



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

**CARTOGRAFÍA TEMÁTICA DEL RIESGO POR INUNDACIÓN
EN LA CUENCA DEL RÍO MISANTLA, VERACRUZ**

Tesis

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

P R E S E N T A :

Víctor Suárez González



DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Jesús Abraham Navarro Moreno

Ciudad Universitaria, CD. MX., 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

A la vida por permitirme ver este trabajo terminado, así como a todas las personas que he conocido, de alguna manera, al menos un atisbo de ellos forman parte de mí. Todos mis profesores, compañeros, familiares y amigos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, que provee de conocimientos y perspectivas, no sólo para ser un buen profesionista, sino una buena persona.

A mi asesor, Dr. Abraham, por aquellos días de clases tan inspiradores, algunas tardes de charla donde apenas empezábamos a imaginar lo que podría ser este trabajo. Por todo su tiempo y dedicación, sus consejos, recomendaciones y buenos deseos.

A los miembros que conforman el sínodo: Dr. Propin, Dra. Mary Frances, Mtra. Cecilia y Mtra. Flavia. Por su participación y observaciones tan valiosas.

Al Mtro. Víctor Manuel, que en sus clases de Hidrogeografía vislumbre lo armonioso del planeta ¡Qué vivan las cuencas hidrográficas!

A todos los artistas que contribuyeron con la música de fondo al unísono de las teclas. Las letras tristes (algunas no tanto) con ritmos felices de The Smiths, The Cure, Fobia, The Drums, Caífanés, Paramore, Oasis, The Killers, Café Tacuva, The Beatles y otros.

A los creadores de contenido y podcast que me acompañaron en varias mañanas de poca inspiración. Luisito Radio, Criss Martell y sus historias interminables, así como los aportes y experiencias de tanta gente a Relatos de la Noche y la Mano Peluda.

A mis abuelitos. Por su apoyo y siempre hacernos sentir bienvenidos.

A la familia Chávez García, los primos y los “Tatis”. Por muchas tardes de risas y convivencia.

A mis papás. Mi mamá quien siempre dispuso del mundo y un poco más para permitirme soñar y maravillarme de todo lo que me rodeaba; a mi papá, por apoyarme y acompañarme hasta donde la vida nos alcanzó.

A mi hermano. Quien hizo todo este proceso más cotorro, aunque por momentos lo retrasó entre chistoretes y películas rancias.

A mi muchacha bonita, Mar. Por la dicha de tenerte en mi vida y por tantos días en los que hemos compartido nuestra felicidad. Por tu sensatez y bondad, eres una mujer maravillosa y te amo.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1. Posicionamientos teórico-conceptuales.....	4
1.1 La inserción de la Cartografía Temática en la Cartografía	4
1.1.1 Antecedentes y relevancia histórica de la Cartografía	4
1.1.2 Cartografía	9
1.1.3 La cartografía topográfica y la temática.....	10
1.1.4 Conceptualización de la Cartografía Temática	11
1.1.5 El mapa	12
1.1.6 El mapa temático.....	13
1.1.7 Elementos principales en la elaboración de cartografía temática.....	13
1.1.8 Generalización cartográfica	15
1.1.9 Métodos de representación cartográfica.....	16
1.2 La Geografía de los Riesgos y la Cartografía Temática	25
1.2.1 Geografía de los Riesgos.....	25
1.2.2 Términos concernientes al Riesgo	28
1.2.3 El Riesgo y la Gestión del Riesgo.....	30
1.2.4 Cartografía y Geografía de los Riesgos	31
1.2.5 Inundaciones	33
1.3 Expresiones temáticas del riesgo por inundación	35
1.4 Vínculo de las inundaciones con el manejo integral de cuencas.....	54
Capítulo 2. Panorama de las inundaciones y caracterización de la cuenca del río Misantla.....	58
2.1 Panorama de las inundaciones	58
2.2 Contexto territorial.....	62
2.2.1 Características geográficas de Veracruz	62
2.2.2 Generalidades sociales de Veracruz.....	66
2.2.3 Organización hidrológica.....	68
2.3. Características físicas de la cuenca del río Misantla	69

2.3.1 Ubicación geográfica	69
2.3.2 Contexto fisiográfico.....	71
2.3.3 Características del relieve	73
2.3.4 Condiciones climáticas	75
2.3.5 Edafología	78
2.3.6 Uso de suelo y vegetación.....	81
2.3.7 Características hidrográficas	83
2.4 Características sociales de la cuenca del río Misantla	87
2.4.1 Demografía	87
2.4.2 Distribución de la población	88
2.4.3 Características socioeconómicas.....	91
2.4.4 Actividades productivas	93
2.5 Eventos de inundación en la cuenca del río Misantla	99
2.5.1 Causalidades	99
2.5.2 Evento del año 1955.....	101
2.5.3 Evento del año 1995.....	101
2.5.4 Evento del año 1999.....	103
2.5.5 Evento del año 2005.....	104
2.5.6 Evento del año 2010.....	105
2.5.7 Evento del año 2013.....	107
2.5.8 Años recientes	108
Capítulo 3. Cartografía temática del riesgo por inundación en la cuenca del río Misantla.....	113
3.1 Estrategia metodológica.....	113
3.2 Planeación de los mapas temáticos	116
3.2.1 Necesidad de existencia del mapa temático	116
3.2.2 Tema del mapa.....	116
3.2.3 Escala, proyección cartográfica y grado de generalización	116
3.2.4 Propósito e intencionalidad del mapa	117

3.2.5 Público objetivo	117
3.2.6 Formato y forma de producción.....	117
3.2.7 Difusión.....	118
3.3 Revisión de metodologías	119
3.3.1 Peligrosidad.....	119
3.3.2 Vulnerabilidad.....	123
3.3.3 Riesgo	126
3.4 Procedimientos específicos	130
3.4.1 Peligrosidad.....	130
3.4.2 Vulnerabilidad.....	148
3.4.3 Riesgo	164
3.5 Técnicas destacadas ocupadas para la generalización cartográfica	171
3.5.1 Clasificación	171
3.5.2 Simplificación	171
3.5.3 Suavizado	172
3.5.4 Selección	172
3.6 Especificaciones del diseño y composición del mapa temático	175
3.6.1 Encuadre de la representación.....	175
3.6.2 Coordenadas.....	175
3.6.3 Escala cartográfica	175
3.6.4 Título.....	175
3.6.5 Leyenda.....	176
3.6.8 Rótulos	176
3.7 Riesgo por inundación en la cuenca del río Misantla	177
3.7.1 Análisis mapas temáticos	177
3.7.2 Interpretación mapas temáticos.....	179
Conclusiones	182
Referencias.....	187

Índice de figuras

Figura 1.1. Tipos de inundaciones de acuerdo con CENAPRED.....	34
Figura 1.2. Expresión de mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo en Mezquital del Oro, Zacatecas (zona urbana).....	43
Figura 1.3. Expresión de mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo en Santa Maria Jajalpa, Estado de México (zona rural).....	43
Figura 1.4. Expresión de mapas de peligro, vulnerabilidad y percepción del riesgo en La Candelaria, Veracruz (cartilla de autoevaluación).....	44
Figura 1.5. Expresión de mapas de zonas inundables, vulnerabilidad y costo por inundación, río Atejamac, Guadalajara.....	44
Figura 1.6. Mapa de susceptibilidad de peligro, vulnerabilidad global y riesgo en Motozintla de Mendoza, Chiapas.....	45
Figura 1.7. Expresiones de mapas de precariedad urbana y correlación de modelos de inundación y precariedad urbana en la ciudad de Morelia.....	45
Figura 1.8. Expresión de mapa de peligro y mapa de vulnerabilidad por tipo de vivienda en Tuxtla, Chiapas.....	46
Figura 1.9. Expresión de mapas de componentes del riesgo.....	47
Figura 2.1. Algunas de las principales inundaciones de 2000 a 2010.....	59
Figura 2.2. Mapa de áreas inundables en el mundo (periodo de retorno de 100 años).....	60
Figura 2.3. Población mundial afectada por riesgo de inundación (periodo de retorno de 100 años).....	61
Figura 2.4. Regiones de Veracruz.....	63
Figura 2.5. Localización de la cuenca del río Misantla.....	70
Figura 2.6. Fisiografía de la cuenca del río Misantla.....	72
Figura 2.7. Relieve de la cuenca del río Misantla.....	74
Figura 2.8. Unidades climáticas de la cuenca del río Misantla.....	77
Figura 2.9. Edafología de la cuenca del río Misantla.....	80
Figura 2.10. Uso de suelo y vegetación de la cuenca del río Misantla.....	82
Figura 2.11. Hidrografía de la cuenca del río Misantla.....	85
Figura 2.12. Caudal de la cuenca del río Misantla.....	86

Figura 2.13. Pirámide poblacional de la cuenca del río Misantla (2020).....	88
Figura 2.14. Distribución de la población en la cuenca del río Misantla.....	90
Figura 2.15. Diferencia PEA y PEA Inactiva por sexo en la cuenca del río Misantla.....	92
Figura 2.16. Discapacidades en la población de la cuenca del río Misantla.....	92
Figura 2.17. Cobertura de servicios de salud para la población de la cuenca del río Misantla.....	93
Figura 2.18. Año agrícola 2020 en los municipios de la cuenca del río Misantla.....	95
Figura 2.19. Ciclo agrícola perenne 2020 en los municipios de la cuenca del río Misantla.....	96
Figura 2.20. Hectáreas cosechadas por municipio (año agrícola OI + PV) en la cuenca del río Misantla.....	97
Figura 2.21. Hectáreas cosechadas por municipio (Ciclo Perenne) en la cuenca del río Misantla.....	97
Figura 2.22. Carne en canal (toneladas) por municipio de la cuenca del río Misantla.....	98
Figura 2.23. Ciclones tropicales en Veracruz.....	100
Figura 2.24. Zonas inundables en la cuenca del río Nautla y alrededores.....	103
Figura 2.25. Sistema de Alerta Temprana en la cuenca del río Misantla.....	104
Figura 2.26. Caída puente Misantla-Xalapa, 2013.....	107
Figura 2.27. Velocidad x Profundidad (m^2/s) en la localidad de Misantla.....	108
Figura 2.28. Sitios de importancia en la cuenca del río Misantla; a) restauración, b) protección y c) producción de agua.....	109
Figura 2.29. Localidades susceptibles a inundación en la zona baja de la cuenca del río Misantla.....	111
Figura 2.30. Localidades susceptibles a inundación en la zona centro de la cuenca del río Misantla...	111
Figura 3.1. Estrategia metodológica.....	115
Figura 3.2. Síntesis de peligrosidad.....	123
Figura 3.3. Síntesis de vulnerabilidad.....	126
Figura 3.4. Síntesis de riesgo.....	129
Figura 3.5. Susceptibilidad de inundación de acuerdo con fuentes oficiales.....	131
Figura 3.6. Modelación unidimensional asociada a un periodo de retorno de 20 años.....	138
Figura 3.7. Susceptibilidad de inundación en la cuenca del río Misantla.....	141

Figura 3.8. Índice topográfico de humedad (TWI) en la cuenca del río Misantla.....	143
Figura 3.9. Peligro por inundación en la cuenca del río Misantla.....	145
Figura 3.10. Vulnerabilidad social en la cuenca del río Misantla.....	152
Figura 3.11. Vulnerabilidad económica en la cuenca del río Misantla.....	154
Figura 3.12. Vulnerabilidad física en la cuenca del río Misantla.....	156
Figura 3.13. Vulnerabilidad ambiental en la cuenca del río Misantla.....	159
Figura 3.14. Vulnerabilidad total en la cuenca del río Misantla.....	161
Figura 3.15. Riesgo por inundación en la cuenca del río Misantla.....	166

Índice de cuadros

Cuadro 1.1. Hitos tecnológicos en la cartografía	8
Cuadro 1.2. Expresiones de los métodos de representación cartográfica	22
Cuadro 1.3. Metodologías para la estimación de la peligrosidad.....	49
Cuadro 1.4. Metodologías para la estimación de la vulnerabilidad	51
Cuadro 2.1. Clima de las estaciones climatológicas de la cuenca del río Misantla	75
Cuadro 2.2. Índices del cauce principal	83
Cuadro 2.3. Transición demográfica.....	87
Cuadro 2.4. Densidad de población por municipio.....	89
Cuadro 2.5. Localidades por zona funcional.....	91
Cuadro 2.6. Peligros básicos de peligros naturales a nivel municipal	109
Cuadro 3.1. Relación condiciones de inundación y vulnerabilidad	127
Cuadro 3.2. Parámetros fisiográficos requeridos la metodología de zonas urbanas	132
Cuadro 3.3. Parámetros fisiográficos requeridos la metodología de zonas rurales.....	132
Cuadro 3.4. Isoyetas asociadas al periodo de retorno y tiempo de concentración	134
Cuadro 3.5. Intensidad de la precipitación asociada a diferentes periodos de retorno.....	135
Cuadro 3.6. Caudal estimado con la fórmula racional	136
Cuadro 3.7. Caudal estimado con ecuación potencial.....	137
Cuadro 3.8. Clasificación y asignación de valores para la susceptibilidad.....	139

Cuadro 3.9. Condiciones de susceptibilidad	140
Cuadro 3.10. Niveles de peligrosidad	144
Cuadro 3.11. Simbolismo asociado a la expresión de la peligrosidad	146
Cuadro 3.12. Índice de Desarrollo Humano por municipio	148
Cuadro 3.13. Índice de marginación por municipio.....	149
Cuadro 3.14. Nivel de vulnerabilidad por municipio.....	150
Cuadro 3.15. Proximidad al cauce	157
Cuadro 3.16. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado	157
Cuadro 3.17. Simbolismo asociado a la expresión de la vulnerabilidad total.....	162
Cuadro 3.18. Nivel de riesgo	164
Cuadro 3.19. Simbolismo asociado a la expresión final del riesgo	168
Cuadro 3.20. Simbolismo adoptado para las referencias geográficas.....	169
Cuadro 3.21. Técnicas de generalización implementadas	173

Introducción

Las inundaciones son un fenómeno que tiene repercusión directa en la vida de los seres humanos; son provocadas y agravadas por distintos factores, tanto naturales como sociales. México, debido a su ubicación y características, es uno de los países donde este fenómeno tiene una constante presencia; entre los estados más afectados destaca Veracruz, ya que una quinta parte de su población se halla establecida en zonas inundables.

La cuenca del río Misantla, localizada en la región hidrológica del Norte de Veracruz, tiene un área de 588 km². Comprende los municipios Altotonga, Chiconquiaco, Colipa, Landero y Coss, Miahuatlán, Misantla, Nautla, Tenochtitlán, Tlacolulan, Tonayán, Vega de Alatorre y Yecuatla, sumando una población de 63 119 habitantes distribuidos en 198 localidades. La cuenca destaca por poseer los registros de precipitación anual más altos de su respectiva región hidrológica; los climas semicálido subhúmedo y cálido subhúmedo, que corresponden a su variabilidad altitudinal, representan el primer factor que propicia el fenómeno.

No obstante, ante la evidente exposición en la se encuentra la población, la cartografía temática del riesgo por inundación no se ha generado en la cuenca, pese a que han habido eventos de inundación importantes originados en años recientes por fenómenos hidrometeorológicos, como el huracán *Roxana* en 1995, el huracán *Stan* en 2005, el huracán *Karl* y *Matthew* en 2010, y las tormentas tropicales *Barry* y *Fernand* en 2013, los cuales han ocasionado, desde daños materiales, hasta la pérdida de vidas. Los mapas referentes al riesgo por inundación desarrollados en la región han tenido carencias, pues no consideran de manera explícita las relaciones entre la población y el territorio; por lo tanto, el mapa temático busca plantear una perspectiva integral, considerando la cuenca como un sistema que funciona de acuerdo con los elementos y actores que interactúan en él, para así facilitar la tarea de identificar causalidades y elementos que agravan el riesgo y proporcionar, tanto a la población como a las instituciones encargadas de la gestión y mitigación del riesgo, una herramienta que mejore su capacidad de respuesta.

Ante el panorama del área de estudio resulta imperativo proporcionar más instrumentos de mitigación y respuesta ante el riesgo y eventual desastre; en este sentido, la cartografía se desempeña como un medio gráfico e inmediato para la comunicación del riesgo con el propósito de reducirlo.

La realización de la cartografía temática acotada al riesgo por inundación facilitará la identificación de los espacios susceptibles a la ocurrencia de este fenómeno, además que se complementa al abordar la perspectiva referente a la vulnerabilidad de la población de acuerdo con las características de sus asentamientos y condición socioeconómica; por lo tanto, el enfoque cartográfico a la geografía de los riesgos facilita la comprensión de los elementos que interactúan en el territorio, proporcionando información relevante en la conciencia de los alcances y límites en la tarea de la

propuesta de estrategias. Además de apoyar a la mejora de la capacidad de respuesta de instituciones y población, aporta en la construcción de la planificación territorial a mediano y largo plazo.

El aporte a la cartografía está en su contribución a esclarecer y aumentar la gama de posibilidades en el ejercicio de abstraer, representar y comunicar, específicamente en el fenómeno de inundación, aunado a que se presenta la recopilación y síntesis de las diversas metodologías que giran en torno a la elaboración de mapas temáticos y su simbolismo adaptados al contexto de la región. Para la geografía de los riesgos, las expresiones cartográficas enriquecen la gama herramientas para la gestión del riesgo.

Es imperativo entender espacialmente las relaciones físicas y sociales que acontecen en una cuenca y cómo influyen entre sí sobre el grado de vulnerabilidad de la población ante el peligro por inundación.

En la presente investigación se plantea la siguiente hipótesis: la cartografía temática del riesgo por inundación en la cuenca del río Misantla, Veracruz, revela que las localidades Misantla, Loma Bonita y Raudal de las Flores, a pesar de situarse en los márgenes del río, presentan una diferencia discernible en su riesgo debido a sus dinámicas socioeconómicas y culturales propias, en tanto que la lejanía relativa de las localidades Barra de Palmas, El Ciervo y Plan de la Vega deriva en una escasa oportunidad de recibir ayuda proveniente de las ciudades principales.

Por lo tanto, el objetivo general consiste en generar la cartografía temática del riesgo por inundación en la cuenca del río Misantla, Veracruz; para lo cual, esta investigación se sustenta en el cumplimiento de diferentes objetivos particulares:

- Identificar posiciones teórico-conceptuales referentes a la Cartografía Temática y el riesgo por inundación.
- Distinguir expresiones cartográficas temáticas de la Geografía de los Riesgos.
- Analizar metodologías de la elaboración de mapas de riesgo por inundación.
- Exponer las características físicas y sociales de la cuenca del río Misantla.
- Recopilar eventos previos de inundación y la cartografía existente.
- Integrar, mediante Sistemas de Información Geográfica, información del área de estudio relacionada con las inundaciones.
- Explicar el simbolismo cartográfico generado.
- Revelar el mapa temático de riesgo por inundación en la cuenca del río Misantla.

La presente se halla estructurada en tres capítulos: el primero contiene los fundamentos teórico-conceptuales de las disciplinas involucradas; se proporcionan antecedentes históricos, una descripción de su desarrollo epistemológico, así como una reflexión sobre los términos y métodos que han surgido

de éste. Del mismo modo, se evalúa sobre la compatibilidad de la cartografía con otras disciplinas y sus posibles aportes para la gestión del territorio y la reducción del riesgo.

En alusión al segundo capítulo, se aborda el panorama mundial del fenómeno de las inundaciones; después, en relación con el área de estudio, se establece un contexto geográfico estatal; asimismo, con apoyo de diferentes mapas temáticos, se describen las principales características físicas y socioeconómicas de la cuenca del río Misantla. Luego, se realiza un listado de los eventos de inundación ocurridos en el área de interés y se esbozan sus causalidades y acciones en la gestión del riesgo.

En lo concerniente al tercer capítulo, se establece una propuesta metodológica y se esclarecen los planteamientos y requerimientos para los diferentes mapas temáticos. Del mismo modo, se valoran diferentes metodologías referentes a los componentes del riesgo; se ahonda en la adaptación de éstas y las especificaciones de construcción, simbolismo y generalización de los mapas de peligro, vulnerabilidad total y riesgo. Por último, sobre la base del mapa de riesgo por inundación, se realiza un análisis e interpretación.

Capítulo 1. Posicionamientos teórico-conceptuales

En este capítulo se exploran los elementos principales que competen a la Cartografía y la Geografía de los Riesgos; se abordan aspectos históricos haciendo hincapié en los componentes epistemológicos de ambas disciplinas. Eventualmente, se proporcionan diferentes definiciones afines a la Cartografía y la Geografía de los Riesgos, así como sus respectivos objetos de estudio.

Luego, a través del fenómeno de las inundaciones, se vislumbra coexistencia entre la disciplina cartográfica y el estudio de los riesgos, cuya presentación se hace explícita por medio de un conjunto de expresiones temáticas, el análisis de la representación y sus métodos de construcción.

Por último, se introducen conceptos sobre el manejo integral de cuencas, la concurrencia de los aportes cartográficos, conocimientos del territorio y medidas de prevención que llevan a una adecuada planeación y, por lo tanto, una reducción del riesgo.

1.1 La inserción de la Cartografía Temática en la Cartografía

A continuación, se establece la importancia de la cartografía para el ser humano, esto por medio de aludir a algunas implicaciones y alcances que tuvo para diferentes civilizaciones; se hace énfasis en su variable concepción y desarrollo, cuyos aportes le han adjudicado su consolidación como disciplina inherente de la Geografía.

Después, se dedica un apartado a exponer algunas de las propuestas que definen a la cartografía y el mapa, seguidamente se abordan las corrientes que se han suscitado, vislumbrando sus diferencias. Por último, se esclarecen los elementos esenciales, en el proceso y materialización de la cartografía temática, para así proceder a exponer y resumir los métodos de representación cartográfica.

1.1.1 Antecedentes y relevancia histórica de la Cartografía

La cartografía es parte primordial del ser humano y de su desarrollo a través de la historia. La principal materialización de esta disciplina se hace por medio de los mapas, como una abstracción de la realidad espacial; la aparición de estos archivos precede a la escritura, fungiendo como utensilio para ejecutar algunas de las necesidades más básicas, muchos de los primeros conocimientos plasmados corresponden a la identificación de distancias, el establecimiento de rutas y localizaciones de especial interés (Montoya, 2007; Girón, 2018).

La “espacialización” que han desarrollado los individuos es considerada como uno de los rasgos más antiguos, sino es que el primero y más primitivo (Lewis citando a Jaynes en Delgado, 2002), que es intrínseco a la conciencia humana, tanto de manera individual como colectiva, realizando una síntesis del mundo en el que se desenvuelve y siendo el lenguaje cartográfico esencial para la construcción del conocimiento (López, 2015).

Los saberes que se generan en relación con las experiencias y circunstancias del entorno son un requisito que ha posibilitado la consolidación de nuevas oportunidades, mejoras y adaptación (López, 2015). Dichos conocimientos existentes, además de coadyuvar la cobertura de necesidades, han impulsado la generación de nuevos, y reflejo de ello son los cambios tan significativos en los modos de vida y la conformación de la sociedad.

Wood (1992) alude a una serie de hechos, como lo son la agricultura, la actividad comercial, la propiedad privada y la conformación del estado nación, los que develan la evolución de la sociedad inmersa en la necesidad de un conocimiento espacial y los productos que devienen de él; así pues, señala que la historia es la historia de la cartografía y viceversa.

Desde que el ser humano poseía un *modus vivendi* nómada basado en la caza-recolección, su conocimiento espacial se perfila como su garantía de permanencia y subsistencia particularmente por identificar y discriminar lugares, así como trayectos con mayor o menor idoneidad en el ejercicio de sus actividades. Posteriormente, es la domesticación de plantas y animales lo que provocó un cambio en el modo de vida y, por lo tanto, una renovación de conocimientos, dinámica social y relación con el ambiente, sumado a los nuevos usos y valores dados a los productos cartográficos.

La construcción de un “verdadero mapa”, señala Girón (2018), surge de las primeras civilizaciones y concentraciones de población, cuyas circunstancias apelan a nuevos requerimientos que contribuyan a cubrir necesidades e intereses; un ejemplo corresponde al desarrollado en Mesopotamia, llamado *Mapamundi Babilonio*, pues en él se muestra el mundo conocido en aquella época, estableciendo un orden y estructura de su realidad (Brotton, 2014).

La cultura griega aporta de manera significativa en la cimentación de este conocimiento, estableciendo como propósito de su cartografía el plasmar sus saberes y el mundo que les rodeaba, surgiendo una especie de entusiasmo alrededor de los mapas con una función principal de representación, manifestando y reconociéndose como parte del mundo (Girón, 2018). Es destacable la generación de los primeros indicios con un enfoque científico y matemático para el desarrollo de sus productos cartográficos. Una de las obras más influyentes es la *Geographia de Ptolomeo* (Montoya, 2007), la cual después sería motivo de inspiración para re-impulsar el progreso de la disciplina.

En Egipto, sus habitantes se diferencian por las actividades exploratorias, generando una consciencia que permitió la disposición de relaciones con otras culturas, ya fueran conflictivas o beneficiosas (Ortega, 2000). Algunas evidencias arrojan auspicios de interés por otros temas, como lo es el emplazamiento y distribución de su población, empleando también señalamiento y rótulos que complementaban sus documentos (Montoya, 2007).

