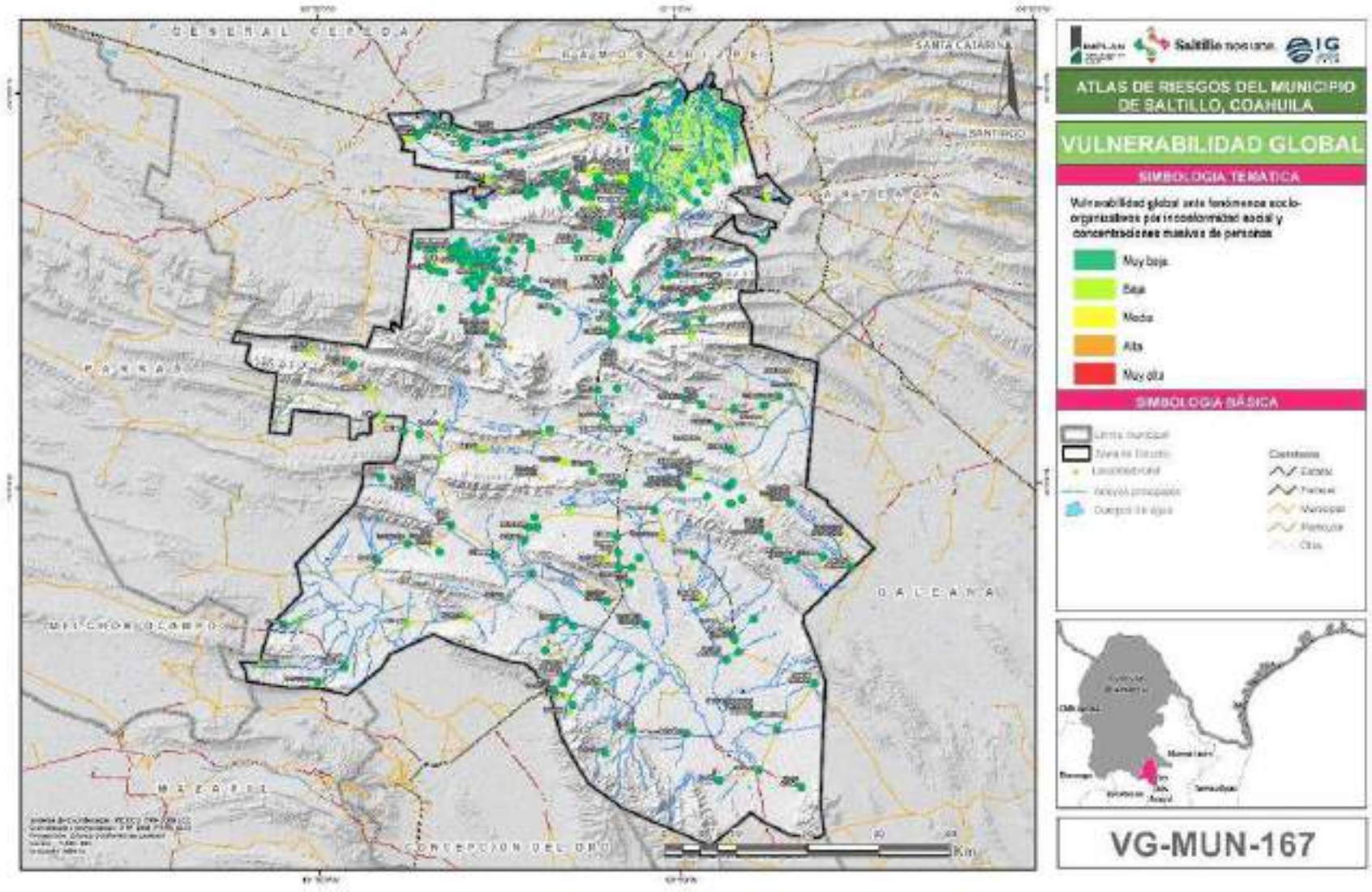
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 172.Vulnerabilidad social ante fenómenos químico - tecnológicos por incendios forestales a nivel manzana



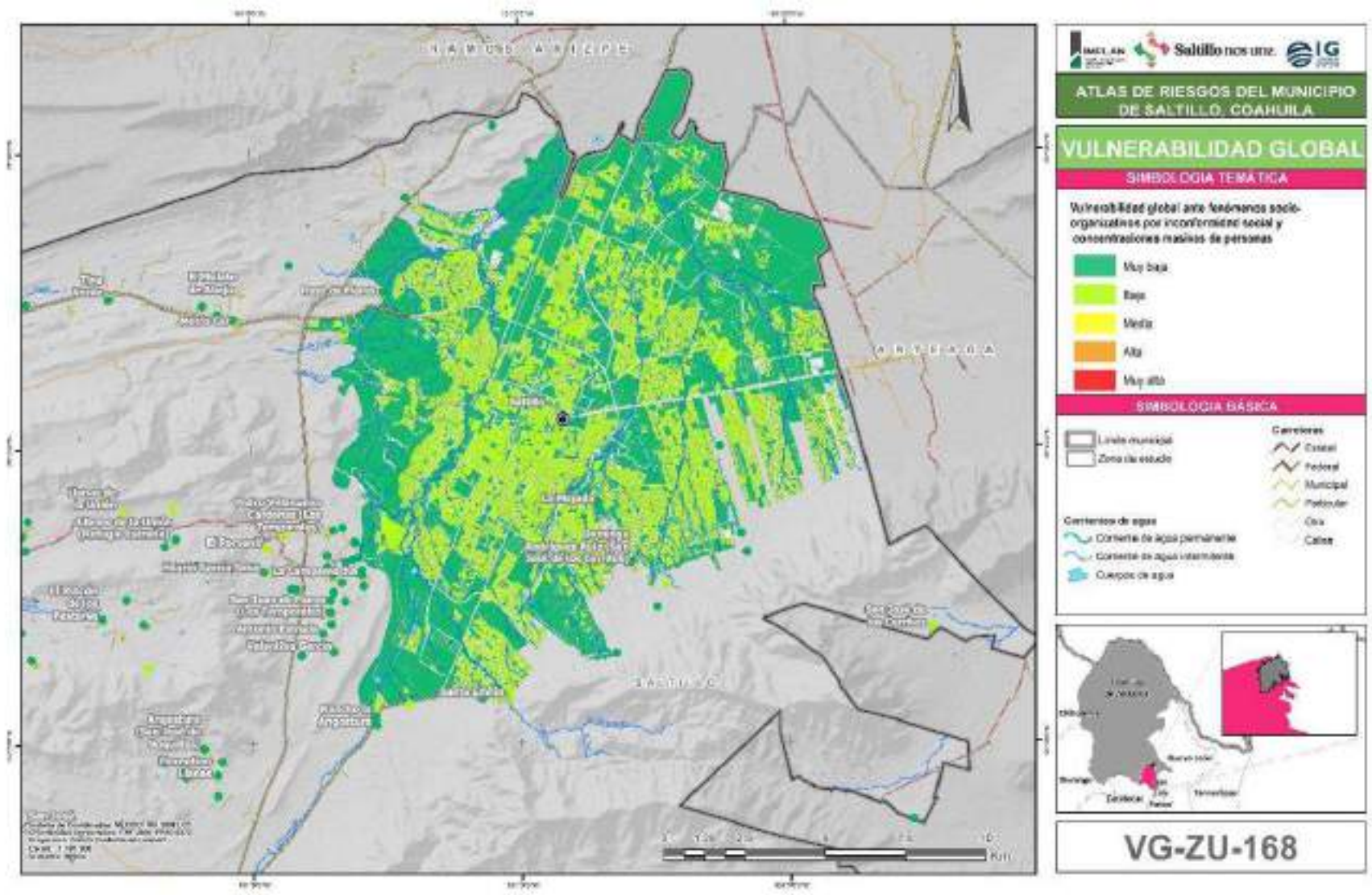
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 173.Vulnerabilidad social ante fenómenos socio - organizativos por inconformidad social y concentraciones masivas de personas a nivel municipal



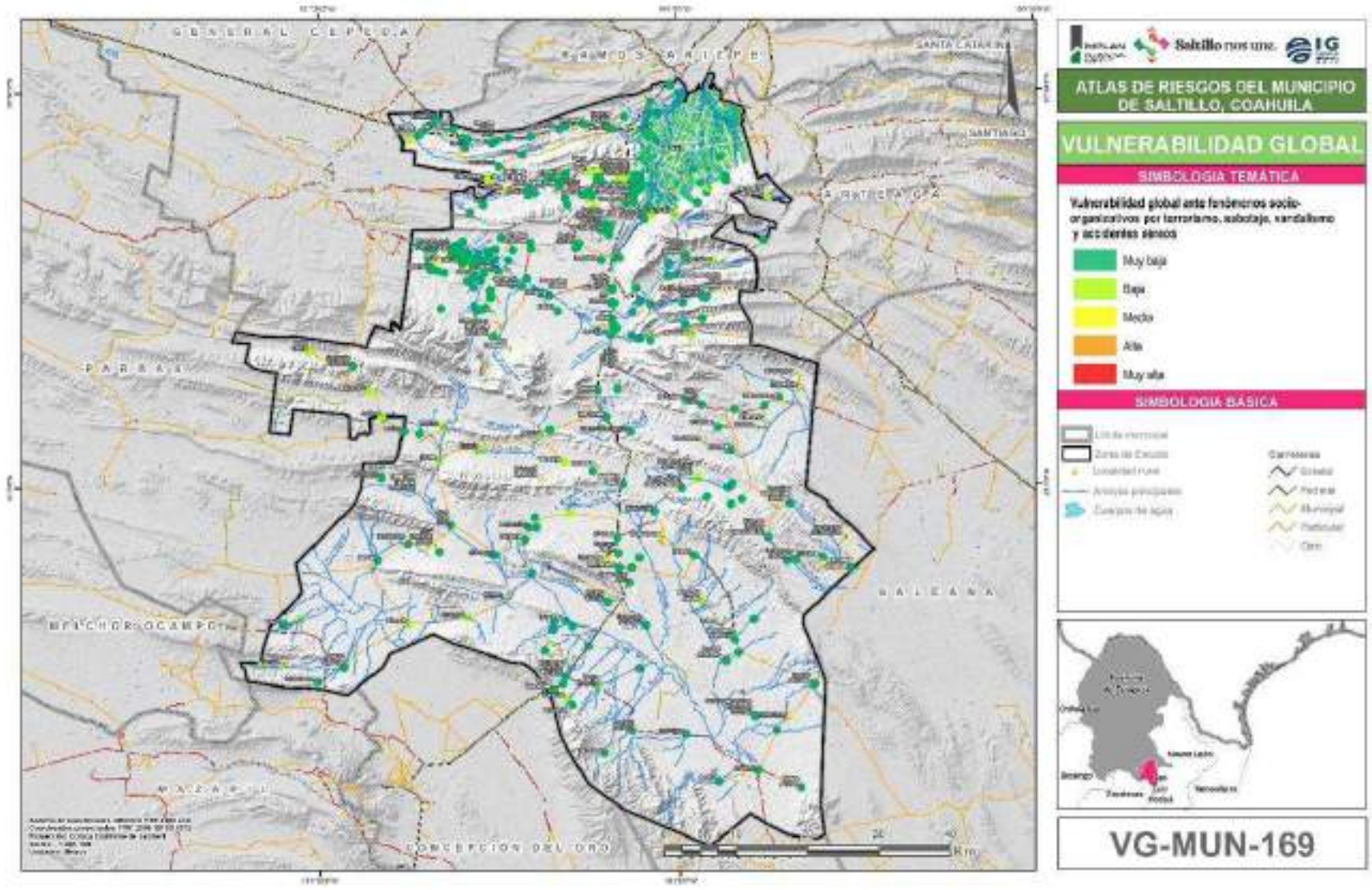
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 174.Vulnerabilidad social ante fenómenos socio - organizativos por inconformidad social y concentraciones masivas de personas a nivel manzana



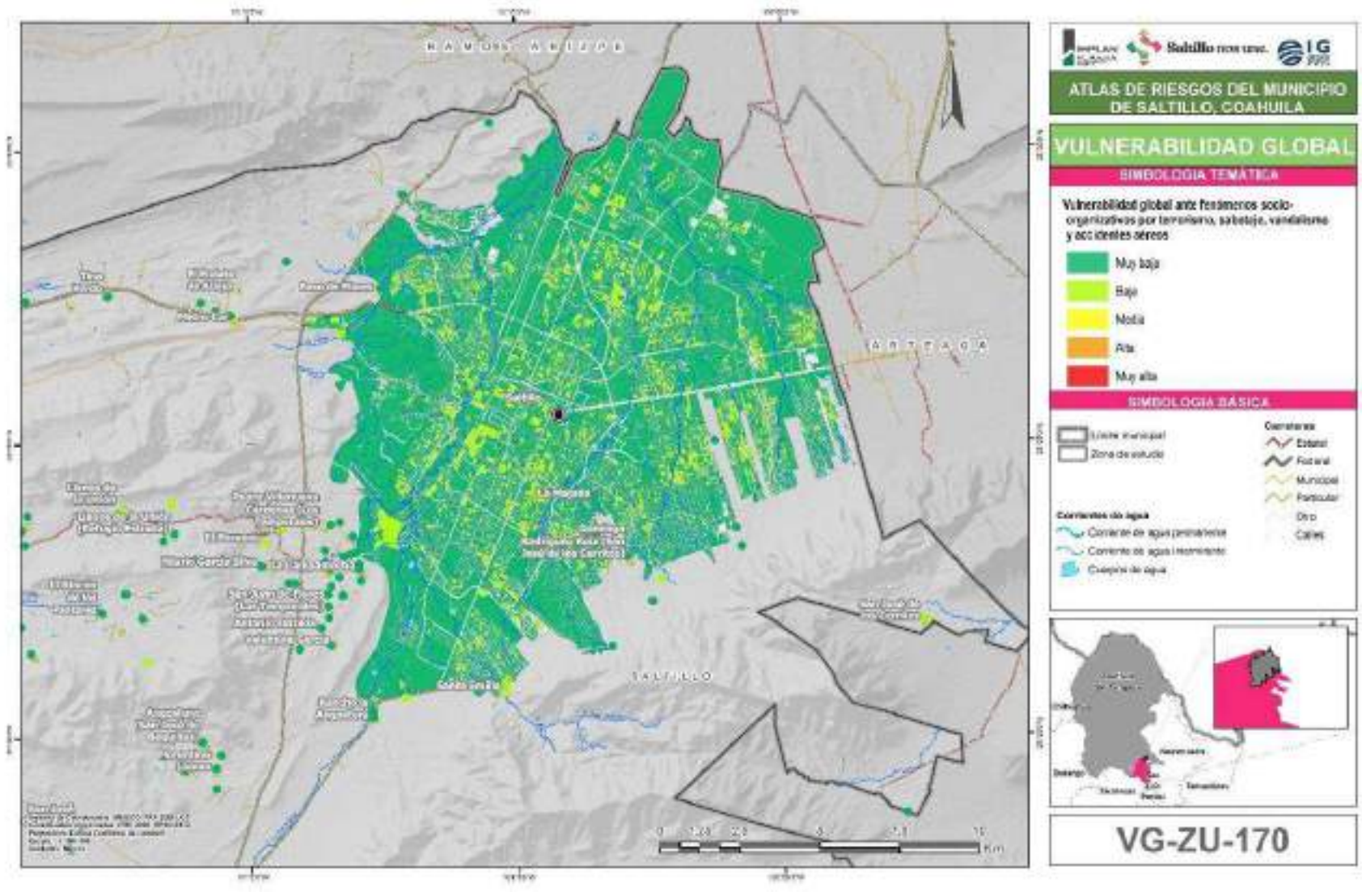
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 175.Vulnerabilidad social ante fenómenos socio - organizativos por terrorismo, sabotaje, vandalismo y accidentes aéreos a nivel municipal



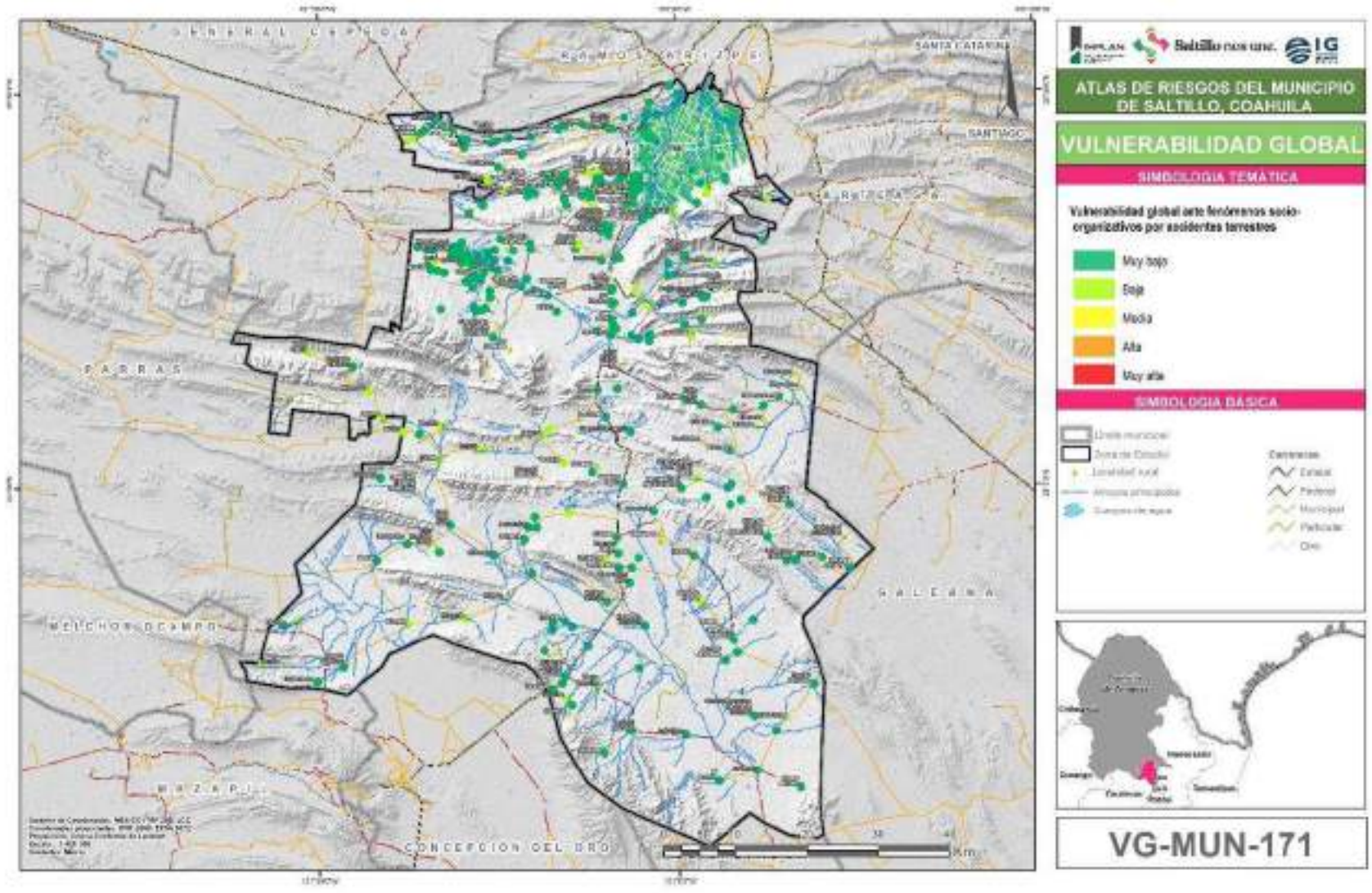
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 176.Vulnerabilidad social ante fenómenos socio - organizativos por terrorismo, sabotaje, vandalismo y accidentes aéreos a nivel manzana



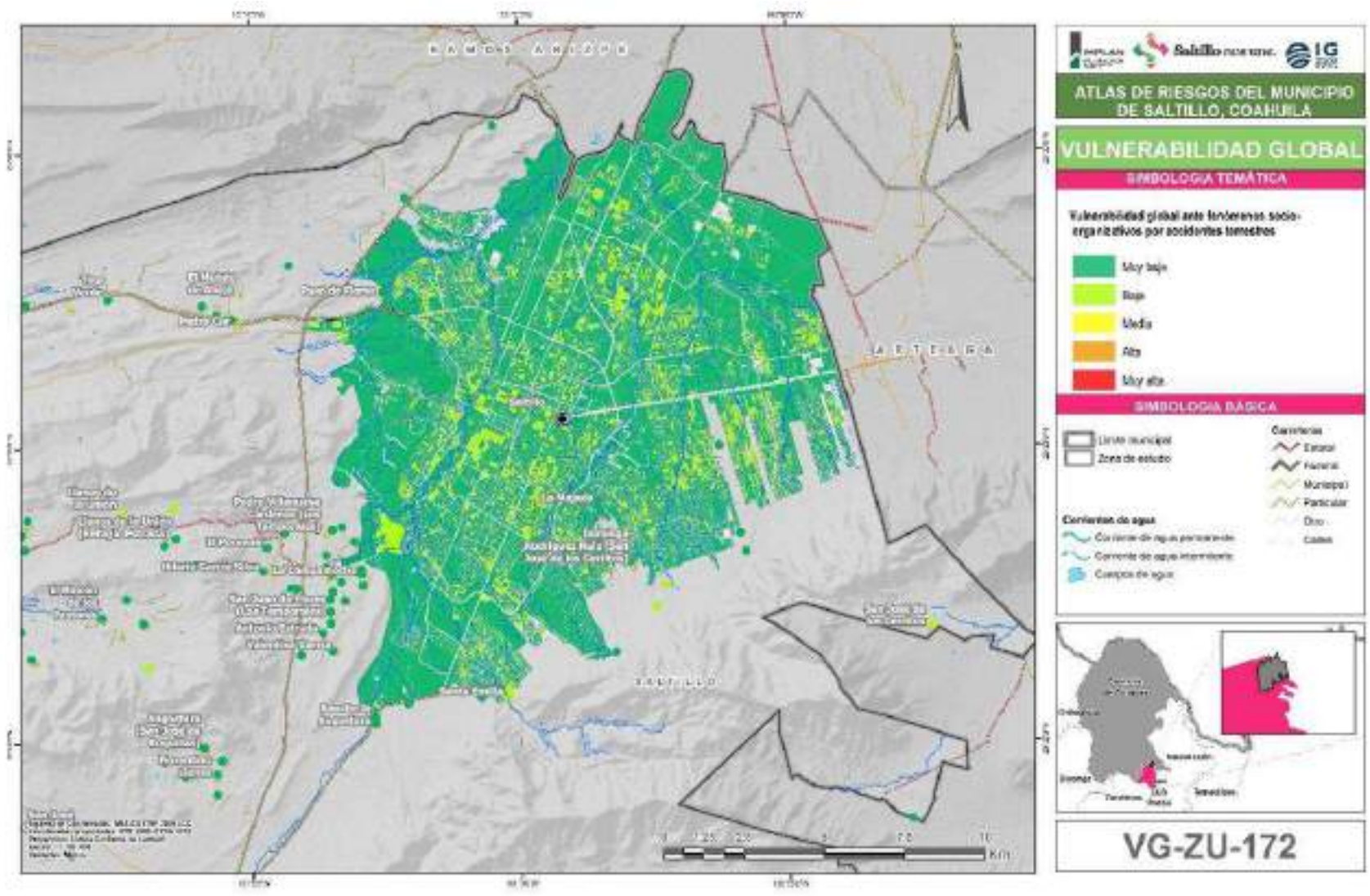
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 177.Vulnerabilidad social ante fenómenos socio - organizativos por accidentes terrestres a nivel municipal



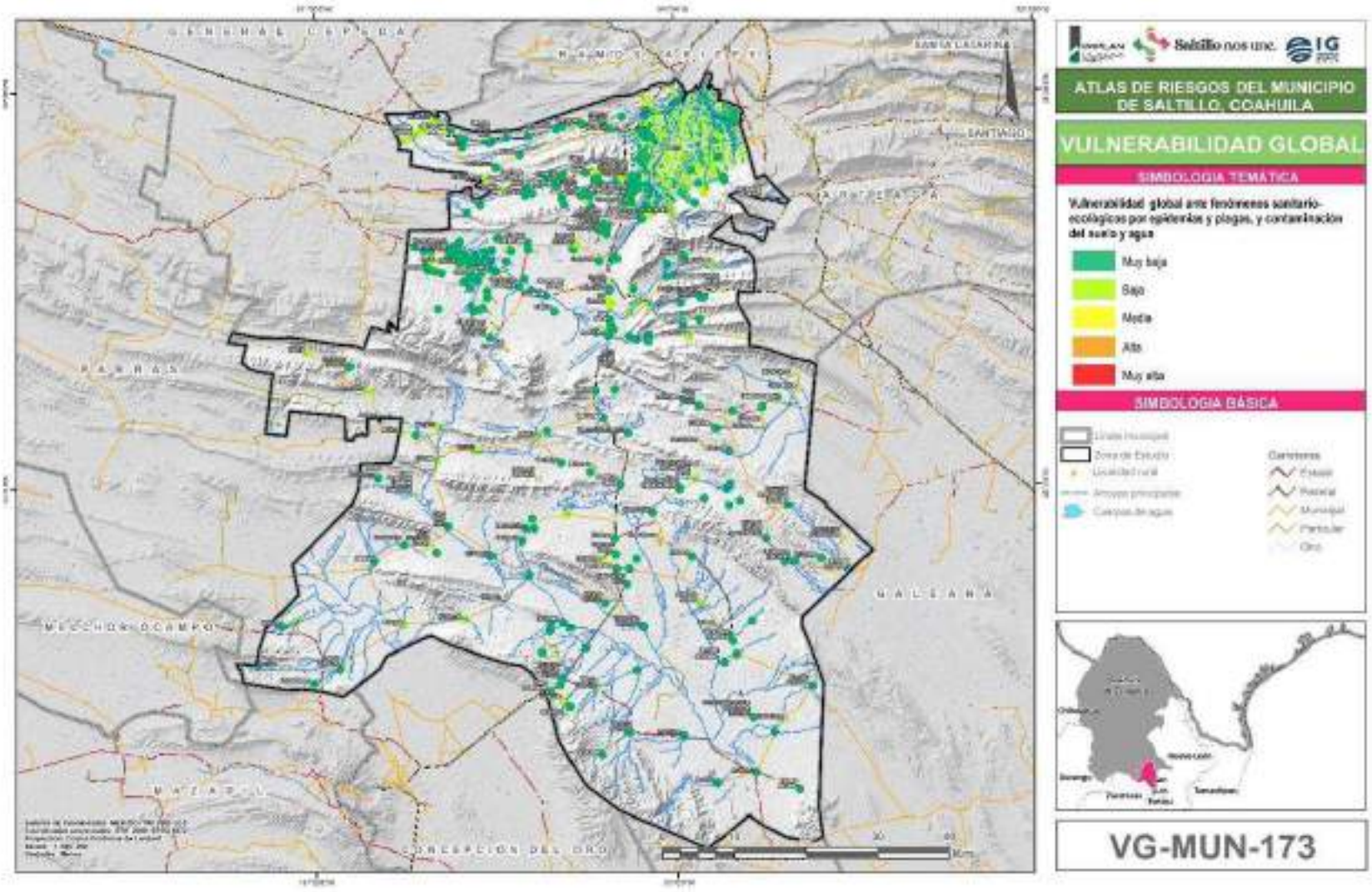
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 178.Vulnerabilidad social ante fenómenos socio - organizativos por accidentes terrestres a nivel manzana



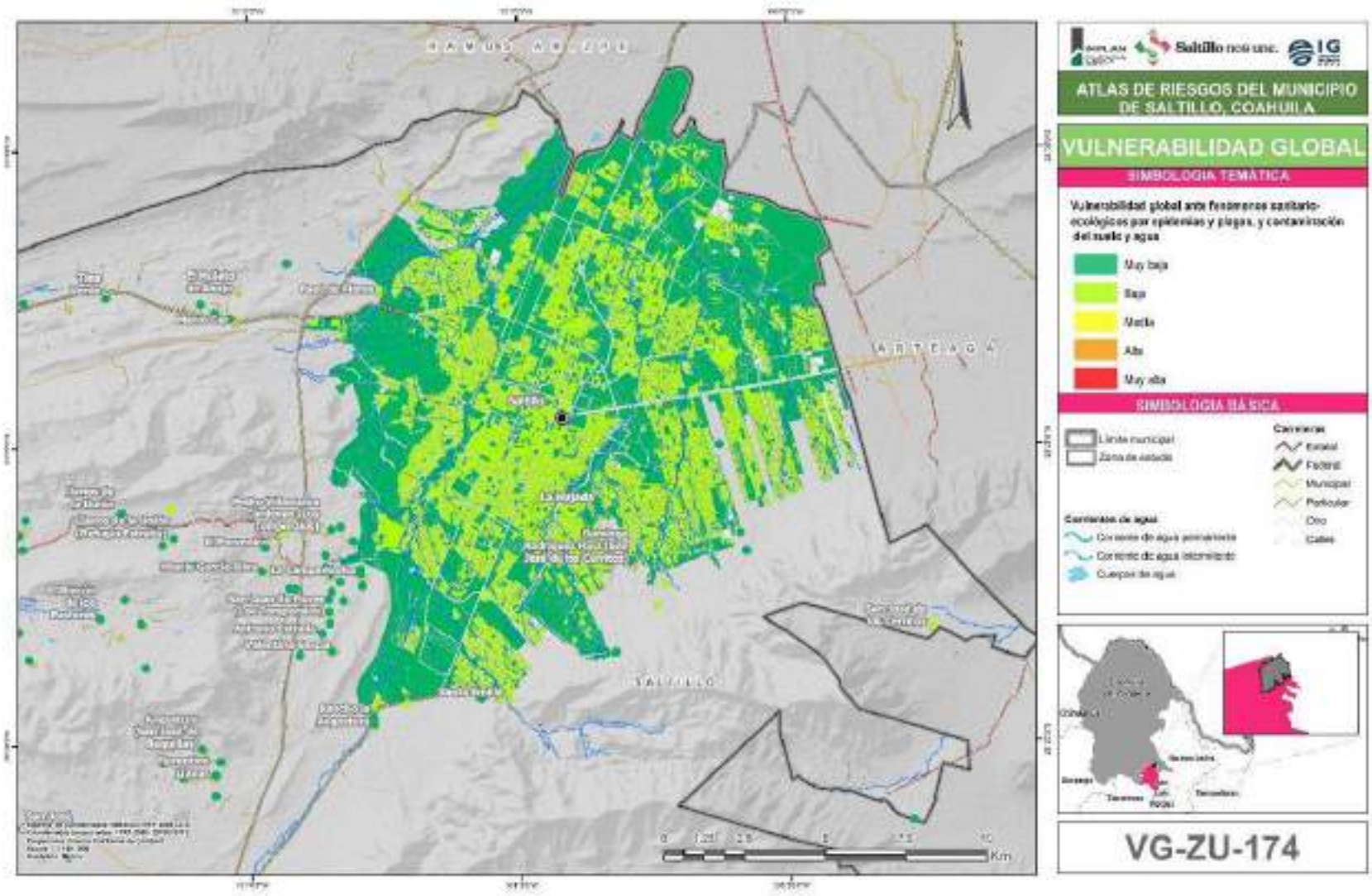
Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 179.Vulnerabilidad social ante fenómenos sanitario - ecológicos por epidemias y plagas, contaminación del suelo y agua a nivel municipal



Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.

Mapa 180.Vulnerabilidad social ante fenómenos sanitario - ecológicos por epidemias y plagas, contaminación del suelo y agua a nivel manzana



Fuente: elaboración propia IGg-UNAM, 2024.



Fase IV

Riesgo / Exposición

8 Fase IV. Riesgo / Exposición

El riesgo se define como la probabilidad de sufrir daños o afectaciones debido a la ocurrencia de un fenómeno perturbador. Este concepto se compone de dos elementos clave: la amenaza o peligro, y la vulnerabilidad. En este documento, el peligro se entiende como la máxima intensidad que puede alcanzar un fenómeno natural o antropogénico, constituyéndose así en una amenaza potencial.

Por su parte, la vulnerabilidad se refiere a la condición determinada por diversos factores que actúan de manera simultánea y sistemática. Estos factores pueden ser de naturaleza económica, social, política o física; juegan un papel determinante en la magnitud de los daños que una población puede sufrir cuando se enfrenta a un fenómeno perturbador.

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) clasifica la vulnerabilidad en dos grandes categorías: social y física. La vulnerabilidad social está conformada por cinco componentes temáticos: salud, educación, vivienda, empleo e ingresos, y características demográficas de la población.

Estos componentes se desarrollan a partir de 18 indicadores socioeconómicos presentes en las localidades y áreas urbanas del territorio municipal, e incluyen la capacidad actual de respuesta de la protección civil municipal ante fenómenos perturbadores, así como la percepción del riesgo que tienen los habitantes del municipio.

Por otro lado, la vulnerabilidad física hace referencia al nivel de afectación estructural que pueden sufrir los sistemas expuestos, incluidas las viviendas, frente a la ocurrencia de un fenómeno. Este tipo de susceptibilidad se centra en evaluar la resistencia de las infraestructuras ante eventos adversos y su capacidad para mitigar los efectos destructivos.

La integración del nivel de peligro asociado a los distintos fenómenos, ya sean de origen natural o antrópico, con la evaluación global de la vulnerabilidad (tanto social como física) permite calcular índices de riesgo específicos para cada área del municipio.

Estos índices reflejan los diferentes grados de riesgo potencial que enfrenta la población ante la ocurrencia de un desastre. De esta manera, se logra establecer una cobertura global que unifica el nivel de peligro de los fenómenos perturbadores con el grado de vulnerabilidad que presenta la población, proporcionando una visión integral del riesgo y facilitando la toma de decisiones en la gestión del mismo.

8.1 Definición de índices de riesgo

El riesgo es un concepto multifactorial que resulta de la interacción entre diversos elementos tanto físicos como sociales, los cuales determinan la probabilidad de sufrir afectaciones debido a la ocurrencia de un fenómeno perturbador (Cardona, 2003), en este contexto, el índice de riesgo puede expresarse mediante la fórmula: **Riesgo = Peligro (o amenaza) × Vulnerabilidad** (UNDRR, 2020).

Esta relación refleja cómo la exposición a amenazas naturales o antrópicas, en conjunto con las condiciones de vulnerabilidad de una población, incrementa o disminuye el grado de riesgo al que una comunidad está sometida (Lavell et al., 2012).

La integración de los factores de peligro y vulnerabilidad permite determinar el nivel de riesgo asociado a un fenómeno específico. En este estudio, se ha elaborado un índice de riesgo que considera las áreas más vulnerables del entorno municipal, tomando en cuenta los fenómenos de mayor recurrencia evaluados en la Fase II.

Este índice contempla no solo el nivel de peligro o amenaza presente en cada fenómeno, sino también el grado de vulnerabilidad global identificado en la Fase III del análisis. Ambos factores se integran para ofrecer una cobertura que refleja la susceptibilidad al impacto ante un fenómeno perturbador (CENAPRED, 2015).

En la construcción del índice de riesgo, se han tomado en cuenta diversas coberturas de peligro y vulnerabilidad, otorgando valores diferenciados según el tipo de fenómeno estudiado. Esto permite una evaluación más precisa, además de contextualizada de los riesgos que enfrenta el territorio, ajustada a las características específicas de cada amenaza (Birkmann, 2006). Con este enfoque, se busca no solo cuantificar el riesgo, sino también identificar áreas prioritarias para la intervención y la mitigación de posibles daños futuros.

El riesgo de afectación varía significativamente según el tipo de fenómeno perturbador. Por ejemplo, en fenómenos de origen geológico, como terremotos y erupciones volcánicas, el factor de peligro tiene un impacto más determinante que la vulnerabilidad. Esto se debe a que, cuando el nivel de peligro es elevado, el daño esperado en una comunidad es considerablemente alto, independientemente de si la población presenta un grado bajo o alto de vulnerabilidad (Cardona, 2003).

En estos casos, la intensidad del fenómeno geológico es el factor predominante en la magnitud de las afectaciones. Un ejemplo similar se observa en algunos fenómenos hidrometeorológicos, como las inundaciones, donde el flujo de agua puede afectar tanto a comunidades marginadas como a aquellas con mayor infraestructura, pero las pérdidas materiales pueden ser mayores en zonas económicamente más desarrolladas debido al valor económico de los bienes afectados (CENAPRED, 2015).

En contraste, otros fenómenos hidrometeorológicos, como las olas de calor extremo, y ciertos eventos antropogénicos, como los accidentes con materiales químicos o tecnológicos, tienden a presentar un patrón diferente. En estos casos, el nivel de riesgo está más relacionado con la vulnerabilidad de la población afectada que con la magnitud del peligro en sí (Wisner et al., 2004).

Por ejemplo, aunque las temperaturas extremas puedan ser similares en diferentes áreas, las poblaciones con mayor vulnerabilidad —debido a factores como el acceso limitado a servicios de salud, la falta de infraestructura adecuada o la precariedad de las viviendas— sufren un mayor impacto en su salud, bienestar y condiciones de vida (Lavell *et al.,* 2012).

Este enfoque destaca que, en ciertos fenómenos el nivel de daño o impacto no se distribuye de manera uniforme, incluso cuando el nivel de peligro es comparable entre distintas zonas. Las áreas con un mayor grado de vulnerabilidad experimentan mayores afectaciones en sus sistemas expuestos, incluidas las viviendas, la infraestructura básica y los medios de subsistencia. Por lo tanto, en este tipo de fenómenos, la vulnerabilidad actúa como el principal factor que delimita el nivel de riesgo y las posibles consecuencias para la población expuesta (Birkmann, 2006).

8.1.1 Índices de riesgo ante fenómenos de origen geológico

Los índices de riesgo estimados para los fenómenos de origen geológico conceden mayor jerarquía al nivel de peligro con respecto al grado de vulnerabilidad. Los índices se calculan con un promedio ponderado que asigna 70% al peligro geológico y 30% a la vulnerabilidad global ante fenómenos geológicos.