Con respecto a la civilización china, los documentos elaborados destacan por emplear una escala que concede un gran nivel de detalle; sin embargo, el interés de representación parecía limitarse

a las fronteras del imperio (Joly, 1982). Algunas obras, referidas por Chen Siang (1980), muestran entre sus contenidos la expresión de elementos naturales y culturales, aspectos militares y reconocimiento de la configuración de los asentamientos humanos. El conocimiento plasmado en estas representaciones devela nuevas intencionalidades, así como su aptitud y potencial de uso en temas relacionados a la administración del Estado y la gestión territorial (Ortega, 2000).

Por lo anterior, se destaca la diversificación de temas que avanzan con la consolidación de las sociedades, sus relaciones y la complejidad de éstas. Ante estas evidencias arrojadas por las culturas antiguas, Montoya (2007) realiza la distinción de dos categorías basadas en la *intencionalidad* del mapa, la primera, *mapa imagen*, tiene el propósito de ser un reflejo directo de los preceptos cosmológicos, políticos e ideológicos; mientras que el segundo, *mapa instrumento*, tiene un enfoque más pragmático y de utilidad para propósitos específicos.

El conocimiento adquirido en la antigüedad sobre su entorno y relaciones con otras civilizaciones (alianzas o conflictos) fue almacenado en mapas (Nunes, Palheta, Nunes, Nogueira, 2014); no obstante, en el avanzar histórico, algunos enfoques y métodos son dejados de lado con la introducción de la *Biblia* como base del saber de la naturaleza así como influencia de los textos sagrados judeocristianos, siendo estos nuevos paradigmas los que dan forma a las representaciones y al mundo mismo (Ortega, 2000).

En Europa, durante la transición del mundo antiguo a la Edad Media, se observa una importante variación en el uso de los materiales, métodos y técnicas, así como su inclinación y énfasis, por ejemplo, para el imperio Romano, los mapas fungen un conocimiento esencial que aseguró la extensión y conservación del alcance de sus relaciones de poder; sin embargo, una vez que este régimen se ve mermado, hubo una carencia de producciones cartográficas; en contraste, durante la época medieval, la tarea cartográfica fue designada a grupos cuyos intereses recaen en cuestiones teológicas, la reproducción y difusión de las mismas (Montoya, 2007). De las obras más representativas del mundo medieval, destacan los mapas denominados “T en O”, los cuales primordialmente son simbólicos, ya que las ideas de un mundo esférico no podían admitirse debido a las particularidades inherentes de la ideología (Delgado, 2002).

El cambio de tendencia que tuvo impacto en el periodo medieval surge por los nuevos requisitos impuestos por la navegación marina, así como la exploración de territorios desconocidos, localizados tanto en el Atlántico como en el Mediterráneo (Ortega, 2000). Las nuevas condiciones de elaboración son reflejadas en los productos que priorizan la ubicación y orientación, esto demuestra el progreso de los métodos y técnicas, aunado a los indicios para la resolución de los planteamientos sobre la redondez de la Tierra (Carles, 2015).

Coetáneo a las exploraciones y la expansión marítima incursionada por Europa, entre los siglos XV y XVI, resurge un interés por la cartografía que se desarrolló en las civilizaciones antiguas. En

conjunto esta revalorización y las expediciones impulsadas reformulan la tradición cartográfica, caracterizada ahora por requisitos de precisión que faciliten la ubicación y seguimiento de los territorios (Girón, 2018). Se nutre, además, con los aportes de la cultura árabe, quienes recolectan sus experiencias de navegación en *mapas portulanos*, con énfasis en los puertos, habiendo una suerte de estandarización entre éstos (Montoya, 2007; Nunes, *et al.*, 2014).

Las tendencias de expansión atañen de manera más directa al valor de los mapas con matices políticos y económicos, en los que, por sus características, su uso fue encaminado a la generación de estrategias y legitimación de relaciones de poder (Montoya, 2007). Ya que las figuras de autoridad poseían conciencia del poder que les otorgan los mapas, erigiéndose de esta manera por su relevancia en los alcances de las acciones de gobernanza (Núñez, 2012).

Es posible aludir a la gran acumulación de información en esta época, muchos archivos compartían múltiples técnicas y herramientas; aunado a lo anterior, la Revolución Industrial y los avances que implicó, favorecieron aún más la producción, precisión y estandarización en las expresiones (Nunes, *et al.*, 2014).

Durante el siglo XVIII, en la Ilustración, existe una transfiguración fundamental en el enfoque de la cartografía, ya que se transita de una perspectiva analítica que prioriza la localización a una que se interesa por la distribución, es decir, se pasa del concepto *lugar* al de *espacio*; la precisión espacial se ve subordinada a la variación y extensión de los fenómenos, momento en que el auge de la cartografía temática tiene cabida (Robinson, Morrison, Muehrcke, Kimberling & Guptill, 1995).

El descubrimiento de América cambió radicalmente muchos de los preceptos e ideas del mundo, integrando y conformando ahora un concierto internacional y el comienzo de una dinámica relacionada con la globalización, es decir, el flujo de comercio y productos, pero también de personas e ideas.

A pesar de que la cartografía ha sido parte inherente del ser humano, a ésta no se le asignó dicho término hasta el siglo XIX (Montoya, 2007) y adquiere condición de ciencia debido a las fundaciones de las primeras Sociedades Nacionales de Geografía, las cuales tienen lugar en París y Londres, 1821 y 1830, respectivamente; pese a lo anterior, los intereses primordiales estaban inclinados hacia la nación. La internacionalización se pone en marcha varias décadas después coincidiendo con el Primer Congreso Internacional de Geografía, que se llevó a cabo en Bélgica durante 1871 (Girón, 2018).

Los párrafos anteriores apenas son un esbozo de la amplia historia de la cartografía, haciendo evidente que su existencia y relevancia son innegables, así como señalar que muchos de los puntos de reflexión que hoy son indispensables para la práctica de la cartografía en general, y la cartografía temática en particular, fueron introducidos en su momento y siguen estando presentes.

A continuación, el cuadro 1.1 suma la evolución histórica de la cartografía, esto por medio de la categorización de diferentes hitos tecnológicos que han repercutido en el proceso cartográfico. Es importante mencionar que el surgimiento de un hito no ha implicado el remplazo total del anterior, sino que conlleva una mayor gama de opciones para lograr el mismo fin (Robinson, *et al.*, 1995).

Cuadro 1.1. Hitos tecnológicos en la cartografía

Hito	Temporalidad	Características
Manual	-Primeras civilizaciones	-Predominante y más extenso. -Primeros ejercicios para familiarizarse con su entorno. -Herramientas de manejo manual (cepillos, plumas, agujas) sobre variedad de materiales (papel, seda, arcilla o metal).
Magnético	-XII en China -XV en el mundo Occidental	-Invención brújula magnética. -Provee una línea base a partir de la cual los ángulos pueden ser medidos.
Mecánico	-Siglos XV-XVI	-Aplicación de principios mecánicos. -Mayor rapidez, eficacia y reducción de costos en el ejercicio cartográfico (maquinas de grabado con motor). -Invención imprenta amplia alcances de producción y difusión.
Óptico	-Siglo XVII-XVIII	-Avance en lentes y la invención del telescopio significó una expansión y mejora de agudeza visual, y, por lo tanto, en los métodos de recolección de información. -Avance en proyección de luz en conjunto con procesos fotoquímicos mejoran la precisión. -Generación de almacenamiento y recuperación masiva de información en CDs.
Fotoquímico	-Siglo XIX	-Avances en óptica, química, litografía, fotografía y métodos de grabado. -Indicios de la percepción remota, genera una nueva forma de recopilar y reproducir información. -Impresiones a color diversifican las áreas de oportunidad para representar los distintos fenómenos geográficos.
Electrónico y medios digitales	-Siglo XX	-Práctica asistida con equipos computacionales.

		-Integración de tres componentes: equipos que presentan las operaciones (hardware), instrucciones (software) y datos que serán manipulados. -Cambios desde la obtención y generación de información hasta la mayor accesibilidad y facilidad de empleo de distintos métodos, al igual que aumentan las capacidades de almacenamiento y difusión. -Transfiguración en la manera de pensar los mapas.
--	--	---

Fuente: elaborado sobre la base de Robinson, *et al.* (1995); Moreira (1999).

1.1.2 Cartografía

El surgimiento de este término y la construcción de su conocimiento más orientado a un ámbito institucional ha implicado la propuesta de diversas definiciones, entre éstas también es permisible identificar la influencia de las tendencias epistemológicas, principalmente de la Geografía.

Fernand Joly (1986) expone dos definiciones, la primera fue adoptada por la Comisión para la Formación de Cartógrafos de la Asociación Cartográfica Internacional (ICA, por sus siglas en inglés), en la cual dice que la Cartografía tiene por objeto la concepción, preparación, redacción y realización de mapas; abarcando un conjunto de estudios y operaciones científicas, artísticas y técnicas que intervienen a partir de los resultados de las observaciones directas o de la exploración de una documentación, en el establecimiento de mapas, planos y otras formas de expresión, así como en su utilización.

La segunda definición mencionada por el autor viene fundamentada desde la perspectiva de la gráfica, constituyendo a la Cartografía como la figuración simbólica del espacio concreto, sobre el que es posible ser representado a través de signos convencionales, la expresión visual de una información cualitativa o cuantitativa dada. Procede a conjuntar las dos definiciones previas en una que dicta lo siguiente: “sistema gráfico de transcripción lógicamente ordenada sobre un plano representativo del espacio terrestre, de una información previamente recogida, analizada y reducida a sus relaciones esenciales” (p. 32).

Otra definición expone a la Cartografía como un único conjunto de transformaciones que están encaminadas a la creación y manejo de las representaciones visuales y virtuales de información espacial, a través de mapas, siendo estos una representación simbolizada de una realidad espacial, necesaria cuando las relaciones espaciales son el principal interés (Jacobson, 2006).

Por su parte Aldana & Florez (1999:232) la definen como una “ciencia a través de cuyos productos se puede transcribir gráficamente las relaciones, diferencias, similitudes, ordenación, proporcionalidad, dependencia y relaciones topológicas existentes entre datos cuantitativos o cualitativos, superficiales o tridimensionales”.

Otro enunciado, más breve, la sintetiza como “la ciencia, la técnica y el arte de la elaboración y el uso de los mapas” (Rystedt, 2015); también se alude, de manera concisa, a que, en su desarrollo académico, el mapa funge no solo como producto, sino como el mismo objeto de estudio (se cita a Eckert, 1921/1295 en Kraak & Fabrikant, 2017).

Con las definiciones anteriores se otorga un panorama de las múltiples concepciones en torno a ella, pues se le adjudican tanto matices científicos como artísticos; no obstante, también se perciben coincidencias, las cuales sirven para esclarecer su quehacer, en qué se materializa y cómo se hace.

Entre los elementos expuestos, resalta al instante el espacio, los hechos y fenómenos que tienen cabida en él, así como las relaciones que existen. Otro aspecto constante es que la Cartografía involucra información de distintas naturalezas, al igual que una serie de procesos para su materialización, desde la recopilación, hasta llegar a la representación final y su uso. El producto al que se hace alusión es principalmente el mapa, el cual también es señalado como el objeto de estudio; sin embargo, algunas definiciones extienden los alcances y sugieren otro tipo de productos que comparten la tarea de abstraer la realidad.

1.1.3 La cartografía topográfica y la temática

En la Cartografía dadas las grandes posibilidades y herramientas puestas a disposición para su desarrollo, en años más recientes se ha perfilado una divergencia de dos grandes tendencias, las cuales discrepan en los métodos, propósitos y resultados.

Por una parte, existe la cartografía topográfica, corriente que apunta a una representación del territorio de manera exacta y detallada. Moreira (1999) alude a una “cartografía pura”, que busca la exactitud del conjunto de elementos que la conforman, en contraste con otras corrientes que, como se verá más adelante, dan más relevancia a la eficacia comunicativa.

El producto de esta corriente, el mapa topográfico, es por ende una representación con un gran nivel de detalle (es así que las escalas empleadas señalan un rango aproximado de 1:10,000 a 1:100,000), priorizando en su diseño la exactitud en la ubicación, forma, dimensiones de los elementos que conforman la superficie, así como la señalización de objetos y hechos concretos que se hallan sobre él, su función es práctica para mediciones en el ámbito de la planimetría y altimetría (Joly, 1982: 24; Vozenilek, 2015).

En oposición, pero apoyándose con métodos y referencias de la corriente topográfica, la cartografía temática dirige su atención a expresar diversos fenómenos (André, Bally, Clary, Ferras & Guerin, 1990; Errazuriz, González, Henríquez & Rioscco, 1988 en Propin, 2003:88), también cabe señalar que a esta corriente de igual manera se le han adjudicado otras denominaciones como “aplicada”, “especial”, “especializada” (Blanco, 2012).

Una propuesta para identificar la tendencia temática y sus expresiones, sentencia que, se compone de “toda aquella que no es topográfica” (Ojeda, 1999:13); es pertinente, por lo tanto, destacar la condición de distinción entre ambas tendencias, pero de igual manera no omitir que existe una relación complementaria, ya que muchos de los aportes provenientes de la corriente topográfica fungen como insumo para el desarrollo de la temática.

1.1.4 Conceptualización de la Cartografía Temática

Algunas propuestas para delimitar y dotar de propia identidad a la cartografía temática la enuncian como la rama de la cartografía que describe un fenómeno en particular del que se cuenta con información (Carles, 2015); como una cartografía que está destinada a la abstracción de cualquier elemento, proceso o actividad, enfocándose en su adecuada identificación, caracterización, evaluación y representación (Ojeda, 1999: 13 y 14).

Las expresiones de los fenómenos que surgen de esta corriente se realizan a través del empleo de distintas formas y métodos, reafirmando Paira (2007) que los productos se conforman de dos elementos fundamentales, la base geográfica y su contenido “temático”. Ante el término “temático”, Blanco (2012) reflexiona que éste es el que más se ha insertado y retomado para catalogar cualquier mapa que posea un propósito diferente a la puramente cartográfica. Por su parte Propin (2003) también aborda asuntos que refieren al tema y determina que éste se constituye por referirse a una parte de la realidad, la cual se representa en el mapa, planteando a su vez el papel y características de los conocimientos (particulares o generales) según los intereses y propósitos de una investigación o contexto de estudio.

La autora Blanco (2012) establece que la presencia de la cartografía temática es equiparable a la de la misma cartografía; sin embargo, su auge comienza en el último siglo y más aún en las más recientes décadas, apoyándose con los distintos progresos de la investigación, la estadística, el tratamiento de esta información, la expresión gráfica, las técnicas de impresión y la informática.

Un aspecto distintivo en sus productos cartográficos confiere a la escala, la cual suele abarcar aquellas más pequeñas, dando, por lo tanto, una mayor relevancia a la elección de la proyección y el requerimiento de un ejercicio de generalización cartográfica (Paira, 2007).

En cartografía temática, de acuerdo con Ojeda (1999), se pueden identificar tres grandes grupos; correspondiendo el primero a una cartografía de *inventario*, que refiere a la detección y caracterización de cualquier elemento de la realidad; el segundo, de *evaluación*, que a través del tratamiento integral de las variables temáticas y la superposición, valora las propiedades del espacio para actividades o limitaciones, como lo son riesgos; el tercer grupo lo denomina *normativo*, cuyas expresiones plasman las decisiones territoriales adoptadas de carácter informativo y preventivo.

La corriente predominante en la cartografía temática es el enfoque comunicacional o semiológico, pues representa el objetivo último de los productos, es decir, a través de distintos enfoques, que se orienten a la generación de mapas capaces de crear una comunicación eficaz de la información espacial (Aldana & Florez 1999).

1.1.5 El mapa

En las propuestas para definir a la Cartografía y la Cartografía Temática se incluye como elemento esencial al mapa, incluso insertándose como el objeto mismo de estudio, el cual puede definirse como la expresión de la superficie terrestre donde se plasman hechos y fenómenos geográficos, que facilitan el reconocimiento, entendimiento, descripción y explicación de la localización y evolución de los recursos biofísicos, ambientales y humanos. Al ser capaz de contener una gran cantidad de información espacial, ésta se debe someter a un proceso de selección y generalización para hacerla legible (Galvis, 2009).

Por su parte Ojeda (1999:14) sentencia sus alcances como “documento visual, que es capaz de transmitir una gran cantidad de información de manera instantánea”, en este mismo sentido de utilidad, Carles (2015) cita a Gago, Sánchez, Diez & Córdoba (2012:600), para colocar al mapa como un poderoso instrumento de almacenamiento y organización de información, que en su utilidad aporta a la toma de decisiones, estimula el pensamiento racional y el análisis por medio de la síntesis de la información para su elaboración.

Edney (2005) desde un enfoque de Cartografía Histórica, establece los contenidos de los mapas como hechos espaciales; siendo así esenciales para complementar el entendimiento de la historia, adquiriendo, por lo tanto, un valor de fuente de información.

Por otra parte, también existen perspectivas provenientes de la Geografía Crítica, que enuncian al mapa como un producto cultural que posee geometrías subliminales, destacando su valor en las relaciones de poder y el papel del autor como un sujeto que se ve inmerso en un contexto e intereses que configuran su realidad (Harley en López, 2015; Montoya, 2007), por lo tanto, desde este planteamiento, el mapa trasciende su significado de representar el territorio a producirlo.

Con las acepciones incluidas, es posible discernir los elementos más recurrentes y, por lo tanto, más relevantes de los mapas; primeramente el aspecto espacial, que funge como el pilar del que se deriva una multitud de temas; también, aludiendo a su proceso y resultado, se debe procurar legibilidad y priorización por medio de un ejercicio de generalización; seguidamente sobre los alcances y usos, están en función de objetivos e intereses, no obstante se reitera su idoneidad para la difusión y comprensión del entorno. Por lo tanto, para los propósitos de la presente investigación, se destacan sus matices de fuente, expresión y herramienta.

1.1.6 El mapa temático

Con respecto al producto de la cartografía temática, el mapa temático, de acuerdo con la ICA (en Paira, 2007), es aquél que está diseñado para exponer características particulares. Carles (2005), citando a la misma fuente, menciona sobre el diseño del mapa y su inclinación a la expresión de conceptos específicos, cuya finalidad es el análisis y síntesis de información para la comunicación de un fenómeno.

Un mapa temático, por la amplia gama de temas susceptibles de ser representados, tiene a su disposición una variedad equiparable de fuentes para la adquisición y reunión de información; en el tratamiento y procesamiento de los datos es de especial interés la estadística (Paira, 2007). La simbolización de un mapa temático puede implicar la integración de símbolos cualitativos o cuantitativos, con relación al fenómeno, su naturaleza y sus correlaciones (Joly, 1982).

Se espera que la exhibición y distribución de los elementos, en un mapa temático, sea intuitiva, para que provean de asistencia en el pensamiento visual de quien lo lee y en la interpretación para el apoyo de la toma de decisiones (Zeng, Du, Ren & Zhao, 2013).

Los mapas temáticos, como representación, trascienden las restricciones científicas y técnicas y, por lo tanto, juegan a su favor la variabilidad de las posibilidades de visualización de la información (Carles, 2015), ya que el elemento inherente y que le otorga sentido a este tipo de mapas es la comunicación, teniendo como fin último la comprensión y aprendizaje de las personas (López, 2015).

1.1.7 Elementos principales en la elaboración de cartografía temática

Debido a que el proceso de elaboración de cartografía implica distintas fases, como lo son la selección de información, su clasificación, simplificación, simbolización, leyenda e integración (Moreira, 1999; Zeng, *et al.*, 2013), es factible desmenuzar los elementos principales que hacen posible ir del dato geográfico al mapa.

Durante las primeras etapas de *planificación* y documentación previa, los aspectos que se deben considerar son las características inherentes de la temática, la naturaleza de la información, el propósito para el qué se utilizará (Rystedt, 2015) y a quién va dirigido principalmente, ya que éstos serán los que van a condicionar la elección de proyección, escala y símbolos (Tyner, 2010).

La *naturaleza de los datos* se refiere a la manera en que la información se encuentra disponible, pudiéndose ser ésta *cualitativa* (descripción de los atributos) o *cuantitativa* (valoraciones numéricas); o según su contexto espacial como datos *discretos* o *continuos*; o también por su previo o nulo tratamiento, *totales* o *derivados*. Estos permiten a su vez establecer rangos para su medición: *nominal* (categorías), *ordinal* (jerarquía de rango), *intervalo* (jerarquía de rango y distancia conocida) y *escala de proporción* (orden de evento y distancia conocida, incluye 0); estas mediciones funcionan como un acercamiento para estructurar lo que se observa en la realidad (Dent, Torguson & Hodler, 2007).

Por lo anterior, la *naturaleza de los datos* va a proporcionar diferentes posibilidades o limitaciones en la construcción de representaciones adecuadas, repercutiendo directamente en la elección del tipo de mapa (método de representación) y el proceso de simbolización (Kraak & Fabrikant, 2017; Dent, *et al.*, 2007).

Con respecto a la *simbolización* se pueden mencionar tres tipos de signos: íconos, índices y símbolos. En el caso de los íconos, éstos reproducen de manera real el objeto al que se refiere; los índices recurren a generar asociaciones con elementos conocidos; referente a los símbolos la relación con el objeto se determina por ley, siendo que para este último implica un mayor nivel de abstracción (Suavita & Flores, 1994). Otra categoría de símbolos, de Gómez (2004), enuncia los siguientes: signos convencionales fuera de escala puntuales, signos convencionales lineales, signos convencionales de superficie, signos evidentes, pictogramas, ideogramas, estarcido, símbolos geométricos proporcionales, símbolos de vectores y signos literales; también añade que el simbolismo cartográfico debe mantener afinación con la escala, el contenido, el tema, el objetivo y destinatario del mapa.

Los signos tienen la característica de tener un referente (elemento de la realidad), un significante (signo) y un significado (mensaje que se desea transmitir); en su integración como parte de un sistema debe existir coherencia entre los signos (sintáctica), entre éstos y lo que representan (semántica), y con el mensaje entre emisores y receptores (pragmática) (Silva, 1970 en Suavita & Flores, 1994). La generación de convenciones y códigos se rigen por estos preceptos, “formando así un conjunto que constituye el lenguaje gráfico georreferenciado” (Suavita & Flores, 1994: 30).

Es pertinente también aludir a la Teoría de la Simbolización de Bertín, o Semiología Gráfica, en la que se establece la existencia de distintas *variables visuales*: forma, tamaño, densidad, color, brillo y orientación, las cuales permiten la manipulación de las distintos signos y sus geometrías (puntos, líneas y polígonos) y, por lo tanto, mejorar su eficacia comunicativa (Zeng, *et al.*, 2013); ésta se refleja en la identificación de similitudes o diferencias entre los elementos, así como su contribución en la construcción de la percepción de los usuarios (Dent, *et al.*, 2007), según el nivel de organización, de menos a más, se enlistan como asociativa, selectiva, ordenada y ordenada cuantitativa (Carles, 2015).

Salitchev (1979) hace énfasis en la posibilidad de emplear las variables de forma y color en el signo para resaltar las diferencias cualitativas de los objetos, mientras que con el tamaño se destacan las características cuantitativas. Por su parte, Dent, *et al.* (2007) mencionan el uso del tamaño para resaltar niveles de importancia y variedad en los valores de los datos; la forma facilita identificar elementos similares; la textura, color y saturación señalan qué áreas poseen ciertas características.

La manera en que se representan los signos, en conjunto con las variables visuales, se aplica a los diferentes *tipos de implantación gráfica*: puntual, lineal y areal, los cuales estarán condicionados por las características y posicionamiento de los fenómenos en el espacio geográfico. La *implantación puntual* representa hechos localizados en un punto específico, pueden existir variaciones en su forma,

tamaño, orientación o color; con respecto a la *implantación lineal*, ésta muestra fenómenos con una estructura alineada, con la posibilidad de alterar su forma, longitud, grosor, orientación o color; en referencia a la *implantación areal*, reproduce fenómenos en formato de área y extensión, la caracterización de esta puede realizarse a través de colores/texturas sin relación o jerarquizadas (Gómez, 2004).

Sumado a lo anterior, la *composición* es una tarea en la cual se debe establecer la coexistencia de los diversos elementos, los datos, las variables, los signos y los textos, procurando su emplazamiento de forma ordenada, con apariencia armoniosa y estética, así como atendiendo a las reglas de la representación cartográfica (Pueyo, Postigo, Arranz, Zuñiga, Sebastián, Alonso & López, 2016).

1.1.8 Generalización cartográfica

La generalización se refiere al proceso que mejora la visualización de la información, esto considerando primordialmente la escala, se cambiará el nivel de detalle y se conserva solo lo importante (Vozenilek, 2015). Otros elementos que tienen relevancia son el tema, los usuarios, objetivos, particularidades del fenómeno y el territorio. Dado lo anterior se han propuesto la clasificación de métodos que competen este proceso, como lo son la simbolización, el enmascaramiento o encubrimiento, énfasis, selección, omisión, simplificación, combinación, movimiento y exageración; por las características de este ejercicio y sus implicaciones, tendrá un reflejo en todo el mapa y su simbología; por ende, se procura mantener una consistencia y se lleva a cabo como un proceso holístico (Dorling & Fairbairn, 1997).