En un Sistema de Información Geográfica (SIG) se integran las coberturas tanto dde peligro, como de vulnerabilidad mediante algebra de mapas donde se aplica dicho promedio ponderado, el índice de riesgo se clasifica en cinco categorías: muy bajo (verde claro, bajo (verde oscuro), medio (amarillo), alto (naranja) y muy alto riesgo (rojo). Los criterios en la determinación de dichos índices de riesgo se aprecian en la siguiente tabla que identifica el riesgo en función de la interacción de la vulnerabilidad con el peligro

Figura 128. Índice de Riesgo ante fenómenos de origen geológico

Vulnerabilidad	Peligro				
	1	2	3	4	5
1	1.0	1.7	2.4	3.1	3.8
2	1.3	2.0	2.7	3.4	4.1
3	1.6	2.3	3.0	3.7	4.4
4	1.9	2.6	3.3	4.0	4.7
5	2.2	2.9	3.6	4.3	5

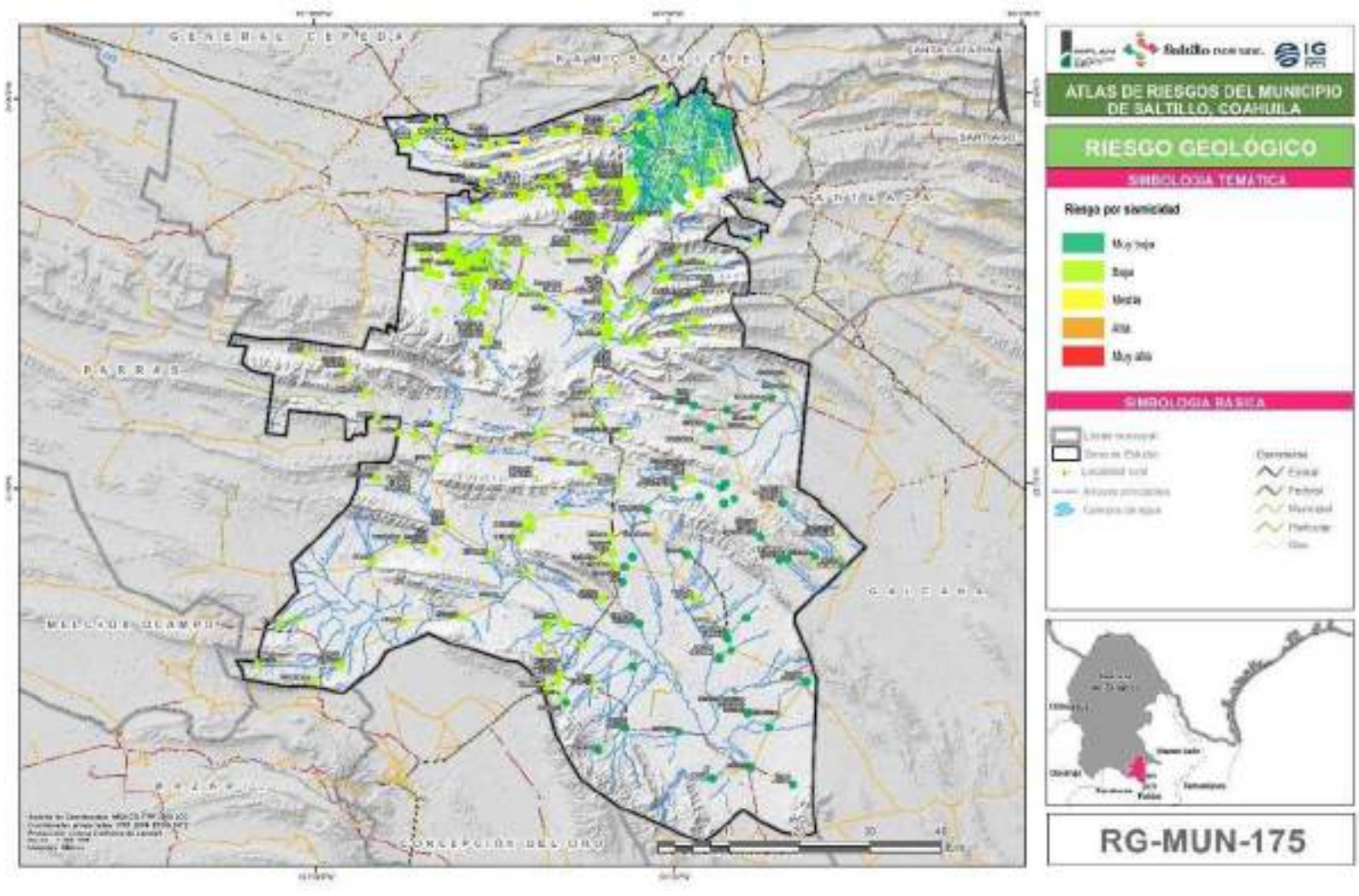
Fuente: elaboración propia.

Para el municipio de Saltillo dicho índice se aplicó para obtener el riesgo de sismicidad, movimientos rotacionales y movimientos traslacionales, para apreciar el resultado y distribución de los distintos niveles de riesgo para cada fenómeno geológico se cartografiaron seis mapas, tres con una escala municipal y tres con una escala adecuada para la zona urbana.

Riesgo por sismicidad

El riesgo por sismicidad a nivel municipal se muestra en el Mapa 181. A nivel municipal predomina un riesgo muy bajo con 43 localidades, lo que representa 3 mil 417 habitantes y mil 595 viviendas. Mientras que el nivel de riesgo bajo se compone de 266 localidades, 5 mil 626 viviendas y 12 mil 376 habitantes.

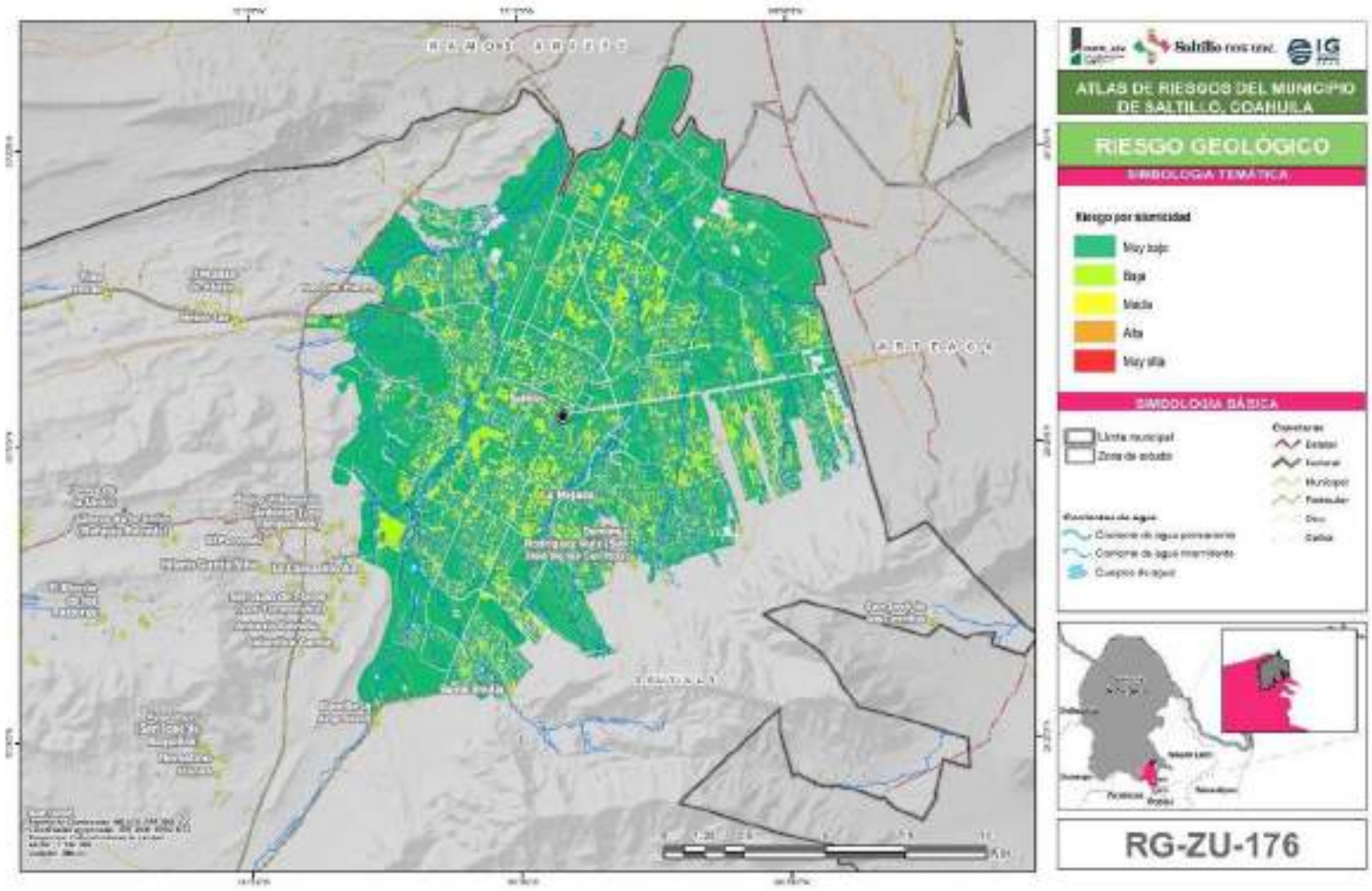
Mapa 181. Riesgo por sismicidad en el municipio de Saltillo.



Fuente: elaboración propia.

Respecto a los distintos niveles de riesgo sísmico en la zona urbana del municipio, su distribución es homogénea, no obstante, la cantidad de población afectada por estos niveles es distinta, para el nivel de riesgo muy bajo se contabilizaron 9 mil 771manzanas con riesgo bajo, es decir, 604 mil 918 personas y 18 mil 4752 viviendas; el riesgo bajo se distribuye en 2 mil 908 manzanas, 79 mil 402 viviendas y 259 mil 321 habitantes (Mapa 182).

Mapa 182. Riesgo por sismicidad en la zona urbana de Saltillo.

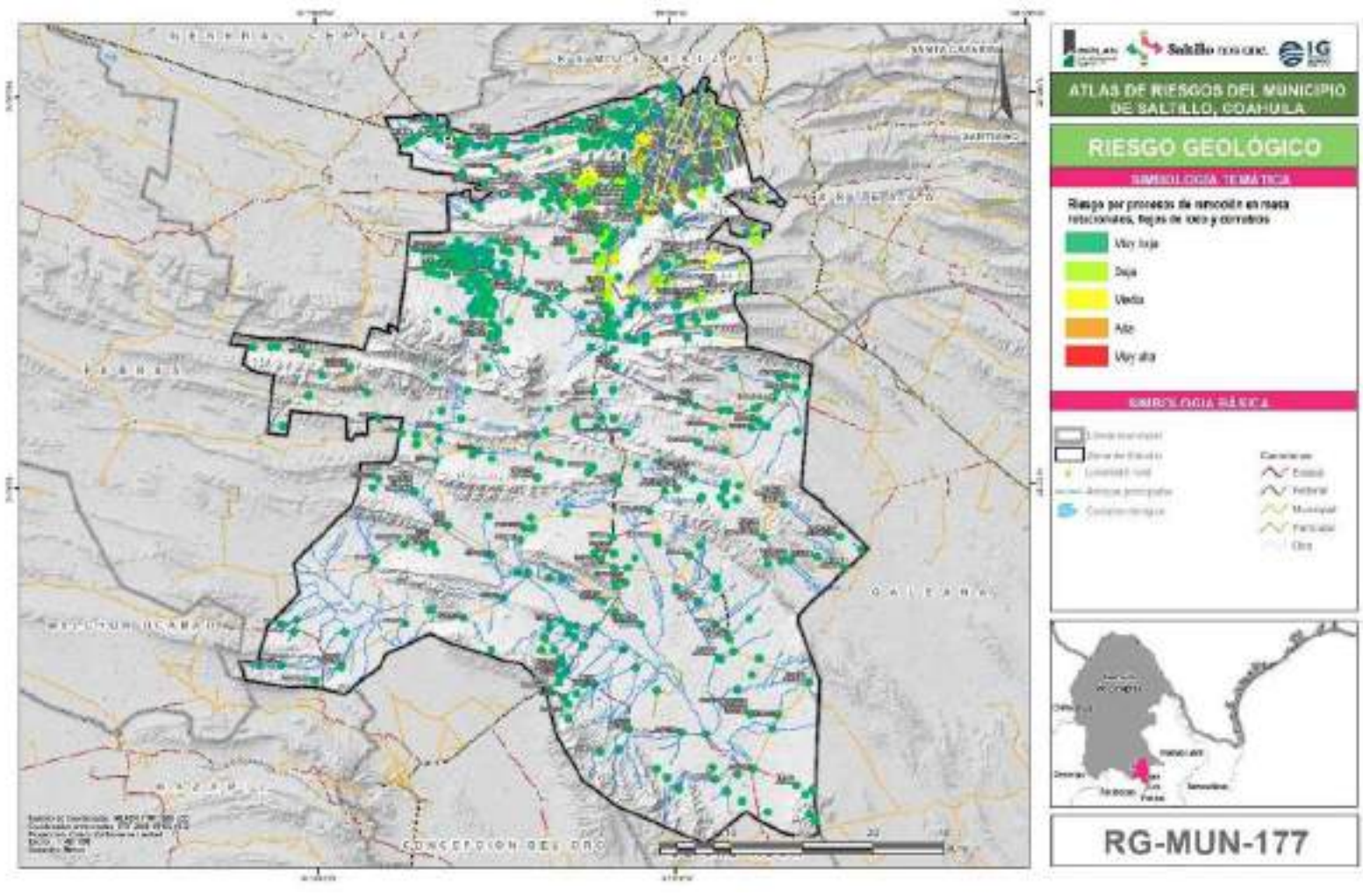


Fuente: elaboración propia.

Riesgo por procesos de remoción en masa rotacionales, flujos de lodo y derrubios.

El riesgo por procesos rotacionales a nivel municipal se muestra en el Mapa 183. A nivel municipal predomina un riesgo muy bajo con 223 localidades, lo que representa 16 mil 360 habitantes y 6 mil 964 viviendas. Mientras que el nivel de riesgo bajo se compone de 69 localidades con mil 165 viviendas y 304 habitantes.

Mapa 183. Riesgo por procesos de remoción en masa rotacionales, flujos de lodo y derrubios en el municipio de Saltillo



Fuente: elaboración propia.

Respecto a los distintos niveles de riesgo en la zona urbana del municipio, estos se observan en el Mapa 184 y se describen a continuación:

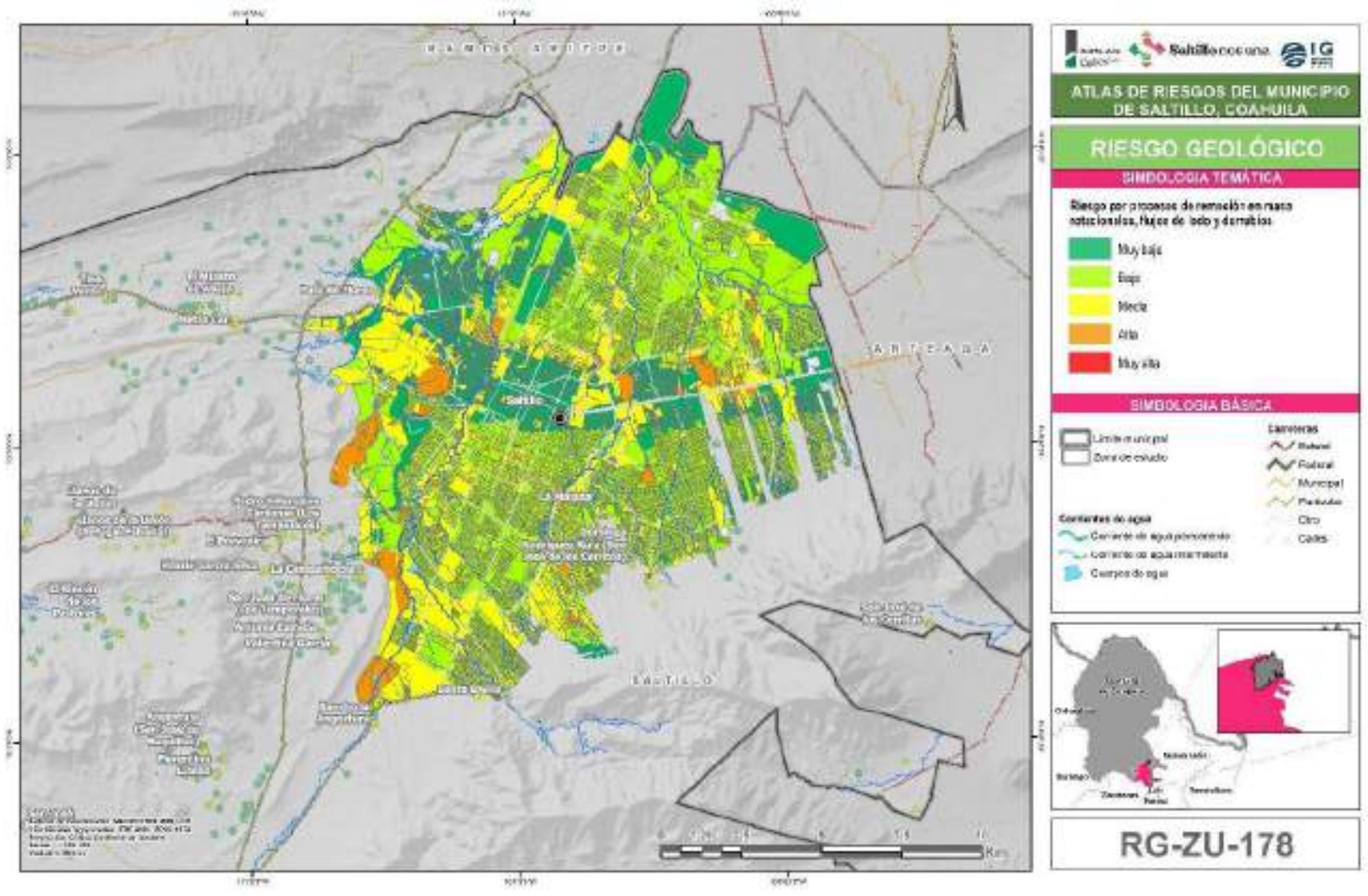
Muy bajo: se acota principalmente a la porción norte de la zona urbana en los límites con el municipio de Ramos Arizpe. Abarca 3 mil 105 manzanas con 205 mil 839 habitantes y 64 mil 11 viviendas.

Bajo: es el nivel de riesgo predominante en la zona urbana con 7 mil 730 manzanas con 539 mil 765 habitantes y 164 mil 343 viviendas.

Moderado: se localiza principalmente en la porción sur-poniente de la zona urbana, abarca mil 682 manzanas con 109 mil 030 habitantes y 32 mil 837 viviendas.

Alto: se localiza en la porción sur-poniente de la zona urbana y en algunas zonas al oriente. Cuenta con apenas 162 manzanas con 9 mil 605 habitantes y 2 mil 963 viviendas.

Mapa 184. Riesgo por procesos de remoción en masa rotacionales, flujos de lodo y derrubios en la zona urbana de Saltillo



Fuente: elaboración propia.

Riesgo por movimientos traslacionales, volteo y rodamiento

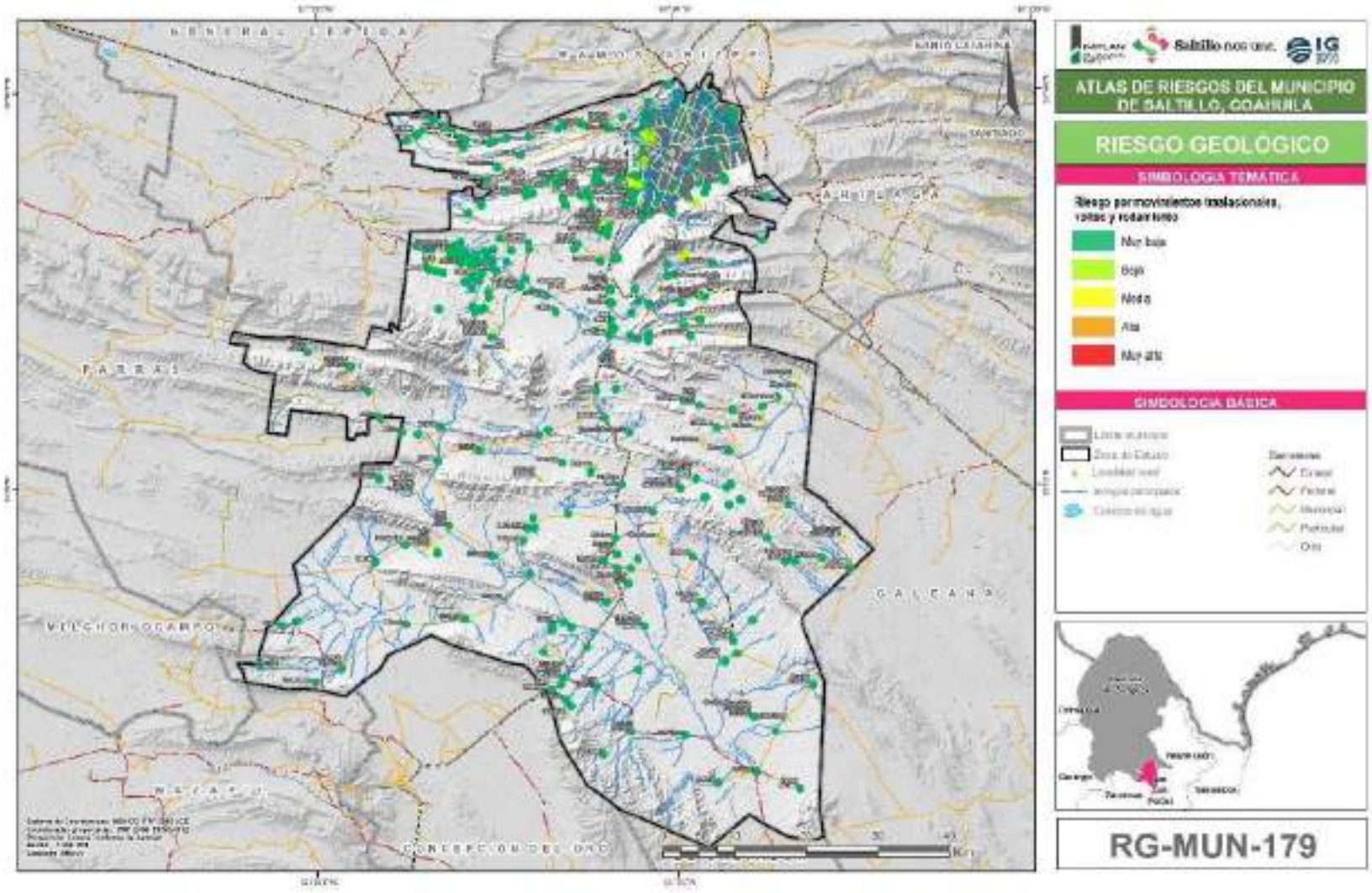
El riesgo por movimientos traslacionales , volteo y rodamiento a nivel municipal se muestra en el Mapa 185, mientras que la población y viviendas con potencial de ser afectadas se describen a continuación:

Muy bajo: se distribuye por todo el municipio en 77 localidades, con mil 163 habitantes y 774 viviendas.

Bajo: se distribuye en apenas 9 localidades con 51 habitantes y 21 viviendas, estas localidades se distribuyen alrededor de la cabecera municipal, entre ellas se encuentra El Torito, El Mimbre, San Jose de Boquillas, Enrique Becerra Montañez y Magdaleno Ríos Herrera.

Moderado: se acota a la localidad de Los Temporales, con apenas 5 habitantes y una vivienda. Se localiza al poniente de la cabecera municipal.

Mapa 185. Riesgo por movimientos traslacionales , volteo y rodamiento en el municipio de Saltillo



Fuente: elaboración propia.

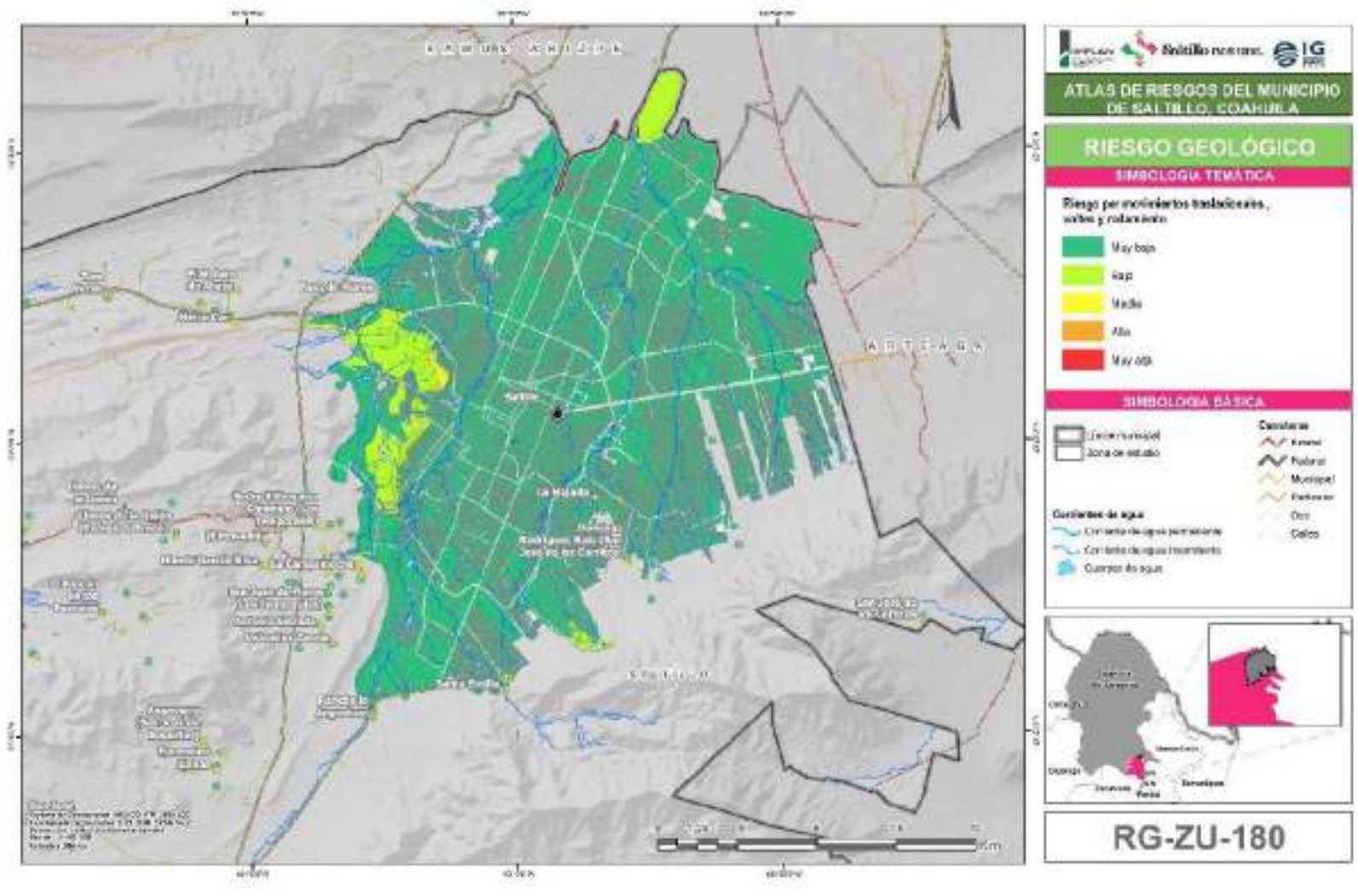
Respecto a los distintos niveles de riesgo en la zona urbana del municipio, su distribución se presenta en el Mapa 186 y la población y viviendas que podrían ser afectadas corresponden a los siguientes datos:

Muy bajo: se distribuye en 12 mil 354 manzanas con una población de 833 mil 620 y 254 mil 611 viviendas.

Bajo: cuenta con apenas 103 manzanas localizadas en la porción poniente de la zona urbana. En cuanto a la población total con este nivel de riesgo asciende a 4 mil 564 habitantes y mil 368 viviendas.

Moderado: este nivel de riesgo se acota a 21 manzanas en la misma porción poniente de la zona urbana, con una población de mil 292 habitantes y 351 viviendas.

Mapa 186. Riesgo por movimientos traslacionales , volteo y rodamiento en la zona urbana de Saltillo



Fuente: elaboración propia.

Riesgo por procesos de remoción en masa

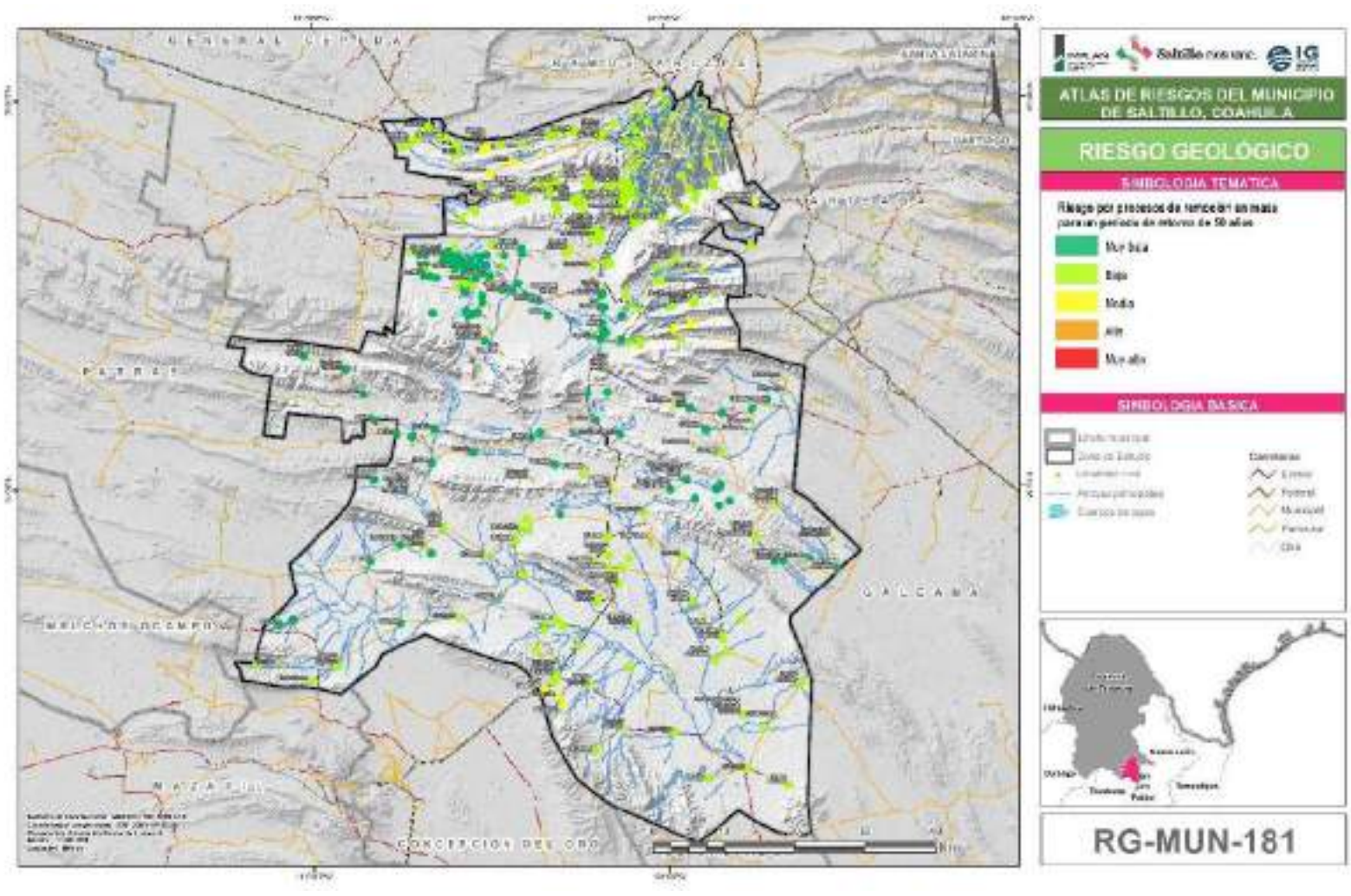
La distribución de los distintos niveles de riesgo para procesos de remoción en masa para el periodo de retorno de 50 años va de muy bajo a moderado y se distribuye en las localidades rurales de la siguiente manera:

Muy bajo: cuenta con 110 localidades rurales puntuales con 8 mil 240habitantes y 3 mil 561 viviendas.

Bajo: este nivel de riesgo abarca 184 localidades con 6mil 823 habitantes y 3 mil 255 viviendas.

Moderado: este nivel de riesgo se limita a 15 localidades rurales puntuales con 730 habitantes y 405 viviendas.

Mapa 187. Riesgo por procesos de remoción en masa para un periodo de retorno de 50 años



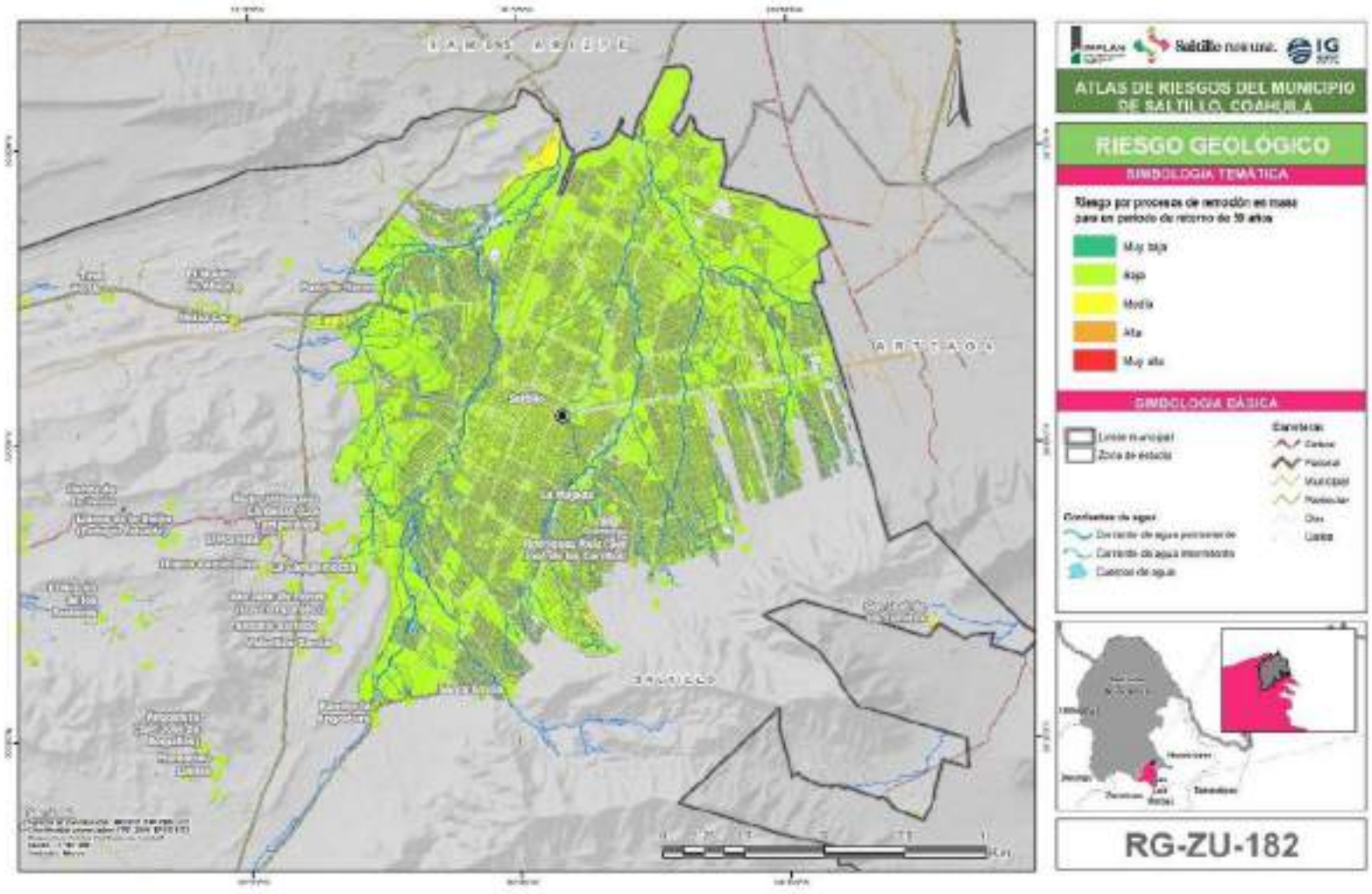
Fuente: elaboración propia.

La distribución de los distintos niveles de riesgo para procesos de remoción en masa para el periodo de retorno de 200 años va de muy bajo a moderado y se distribuye en la zona urbana de la siguiente manera:

Bajo: Es el nivel de riesgo de mayor proporción y abarca casi toda la zona urbana con 12 mil 655 manzanas con 863 mil 535 habitantes y 263 mil 903 viviendas

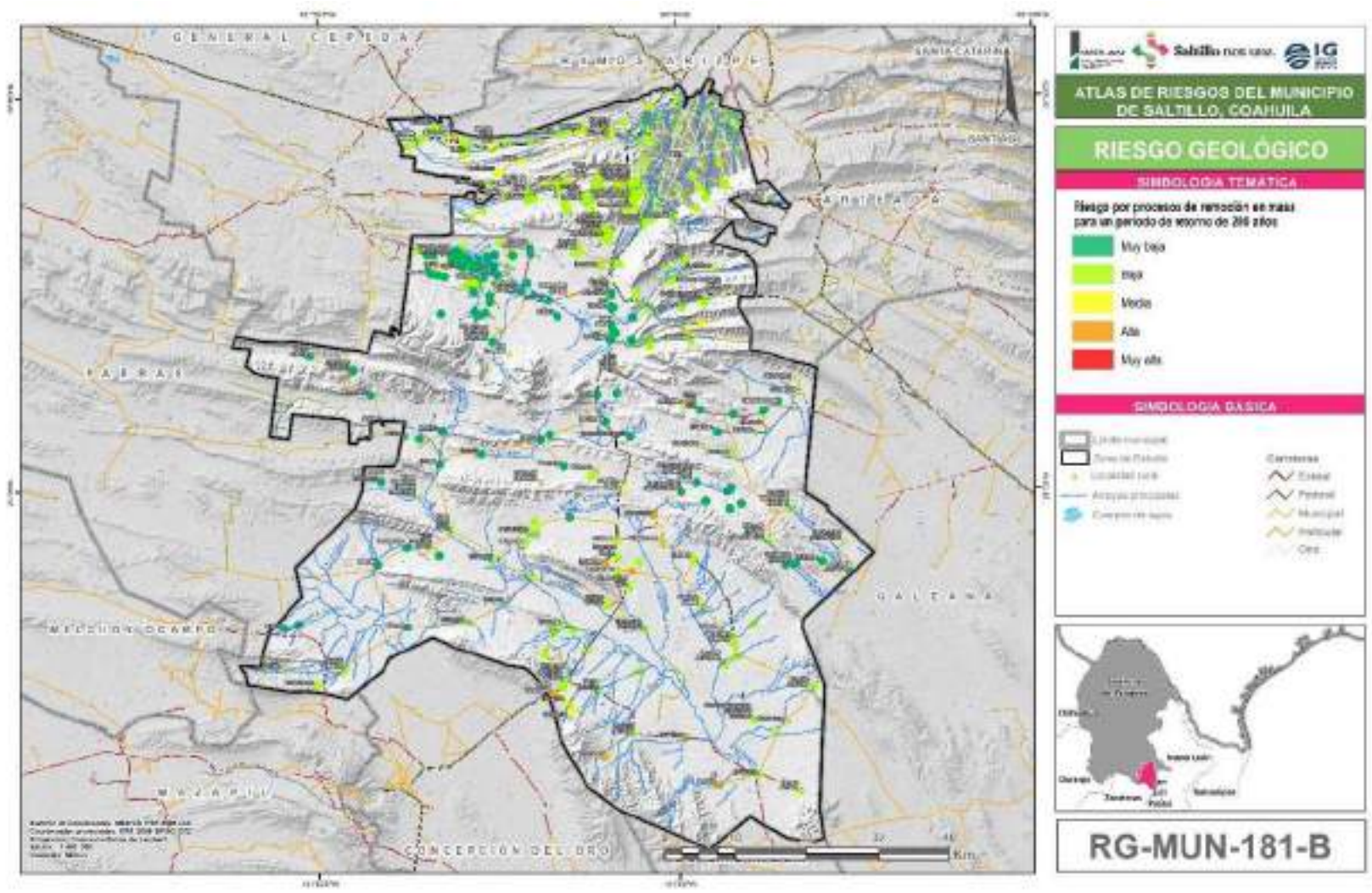
Moderado: se localiza en el límite nor-poniente, en las zonas circundantes a elevaciones, entre las que destacan el Cerro del pueblo, Cerro El Barrilete, Loma La cruz y Cerro Las Galeras, adicionalmente se distribuye al sur de la zona urbana, cerca del Cerro La Campana y la Loma El Risco. Abarca un total de 24 manzanas con 704 habitantes y 251 viviendas.