Sobre el proceso de generalización, Salitchev (1979) lo establece como un ejercicio objetivo y de gran responsabilidad y complejidad, al llevarse a cabo, éste aumenta el valor cognoscitivo de la cartografía; resaltar los rasgos de la realidad abre la posibilidad de establecer regularidades entre los fenómenos. En contraste, los autores Dorling & Fairbairn (1997) plantean a la generalización como un procedimiento inmerso en la subjetividad, pues la manipulación de las propiedades y las impresiones generadas son derivadas de las visiones de un autor que pertenece a un contexto político y social.

Se puede distinguir la generalización estructural y conceptual, la primera se refiere a la reducción del detalle en correspondencia con la disminución de la escala y esta se muestra en la simplificación de los elementos y variables visuales; la segunda, además de estar condicionada por la escala, también tendrá relación con los objetivos predeterminados del mapa, es decir, que con este tipo de generalización da pauta para el cambio de modo de representar un fenómeno, ya sea a través del requerimiento de otro tipo de expresión gráfica o cambio de implantación (Galvis, 2007).

Durante el proceso de generalización pueden surgir contradicciones entre la búsqueda de exactitud geométrica y la coincidencia geográfica (Salitchev, 1979), pero, en todo momento, se establece como propósito la generación de “una imagen eficiente, estética y definitiva” (Dorling &

Fairbairn, 1997:39), recalcando su papel fundamental en la cartografía temática y el cumplimiento del objetivo comunicativo.

1.1.9 Métodos de representación cartográfica

Existen varios tipos de mapas temáticos, esta distinción se realiza conforme la combinación de variables gráficas acorde a un método estandarizado (Kraak & Ormeling, 2010). Algunas condicionantes para el manejo de las variables gráficas estará arraigado a los objetivos del producto cartográfico, al igual que las relaciones geográficas que se deseen resaltar, ya sean estas conocidas o generadas, según su tratamiento, como nuevo conocimiento en el mapa.

Debido a lo anterior, se han propuesto diversos métodos de representación, siendo así que a través de su construcción y expresión facilitan la lectura e interpretación de la información (Ormeling, 2015); es factible que un mismo hecho o fenómeno geográfico se puedan expresar con distintos métodos (Gómez, 2004) y, por lo tanto, es preciso conocer la “esencia, posibilidades y límites de cada uno” (Salitchev, 1979) para cumplir con los objetivos comunicativos de la cartografía temática.

Entre algunos de estos métodos se encuentran los signos fuera de escala, signos lineales, isolíneas, fondo cualitativo, diagramas localizados, puntos, áreas, signos en movimiento, cartodiagramas y cartograma, señalados y desarrollados en Salitchev (1979).

Otra propuesta por Kraak & Ormeling (2010), enlistan algunos métodos con diferente denominación como lo es el mapa corocromático, coroplético, proporcional absoluto, puntual nominal y superficies estadísticas, además de que introducen la reflexión del cambio de un método a otro y la variación de impresiones suscitadas.

Ormeling (2015) distingue métodos por las variables gráficas implicadas, sumando el método de signos proporcionales y de flujo. A pesar de que existe variabilidad en las designaciones y algunas características es posible vislumbrar coincidencias en su intencionalidad, producto final e interpretaciones.

A continuación se añade un listado de los métodos ya mencionados y sus principales características; del mismo modo, enseguida, el cuadro 1.2 ilustra lo descrito, además de sintetizar los requerimientos que atañen a la naturaleza de la información y variables visuales a través de las cuales se puede incursionar.

a) Signos fuera de escala

Este método hace manejo de las variables visuales, empleando la forma y el color para resaltar aspectos cualitativos y el tamaño para destacar las características cuantitativas. Al modificar los signos, ya sean estos geométricos, literales o evidentes. Su expresión permite hacer comparaciones entre los elementos. Algunas recomendaciones atañen a la generación de una escala (variación del tamaño de los signos) ya

sea esta de manera continua (de acuerdo con valores) o escalonada (de acuerdo con límites de intervalo) (Salitchev, 1979).

b) Mapa de puntos

Es usado para mostrar aquellos fenómenos y hechos geográficos que tienen localización en un punto real y preciso del espacio geográfico, los datos que lo componen, por lo tanto, son discretos y cada uno de ellos teniendo el mismo valor o cualidad. Su visualización permite identificar patrones de localización en la distribución y configuración espacial, es decir, áreas de dispersión, concentración, presencia y continuidad del fenómeno (Gómez, 2004; Ormeling, 2015).

Sobre la conformación del punto se sugiere reflexionar acerca del “peso”, lo que se refiere a la cantidad de objetos que lo componen, se pretende evitar la superposición para no afectar la interpretación (Salitchev, 1979). Además, la información adicional y procedimientos de ensayo y error, con atención a áreas de alta, media y baja concentración, ayudan a determinar si se ha elegido el peso y tamaño adecuado según si las impresiones concuerdan con las que se desean generar (Kraak & Ormeling, 2010; Gómez, 2004).

La autora Gómez (2004) realiza el planteamiento a un mapa que contenga una gran cantidad de datos y de variación en sus valores, teniendo como opción atribuir distintos “pesos” y tamaños para los puntos y que su construcción sea proporcional a los valores existentes; habiendo aproximaciones a métodos, expuestos por otros autores, como lo es el de *símbolos proporcionales*.

c) Mapas de información puntual nominal

Se refiere a datos puntuales que se encuentran dentro de una escala de medida nominal, es decir, de naturaleza cualitativa. Se emplean símbolos que expresan la diferencia de sus características e involucra la manipulación de variables visuales como la forma, orientación o color.

Dentro de los símbolos se pueden distinguir entre aquellos figurativos (gran alusión a la realidad) y geométricos, los primeros son empleados cuando se desea facilitar la generación de asociaciones, mientras que, en el caso de los segundos, son usados para la representación de fenómenos con mayor abstracción y su uso otorga una mayor legibilidad del producto cartográfico (Kraak & Ormeling, 2010).

d) Mapa de símbolos proporcionales

Implica el manejo del tamaño de los símbolos de acuerdo con correlaciones cuantitativas, usualmente para resaltar diferencias entre cantidades absolutas (Ormeling, 2015). Este método permite identificar con mayor facilidad la presencia e incidencia de los fenómenos.

Kraak & Ormeling (2010) describen un método denominado *método proporcional absoluto*, en el que tipo de información que se emplea son los valores absolutos discretos, válidos tanto para

localizaciones puntuales o de área, el fin del tratamiento es representar dichos datos con *símbolos proporcionales*, es decir, con símbolos de distintos tamaños que facilitan la identificación de diferencias.

e) Signos lineales

Este método se enfoca en el manejo de las geometrías lineales, en su elaboración involucra la interpretación de sus características inmersas, como lo pueden ser divisiones político-administrativas, límites geomorfológicos o márgenes de cultivo; asimismo se pueden abarcar objetos de prolongación, como lo son caminos o cauces.

La expresión de este método implica el tratamiento de las variables visuales de forma (diseño), el color y tamaño (anchura), las cuales denotan y resaltan sus características (Salitchev, 1979).

f) Isolíneas

El método de *isolíneas* se genera a partir del planteamiento que el fenómeno que está siendo representado, se caracteriza por tener una distribución continua, ya que el término isolínea, hace alusión a una línea que conecta puntos con un mismo valor (Kraak & Ormeling, 2010).

Expresar estos elementos permite caracterizar magnitud e intensidad de los fenómenos, su tendencia, en qué dirección hay un comportamiento creciente o decreciente (Kraak & Ormeling, 2010), para su construcción se debe concebir como un sistema, debido a lo que debe existir coherencia entre estas, al igual que con las propiedades del fenómeno y las relaciones con el contexto geográfico (Salitchev, 1979).

g) Fondo Cualitativo / Mapas Corocromáticos

Implica la exposición de divisiones de un territorio, elaborando una regionalización de áreas homogéneas y asignándoles un color a cada uno, su manejo tiene un enfoque cualitativo. La distinción y fijación de límites proviene del levantamiento en campo (Salitchev, 1979).

Estos mapas, también denominados *corocromáticos*, se utilizan para resaltar diferencias cualitativas, apelando a la variable color, usualmente en la confección de mapas de elementos físicos como los suelos, la vegetación o la geología (Ormeling, 2015).

Debido a que solo se involucran cualidades nominales que no guardan relación directa entre sí, se recomienda evitar generar impresiones de jerarquía entre los elementos, esto por medio del uso de colores diferentes y discernibles unos de otros (Kraak & Ormeling, 2010).

h) Cartogramas / Mapas Coropléticos

Los *cartogramas* consisten en la creación de expresiones para la representación de “el desarrollo, el comportamiento y las variaciones en intensidad media de los hechos y fenómenos geográficos

cuantitativos discretos” (Gómez, 2004:147); se basan en índices, razones, proporciones, valores relativos (en intervalos), entre otros.

En estos mapas, también pudiendo ser encontrados con la denominación de *mapas coropléticos*, un aspecto esencial, al igual que en otros métodos, es la existencia de una delimitación, por lo regular divisiones político-administrativas. A través del manejo de éstas se caracterizan los hechos y fenómenos; se apela a distintas variables visuales, como lo es el color, textura y la orientación de ésta, lo cual permite discernir diferencias entre las áreas, como una suerte de jerarquía (Kraak & Ormeling, 2010).

Se pueden distinguir dos tipos principales de estos mapas, de densidad, el cual denota proporciones donde las áreas son tomadas como el denominador, en contraste, el otro tipo no realiza la obtención de ninguna proporción. Aunado a lo anterior, es importante reflexionar la construcción de uno u otro, de acuerdo con las impresiones que se deseen generar, las cuales están inmersas en la expresividad de las áreas; no obstante, también se debe aludir a la posibilidad de, si los objetivos lo requieren, la adaptación/modificación del tamaño y forma de las áreas (Kraak & Ormeling, 2010).

i) Mapa de áreas

El fin del método de áreas es destacar las regiones en las que el fenómeno tiene presencia. La distribución puede ser extensa y continua o dispersa, dependiendo de las particularidades del fenómeno. En la representación de las áreas y sus límites se dispone de distintas variables visuales como el tamaño o forma de los contornos, color de las áreas o el uso de líneas o signos en el interior y variación en su orientación para resaltar diferencias, asimismo se menciona el uso de rótulos y textos que complementen la representación (Salitchev, 1979).

j) Superficies estadísticas

Se refiere a una representación de datos que son de naturaleza cuantitativa, el producto resultante es tridimensional y también se le denomina un *modelo de información o superficie estadística*.

La principal ventaja consiste en que otorga un panorama de la tendencia y comportamiento de los datos, también la visualización de la imagen generada es exagerada, por lo tanto, ésta facilita la interpretación e inserción en la memoria de los usuarios (Kraak & Ormeling, 2010).

k) Diagramas locales

Los *diagramas locales* aluden a mapas que cuentan con gráficos en determinados puntos, los cuales suelen ser estacionales o periódicos y extensos en superficie, su empleo funge como complemento a la información ya proporcionada (Salitchev, 1979).

Otra denominación es la de *mapas de diagramas* y se sentencian como aquellos que “simplemente contienen diagramas” (Kraak & Ormeling, 2010:146), se recomienda que la localización de éstos sea representativa y coherente con el diseño del mapa y el contexto geográfico.

Algunos tipos de diagramas comprenden los lineales, de gráfico de barras subdividida de forma proporcional, los histogramas que emplean columnas contiguas, de área subdividida, de flujo, entre otros (Kraak & Ormeling, 2010).

l) Cartodiagramas

Este método se apoya del uso de diagramas, a diferencia del de *diagramas locales* y *mapas de diagramas*, en los *cartodiagramas* los gráficos se establecen por áreas o divisiones establecidas, siendo relevante la existencia de estos límites, con el propósito de destacar las características del fenómeno dentro de estos objetos o entidades. Los diagramas utilizados pueden ser lineales, de superficie o volumen (Salitchev, 1979).

El uso principal de los *cartodiagramas* es para resaltar la distribución, mas no la localización, de los hechos y fenómenos geográficos que son de tipo discreto. La ventaja del método es que facilita la visualización y proceso de asociaciones, comparaciones y exposición de relaciones espaciales del fenómeno. La construcción de los gráficos requiere como insumo estadísticas socioeconómicas o físicas (Gómez, 2004).

Sobre los tipos de *cartodiagramas*, Gómez (2004) coincidiendo con Salitchev (1979), atañe a los *lineales* (barras horizontales o verticales), su longitud es proporcional a los valores y facilita las comparaciones dinámicas; los de *superficie* (círculos, cuadrados, triángulos) cuyo tamaño es proporcional, tienen la ventaja de ocupar menos espacio y así facilitar su manejo e inserción armoniosa con el resto de elementos del mapa; los de *volumen* (esferas o cubos), su utilización es recomendable cuando exista una gran variabilidad y oscilación en los valores de los datos. En adición la autora menciona los tipos de diagramas que son empleados, simples, simples con estructura, de dos series de datos opuestos, complejos con varias series de datos, combinados y con dinámica.

Este método puede coexistir con otros que apelan al manejo del tamaño proporcional de sus elementos y símbolos, esto siempre que existan las condiciones adecuadas y coherentes con la naturaleza de la información, la escala, el objetivo y asignación del mapa (Gómez, 2004).

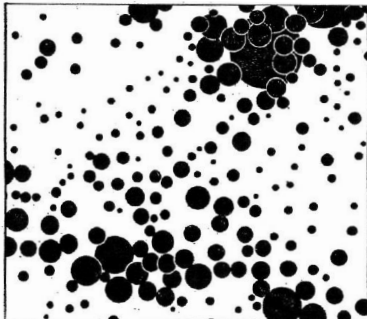
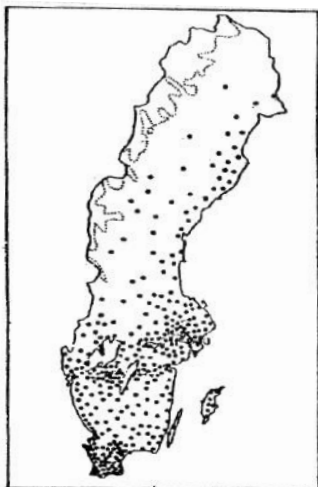
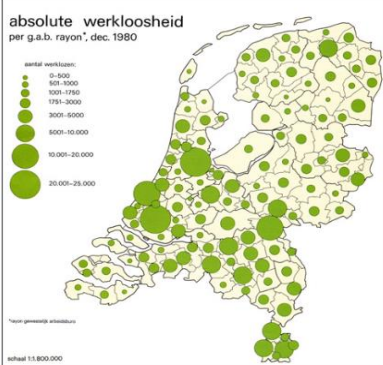
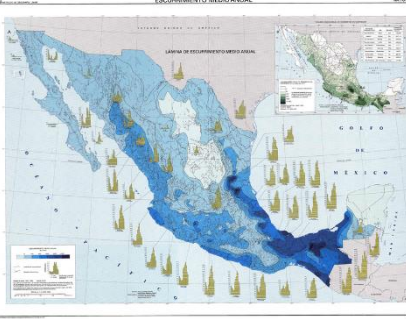
m) Signos en movimiento / Mapas de flujos

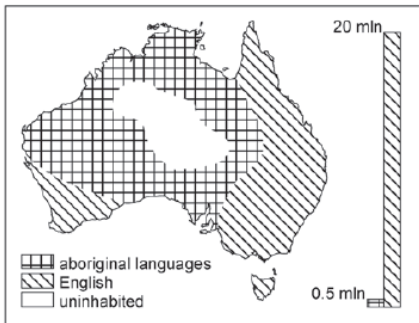
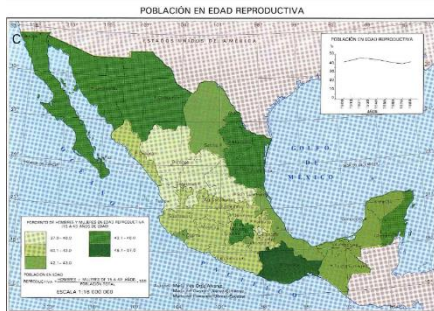
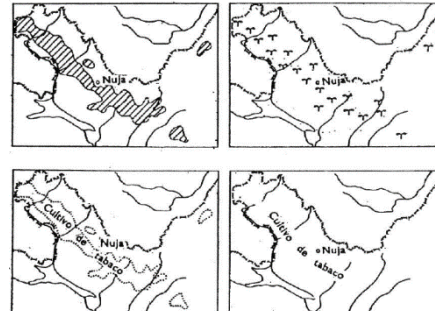
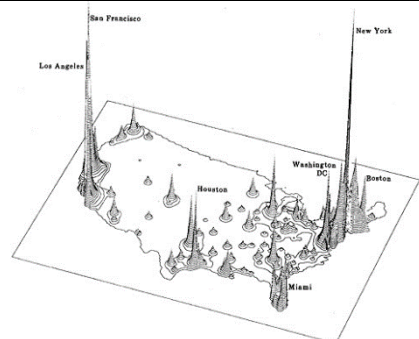
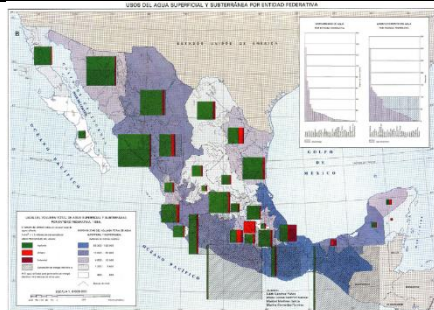
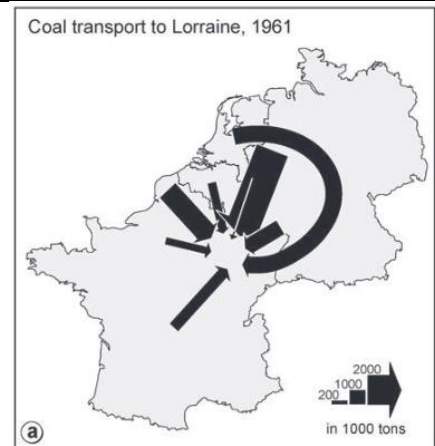
Se utiliza para revelar fenómenos que involucren cualquier tipo de movimiento, pudiendo ser estos naturales, políticos o sociales. Es posible emplear distintos signos, como lo son puntos, aunque más usualmente se aplican lineales; a través de su procesamiento con las variables visuales, tamaño, forma y/o color, permiten generar una simbolización que proporciona información complementaria de cantidades, direcciones y/o velocidades (Salitchev, 1979).

Estos mapas, también denominados *mapas de flujos*, además de evocar movimientos en el espacio geográfico, también expresan relaciones, conexiones y articulación entre los elementos involucrados, contribuyendo a la estructura del fenómeno al disponer de información del origen, destino, forma, distancia, patrones e intensidad (Gómez, 2004).

De acuerdo con los autores, Kraak & Ormeling (2010), el símbolo de flecha es el más útil, ya que con este se puede señalar la ruta y dirección que tiene cierto fenómeno e incluso permisible denotar aspectos de cantidad en movimiento. Asimismo, Ormeling (2015) señala la posibilidad de complementar la función de comunicar cantidad a través de la implementación de *símbolos proporcionales*.

Cuadro 1.2. Expresiones de los métodos de representación cartográfica

a) Signos fuera de escala		b) Mapa de puntos		c) Mapa de información puntual nominal		
Información cualitativa y cuantitativa.		Información cuantitativa.		Información cualitativa.		
-Forma de signos. -Color de signos.		-Forma de los signos.		-Forma de signos. -Color de signos.		
Superposición de símbolos en los lugares de gran densidad (del mapa de distribución de la población perteneciente al atlas del norte de Francia) (Salitchev, 1979: 67).		Tierras de cultivo en Suecia, cada punto = 10 000 ha de Atlas Nacional de Suecia (Salitchev, 1979: 79)				
d) Mapa de símbolos proporcionales		e) Signos lineales				
Información cuantitativa.		Información cualitativa y cuantitativa.		Información cuantitativa.		
-Tamaño de signos.		-Forma de línea. -Tamaño de línea. -Color de línea.		-Color (tono) de superficies que denotan jerarquía.		
Número absoluto de desempleados en 1980 en los Países Bajos (Ormeling & Van Elzakker, 1981 en Ormeling, 2015:42).		Mapa hidrográfico producido para libro de la ACI (Ormeling, 2015: 48).				
f) Isolíneas						

g) Fondo Cualitativo/ Mapas Corocromáticos		h) Cartogramas/ Mapas Coropléticos		i) Mapa de áreas	
Información cualitativa.	 Lenguajes predominantes en Australia (Kraak & Ormeling, 2010:140).	Información cuantitativa.	 Población en edad reproductiva (Ortiz, Juárez & Gómez, 1980) de Atlas Nacional de México Tomo I III.1.6, Instituto de Geografía UNAM.	Información cualitativa.	 Distintos ejemplos para el establecimiento de áreas, referente a una misma información (Salitchev, 1979: 81).
-Color de superficie, -Forma y orientación de texturas al interior de superficies.		-Color (tono) de superficies que denotan jerarquía. -Forma y orientación de texturas al interior de superficies que denotan jerarquía.		-Color de superficie. -Forma y diseño de límites. -Forma y orientación de texturas al interior de superficies. -Forma de signos. -Rótulos.	
j) Superficies estadísticas		k) y l) Diagramas locales/ Mapas de diagramas y Cartodiagramas		m) Signos en movimiento/ Mapas de flujo	
Información cuantitativa.	 Distribución de los casos de sida en Estados Unidos, 1988. En “The Nature of the Geographic Information:Statistical Surfaces” (Universidad del Estado de Pensilvania, 2020).	Información cualitativa y cuantitativa.	 Usos del agua superficial y subterránea por entidad federativa (Sánchez, Sánchez, Martínez & Cervantes, 1985) de Atlas Nacional de México Tomo III VI.1.2, Instituto de Geografía UNAM.	Información cuantitativa.	 Coal transport to Lorraine, 1961 Carbón transportado a Lorraine, 1961 (Kraak & Ormeling, 2010:150).
-Diseño y forma de elementos. -Color de elementos. -Rótulos.		-Forma (tipo) de diagramas. -Tamaño de diagramas. *En los cartodiagramas, la información está asociada a unidades territoriales.		-Forma (diseño) de signos. -Tamaño (grosor) de signos.	

Fuente: elaborado sobre la base de Salitchev (1979); Gómez (2004); Kraak & Ormeling (2010); Ormeling (2015).

En adición, es pertinente mencionar la existencia de otros productos cuyas denominaciones se atribuyen de acuerdo a su contenido temático, no obstante, hacen uso de uno o más de los métodos presentados; algunos ejemplos son los mapas: demográficos, económicos etnográficos, medioambientales, históricos, de religión, agrícolas e hidrográficos (Ormeling, 2015).

Algunas consideraciones para optar por uno u otro método estarán asociadas con la reflexión de hacia quién va dirigido el producto, las características del fenómeno, el tipo de distribución y extensión que éste posee. Además, valorar la disponibilidad, propiedades y calidad de las fuentes de información (Salitchev, 1979).

Como se ha visto, los métodos de representación son diversos y se encuentran características compartidas en diferentes etapas, tanto en el procesamiento de la información como en el resultado final. Dicho traslape permite reflexionar en su ejecución individual, y posiblemente complementaria, con el fin de generar mapas temáticos que alcancen los requerimientos comunicativos deseados.

1.2 La Geografía de los Riesgos y la Cartografía Temática

En el presente apartado, se incluye un recorrido sobre las principales tendencias epistemológicas que han conformado a la Geografía de los Riesgos y su desarrollo a lo largo de la historia. Seguidamente se desglosan un conjunto de definiciones que atañen al riesgo y sus componentes, identificando discrepancias y coincidencias.

Luego, se valoran las relaciones entre la Geografía de los Riesgos y la Cartografía. Se exponen algunas características y requerimientos que le corresponden a los mapas temáticos elaborados para la gestión del riesgo; por último, se define al fenómeno de las inundaciones y se identifican sus tipos.

1.2.1 Geografía de los Riesgos

El ser humano, caracterizado por su conciencia y percepción espacial, ha mantenido una estrecha relación con el entorno que habita, incluso gestando la complejización del significado y percepción de este espacio, pasando de ser algo que se ocupa a algo que se construye.

En este entorno en el que desenvuelve su vida, le han sido aportados los elementos necesarios que han asegurado su permanencia y seguimiento, si bien ha obtenido beneficios, también es cierto que algunos de sus procesos y fenómenos han repercutido de manera negativa.

Por lo anterior, algunos de los primeros indicios de una geografía de los riesgos surgen desde las civilizaciones antiguas, los fenómenos naturales eran concebidos con una connotación orientada a Dios o aspectos religiosos. Algunas recopilaciones de reseñas, inventarios y crónicas permiten discernir las afectaciones suscitadas por los procesos de la naturaleza (Perles, 2004).

Los primeros paradigmas en el quehacer geográfico no favorecieron la continuidad explícita de una geografía de los riesgos, ya que existía un énfasis por el estudio exclusivo del entorno natural (Aneas, 2000). Con el devenir histórico, durante el Renacimiento, y de forma más contundente en la Ilustración, surgieron nuevos aportes y tendencias que permitieron una resignificación de los fenómenos naturales, los cuales fueron desmitificados y alejados de la condición de inexplicables, sino que se hizo hincapié en conocer sus causas y como parte de la dinámica de la Tierra, donde ante la noción de peligro, ahora es permisible una reacción y defensa (Perles, 2004).