Mapa 188. Riesgo por procesos de remoción en masa para un periodo de retorno de 50 años



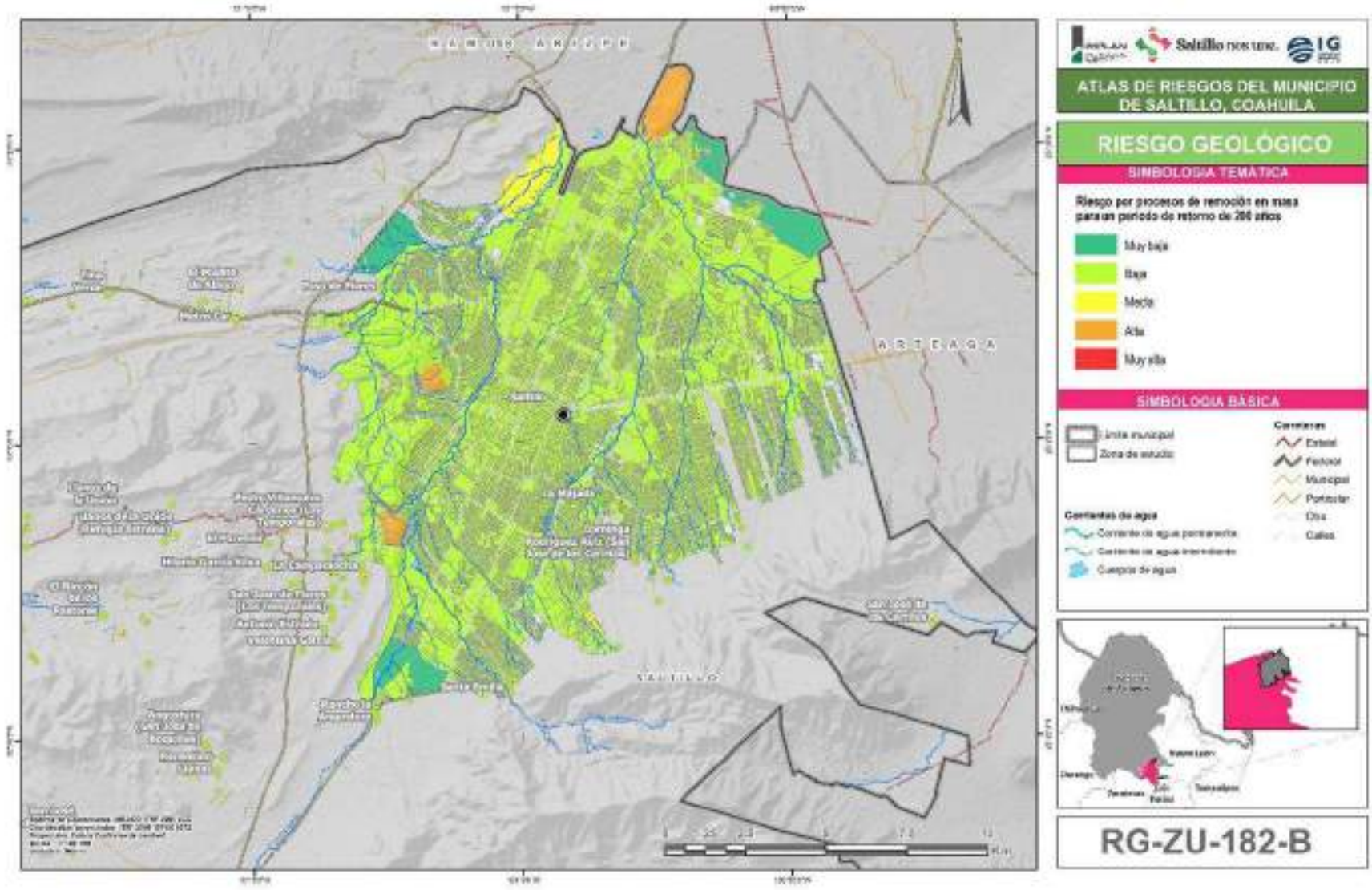
Fuente: elaboración propia.

Mapa 189. Riesgo por procesos de remoción en masa para un periodo de retorno de 200 años a nivel municipal



Fuente: elaboración propia.

Mapa 190. Riesgo por procesos de remoción en masa para un periodo de retorno de 200 años a nivel manzana



Fuente: elaboración propia.

8.1.2 Índices de riesgo ante fenómenos de origen hidrometeorológico

Debido a la relevancia en el contexto municipal de los fenómenos de origen hidrometeorológico analizados en la Fase II de este documento, se calcularon los índices de riesgo ante los fenómenos de inundaciones pluviales, fluviales, sequías, vientos, ondas cálidas y heladas.

Por las características de gran afectación en caso de la ocurrencia de los tres primeros fenómenos se considera, como en el caso de los fenómenos de origen geológico, una ponderación del 70% al peligro y 30% a la vulnerabilidad física, así como global ante fenómenos hidrometeorológicos de inundaciones y sequías, los valores asignados para los índices de riesgo que van de muy bajo (verde oscuro) a muy alto (rojo) se observan en la siguiente tabla.

Tabla 139. Índice de Riesgo ante fenómenos de origen hidrometeorológico

Vulnerabilidad	Peligro					
		1	2	3	4	5
	1	1.0	1.7	2.4	3.1	3.8
	2	1.3	2.0	2.7	3.4	4.1
	3	1.6	2.3	3.0	3.7	4.4
	4	1.9	2.6	3.3	4.0	4.7
	5	2.2	2.9	3.6	4.3	5

Fuente: elaboración propia.

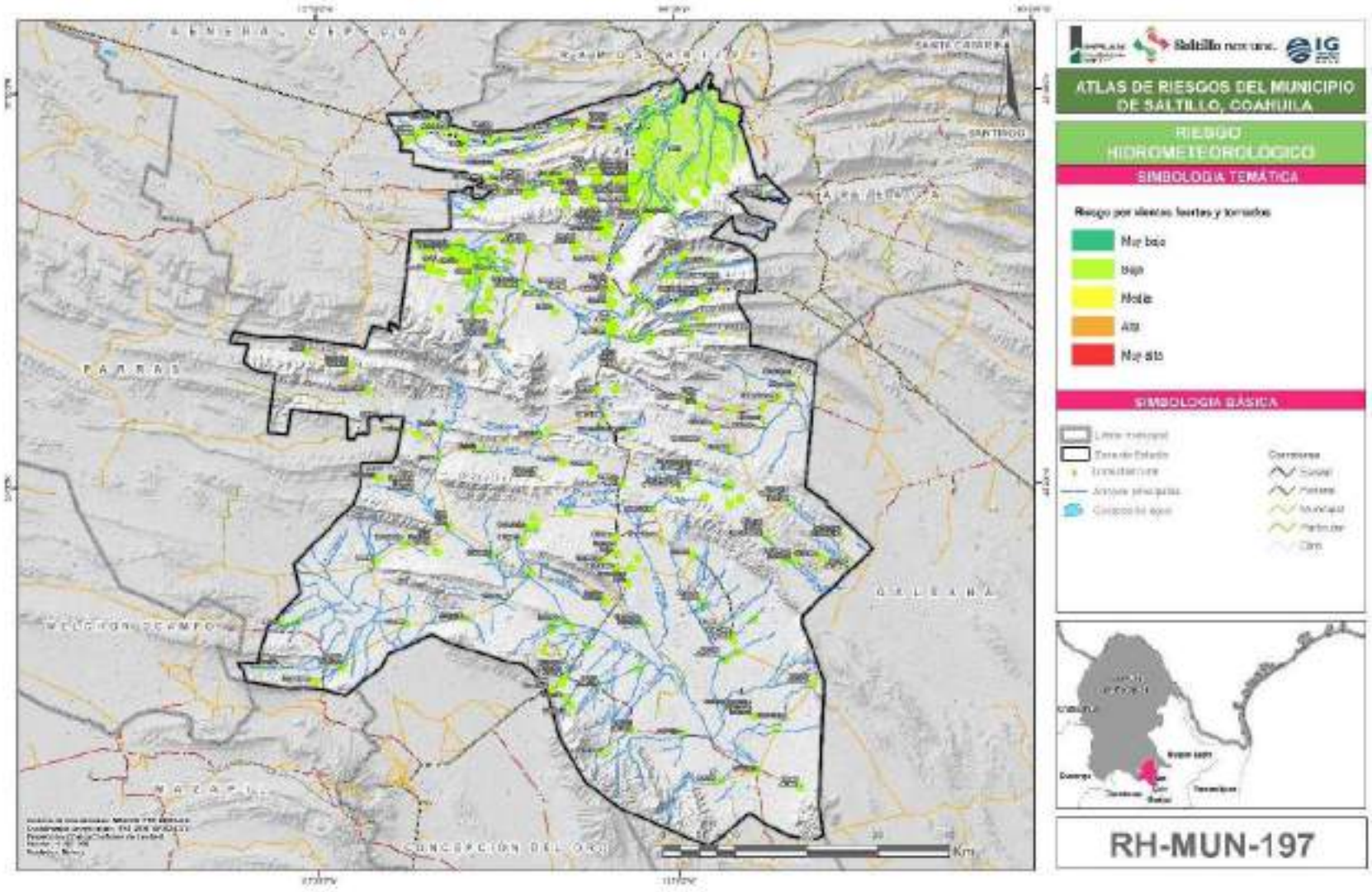
Para el municipio de Saltillo dicho índice se aplicó para obtener el riesgo ante cada uno de los fenómenos hidrometeorológicos estudiados, Para apreciar el resultado, además de la distribución de los distintos niveles de riesgo para cada fenómeno hidrometeorológico se cartografiaron dos mapas, uno con una escala municipal y otro con escala adecuada para la zona urbana.

Riesgo por tornados y vientos fuertes

El riesgo por tornados, así como vientos fuertes a nivel municipal se muestra en el Mapa 191. A nivel municipal predomina un riesgo bajo con 306 localidades rurales, lo que representa 16 mil 170 habitantes y 4 mil 626 viviendas.

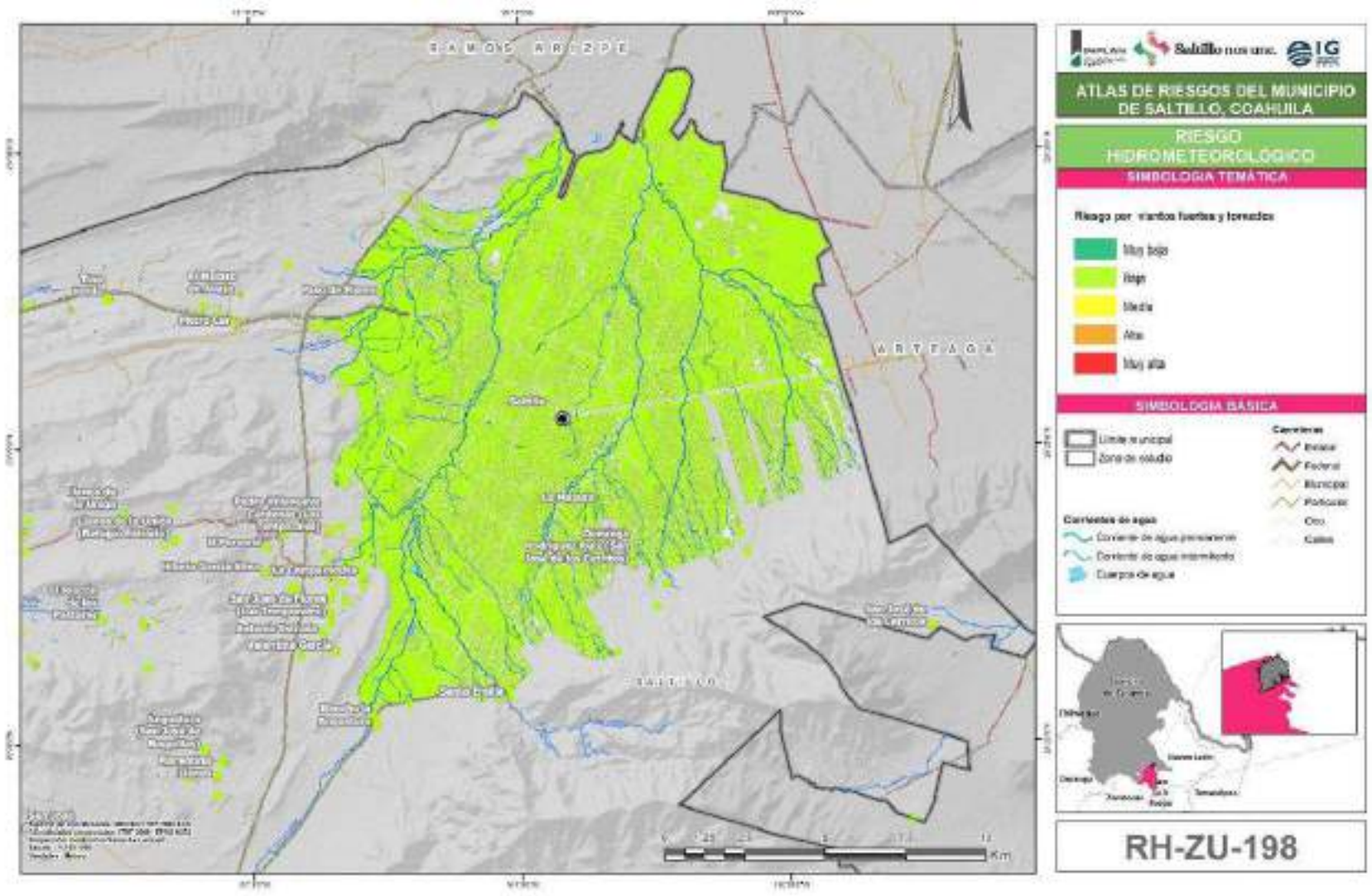
Respecto a los distintos niveles de riesgo en la zona urbana del municipio, su distribución es homogénea presentando un riesgo bajo ante los tornados, además de vientos fuertes. La cantidad tanto de población, como de vivienda afectada por estos niveles es la siguiente: 864 mil 431 habitantes, 11 mil cuatro manzanas y 238 mil 246 viviendas.

Mapa 191. Riesgo por vientos fuertes en el municipio de Saltillo



Fuente: elaboración propia.

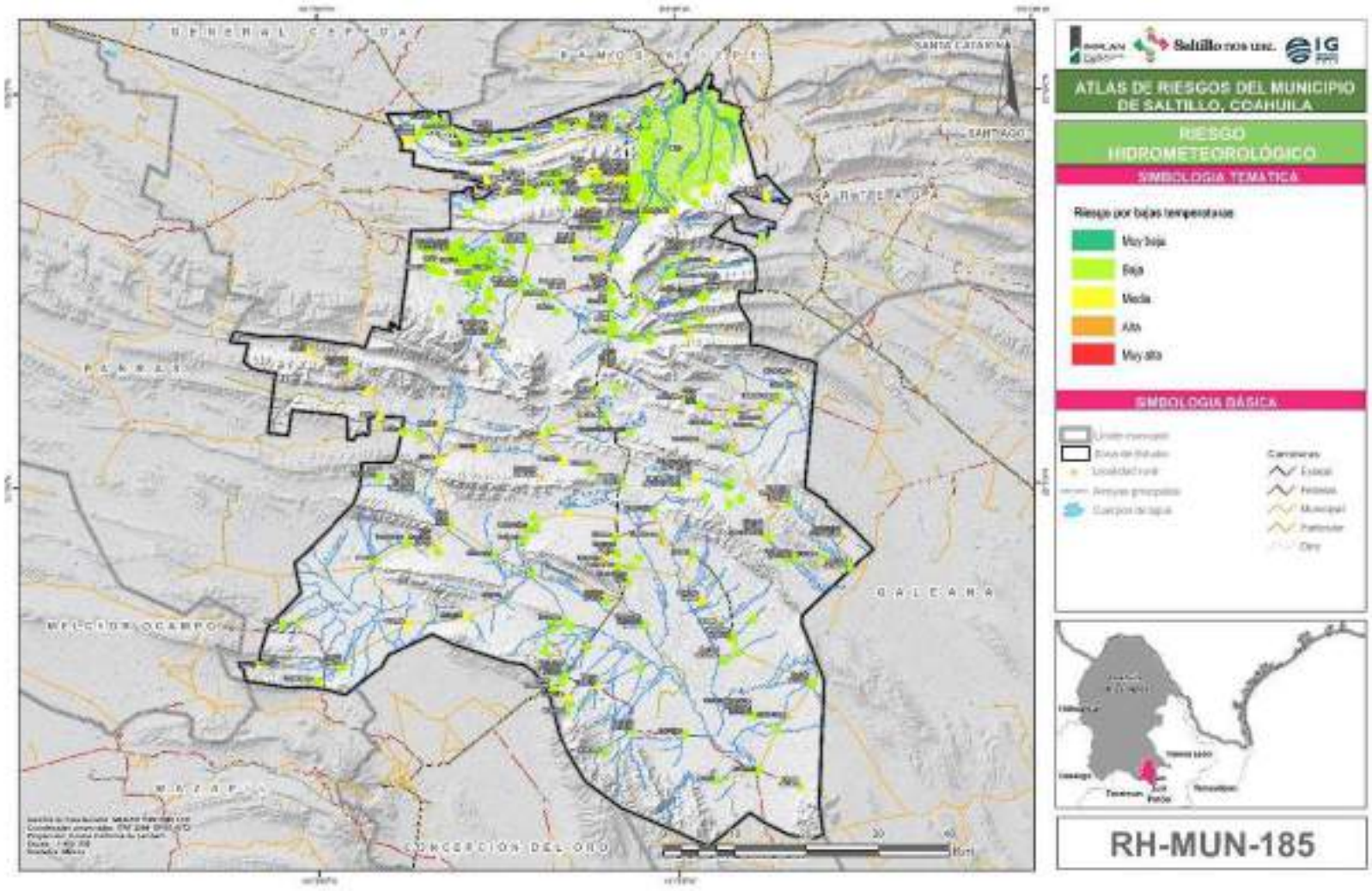
Mapa 192. Riesgo por tornados y vientos fuertes en la zona urbana de Saltillo



Fuente: elaboración propia.

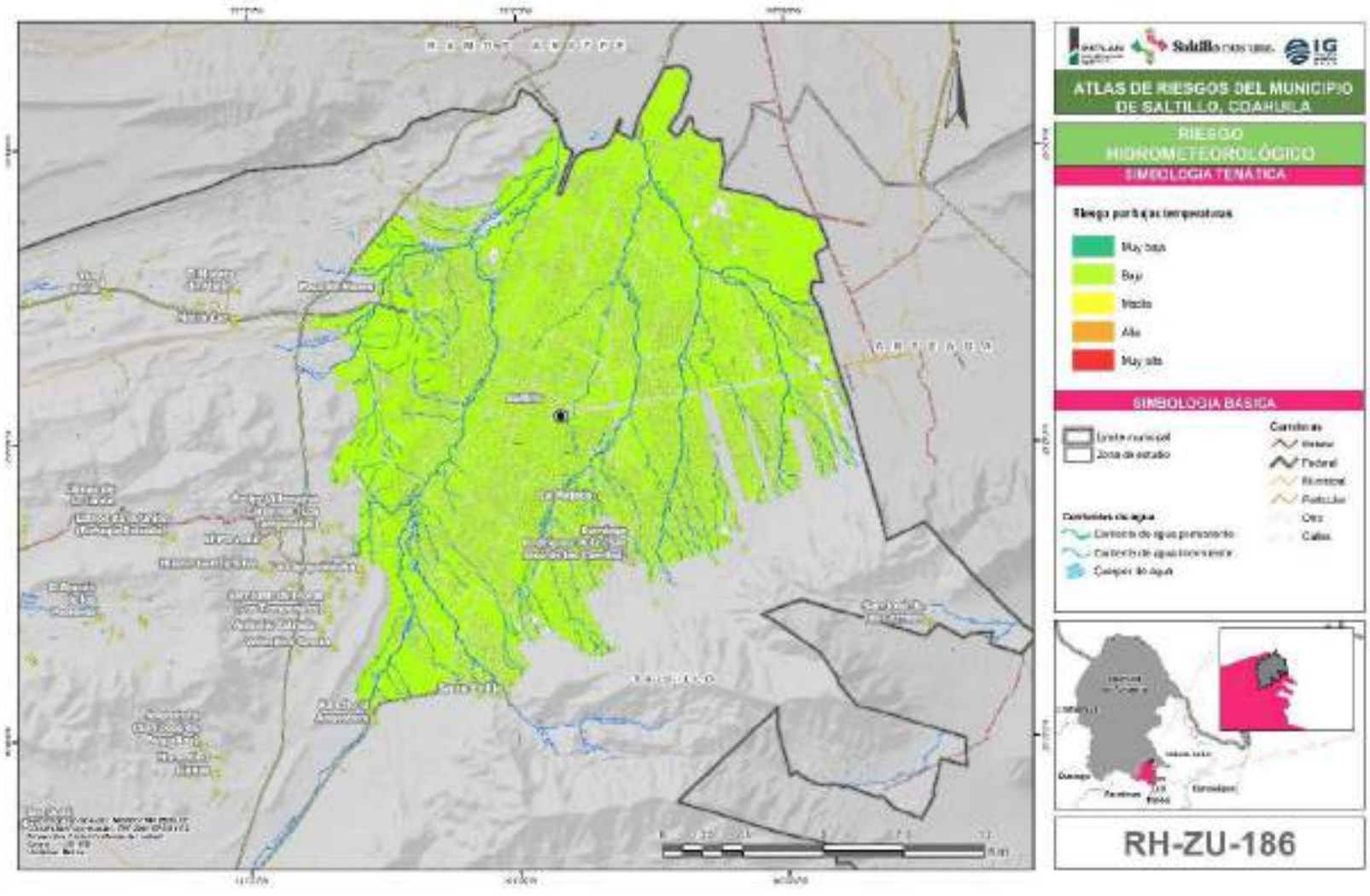
Riesgo por bajas temperaturas

Mapa 193. Riesgo por bajas temperaturas a nivel municipal



Fuente: elaboración propia.

Mapa 194. Riesgo por bajas temperaturas a nivel manzana urbana

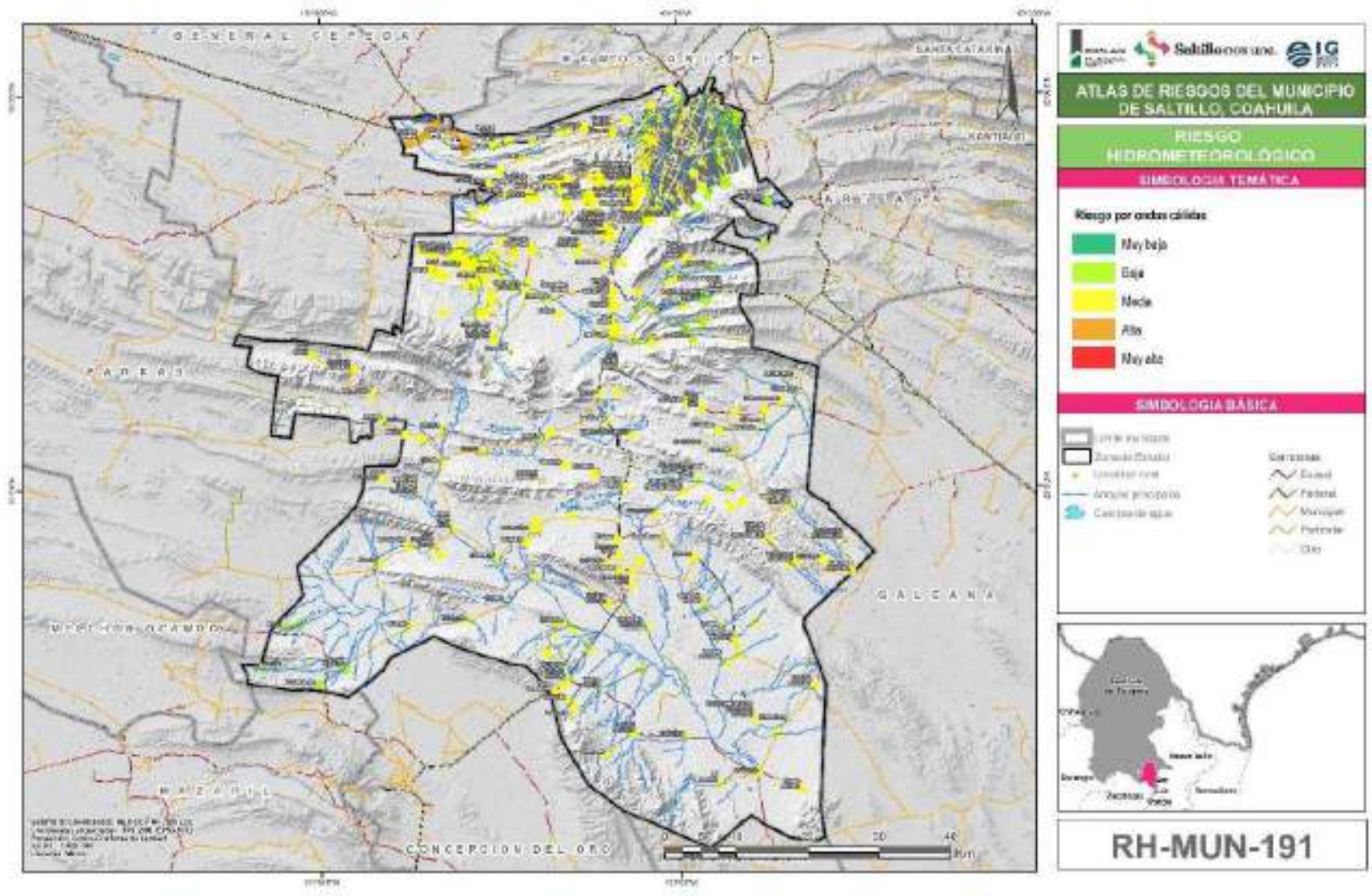


Riesgo (intensidad)	Viviendas	Población	Localidades rurales
Bajo	6203	13859	273
Medio	1074	1837	36
Total general	7277	15696	309

Fuente: elaboración propia.

Riesgo por ondas cálidas

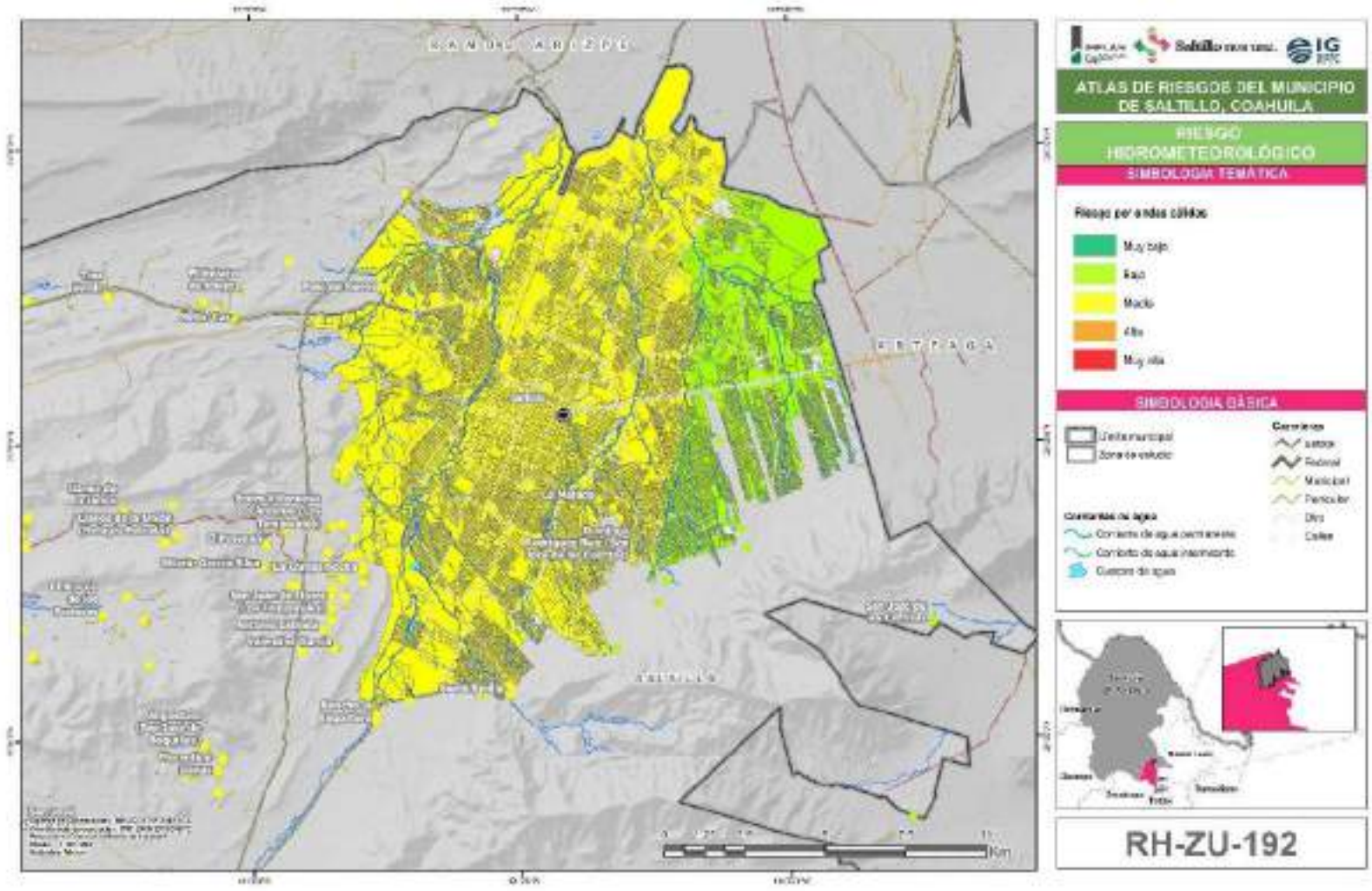
Mapa 110. Riesgo por ondas cálidas a nivel municipal



Riesgo (intensidad)	Localidades rurales	Población	Viviendas
Alto	13	773	391
Bajo	20	303	278
Medio	276	14620	6608
Total general	309	15696	7277

Fuente: elaboración propia.

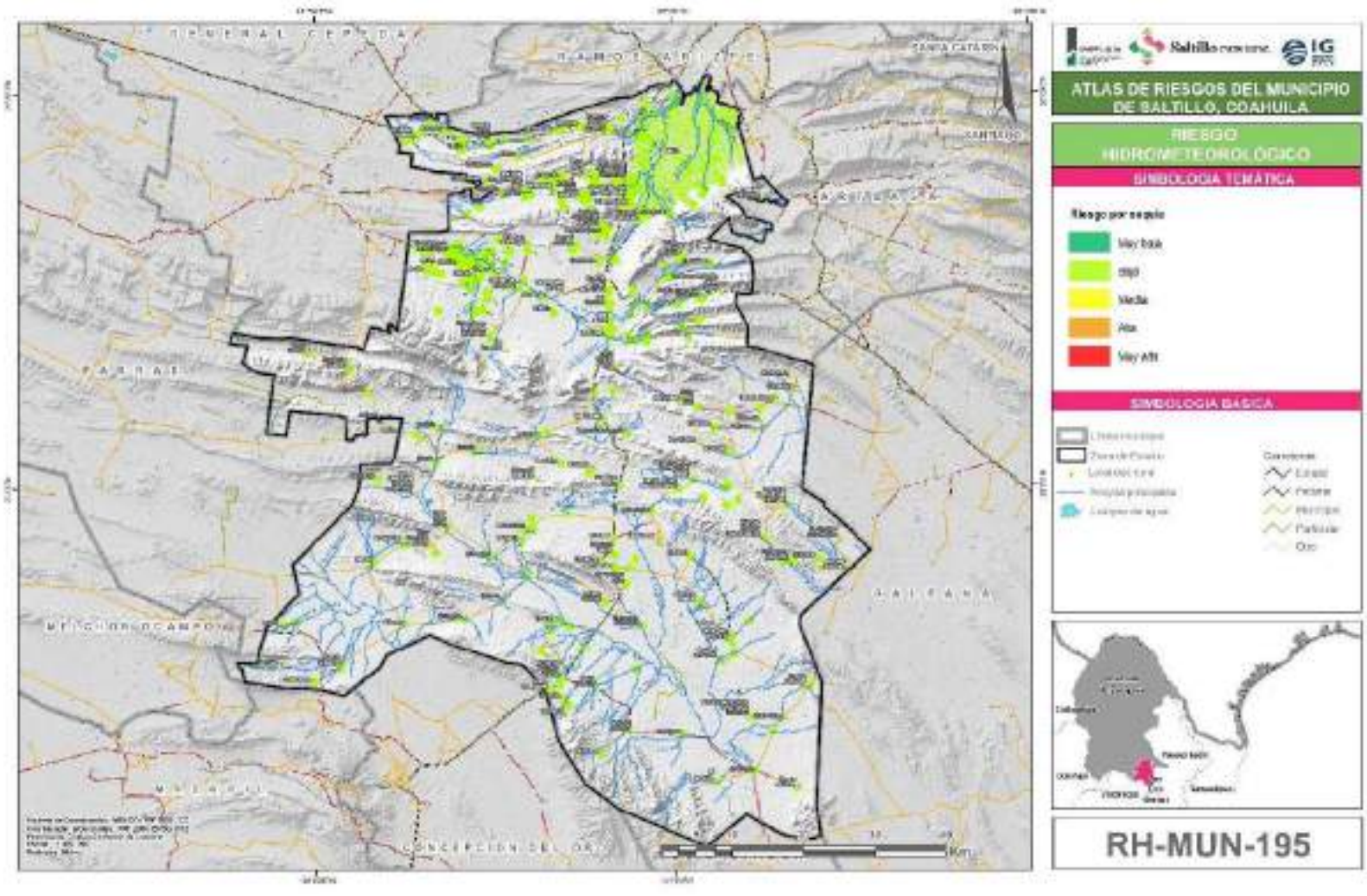
Mapa 195. Riesgo por ondas cálidas a nivel manzana



Riesgo (intensidad)	Manzanas	Población	Viviendas
Bajo	2765	199906	60308
Medio	9914	664284	203827
Total general	12679	864190	264135

Fuente: elaboración propia.

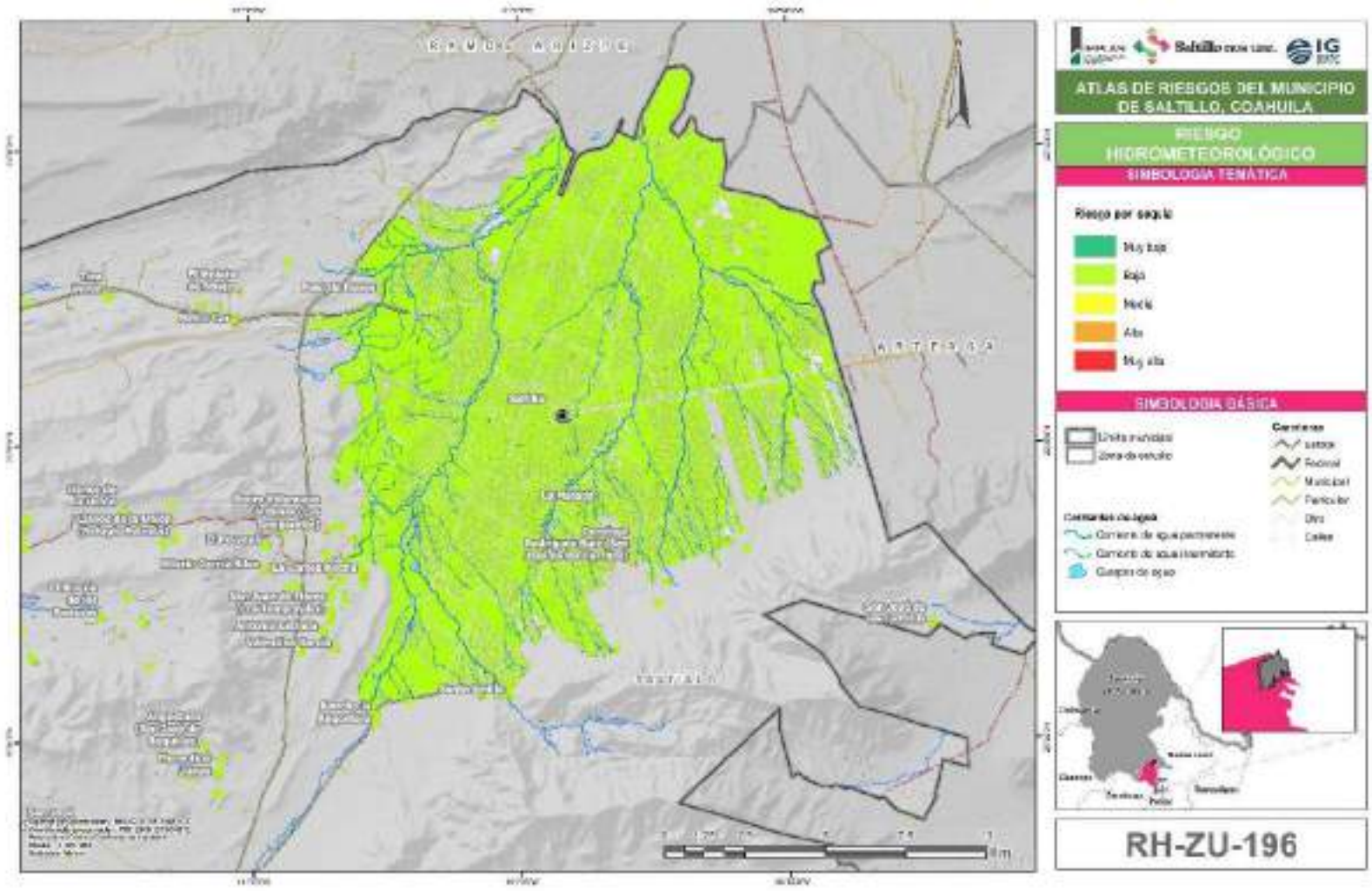
Mapa 196. Riesgo por sequía a nivel municipal



Riesgo (intensidad)	Localidades rurales	Población	Viviendas
Bajo	309	15696	7277
Total general	309	15696	7277

Fuente: elaboración propia.

Mapa 197. Riesgo por sequía a nivel manzana

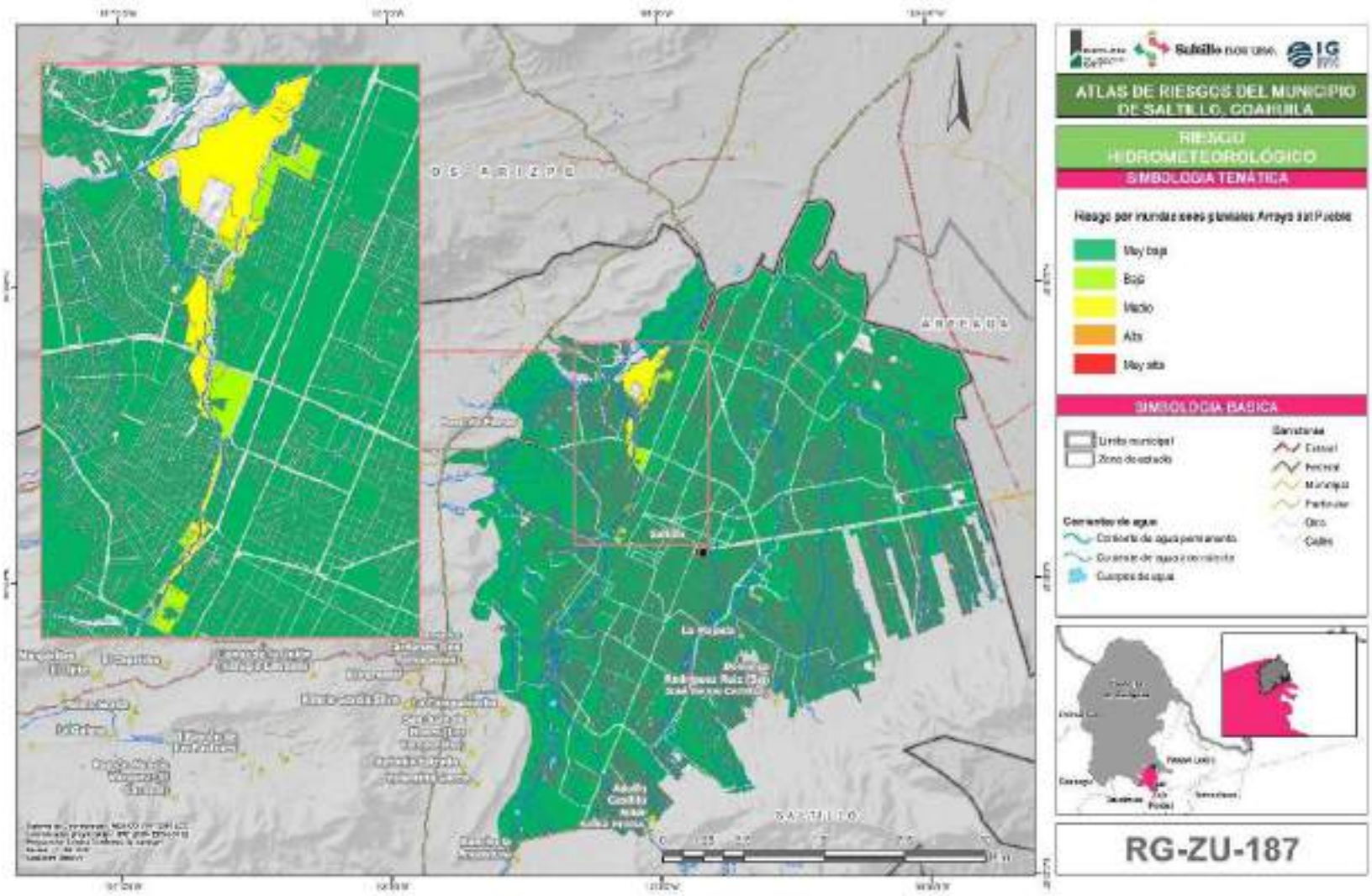


Riesgo (intensidad)	Manzanas	Población	Viviendas
Bajo	12679	864190	264135
Total general	12679	864190	264135

Fuente: elaboración propia.

Riesgo por inundaciones fluviales

Mapa 198. Riesgo por inundaciones fluviales en el Arroyo del Pueblo (Medio)

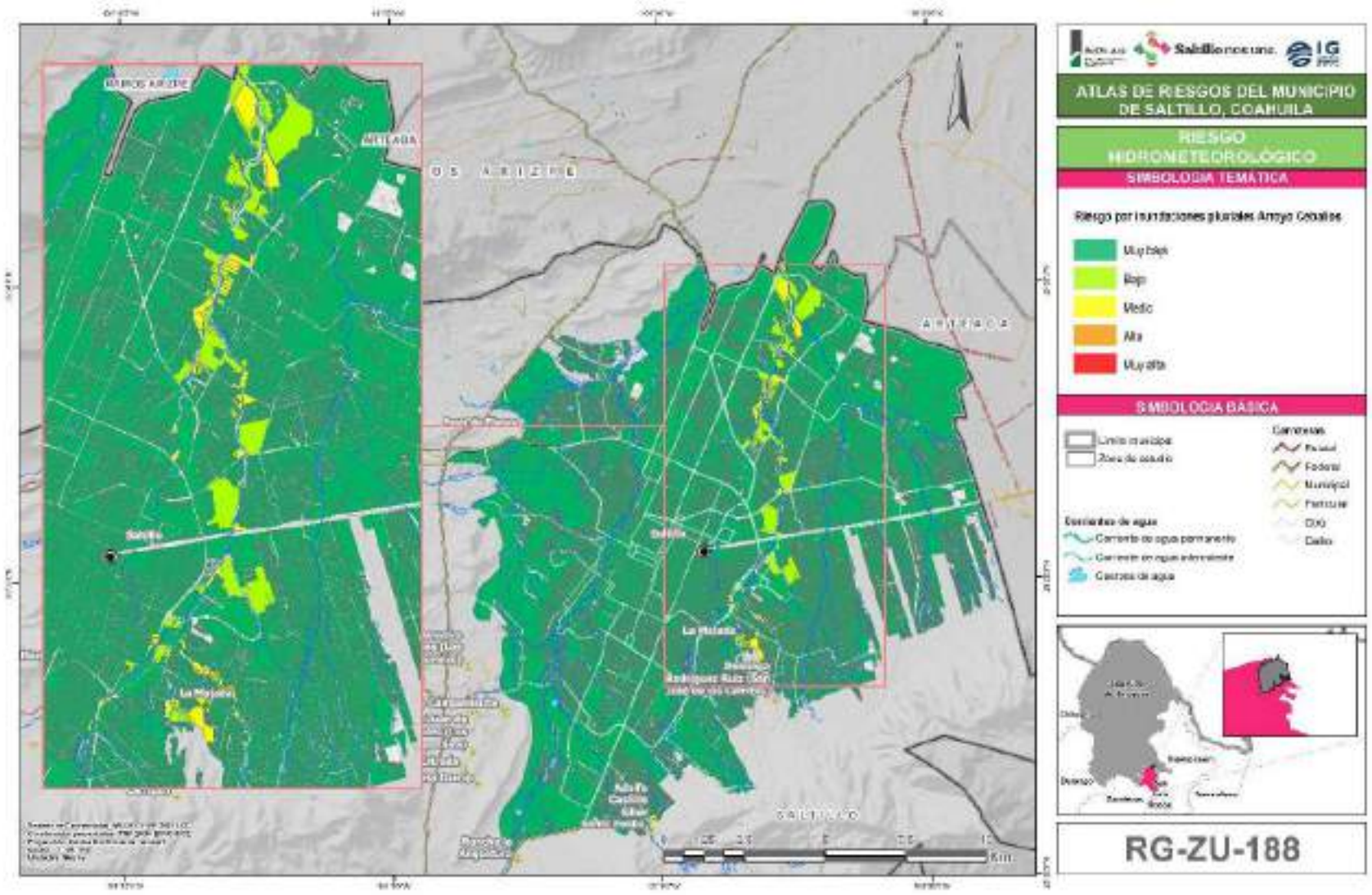


Riesgo (intensidad)	Manzanas	Población	Viviendas
Alto	2	475	152
Bajo	54	5373	1676

Medio	30	2116	708
Muy bajo	12593	856226	261599
Total general	12679	864190	264135

Fuente: elaboración propia.

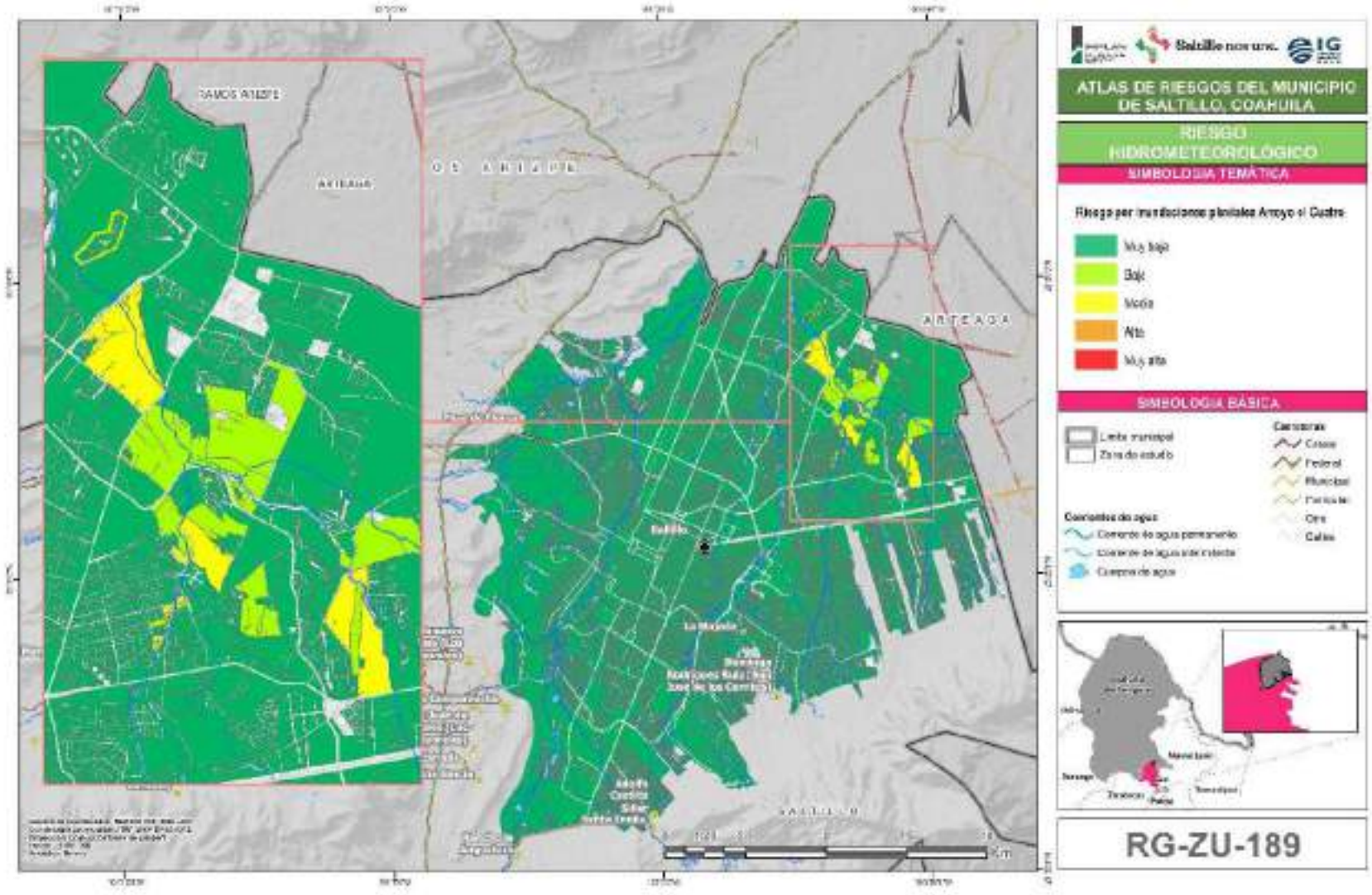
Mapa 199. Riesgo por inundaciones fluviales en el Arroyo Ceballos



Riesgo (intensidad)	Manzanas	Población	Viviendas
Bajo	58	2724	888
Medio	52	3163	1002
Muy bajo	12569	858303	262245
Total general	12679	864190	264135

Fuente: elaboración propia.

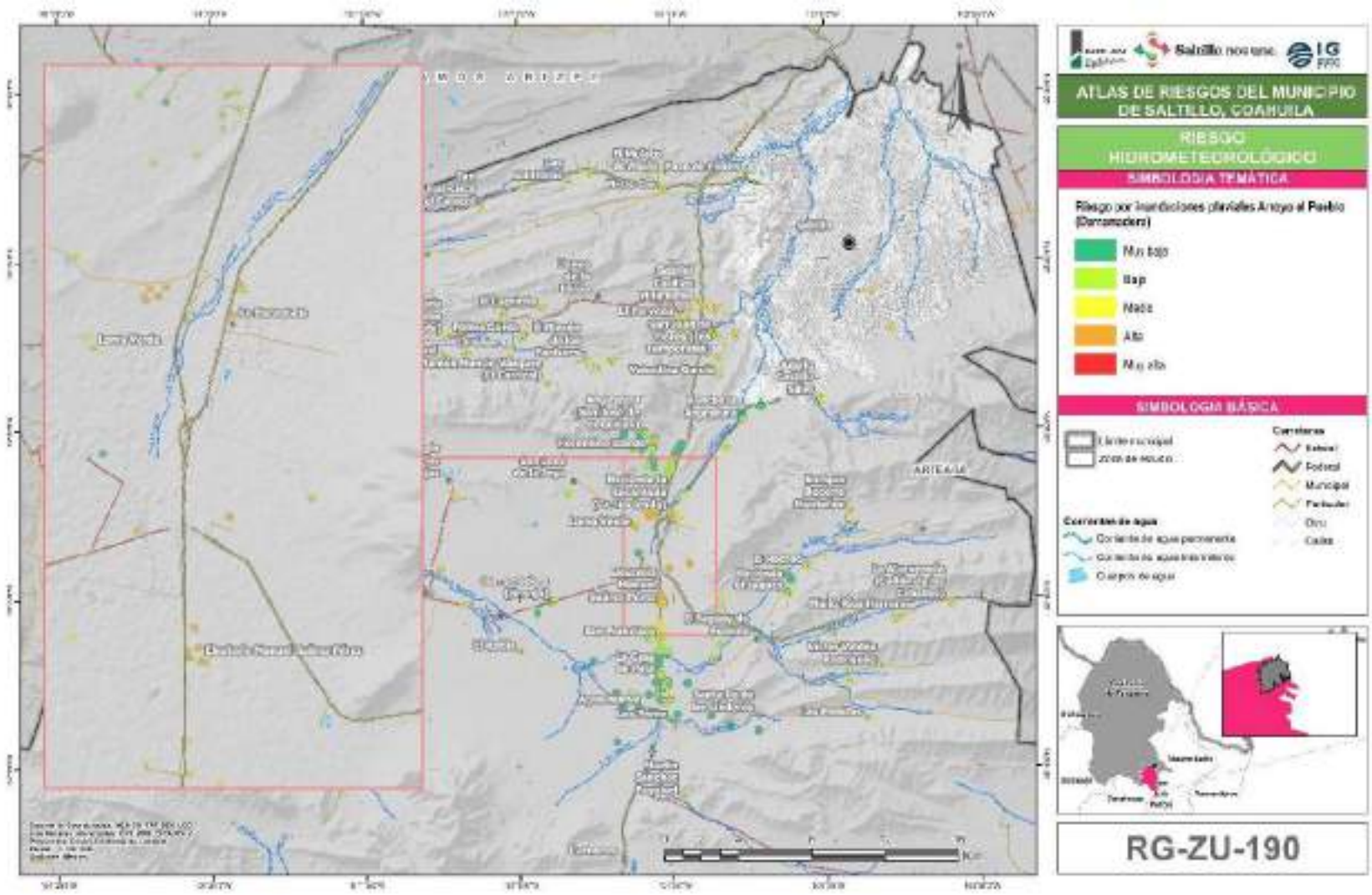
Mapa 200. Riesgo por inundaciones fluviales en el Arroyo El Cuatro



Riesgo (intensidad)	Manzanas	Población	Viviendas
Bajo	18	1160	409
Medio	13	1058	327
Muy bajo	12648	861972	263399
Total general	12679	864190	264135

Fuente: elaboración propia.

Mapa 201. Riesgo por inundaciones fluviales en el Arroyo del Pueblo Alto (Derramadero)



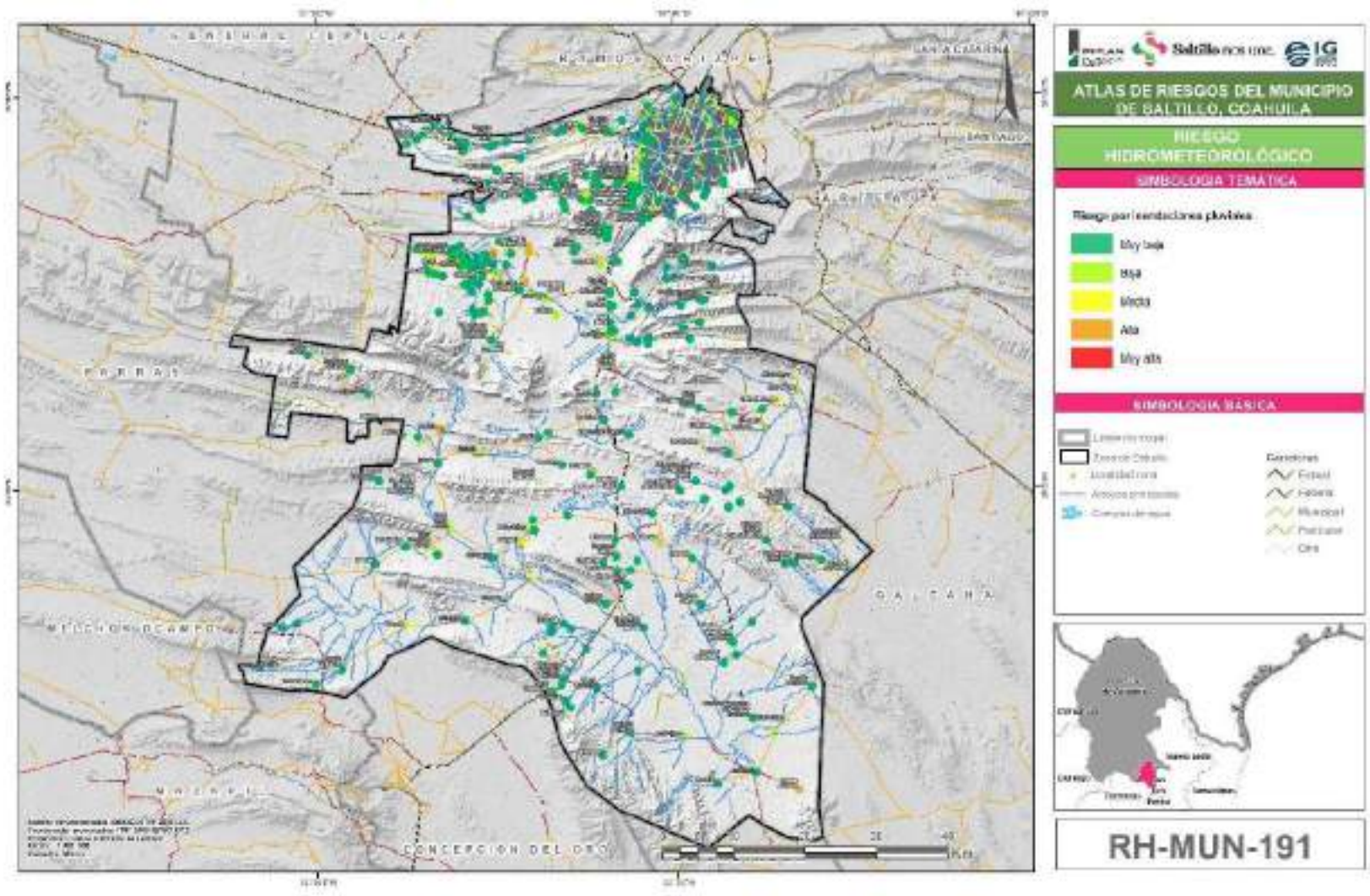
Riesgo (intensidad)	Manzanas	Población	Viviendas
Alto	628	131	17
Bajo	297	223	26

Medio	14	5	12
Muy bajo	1656	625	58
N/A	14812	6523	686
Total general	17407	7507	799

Fuente: elaboración propia.

Riesgo por inundaciones pluviales

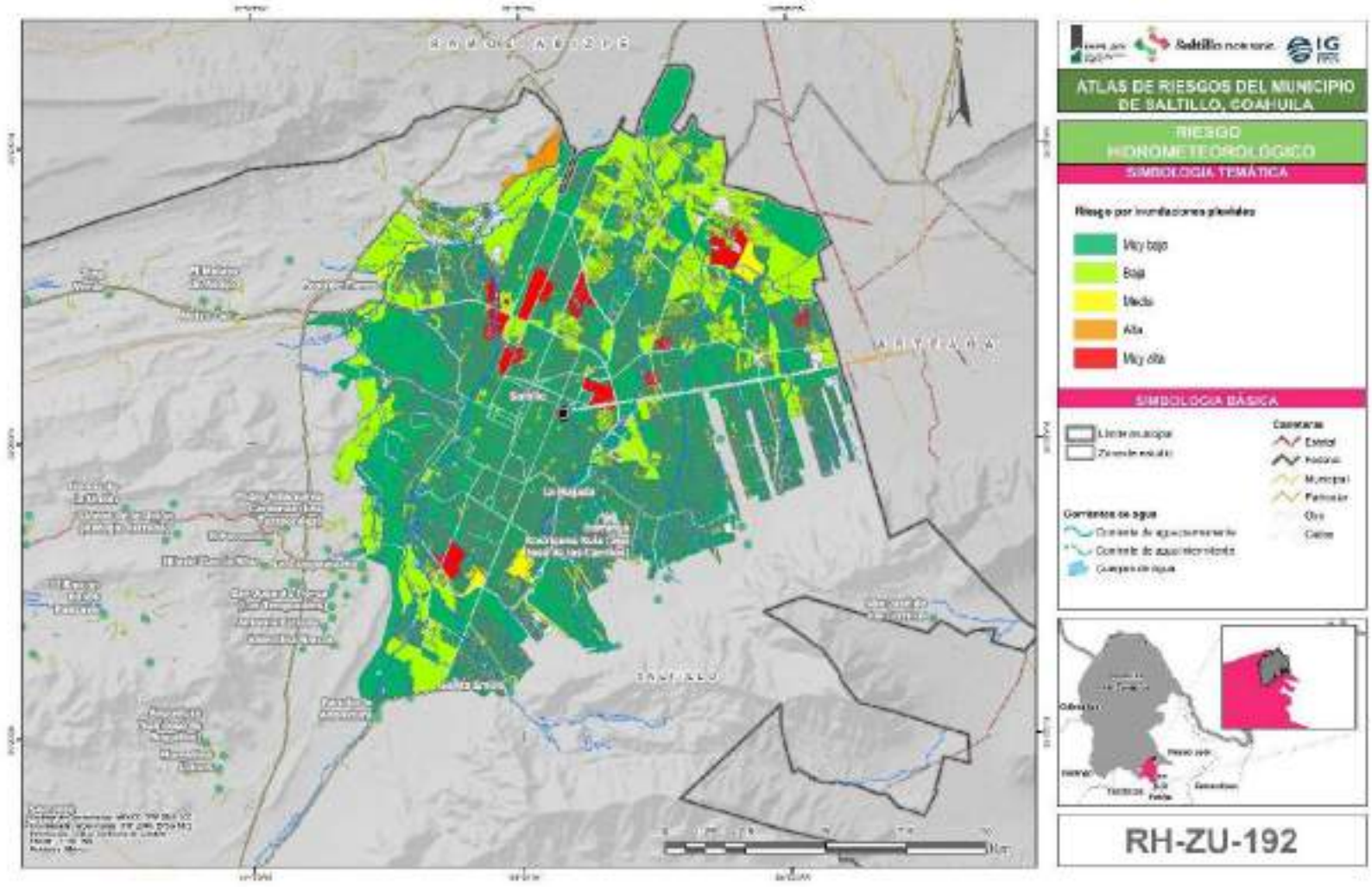
Mapa 118. Riesgo por inundaciones pluviales a nivel municipal.



Riesgo (intensidad)	Población	Vivienda	Localidades rurales
Alto	336	148	8
Bajo	1235	615	22
Medio	2538	1003	8
Muy bajo	11587	5511	271
Total general	15696	7277	309

Fuente: elaboración propia.

Mapa 119. Riesgo por inundaciones pluviales a nivel manzana

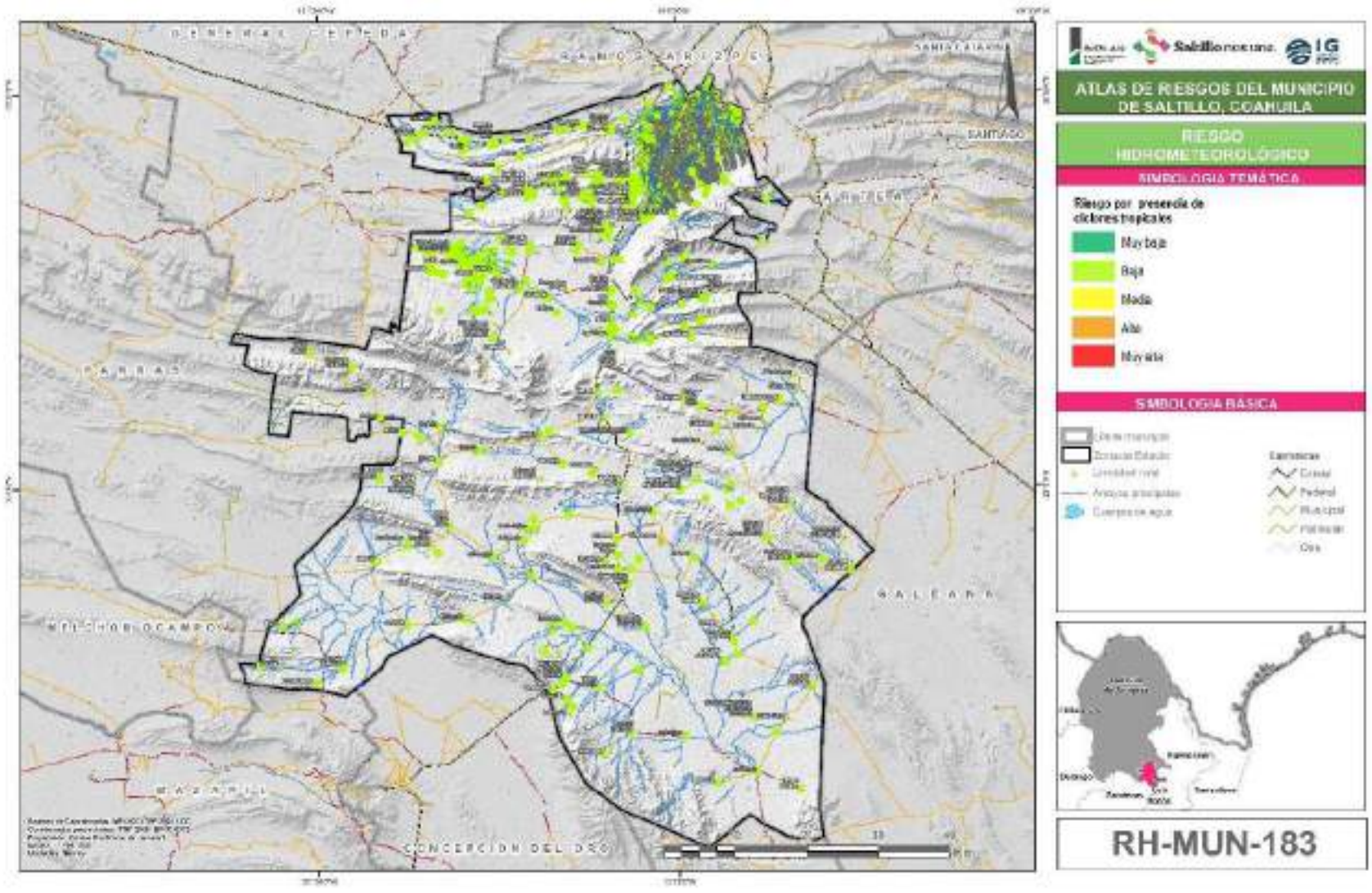


Riesgo (intensidad)	Población	Vivienda	Manzanas
Alto	890	248	9
Bajo	76943	25030	1096
Medio	6982	2200	58
Muy alto	13048	4094	195
Muy bajo	766327	232563	11321
Total general	864190	264135	12679

Fuente: elaboración propia.

Riesgo por presencia de ciclones tropicales

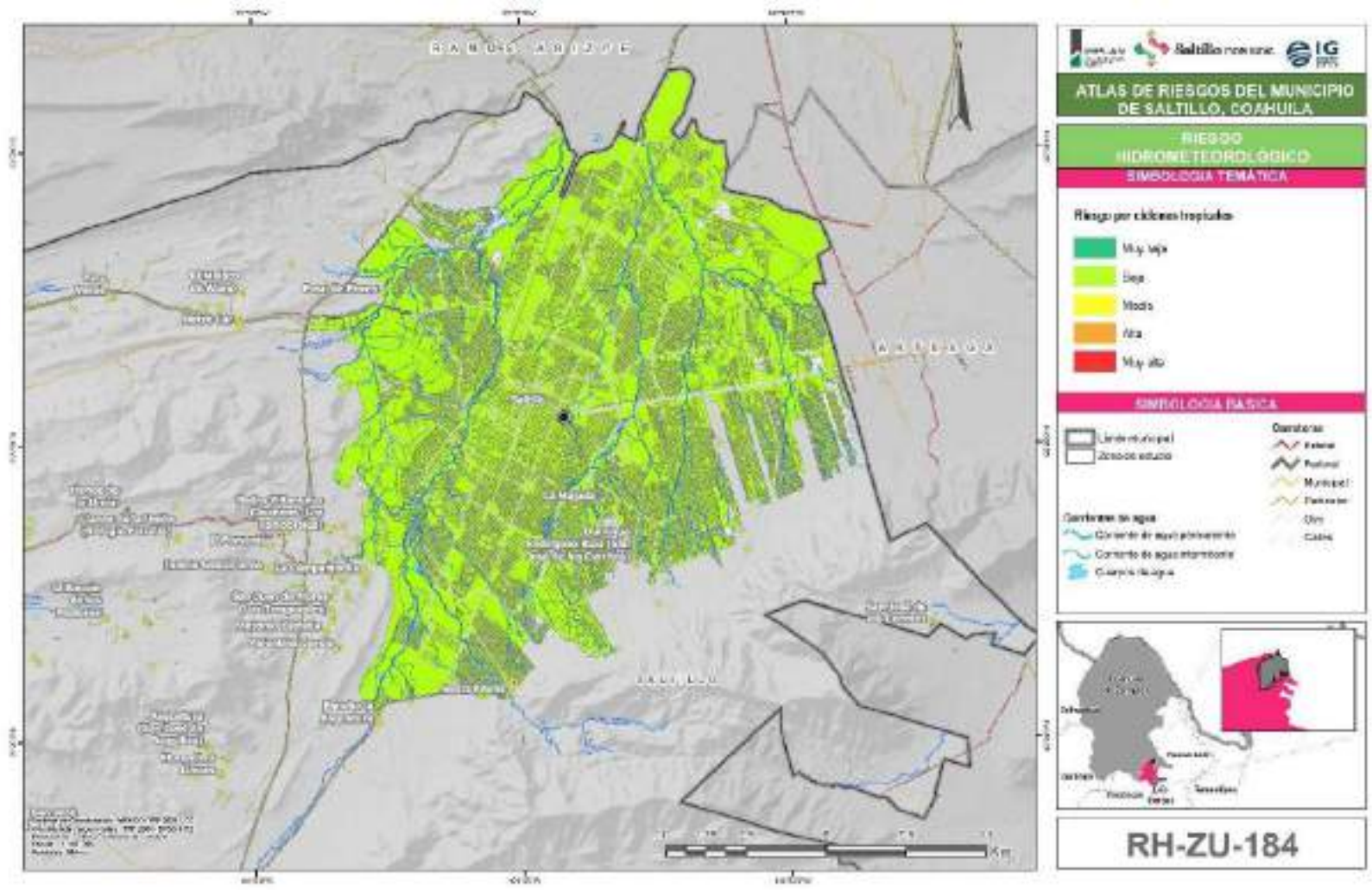
Mapa 202. Riesgo por presencia de ciclones tropicales a nivel municipal.



Riesgo (intensidad)	Población	Viviendas	Localidades rurales
Bajo	15696	7277	309
Total general	15696	7277	309

Fuente: elaboración propia.

Mapa 203. Riesgo por presencia de ciclones tropicales a escala manzana

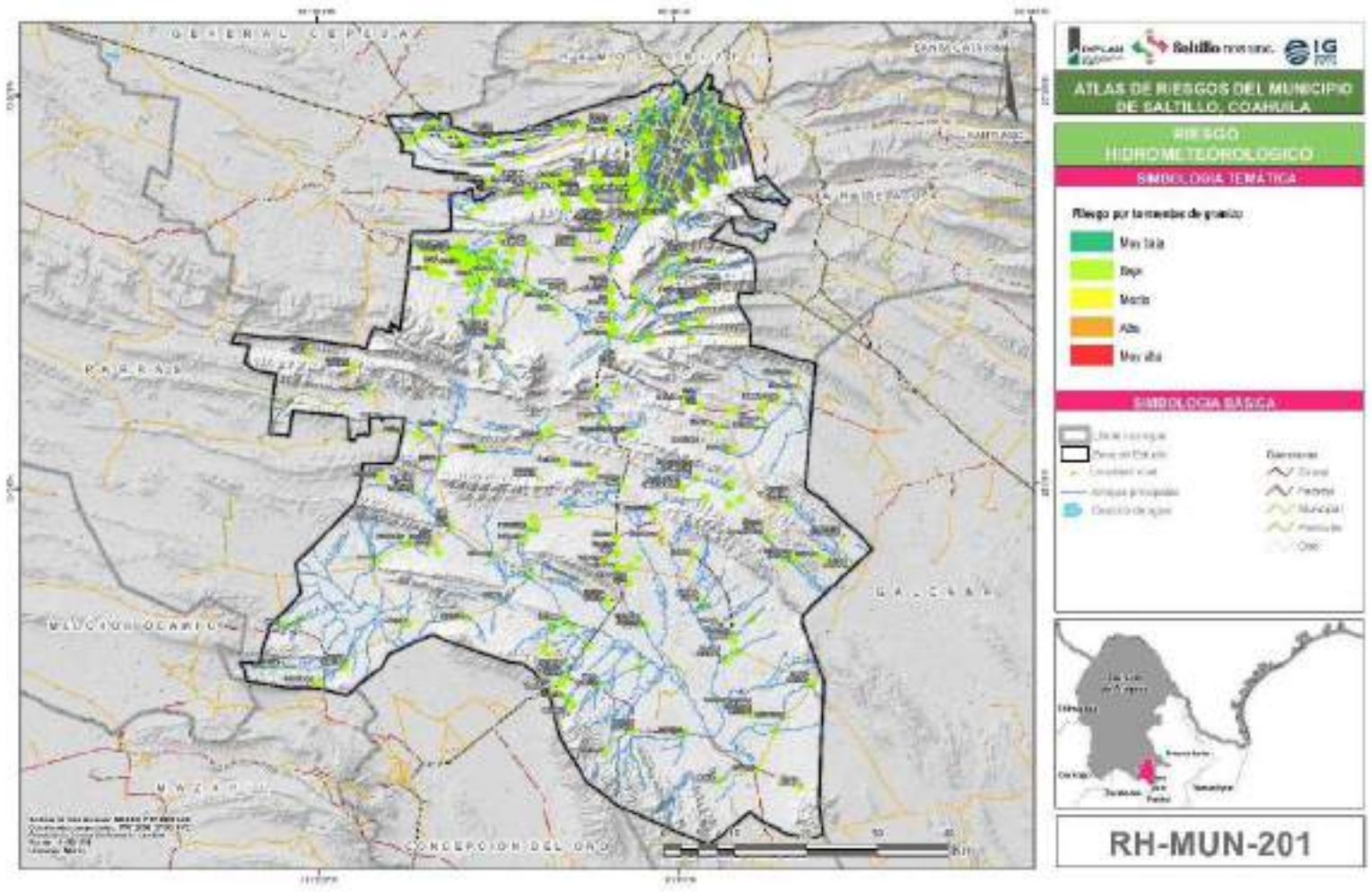


Riesgo (intensidad)	Viviendas	Población	Manzanas
Bajo	264154	864239	12679
Total general	264154	864239	12679

Fuente: elaboración propia.

Riesgo por granizo

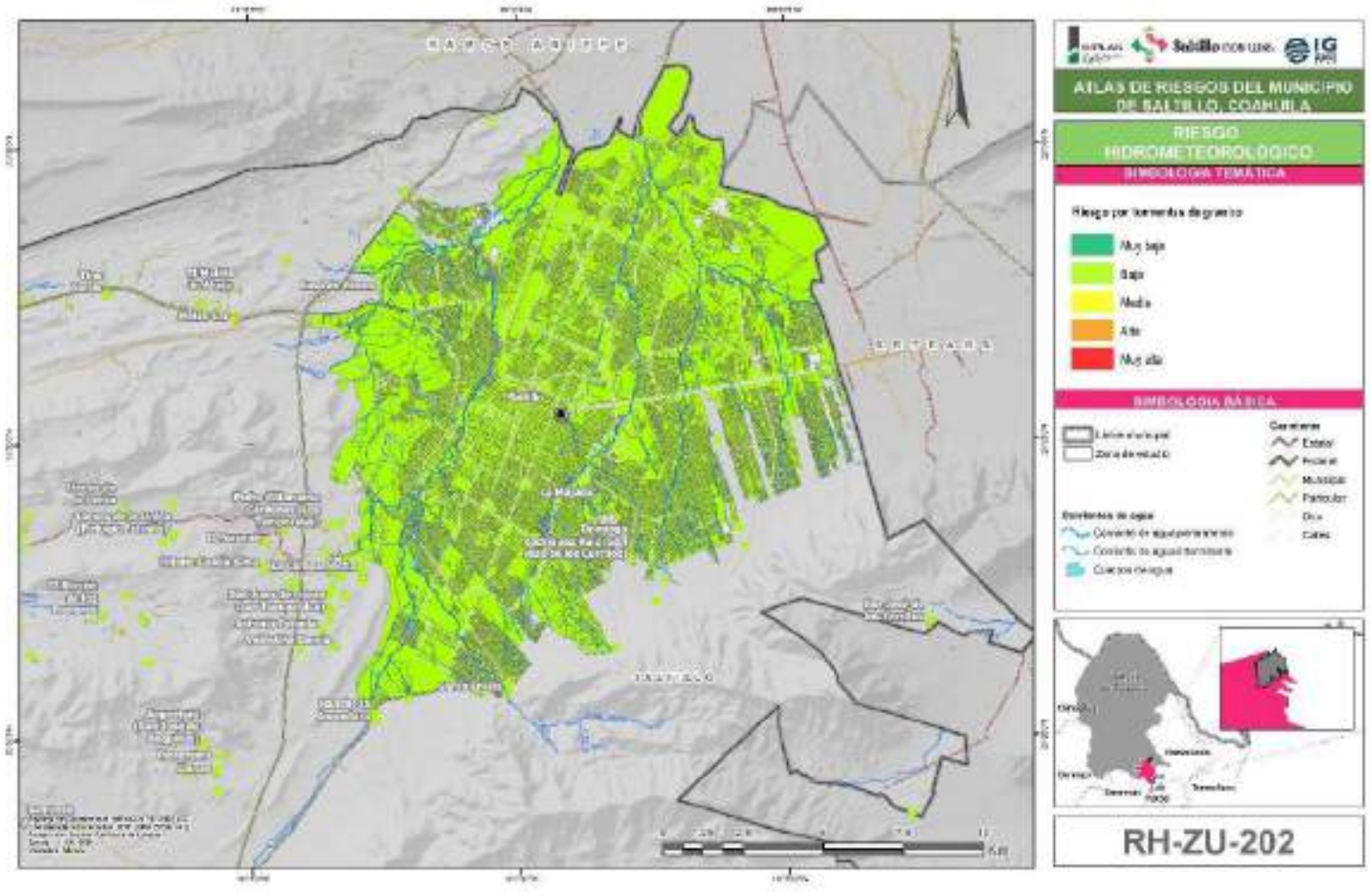
Mapa 204. Riesgo por presencia de ciclones tropicales a nivel municipal



RIESGO (INTENSIDAD)	POBLACIÓN	VIVIENDA	LOCALIDADES RURALES
Bajo	15696	7277	309
Total general	15696	7277	309

Fuente: elaboración propia.