Con el surgimiento de la Geografía Humana en el siglo XVIII, campo que revaloriza las relaciones entre el ser humano y la naturaleza, se plantearon preocupaciones por entender el avance y complejidad de las interacciones, estas nuevas condiciones permiten previsualizar la existencia de una nueva propuesta, la Geografía de los Riesgos (Aneas, 2000).

En el ámbito anglosajón, los primeros estudios son elaborados a principios del siglo XX, esto por la preocupación ante las inundaciones y el manejo de las cuencas hidrográficas. Dichas investigaciones reflejaban un interés por la administración de los recursos y el ordenamiento territorial, su confección era de tipo práctica-técnica, y, para el año 1936, permitieron vislumbrar el programa

Flood Control Act, donde los resultados orientaron a una gran inversión en políticas de obras públicas, acondicionamiento y trabajos ingenieriles (Calvo, 1984).

La obra desarrollada por Gilbert White, *Human Adaptation to Floods*, publicada en 1945, sienta las bases como una aportación genuinamente geográfica (Saurí, 2003), permitiendo una reflexión acerca del énfasis en las soluciones con obras de ingeniería y más específicamente de los resultados del programa *Flood Control Act*; se advierte que los efectos son contraproducentes, pues no se redujeron, sino que, incluso, se agravaron (Aneas, 2000). Por ello se apunta a la incursión de soluciones alternativas y una mayor relevancia al papel que juega la sociedad.

En el caso de otros países, como Francia, la perspectiva dominante es la priorización de los aspectos físicos; sin embargo, con el mismo avance epistemológico de la geografía y los aportes de la corriente radical y la geografía cuantitativa, se van sumando nociones para incluir aspectos sociales e inclusive la propuesta de una Geografía Humana de los Riesgos Naturales.

Por su parte, en España, los trabajos tienen una composición de inventario y descripción, pero también se comienza a manifestar interés por las causas así y, más aún, por aspectos humanos y el vínculo con la gestión de riesgos y el ordenamiento territorial (Perles, 2004).

En Suiza, se llevó a cabo un proyecto que considera los efectos de los desastres en las víctimas, lo cual da indicios de una Geografía de las Calamidades, ésta tiene presencia en la Sociedad Geográfica de Ginebra en el año de 1924 y que además tiene repercusiones en la Unión Internacional del Socorro (Perles, 2004).

Sobre las corrientes predominantes en la Geografía de los Riesgos, Saurí (2003) identifica varias propuestas que se desarrollaron a lo largo de los años, como lo son la Ecología Humana, el enfoque crítico, la Economía Política y la Ecología Política. La primera de éstas, la Ecología Humana, plantea la comprensión de las relaciones de adaptación e incidencia de la sociedad con su entorno, pese a ello, persiste la característica de confección técnica y poca relevancia al aspecto social. En los productos, surge la propuesta de exponer una suerte de compilación de riesgos en un área determinada (Aneas, 2000).

Parte de los estudios que se desarrollan, bajo los preceptos de la Ecología Humana, presentan nociones malthusianas, pues adjudican la causalidad de los peligros a los cambios demográficos y estableciendo como solución al crecimiento económico (Saurí, 2003). Durante la construcción de esta corriente, se van sumando revalorizaciones, entre las que se van incluyendo la percepción del riesgo, tanto a nivel individual como colectivo.

Con respecto al enfoque crítico, éste se origina bajo los fundamentos del materialismo histórico (Saurí, 2003) y exhorta al desarrollo teórico, así como replantear el papel secundario que se atribuyen

a los factores socioeconómicos, procurando no responsabilizar exclusivamente al crecimiento demográfico (Perles, 2004).

La Economía Política se caracteriza por reflexionar sobre las decisiones llevadas a cabo de manera individual ante riesgos específicos e introducir como parte del análisis a las condiciones del contexto económico, político y social (Sauri, 2003). Esta corriente, de acuerdo con Perles (2004), tiene la intencionalidad de vincular a la Ecología Humana y al enfoque crítico; hay marcos explicativos más amplios y algunas de las conclusiones son que “los riesgos naturales se inscriben en el proceso social de uso de la naturaleza, un uso que muchas veces es desigual e injusto” (p. 110).

Sobre la Ecología Política, ésta se produce con los fundamentos de la crítica postestructuralista y cuestiona al materialismo histórico, se establecen a los riesgos naturales como sucesos imbricados en la cotidianeidad socioambiental (Hewwit, 1983; en Saurí, 2003) y la concepción de las poblaciones con capacidad de respuesta, organización y acción en sus respectivos contextos.

Tras la revisión de estos enfoques, Saurí (2003) habla de trascender el dualismo entre naturaleza y sociedad, para así comprender su multidimensionalidad, denominando a los riesgos como “híbridos”, con matices reales y contruídos; esto último, a través del discurso, cuyo análisis puede tener una incidencia sobre la gestión del riesgo, incluso equiparable a la del mismo fenómeno natural. Asimismo, es importante señalar que la vulnerabilidad se perfila como un elemento clave y que funge como un conector a través de las diferentes propuestas teóricas.

Otros autores, en referencia al estudio de los riesgos, aluden a una perspectiva objetiva, la cual estaría conformada por la construcción social del riesgo a través de establecer parámetros y condiciones de vulnerabilidad; en contraste, la perspectiva subjetiva se refiere a la priorización de la percepción social del riesgo (Alba & Castillo, 2014).

Principi (2020), establece tres enfoques para el abordaje de los riesgos: técnico, social y sistémico. En el caso del primero, se refiere a los esfuerzos iniciales que se caracterizaban por priorizar el aspecto físico y, por lo tanto, los resultados están encaminados a políticas de obras públicas y un “control del medio” (Perles, 2004).

Sobre el enfoque social, éste se integra por las aportaciones provenientes desde la Ecología Humana, la Economía Política, la Ecología Política y ciencias económicas, con medidas que condujeran a la menor cantidad de pérdidas posibles; de igual manera, aportes de la Psicología Social y semiología permitieron introducir la percepción (Aneas, 2000); sin embargo, lo más característico de este enfoque es la inserción de la vulnerabilidad multidimensional.

El enfoque sistémico, integrado en la perspectiva de Teoría de Sistemas Complejos (TSC), propuesta por García (2006; en Principi, 2020), surge como una aportación al seguimiento de la Teoría General de Sistemas desarrollada por Bertalanffy en 1968; se sostiene que no existe una disciplina única

con la capacidad de tomar en cuenta todo lo concerniente a un objeto de estudio, por ello se cuestiona la especialización disciplinar, pues tiende a fragmentar el conocimiento.

Debido a lo anterior, la TSC apela a la integración con una mayor incidencia interdisciplinar. Para los estudios de riesgos, se procura comprenderlos como un conjunto de elementos (sistema físico natural y sistema humano), que tienen sus propias características, pero que establecen interacciones y dinamismo que configuran la realidad.

1.2.2 Términos concernientes al Riesgo

El desarrollo epistemológico de la geografía de los riesgos ha involucrado algunos términos, los cuales, según el contexto y su respectivo tratamiento, han variado en su conceptualización y relevancia. Pese a lo anterior, es innegable la presencia de aquellos como el *peligro*, la *exposición* y la *vulnerabilidad* que en conjunto revelan el *riesgo*.

Con respecto al *peligro*, la definición elaborada por la Coordinación de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre (UNDRO, por sus siglas en inglés, 1984; en Franzi, 2012: 239), lo establece como la “probabilidad de ocurrencia, en un periodo de tiempo y un área dadas, de un daño potencial por procesos naturales”.

Lo destacable de la definición anterior es que considera únicamente a los desastres derivados de fenómenos naturales, sin embargo, Aneas (2000) hace la señalización de esto y sobre la implicación del replanteamiento de la causalidad como responsabilidad del ser humano y sus actividades o decisiones, lo cual conlleva una nueva clasificación y paradigma de los peligros, ahora incluyendo *peligro natural*, *peligro antrópico* y *peligro ambiental* (combinación de los dos primeros); por lo anterior, se realiza la propuesta que coloca al *peligro* como, “la ocurrencia o amenaza de ocurrencia de un acontecimiento natural o antrópico” (p. 5), es pertinente aludir que en su definición advierte al *peligro* como el hecho que sucede o que podría suceder.

Otro concepto es el de *amenaza*, el cual se establece como aquella condición de peligro latente para las personas, bienes, propiedades y el ambiente en un tiempo y lugar determinados, debido a un fenómeno natural, tecnológico o por actividad humana (Organización Panamericana de la Salud, 2006). Por lo tanto, es posible establecer que la *amenaza* y el *peligro* se refieren a la misma circunstancia.

Con respecto a la *exposición*, Franzi (2012) señala a la gente, propiedades y bienes como agentes y elementos receptores, los cuales ante la ocurrencia de un fenómeno o evento pueden ser perdidos, heridos o dañados. En adición, la Coordinación Nacional de Protección Civil (2014) expresa que la potencial afectación se suele estimar cual suma, en términos monetarios.

Una labor imperativa, para la determinación de la *exposición*, es conocer las particularidades de la incidencia que los peligros ejercen sobre las personas, bienes y servicios; por lo precedente

también es factible el dividir la *exposición* en social o económica (Diez, Llorende, Ballesteros & Ruiz, 2009), con el fin de reconocer elementos más expuesto que otros y su priorización.

Sobre la *vulnerabilidad* ha existido una transición más evidente de su connotación, de pasar de ser un mero conjunto de condiciones físicas asociados a la exposición, a un factor multidimensional concerniente a la población y sus características, esto debido al cambio de paradigmas, de uno naturalístico que apunta a la protección, a uno de manejo del riesgo que incide en la planeación y medidas de prevención (Zuñiga & Magaña, 2017).

Algunas propuestas para definir a la *vulnerabilidad*, la establecen como “la medida de la susceptibilidad de un bien expuesto a la ocurrencia de un fenómeno perturbador, se debe identificar e incidir en su disminución” (Salas & Jiménez, 2004); con respecto a su multidimensionalidad, la Coordinación Nacional de Protección Civil (2014), denominan a la *vulnerabilidad* como la probabilidad de pérdida asociada al *peligro*, incluyendo así una *vulnerabilidad social y física*, siendo la primera determinada por las características de la población en distintos ámbitos como lo es su estructura, limitaciones, acceso a recursos, poder y representación política, capacidad de organización, costumbres y creencias (Cannon & Wisner, 1994; Putnam, 2000; en Pérez, Gil & Quesada, 2021); mientras que la segunda se refiere a las características y materiales de los asentamientos.

Por su parte, Angelotti (2014) apunta sobre la conformación de la *vulnerabilidad global* y retoma a Wilches-Chaux (1993), quien distingue 10 tipos: física, económica, social, política, técnica, ideológica, cultural, educativa, ecológica e institucional, las cuales confluyen de manera interactiva en un mismo evento. También se refiere a la propuesta del Centro Internacional de Información (2010), que constituyen a la *vulnerabilidad* por factores ambientales, económicos, socioculturales y político-institucionales.

Otra definiciones mencionan a la *vulnerabilidad global* o *total* como la “combinación de las complejas interconexiones entre comunidades, individuos, estructuras y capacidades para afrontar los desastres” (Franzi, 2012:244); “una serie de variables que permiten realizar una cuantificación de la *vulnerabilidad*, partiendo de identificar las condiciones estructurales de las viviendas, el acceso a servicios públicos y domiciliarios, las características socioeconómicas, la preparación ante el *riesgo de desastre* y la *percepción del riesgo* de la población” (Rodríguez, 2018:100).

Tras la revisión de estos conceptos que conforman al *riesgo*, en unos es más notoria la evolución y acepciones que responden a los contextos, paradigmas y tendencias por las que la propia geografía de los riesgos ha transitado; sin embargo, el más evidente es el de *vulnerabilidad*, ya que éste implicó a su vez la motivación para resignificar el sentido de los estudios, desde su elaboración, hasta las soluciones; además, se ha dado continuidad en el seguimiento de su desarrollo, desmenuzando qué factores lo conforman y orientando a su integración para obtener un mejor panorama y, por lo tanto, dirigir de manera más óptima las decisiones y acciones.

1.2.3 El Riesgo y la Gestión del Riesgo

El término *riesgo*, a la par de la evolución epistemológica de la geografía de los riesgos, ha adquirido diferentes acepciones, algunas con variaciones más notables que otras, una de las primeras, proveniente de la Ecología Humana, le adjudica la singularidad de ser un proceso, el cual surgía a partir de las interacciones entre un sistema natural y sistema humano (Saurí, 2003); destacable en ésta es la manera de hacer explícito el vínculo de las interacciones gestadas, además de otorgarle la denominación de proceso, lo que implica que considere el conjunto de acciones y decisiones que lo van configurando.

Otras definiciones resumen al *riesgo* como “la probabilidad de ocurrencia de un *peligro*” (Aneas, 2000:3); sin embargo, existen otras que apuntan a incluir al factor antrópico como parte primordial, “el *riesgo* se encuentra intrínsecamente ligado a las actividades humanas, determinado por un agente perturbador (*amenaza*) que ocasiona algún tipo de daño a un sistema afectable” (Hernández & Vyera, 2010:46).

En contraste. con las definiciones mencionadas, hay otras que apelan a su significado como producto cultural, tal como algunas de las siguientes menciones de García (2005), quien retoma parte del trabajo de Douglas (1987), “el *riesgo* es una construcción colectiva y cultural [...] producto de la construcción cultural de las sociedades en su devenir histórico” (p. 15), reconociendo en estas afirmaciones una respuesta del porqué de la variación en las definiciones, correspondiendo al contexto y tendencia de dónde surgen.

En adición a lo anterior, otra perspectiva que también retoma al *riesgo* como producto cultural dentro de un contexto de urbanización, es aquella que lo establece como “una característica inherente a la sociedad guiada por la idea de progreso, y una consecuencia de crear inmensas metrópolis haciendo uso desmedido de su entorno natural” (Alba & Castillo, 2014: 143).

Sobre la *gestión del riesgo*, éste se establece como un conjunto de actividades coordinadas, las cuales tienen el objetivo de controlar la organización y respuesta ante el *riesgo* (Franzi, 2012). Este procedimiento abarca diferentes acciones como lo son el estudio y determinación de posibles causas, efectos y consecuencias de los desastres; considera la implementación de acciones de tipo correctivo o preventivo, pudiendo involucrar directamente la participación ciudadana (Cantú, 2017).

Como parte inherente de la *gestión del riesgo* se encuentra la estimación del *riesgo*, la cual se obtiene a través de la determinación de la *amenaza* y cuantificación de *vulnerabilidades* (Mesías, 2017), dicha valoración puede representarse en un mapa y es fundamental en el desarrollo de acciones y prácticas de reducción del *riesgo*, prevención y mitigación (Nájera, 2005; Zuñiga & Magaña, 2017).

La cartografía y sus expresiones se insertan como un elemento esencial en la construcción del análisis y valoración del *riesgo* y, por lo tanto, en su gestión. Algunos aportes se ven reflejados por medio de los mecanismos de incidencia como políticas públicas, planificación y ordenamiento

territorial, gestión financiera, orientación para los comités de emergencia y protección civil, así como la incorporación de actores sociales y la población (Cantú, 2017; Mesías, 2017).

1.2.4 Cartografía y Geografía de los Riesgos

En la epistemología de ambas disciplinas, la Cartografía y la Geografía de los Riesgos, han tenido aportes recíprocos, ya que la primera, a través de su materialización, permite advertir y generar inferencias de los preceptos y paradigmas predominantes de diferentes contextos y disciplinas, entre las que se puede establecer a la geografía y la rama que atañe a los riesgos.

La autora Martínez (2009), habla de perspectivas percibidas en el estudio de los riesgos (causas físicas, elementos teológicos y descripción eventos), entre la antigüedad y el Renacimiento, siendo que muchos documentos y expresiones cartográficas contienen información dispersa de la temática; y es en los siglos XVII y XIX que surge una tendencia que concibe a los fenómenos naturales como parte de la dinámica y origen de la Tierra.

De los fenómenos que más despertaron interés son los sismos y el vulcanismo, aunado a la ocurrencia de eventos y las evidencias de afectaciones a las poblaciones, fomentando aportes por medio de la cartografía temática, con la confección de mapas basados en la generación de isosistas, es decir, áreas con igual intensidad sísmica, como lo es el *Seismec map, with wave paths and isoseismal curves*, en el cual, además de establecer estas áreas, se señalan los focos y puntos de interés. Otros productos coetáneos exponían la densidad de epicentros, la peligrosidad sísmica y tsunamigénica, densidad de flujos volcánicos, peligrosidad volcánica, peligrosidad de tormentas y sequías, tanto en su localización como en su caracterización y dinámica que los hacían peligrosos (Martínez, 2009).

Tras estos antecedentes y el ávido interés por abordar los riesgos desde una perspectiva espacial, la Cartografía se ha perfilado con un papel importante en estos estudios, ya que se generan mapas con el propósito de espacializar los riesgos (Giraldo, 2016) con todo lo que esto conlleva, como la localización, identificación, delimitación, asignación o creación de espacios, fungiendo así como un instrumento de gran aplicabilidad a la ordenación y planificación territorial, en ella se valora el potencial de riesgo, lo que orienta a la designación y usos de suelo (Bosque, Ortega & Rodríguez, 2005).

Relacionada a la Cartografía de los Riesgos también se puede mencionar a la Cartografía de Emergencia, como los procedimientos para el diseño y producción de cartografía temática que asiste en la toma de decisiones en situaciones generadas por la ocurrencia de fenómenos que causan desastres, condición caracterizada por la “urgencia”, lo que implica el requerimiento de una rápida confección, pero que debe cumplir con los objetivos para el uso de directivos, personal de protección civil o medios de comunicación (Deslisles & Ferman, 2018).

El objetivo de la Cartografía de Riesgos se sitúa en identificar las áreas geográficas susceptibles de sufrir daño en caso de que una amenaza se haga realidad (Lowry, *et al.*, 1995; en Bosque, *et al.*,

2005) y para su construcción, los autores señalan como primer acercamiento referir a las definiciones de sus componentes; sin embargo, es imperativo recordar, por lo tanto, el cambio y evolución de acepciones, procurando adoptar las más adecuadas según los propósitos planteados.

Un *mapa de riesgo* es definido por Salas & Jiménez (2004), en el fascículo de Inundaciones de Centro Nacional de Prevención y Desastres (CENAPRED), como “la representación gráfica de los potenciales daños en un sitio, generados por algún fenómeno natural o antropogénico que lo afecte” (p. 32). Otra definición lo establece como el “conjunto de mapas que resultan de la interacción de los diferentes mapas de *amenaza*, mapas de *exposición* o elementos bajo riesgo y mapas de *vulnerabilidad*” (Mesías, 2017:29); los componentes del *riesgo* son retomados de manera más explícita en la segunda definición, por lo que, cómo se puntualicen, tendrá trascendencia en el *mapa de riesgo*, tanto en sus métodos de construcción como su presentación e interpretaciones.

Sobre la construcción de los *mapas de riesgo*, Mesías (2017) retoma la metodología expuesta por las Naciones Unidas Unesco Racpa (2009), en la cual se expresa:

$$(R) \text{ Riesgo} = (A) \text{ Amenaza} * (V) \text{ Vulnerabilidad} * (C) \text{ Cantidad}$$

Donde los mapas de *amenaza o peligro* deben representar una descripción detallada de la ocurrencia, frecuencia, distribución e intensidad de los fenómenos, resaltando dicha presencia en las particularidades del contexto geográfico. Por su parte los mapas de *vulnerabilidad* consideran información de tipo social, económico y cultural, explorando las características intrínsecas de la población, así como los asentamientos, bienes y servicios expuestos. Los insumos de los mapas provienen de diversas fuentes como lo son imágenes satelitales, fotografías aéreas, levantamientos en campo e información estadística (Mesías, 2017).

Con respecto a los requerimientos cartográficos, los autores Deslisles & Ferman (2018) refieren a los diferentes *descriptores geométricos, semánticos y topológicos*, que se sugiere trabajar en la Cartografía de Riesgos y que hallan sus fundamentos en la Cartografía.

Acerca de los *descriptores geométricos*, éstos se relacionan con la ubicación de los rasgos a través de un sistema de referencia o coordenadas, por lo que dicha localización de los elementos en el mapa con respecto a la realidad determinará la precisión. También se deben considerar las características de los fenómenos a representar y, por lo tanto, el tipo de implantación y manejo de variables visuales más adecuados para atender a los objetivos y correcta comunicación.

Sobre los *descriptores semánticos*, se refiere al conjunto de símbolos que llevan las ideas y mensajes, cuál lenguaje, así como las descripciones textuales y rótulos adicionales, su relevancia recae en que a través de la leyenda se expone la naturaleza y características de los objetos, se procura el mejor uso de este lenguaje pues la “semántica cartográfica estará en el centro de los procesos de diseño, elaboración e interpretación de mapas temáticos” (p. 150).

Por último, los *descriptores topológicos* resaltan las relaciones entre los objetos y son de carácter no medible, como lo es la vecindad, adyacencia, inclusión, conectividad u orden, lo que implica la solidez sobre la proximidad entre elementos de una clase, los contactos entre dos clases, la forma en que están conectados o la posición que ocupan unos con otros. Estos descriptores se relacionan con el procesamiento de los datos que se incluirán en la cartografía, así como el diseño.

Sobre las escalas de trabajo, los autores Bosque, *et al.* (2005) mencionan que éstas se encuentran condicionadas por los objetivos, disponibilidad de información, usuarios y usos; estableciendo una de 1:50 000 o 1:25 000 como adecuada para que las instituciones realicen los planes de ordenamiento territorial y protección civil; mientras que escalas de 1:200 000 o 1:100 000 ayudan a identificar áreas de priorización. Por otra parte, Nájera (2005) distingue rangos de escala según el nivel de detalle, colocando 1:400 000 como de reconocimiento, una de entre 1:400 000 a 1: 50 000 como semidetalle y mayor a 1:50 000 de gran detalle.

Entre otras cartografías que funcionan como complemento en el proceso de gestión del desastre están los *mapas de emergencia* (confeccionados en un tiempo corto y reflejan las consecuencias del desastre), *mapas de respuesta*, *mapas de rehabilitación o recuperación*, *mapa de evaluación de daños* (Deslisles & Ferman, 2018; Nájera, 2005).

Sin embargo, como es notorio, estos productos adicionales refieren a una vez que está ocurriendo o ya ocurrió el desastre, mientras que la representación del *riesgo* se constituye, prioritariamente, para mostrar los elementos que están bajo riesgos y la estimación de costos o pérdidas, por lo tanto, atienden a etapas de planeación y prevención, apuntando a una adecuada comunicación que incida en la generación de una cultura del riesgo (Mesías, 2017).

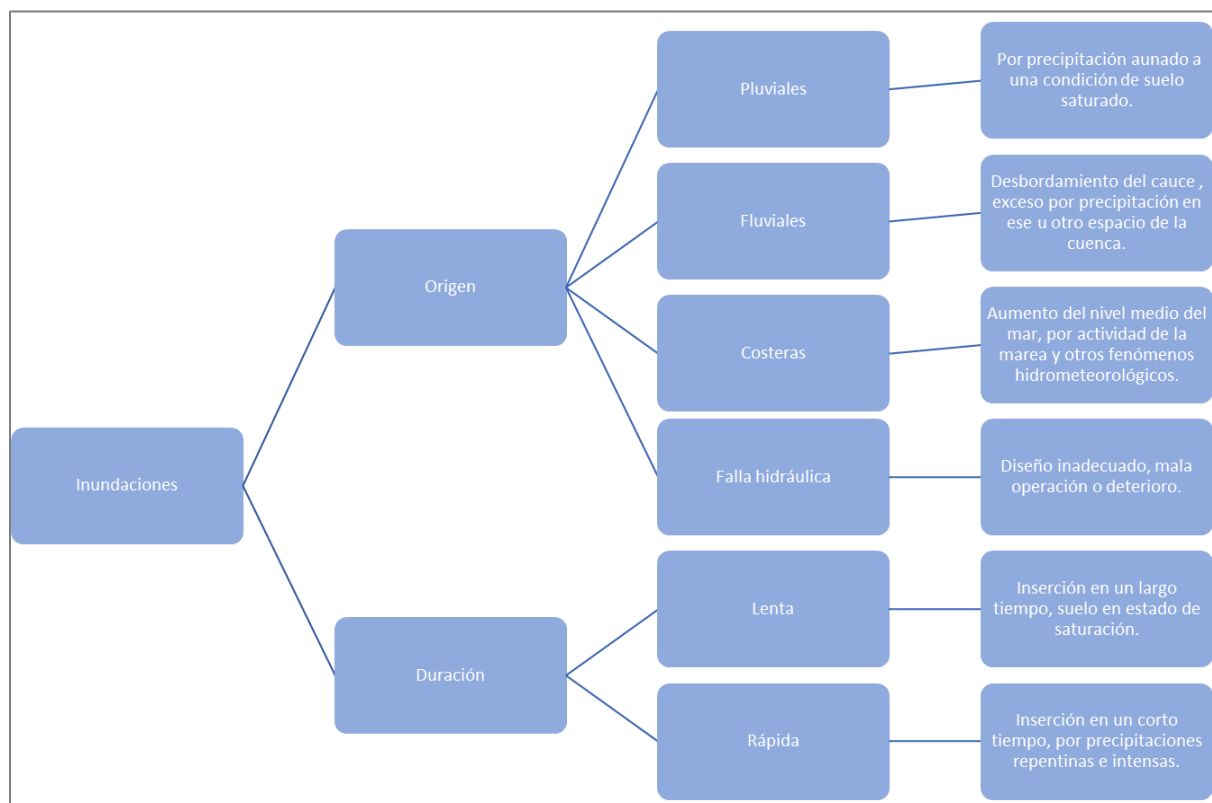
1.2.5 Inundaciones

Las inundaciones se refieren a aquellos eventos que se caracterizan por un incremento en el nivel de superficie libre del agua de ríos o el mar, aconteciendo en lugares donde normalmente no lo hay. Entre sus causalidades generales se incluyen la dinámica de los fenómenos hidrometeorológicos, como lo es la precipitación, el oleaje o mareas por tormentas, asimismo abarca causas vinculadas a la existencia de fallas de estructuras y obras hidráulicas. Las consecuencias pueden materializarse en daños a la población y sus actividades, al igual que los asentamientos y la infraestructura (Salas & Jiménez, 2004).

Franzi (2012) menciona a las inundaciones como un proceso natural, exceptuando los casos donde éstas son inducidas por actividad humana, pero aclara que dichos fenómenos no necesariamente implican *riesgo*, ya que forman parte de la dinámica natural e incluso son necesarias para los ecosistemas pues recargan los depósitos de agua y aportan a la fertilidad de suelos por el acarreo de nutrientes y sedimentos.

Con respecto a la tipología, una propuesta presentada en el fascículo de inundaciones de CENAPRED, se basa en su origen y/o duración; a continuación la figura 1.1 expone las características esenciales de cada tipo.

Figura 1.1. Tipos de inundaciones de acuerdo con CENAPRED



Fuente: elaborado sobre la base de Salas & Jiménez (2004).

Otros factores que permiten clasificar estos eventos son los lugares específicos donde acontecen (interior del continente, litorales, urbanas o rurales), la causalidad (natural o antropogénica), el origen y tipo de las precipitaciones, por la estación del año en que se producen o por la relación que tiene o no con la red de drenaje (Diez, *et al.*, 2009).

1.3 Expresiones temáticas del riesgo por inundación

A continuación, de acuerdo con diferentes autores y contextos, se distinguen las propuestas de expresiones temáticas del riesgo por inundación, priorizando la descripción de su contenido y aludiendo a sus métodos de construcción.

Seguido, se proporcionan un conjunto de ejemplos, los cuales refieren a distintas escalas y contextos geográficos, por último, se listan algunos de los requerimientos y características cartográficas del peligro y la vulnerabilidad.

El *riesgo* ha adquirido una condición de inseparabilidad de sus componentes, por lo que, para obtener una adecuada estimación y eventual expresión, es imperativo desarrollar una evaluación previa de éstos, los cuales además de recorrer una evolución en su conceptualización, han transitado por cambios en la práctica y las metodologías de su determinación.

Son numerosas propuestas para la evaluación y expresión del *riesgo*, existiendo incluso investigaciones que se enfocan en el planteamiento exclusivo de uno de sus componentes. De igual manera, se han desarrollado guías compilatorias de metodologías elaboradas por diferentes países, cuyas proposiciones son hechas según su contexto físico, social y de normatividad de la gestión del riesgo.

Por su parte Ribera (2004), desde el contexto de España, menciona las confusiones que persisten en la conceptualización y que, por lo tanto, las inconsistencias se han reflejado en la elaboración de cartografía, por ello distingue los siguientes tipos de expresiones:

- *Mapa de áreas inundables.* Muestra el área potencialmente afectada por inundaciones, con énfasis en su ocurrencia por lo que su construcción conlleva metodologías históricas, geomorfológicas o hidrológico-hidráulicas.
- *Mapa de peligrosidad de inundación.* Señala las particularidades del suceso y su intensidad (profundidades y velocidades del agua, permanencia o carga de transporte).
- *Mapa de exposición de inundación.* Localiza los elementos presentes que están expuestos a un período temporal concreto. Se plantea la posibilidad y reto de incluir aquellos elementos en movilidad y la variabilidad de su exposición.
- *Mapa de vulnerabilidad de inundación.* Establece las características de los elementos, ya sea que aumenten o disminuyan los impactos del fenómeno, suelen incluirse la edad, género, ingresos económicos, nivel de formación y características estructurales de las viviendas, infraestructuras y vías de comunicación.
- *Mapa de riesgo de daños por inundación.* También designado como *mapa de daños potenciales por inundación*, muestra los efectos negativos que pueden producir sobre las personas, bienes

y actividades. Para su confección requiere un ejercicio de superposición e integración de los otros tipos de mapas previamente descritos.

En adición al contexto de España, éste se halla inmerso en las tendencias de Europa, donde se ha decantado por centrar la atención en medidas preventivas, ordenamiento territorial, sistema de aseguramiento, protección civil y educación del riesgo. Son estas influencias, aunadas a las grandes inundaciones acaecidas en el centro del continente en el 2002, lo que impulsan la generación de medidas de mitigación, entre ellas la elaboración de la *Guía Metodológica para Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones* (Diez, Laín & Llorende, 2008).

La guía metodológica tiene como propósito homogeneizar criterios y sentar bases para un consenso de elementos a representar. Debido a la variedad de elementos corresponde una pluralidad de métodos para su representación, cuya elección estará condicionada por la escala, la disponibilidad de información, el objetivo y uso del mapa. Así pues, se distinguen tres principales métodos:

- *Hidrológicos – hidráulicos*. Se enfocan en la caracterización de los caudales con apoyo de hidrogramas, ya sea análisis de evento pasado o situaciones hipotéticas (avenida de diseño). Implica el uso de técnicas empíricas que consideran el caudal punta y área de la cuenca, regresiones de análisis multivariante de parámetros morfométricos.

Involucra conversión de variables hidrometeorológicas a esorrentía superficial (caudales), la cual se somete a un análisis estadístico.

De acuerdo con los resultados del estudio se procederá a realizar la modelación hidráulica, las opciones se basan en aproximaciones e hipótesis al flujo del agua en la naturaleza; se optará por un modelo debido a las características del tramo de estudio, pudiendo ser de flujo unidimensional, bidimensional, tridimensional o flujo bifásico y arrastre de sólidos.

- *Geológico-Geomorfológicos*. Implican un análisis geomorfológico, configuración de las formas del relieve, disposición y constitución geológica, proporcionando abstracciones iniciales en el proceso de transformación, precipitación y esorrentía, indicios de otros fenómenos geológicos asociados.

Los condicionantes geomorfológicos atañen a la morfografía, morfodinámica y morfoevolución; por lo tanto, se debe hacer una caracterización morfométrica de la cuenca, análisis de la red de drenaje (medidas básicas e índices morfométricos), delimitación y asignación de peligrosidad, ecuaciones y modelos de fundamento hidráulico (se sugiere consultar métodos y técnicas de Cartografía Geomorfológica).

- *Históricos y paleohidrológicos*. Los primeros competen a la recopilación de documentación histórica, su análisis e interpretación; asimismo, se complementa e integra con estudios

estadísticos. Por su parte, los segundos se fundamentan en la competencia del flujo y se desarrollan indicadores de paleonivel/paleoestado.

La guía metodológica, al centrarse en la caracterización de la peligrosidad, muestra una gama de expresiones asociadas a ésta:

- *Mapa de áreas inundadas (unievento)*. Muestra la extensión y procesos ocurridos en una inundación, éste se sustenta con visita en campo y/o teledetección, la escala trabajada para este tipo de cartografía va de 1:25 000 a 1:1 000.
- *Mapa de áreas potencialmente inundables*. Su elaboración no está asociada a ningún tipo de inundación en particular, por lo que según los intereses, su construcción deberá tomar en cuenta tanto factores naturales como antropogénicos.
- *Mapa de áreas o puntos anegados en inundaciones históricas*. Funge como suerte de inventario y se construyen a través del levantamiento de puntos, marcas, evidencias o experiencias.
- *Mapa de localizaciones puntuales conflictivas*. Abarca puntos de riesgo, puntos conflictivos y/o puntos problemáticos, suele trabajarse en un rango de escala de 1:100 000 a 1:1 000.
- *Mapa de permanencia de lámina de agua*. Implica la incorporación de isócronas que denotan su evolución temporal, para aludir a su condición de permanencia; la escala recomendada es de 1:5 000 a 1:1 000.
- *Mapa de tiempos característicos*. De hietograma-hidrograma de crecida, tiempos de concentración, se sugiere trabajar en una escala $> 1:200\ 000$ a 1:1 000.
- *Mapa de profundidades de agua, mapa de velocidades del agua y mapa de cargas de transporte (fondo, suspensión y disolución)*. Muestran la severidad del fenómeno ya sea de un evento real o una hipótesis-modelización; pueden complementarse con la generación de isobatas y/o isotacas, para las cuales la escala recomendada de representación es de 1:5 000 a 1:1 000, para la representación del transporte se menciona una escala de 1:25 000 a 1:1 000.
- *Mapa de inundabilidad para un período de retorno*. Muestra la probabilidad de ocurrencia, la escala sugerida comprende de 1:10 000 a 1:1 000.
- *Mapa de peligrosidad del riesgo asociadas a las inundaciones*. Considera otros fenómenos, como los movimientos gravitacionales e inestabilidad de laderas, la erosión, arrastre de material sólido y sedimentación; su escala de representación puede ser $>1:200\ 000$ a 1:1 000.
- *Mapas complementarios*. Existen otros mapas que contribuyen a la determinación del peligro, como lo es el *mapa de permeabilidad y escorrentía*, el cual muestra las características litológicas de la cuenca o el entorno; otro refiere al *mapa de formaciones superficiales* y *mapa de estabilidad de laderas*, que aluden a procesos de erosión activa, reflejada en deslizamientos

o desprendimientos; otro corresponde al mapa de *modificaciones al cauce y/o llanuras de inundación*, cuya expresividad denota los cambios más relevantes en el área de interés.

- *Mapa integrado* (Pujadas, *et al.*, 1997; en Diez, *et al.*, 2008). Desarrollado como una síntesis de mapas hechos con diferentes metodologías.

La revisión de esta diversidad de posibilidades de representación también implica que los contenidos abarcan distintas implantaciones y signos cartográficos debido a la característica de los elementos. Asimismo, la adición de componentes concernientes a exposición y vulnerabilidad, como es la ubicación de viviendas, distribución de la población o lugares significativos, ya perfilan como “un germen de un mapa de riesgo” (Pujadas, *et al.*, 1997; en Diez, *et al.*, 2008:114) y una suerte de delimitación.

Las recomendaciones para la delimitación de la *peligrosidad* se establecen en tres zonas, la de alta (se sugiere en color rojo), alude a un peligro para las personas con profundidades $>1\text{m}$ o velocidad de corriente $>1\text{m/s}$; la zona de media (recomendada en color naranja), comprende el área susceptible de ser inundada en un tiempo de retorno de 100 años, con profundidad $<1\text{m}$ y velocidad $<1\text{m/s}$ y por lo tanto no implica un peligro para las personas; con respecto a la baja peligrosidad (sugerida en color amarillo) considera el área susceptible de inundación en un tiempo de retorno de 500 años. Dicha delimitación funge como apoyo a la ordenación del territorio, protección civil y regulación de los usos del suelo.

Aunado al contexto de Europa, algunos tipos de mapas asociados a la peligrosidad que son enunciados por el Circulo de Intercambio Europeo sobre la Cartografía de Inundaciones (EXCIMAP, por sus siglas en inglés, 2007) corresponden a: *mapa de peligro de inundación*, *mapa de extensión de inundación o llanura de inundación*, *mapa de profundidad de inundación*, *mapa de velocidad y propagación* y *mapa de evento*. Sobre los de vulnerabilidad se enlistan sus contenidos de población, evaluación actividades económicas e instalaciones potencialmente afectadas por polución.

Otras expresiones corresponden a: *mapa de defensa ante inundaciones*, *mapa de daños ante inundaciones*, *mapa de aseguramiento ante inundaciones*, *mapa de emergencias ante inundaciones* y *mapa transfronterizos de inundaciones*; este último, proporciona una ventaja en la implementación de medidas coordinadas y para la gestión en conjunto (Diez, *et al.*, 2008).

En el contexto anglosajón, la Agencia Federal para el Manejo de Emergencia (FEMA por sus siglas en inglés), pone a disposición, a través de su página de internet, una serie de productos concernientes al análisis y generación de Cartografía del Riesgo por inundación; entre éstos se dispone de guías, un archivo de éstas, estándares, políticas, referencias técnicas, entre otros.

En el caso de las guías, se proporcionan diversas, entre las que se pueden distinguir guías generales, otras enfocadas al análisis y cartografía del riesgo por inundación, algunas para la

modernización del Programa de Cartografía del Peligro por Inundación, así como para fomentar el compromiso de los actores involucrados. De este gran conjunto de archivos se puede destacar que éstos se hallan en constante actualización, precisando en muchos cuál es la modificación con respecto al anterior, abarcando temas como los puntos clave y planeación, la generación del mapa base y el de aseguramiento, bases de datos y reportes, aportes a los programas en desarrollo y la capa nacional; sobre las llanuras de inundación y los tipos de inundación como costeras y fluviales.

En alusión a los estándares y regulaciones políticas (aprobado el 22 de diciembre de 2020) se proporcionan 645 especificaciones que involucran la planeación e iniciación del proyecto, la obtención de datos, confección de mapa base, el estudio y cartografía de aseguramiento (reportes e índices), la implementación de estrategias de gestión y coordinación; también especificaciones de los análisis hidrológicos e hidráulicos, los datos de elevación, los modelos 3D, análisis de datos de inundaciones (costeras y fluviales), delimitación, perfiles y niveles; finalmente, otras características de la cartografía, como lo son los sistemas de coordenadas y proyecciones, su diseño y formato así como su procedimiento de revisión, cambios, apelación y carta de determinación final.

Sobre los contenidos de la cartografía desarrollada por FEMA, en la *Capa Nacional de Peligro*, muy relacionados a lo que se menciona en el desarrollo de sus guías y disposición de estándares y referencias técnicas, se especifica la disponibilidad de información y carta de revisión; otros elementos de implantación lineal atañen a los niveles, secciones costeras, límites de acción de las olas y límites de peligros; asimismo, están presentes elementos zonales para referir a las áreas de peligro, como probabilidad anual de inundación de 1% y 0.2%, áreas con condiciones futuras y aquellas con riesgo reducido debido a diques y reguladores del cauce de inundación; finalmente, también se incluye el área de los sistemas costeros de barrera, distinguiendo áreas protegidas y unidades sistémicas.

En México las primeras expresiones del riesgo fueron llevadas a cabo por la Secretaría de Gobernación, siendo que eventualmente CENAPRED funge como la institución técnica-científica de la Coordinación Nacional de Protección Civil (Diario Oficial de la Federación, 2016), a la cual también se le adjudica la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos.

La propuesta del Atlas Nacional de Riesgos pretende modificar el enfoque de uno reactivo a uno preventivo, por lo que entre sus acciones están la asistencia y soporte en la generación de atlas estatales y municipales, así como su integración en un sistema homogéneo, dinámico y transparente. Los resultados están concebidos para el aprovechamiento de autoridades y dependencias del gobierno, instituciones afines, académicas y de investigación, así como la población en general.

Entre las recomendaciones y productos puestos a disposición, de manera general, se sugiere que la información que integre la cartografía provenga de fuentes oficiales, del mismo modo se realiza énfasis en aspectos históricos del área de estudio, desastres más relevantes, datos geoestadísticos básicos (sociales y económicos), generalidades geográficas físicas e información de la infraestructura y

comunicación (Ramos, 2004). De igual forma existen guías que varían por escalas y/o tipos de inundación

Por lo anterior algunas de las expresiones temáticas corresponden a:

- *Mapa de riesgos por inundación en zonas urbanas* (Salas, 2011). Se genera a través de un índice, por la integración del *peligro* y la *vulnerabilidad*, expresándose en un escenario particular o valor esperado en daños anuales. Se recomienda una escala $\geq 1: 5\ 000$.

El *peligro* requiere procedimientos sobre un modelo digital para caracterización de la cuenca y la red de drenaje, así como obtención de caudales de diseño, tiempos de concentración y simulaciones. La vulnerabilidad se establece con una tipología de viviendas (5 categorías según los materiales), tipificación del menaje y funciones de vulnerabilidad.

- *Mapa de riesgo por inundación y avenidas súbitas en zonas rurales con arrastre de sedimentos* (Eslava, Jiménez, Salas, García, Vázquez, Baeza & Mendoza, 2004). Se conforma por la superposición del *peligro* y la *vulnerabilidad*, expresándose en un escenario particular o valor esperado en daños anuales.

El *peligro* requiere la determinación de las características fisiográficas de la cuenca, estimación de escorrentía, levantamiento topográfico del cauce, área hidráulica, entre otros; apoyado de mapas topográficos 1:50 000 y visitas en campo. En la *vulnerabilidad*, al igual que en el método de zonas urbanas, plantea una tipología de viviendas (categorías según los materiales), menaje y funciones de vulnerabilidad

- *Mapa de riesgo por inundación costera por marea de tormenta* (Fuentes, Matías, Jiménez, Mendoza & Baeza, 2004). Se basa en los costos de los daños al menaje de las viviendas en las áreas de interés (presencia del fenómeno).

Debido a las características de este tipo de inundaciones requiere énfasis en los ciclones tropicales y tormentas, por lo que, para el *peligro*, se debe establecer la magnitud de los vientos, dirección y sentido, batimetría, configuración de la línea de costa y ángulo con la trayectoria. Asimismo, se realizan simulaciones del ascenso del nivel medio del mar, las velocidades y estimación de altura máxima y probabilidad de ocurrencia, variaciones según las categorías de huracanes (1 a 5). En la *vulnerabilidad*, al igual que en los otros métodos, plantea una tipología de viviendas (categorías según los materiales), menaje y funciones de vulnerabilidad.

Es pertinente mencionar que en la normatividad establecida en el Diario Oficial de la Federación (2016), sobre los elementos mínimos a incluir en el desarrollo de un Atlas, en lo

concerniente a los fenómenos hidrometeorológicos y, en concreto, las inundaciones, se alude a la elaboración según el tipo, estableciendo cuatro: por marea, fluviales, pluviales y lacustres. Los mapas requeridos corresponden al *peligro*, *vulnerabilidad* y *riesgo*, siendo en los de *peligrosidad* donde se hallan más variaciones en sus construcciones y especificaciones.

En el caso de Colombia, son los eventos de inundación ocurridos en 2010, 2011 y 2012 los que promovieron el desarrollo de una Ley del Riesgo de Desastre y una guía metodológica elaborada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), cuyo propósito es orientar el ejercicio cartográfico y su integración en la planificación nacional, regional y local.

Dentro de la Guía Metodológica (Vargas, Verdugo, Arbelaez, Caicedo & Triana, 2017), se proporciona un acercamiento a diferentes tipos mapas temáticos concernientes al riesgo por inundación:

- *Mapa de susceptibilidad de inundación.* Muestra el tipo de inundación y sus límites, se superpone sobre los usos de suelo, la escala recomendada abarca de 1:500 000 a 1:100 000. Su confección requiere la identificación de sistemas y unidades morfogénicas.
- *Mapa de evento de inundación.* Expone el registro histórico de las inundaciones, según su extensión e intensidad, su escala sugerida es variable según el suceso, desde 1:100 000 a 1:5 000. Se construye a través de la recopilación de documentos históricos, experiencias e información proporcionada por sensores remotos.
- *Mapa de amenaza de inundación.* Proporciona información de una inundación esperada y su intensidad, funge como la base para el desarrollo de otras cartografías, la escala propuesta corresponde de 1:25 000 a 1:2 000. Se emplea un modelo digital de elevación, hidrotopografía y aportes de los mapas anteriores, se distinguen tres métodos: empírico, modelación hidrodinámica y modelos conceptuales simplificados.

Se proponen los siguientes pasos para su construcción: obtención información gráfica de evento ocurrido → modelación hidrológica → determinación del caudal creciente para periodo de retorno determinado (variaciones según de donde estén los registros del caudal, en el área de interés, fuera de o inexistente) → análisis de frecuencia de caudales máximos; transposición de datos; ensayo homogeneidad estadística; modelo lluvia escurrentía → modelación hidráulica → validación por matriz de confusión → confección de *mapa de profundidad y velocidad*.

- *Mapa de zonificación de amenaza por inundación.* Presenta una clasificación de niveles según los elementos expuestos, aportando, por lo tanto, a la planificación. Su escala corresponde al *mapa de amenaza de inundación*. En su clasificación se debe tener presente el *mapa de amenaza* y establecer criterios, se propone que éstos sean la velocidad y el tirante, considerando las condiciones hidráulicas de caminos preferentes del flujo, áreas de almacenamiento y franjas de desborde.

- *Mapa de vulnerabilidad de inundación.* Exhibe el daño potencial a las personas, bienes, infraestructura y actividades económicas. Su confección se puede llevar a cabo para cada sistema afectable o en su conjunto, se suelen emplear indicadores para esta generalización, se recomienda una escala de 1:100 000 a 1:25 000.
- *Mapa de riesgo de inundación.* Refiere a la integración de las *amenazas* y la *vulnerabilidad*, reflejando el daño medio por unidad de área, puede contener expresiones en términos monetarios, comprende escalas de 1:25 000 a 1:2 000.
- *Mapa de emergencia de inundación.* Está basado en varios escenarios posibles durante los eventos, empleados durante y después del desastre, en tareas de advertencia, planificación y operaciones de rescate.

Otra expresión cartográfica está planteada en una guía de la Organización Panamericana de la Salud (2006), sobre los *mapas de riesgos comunitarios*, no explícitamente para inundaciones, los cuales son responsabilidad de la comunidad debido al conocimiento que ésta tiene sobre su territorio, implicando también una colaboración con las autoridades o responsables de operaciones de protección civil, entre los pasos sugeridos son: caracterización de la comunidad, indicadores de salud, prioridades, acercamiento comunitario, planificación, convocatoria, motivación a la comunidad, reflexión de conceptos, autodiagnóstico comunitario, trabajo de campo, análisis de la información, elaboración, socialización y validación.

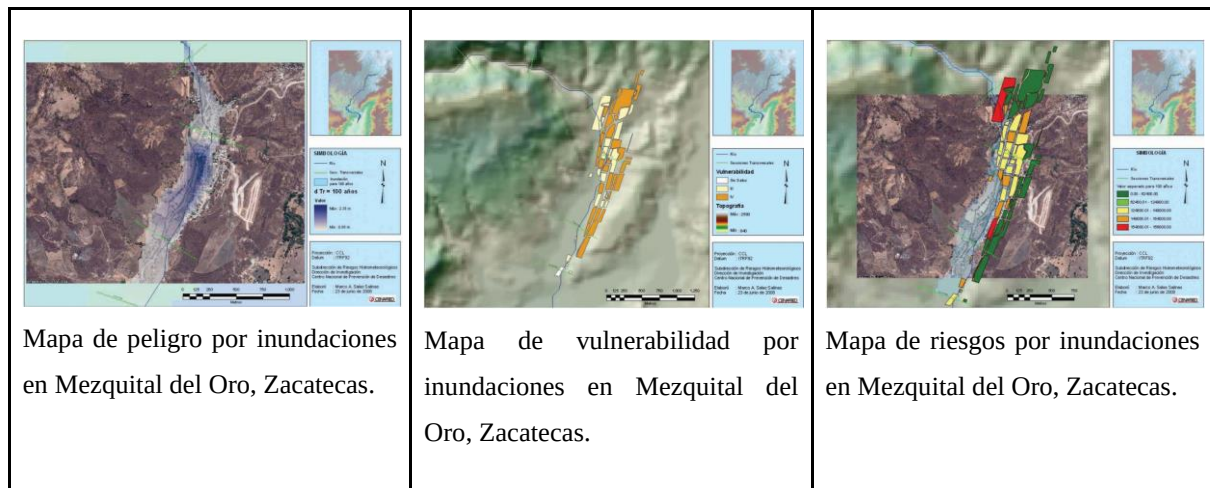
Tras la revisión de diferentes expresiones temáticas del *riesgo* y de sus componentes, entonces un *mapa de riesgo por inundación* es la representación gráfica de diferentes escenarios posibles de daños asociados al fenómeno (Salas & Jiménez, 2004), con énfasis en mostrar los efectos negativos sobre las personas, bienes y actividades (Ribera, 2004). Aportan información valiosa para la planeación, medidas preventivas y de mitigación.

A continuación, se exponen ejemplos de expresiones temáticas del riesgo por inundación:

a) CENAPRED, en Coordinación Nacional de Protección Civil (2014), establece tres métodos principales de estimación del *riesgo* de acuerdo con la cantidad de población, siendo para zonas urbanas (>2 500 habitantes) (figura 1.2), zonas rurales (<2 500 habitantes) (figura 1.3) y una cartilla de autoevaluación (<1 000 habitantes) (figura 1.4).

En zonas urbanas (figura 1.2), la *peligrosidad* se estima a través de simulaciones hidráulicas, hipsometría y topografía; para la *vulnerabilidad* se genera a nivel de Área Geoestadística Básica (AGEB) o predio, según la disponibilidad de información, y se agrupan las viviendas en niveles de acuerdo con sus características.