Mapa 205. Riesgo por tormentas de granizo a nivel manzana

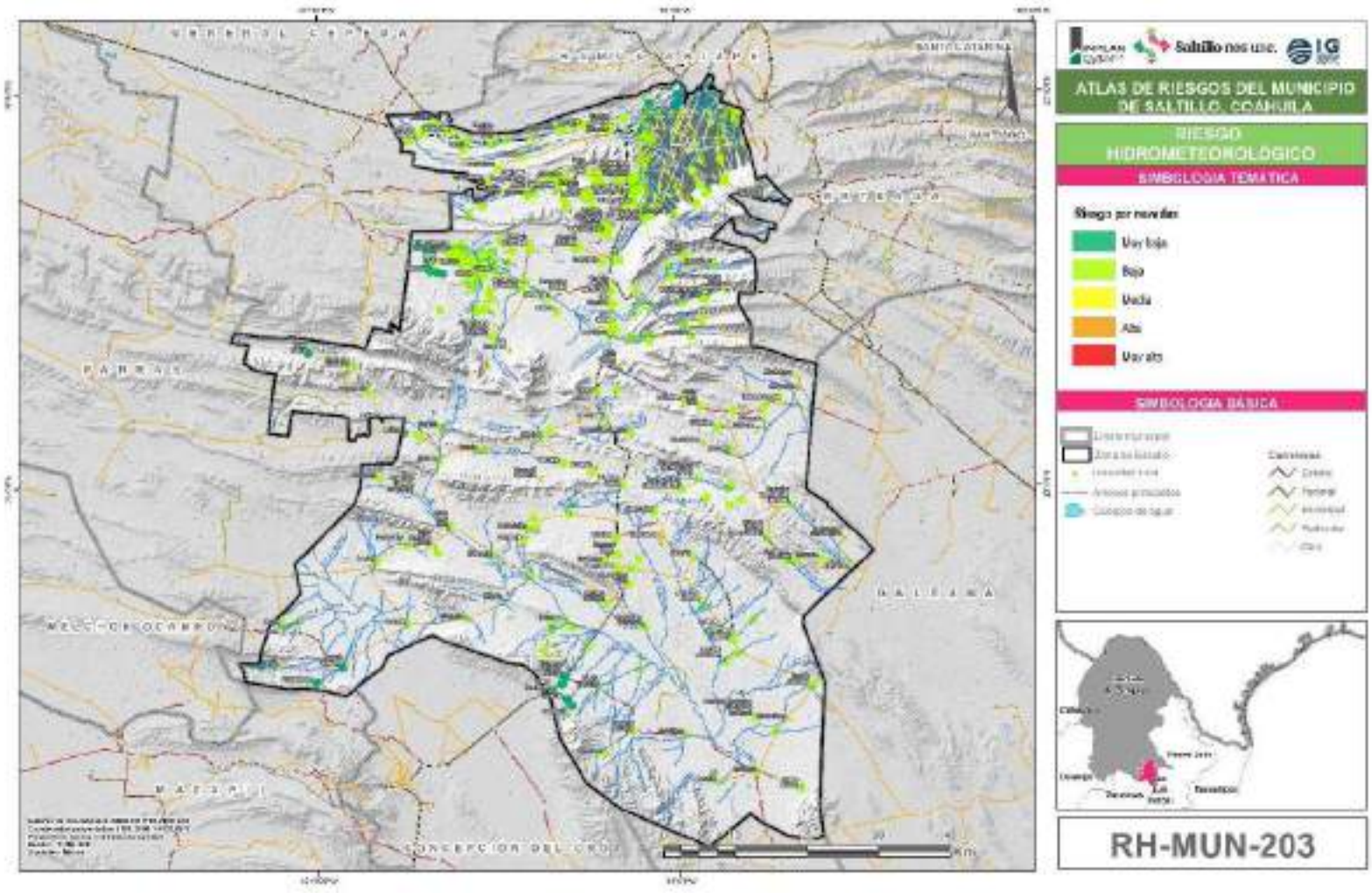


Riesgo (intensidad)	Viviendas	Población	Manzanas
Bajo	864190	264135	12679
Total general	864190	264135	12679

Fuente: elaboración propia.

Riesgo por nevadas

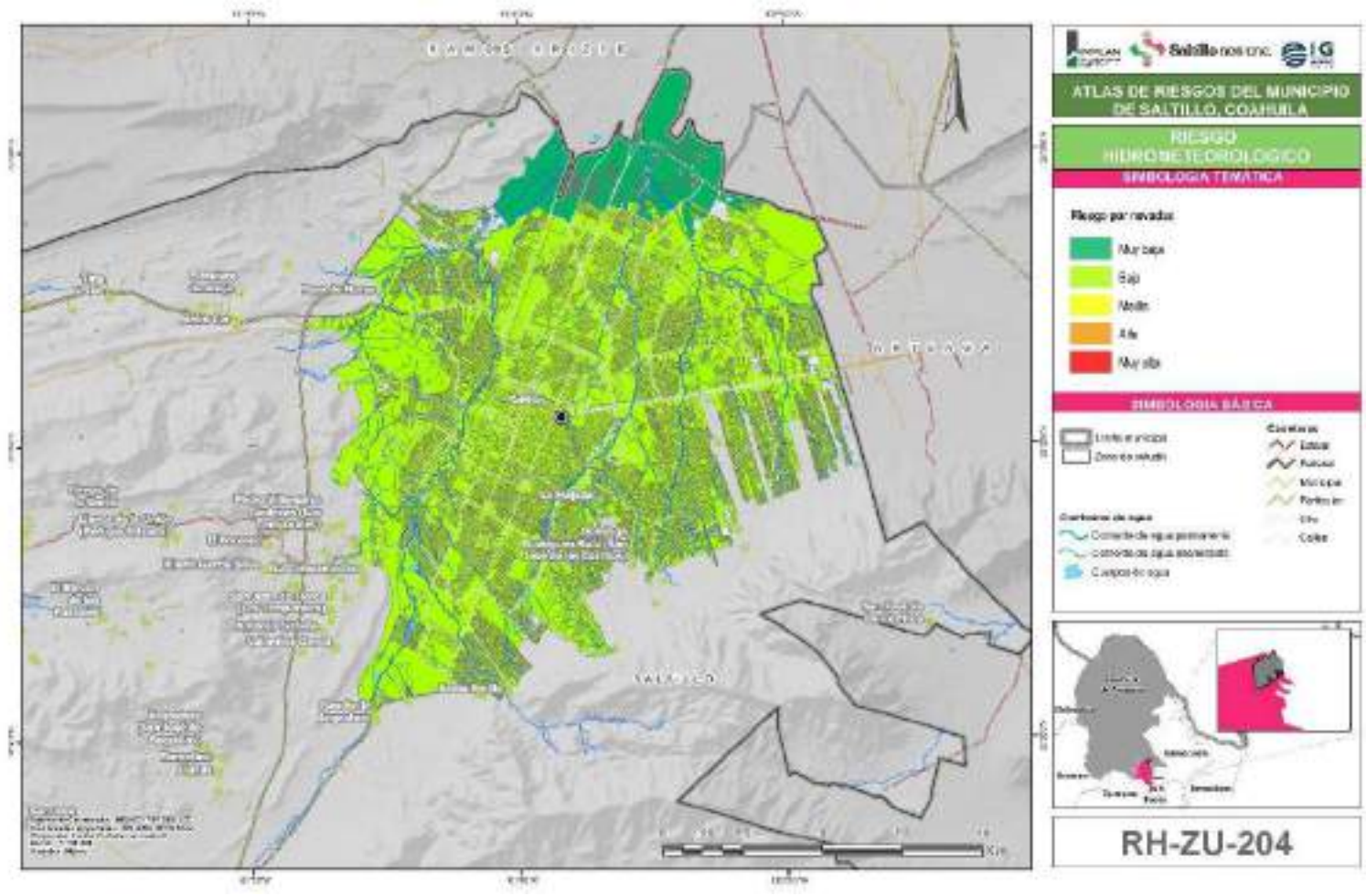
Mapa 206. Riesgo por nevadas a nivel municipal



Intensidad	Población	Viviendas	Localidades rurales
Bajo	14992	6927	288
Muy bajo	704	350	21
Total general	15696	7277	309

Fuente: elaboración propia.

Mapa 207. Riesgo por nevadas a nivel manzana

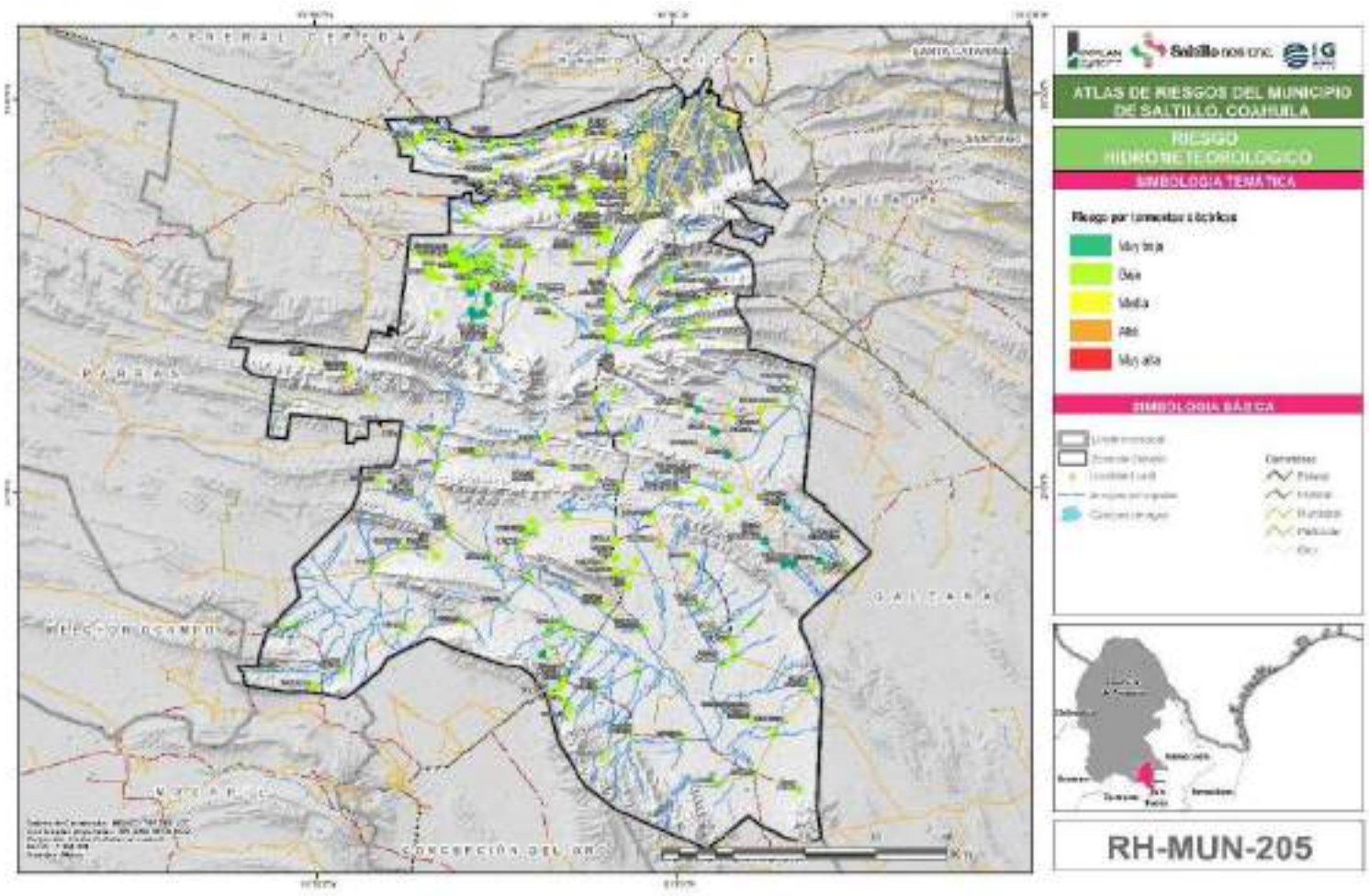


Riesgo (intensidad)	Pblación	Viviendas	Manzanas
Bajo	849156	259254	12416
Muy bajo	15034	4881	263
Total general	864190	264135	12679

Fuente: elaboración propia.

Riesgo por tormentas eléctricas

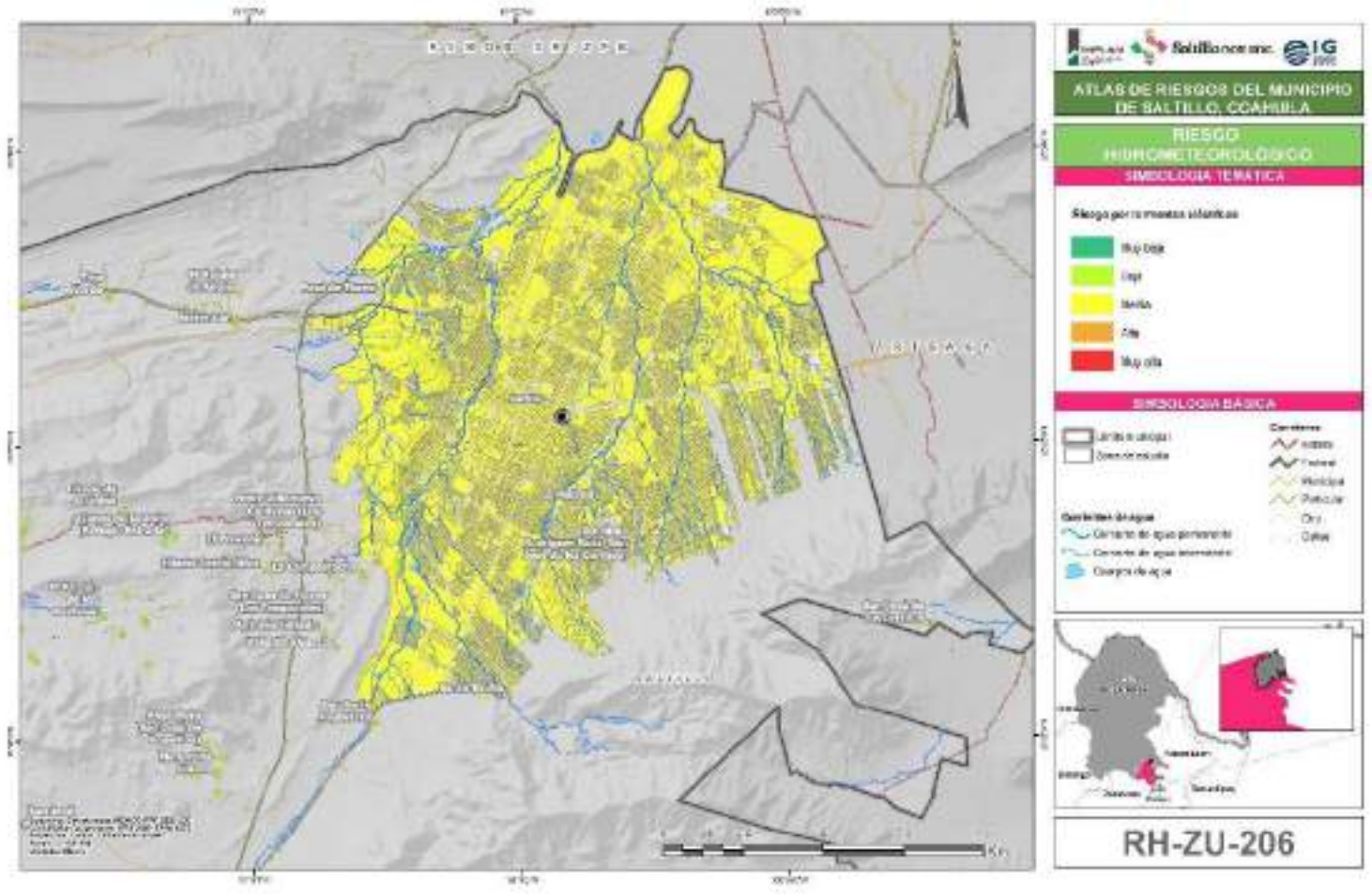
Mapa 208. Riesgo por tormentas eléctricas a escala municipal



Riesgo (intensidad)	Población	vivienda	Localidades rurales
Bajo	13859	6203	273
Medio	1837	1074	36
Total general	15696	7277	309

Fuente: elaboración propia.

Mapa 209. Riesgo por tormentas eléctricas a nivel manzana

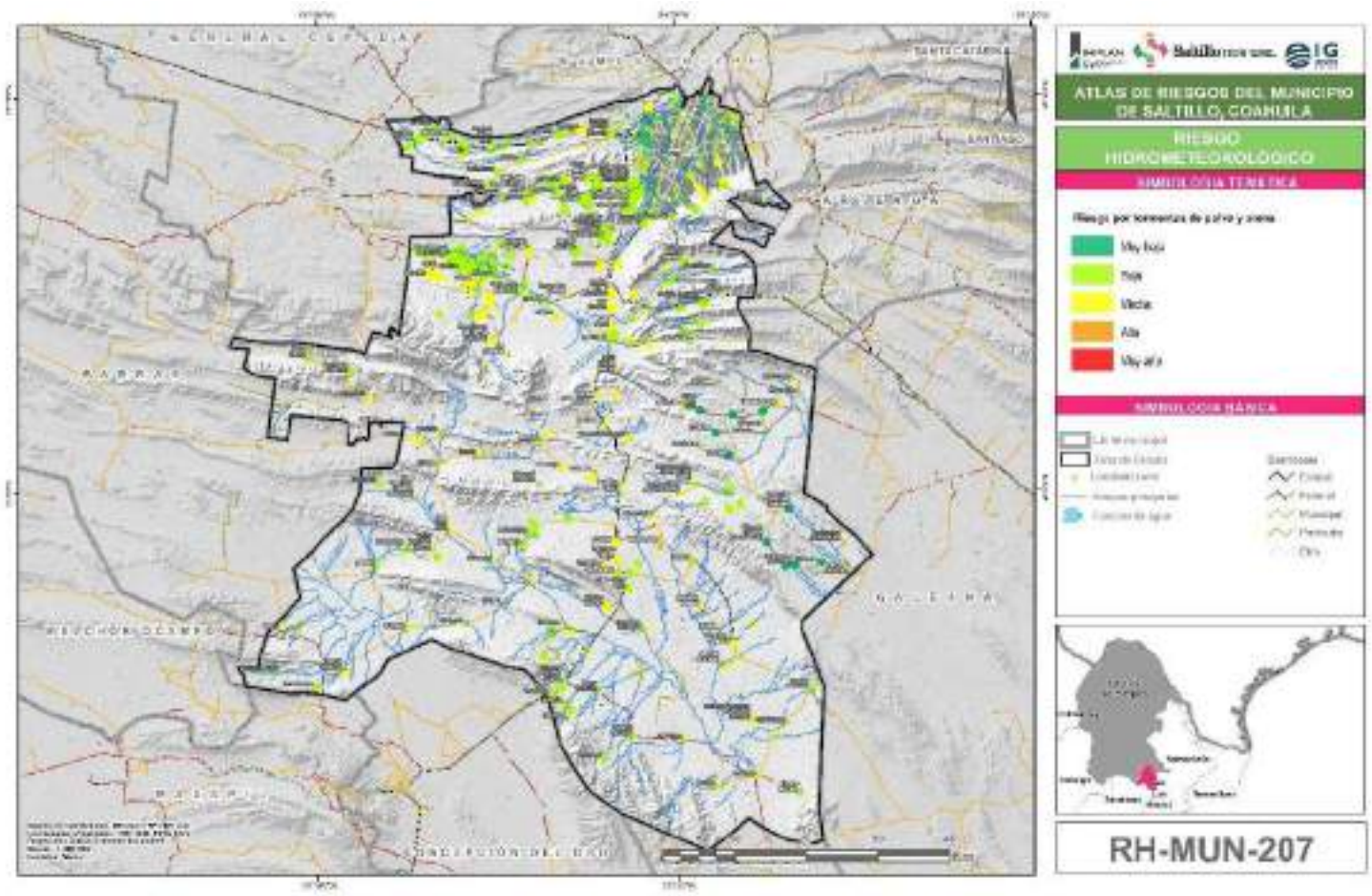


Riesgo (intensidad)	Viviendas	Población	Manzanas
Bajo	864190	264135	12679
Total general	864190	264135	12679

Fuente: elaboración propia.

Riesgo por tormentas de polvo y arena

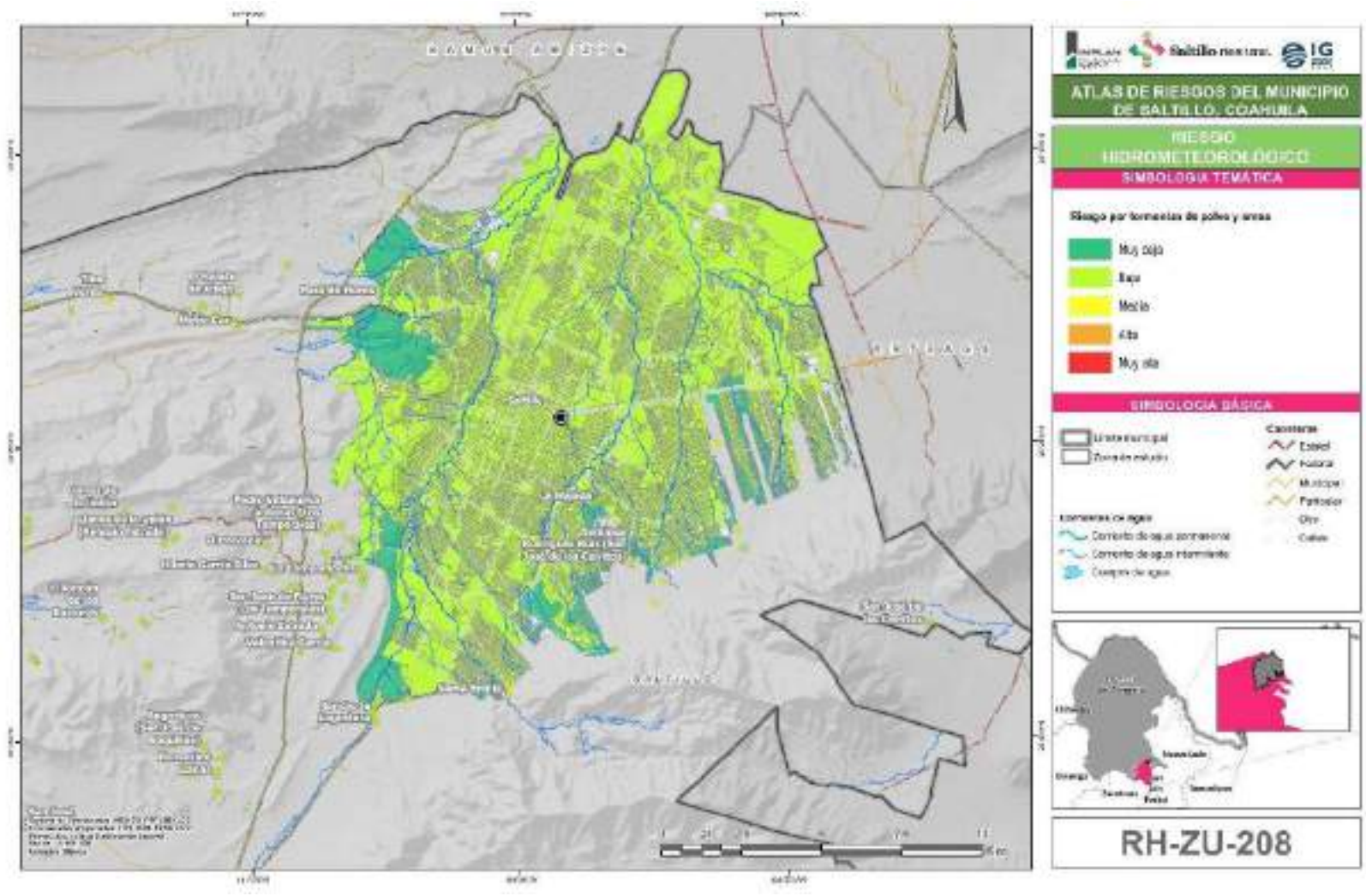
Mapa 210. Riesgo por tormentas de polvo y arena a nivel municipal



Riesgo (intensidad)	Población	Viviendas	Localidades rurales
Bajo	10297	4480	192
Medio	4993	2607	106
Muy bajo	406	190	11
Total general	15696	7277	309

Fuente: elaboración propia.

Mapa 211. Peligro por tormentas de polvo y arena a escala manzana



Riesgo (intensidad)	Población	Viviendas	Manzanas
Bajo	806855	246727	11968
Medio	57335	17408	711
Total general	864190	264135	12679

Fuente: elaboración propia.

8.1.3 Índices de riesgo ante fenómenos de origen antropogénico

El cálculo de los índices de riesgo para el caso de los fenómenos de origen antropogénico considera al nivel de peligro igual de importante que el grado de vulnerabilidad, por lo que la constitución de la información de las coberturas referentes es un promedio de las dos variables.

La tabla siguiente detalla, como de manera similar a la aplicación a algunos fenómenos de origen hidrometeorológico, los resultados de la integración de los componentes de peligro, así como vulnerabilidad se clasifican en cinco grados de riesgo que van de muy bajo (verde claro) a muy alto (rojo).

Figura 129. Índice de Riesgo ante fenómenos de origen antropogénico

Vulnerabilidad	Peligro por agentes Químico-Tecnológicos				
	1	2	3	4	5
1	1.0	1.7	2.4	3.1	3.8
2	1.3	2.0	2.7	3.4	4.1
3	1.6	2.3	3.0	3.7	4.4
4	1.9	2.6	3.3	4.0	4.7
5	2.2	2.9	3.6	4.3	5

Fuente: elaboración propia.

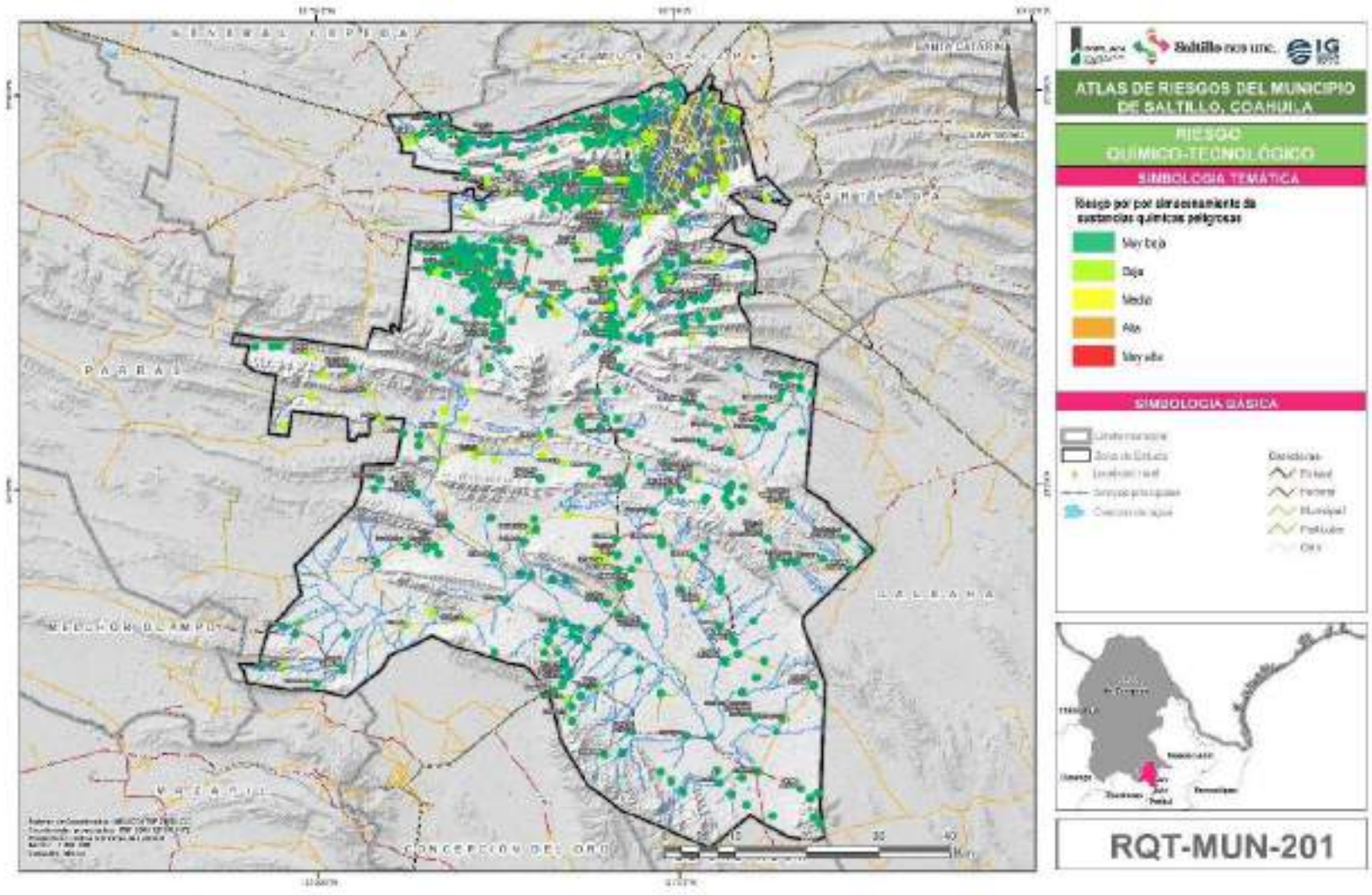
Debido a la importancia que representan para el municipio, se modelo el riesgo por almacenamiento de sustancia peligrosas, el transporte de sustancias químicas peligrosas en la zona urbana, el riesgo transporte de sustancias químicas peligrosas por ductos y el riesgo por incendios forestales, puesto que, los fenómenos químico tecnológicos son los que impactan con mayor grado de afectación, además de extensión dentro del territorio. A continuación se describen los resultados y sus composiciones cartográficas correspondientes.

Riesgo por almacenamiento de sustancias químicas peligrosas

El Mapa 212 presenta una visión general del riesgo asociado al almacenamiento de sustancias químicas peligrosas a nivel municipal. En este contexto, se observa que la mayor parte del territorio muestra un riesgo muy bajo, abarcando 204 localidades rurales, lo que afecta a 14 mil 168 habitantes y 5 mil 649 viviendas particulares habitadas.

Por otro lado, el riesgo bajo se concentra en 105 localidades, que incluyen mil 555 viviendas y una población de 2 mil 764 habitantes. Esta distribución indica que, aunque el riesgo general es bajo, es importante monitorear las áreas con mayor exposición y considerar estrategias preventivas para minimizar posibles incidentes en las localidades afectadas.

Mapa 212. Riesgo por almacenamiento de sustancias químicas peligrosas en el municipio de Saltillo

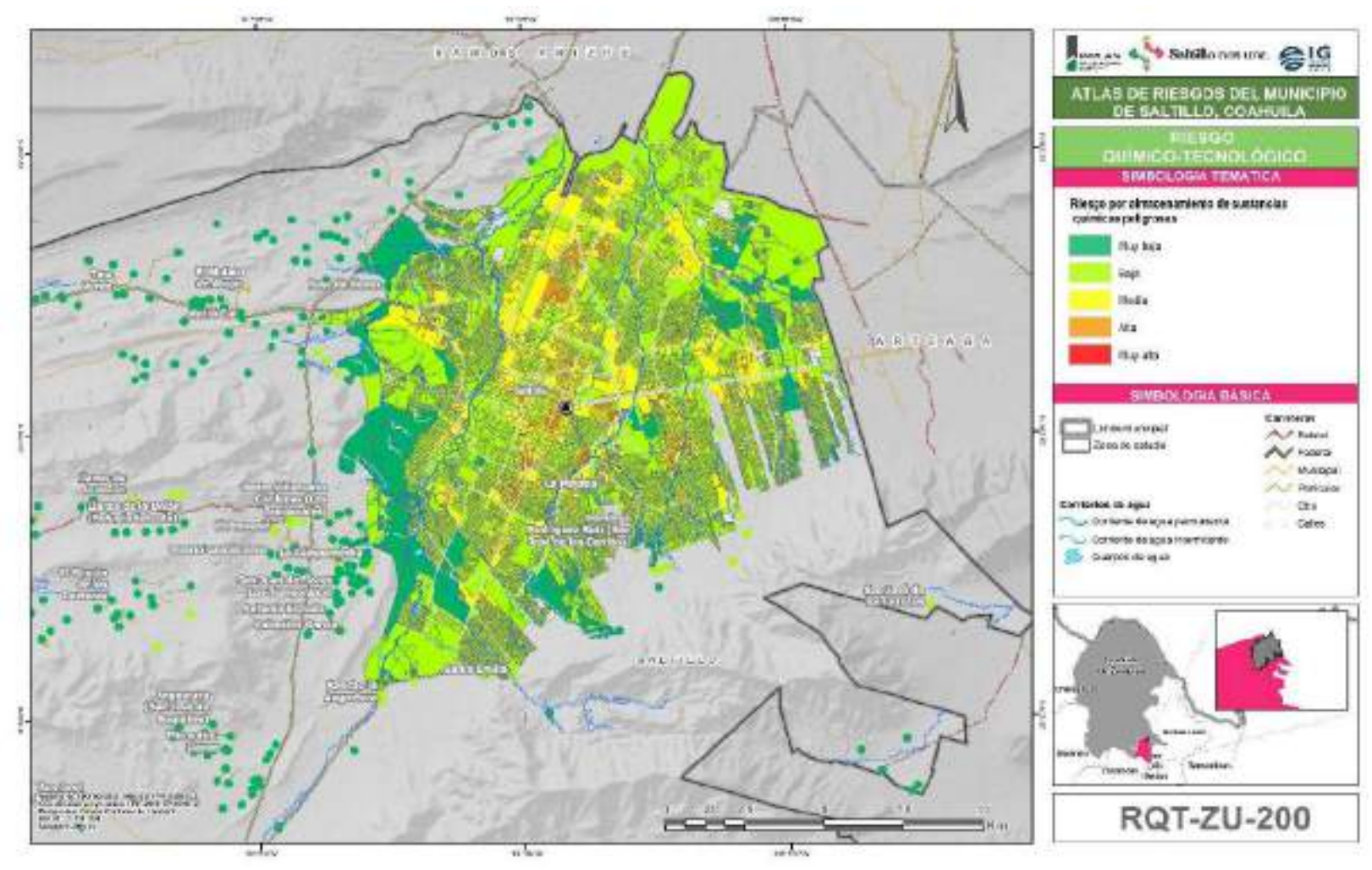


Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los niveles de riesgo en la zona urbana del municipio, la distribución es notablemente heterogénea, afectando a diferentes cantidades de población de acuerdo con el grado de riesgo. El nivel de riesgo muy bajo abarca 886 manzanas, lo que implica un total de 36 mil 354 personas y 11 mil 409 viviendas. En el caso del riesgo bajo, la magnitud es mayor, afectando a 9 mil 644 manzanas, con una población de 678 mil 414 habitantes distribuidos en 203 mil 809 viviendas habitadas.

El nivel de riesgo moderado se extiende por mil 937 manzanas, impactando a 136 mil 047 personas y 44 mil 224 viviendas. Por último, el nivel de riesgo alto es más reducido, comprendiendo solo 212 manzanas, donde residen 13 mil 424 habitantes en 4 mil 712 viviendas. Esta variabilidad en los niveles de riesgo dentro del área urbana subraya la importancia de estrategias diferenciadas de gestión de riesgos, dirigidas a mitigar posibles consecuencias en las áreas con mayor exposición, sin desatender las zonas con riesgos menores, que igualmente requieren monitoreo constante (Mapa 213).

Mapa 213. Riesgo por almacenamiento de sustancias químicas peligrosas en la zona urbana de Saltillo



Fuente: elaboración propia.

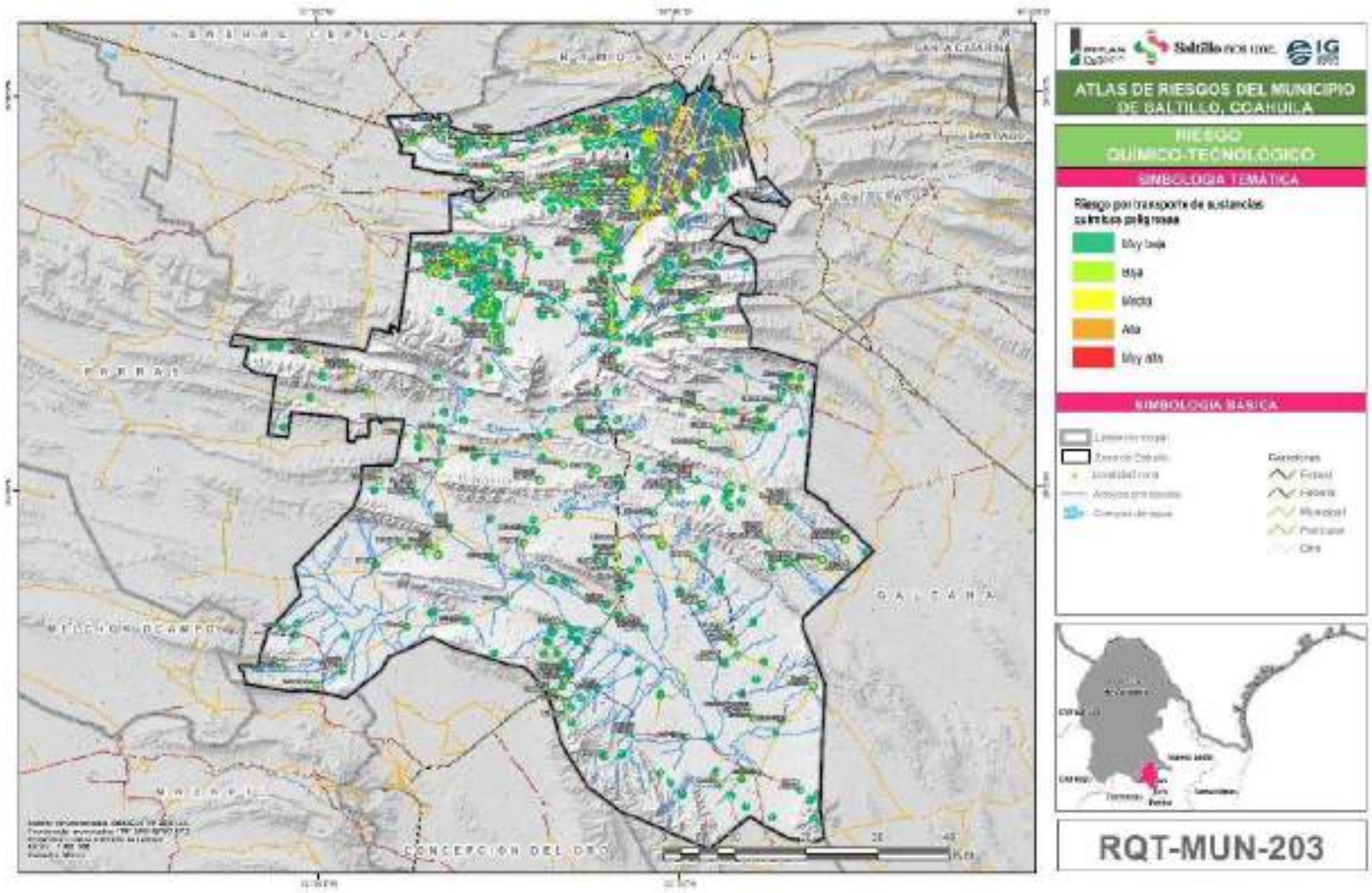
Riesgo por transporte de sustancias químicas peligrosas

El Mapa 214 refleja el riesgo asociado al transporte de sustancias químicas peligrosas a nivel municipal. En las localidades rurales, predomina un riesgo muy bajo, el cual afecta a 271 localidades, lo que equivale a 17 mil 715 habitantes y 7 mil 443 viviendas. Por su parte, el riesgo bajo se manifiesta en 23 localidades, con 27 viviendas y una población de 65 habitantes.

El riesgo moderado se presenta en 13 localidades, impactando a 55 habitantes y 27 viviendas. En cuanto al riesgo alto, este se concentra en dos localidades, Rito Cuevas Rodríguez y Los Temporales, ubicadas al sur de la zona urbana. Ambas localidades tienen una población total de apenas 34 personas y 12 viviendas.

Este análisis resalta que, aunque la mayoría de las áreas rurales enfrentan un riesgo mínimo, existe una atención necesaria hacia las pocas localidades con riesgo alto. Aunque estas áreas son menos pobladas, es fundamental implementar medidas de seguridad, así como respuesta rápida debido a su vulnerabilidad frente a posibles incidentes relacionados con el transporte de sustancias químicas.

Mapa 214. Riesgo por transporte o de sustancias químicas peligrosas en el municipio de Saltillo



Fuente: elaboración propia.

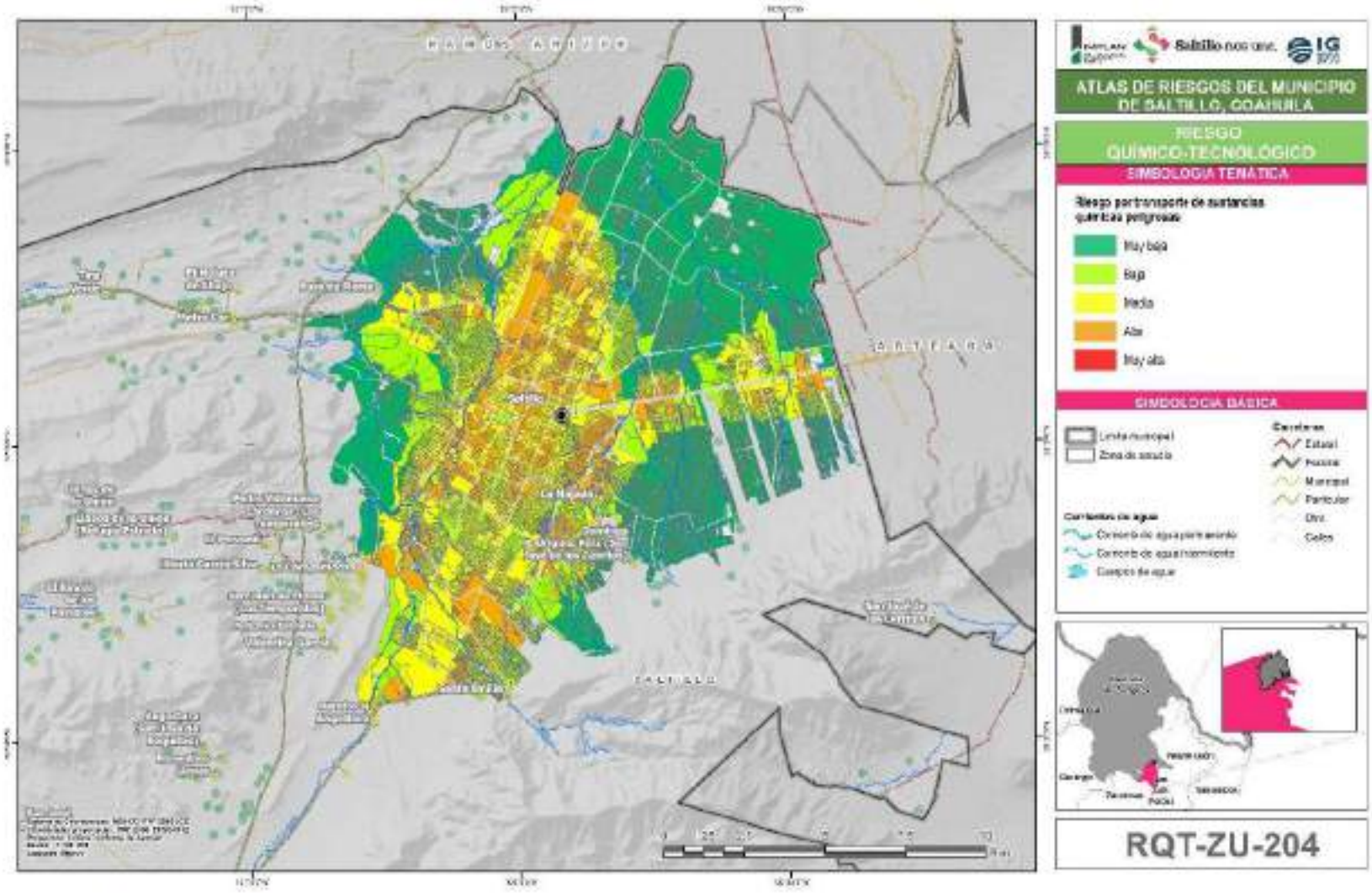
En cuanto a los niveles de riesgo en la zona urbana del municipio, la distribución de habitantes y viviendas varía considerablemente según el riesgo. El nivel de riesgo muy bajo se localiza en los límites municipales con Ramos Arizpe al norte y hacia el sur poniente con Ramos Arteaga, abarcando un total de 5 mil 100 manzanas, donde residen 334 mil 491 habitantes y se encuentran 101 mil 39 viviendas.

El nivel de riesgo bajo se presenta como una zona de transición entre las áreas de riesgo muy bajo y moderado, rodeando el centro de la zona urbana. Esta área comprende 2 mil 591 manzanas, con una población de 180 mil 119 habitantes y 53 mil 550 viviendas.

Por último, el riesgo moderado se extiende desde el centro de la zona urbana hacia el sur y el centro - oriente. Abarca 3 mil 61 manzanas, con 220 mil 572 habitantes y 68 mil 96 viviendas. Esta distribución de riesgo indica que, a medida que se acercan al centro urbano, las áreas están más expuestas a riesgos moderados, lo que sugiere una mayor necesidad de medidas preventivas, así como de gestión de riesgos en estas zonas más densamente pobladas y urbanizadas. La variabilidad entre las áreas de bajo y moderado riesgo refleja una realidad dinámica que requiere una planificación estratégica adecuada para proteger a la población.

Alto: se localiza en la parte céntrica de la zona urbana y rodea avenidas importantes como el Boulevard Vito Alessio Robles, Isidro López Zertuche, la carretera federal número 57 y el periférico Luis Echeverría. Abarca un total de mil 927 manzanas con 129 mil 57 habitantes y 41 mil 469 viviendas (Mapa 215).

Mapa 215. Riesgo por transporte de sustancias químicas peligrosas en la zona urbana de Saltillo

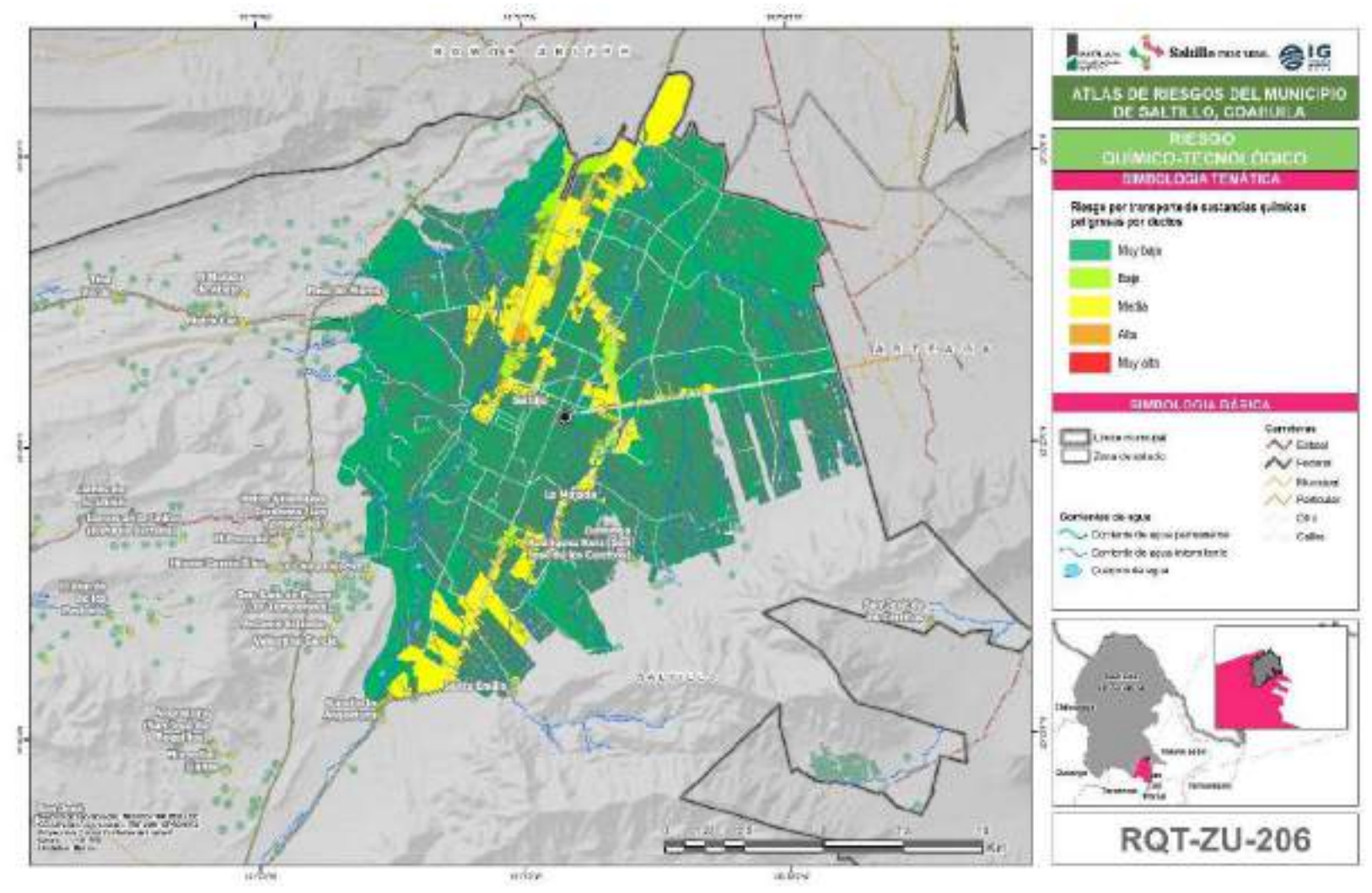


Fuente: elaboración propia.

El Mapa 216, que muestra el riesgo asociado al transporte de sustancias químicas peligrosas a través de ductos en la zona urbana, indica que el nivel de riesgo muy bajo abarca 11 mil 600 manzanas, en las cuales se encuentran 244 mil 356 viviendas, albergando a un total de 801 mil 666 habitantes. Por otro lado, en la categoría de riesgo medio, se identifican mil 69 manzanas, donde hay 19 mil 798 viviendas que proporcionan residencia a 62 mil 573 personas.

Este análisis destaca una tendencia clara: la gran mayoría de la población urbana se encuentra en áreas de riesgo muy bajo, lo que sugiere una relativa seguridad en cuanto al transporte de sustancias peligrosas en ductos. Sin embargo, las zonas de riesgo medio, aunque mucho menos extensas, albergan a una cantidad significativa de habitantes, lo que subraya la importancia de implementar medidas de seguridad adicionales en estas áreas para mitigar cualquier posible incidente.

Mapa 216. Riesgo por transporte de sustancias químicas peligrosas por ductos en la zona urbana de Saltillo

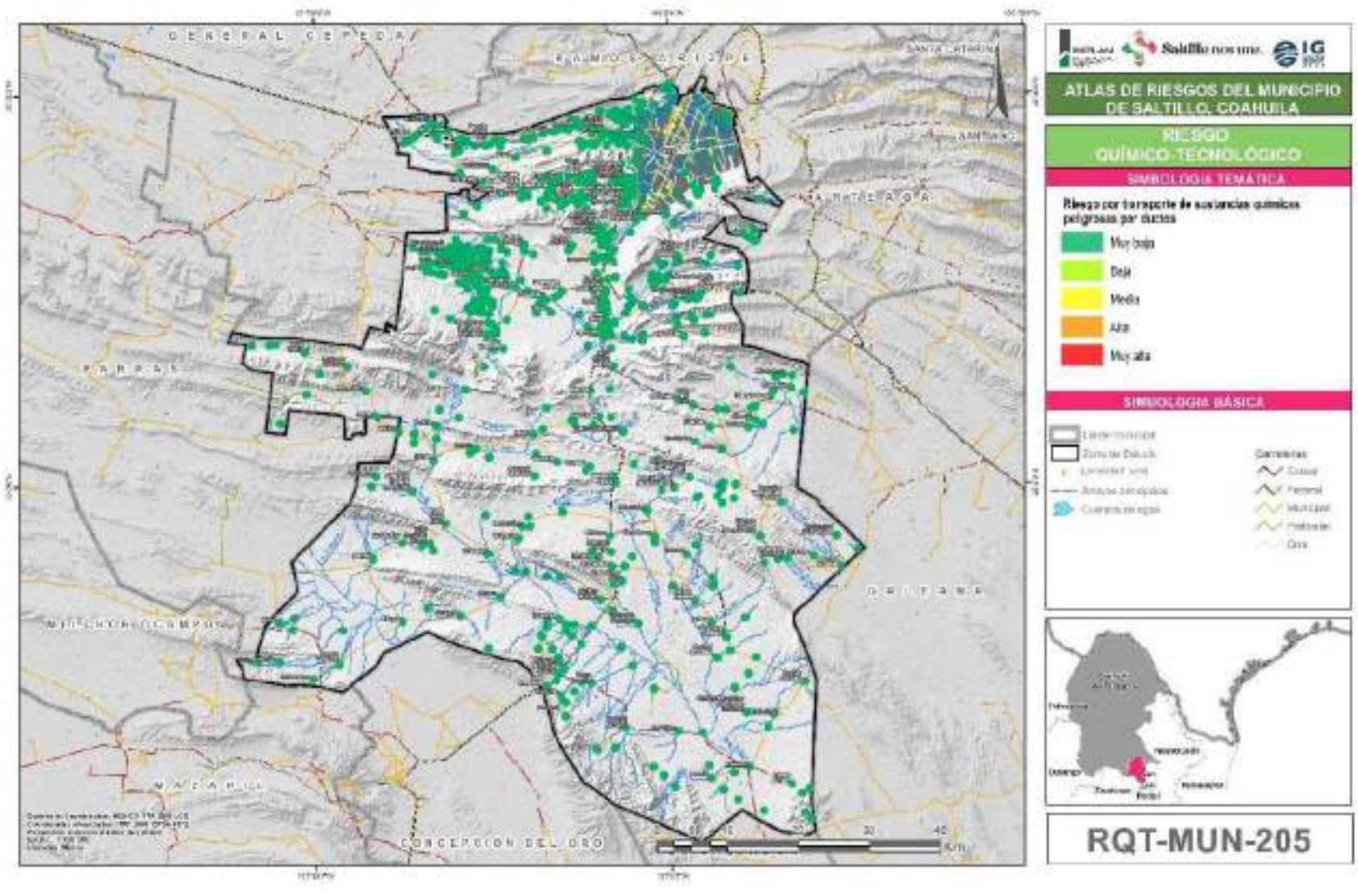


Fuente: elaboración propia.

En contraste, los datos del Mapa 217 que reflejan el riesgo por transporte de sustancias químicas peligrosas a través de ductos a nivel municipal, revelan que el riesgo muy bajo afecta a 96 localidades, donde residen 13 mil 756 habitantes en 6 mil 428 viviendas. Por otro lado, el riesgo medio se concentra únicamente en tres localidades, que albergan 156 viviendas y una población total de 310 habitantes.

Este panorama evidencia que la mayor parte del territorio municipal está expuesta a un riesgo muy bajo, lo cual es alentador en términos de seguridad para la mayoría de las localidades. Sin embargo, las pocas localidades en la categoría de riesgo medio, aunque menos pobladas, requieren una atención particular. Es crucial establecer protocolos de prevención y respuesta en estas áreas para garantizar la seguridad de sus habitantes, dada su vulnerabilidad frente a posibles incidentes relacionados con el transporte de sustancias peligrosas por ductos.

Mapa 217. Riesgo por transporte de sustancias químicas peligrosas por ductos a nivel municipal

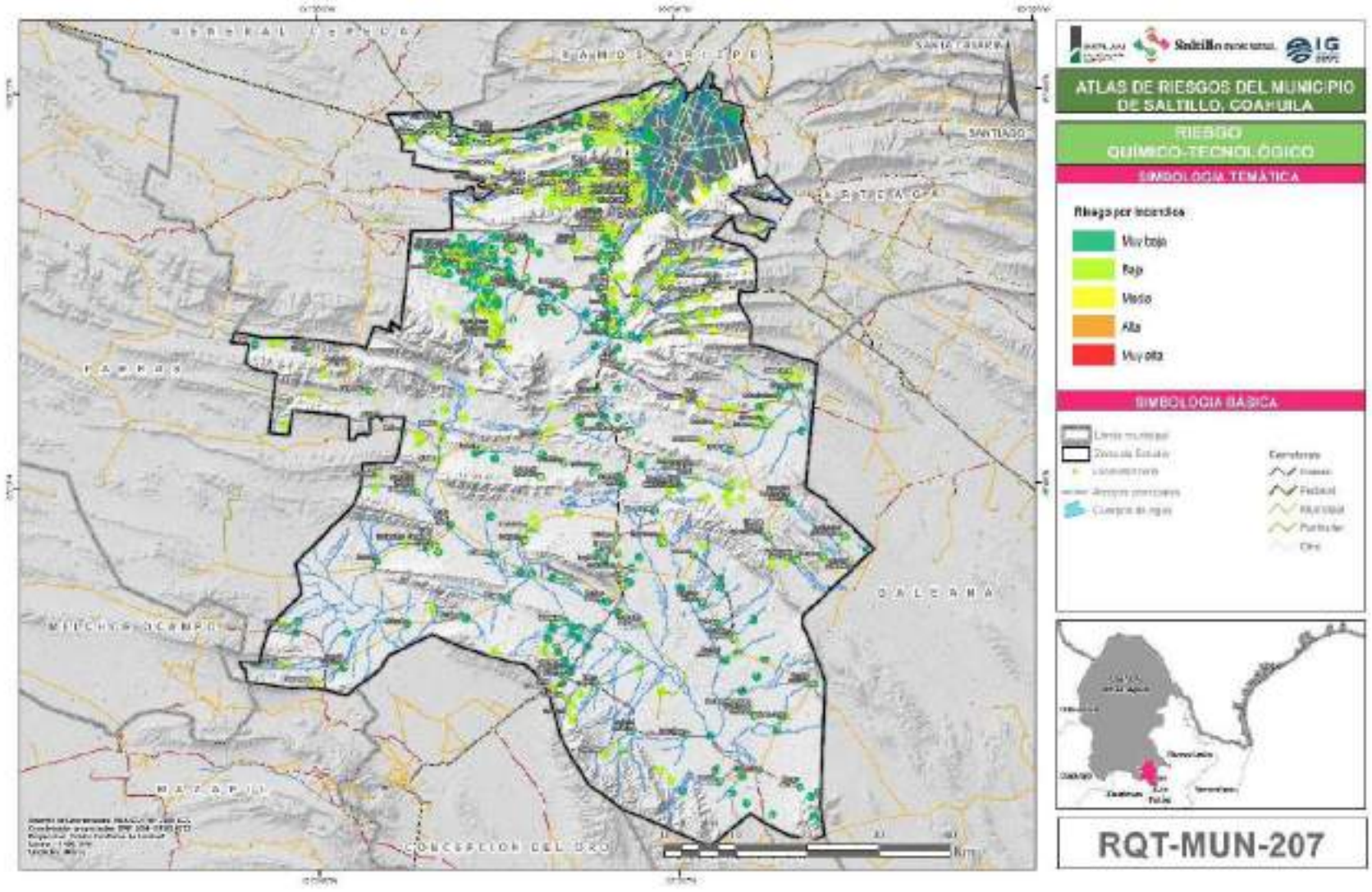


Fuente: elaboración propia.

Riesgo por incendios forestales

El riesgo por incendios forestales a nivel municipal se muestra en el Mapa 218. A nivel municipal predomina un riesgo muy bajo con 7 mil 443 localidades, lo que representa 17 mil 715 habitantes y 7 mil 443 viviendas. Mientras que el nivel de riesgo bajo se compone de 23 localidades, 27 viviendas y 65 habitantes. El riesgo moderado afecta a 13 localidades con 55 habitantes y 25 viviendas. Por último el riesgo alto afecta dos localidades Rito Cuevas Rodriguez, además de Los temporales. Ambas se localizan al sur y poniente de la zona urbana; este nivel de riesgo afecta a 34 personas, así como a 12 viviendas.

Mapa 218. Riesgo por incendios en el municipio de Saltillo



Fuente: elaboración propia.

Respecto a los distintos niveles de riesgo en la zona urbana del municipio, su distribución es la siguiente:

Muy bajo: abarca casi toda la zona urbana y afecta un total de 12 mil 56 manzanas, con 21 mil 57 habitantes y 250 mil 640 viviendas.

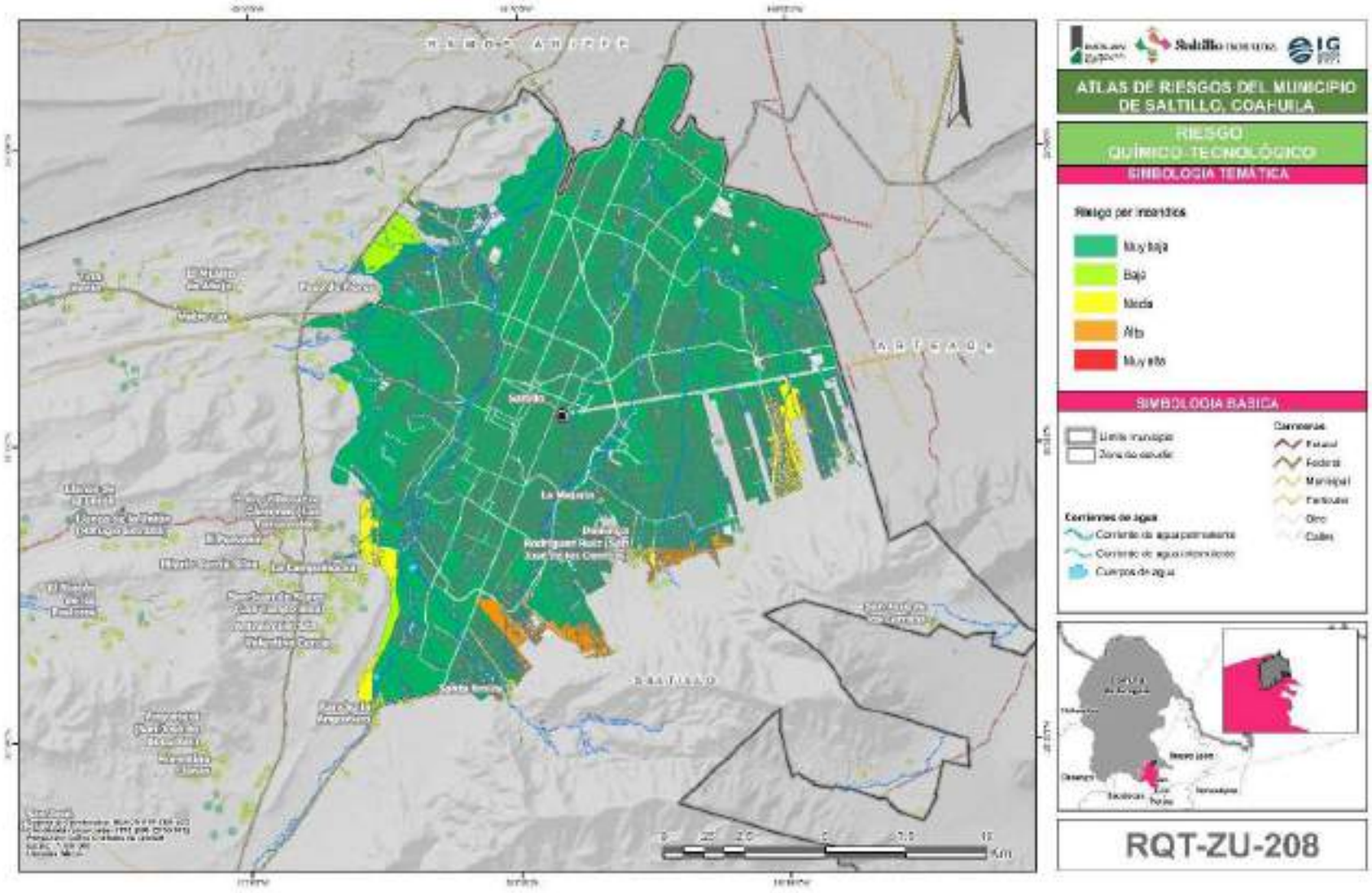
Bajo: este nivel de riesgo se distribuye por toda la zona urbana y afecta 23 manzanas con 812 habitantes y 218 viviendas.

Moderado: el nivel de riesgo afecta 378 manzanas con 31 mil 766 habitantes y 9 mil 858 viviendas. Se distribuye principalmente en áreas periféricas del sureste y oriente de la zona urbana.

Medio alto: abarca 188 manzanas con 3 mil 148 viviendas y 9 mil 811 habitantes.

Alto: este nivel de riesgo afecta 34 manzanas distribuidas en la parte centro - sur de la zona urbana, afectando a 793 habitantes y 290 viviendas.

Mapa 219. Riesgo por incendios en la zona urbana de Saltillo



Fuente: elaboración propia.

Cabe resaltar, que los fenómenos sanitario ecológicos y socio - organizativos, también considerados dentro de los fenómenos antropogénicos, como se describió en el apartado correspondiente de la Fase II de este documento, se abordaron únicamente a nivel de identificar susceptibilidad, puesto que la información disponible, alcances, así como presupuesto utilizado para este Atlas no facilitaron realizar los análisis, además de estudios específicos requeridos para llegar a la determinación de peligro y posteriormente a la modelación del riesgo considerando los requerimientos que establece la Guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos.

Sin embargo, contar con la susceptibilidad y vulnerabilidad ante estos fenómenos presentados en la Fase II y Fase III respectivamente, representa un avance significativo para implementar acciones que reduzcan tanto la susceptibilidad como la vulnerabilidad de la población ante estos fenómenos.



Fase V

Propuesta de estudios, obras y acciones

9 Fase V. Propuestas de estudios, obras y acciones

9.1 Propuestas de estudios, obras y acciones

Este apartado, está dedicado a proporcionar ideas y alternativas que lleven a formular una estrategia en materia de gestión integral de riesgos en el municipio de Saltillo. Con ello se busca inducir el enfoque preventivo en las actividades del Sistema Municipal de Protección Civil, así como las acciones de del gobierno para el diseño de obras civiles que ayuden a la prevención, el seguimiento, la reconstrucción y la mitigación de peligros, además de riesgos causados por fenómenos de origen natural y antropogénico.

Uno de los objetivos primordiales de la actualización del Atlas de Riesgos del municipio de Saltillo, es que se conforme, al igual que se consolide como una herramienta para la planeación integral de territorio. En este sentido, para que este instrumento sea integrado de manera efectiva en los procedimientos de ordenamiento territorial, además de desarrollo urbano, por lo que es crucial diseñar propuestas que fortalezcan su relevancia y aplicabilidad tanto en la planificación, como en la toma de decisiones. A continuación, se presentan una serie de propuestas orientadas a lograr esta integración:

1. Incorporación legal y normativa:

- **Actualización de reglamentos urbanos:** modificar los reglamentos municipales de desarrollo urbano y ordenamiento territorial para incluir el Atlas de Riesgos como un instrumento obligatorio de consulta, así como referencia en la evaluación de nuevos proyectos de infraestructura, al igual que desarrollo urbano.
- **Requisitos de licencias y permisos:** establecer que la emisión de licencias de construcción, además de permisos de uso de suelo requiera la evaluación previa de riesgos mediante el Atlas de Riesgos, asegurando que los desarrollos se alineen con las zonas de menor riesgo y vulnerabilidad identificadas.

2. Integración en planes de desarrollo urbano:

- **Incorporación en el Plan Municipal de Desarrollo Urbano:** vincular el Atlas de Riesgos con los objetivos y estrategias del Plan Municipal de Desarrollo Urbano, para asegurar que las zonas de expansión, así como de crecimiento urbano consideren los riesgos de origen natural, además de antropogénicos identificados, evitando el desarrollo en estas zonas. En este sentido, es de prioritario actualizar el Programa Municipal de Desarrollo Urbano, así como el Programa Parcial de Desarrollo Urbano de “Ciudad Derramadero” considerando los resultados del Atlas de Riesgos.
- **Zonificación Basada en riesgos:** en consideración de la recomendación anterior, se deberán redefinir las zonas de uso de suelo en función de los riesgos señalados en el Atlas, promoviendo la zonificación de áreas seguras para el desarrollo y restringiendo el uso intensivo de suelo en áreas de alto riesgo.

3. Educación y capacitación:

- **Capacitación a funcionarios y desarrolladores:** implementar programas de capacitación para funcionarios municipales, desarrolladores y urbanistas sobre la interpretación, al igual que la aplicación del Atlas de Riesgos en el diseño de proyectos, con un enfoque en la mitigación de riesgos.
- **Campañas de sensibilización pública:** realizar campañas de comunicación, así como sensibilización dirigidas a la ciudadanía sobre la importancia del Atlas de Riesgos en la planificación urbana, destacando su papel en la protección de vidas y bienes.

4. Implementación de tecnologías de información geográfica (SIG):

- **Plataforma SIG integrada:** difundir el uso de la plataforma en línea con herramientas de Información Geográfica (SIG) que permita a desarrolladores, planificadores, además del público acceder al Atlas de Riesgos de manera interactiva, facilitando la consulta y evaluación de riesgos en tiempo real para cualquier área del municipio.
- **Actualización continua de datos:** establecer un protocolo para la actualización periódica del Atlas de Riesgos con datos recientes sobre fenómenos de origen natural, al igual que antropogénico, asegurando que la información utilizada en la planificación urbana sea siempre precisa y relevante.

5. Fomento de la participación ciudadana:

- **Mesas de trabajo comunitarias:** crear mesas de trabajo con la participación de la comunidad, autoridades municipales, además de expertos en riesgos, para revisar y retroalimentar el Atlas de Riesgos, integrando las perspectivas locales en la gestión del territorio.
- **Incorporación de la voz ciudadana en la toma de decisiones:** promover la participación activa de la ciudadanía en las decisiones de ordenamiento territorial mediante consultas públicas, así como foros abiertos, utilizando el Atlas de Riesgos como herramienta de diálogo y planeación.

6. Vinculación con estrategias de resiliencia y sostenibilidad:

- **Desarrollo de infraestructura resiliente:** incentivar la construcción de infraestructura urbana que no solo cumpla con los estándares de seguridad, sino que también sea capaz de resistir y recuperarse de los desastres identificados en el Atlas.
- **Planes de adaptación al cambio climático:** integrar el Atlas de Riesgos con las estrategias de adaptación al cambio climático del municipio, para identificar áreas vulnerables, al igual que priorizar acciones de mitigación en zonas propensas a eventos extremos como inundaciones y sequías.

7. Monitoreo y evaluación de impacto:

- **Sistema de monitoreo y evaluación:** implementar un sistema de monitoreo y evaluación continuo que permita medir el impacto de la integración del Atlas de Riesgos en los proyectos de desarrollo urbano, ajustando las políticas, además de estrategias conforme a los resultados obtenidos.
- **Indicadores de riesgo en evaluaciones de proyectos:** incluir indicadores de riesgo derivados del Atlas en las evaluaciones tanto de impacto ambiental, como el urbano de los proyectos, asegurando una alineación con los principios de seguridad y sostenibilidad.

La integración del Atlas de Riesgos en los procedimientos de ordenamiento territorial, además de desarrollo urbano en Saltillo es una oportunidad clave para construir una ciudad más segura, resiliente, así como preparada para enfrentar los desafíos ambientales y socio - organizativos. Implementar estas propuestas fortalecerá la capacidad del municipio para gestionar su crecimiento de manera sostenible, protegiendo a sus habitantes, garantizando un desarrollo urbano ordenado y basado en la mitigación de riesgos.

9.1.1 Obras y estudios de mitigación

En la ciudad de Saltillo, Coahuila, la gestión de riesgos es una prioridad creciente a medida que la urbanización, el cambio climático y otros factores elevan la exposición de la población a diversos peligros. La necesidad de obras, así como estudios de mitigación se vuelve crucial para proteger a los habitantes, sus bienes, además de la infraestructura crítica del municipio frente a eventos adversos como inundaciones, deslizamientos de tierra, incendios y fenómenos antropogénicos, como son los riesgos químico tecnológicos que tienen una importante presencia en el territorio municipal.

En este contexto, los esfuerzos para identificar, evaluar y mitigar los riesgos no solo fortalecen la resiliencia de la ciudad, sino que también aseguran un desarrollo urbano sostenible, al igual que seguro.

La implementación de obras de mitigación, como la construcción de canales pluviales, la mejora de la red de drenaje y la creación de barreras contra inundaciones, se destaca como una de las primeras líneas de defensa contra los fenómenos naturales que afectan periódicamente a Saltillo. Estas infraestructuras no solo buscan reducir la vulnerabilidad inmediata de las áreas más expuestas, sino que también promueven una mejor planificación del territorio, evitando que los desarrollos urbanos se instalen en zonas de riesgo.

Sin embargo, la efectividad de estas medidas físicas debe complementarse con estudios detallados y actualizados sobre los riesgos que enfrenta la ciudad. Las investigaciones de mitigación, como los mapas de riesgo, evaluaciones de impacto ambiental, además del análisis de vulnerabilidad, son herramientas fundamentales para entender las dinámicas de los peligros en Saltillo. Estos análisis permiten identificar las zonas más propensas a sufrir daños y plantean estrategias específicas para reducir dichos riesgos, adaptando las medidas a las características particulares de cada área.

Además de las obras físicas y los estudios técnicos, la gestión de riesgos en Saltillo requiere de un enfoque integral que incluya la participación activa de la comunidad, la educación en prevención, así como la preparación para la respuesta ante desastres. La colaboración entre autoridades, sector privado, además de la sociedad civil es esencial para implementar programas de mitigación efectivos, ya que la gestión de riesgos no es solo una responsabilidad del gobierno, sino un compromiso compartido que involucra a todos los sectores de la sociedad.

En este esfuerzo conjunto, los estudios, al igual que las obras de mitigación deben ser vistos no solo como una respuesta reactiva ante los desastres, sino como una inversión en el futuro de la ciudad. A través de la integración de la mitigación en la planificación urbana y la gestión del territorio, Saltillo puede avanzar hacia un modelo de desarrollo que no solo priorice el crecimiento económico, sino también la seguridad, así como el bienestar de su población, preparándose mejor para enfrentar los desafíos del mañana.

9.1.2 Proyectos, obras y estrategias para mitigar, riesgos por fenómenos geológicos

Propuesta de obras y acciones ante procesos de remoción en masa

- Estudios geotécnicos

Estudios necesarios para poder establecer los niveles de amenaza y riesgo en zonas susceptibles a deslizamientos para determinar las medidas de prevención, además de control oportunas según sea el caso. Por su carácter especializado, dichos estudios son costosos, también su aplicación se circunscribe dentro de áreas relativamente pequeñas en las que se justifique social, así como económicamente su realización.

Se recomienda priorizar este tipo de estudios en las zonas determinadas con riesgo muy alto, y alto determinadas en los modelos de estimación de riesgo para este fenómeno, priorizando aquellas con mayor número de población, asimismo viviendas que pueden ser potencialmente afectadas.

- Métodos para disminuir o eliminar el riesgo

Una vez definidos los niveles tanto de amenaza, como de riesgo, los mecanismos de falla y el análisis de los factores de equilibrio, se procede al diseño del sistema de prevención, así como control o estabilización, dependiendo de una serie de factores técnicos, sociales, económicos y políticos cuya metodología general se describe a continuación:

- Prevención. La prevención debe ser un programa institucional en todos los niveles, mediante una legislación y un sistema de manejo de amenazas que permita la reducción de riesgos por deslizamiento en áreas determinadas por el Atlas de Riesgos.

Las medidas de prevención de la amenaza y riesgo consisten en:

a) Disuasión con medidas coercitivas.

b) Planeación del uso del suelo (restricciones a la urbanización en áreas de peligro y/o riesgo identificadas en el Atlas).
c) Aviso y alerta temprana.

- Supresión de la amenaza. Consistente en evitar que los elementos en riesgo sean expuestos a la amenaza de deslizamiento.

a) Variantes o relocalización de proyectos.
b) Remoción total de zonas susceptibles a deslizamientos.
c) Remoción parcial de materiales inestables.
d) Modificación de altura de cortes y taludes.
e) Puentes, túneles o viaductos sobre zonas inestables.

- Control. Métodos orientados al control de una amenaza activa antes de que se produzca un evento que dañe a personas o propiedades.

a) Bermas.
b) Trincheras.
c) Estructuras de retención.

- Muros rígidos.
- Muros flexibles.
- Tierra reforzada.
- Estructuras ancladas.
- Estructuras enterradas.

d) Cubiertas de protección.

- Estabilización. Los sistemas de estabilización pueden clasificarse en cinco categorías principales:

1. Conformación del talud o ladera.
a) Remoción de materiales del borde del talud.
b) Abatimiento de la pendiente.
c) Terraceo de la superficie.
2. Recubrimiento de superficie.
a) Recubrimiento de la superficie del talud.
b) Conformación de la superficie.
c) Sellado de grietas superficiales.
d) Sellado de juntas y discontinuidades.
e) Cobertura vegetal con árboles, arbustos y pastos.
3. Control de agua superficial y subterránea.
a) Canales superficiales para control de escurrimientos.
b) Subdrenes de zanja.
c) Subdrenes horizontales de penetración.
d) Galerías o túneles de subdrenaje.
e) Pozos profundos de subdrenaje.
4. Estructuras de contención. Obras generalmente masivas, en las cuales el peso de la estructura es un factor importante y es común colocar estructuras ancladas en las cuales la fuerza se trasmite al deslizamiento por medio de un cable o varilla de acero.
a) Relleno o berma de roca o suelo en la base del deslizamiento.
b) Muros de contención convencionales, de tierra armada, etcétera.
c) Pilotes.
d) Anclajes o pernos.
e) Pantallas ancladas.
5. Mejoramiento del suelo. Métodos que aumentan la resistencia del suelo. Incluyen procesos físicos y químicos que aumentan la cohesión y/o la fricción de la mezcla suelo - producto estabilizante o del suelo modificado.
a) Inyecciones o uso de químicos.
b) Magmaficación (experimental).
c) Elecro – ósmosis.
d) Explosivos.

Propuesta de obras y acciones ante sismos

Aunque Saltillo no se encuentra en una de las zonas sísmicas más activas de México, es fundamental implementar una serie de medidas tanto preventivas, como de mitigación, ya que las áreas con baja sismicidad también pueden verse afectadas por movimientos sísmicos de magnitud moderada o por eventos sísmicos inducidos. A continuación, se proponen algunas medidas específicas para mitigar el riesgo sísmico:

1. Actualización y fortalecimiento de la normativa de construcción

- **Revisión de reglamentos de construcción:** adaptar los reglamentos locales para que incluyan normas específicas de resistencia sísmica, incluso en zonas con baja actividad sísmica, como parte de un enfoque preventivo. Esto deberá incluir la aplicación de los estándares del *Reglamento de Construcciones para la Ciudad de México* y la *Norma Mexicana de Diseño Sísmico*.
- **Evaluación de edificaciones existentes:** realizar evaluaciones de las infraestructuras clave, como hospitales, escuelas, edificios gubernamentales y grandes complejos habitacionales, para asegurarse de que cumplen con los estándares que se establezcan para la construcción antisísmica.
- **Refuerzo estructural:** implementar programas de refuerzo estructural (retrofitting) para edificaciones vulnerables, principalmente en construcciones de más de 30 años o en aquellas que no cumplan con los estándares modernos de seguridad.