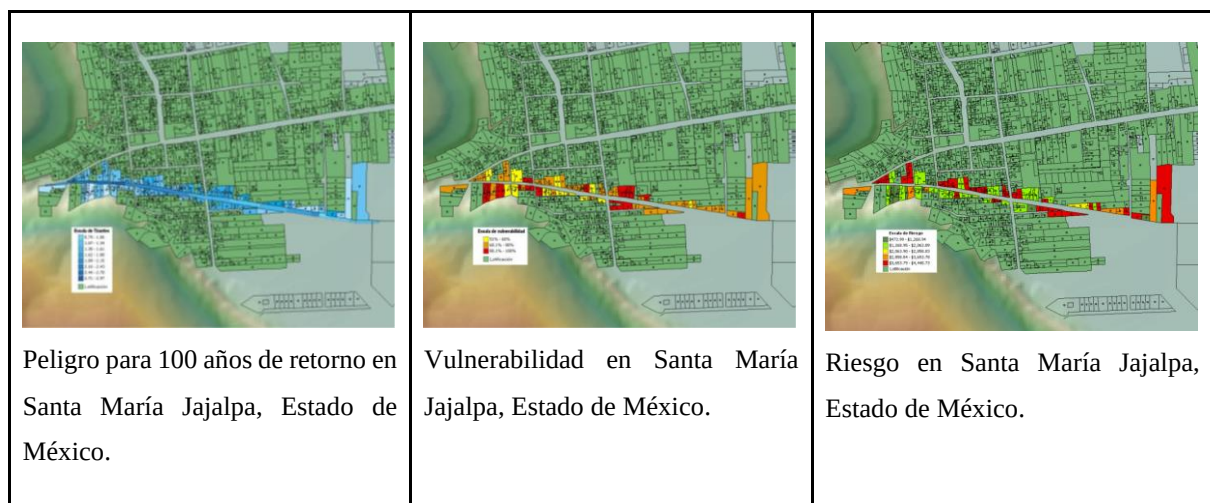
Figura 1.2. Expresión de mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo en Mezquital del Oro, Zacatecas (zona urbana)



Fuente: elaborado sobre la base de Salas (2011).

Para zonas rurales (figura 1.3), la determinación del peligro retoma herramientas de la hidrología clásica, implica la delimitación de la cuenca y su red hidrográfica, así como la evaluación de terrazas aluviales y cercanía con los asentamientos; la determinación de *vulnerabilidad* sugiere recorrido en campo, generación de matriz por combinación de los materiales empleados en las viviendas estableciendo así rangos.

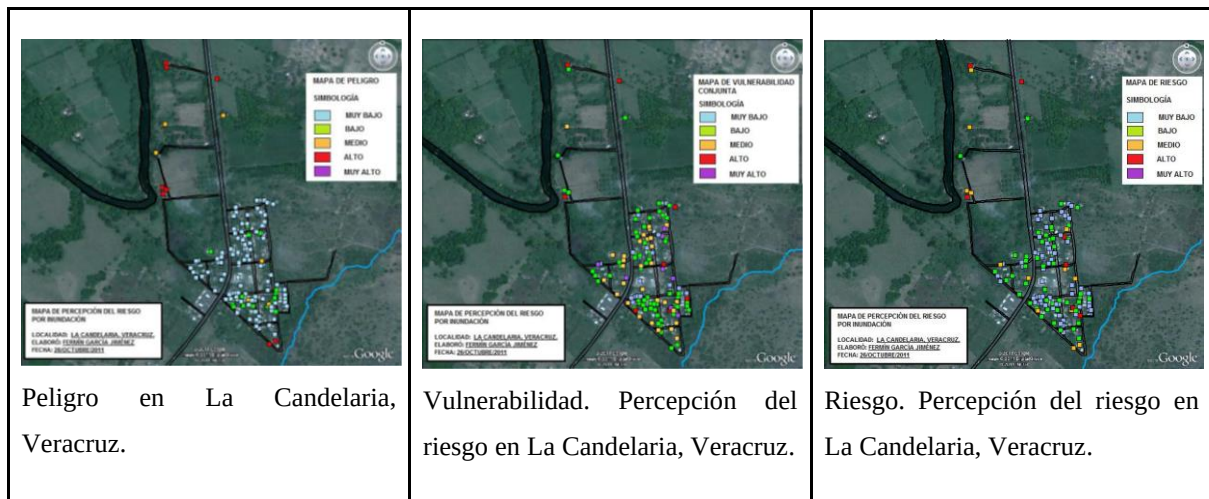
Figura 1.3. Expresión de mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo en Santa María Jajalpa, Estado de México (zona rural)



Fuente: elaborado sobre la base de Coordinación Nacional de Protección Civil (2014).

Con respecto a la cartilla de autoevaluación (figura 1.4), la caracterización del *peligro* y la *vulnerabilidad* se realiza con información obtenida del levantamiento de una encuesta y recorrido en campo, a través de recopilar experiencias y características de la población, así como las particularidades de las viviendas.

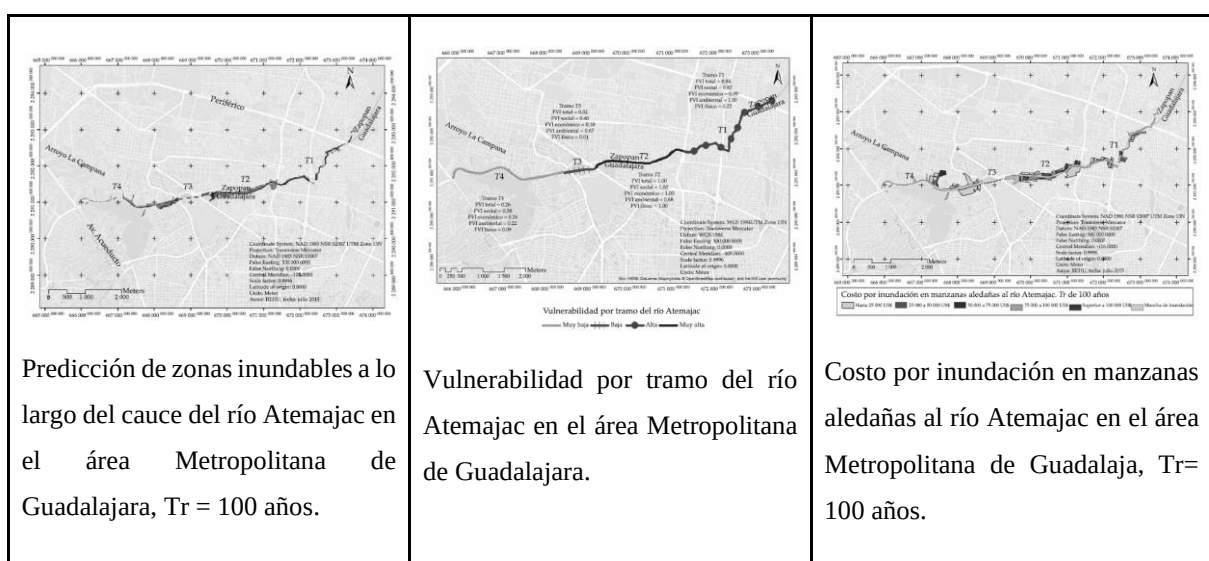
Figura 1.4. Expresión de mapas de peligro, vulnerabilidad y percepción del riesgo en La Candelaria, Veracruz (cartilla de autoevaluación)



Fuente: elaborado sobre la base de García Jiménez (2011) en Coordinación Nacional de Protección Civil (2014).

b) Hernández, Barrios y Ramírez (2017) priorizan su área de interés al seleccionar y dividir tramos del río y aluden a un método determinista, que implica modelación numérica para la estimación del *peligro* y desarrollo de *mapas de inundación*. Para el caso de la *vulnerabilidad* emplean un método paramétrico. Con la integración de ambos métodos plantean escenarios de ocurrencia y un análisis de costos en una cuenca urbana (figura 1.5).

Figura 1.5. Expresión de mapas de zonas inundables, vulnerabilidad y costo por inundación, río Atejamac, Guadalajara

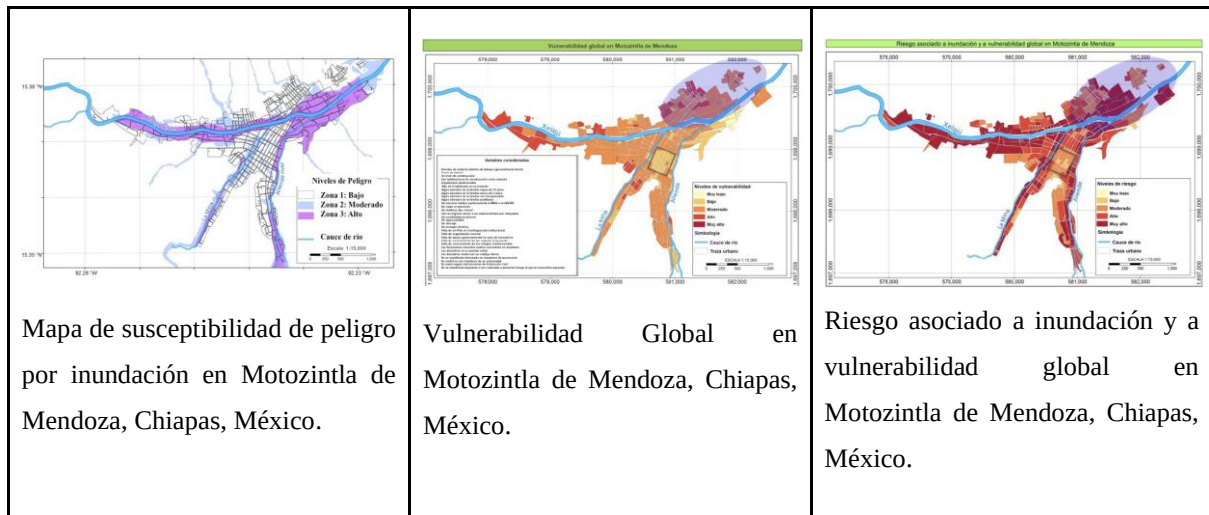


Fuente: elaborado sobre la base de Hernández, *et al.* (2017).

c) Rodríguez (2018) retoma la *peligrosidad* a partir de la caracterización de la escorrentía de la cuenca de Motozintla hecha por Cantarero (2013), cuya modelación hidráulica e integración se hizo por medio

de Sistemas de Información Geográfica (SIG), éste se complementó con ortofotos y considera el coeficiente de rugosidad de Manning; mientras que la *vulnerabilidad* es evaluada para diferentes categorías, entre las que se incluyen: estructural, socioeconómica, organizaciones y percepción del riesgo; estas clases son unificadas para generar una *vulnerabilidad global*, con diferentes niveles de incidencia por medio del método de interpolación de Distancia Inversa Ponderada (figura 1.6).

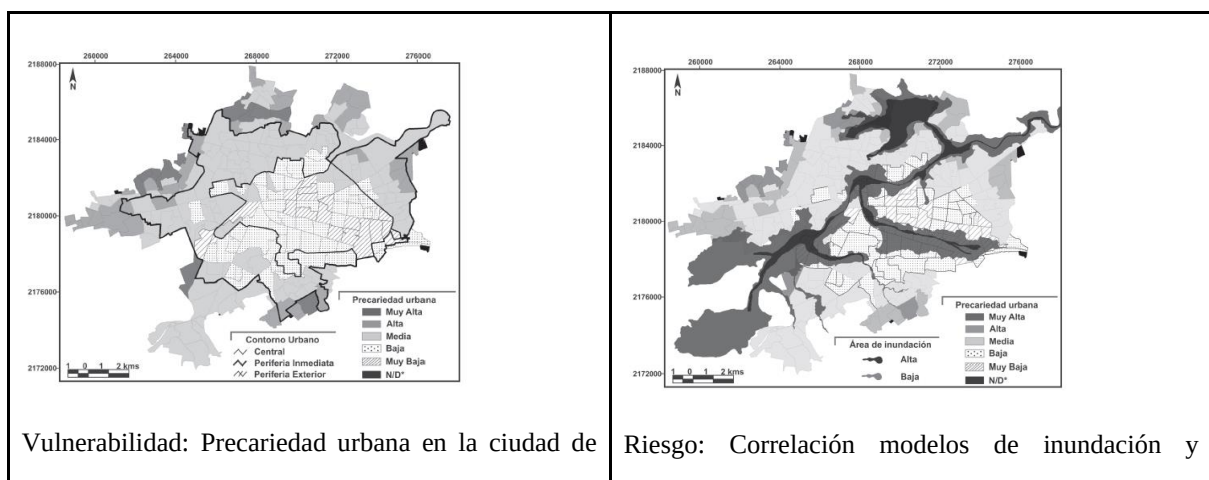
Figura 1.6. Mapa de susceptibilidad de peligro, vulnerabilidad global y riesgo en Motozintla de Mendoza, Chiapas



Fuente: elaborado sobre la base de Rodríguez (2018).

d) Hernández y Vyera (2010), exhiben dos mapas (figura 1.7), la vulnerabilidad es expresada por la precariedad urbana, obtenida por un análisis multicriterio sobre los entornos urbanos y la calidad de viviendas, por su parte la peligrosidad es determinada por parámetros de precipitación y morfométricos, en adición a un análisis espectral de variación y frecuencia de precipitación; ambos productos son sobrepuestos para generar la expresión del riesgo.

Figura 1.7. Expresiones de mapas de precariedad urbana y correlación de modelos de inundación y precariedad urbana en la ciudad de Morelia



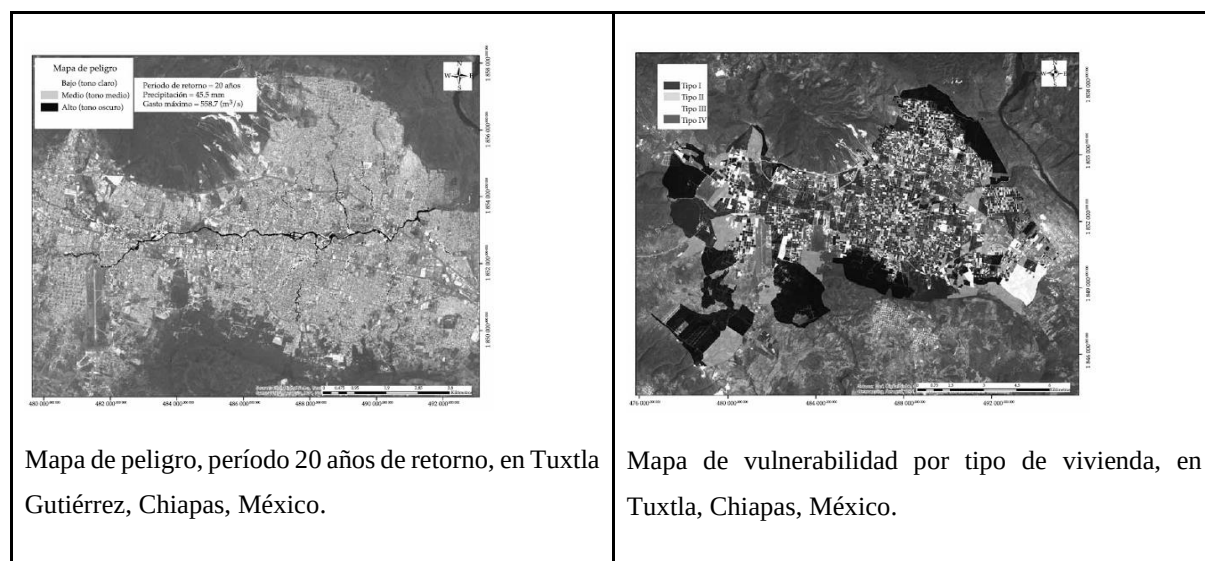
Morelia, 2005.

precariedad urbana en la ciudad de Morelia.

Fuente: elaborado sobre la base de Hernández & Vyera (2010).

e) Alcocer, Rodríguez, Bourguett, Llaguno & Alborno (2016), tras mencionar metodologías en la estimación del peligro en diferentes países, desarrollan una propuesta, para el Instituto Mexicano Tecnológico del Agua (IMTA), que implica la estimación del *peligro* a través de análisis hidrológicos e hidrográficos, modelos de simulación y escenarios, análisis de la precipitación e infraestructura, la delimitación y caracterización de la cuenca; en el caso de la *vulnerabilidad*, se desarrolla con información a nivel AGEB, puesta a disposición por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI); dichos resultados son reflejados en una propuesta de clasificación de viviendas (figura 1.8).

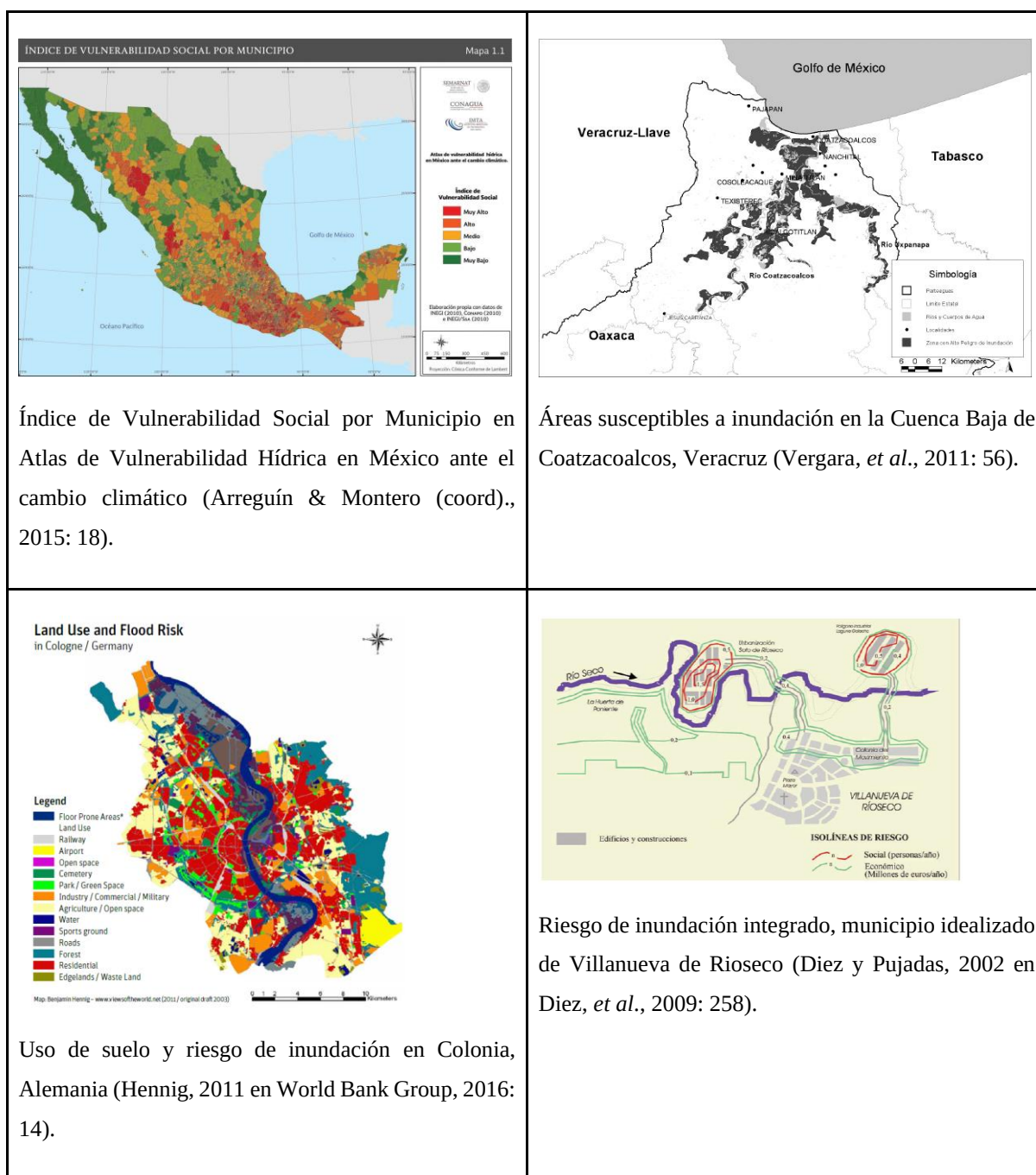
Figura 1.8. Expresión de mapa de peligro y mapa de vulnerabilidad por tipo de vivienda en Tuxtla, Chiapas



Fuente: elaborado sobre la base de Alcocer, *et al.* (2016).

f) Diversos autores (Arreguín & Montero, 2015; Vergara, Ellis, Cruz, Alarcón & Galvan, 2011; Hennig, 2011; en World Bank Group, 2016; Diez & Pujadas, 2002; en Diez, *et al.*, 2009), han desarrollado otros productos cartográficos (figura 1.9), de los cuales algunos atañen a los componentes del riesgo sin llegar a la conformación completa de éste; asimismo, en estas expresiones es posible señalar la variabilidad en las escalas de trabajo.

Figura 1.9. Expresión de mapas de componentes del riesgo



Fuente: elaborado sobre la base de los autores indicados.

En las expresiones presentadas, de manera general, se puede destacar que existe una diversidad de escalas, no obstante, la mayoría enfatiza la representación de una localidad o una cuenca, es decir, que persiste la priorización de representación por medio de escalas grandes (1:200 000 a 1:2 500, criterio de Salitchev, 1979; en Propin, 2003).

Dentro de esta selección de ejemplos, la mayoría de ellos refieren a inundaciones de tipo fluvial y pluvial, es esencial la inclusión del cauce, así como las poblaciones cercanas y parte de la

infraestructura, de igual manera se presentan áreas para denotar qué elementos o poblaciones son aquellas que están en una condición de mayor riesgo, por lo tanto, así abarcando signos puntuales, lineales y areales.

Con respecto al empleo de métodos de representación cartográfica, éstos varían de acuerdo con los componentes del *riesgo*, por ejemplo, en el caso de la *peligrosidad*, el uso de los métodos más usuales corresponde al de áreas y coroplético (Salitchev, 1979; Kraak & Ormeling, 2010), cuyas regiones denotan un orden de intensidad.

En el componente de la *vulnerabilidad* los métodos empleados son el coroplético (Kraak & Ormeling, 2010); sin embargo, debido a la escala empleada, éstos señalan divisiones que tienden a ser por localidad o en el caso de México por AGEB. A través de los colores se caracteriza a la población u otros elementos expuestos, debido a la propiedad multidimensional de la *vulnerabilidad* es posible desarrollar un mapa para cada tipo, en los ejemplos se incluye al mapa que ansía abarcar una *vulnerabilidad global*. Es importante resaltar la propuesta de Hernández & Vyerra (2010) quienes consideran a la *vulnerabilidad* asociada a la precariedad urbana; y Hernández, Barrios & Ramírez (2017) que la representan por tramos del río.

A continuación, el cuadro 1.3 y el cuadro 1.4, aportan una síntesis de algunas de las diferentes propuestas metodológicas, encaminadas a la estimación de la *peligrosidad* y la *vulnerabilidad*, respectivamente; se enlistan sus requerimientos y características, así como algunas particularidades reflejadas en su expresión cartográfica.

Cuadro 1.3. Metodologías para la estimación de la peligrosidad

Método	Requiere	Expresa	Autor(es)
Métodos directos	-Diseño de inundación por regresión de datos.	-Extensión de las áreas inundables según el diseño de inundación/descarga.	(Po Basin District Authority [PBDA], 2001; Klaus, <i>et al.</i> , 1994) en Franzi (2012: 242 y 260).
Métodos indirectos	-Diseño de inundación por modelación procesos hidrológicos.	-Niveles de peligro se pueden establecer según la profundidad, la duración o la velocidad del agua. -Considerar fiabilidad de las estructuras.	
Método histórico	-Marcas de reconocimiento en campo. -Documentación histórica. -Recopilación testimonios y experiencias.	-Señalización de áreas inundables. -Caracterización de multievento o monoevento. -Isobatas (áreas de inundación peligrosas para personas y áreas de inundación no peligrosa para personas). -Isotacas (líneas de igual velocidad de flujo). -Puntos conflictivos (obstáculos de flujo y peligros inducidos). -Carga de sedimentos. *Se alienta el uso de estos métodos para complementarse y aplicarse de forma integrada.	Diez, <i>et al.</i> (2009).
Método paleohidrológico	-Reconocimiento en campo de marcas y tipos de depósitos. -Eventos pretéritos con elementos datables.		
Método hidrológico-hidráulico	-Estimación de caudales en la cuenca (velocidades y variación en el tramo fluvial). -Datos de caudales y precipitación.		
Oficina Federal de la Economía de las Aguas (OFEE, siglas en francés)	-Relación entre el tirante (m) y velocidad (m/s).	Tres niveles de peligrosidad: -alto (población dentro y fuera de las viviendas); -medio (población fuera de las viviendas y posibles daños a edificaciones); -bajo (daños leves a edificaciones).	Francia, Estados Unidos, Gobierno de Gales del Sur y propuesta de IMTA en Alcocer, <i>et al.</i> (2016).
FEMA	-Relación entre el tirante máximo $h(m)$ con la velocidad del agua (m/s).	Tres niveles de peligrosidad: -alto (pérdidas de vidas humanas y fallas estructurales); -medio (daños a la integridad de las personas y afectaciones edificaciones). -bajo (población no afectada y daños leves a edificaciones).	
Gobierno de Gales del Sur, New South Wales Government	-Profundidad y velocidad del agua.	Tres niveles de peligrosidad: -alto (difícil evacuación, problemas de traslado y daño estructural); -de transición (depende contexto del lugar); -bajo (evacuación accesible, pocos problemas de traslado).	
Propuesta Instituto Mexicano Tecnológico del Agua (IMTA)	-Tirantes y velocidades. -Análisis hidrológicos e hidrográficos (lluvias de diseño y usos de suelo). -Modelo de simulación y generación de escenarios. -Análisis precipitación (espacial y temporal- lluvia de proyecto). -Infraestructura urbana (planimetría y configuración del terreno). -Delimitación y caracterización de las cuencas (parámetros geomorfológicos).	-Se genera un mapa para cada periodo de retorno. -Se establecen tres categorías de peligro: bajo, medio y alto. -Apunta a un manejo integral de aguas pluviales.	