2. Programas de educación y concientización

- **Campañas de concientización pública:** implementar programas educativos para informar a la población sobre qué hacer antes, durante y después de un sismo, incluso en zonas con baja frecuencia sísmica.
- **Simulacros regulares:** organizar simulacros periódicos en escuelas, oficinas gubernamentales, empresas, además de comunidades residenciales para familiarizar a los ciudadanos con los protocolos de evacuación y seguridad en caso de sismos.
- **Divulgación sobre medidas de autoprotección:** instruir a la población sobre cómo preparar su hogar o lugar de trabajo con elementos como kits de emergencia, la identificación de áreas seguras dentro de sus casas, y cómo asegurarse de que las instalaciones de gas, agua, así como electricidad estén correctamente diseñadas para minimizar riesgos.

3. Mapeo detallado de zonas de riesgo sísmico

- **Estudios geológicos locales:** aunque Saltillo se encuentra en una zona de baja sismicidad, tal como se identificó a partir de los análisis realizados en este Atlas, es importante realizar estudios geológicos locales para identificar suelos susceptibles a amplificaciones sísmicas o licuefacción en caso de sismos, como ocurre en áreas con suelos blandos.
- **Mapa de zonificación sísmica:** crear y mantener actualizados mapas de zonificación de riesgo sísmico que clasifiquen las áreas del municipio de acuerdo con el grado de exposición a sismos, basados en estudios de suelo, además de proyecciones sísmicas.

4. Infraestructura crítica y planificación urbana

- **Reubicación de infraestructuras críticas:** en las zonas que se determinen como más vulnerables a los movimientos sísmicos, considerar la reubicación de infraestructuras críticas, como hospitales, plantas industriales o centros de telecomunicaciones.
- **Desarrollo urbano resiliente:** promover el diseño de nuevas áreas urbanas con una planificación que considere la seguridad sísmica, incluyendo áreas abiertas que puedan funcionar como refugios temporales y rutas de evacuación claras y seguras.

5. Capacitación y fortalecimiento de los servicios de emergencia

- **Entrenamiento especializado:** capacitar a los cuerpos de protección civil, bomberos y personal de salud en la respuesta rápida y eficaz ante sismos, incluso si estos son menos frecuentes en la región.
- **Fortalecimiento de la coordinación interinstitucional:** fomentar la coordinación entre las autoridades municipales, estatales y federales para la creación de un plan de contingencia sísmica adaptado a las necesidades locales.

6. Tecnología y sistemas de alerta temprana

- **Sistema de monitoreo sísmico:** instalar estaciones de monitoreo sísmico en Saltillo y sus alrededores, conectadas a la red nacional de monitoreo para detectar actividad sísmica en regiones cercanas.
- **Sistemas de alerta temprana:** aunque la propagación de alertas tempranas puede ser limitada en zonas de baja actividad sísmica, es recomendable integrarlas como parte de un sistema más amplio de monitoreo y respuesta ante desastres.

9.1.3 Proyectos, obras y estrategias para mitigar, el riesgo por fenómenos hidrometeorológicos

Propuestas de obras y acciones ante inundaciones

Inundaciones por avenidas extraordinarias en cauces

Las inundaciones originadas por el desbordamiento de corrientes fluviales, constituyen un fenómeno natural que es intrínseco al ciclo hidrológico, así como a la morfometría de las redes hidrográficas; donde la topografía, geología, geomorfología, climatología, además del uso de suelo, determinan la forma y evolución que adopta el sistema hidrológico en una región determinada.

Es así como, los arroyos, cañadas, así como ríos siguen un trazo normado por la pendiente del terreno y sus secciones hidráulicas abarcan tanto el lecho de los cauces, como también las áreas marginales que constituyen zonas de inundación natural.

La interrelación entre el relieve y naturaleza del lecho, así como las características hidrológicas e hidráulicas de las corrientes, permiten que tanto los cauces aluviales, como los coluviales ajusten libremente sus dimensiones, forma, patrón, así como gradiente, en respuesta a cambios que se producen dentro de la cuenca fluvial, por lo que es importante considerar el carácter dinámico de las márgenes de los lechos aluviales y coluviales por su alta susceptibilidad a la erosión.

De lo anterior se tiene que, las diferentes propuestas formuladas para el control de inundaciones deben estar sujetas a un análisis riguroso; ya que, dependiendo del interés de cada proponente, será el énfasis sobre la solución planteada, por ejemplo: una compañía constructora propondrá una obra civil; o una empresa de dragado, sugerirá el dragado de sedimento para aumentar la capacidad de conducción del cauce, etcétera.

Atendiendo al párrafo anterior, se recomienda seguir la metodología establecida por la Comisión Nacional del Agua en el Manual para el Control de Inundaciones editado en 2011, del cual se hace un resumen a continuación.

El proceso de selección de la mejor alternativa debe partir de los siguientes datos:

1. Las condiciones topográficas de las zonas en riesgo incluyendo un área suficientemente grande alrededor de ella para la implementación de alguna de las posibles alternativas, incorporando la llanura de inundación que no es otra cosa que la extensión del cauce para el manejo de avenidas poco frecuentes.
2. Las condiciones de desarrollo de la zona, mapas urbanos, estadísticas de población, caminos y carreteras, así como infraestructura crítica como escuelas, además de hospitales, entre otros.
3. La geometría de suficientes secciones transversales del cauce del río hasta tirantes que alcancen lo que se considera la "capacidad de conducción sin desbordamiento".
4. La definición del periodo de retorno para el que se diseñarán las alternativas de medidas de control de inundaciones a plantear.
5. El caudal que en la sección de interés tiene dicho periodo de retorno de diseño, definido con base en el riesgo a la vida humana y el valor económico de los bienes que pueden ser dañados, entre otros.
6. Las áreas que serían inundadas para dicho caudal de diseño, así como los tirantes de agua sobre dichas áreas y, en caso necesario, las velocidades de flujo que en dichas zonas inundadas se presentarían.

En general, las diversas alternativas para el control de inundaciones se pueden clasificar en dos grandes categorías:

I. Medidas estructurales

II. Medidas no estructurales

Las medidas estructurales se asocian con obras (en el ámbito de la ingeniería civil) que permiten que el caudal de diseño pueda ser conducido a través de la zona de interés sin producir inundaciones y pueden plantearse de muy distintas maneras.

Las no estructurales se asocian con medidas que no intentan darle la capacidad necesaria al cauce a través de obras civiles, sino de minimizar los daños a la población (en sus vidas, pertenecías o actividades) a través de otros medios.

Es posible que alguna de estas medidas no estructurales si impliquen una cierta cantidad de obra civil, pero como accesorio, no como mecanismo de control en sí. Por ejemplo, el establecimiento de un sistema de alerta temprana puede requerir la edificación de casetas para la construcción de pluviógrafos y limnígrafos telemétricos en la cuenca aguas arriba de la zona de interés, pero sigue considerándose una medida no estructural en el sentido de que no intenta modificar las condiciones de flujo sobre el cauce, sino aumentar la información que con respecto a éste tiene en forma oportuna la población.

I. En relación con las medidas estructurales se tienen:

- Construcción de presas de control de avenidas

Considerando el caudal pico de la avenida como factor de peligro, esta es una de las medidas que se orienta a reducir el mismo, ya que la presa tiene el efecto de reducir el caudal pico alargando el tiempo en el que la avenida pasa por su vaso de almacenamiento.

La condición crítica se da cuando la presa se encuentra al 100% de su capacidad en cuyo caso la avenida de entrada a la presa resulta sólo ligeramente amortiguada por su tránsito a través del vaso.

Sus desventajas, así como limitaciones consisten en una inversión considerable; una operación diferente al propósito para el que fue construida; y cuando el caudal de proyecto se ve rebasado, además del vertedor de demasías puede tener que operar al máximo, dejando pasar caudales mucho más altos que los que se presentarían normalmente durante una avenida extraordinaria.

Esto último en el supuesto de calcular diferentes periodos de retorno para medidas de control de inundaciones (p. ej. 100 años), mientras que el periodo de retorno del vertedor de demasías ha sido calculado para 10, 000 años.

En estos casos, se presentarán inundaciones en el área de interés, pero éstas no serán peores que las que se hubiesen presentado de no existir la presa.

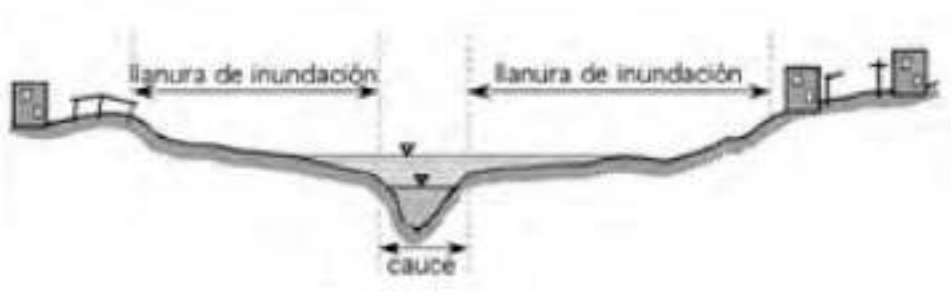
Otra desventaja consiste en el falso sentido de seguridad en la población que promueve la invasión de zonas que rara vez se inundan.

- Construcción de bordos marginales

La opción de construir bordos marginales (a lo largo del río y paralelos a la margen del cauce), es muy común entre las medidas estructurales. En México los bordos usualmente se construyen con materiales térreos locales, por lo que resultan relativamente económicos.

Cuando el caudal de un río aumenta la forma natural de ajustarse es aumentando el tirante (altura), así como su área hidráulica (sección del cauce ocupada por agua). El incremento de dicho tirante produce el desbordamiento natural hacia una planicie o llanura de inundación que forma parte del río (Figura 130) y que tiene una pendiente perpendicular al eje del río relativamente baja. Por ello, incrementos del tirante relativamente pequeños producen la ocupación de áreas muy amplias alrededor del cauce.

Figura 130. Llanura de inundación



. Fuente: Manual para el Control de Inundaciones. CONAGUA, 2011.

Frecuentemente, cuando las llanuras de inundación son invadidas por zonas agrícolas o urbanas, su inundación se considera extraordinaria por no estimarse como una parte integral de los cauces, siendo también uno de los problemas más comunes la construcción de terraplenes para el apoyo de puentes que reducen las dimensiones del cauce original, convirtiéndose en enormes presas longitudinales donde el claro del puente hace las veces de un vertedor de demasías (Figura 131).

Figura 131. Construcción de terraplenes sobre área de inundación

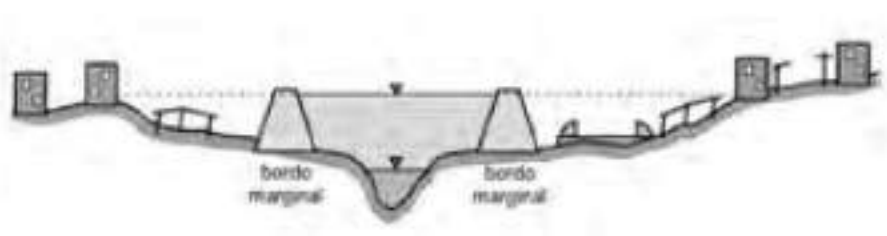


Fuente: Martín Ramírez Reynaga. Segundo Seminario de Potamología "José A. Maza Álvarez". Villahermosa, Tab., 26-28 de agosto, 2009.

Actualmente, en muchos casos se promueve que los caudales poco frecuentes (intermitentes y efímeros) se conduzcan ocupando la mínima área posible en planta, es decir, para construir bordos que permitan que el agua se conduzca con tirantes mayores, pero en un cauce relativamente estrecho (Figura 132).

El propósito final es, por supuesto, ocupar los terrenos aledaños al cauce para beneficio de alguna actividad antrópica o interés inmobiliario; que, mientras exista un desnivel o pendiente suficiente, puede ser hidráulicamente factible.

Figura 132. Cauce con bordos sobreelevados.



Fuente: Manual para el Control de Inundaciones. CONAGUA, 2011.

La principal desventaja de los bordos marginales consiste en su diseño poco robusto, es decir, no se comportan adecuadamente cuando el gasto en el río rebasa al de diseño. Si el tirante rebasa la corona de un bordo, el agua empieza a fluir lateralmente (perpendicular al eje del cauce) en forma similar a como lo haría en un vertedor de cresta ancha, a muy alta velocidad y con alto poder erosivo.

Al principio, la inundación de la zona protegida puede ser moderada, pero conforme se va erosionando el bordo y se le abren tajos, la inundación a la zona protegida tenderá a ser mucho más violenta que en el caso de haber permitido que el río se desbordará hacia su llanura de inundación (Figura 133).

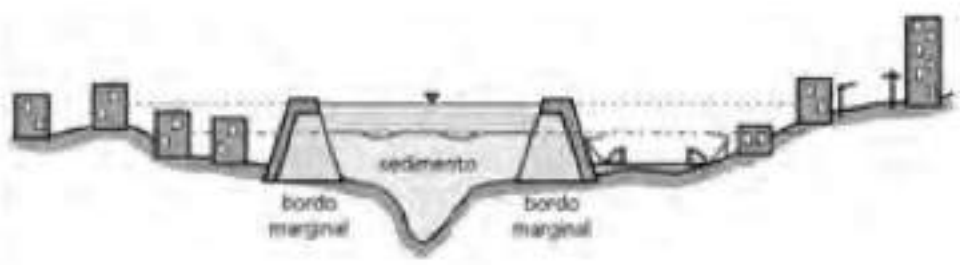
Figura 133. Falla por desbordamiento en bordo Chihuahua



Fuente: IMTA, 2000; El Sol de Chihuahua.

Otra consideración es que al construir los bordos, se establece un nivel por encima de la zona a proteger y bajo estas condiciones una inundación por rebasamiento del bordo es muy peligrosa. Además, conforme el río se va sedimentando, puede ocurrir que el fondo mismo del cauce quede por arriba del nivel de las zonas habitacionales de la población situada en sus márgenes (Figura 134), lo cual produciría un desastre de grandes dimensiones.

Figura 134. Cauce con sedimentación en bordos sobreelevados.



Fuente: Manual para el Control de Inundaciones. CONAGUA, 2011.

Otro problema que puede surgir es la descarga directa de aguas pluviales y residuales a los cauces, pasando las tuberías a través de los bordos. Bajo condiciones normales el flujo de dichas descargas se dará en la dirección correcta, de la zona habitada al río.

Bajo condiciones extraordinarias, sin la presencia de bordos, la inundación ocurre independientemente de las tuberías de drenaje. Pero bajo condiciones extraordinarias con presencia de bordos, el nivel del agua dentro del río puede alcanzar sin duda niveles por arriba del nivel del drenaje, invirtiéndose como consecuencia el sentido de la dirección de flujo, es decir del río a la zona habitada, tal como ha sucedido en fechas recientes en la zona urbana de Chalco, Edo. de México.

- Dragado y limpieza de cauces

  El cauce de un río no es una superficie estática que permanezca invariable a lo largo del tiempo. El cauce, bajo condiciones naturales se va erosionando en algunos tramos y el sedimento se va depositando en otros. Esta variación se presenta no solamente en el fondo sino también en las márgenes del río.

  Cuando se presenta una gran avenida, el sedimento arrastrado y suspendido por la corriente se deposita en las partes más bajas del cauce y con ello su capacidad de flujo se reduce. Bajo estas condiciones, existe una tendencia natural en la administración pública de tratar de regresar al río a sus condiciones previas.

  El fundamento racional de un esfuerzo para dragar un río hasta su condición previa a un gran evento, depende de si esa condición previa era o no era una “condición de equilibrio” relativamente estable en lapsos de tiempo ajustados a los periodos de retorno de diseño para las medidas de control de inundaciones.

  Por ejemplo, si el evento ocurrido se estima en uno de cada mil años y la condición previa se estima como se establece en el orden de 100 años, entonces un esfuerzo de dragado puede tener sentido en términos de la relación costo – beneficio. Pero si el evento que produjo la sedimentación es uno con periodo de retorno de 10 años, entonces el dragar para permitir el paso de la avenida de Tr = 100 años sin inundación parecería un esfuerzo con baja relación costo - beneficio, pues estadísticamente, tendría que repetirse el dragado cada 10 años cuando menos, si no se realiza en conjunto con múltiples medidas que eviten que nuevo sedimento sea transportado al sitio con una frecuencia muy alta. Éste es quizá el principal problema de las medidas de dragado: el que son soluciones temporales que tendrán que repetirse periódicamente.

  Finalmente, cabe hacer algunos comentarios sobre la vegetación que tiende a crecer dentro de los cauces que tienen una porción importante del mismo cuando está seco durante casi todo el año o durante años consecutivos. El principal problema se da porque esta vegetación aumenta el coeficiente de fricción del cauce y con ello obliga a conducir el gasto con un tirante mayor, como en el caso de los arroyos de Saltillo.

  En casos extremos se forman islotes que incluso contienen grandes árboles, lo que estabiliza el área alrededor de ellos y con ello se convierten en obstáculos al libre paso del agua en el total de la sección hidráulica potencialmente disponible.

Una avenida extraordinaria puede arrancar, además de transportar esta maleza, arbustos y árboles aumentando la posibilidad de que terminen atorados en algún estrechamiento del río, típicamente bajo un puente o alcantarilla (además de los abundantes residuos que dispone la población en sus márgenes).

Al final, esto produce un almacenamiento aguas arriba que aumenta el tirante en la sección del puente o alcantarilla y, bajo la posibilidad de falla, hace que la onda de inundación producida sea mayor a la que hubiese ocurrido de no haber problemas de maleza, así como la vegetación en el cauce, esto por supuesto propagando el problema aguas abajo.

Las decisiones de limpiar de maleza el cauce de un río suelen ser controversiales con la población local, por el hecho de que estas medidas pueden considerarse contrarias a la preservación de ecosistemas y medio ambiente (que, reflexionando, ya han sido impactados por la misma población al disponer inadecuadamente sus residuos sólidos urbanos, descargas de aguas residuales e invasión de los cauces, entre otras costumbres).

- Rectificación de cauces

Aunque el flujo natural del agua se encuentra normado principalmente por la gravedad, además de la dirección de máxima pendiente, se tiene que: la geología, velocidad, el transporte, sedimentación y erosión natural de las corrientes, entre otros factores, generan una compleja oscilación en la geometría de los cauces hasta lograr un cierto grado de equilibrio.

En condiciones normales, todos los ríos conservan dicho grado de equilibrio, lo que significa que cuando no se modifican uno o varios de los parámetros que intervienen en esta condición de forma artificial, el agua y los sedimentos continuarán escurriendo en la forma como lo vienen haciendo.

En zonas planas o semiplanas, las corrientes generan un drenaje de tipo meándrico, donde el cauce divaga formando curvas que oscilan de un lado a otro dentro de una planicie de inundación. Bajo estas condiciones el cauce es inestable, por lo que algunos terrenos se pierden, otros se ganan, lo que afecta a las construcciones situadas en sus márgenes y sobre todo tienden a presentarse inundaciones durante eventos extremos.

Para reducir los desbordamientos, entre otras técnicas, se recurre al aumento de la capacidad hidráulica del cauce principal rectificando un tramo del río. Este aumento de capacidad se obtiene únicamente en el tramo rectificado y en el tramo inmediato aguas arriba del él.

La capacidad hidráulica es mayor que la del río original, porque aumenta su pendiente de manera artificial. Esta solución es costosa ya que los encauzamientos tienen que estar revestidos, tanto en el fondo como en las márgenes del río, de tal forma que no puedan ser erosionados.

Esta medida puede presentar problemas en ambos extremos, donde se empalma con el cauce original, por el cambio de pendiente; de una menor a una mayor al inicio, y viceversa al final. Dado que en el tramo previo a la obra se tiene un fondo, además de márgenes constituidos por material natural, los sedimentos arrastrados por el río tenderán, de todas maneras, a depositarse sobre el canal artificial para ciertas condiciones de flujo. También, como cualquier otra medida que permite conducir un mayor caudal sin desbordarse, las zonas situadas aguas abajo del río pueden verse sujetas a desbordamientos que antes no tenían.

- Corrección de reducciones en el cauce

Las reducciones del cauce pueden ocurrir por diferentes razones, entre otras:

- Puentes de carreteras, caminos, calles o cruces ferroviarios con claros menores al ancho natural del cauce (incluyendo su llanura de inundación).
- Vertido de desechos de construcción o excavación en márgenes y fondo del cauce.
- Acumulación de residuos sólidos urbanos, incluyendo llantas y chatarra automotriz.
- Restos de obras de protección marginales u obras de estabilización del cauce que con la erosión de la corriente quedaron total o parcialmente dentro del cauce.
- Presencia de materiales rocosos que afloran en el cauce del río.
- Derrumbes de laderas marginales de los cauces.
- Construcción de carreteras y vialidades a lo largo de las márgenes del río para evitar cortes, así como movimientos de tierra al colocarlos sobre la ladera, disposición inadecuada de desechos de escombro y material de recorte del terreno aun cuando la obra no se encuentre dentro del cauce.

Los efectos de estas reducciones pueden ser:

- Remanso hacia aguas arriba que pueden provocar inundaciones que antes no existían.
- Aumento del tirante aguas arriba, además de reducción del mismo aguas abajo del estrechamiento creando una zona de altas velocidades de flujo y alta capacidad de erosión, pudiendo provocar fallas abruptas, mismas que se comportarán como fallas de pequeñas presas.
- En el caso de puentes, aumento de la probabilidad de que el agua fluya sobre los terraplenes de acceso no diseñados para ello con la evidente posibilidad de falla.
- Mayor socavación de las pilas del puente que la que se daría sin estrechamiento.
- Aumento en la probabilidad de que la corriente alcance la cubierta del puente, aumentando súbitamente la fuerza total sobre la estructura, con la posibilidad de volcamiento parcial o total súbito del mismo.

Posiblemente la eliminación de estrechamientos sea la mejor medida para el control de inundaciones. Sin importar que el caudal de diseño del proyecto de inundaciones sea rebasado, el comportamiento del río será mejor sin las reducciones que con ellas.

Eliminar los estrechamientos no produce problemas mayores ni aguas arriba ni aguas abajo, aunque la población puede no estar plenamente consciente de ello. Desde el punto de vista de combinación con alguna otra medida, podría ser incongruente el no incluir siempre la de eliminación de estrechamientos. Por ejemplo, si se construyen bordos marginales dejando los estrechamientos, el nivel de la corona tendría que ser sobreelevado aguas arriba y la inclinación del talud estable tendría que ser reducido inmediatamente aguas abajo, medidas de alto costo en ambos casos.

II. Medidas no estructurales

- Reubicación de zonas habitadas

La información más importante para la implementación de esta medida es la correcta definición de las zonas que serían inundadas para el caudal de diseño, posiblemente en combinación con cualquier otra medida simultánea que modificará la zona inundada.

También se tienen que definir los tirantes, así como posibles velocidades en cada subzona, para definir las que requieren reubicación por daños masivos estructurales, las que requieren reubicación por daños menores a enseres domésticos, además de muebles; y las que la requieren por el aislamiento de los habitantes por inundación con tirantes menores.

Es evidente que la reubicación de un número significativo de habitantes es un camino muy complejo, ya que enfrenta problemas de carácter legal, normativo, presupuestal, disponibilidad de reservas territoriales, aspectos sociales, intereses políticos y equidad, entre otros.

Para dar viabilidad a esta medida, es esencial contar con un análisis de riesgos de los terrenos donde la población será reubicada. También, por la misma razón, es importante establecer mecanismos realistas para que las zonas de las que han sido removidas las familias en riesgo, no vuelvan a ser ocupadas por otras personas; como ocurre con frecuencia. La demolición de las casas habitación en zonas de riesgo de inundación es muy controvertida y se requiere de esfuerzos importantes de comunicación para que la medida sea socialmente aceptable.

Dar un uso aceptable a las zonas inundables, tales como parques naturales y recreativos reduce la posibilidad de una reocupación, además son socialmente aceptables; aunque debe evitarse que la población interprete que la reubicación fue realizada para la creación de dichos parques naturales o recreativos.

- Implementación de planes de manejo de inundaciones

Aun cuando se carezca de medidas que eviten la ocurrencia de inundaciones, la vulnerabilidad social se reduce significativamente si ante la amenaza se aplica un plan de manejo de la inundación. El plan de manejo diseñado deberá contemplar al menos los siguientes aspectos:

- Contar con mapas de riesgo de inundación para diferentes periodos de retorno.
- Organización, asignación y coordinación de funciones de autoridades locales para el caso de inundaciones.
- Logística de materiales, equipo de rescate y comunicaciones.
- Zonas de evacuación previstas según los mapas de riesgo.
- Determinación de Instalaciones particularmente vulnerables, tales como escuelas, hospitales, centros de trabajo, etcétera.
- Rutas de evacuación en las zonas de riesgo previstas, considerando la inundación o inutilización de vialidades.
- Habilitación de refugios para las personas desplazadas.
- Disponibilidad de recursos para el manejo de emergencias.
- Manual de operaciones y medidas preventivas (evacuaciones, colocación de costaleras, cierre de compuertas de drenaje urbano, corte de energía eléctrica, aseguramiento de instalaciones de distribución de combustibles, entre otras).
- Actualización del plan de manejo según el crecimiento urbano.
- Sistemas de alerta temprana.

Estos sistemas advierten a la población con oportunidad sobre condiciones climatológicas adversas, basados en sistemas automatizados que alertan sobre condiciones peligrosas inminentes.

Dichos sistemas se componen generalmente de una red de pluviómetros, así como limnímetros digitales, en ambos casos de operación automática y con telemetría de algún tipo en tiempo real disparando el alertamiento en cuanto se excede el umbral de precipitación y/o caudales establecidos. También puede alimentarse con datos satelitales, radar meteorológico y pronósticos del estado del tiempo.

Idealmente dicho sistema deberá estar a cargo de las autoridades de protección civil.

- Planes de desarrollo urbano

En términos generales los riesgos de inundación se encuentran asociados al crecimiento indiscriminado de asentamientos urbanos y periurbanos que no se ajustan a una planeación previa. Las presiones sociales, además de las políticas creadas por invasión de terrenos poco aptos para la urbanización, son una constante en los municipios del país. La solución a este problema parece radicar en la aplicación estricta de una normativa que privilegie la seguridad de la población sobre aspectos legales o jurídicos que frenan o entorpecen la aplicación de la ley.

Propuesta de acciones para heladas y cambios bruscos de temperatura.

1. Monitoreo y alerta temprana

- **Sistema de alerta climática local**: instalar y mantener un sistema de monitoreo meteorológico en tiempo real que permita predecir con precisión las heladas, además de los cambios bruscos de temperatura. Este sistema debe estar conectado con las autoridades locales y medios de comunicación para emitir alertas tempranas a la población.
- **Aplicación de alertas móviles**: implementar una plataforma de notificaciones vía SMS o aplicación móvil que alerte a los ciudadanos cuando se prevean temperaturas extremadamente bajas o cambios climáticos bruscos, facilitando la preparación adecuada en hogares y lugares de trabajo.

2. Infraestructura resiliente

- **Reforzamiento de infraestructura pública**: inspeccionar y adecuar infraestructuras críticas (escuelas, hospitales, centros de salud, albergues, etcétera.) para garantizar que puedan resistir bajas temperaturas extremas. Esto incluye la mejora del aislamiento térmico en edificios, además de la instalación de sistemas de calefacción en lugares clave.
- **Revisión de Infraestructuras Residenciales**: fomentar la implementación de materiales de construcción más resistentes a cambios bruscos de temperatura, incentivando el aislamiento térmico en las viviendas, especialmente en zonas de alta vulnerabilidad tanto social, como física o con alta marginación.

3. Campañas de educación y sensibilización

- **Educación comunitaria**: realizar campañas permanentes de concientización sobre los riesgos de las heladas y cómo prevenir afectaciones personales, además de materiales. Instruir a la población sobre la importancia de proteger las tuberías del agua, mantener los hogares adecuadamente aislados y asegurarse de tener reservas de alimentos, agua, también medicinas.
- **Programas escolares**: incluir dentro del currículo escolar local programas que enseñen a la comunidad de estudiantes cómo actuar ante condiciones de frío extremo, así como la importancia de la autoprotección y las medidas que pueden tomar para resguardarse.

4. Protección de grupos vulnerables

- **Identificación de grupos vulnerables**: crear un censo local que identifique a las personas más vulnerables (personas mayores, niños, personas sin hogar, enfermos crónicos) para establecer estrategias de intervención rápida en caso de temperaturas extremas.
- **Albergues temporales y centros de acogida**: habilitar albergues temporales bien equipados con calefacción, camas, también alimentos, que puedan servir como refugio durante las olas de frío. Asegurarse de que estos albergues sean accesibles y tengan capacidad suficiente para la población vulnerable.

5. Medidas de salud y atención médica

- **Programas de atención preventiva**: implementar campañas de vacunación masiva contra la influenza y otras enfermedades respiratorias relacionadas con el frío, especialmente dirigidas a niños, ancianos y personas con condiciones crónicas.
- **Refuerzo de servicios de emergencia**: garantizar que los servicios médicos, así como de emergencia estén preparados para atender el aumento de consultas y hospitalizaciones debido a enfermedades derivadas del frío (como hipotermia, infecciones respiratorias, entre otros).
- **Kits de emergencia para hogares**: fomentar la creación de kits de emergencia para las familias, que incluyan cobijas térmicas, alimentos no perecederos, agua, medicinas esenciales, y lámparas de emergencia.

6. Protección de la actividad agrícola y ganadera

- **Asistencia técnica al sector agropecuario**: proveer asistencia técnica a la comunidad agricultora . además de ganadera para implementar prácticas tanto de manejo de cultivos, como de ganado que minimicen las pérdidas ante heladas y cambios bruscos de temperatura. Esto incluye el uso de cultivos resistentes al frío y técnicas de protección de ganado.
- **Fomento de tecnologías agrícolas de protección**: promover el uso de invernaderos, túneles de plástico, además de otros métodos para proteger los cultivos del frío extremo, y proporcionar subsidios o apoyo financiero para pequeños agricultores que necesiten implementar estas tecnologías.
- **Seguro agrícola contra heladas**: Incentivar la adopción de seguros agrícolas que cubran pérdidas por heladas, para mitigar el impacto económico en los productores locales.

7. Medidas económicas y sociales

- **Subsidios temporales para energía**: implementar programas de subsidios en el costo de electricidad y gas para calefacción en hogares de bajos ingresos durante los meses de frío intenso.
- **Apoyo social**: establecer fondos de emergencia para apoyar a las familias de bajos ingresos con la compra de artículos esenciales como cobijas, ropa de abrigo, calefactores y alimentos no perecederos.
- **Empleo temporal en obras de preparación y recuperación**: crear programas de empleo temporal en actividades relacionadas con la preparación de infraestructuras ante el frío (reparaciones, aislamiento de viviendas) y la rehabilitación de áreas afectadas tras el paso de heladas severas.

8. Coordinación interinstitucional

- **Fortalecimiento de Protección Civil local**: aumentar la coordinación entre la Dirección de Protección Civil, autoridades municipales, así como estatales y el sector privado para garantizar una respuesta tanto oportuna, como adecuada ante emergencias causadas por heladas o cambios bruscos de temperatura.
- **Red de voluntarios comunitarios**: establecer una red de voluntarios comunitarios que ayuden a identificar personas en riesgo, difundan alertas y apoyen en la distribución de insumos esenciales.

Propuesta de acciones ante ondas cálidas

1. Protección de la salud pública

- **Campañas de prevención**: realizar campañas informativas sobre los riesgos de la exposición prolongada al calor extremo, además de las medidas de protección que deben emplearse, como mantenerse hidratado, evitar actividades físicas intensas al aire libre y usar ropa ligera.
- **Centros de enfriamiento**: habilitar centros de enfriamiento en lugares públicos como bibliotecas, centros comunitarios y edificios municipales, donde la población pueda refugiarse durante las horas de mayor calor.
- **Atención a grupos vulnerables**: Implementar programas específicos para la atención de adultos mayores, personas con enfermedades crónicas, infancias y personas sin hogar, proporcionando asistencia médica, hidratación y acceso a espacios frescos.

2. Gestión de infraestructura y servicios básicos

- **Protección del suministro de gua**: asegurar el acceso de agua potable, implementando medidas para evitar el desperdicio y promover el uso eficiente del agua, especialmente durante las ondas cálidas.
- **Instalación de sombras en espacios públicos**: colocar estructuras de sombra y áreas de descanso en parques, paradas de autobuses y zonas peatonales, para reducir la exposición directa al sol.

3. Adaptación urbana y ambiental

- **Aumento de espacios verdes**: promover la creación de áreas verdes y parques urbanos, que contribuyan a reducir la temperatura ambiente, además de que ofrezcan espacios frescos para la población.
- **Uso de materiales de construcción reflectantes**: incentivar el uso de materiales de construcción que reflejen la radiación solar y reduzcan el efecto de isla de calor urbano, especialmente en edificios públicos, así como escuelas.
- **Fomento de techos y muros verdes**: implementar programas de techos y muros verdes tanto en edificios públicos, como privados para reducir el calor y mejorar la eficiencia energética.

Propuesta de obras y acciones ante sequía

- **Instalación de sistemas de cosecha de agua de lluvia en viviendas**: fomentar la adopción de tecnologías de recolección de agua de lluvia en casas habitación, incentivando a los ciudadanos a instalar sistemas que permitan captar, filtrar, además de almacenar agua para su uso en actividades domésticas, como el riego de jardines, la limpieza y el mantenimiento general. Esto contribuirá a reducir la demanda sobre las fuentes tradicionales de agua, especialmente en periodos de sequía prolongada.
- **Desarrollo de sistemas de almacenamiento de agua de lluvia en zonas rurales**: implementar bordos y jagüeyes en áreas rurales, además de periurbanas que permitan la recolección y almacenamiento de agua de lluvia *in situ*.

  Estos sistemas deben diseñarse con tecnologías que minimicen la pérdida de agua por evaporación, como el uso de coberturas flotantes o vegetación adecuada para proteger la superficie del agua. Además, se debe mejorar la impermeabilización de los bordos y jagüeyes para evitar filtraciones para garantizar la máxima retención del recurso.
- **Sistemas automatizados de distribución de agua almacenada**: introducir sistemas semi-automatizados que faciliten el uso eficiente del agua almacenada, permitiendo su distribución controlada para riego agrícola o actividades productivas en periodos críticos de sequía. Estos sistemas deben incluir tecnologías de bajo costo que aseguren un uso racional, así como optimizado del recurso hídrico almacenado, evitando desperdicios y asegurando que el agua llegue a las zonas más necesitadas.
- **Promoción de la eficiencia en el uso del agua**: desarrollar programas educativos, además de campañas de sensibilización dirigidas a la población sobre la importancia del uso eficiente del agua en tiempos de sequía. Estas campañas deben incluir recomendaciones prácticas sobre cómo reducir el consumo en el hogar, como la instalación de dispositivos ahorradores de agua en baños y cocinas.
- **Rehabilitación , así como optimización de infraestructuras de captación y almacenamiento**: instalar nuevos sistemas de captación de agua de lluvia, se debe evaluar el estado de las infraestructuras ya existentes, como pozos, jagüeyes y presas, para rehabilitarlas, asimismo corregir su capacidad de almacenamiento. Esto incluye la reparación de fisuras, el arreglo de los sistemas de bombeo y la protección contra la contaminación del agua.
- **Fomento de la reutilización de aguas residuales tratadas**: impulsar el tratamiento y la reutilización de aguas grises, también residuales en sectores como la agricultura y la industria, con el fin de reducir la presión sobre las fuentes de agua potable durante la sequía. Esto puede incluir la implementación de plantas de tratamiento a pequeña escala en comunidades rurales o áreas agrícolas para aprovechar este recurso en la irrigación de cultivos.

- **Implementación de tecnologías de riego eficiente:** promover el uso de tecnologías avanzadas de riego, como sistemas de riego por goteo o aspersores de bajo consumo, que minimicen la cantidad de agua utilizada en la agricultura, además maximicen la eficiencia en su uso. Estos sistemas permiten una distribución más precisa del agua y ayudan a mantener la productividad agrícola en tiempos de escasez.
- **Planes de contingencia y gestión del agua en la sequía**: desarrollar planes de contingencia específicos para el manejo del agua durante las sequías prolongadas, que incluyan la regulación del suministro de agua, restricciones en el uso del agua no esencial, así como estrategias de redistribución de recursos entre zonas urbanas y rurales para garantizar el acceso equitativo a este recurso vital.

Propuesta de obras y acciones ante tornados y vientos fuertes

• **Estudio y manejo del arbolado urbano**: realizar un análisis exhaustivo del arbolado en riesgo de caída debido a vientos fuertes. Este estudio debe identificar los árboles que representen un peligro potencial en áreas urbanas y rurales, especialmente aquellos cercanos a infraestructuras críticas como calles, viviendas y líneas de conducción eléctrica.

Con base en los resultados, implementar un programa de derribo controlado para los árboles en riesgo, asimismo promover la reposición con especies nativas que tengan mayor resistencia a los vientos fuertes. El uso de vegetación nativa no solo garantiza una mejor adaptación al clima local, sino que también ayuda a mantener el equilibrio ecológico.

• **Evaluación y mantenimiento de estructuras publicitarias**: realizar un estudio detallado de la condición de los anuncios publicitarios (espectaculares), señalización y otras estructuras elevadas que puedan verse afectadas por los vientos fuertes. Aquellas estructuras que representen un riesgo de colapso deben recibir mantenimiento adecuado, ser reforzadas o retiradas por completo para prevenir accidentes derivados de la caída de estos elementos durante tormentas o vientos extremos. Las autoridades locales deben implementar revisiones periódicas para garantizar que estos elementos cumplan con los estándares de seguridad.

• **Actualización de normativas para anuncios y estructuras elevadas**: elaborar o actualizar, según sea necesario, las normativas locales para la instalación de anuncios espectaculares y otras estructuras elevadas. Estas normas deben especificar criterios de seguridad más estrictos, como la resistencia estructural mínima, materiales a utilizar, ubicación estratégica, así como la altura máxima permitida en zonas propensas a vientos fuertes. Asimismo, deben incluir sanciones para los responsables que no cumplan con las regulaciones, a fin de garantizar un ambiente seguro para la población.

• **Promoción de medidas de autoprotección en viviendas y empresas**: fomentar la instalación de protecciones físicas en viviendas, también en edificios, como ventanas con refuerzos contra vientos y cerraduras de seguridad en puertas, además de persianas. Esto también debe incluir tanto la revisión, como el refuerzo de techos y estructuras ligeras, que suelen ser las más afectadas por los vientos intensos.

Propuesta de obras y acciones ante presencia de ciclones tropicales.

1. Fortalecimiento del sistema de alerta temprana

- **Implementar un sistema de monitoreo meteorológico** coordinado con el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para la vigilancia continua de ciclones tropicales.
- **Establecer un protocolo de alerta temprana**, con diferentes niveles de alerta (verde, amarilla, naranja y roja) para notificar a la población a través de medios digitales, sirenas, además de mensajes SMS.
- **Capacitar al personal de Protección Civil**, bomberos y fuerzas de seguridad en el uso de tecnologías de monitoreo y respuesta ante emergencias.

2. Infraestructura hidráulica y urbana

- **Reforzar y mantener la infraestructura de drenaje pluvial** para evitar inundaciones. Esto incluye la limpieza periódica de alcantarillas, canales y desagües.
- **Construcción de diques y presas de retención** en zonas estratégicas para controlar el flujo de agua para evitar inundaciones repentinas en áreas urbanas y rurales.

3. Capacitación y educación comunitaria

- **Realizar campañas educativas** para la población sobre los riesgos de los ciclones tropicales, así como las medidas de autoprotección. Utilizar medios de comunicación tradicionales y digitales para llegar a la mayor cantidad de personas posible.
- **Desarrollar simulacros de emergencia** en coordinación con escuelas, empresas, además de comunidades para que la población se familiarice con los procedimientos de evacuación y seguridad.
- **Fomentar la creación de comités comunitarios de protección civil**, encargados de difundir información y coordinar la respuesta en caso de emergencia.