Zonas urbanas	-Simulaciones hidráulicas. -Hipsometría (unidades geomorfológica). -Perfiles topográficos en tramos del cauce.	-Generación de polígonos de inundación según la dirección de flujo. -Clasificación y establecimiento de distancias y áreas.	CENAPRED en Coordinación Nacional de Protección Civil (2014).
Zonas rurales	-Hidrología clásica y simplificaciones. -Delimitación cuenca y red hidrográfica. -Evaluación terrazas aluviales y cercanía a asentamientos.	-Se hace una correlación entre la topografía, vegetación, suelo y geología. -Peligro en tres niveles: extraordinario, frecuente y poco frecuente. -Escala de tirantes.	
Cartilla de autoevaluación	-Encuesta basada en las experiencias de las personas, cuestionamientos referente a la frecuencia, altura/profundidad, duración y contenido de sedimentos.	-Se establecen cinco niveles de peligro: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. -Implantación puntual de acuerdo a los predios de levantamiento de encuestas.	
Regionalización de gastos generados por avenidas máximas (inundaciones fluviales)	-Análisis estadístico regional de las precipitaciones máximas anuales (con 20 años de registro), estimación de los valores máximos anuales. -Definición de áreas homogéneas y modelos de ecuaciones. -Características fisiográficas: área, longitud y pendiente cauce principal, tiempo de concentración, número de curva, espesor del suelo, precipitación y pendiente media de la cuenca. -Regionalización de escorrentía. -Factores regionales para doce periodos de retomo.	-Cartografía de isoyetas asociadas a diferentes periodos de retomo (incorporados al Atlas Nacional de Riesgos, CENAPRED). -Regionalización homogénea y asignación ecuación. -Factores regionales permiten estimar el caudal de una cuenca según su grupo asignado.	Dominguez, M., Camizosa, E., Arganis, J., Esquivel, G., González, C., Martínez, C., Hincapié, L., & Osyana, R. (2017) en Sistema Nacional de Protección Civil México (2017).
Otros	-Elementos geométricos. -Obtención e integración datos de escorrentía, precipitación, volumen de agua, hipsometría, coeficientes de escorrentía, longitud y superficie. -Análisis espectral con Watershed Modeling System.	Señalización de áreas inundables.	Hernández & Vyera (2010).
	-Caracterización de la escorrentía. -Modelación hidráulica (Hec-Ras). -Perfiles hidráulicos. -Líneas de corriente central. -Orillas canal principal y líneas de centro de masa de flujo.	Se establecen tres zonas de peligro: bajo, moderado y alto.	Rodríguez (2018).
	-Modelo Área de simulación extensa de modalidad de escorrentía (LARSIM). -Parámetros meteorológicos. -Estadística de precipitación.	-Interpolación de datos históricos de un eventos, por análisis de regresión logarítmica lineal → kriging. -Refleja la escorrentía y descarga histórica. -Reconstrucción de la distribución de un evento pasado.	Seidel, Dostal & Imbery (2012).
	-Análisis espacial, considera variables de Modelo Digital de Elevación, Hidrología Superficial, Geomorfología y Edafología.	-Se establecen tres niveles: alto, medio y bajo. -De acuerdo con las elevaciones (unidades geomorfológicas), pendientes, características de los suelos (textura y drenaje).	Vergara, <i>et al.</i> (2011).

Fuente: elaborado sobre la base de los autores referenciados.

Cuadro 1.4. Metodologías para la estimación de la vulnerabilidad

Método	Requiere	Expresa	Autor(es)
Evaluación cualitativa	-Enfoque en los factores locales e individuales (difícilmente mensurables). -Entrevistas personales a grupos de interés y opinión de expertos.	-Caracterización de acuerdo a las aportaciones de la población o actores involucrados.	Pérez, Gil & Quesada (2021).
Evaluación cuantitativa	-Información proveniente de censos y estadísticas que permitan caracterizar las características socioeconómicas de la población. -Reproducibles y adaptables para diferentes contextos.	-Permiten la generación de una extrapolación espacial.	
Índices	-Contemplan componentes como la situación económica de la población, nivel cultural o sanitario. -Índice de Desarrollo Humano (1999). -Propuesta de Research and Assessment System for Sustainability Science Program (2001). -Propuesta de United Nations Development Programme Adaptation Policy (APF). -Propuesta ESPON Hazards project (2003).	-Se aborda el conjunto de amenazas potenciales. -Escala de grandes regiones o países. -Permiten comparación espacial.	En Perles (2010).
Propuesta de consenso metodológico	-Lista de chequeo que permite seleccionar variables de manera ordenada y sistemática. -Guía de indicadores generales de vulnerabilidad del medio humano (pp. 80 y 81).	-Considera exposición de poblaciones, bienes y actividades. -Se designan factores bio-físicos y sociales (éste último frente al peligro y frente al impacto).	Perles (2010).
Hazards of Place Model (HPM)	-Determinación de vulnerabilidad biofísica: información sobre el contexto geográfico, lugar y situación; proximidad a la amenaza/peligro. -Determinación vulnerabilidad social: caracterización del tejido social emplea indicadores socioeconómicos, conocimiento de la población sobre el riesgo (percepciones) y habilidad individual y colectiva para responder. -Se integran ambas vulnerabilidades. -Considerar cambios en los contextos y por lo tanto su actualización.	-Se expresa a través de proporcionar elementos del contexto geográfico que permiten comprender la relación entre ambas vulnerabilidades. Muestra delimitaciones de los elementos expuestos. -Se alude a la escala de localidad. -Posible aplicarse y reflejarse para uno o múltiples peligros. -Adaptabilidad con diferentes contextos y enfoques metodológicos: históricos; sistemas de información geográfica; descriptivos o empíricos.	Cutter (1996).
Índice de Vulnerabilidad Social (SOVI, acrónimo en inglés).	-Datos socioeconómicos y demográficos. -Filtro y uso de 42 variables (p. 250), agrupadas en 11 factores (p. 252). -Factores se incluyen como variables a través de un modelo de adición.	-Cada factor se considera con una contribución equitativa a la vulnerabilidad total. -Adecuación para que valores positivos indicaran niveles más altos de vulnerabilidad. -Cartografía de acuerdo con las variaciones estándar de la media dentro de cinco categorías contempla de -1 en el más bajo a +1 en el más alto.	-Cutter, Boruf, & Lynn (2003).
Índice Compuesto de Vulnerabilidad Social	-Información obtenida de censos y desagregación a máximo nivel de detalle. -Discriminación y selección de variables 18 (pp. 11-13). -Análisis de Componentes Principales (ACP). -Estandarización de variables, datos con media 0 y desviación estándar 1 = valor de la variable – la media / desviación típica. -Sumatoria de cada uno de los componentes obtenidos (ajuste a su direccionalidad) para el valor concreto del índice.	-Representación cuantificada y visual de cómo varía la vulnerabilidad social en el espacio. -Los valores más altos indican mayores niveles de vulnerabilidad.	Pérez, Gil & Quesada (2021).
Índice de Vulnerabilidad Social Local (INVISUOL)	-Indicadores socioeconómicos y sociodemográficos (pp. 144 a 146). -Normalización de variables en porcentajes y tipificación, media 0 y desviación típica 1. -Análisis multicolinealidad por matriz de correlación y ACP. -Análisis multivariante y determinación de factores intervinientes ocultos (4 en p. 150). -Combinación con encuesta previamente realizada, respuestas con valores para integración (p. 148).	-Se emplea un modelo de adición para los resultados. -Procura solventar el distanciamiento entre los enfoques cualitativos y cuantitativos. -Cartografía empleo el método de desviaciones típicas y se muestra por nivel de sección censal.	Pérez, Navarro & Álvarez (2016).

Flood Vulnerability Index (FVI)	-Basado en enfoque de sistemas, identificar interacciones actores y componentes en límites definidos. -Componentes: social, económico, ambiental y físico. -Se evalúan los sistemas: cuenca, subcuenca o sistema urbano; diferentes indicadores para cada uno. -Corroboración matriz: factores vs componentes. -Vulnerabilidad= Exposición + Susceptibilidad – Resiliencia	-La representación se determina de acuerdo al sistema planteado, según se trate de una cuenca, una subcuenca o un sistema urbano. -Indicadores, construcción, escala y representación variable.	UNESCO, Instituto for Water Education (s/f).
Índice de Vulnerabilidad Social (Propuesta IMTA)	-Retoma nociones de SOVI, Sistema de Indicadores Sociales de Ecuador e Indicadores de CENAPRED. -15 indicadores obtenidas de INEGI, Secretaría de Salud y Comisión Nacional de Población. -Se agrupan en: empleo e ingreso, educación, salud, vivienda y población (pp. 14 y 15). -Porcentajes de cobertura y se le otorga calificación; generación índices temáticos y obtención de media.	-Se refleja en escala municipal. -Se establecen cinco grupos de vulnerabilidad.	Arreguín, López, Rodríguez & Montero (coord.). (2015).
Enfoque de sistemas para evaluación de la vulnerabilidad	-Modelo jerarquía de abstracción. -Consideras tres áreas: la exposición, susceptibilidad y resiliencia; todas poseen la misma relevancia en el análisis. -Considera variables diferentes para cada una de las áreas -Cada valor de Índice de Vulnerabilidad ante Inundación y medida de prioridad se asocian con valor sociométrico (p. 11).	-Síntesis de resultados y aplicación. -Adecuación del modelo de jerarquía de abstracción por niveles: propósito funcional, valores y medidas de prioridad, relación objetivos-funciones, relación procesos-objetos y objetos físicos (p. 8).	Beevers, Walker & Strathie (2016) en Cajigal & Maldonado (2019).
Zonas urbanas	-Estimación de vulnerabilidad de la vivienda. -Información a nivel AGE, manzana o predio según disponibilidad del censo de población; filtro y adecuación según parámetros establecidos. -Agrupación de viviendas clasificadas por nivel.	-Cartografía coroplética tras la unión entre nivel de detalle y clasificación obtenida.	CENAPRED en Coordinación de Protección Civil (2014).
Zonas rurales	-Recorrido y reconocimiento en campo, identificación de asentamientos. -Generación de matriz de las combinaciones de los materiales empleados en muros y techos. -Agrupación vulnerabilidad por rangos de acuerdo con lo anterior.	-Correlación de la información de la clasificación de viviendas y la realidad. Escala manzana o predio.	
Cartilla de autoevaluación	-Encuesta basada en las características de la población y sus viviendas; cuestionamientos sobre el material de muro y techo de la vivienda, años desde su construcción, grado de estudios y si ha vivido una inundación.	-Asignación de color a cada casa/predio según su nivel de vulnerabilidad.	
Otros	Peck, Karmakar, Subhakar & Simonovic (2007): indicadores biofísicos (sensibilidad biológica); indicadores económicos (estructura); indicadores de infraestructura (instalaciones críticas y transportación); indicadores sociales (edad, accesibilidad a recursos, estructura del hogar, etnicidad y economía). Connor & Hiroki (2005): Índice de Vulnerabilidad ante inundaciones (FVI por sus siglas en inglés): toma en cuenta cuatro componentes (climático-meteorológico, hidrogeológico, socioeconómico y contramedidas); desarrolla 11 indicadores para conformar los componentes anteriores (en Cajigal & Maldonado, 2019: 548). Balica, Douben & Wrigth (2009): evaluación de la vulnerabilidad a nivel cuenca, subcuenca o urbano; variables deben ser accesibles, cuantificables e interpretables; se consideran cuatro categorías (física, económica, administrativa y social/institucional); las variables difieren según el contexto y características del espacio bajo evaluación. -Investigación documental y entrevista; se establecen dos dimensiones de vulnerabilidad (física-material y social-organizacional) (p. 553 a 557), se complementa con método Delphi (compilación opiniones); la entrevista está dirigida a profesores docentes de bachillerato que tuvieron experiencia con eventos de los lugares de estudio, asimismo para autoridades de protección civil. Integración en cinco categorías con 22 indicadores (pp. 561 y 562).		en Cajigal & Maldonado (2019).

Fuente: elaborado sobre la base de los autores referenciados.

Se ha visto que son muchas las propuestas que envuelven a la estimación del *riesgo*; sin embargo, es importante tener consciencia que no es posible capturar todos los elementos de la realidad, sino que existirá incertidumbre (World Bank Group, 2016). Debido a lo anterior, la epistemología del riesgo continúa en construcción, incidiendo en la optimización de los métodos, criterios y productos, así como la adecuada interpretación de éstos, que conlleva a decisiones más pertinentes.

La materialización del riesgo en desastre, además de evidenciar desigualdad entre la población, refleja sectores que agravan las condiciones de exposición y vulnerabilidad, como lo es la falta de una planeación formal, que vele por el entorno ambiental y la regulación de los usos de suelo, las actividades y los asentamientos; por lo tanto, la gestión debe trascender en la separación de los intereses particulares por un trabajo integral (Alba & Castillo, 2014; Vergara, *et al.*, 2011).

De entre las medidas de acción, se pueden mencionar las predictivas, preventivas y correctivas (Diez, *et al.*, 2009). Para llevarlas a cabo hay que considerar la complejidad entre los factores humanos y naturales, que en conjunto crean un espacio cambiante y, por ende, las medidas deben adaptarse a estos contextos (Franzi, 2012).

A través de la cartografía se apunta a medidas de carácter más preventivo, pues actúa como insumo en el ordenamiento territorial, así como la gestión integral de cuencas, la educación y comunicación del riesgo.

1.4 Vínculo de las inundaciones con el manejo integral de cuencas

En el presente subcapítulo, se identifican los aspectos más relevantes de las cuencas hidrográficas y su gestión. Se distinguen los alcances de la cartografía como insumo esencial para guiar la implementación del manejo integral de cuencas; a su vez, se apunta la relevancia de esta última para la prevención y mitigación del fenómeno de las inundaciones.

Algunas reflexiones dentro de la epistemología y construcción de la Geografía de los Riesgos, tienden a medidas preventivas y el paulatino alejamiento de las medidas estructurales como solución prioritaria. Entre la gama de opciones de incidencia una de ellas es la gestión integral de cuencas, la cual, compagina con la cartografía temática y sus posibilidades de síntesis y comunicación.

Una cuenca hidrográfica es un área que se halla delimitada de manera natural por su topografía, la cual funciona como un conjunto de sistemas físicos-biológicos y socioeconómicos, conectados a través de una red de drenaje (aguas arriba y aguas abajo) que confluyen y desemboca en un punto en común, cuya agua transporta materia (sedimentos) y energía (Brooks, Ffolliot & Magner, 2013; Asdak, Supian & Subiyanto, 2018).

Estas unidades permiten comprender espacialmente el ciclo hidrológico, las relaciones de interdependencia entre el medio biofísico, los modos de apropiación y las instituciones. Asimismo, es posible inferir sobre la acumulación de impactos y externalidades que repercuten sobre la calidad y cantidad de agua, siendo, por lo tanto, espacios ideales para la planeación y gestión del territorio (Cotler, Galindo, González, Pineda & Rios, 2013).

Las cuencas y elementos que pertenecen a ella debido a su distribución son susceptibles de ser representados en mapas a través de su inventariado y clasificación, al igual que el recurso hídrico y su caracterización cuantitativa y cualitativa (Bocco, 2004). Estos sistemas poseen una jerarquía, Cotler, *et al.* (2013) presentan un esquema (p. 11), en el cual se asocia el nivel con la escala de representación sugerida, siendo para la categoría cuenca 1:250 000, subcuenca 1:100 000 y microcuenca 1:20 000.

En el caso de México, la cartografía de cuencas hidrográficas ha sido llevada a cabo por el INEGI, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), quienes han convenido en criterios hidrográficos, topográficos e incluso de toponimia, identificando, en 2007, 1471 cuencas (Cotler, *et al.*, 2013), de las cuales CONAGUA ha agrupado en 757 y éstas a su vez en 37 regiones hidrológicas para facilitar su gestión (Centro de Información del Agua, 2017 en Centro de Información del Agua, s/f).

Las inundaciones y su ocurrencia en el contexto de cuencas se ven influenciadas por las características de éstas, ya que, por ejemplo, las avenidas o *flash floods* suelen acontecer en cuencas de poca extensión, circulares, con altas pendientes y material impermeable, así como condiciones de precipitación intensa; mientras que las crecidas o *gradual floods*, son más habituales en cuencas de

mayor extensión, con formas alargadas y pendientes suaves, litología permeable y precipitación poco intensa (Diez, *et al.*, 2009).

En adición, otra propuesta para distinguir el tipo de inundación resulta de la correlación entre la extensión de la cuenca y la intensidad de la precipitación (Arreguín, López & Manengo, 2016), siendo, por lo tanto, para cuencas pequeñas, las lluvias cortas pero intensas provocan inundaciones pluviales, mientras que para cuencas grandes, las lluvias largas e intensas generan inundaciones fluviales.

Otras causalidades que atañen de manera más directa el papel del ser humano son las formas de vida, actividades y modificaciones sobre el entorno, pues uno de los cambios más relevantes en las últimas décadas ha sido la pérdida de vegetación, afectando, por lo tanto, a todo el sistema y limitando sus funciones (Cotler, *et al.*, 2013). Por lo anterior, resulta imperativo reflexionar sobre nuestra relación con el agua, no intentar ir contra la dinámica de la cuenca, sino aprovecharla (Zambrano, 2017).

El manejo integral de cuencas es un proceso que implica la organización y guía en el uso y relación con los ecosistemas que componen la cuenca, para que éstos no se vean afectados negativamente y puedan realizar sus funciones de manera adecuada y a su vez provean de bienes y servicios a las comunidades que habitan la cuenca. En este proceso se deben reconocer las relaciones entre los usos de suelo y el agua, así como a la espacialidad que conecta aguas arriba y aguas abajo (Brooks, *et al.*, 2013).

Chávez (2004) lo enuncia como “el manejo ordenado y coherente de todo lo que existe en un territorio articulado por un sistema hidrológico definido en sus fronteras por esas líneas llamadas parteaguas” (p. 173). En adición, Cotler, *et al.* (2013) retoman a Sabatier, *et al.* (2005) para reafirmar su característica de proceso, el cual dirige sus esfuerzos a comprender y solucionar una trama de problemas interrelacionados; además, debe ser adaptativo y hallar sustento en la unificación de conocimiento científico y local, siendo esencial la cooperación y colaboración de los actores involucrados, perfilando a establecer una visión en común.

En el marco del manejo integral de cuencas, existe un enfoque acotado al fenómeno de las inundaciones, denominado como *Manejo Integral de Crecidas*; este preserva la concepción de la cuenca como un sistema dinámico que sostiene interacciones y cambios entre medios hidrológicos y el suelo, con una perspectiva de sostenibilidad de los medios de subsistencia, se identifican oportunidades que impulsen la mejora del rendimiento del sistema en conjunto para maximizar los beneficios de las llanuras de inundación y reducir al mínimo las pérdidas (De Luna & Velez, 2009; Arreguín, *et al.*, 2016).

Algunos de los requisitos para llevar a cabo el manejo integral de cuencas son, en primera instancia, poseer conocimientos de sus características geomorfológicas e hidrológicas con el fin de

encaminar las acciones (combinación vegetativas e ingenieriles) a un desarrollo sustentable del uso del suelo y agua (Brooks, *et al.*, 2013); otros más específicos son esbozados por Dourojeanni (2004), constando de un inventario de recursos; estudios de ocupación del territorio y sus efectos en el ciclo hidrológico; evaluación de las acciones directas y de las externalidades; el planteamiento de estrategias para reducir las secuelas de las intervenciones; plantear y discutir los roles de cada actor; establecer estándares de calidad de agua; y relacionar el presupuesto con las medidas propuestas de acción. Se pretende generar un puente entre el conocimiento científico, los intereses de la población y mecanismos de gestión aplicable.

De manera complementaria, se puede mencionar la propuesta del manejo adaptativo (Mass & Cotler, 2007; Cotler & Caire, 2009; en Cotler, *et al.*, 2013), la cual consta de cuatro etapas: diagnóstico → planeación → implementación → evaluación → (volver a diagnóstico).

Este esquema comienza con la identificación del problema presente en la cuenca; se procede a realizar una priorización de áreas y planteamiento de acciones que involucren a la población; en el establecimiento de acciones y prácticas también se establecen expectativas y objetivos; tras el desarrollo de acciones se evalúan los resultados de acuerdo a lo esperado, se retoma una suerte de diagnóstico del problema o nuevos problemas y el proceso se repite considerando lo aprendido y las experiencias.

En México para el desarrollo de un manejo integral de cuencas, se enuncian como prioridades: conservar el patrimonio natural, impulsar más acciones participativas, fomentar la colaboración inter y transdisciplinaria, establecer corresponsabilidades y roles, generar un vínculo entre lo ambiental y lo económico, incluir sistemas eficientes de monitoreo, educación y comunicación (Cotler, *et al.*, 2013). Un funcionamiento apropiado del sistema proveerá de los diferentes servicios ecosistémicos a la población: aprovisionamiento, de regulación, apoyo y culturales; siendo los segundos los que brindarán un mantenimiento de los ciclos de inundación.

Otras medidas del manejo integral de cuencas que atañen directamente a las inundaciones son: la creación de depósitos de almacenamiento, construcción de niveles o canalización, conservación de la cobertura vegetal (adecuada) para minimizar la carga de sedimentos; sin embargo, también se apunta a la identificación y manejo de las llanuras de inundación por medio de la reglamentación y minimización de actividades en áreas propensas a la ocurrencia de este fenómeno (Brooks, *et al.*, 2013).

Por su parte en el *Manejo Integral de Crecidas* se desea una constante comunicación y colaboración entre los actores involucrados, por lo que inscribe en el manejo de la información con la inclusión de sistemas modernos en tiempo real, la generación de cultura y su difusión entre la sociedad, la afiliación a seguros y repartición de indemnizaciones (Arreguín, *et al.*, 2016).

La incidencia de los fenómenos no considera los límites político-administrativos (Cotler, *et al.*, 2013); por lo tanto, la manera de abordarlos debe ser coherente con su espacialidad en el territorio,

siendo la cuenca una unidad adecuada. Bocco (2004) advierte que la capacidad de la cartografía por abstraer diferentes elementos de la realidad en su dimensión espacial y temporal proporciona las herramientas suficientes para convertir datos en información apta que guíe la toma de decisiones.

Capítulo 2. Panorama de las inundaciones y caracterización de la cuenca del río Misantla

En el presente capítulo se parte de la conjunción de las características más relevantes de la ocurrencia de las inundaciones, se reconoce como parte de un sistema global y se resaltan los lugares más afectados. Después, se sitúa el contexto territorial a nivel estatal, destacando los aspectos naturales, históricos y culturales.

En lo concerniente a la sección que caracteriza el área de estudio, se realiza bajo dos perspectivas, la del medio natural y la del medio social; con respecto a la primera, se recopila información sobre su fisiografía, relieve, climatología, edafología, vegetación e hidrografía; para la segunda, se reúnen datos que atañen a la población, su distribución, acceso a servicios y actividades económicas. Por último, se distinguen los eventos de inundación más relevantes en la cuenca del río Misantla, en su compilación se vislumbran causalidades, consecuencias y algunas medidas de mitigación y prevención implementadas.

2.1 Panorama de las inundaciones

De acuerdo con Douben (2006), entre los años de 1985 y 2003 se experimentaron cerca de 2 500 eventos de inundación grandes en el mundo; en complemento, de manera reciente, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) presentó el informe *2021 State of climate services. Water*, en el cual se menciona el aumento de este tipo de peligro y desastres en las últimas dos décadas, pues según el Centro de Investigaciones sobre la Epidemiología de los Desastres (CRED), en el 2020 establecieron que los eventos de 1980 a 1999 son 1 389, mientras que de 2000 a 2019 son 3 254 (Centro de información del Agua, 2021).

Las llanuras de inundación, como áreas propensas a tener este fenómeno, dadas sus características físicas, deben su ocupación y uso a que habitualmente las civilizaciones requerían de estas condiciones para la realización de sus actividades (Franzi, 2012). Aunado a esta presencia de la población, en una escala global, la causalidad de las inundaciones viene dada ya sea por lluvias intensas o de una larga duración, así como lluvias torrenciales cortas, ciclones tropicales y lluvias monzónicas (Douben, 2006).