4. Medidas de preparación para la respuesta

- **Identificar y acondicionar refugios temporales**, con capacidad para albergar a personas afectadas por inundaciones y otros efectos de los ciclones. Los refugios deben contar con suministros básicos como agua, alimentos y atención médica.
- **Elaborar un inventario de recursos y equipos de emergencia**, como vehículos de rescate, bombas de agua, generadores eléctricos y materiales de primeros auxilios.
- **Desarrollar un plan de evacuación** para zonas de alto riesgo, con rutas seguras y puntos de encuentro claramente señalados.

5. Restauración de ecosistemas naturales

- **Promover la reforestación y conservación de cuencas hidrográficas**, ya que la cobertura vegetal ayuda a reducir la erosión del suelo y actúan como barreras naturales contra el flujo de agua.
- **Implementar proyectos de conservación del suelo** para reducir el riesgo de deslizamientos y mantener la estabilidad de las laderas.

6. Coordinación interinstitucional

- **Fortalecer la colaboración con organismos estatales y federales**, como la CONAGUA, el SMN, la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA) y la Cruz Roja, para la implementación conjunta de medidas de mitigación.
- **Establecer convenios con instituciones académicas y centros de investigación**, para desarrollar estudios de riesgo y pronósticos más precisos sobre el impacto de ciclones tropicales en la región.

7. Evaluación y mejora continua

- **Realizar evaluaciones periódicas del plan de mitigación**, para identificar áreas de mejora y actualizar las estrategias con base en experiencias previas, además de cambios en los patrones climáticos.
- **Implementar un sistema de retroalimentación con la comunidad**, para recibir comentarios y sugerencias sobre las acciones implementadas, para ajustar el plan según las necesidades locales.

Propuesta de obras y acciones ante tormentas de granizo

1. Protección de infraestructura y viviendas

- **Promover el uso de materiales resistentes al granizo** en techos y ventanas, como láminas de policarbonato o vidrio templado, especialmente en zonas de alta vulnerabilidad.
- **Incentivar la instalación de protecciones en ventanas** y techos, como mallas anti-granizo y coberturas temporales, para minimizar los daños.
- **Reforzar y mantener la infraestructura urbana**, incluyendo techumbres de escuelas, hospitales y edificios públicos, para que resistan el impacto del granizo.

2. Medidas de protección para vehículos

- **Establecer estacionamientos públicos cubiertos** en áreas estratégicas del municipio para resguardar vehículos durante alertas de tormentas de granizo.
- **Crear una campaña educativa** para que la población conozca las medidas de protección para sus vehículos, incluyendo la identificación de áreas seguras para estacionar.

3. Protección de actividades agrícolas

- **Promover el uso de mallas ant i- granizo en áreas agrícolas**, especialmente en cultivos vulnerables como la vid, el maíz y otros productos hortícolas.
- **Fomentar prácticas de seguro agrícola**, ofreciendo subsidios o incentivos a los agricultores para adquirir seguros contra daños por granizo.
- **Capacitar a los productores locales** en el uso de tecnologías y métodos de protección contra el granizo, así como en prácticas de recuperación rápida tras un evento.

4. Capacitación y concientización comunitaria

- **Implementar programas educativos** dirigidos a la población sobre los riesgos de las tormentas de granizo y las medidas de protección que pueden tomar en tanto en sus hogares, como negocios.
- **Realizar simulacros periódicos** en comunidades y escuelas para que los ciudadanos sepan cómo actuar ante una alerta de tormenta de granizo.
- **Distribuir material informativo** (folletos, videos y publicaciones en redes sociales) con recomendaciones sobre cómo proteger propiedades, además de reducir riesgos personales.

5. Plan de recuperación y resiliencia

- **Elaborar un plan de respuesta rápida** para limpiar calles, también reparar infraestructura dañada tras una tormenta de granizo, priorizando áreas de acceso crítico como hospitales y escuelas.
- **Crear un fondo de emergencia** para cubrir los daños causados por eventos severos, que permita una respuesta inmediata y eficiente a las necesidades de la ciudadanía.
- **Establecer acuerdos con empresas locales** de construcción y reparación para ofrecer servicios prioritarios a menor costo en casos de emergencia.

9.1.4 Proyectos, obras y estrategias para mitigar, el Riesgo por fenómenos químico - tecnológicos

Almacenamiento de sustancias peligrosas

Dado el contexto de carácter industrial, además de considerar los apartados de peligro referente a los temas de almacenamiento, así como el transporte terrestre y por ductos de sustancias químicas peligrosas, en especial la falta de información para realizar las evaluaciones de los respectivos escenarios de peligro es evidente que Saltillo enfrenta desafíos significativos en tanto en la gestión, como en la mitigación del riesgo asociado con el manejo de sustancias peligrosas. Por lo que se presentan una serie de propuestas de proyectos, obras, asimismo acciones que podrían ser implementadas para abordar estos problemas y mitigar los riesgos.

Proyecto: creación de un Padrón Municipal de Empresas que manejan sustancias peligrosas

- Acciones:
    - Realizar un censo obligatorio de todas las empresas en Saltillo que manejan, almacenan o transportan sustancias peligrosas.
    - Desarrollar una base de datos digital centralizada que almacene la información recopilada.
    - Implementar un sistema de recolección de datos en línea, incluyendo una plataforma web accesible para la actualización y consulta de datos.

Proyecto: reforma normativa para la transparencia y seguridad en el manejo de sustancias peligrosas en el ámbito estatal y municipal

- Acciones:
    - Fortalecer y, en caso necesario, modificar el marco normativo estatal, así como municipal para garantizar el acceso a la información, además de la transparencia en cuanto al reporte obligatorio sobre la cantidad y tipo de sustancias peligrosas manejadas por los establecimientos, así como las medidas de seguridad implementadas para su manejo.
    - Establecer un sistema de sanciones y multas para el incumplimiento.
    - Creación de una oficina municipal responsable de la supervisión y cumplimiento de la normativa.
    - Desarrollo de un portal para la recepción de informes y declaraciones obligatorias de las empresas.

Proyecto: establecimiento de un sistema de respuesta a emergencias químicas

- Acciones:
    - Formar equipos especializados en respuesta a emergencias químicas.
    - Desarrollar protocolos de actuación y coordinar con los servicios de emergencia locales.
    - Constrir un centro de coordinación de emergencias equipado con tecnología para la gestión de incidentes químicos.
    - Adquirir vehículos especializados y equipos de protección para los equipos de respuesta.

Proyecto: Iniciativas de Colaboración y Transparencia

- Acciones:
    - Crear una mesa de trabajo interinstitucional para la gestión de riesgos químicos.
    - Garantizar la transparencia en la información recolectada sobre las empresas y los riesgos.
    - Establecer un foro de discusión permanente, así como una plataforma en línea para la publicación de información sobre riesgos y planes de acción.

Programa de capacitación en accidentes de origen químico

- Acciones:
    - Desarrollar un programa de capacitación para la modelación y manejo seguro de sustancias peligrosas dirigido a integrantes de la Dirección de Protección Civil.
    - Establecimiento de un centro de capacitación con instalaciones y recursos para la formación continua en seguridad química.

Transporte terrestre de sustancias peligrosas

Proyecto: creación de un padrón de empresas de transporte de sustancias peligrosas

- Acciones:
    - Realizar un censo obligatorio de todas las empresas de transporte que operan en el municipio y que se dedican al transporte de sustancias químicas peligrosas por ferrocarril o por carretera, además de vialidades urbanas.

- Desarrollar una base de datos digital centralizada que registre información sobre las empresas, los tipos de sustancias que transportan y las rutas que utilizan.
- Implementar un sistema de registro, también de control digital para las empresas de transporte, con una plataforma en línea para la actualización y consulta de datos.

Proyecto: zonificación de rutas de transporte de sustancias peligrosas

- Acciones:
  - Realizar un estudio para determinar las rutas más seguras y apropiadas para el transporte de sustancias peligrosas, minimizando el paso por zonas residenciales, escuelas, hospitales, además de otras áreas sensibles.
  - Implementar una normativa que obligue a las empresas a utilizar únicamente las rutas designadas para el transporte de sustancias peligrosas especialmente las que no son transportadas por ferrocarril.
  - Señalizar y adecuar las rutas de transporte específicas para sustancias peligrosas, incluyendo la construcción de infraestructuras como estaciones de control, asimismo áreas de descanso seguras para los transportistas.

Proyecto: desarrollo de un protocolo de emergencia para incidentes de transporte

- Acciones:
  - Crear un protocolo municipal de emergencia específico para incidentes relacionados con el transporte de sustancias peligrosas, que incluya la coordinación con servicios de emergencia, evacuaciones y mitigación de derrames.
  - Realizar simulacros periódicos con la participación de las empresas de transporte, servicios de emergencia y la comunidad.
  - Construir centros de respuesta rápida en puntos estratégicos de las rutas de transporte, equipados con materiales, así como equipos para la contención y mitigación de derrames de sustancias peligrosas.

Proyecto: implementación de un sistema de registro de cargas y tipos de sustancias transportadas

- Acciones:
  - Crear un sistema obligatorio de registro de las cargas transportadas por cada vehículo, detallando el tipo de sustancias, cantidades y destinos.
  - Desarrollar un mecanismo de reporte en línea para que las empresas informen a las autoridades antes de realizar cada viaje con sustancias peligrosas.
  - Impulsar el desarrolo de una plataforma digital integrada que permita a las empresas registrar sus operaciones y a las autoridades monitorear en tiempo real las cargas de sustancias peligrosas que transitan por el municipio.

Proyecto: colaboración interinstitucional y transparencia en la gestión de riesgos por transporte de sustancias peligrosas

- Acciones:
  - Crear una mesa de trabajo interinstitucional que incluya representantes del gobierno, empresas de transporte, y organizaciones civiles para coordinar acciones de mitigación de riesgos.
  - Garantizar la transparencia en la información sobre rutas, tipos de sustancias transportadas y protocolos de emergencia, para que tanto la comunidad, como las empresas tengan acceso a ella.
  - Establecer un centro de información, donde las dependencias municipales puedan acceder a datos y reportes sobre el transporte de sustancias peligrosas en Saltillo.

Transporte por ductos

Proyecto: mapeo y registro de ductos en el municipio

- Acciones:
  - Realizar un levantamiento detallado y mapeo de todos los ductos que atraviesan el municipio, identificando su ubicación exacta, tipo de sustancias transportadas, diámetros, así como presiones de operación.
  - Crear un padrón de empresas responsables del manejo y operación de estos ductos, incluyendo las que se encargan del suministro de gas natural.
  - Implementar un sistema de información geográfica (SIG) para gestionar y visualizar la red de ductos en el municipio.

Proyecto: desarrollo de un sistema de control de ductos

- Acciones:
  - Crear un protocolo de comunicación y alerta temprana para incidentes relacionados con los ductos, coordinado entre las empresas operadoras, además de las autoridades municipales.
  - Construir un centro de monitoreo y control especializado para la supervisión continua de la red de ductos.

Proyecto: capacitación y preparación para la gestión de emergencias por ductos

- Acciones:
    - Desarrollar un programa de capacitación para el personal de Protección Civil municipal y los servicios de emergencia en la gestión de incidentes relacionados con ductos, incluyendo manejo de fugas, evacuaciones, además de coordinación interinstitucional.
    - Realizar simulacros regulares de respuesta a emergencias, involucrando a la comunidad y las empresas responsables de los ductos.
    - Establecer centros de respuesta rápida equipados con materiales y equipos específicos para emergencias relacionadas con ductos.
    - Construir instalaciones de entrenamiento y simulación para prácticas de manejo de emergencias por ductos.

Proyecto: cooperación y coordinación Interinstitucional

- Acciones:
    - Establecer acuerdos de cooperación con empresas, autoridades estatales, así como federales para la gestión conjunta de la red de ductos y la respuesta a emergencias.
    - Crear mesas de trabajo interinstitucional para la planificación y ejecución de estrategias de mitigación de riesgos.
    - Construir un centro de coordinación interinstitucional que sirva como punto de encuentro y planificación para todas las partes involucradas en la gestión de ductos.

Incendios forestales

- **Promover el uso del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales (SPPIF) de México**: incentivar el uso de esta herramienta tecnológica por parte de los cuerpos de protección civil, autoridades locales, asimismo la comunidad para consultar en línea y en tiempo real el nivel de peligro de incendios forestales. Esto permitirá una respuesta tanto rápida, como coordinada, mejorando la prevención y el manejo de emergencias en Saltillo.
- **Capacitación del personal municipal**: implementar programas de formación continua para el personal del municipio de Saltillo sobre prevención, combate y control de incendios forestales. Esta capacitación debe incluir tanto teoría como prácticas en campo para fortalecer las capacidades de respuesta inmediata ante cualquier eventualidad.
- **Promoción de la educación ambiental**: fomentar la participación ciudadana en tanto en cursos, como en talleres sobre incendios forestales, orientados a generar conciencia sobre las causas y consecuencias de estos eventos. Involucrar a escuelas, comunidades, además de organizaciones en la prevención de incendios mediante prácticas responsables, como evitar la quema de desechos, asimismo respetar las normas en áreas forestales.
- **Manejo silvícola de arbolado maduro**: implementar acciones de manejo forestal en los bosques y áreas naturales, enfocándose en la reducción de árboles sobre maduros, además de la eliminación de vegetación muerta. Esto disminuirá la carga de combustible forestal y reducirá el riesgo de incendios, además de promover la salud, así como la regeneración del ecosistema forestal.
- **Estudios de vegetación en áreas verdes urbanas**: diagnosticar la vegetación en parques y áreas verdes urbanas para identificar, además de eliminar árboles muertos, caídos y material combustible acumulado por el mantenimiento de los espacios. Estas acciones, como la limpieza de ramas secas, hojas, también pasto, son esenciales para reducir el riesgo de incendios en entornos urbanos y proteger las zonas residenciales.
- **Creación de brigadas comunitarias de prevención y control**: crear brigadas comunitarias formadas por voluntarios capacitados en la prevención y manejo de incendios. Estas brigadas servirían como primera línea de acción en zonas rurales, así como de difícil acceso, apoyando a las autoridades locales y reforzando el compromiso ciudadano en la protección del entorno natural.
- **Implementación de cortafuegos y zonas de amortiguamiento**: diseñar e implementar cortafuegos en áreas estratégicas del municipio, especialmente en las zonas rurales y periurbanas cercanas a áreas forestales. Estas barreras de vegetación eliminada pueden actuar como freno a la propagación de incendios, protegiendo tanto las áreas naturales como las poblaciones cercanas.
- **Monitoreo y vigilancia activa**: establecer un sistema permanente de vigilancia y monitoreo en las zonas forestales, además de áreas vulnerables a incendios, utilizando tecnología como drones, cámaras de vigilancia y patrullajes constantes durante la temporada de mayor riesgo. El monitoreo temprano permitirá actuar de manera oportuna, también minimizar los daños causados por incendios.

9.1.5 Proyectos, obras y estrategias para mitigar el riesgo por fenómenos sanitario - ecológicos

Proyectos y estrategias para mitigación de contaminación de suelo, aire y agua

Contaminación del aire

1. Monitoreo y transparencia de emisiones

- **Ampliar la red de monitoreo de calidad del aire**: fortalecer y expandir la red de sensores de calidad del aire recientemente instalada para cubrir más puntos críticos en Saltillo, incluyendo áreas industriales, además de residenciales con alta concentración de

- emisiones. Asegurar que los datos recolectados sean consistentes y estén disponibles en tiempo real tanto para el público, como para las autoridades, lo que permitirá una respuesta más rápida ante altos niveles de contaminación.
- **Establecer un sistema de reporte obligatorio**: exigir a todas las industrias que operan en el municipio que reporten regularmente sus emisiones al aire, no solo al Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), sino también a una plataforma local que garantice la transparencia, además que permita a las autoridades locales monitorear las emisiones más de cerca.

2. Reducción de emisiones industriales

- **Instalar tecnologías de control de emisiones**: obligar a las industrias de alto impacto, como las cementeras, pedreras y ladrilleras, a instalar tecnologías avanzadas tanto de filtrado, como de reducción de contaminantes, especialmente para partículas suspendidas (PM10 y PM2.5), dióxido de carbono (CO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2), que son algunos de los principales contaminantes identificados.
- **Incentivos para la adopción de energías limpias**: ofrecer incentivos fiscales a las industrias que adopten energías limpias y tecnologías más sostenibles que reduzcan las emisiones de gases contaminantes como el metano (CH_4) y los óxidos de nitrógeno (NO_x). La adopción de fuentes de energía renovable también puede disminuir el impacto ambiental general.

3. Regulación del transporte y el parque vehicular

- **Implementación de normas de emisiones para vehículos**: regular el parque vehicular, especialmente el transporte público, así como vehículos de carga pesada, a través de la introducción de normas de control de emisiones que limiten la emisión de dióxido de carbono y otros contaminantes relacionados con la combustión de combustibles fósiles. Esto incluiría la obligatoriedad de verificaciones vehiculares periódicas.
- **Fomentar el uso de transporte público limpio**: promover la transición hacia vehículos eléctricos o híbridos en el transporte público y privado. Además, se pueden crear incentivos económicos para que las empresas de transporte renueven sus flotas con unidades más eficientes y menos contaminantes.

4. Control y reducción de quemas a cielo abierto

- **Prohibición y sanciones para quemas de residuos**: implementar estrictas prohibiciones sobre la quema de residuos sólidos urbanos y agrícolas a cielo abierto, que es una fuente importante de emisiones de partículas. Las sanciones deben ser claras y aplicarse de manera consistente, con la colaboración de la ciudadanía para reportar violaciones.
- **Promover la gestión adecuada de residuos**: crear programas de gestión de residuos sólidos que incluyan el reciclaje y compostaje, para evitar la acumulación de residuos que frecuentemente son quemados, liberando partículas dañinas al aire.

5. Reforestación y espacios verdes

- **Aumentar la cobertura de áreas verdes urbanas**: desarrollar un plan de reforestación en áreas urbanas e industriales con especies nativas que ayuden a mejorar la calidad del aire mediante la captura de contaminantes atmosféricos. El establecimiento de corredores verdes también puede reducir los niveles de partículas suspendidas.
- **Protección de zonas forestales**: implementar medidas de protección y recuperación de las áreas forestales cercanas a Saltillo para reducir el impacto de la desertificación, que contribuye a la contaminación del aire por partículas de polvo en suspensión.

6. Educación y sensibilización

- **Campañas de concientización sobre la calidad del aire**: realizar campañas educativas dirigidas a la ciudadanía sobre el impacto de la contaminación del aire y la importancia de adoptar medidas individuales, como reducir el uso de vehículos personales, evitar quemas, además de colaborar en la plantación de árboles.
- **Programas escolares**: implementar programas de educación ambiental en las escuelas locales para sensibilizar a las infancias, las y los jóvenes sobre los efectos de la contaminación del aire, para enseñarles cómo pueden contribuir a mitigarlo.

7. Planes de contingencia y regulación en días críticos

- **Activación de protocolos en días con alta contaminación**: establecer planes de contingencia que se activen cuando los niveles de contaminación excedan los umbrales seguros. Esto incluiría restricciones temporales al tráfico vehicular, recomendaciones de limitar actividades al aire libre, especialmente para personas vulnerables, y ajustes en las operaciones de las industrias más contaminantes.
- **Regulación de las actividades industriales durante episodios críticos**: implementar regulaciones temporales que limiten las actividades industriales en días donde los niveles de partículas y gases contaminantes superen los límites establecidos, para evitar un mayor deterioro de la calidad del aire.

Contaminación del suelo

1. Cierre y remediación de tiraderos clandestinos

- **Identificación y clausura de tiraderos clandestinos**: realizar un censo exhaustivo para localizar todos los tiraderos clandestinos en las zonas urbanas, así como periurbanas de Saltillo. Posteriormente, proceder a su clausura mediante barreras físicas y vigilancia para evitar la disposición incontrolada de residuos.
- **Remediación de suelos contaminados**: implementar programas de remediación en los sitios afectados por la acumulación de lixiviados tóxicos, metales pesados y otros contaminantes. Esto puede incluir la bioremediación, además de la utilización de barreras geotécnicas para evitar la filtración de contaminantes en el subsuelo y acuíferos cercanos.

- **Campañas de concientización**: aplicar campañas educativas para disuadir a la población de tirar basura en estos sitios y fomentar el uso adecuado de los puntos de recolección de residuos.

2. Mejor Gestión de los residuos sólidos

- **Aumento de puntos de recolección de residuos**: incrementar la cantidad de puntos oficiales de recolección de residuos sólidos urbanos, especialmente en áreas rurales y zonas con acceso limitado a servicios de limpieza pública, para evitar la proliferación de tiraderos clandestinos.
- **Promoción del reciclaje y manejo de residuos peligrosos**: implementar programas de reciclaje accesibles y eficientes en las áreas urbanas, con especial atención a la separación de residuos sólidos, incluyendo los residuos peligrosos, como baterías, además de productos electrónicos, que podrían contaminar el suelo.

3. Remediación de pasivos ambientales

- **Remediación de sitios contaminados por residuos mineros**: desarrollar un plan de intervención inmediata para remediar el sitio contaminado por jales mineros en el extremo centro - norte de Saltillo. Este plan debe incluir la eliminación segura de los residuos mineros, el tratamiento del suelo afectado, así como la implementación de barreras que eviten la filtración de metales pesados como plomo, arsénico y cadmio.
- **Tratamiento del ex taller de Ferrocarriles Nacionales**: ejecutar un programa de remediación urgente en el sitio del ex taller de Ferrocarriles Nacionales, donde ocurrió el derrame de hidrocarburos. Esto debe incluir la extracción de suelos contaminados, su tratamiento especializado, además de la rehabilitación del área para reducir los riesgos a la salud pública y el medio ambiente.

4. Control de lixiviados y recuperación de suelos

- **Mejoras en el manejo de lixiviados en tiraderos controlados**: optimizar el sistema de captación y tratamiento de lixiviados para reducir aún más los riesgos de contaminación. La implementación de nuevas tecnologías podría mejorar la eficiencia en el manejo de estos desechos.
- **Reforestación de áreas degradadas**: implementar programas de reforestación y rehabilitación ecológica con especies nativas que ayuden a restaurar la biodiversidad para mejorar la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes.

5. Fortalecimiento de la normativa ambiental

- **Actualización del marco normativo local**: fortalecer y actualizar las normativas ambientales municipales para regular de manera más estricta la disposición de residuos industriales, así como la gestión de pasivos ambientales. Incluir sanciones más severas para las industrias o ciudadanos que no cumplan con las regulaciones de disposición adecuada de residuos.
- **Vigilancia y monitoreo constante**: aplicar un sistema de monitoreo continuo en los sitios susceptibles a contaminación del suelo, como las áreas industriales y mineras, para asegurar que se detecten, también mitiguen posibles fugas de contaminantes de manera oportuna.

6. Incentivos para la reducción de residuos

- **Incentivar a empresas para reducir su huella ambiental**: crear programas de incentivos económicos y fiscales para que las empresas en Saltillo adopten tecnologías más limpias que reduzcan sus tanto sus residuos sólidos, como contaminantes. Esto incluye fomentar la reutilización de materiales y la gestión eficiente de desechos industriales.
- **Fomentar la economía circular**: promover el desarrollo de una economía circular en Saltillo, donde los residuos de unas industrias sean aprovechados como recursos por otras, reduciendo así la generación de residuos y su impacto en el suelo.

7. Control de plagas y proliferación de vectores

- **Control de plagas en tiraderos**: ejecutar programas de control de plagas en las áreas donde se detecten residuos sólidos acumulados, como roedores e insectos, para prevenir riesgos a la salud pública. También se deben eliminar las condiciones propicias para la proliferación de vectores, como la acumulación de agua en los tiraderos.

Contaminación del agua

1. Tratamiento de aguas residuales

- **Ampliación y mejora de plantas de tratamiento**: fortalecer la infraestructura de las plantas de tratamiento de aguas residuales en Saltillo, asegurando que todas las aguas que se descargan en los cauces de arroyos, así como cuerpos de agua reciban un tratamiento adecuado previo a su liberación. Esto debe incluir la construcción de nuevas plantas en áreas donde las descargas no son tratadas, así como la modernización de las plantas existentes para mejorar su capacidad y eficiencia.
- **Instalación de sistemas de tratamiento en zonas rurales**: implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales a pequeña escala en las áreas rurales donde se identifican altos niveles de contaminación del agua, como en la localidad de "La Pompa", con la finalidad de mejorar la calidad del agua en esas zonas y proteger los acuíferos locales.

2. **Estudios específicos de calidad del agua en arroyos urbanos**

- **Realización de estudios en aguas superficiales:** llevar a cabo estudios detallados de la calidad del agua en arroyos y cauces dentro de la zona urbana de Saltillo, que actualmente se encuentran afectados por descargas de aguas residuales sin tratamiento. Estos estudios deben identificar los niveles de contaminación por patógenos, químicos, así como otros contaminantes, y proporcionar una base científica para la implementación de medidas correctivas.

- **Monitoreo regular y público**: establecer un programa de monitoreo continuo en estos cuerpos de agua para garantizar que cualquier mejora en la calidad del agua sea mantenida y que se detecten de inmediato nuevas fuentes de contaminación. Los resultados deben hacerse públicos, además de estar disponibles en línea para la consulta de los ciudadanos y autoridades.

3. Control de descargas industriales

- **Monitoreo y control de descargas industriales**: establecer un sistema de monitoreo continuo de las descargas industriales en los cuerpos de agua, asegurando que las empresas cumplan con las normativas ambientales. El uso de sensores y tecnologías automatizadas permitirá un seguimiento en tiempo real para detectar posibles contaminaciones.
- **Incentivar tecnologías limpias**: fomentar la adopción de tecnologías limpias y procesos industriales que minimicen la generación de contaminantes líquidos, también la descarga de sustancias peligrosas. Para esto, se pueden ofrecer incentivos fiscales a las empresas que reduzcan significativamente sus emisiones contaminantes al agua.

4. Gestión de Residuos Sólidos en Cauces

- **Retiro de residuos sólidos de cauces**: implementar programas periódicos de limpieza de cauces y arroyos en Saltillo, retirando residuos sólidos urbanos, así como peligrosos que contaminan el agua superficial, además del suelo. Esto debe acompañarse de una campaña de concientización para la población sobre la disposición adecuada de sus residuos.
- **Establecimiento de sanciones**: fortalecer la legislación para imponer sanciones más severas a quienes dispongan de manera ilegal residuos en cauces, además de implementar un sistema de vigilancia que incluya patrullajes y monitoreo para detectar esta práctica.

5. Reforestación y protección de zonas ribereñas

- **Protección de áreas ribereñas**: ejecutar programas de reforestación en las márgenes de los ríos y arroyos para crear barreras naturales que reduzcan la escorrentía de contaminantes hacia los cuerpos de agua. La vegetación actúa como un filtro natural, mejorando la calidad del agua, además de reducir la erosión del suelo.
- **Zonas de amortiguamiento**: crear zonas de amortiguamiento o protección en torno a los cuerpos de agua más vulnerables, donde se limite el uso del suelo para evitar la contaminación directa por actividades agrícolas, industriales o urbanas.

6. Mejora del Monitoreo de calidad del agua

- **Ampliación de puntos de monitoreo**: incrementar el número de puntos de monitoreo de la calidad del agua subterránea y superficial en el municipio, para tener una cobertura más completa del territorio, también detectar problemas antes de que escalen. Este monitoreo debe incluir tanto áreas urbanas como rurales.
- **Transparencia de datos**: hacer accesibles los resultados de las mediciones de calidad del agua a la población, a través de una plataforma pública en línea. Esto permitirá que los ciudadanos estén informados sobre el estado de las fuentes de agua que utilizan. Promover la consulta de la información que se encuentra disponible en la página web de Aguas de Saltillo puede resultar una alternativa oportuna ante esta propuesta.

7. Campañas de educación ambiental

- **Concientización sobre el uso del agua**: promover campañas de educación ambiental que sensibilicen a la población sobre la importancia del uso racional del agua, así como la protección de los cuerpos de agua locales. Estas campañas deben incluir consejos prácticos sobre cómo reducir el consumo de agua y evitar prácticas contaminantes tanto en el hogar, como en el trabajo.
- **Fomento de prácticas agrícolas sostenibles**: trabajar con los agricultores locales para promover prácticas agrícolas que reduzcan la contaminación de los cuerpos de agua, como el uso moderado de pesticidas, además de fertilizantes, y la implementación de barreras vegetales para evitar la escorrentía de productos químicos.

8. Regulación y control de residuos peligrosos

- **Gestión adecuada de residuos peligrosos**: aplicar sistemas de manejo y disposición adecuados para los residuos peligrosos generados por las actividades industriales en Saltillo, asegurando que estos no lleguen a los cuerpos de agua. Esto debe incluir la construcción de centros de acopio, también de tratamiento de residuos peligrosos.
- **Monitoreo de lixiviados en rellenos sanitarios**: mejorar los sistemas de captación y tratamiento de lixiviados en los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos, para evitar la filtración de sustancias tóxicas hacia los acuíferos.

9.1.6 Proyectos, obras y estrategias para mitigar, el riesgo por fenómenos socio-organizativos

1. Gestión de concentraciones masivas de población

- **Capacidad de aforo y control de multitudes:** implementar medidas estrictas para controlar el número de asistentes en eventos masivos, asegurando que no se exceda la capacidad de los recintos. Utilizar sistemas de conteo y monitoreo en tiempo real de la cantidad de personas.
- **Planes de evacuación claros:** garantizar que todos los sitios que albergan eventos masivos cuenten con rutas de evacuación bien señalizadas y suficientes salidas de emergencia. Capacitar al personal de seguridad para gestionar situaciones de pánico o emergencias.

- **Monitoreo en tiempo real:** aplicar tecnologías de vigilancia y monitoreo en eventos masivos, utilizando cámaras de seguridad, así como *software* de análisis de multitudes para detectar posibles peligros.
- **Protocolos de seguridad y primeros auxilios:** establecer puntos de atención médica y de primeros auxilios en eventos de gran afluencia, junto con la presencia de brigadas especializadas en manejo de multitudes y emergencias.

2. Reducción de accidentes de tránsito

- **Controles de velocidad:** poner en práctica sistemas de control de velocidad en las principales vías de la ciudad, como el Boulevard Nazario Ortiz Garza y el Periférico Luis Echeverría, donde se concentran la mayoría de los accidentes.
- **Semáforos inteligentes y señalización:** hacer mejoras en la infraestructura de señalización en puntos críticos, y considerar la implementación de semáforos inteligentes que se adapten al flujo vehicular.
- **Educación vial:** desarrollar campañas educativas permanentes sobre seguridad vial y la importancia de respetar las señales de tránsito, así como sanciones más estrictas para conductores que excedan los límites de velocidad o no respeten los semáforos.
- **Áreas específicas de atención:** instalar unidades móviles de tránsito en los puntos con mayor concentración de accidentes para mejorar la respuesta ante emergencias.

3. Mitigación de riesgos asociados a la interrupción de servicios básicos

- **Planes de contingencia para cortes de agua y electricidad:** asegurar que la infraestructura crítica, como hospitales y centros de atención de emergencias, cuente con generadores de respaldo, además de fuentes de energía alternativas para prevenir interrupciones prolongadas en caso de fallas de suministro.
- **Mantenimiento preventivo:** inspeccionar y dar mantenimiento regular en la infraestructura hidráulica, también eléctrica para minimizar riesgos de interrupciones causadas por fallas técnicas o desastres naturales.
- **Monitoreo de infraestructuras críticas:** implementar un sistema de monitoreo constante de los ductos de gas y otros servicios esenciales, para detectar y actuar rápidamente ante posibles fugas o daños.

4. Prevención y control de manifestaciones de inconformidad social

- **Planificación previa de manifestaciones:** coordinar con organizaciones civiles y grupos que planeen manifestaciones para establecer rutas, así como puntos de concentración que minimicen el impacto en la ciudad y permitan una mejor gestión del tránsito.
- **Diálogo proactivo con la comunidad:** llevar a cabo mecanismos de diálogo entre las autoridades y la sociedad civil para atender problemas antes de que escalen a manifestaciones que puedan afectar a la infraestructura, también los servicios públicos.
- **Capacitación de las fuerzas de seguridad:** capacitar a las fuerzas de seguridad en la gestión pacífica de manifestaciones, para reducir el riesgo de enfrentamientos o daños a personas y propiedades.

5. Mejora en la infraestructura vial y ferroviaria

- **Mantenimiento, además de mejora de carreteras y vías férreas:** asegurar que las vías principales estén en buenas condiciones y se realicen revisiones periódicas de la infraestructura, en particular en puntos de cruce con vías ferroviarias donde ocurren accidentes con frecuencia.
- **Señalización en cruces ferroviarios:** mejorar la señalización y advertencias en cruces ferroviarios peligrosos, así como instalar barreras automatizadas en áreas con alta recurrencia de accidentes.
- **Alternativas de movilidad y evacuación:** diseñar y promover rutas alternas para emergencias, con el fin de evitar congestionamientos en las principales vías para asegurar una evacuación rápida en caso de desastre.

10 Bibliografía

Alcántara-Ayala, I., Garza Salinas, M., López García, A., Magaña Rueda, V., Oropeza Orozco, O., Puente Aguilar, S., Rodríguez Velázquez, D., Lucatello, S., Ruiz Rivera, N., Tena Núñez, R. A., Urzúa Venegas, M., & Vázquez Rangel, G. (2019). Gestión integral de riesgo de desastres en México: Reflexiones, retos y propuestas de transformación de la política pública desde la academia. *Investigaciones Geográficas, 98*, 1-28. https://doi.org/10.14350/rig.59784

Birkmann, J. (2006). *Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual frameworks and definitions*. United Nations University Press.

Brown, L. (2019). *The dynamic Earth: Understanding environmental change*. Green World Publications.

Cardona, O. D. (2003). La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Instituto de Estudios Ambientales.

CENAPRED. (1999). *Cuadernos de Investigación 49*. Disponible en: http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/127-CUADERNODEINVESTIGACINOBRASDEPROTECCINCONTRAINUNDACIONES.PDF

CENAPRED. (2004). Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Serie: *Atlas Nacional de Riesgos*. México.

CENAPRED. (2007). *Riesgos Químicos. Serie Fasciculo*. Disponible en: http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/133-FASCCULORIESGOSQUMICOS.PDF

CENAPRED. (2015). Guía para la Elaboración de Atlas de Peligros y Riesgos por Entidades Federativas. Centro Nacional de Prevención de Desastres.

CENAPRED. (2016). *Análisis de umbrales de lluvia que detonan deslizamientos y sus posibles aplicaciones*. Disponible en: https://www1.cenapred.unam.mx/COORDINACION_ADMINISTRATIVA/SRM/FRACCION_XLI_A/23.pdf

CENAPRED. (2016). *Curso: Causas que propician el deslizamiento y su prevención*. Disponible en: http://www.cenapred.gob.mx/es/documentosWeb/Enaproc/IdentiDeslizamientos.pdf

CENAPRED. (2016). *Guía de Contenido Mínimo para la Elaboración del Atlas Nacional de Riesgos*. Secretaría de Gobernación. Disponible en: http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/descargas.html

CENAPRED. (2019). *Curso "Métodos de Análisis de Inestabilidad de Laderas"*. Disponible en: https://www.gob.mx/cenapred/documentos/metodos-de-analisis-de-inestabilidad-de-laderas

CENAPRED. (2020). *El ABC de los fenómenos perturbadores*. Disponible en: http://www.preparados.cenapred.unam.mx/fenomenos

CENAPRED. (2021). *Infografía "Tormentas Eléctricas"*. Disponible en: http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/302-INFOGRAFATORMENTASELCTRICAS.PDF

CENAPRED. (2021). *Tormentas Severas*. Disponible en: http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/189-FASCCULOTORMENTASSEVERAS.PDF

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2018). *Monitor de sequía en México*. Disponible en: https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Drenaje Pluvial Urbano*. México, D.F.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2024). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Saltillo-Ramos Arizpe (0510) Estado de Coahuila*.

Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2015). *Índices de Marginación*. Recuperado de http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indices_de_Marginacion_Publicaciones

Consejo Nacional de Población (CONAPO). (s.f.). *Proyecciones de la Población de los Municipios de México 2015-2030*. Recuperado de https://www.gob.mx/conapo/documentos/proyecciones-de-la-poblacion-de-los-municipios-de-mexico-2015-2030

Cordero Devesa, D. A., & Jiménez Espinosa, M. (2021). *Actualización de capas de índice de peligro y riesgo del ANR por ondas cálidas y ondas gélidas* (Actividad 4-1). Centro Nacional de Prevención de Desastres, Subdirección de Riesgos por Fenómenos Hidrometeorológicos.

Cutter, S. L. (2017). *Community resilience to natural disasters*. Cambridge University Press.

Herrera Alanís, J. L. (2012). *Análisis de las olas de calor en la República Mexicana*. UNAM.

INEGI. (2011). *Censo Población y Vivienda 2010*.

INEGI. (2016). *Encuesta Intercensal 2015*.

INEGI. (2021a). *Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México*. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/

INEGI. (2021b). *Censo Población y Vivienda 2020*.

ITER, 2010. Sistema de Integración Territorial, ITER, Censo de población y vivienda 2010, Principales resultados por localidad. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

ITER, 2020. Sistema de Integración Territorial, ITER, Censo de población y vivienda 2020, Principales resultados por localidad. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Jiménez Espinosa, M., Matías Ramírez, L. G., García Jiménez, F., Vázquez Conde, M. T., Mendoza Estrada, D. R., & Renner, S. (s.f.). *Capítulo 3: Metodología*. Documento técnico.

Johnson, M., Smith, A., & Miller, R. (2021). *Geological phenomena and human civilizations*. Earth Science Today.

Lavell, A., Oppenheimer, M., Diop, C., Hess, J., Lempert, R., Li, J., ... & Muir-Wood, R. (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Marín, S. R. S., & Osorio, J. P. (2017). Efectos de la vegetación en la estabilidad de laderas: una revisión. *Revista Politécnica, 13*(24), 113-126.

McDonald, J., & Mehta, K. C. (2006). *A Recommendation for an Enhanced Fujita Scale (EF-Scale)*. Wind Science and Engineering Research Center. Disponible en: https://doi.org/10.2172/937850

Miller, R., & Johnson, A. (2018). *Hydrometeorological processes and water resources management*. Water Resources Journal.

Ramírez Rodríguez, P. A., & Toledano Gutiérrez, F. X. (2004). Bases técnicas para el cálculo de la prima y pérdida máxima probable en los seguros de terremoto en México. Aplicación a estructuras tipo casa de mampostería (Tesis de licenciatura). Universidad de las Américas Puebla, Departamento de Actuaría.

Ramos Zúñiga, L. G., Medina-Ferrusquía, H. C., & Montalvo-Arrieta, J. C. (2012). Patrones de sismicidad en la curvatura de Monterrey, noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 29*(2), 572-589.

Rodríguez, T. D. A. (2015). *Incendios de vegetación: Su ecología, manejo e historia* (Vol. 2). Biblioteca Básica de Agricultura.

Smith, A. (2020). *The planet's dynamic systems: A comprehensive overview*. Earth and Environmental Sciences.

UNDRR. (2020). *Terminology on Disaster Risk Reduction*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction.

UNISDR. (2015). *Global assessment report on disaster risk reduction*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction.

Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., & Davis, I. (2004). *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. Routledg

Saltillo
Gobierno Municipal
2022 - 2024

ATLAS DE RIESGOS
DEL MUNICIPIO DE SALTILLO
2024

COAHUILA PA' DELANTE

Saltillo nos une.

IMPLAN
INSTITUTO MUNICIPAL DE PLANEACIÓN SALTILLO