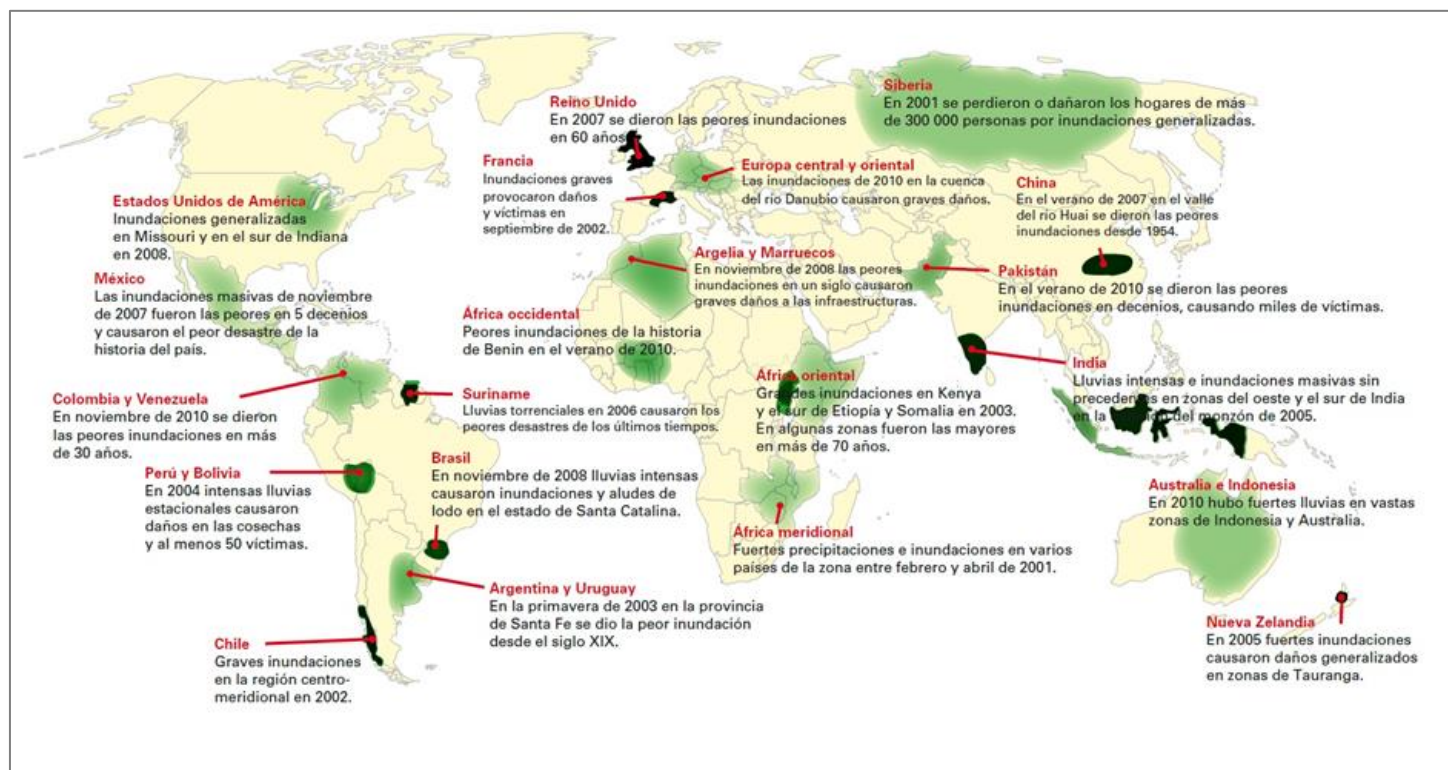
Debido a la gran incidencia de este fenómeno, son muchas las áreas y los países del mundo que se ven inmersas en esta condicionante; por ejemplo, uno de los casos más representativo es China, pues su población desde hace miles de años se ha instalado en los márgenes y riberas de sus grandes ríos (Diez, *et al.*, 2009).

Otros países del continente europeo, como Francia, Alemania e Italia, también padecen los efectos de estos fenómenos, Franzi (2012) retrata la evolución en Italia, en el cual existe una transición de estrategias basadas en obras ingenieriles a soluciones alternativas con la inserción del concepto de *evaluación del riesgo*.

Las tendencias globales apuntan a repercusiones inmediatas por la variabilidad y cambio climático; causas a las que se suman una planeación inadecuada, así como circunstancias económicas y políticas que fomentan la ocupación y establecimiento en zonas susceptibles a una inundación. Se predispone a un incremento exponencial de desastres, con mayor afectación a países que se les denomina como subdesarrollados (Vergara, *et al.*, 2011; Oropeza, Cram & Fernández, 2016).

En el *Atlas de Salud y Clima* (2012), llevado a cabo por la Organización Mundial de la Salud y la Organización Mundial Meteorológica (WHO y WMO, por su siglas en inglés respectivamente), se exponen mapas en los que se resaltan eventos asociados a inundaciones y otros fenómenos; algunas de las regiones que han padecido un gran evento de inundación, entre el 2000 y 2010 (figura 2.1), se hallan el sureste de Asia en Pakistán, India y China; en el centro y este de Europa, al igual que en Francia y Reino Unido; regiones del este, oeste y sur de África; Indonesia, Australia y Nueva Zelanda; en América en el noreste de Estados Unidos, en la mayoría de los países de Centroamérica incluyendo Colombia y Venezuela, al igual que en el sur, como en Argentina, Uruguay y Chile, parte de Brasil, Perú y Bolivia.

Figura 2.1. Algunas de las principales inundaciones de 2000 a 2010



Fuente: obtenido de la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera (NOAA) WHO & WMO, en *Atlas de Salud y Clima* (2012: 26 y 27).

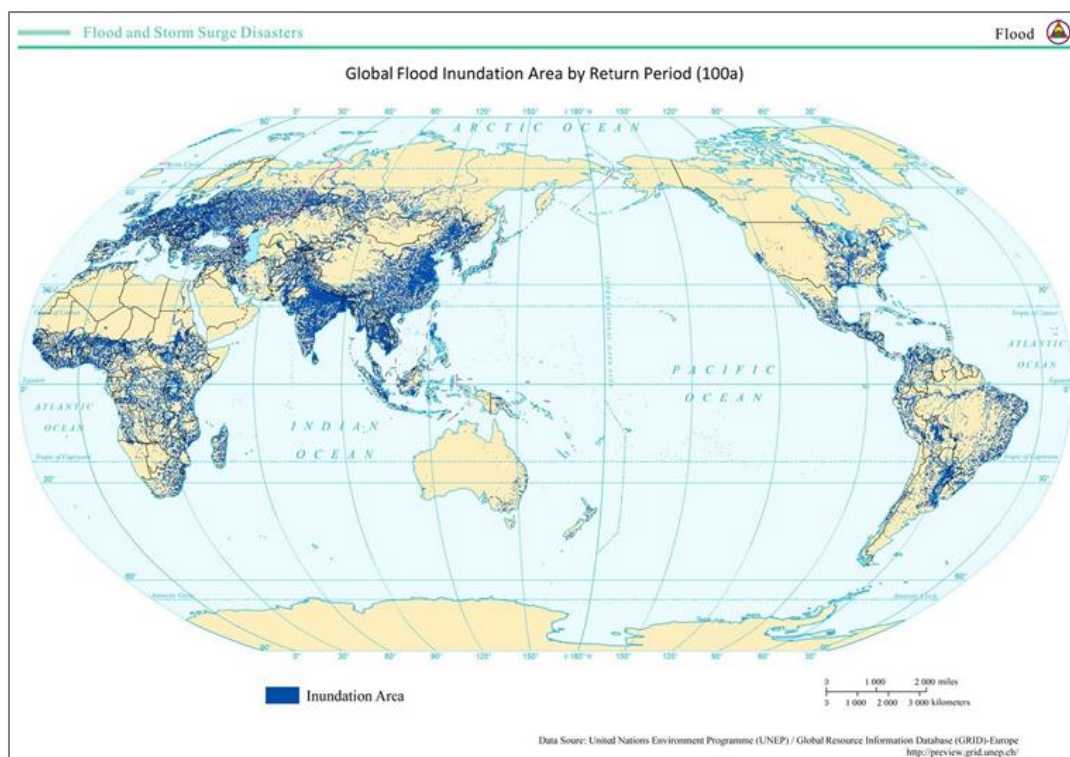
En comparación, también se alude a un conjunto de mapas desarrollados en la sección “Mapping Flood Risk of the World” (Fang, Li & Shi, 2015) del *World Atlas of Natural Disasters Risk*, entre los que se incluyen la estimación de acumulación de precipitación, descarga anual de las cuencas,

áreas de inundación, población de las cuencas y estimación de la población afectada por el riesgo de inundación, muchos de éstos elaborados para diferentes periodos de retorno; de igual manera, se incluyen mapas de pérdidas y mortalidad histórica; aportando, con lo anterior, una noción de los diferentes temas que complementan y nutren la definición de los componentes del *riesgo*.

De entre la gran variedad de mapas a disposición se han elegido dos. La figura 2.2 abarca las áreas de inundación para un tiempo de retorno de 100 años, en esta expresión se observa, por lo tanto, la distribución del fenómeno natural y atañe directamente a las condiciones naturales, aún sin procesarlo como peligro, es permisible señalar la amplia presencia que tiene en la mayoría de los continentes, destacando una gran concentración en Asia, Europa y parte de África, mientras que en América presenta una distribución más dispersa, pero que persiste a lo largo de todo el continente.

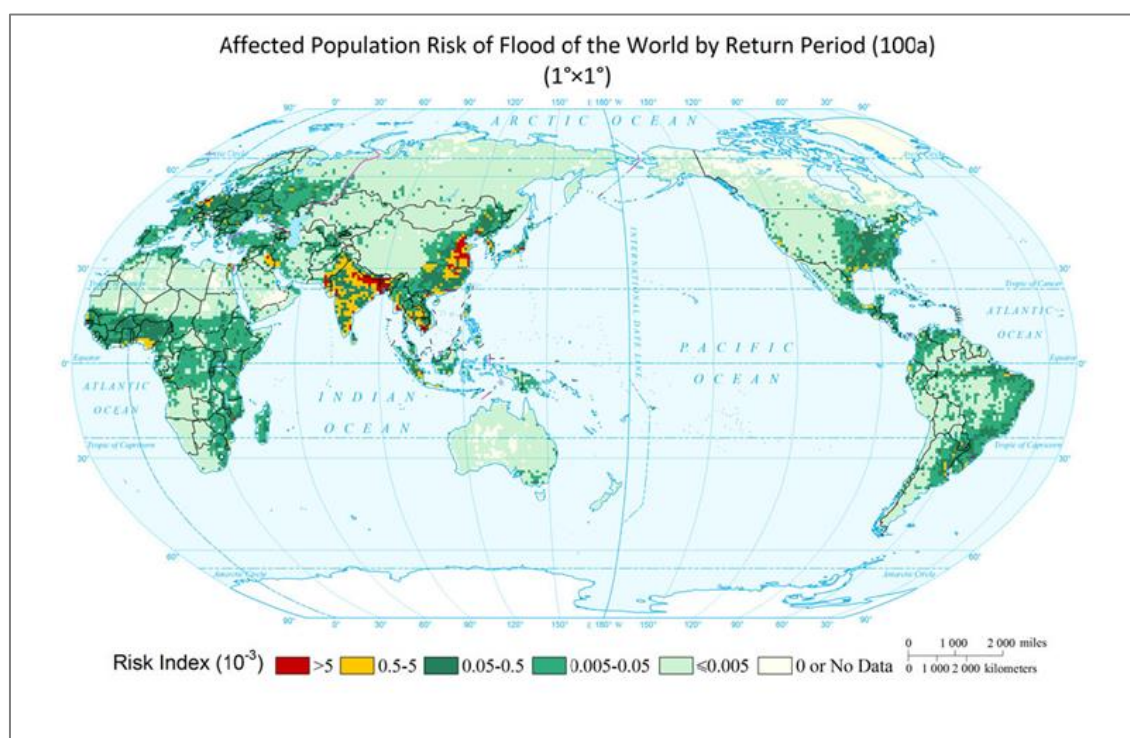
Por su parte, la figura 2.3 se refiere a la población afectada por el riesgo de inundación en un periodo de retorno de 100 años; en comparación con el mapa anterior, es notoria la coincidencia de las áreas propensas con la población que habita en ellas y, por lo tanto, se encuentran expuestas, pero ahora destacan áreas con mayor o menor riesgo, pues se contempla tanto *peligrosidad* y *vulnerabilidad*, siendo que, por ejemplo, los países de India y China sobresalen. En el caso de América, la distribución de la población en riesgo coincide con las áreas propensas, sin embargo, se muestra una mayor densidad y son destacables algunas áreas costeras en el Golfo de México y el Océano Atlántico.

Figura 2.2. Mapa de áreas inundables en el mundo (periodo de retorno de 100 años)



Fuente: obtenido de Fang, Li & Shi en *World Atlas of Natural Disasters Risk*, (2015:79).

Figura 2.3. Población mundial afectada por riesgo de inundación (periodo de retorno de 100 años)



Fuente: obtenido de Fang, Li & Shi en *World Atlas of Natural Disasters Risk*, (2015:84).

Con el material cartográfico anterior es posible reflexionar que, debido a las características y configuración de las condiciones físicas, son pocos los países y regiones que se hallan exentos de la incidencia de este fenómeno. A pesar de que la pérdida de vidas humanas no sea representativa con respecto a otros peligros o situaciones, es imperativa la atención por las repercusiones que genera sobre el territorio y externalidades a otros sistemas (Diez, *et al.*, 2009).

En el caso de México, las inundaciones se presentan por las características orográficas e hidrográficas, las cuales inducen precipitaciones ya sean éstas convectivas, orográficas o asociadas a ciclones tropicales, principalmente en el Golfo de México y Océano Pacífico, por lo que cerca de 162 000 km² tienen esta susceptibilidad (Arreguín, *et al.*, 2016).

Con respecto a factores que contribuyen y agravan el fenómeno en México, no se encuentran muy alejados del panorama mundial, pues corresponde a las deficiencias de un plan territorial o su nulo seguimiento, así como la ocupación de áreas susceptibles, incidencia sobre el entorno a través de actividades y modificaciones directas, fomentando una tendencia a condiciones de deterioro y erosión (Cantú, 2017; Arreguín, *et al.*, 2016).

El aumento de los eventos de inundación se ha hecho más evidente en los estados del Golfo de México, las actividades y asentamientos han reducido la capacidad de infiltración de los suelos, y del mismo modo contribuyen a aumentar la escorrentía (Zuñiga & Magaña, 2018; Arreguín, *et al.*, 2016),

además que el proceso de transición y conformación urbana fomenta la expansión periférica e irregularidades de tenencia de la tierra, y, por lo tanto, reproducen condiciones de carencia y vulnerabilidad (Hernández & Vieyra, 2010).

2.2 Contexto territorial

A continuación se describen algunas de las generalidades que atañen a la entidad de Veracruz; se retoma la propuesta de regionalización de Blázquez, Celaya & Velasco (2016), para distinguir sus particularidades naturales, históricas y culturales. Posteriormente, se hace una revisión de su transición demográfica y las circunstancias que han orientado su distribución; se mencionan algunos datos que refieren a sus características y condiciones de vida. Por último, se ahonda en la regionalización basada en las características hidrológicas y se especifica qué unidades forman parte del estado.

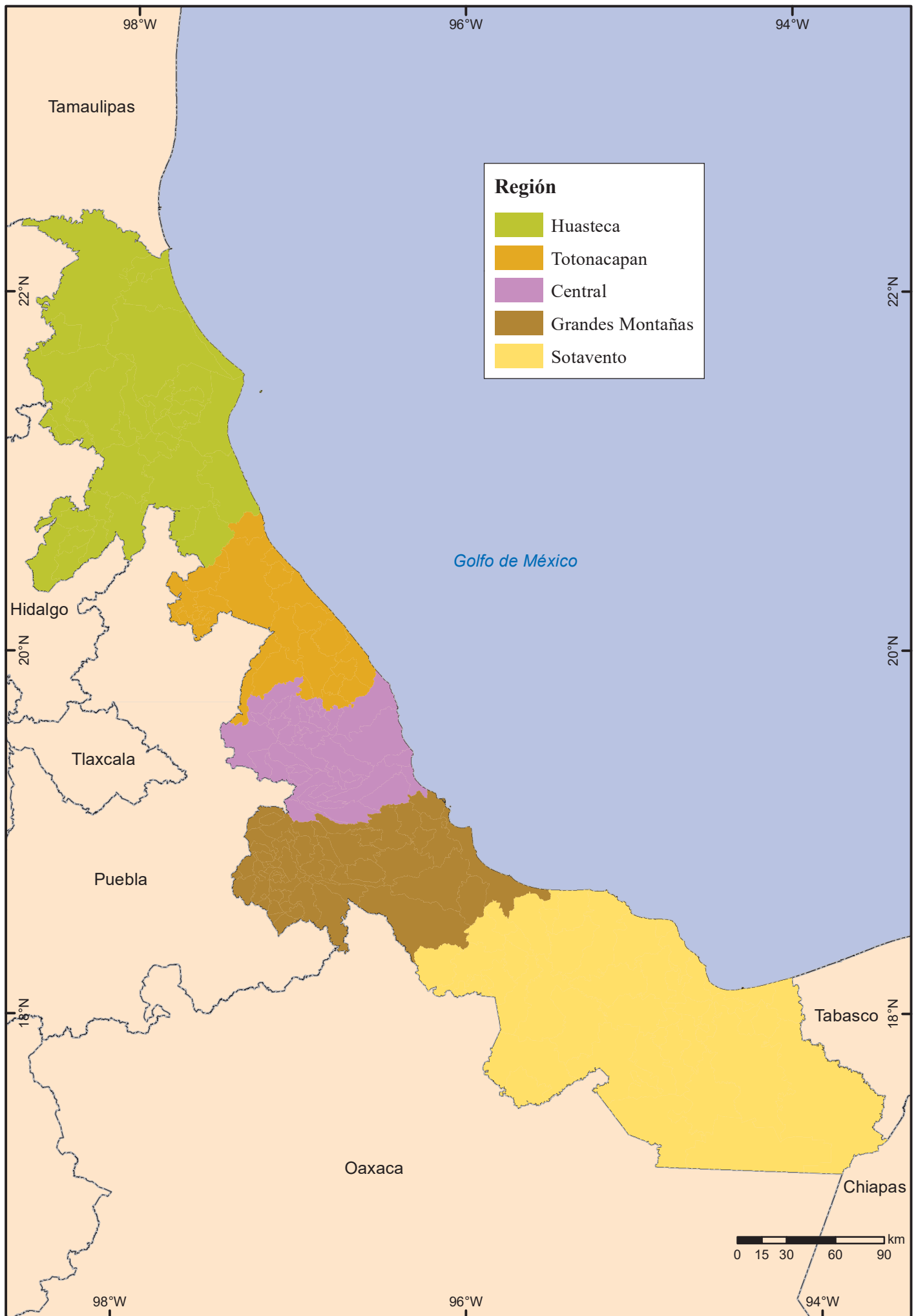
2.2.1 Características geográficas de Veracruz

El estado de Veracruz se emplaza entre los 17° y 22° de latitud norte y sobre los 93° y 98° de longitud oeste, abarcando lo largo del litoral del Golfo de México, con 660 km; su superficie es de 72 410 km², representando el 3.2% de México; se encuentra dividido en 212 municipios y su capital es la ciudad de Xalapa de Enríquez. Sus colindancias estatales son las siguientes: al norte, Tamaulipas; al oeste, San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla; al suroeste y sur, Oaxaca; y al sureste, Chiapas y Tabasco (Blázquez, *et al.*, 2016; Secretaría de Protección Civil, 2015).

La configuración natural de la entidad, conformada por planicies costeras y vertientes de la Sierra Madre Oriental, forma un gradiente altitudinal, el cual dispone de un conjunto de climas y vegetaciones, entre éstas destaca un ambiente tropical subhúmedo con selvas perennifolias en tierras bajas; el clima templado subhúmedo con encinos y bosques mesófilos en las vertientes de las serranías; y condiciones climáticas semiáridas con matorrales y cactáceas en tierras altas y laderas (Palma, 2006).

Por este arreglo natural, sumado a aspectos culturales, se han establecido diferentes propuestas de regionalización; una de éstas está dada por Blázquez, *et al.* (2016), en alusión a factores naturales con un componente histórico, de norte a sur son: Huasteca, Totonacapan, región Central, las Grandes Montañas y el Sotavento. A continuación la figura 2.4 expone esta regionalización, asimismo, se proporcionan sus particularidades.

Figura 2.4. Regiones de Veracruz



Fuente: elaborado con base en INEGI (2020b); Blázquez, Celaya & Velasco (2016).

a) Región Huasteca

Del vocablo náhuatl significa “caracol pequeño” o “guaje” (Blázquez, *et al.*, 2016:5), su orografía está constituida por la Sierra Madre Oriental, lomeríos intermedios y la costa del Golfo, en respuesta a dicha variedad topográfica, sus climas refieren primordialmente al tipo tropical, con lluvias en verano. Aunado a lo anterior, existe un amplio desarrollo de selva baja y media con su respectiva diversidad de fauna.

Durante la época prehispánica fue un espacio donde coexistieron grupos como los huastecos, tepehuas, otomíes, totonacos y nahuas; durante la conquista la vida de estos pueblos tuvo una gran modificación en su dinámica demográfica, reflejándose en una disminución como consecuencias de las enfermedades. Durante la colonia, destacó el desarrollo de la ganadería (vacuno) y la agricultura (maíz); y dicho sistema de producción persiste hasta el siglo XIX; son el establecimiento del ferrocarril y el descubrimiento del petróleo lo que impulsa una mayor conexión con el resto del país; sin embargo, la presión sobre el entorno alentó conflictos, en adición la lucha agraria, la cual representó el motor de la dinámica social y política regional, logró la restitución de sus propietarios.

En décadas más recientes, los procesos de desarrollo y actividades se enfocan en la especialización productiva, como lo es la ganadería de engorda de bovinos, plantaciones tropicales de caña de azúcar y cítricos, cultivos de cafeto y maíz; asimismo, existen consideraciones para la implementación de actividades industriales y comerciales.

b) Región Totonacapan

El término Totonacalt, el cual refiere a un habitante de la provincia, significa “hombre de tierra caliente” o “tres y corazón” (Blázquez, *et al.*, 2016:8); la región se extiende en la planicie costera y parte de la Sierra Norte de Puebla; se caracteriza por tener un relieve principalmente plano, pero con presencia de pequeños lomeríos y cañadas; destaca la disposición de un clima cálido. Debido a dichas condiciones, los ecosistemas motivan la presencia de fauna en los bosques y ríos.

En la época prehispánica, la civilización se erigió en las cercanías de la ciudad de El Tajín; más adelante, durante la conquista y época colonial, las concentraciones de población tuvieron lugar en la ciudad de Papantla y destaca la producción de vainilla, ganado, café y cítricos. Más adelante, en el siglo XIX, en Papantla y Gutiérrez Zamora, existió innovación en la producción y relaciones con el mercado internacional, adquiriendo una condición de centros económicos, donde sus áreas de influencia alcanzan y posibilitan la interconexión de las diversas zonas de la región. En el siglo XX, con la explotación petrolera, se consolidan los circuitos comerciales y destacan las relaciones entre la ciudad de Poza Rica y el centro del país.

De manera más reciente, las actividades refieren al sector primario con cultivos de maíz, chile, frijol, café, caña de azúcar, vainilla, tabaco, plátano y cítricos; asimismo la ganadería de tipo bovino,

porcino, ovino y caballar; algunas otras actividades refieren a la apicultura, pesca y la extracción de petróleo y gas.

c) Región Central

Comprende la sierra contigua a la ciudad de Xalapa y se extiende al este, hasta llegar a la costa; su relieve y fisiografía atañen a la presencia de la sierra volcánica de Chiconquiaco y el volcán Cofre de Perote, así como planicies con regiones de suelo rendzínico y arcilloso; con respecto a los climas, está presente el de tipo tropical con lluvias abundantes en verano.

Desde la época prehispánica ha sido espacio de una gran comarca cultural, aportando por su configuración territorial una ruta estratégica para el abastecimiento de tributos de esta área hacia el Altiplano, cuya particularidad persiste durante el desarrollo de la colonia. La ciudad de Xalapa se erige como el centro de comercio intrarregional, la cual provee de productos agrícolas a la metrópoli; la organización y estructura de la población corresponden a los transportes y comercios. Para el siglo XIX, destacan haciendas azucareras y cafetaleras; más adelante, el ferrocarril favorece aún más dicha comercialización, así como un impulso a la industria textil que prevalece hasta casi mediados del siglo XX.

La ciudad de Xalapa se establece como una capital cultural y política, donde se concentran los poderes del estado, siendo que, en las últimas décadas, su dinámica tiende a la economía de los servicios, turismo y actividades académicas; por su parte, el puerto de Veracruz, sobresale como la capital económica. A pesar de que existe una tendencia a la actividad comercial, aún se mantiene la agricultura y la diversidad de cultivos corresponde a la disposición de ecosistemas.

d) Región de las Grandes Montañas

Correspondiente a la porción sur de la entidad, posee una gran gama de formaciones, comprendiendo parte del Eje Neovolcánico Transversal y la Sierra Madre Oriental, lo cual se refleja en sierras, cordilleras y valles.

Durante la colonia, en las inmediaciones de Córdoba y Huatusco, existió una producción azucarera, la cual más adelante, siglos XVII y XVIII, tendría su auge y relevancia para la economía del lugar; asimismo, en el transcurso del siglo XVIII, se le designó, junto a otros lugares, con la exclusividad para la producción de tabaco, convirtiéndose así en uno de los centros más relevantes de la Nueva España. De forma posterior a la independencia, se conservaron los cultivos tropicales, añadiendo y combinando diferentes sistemas de explotación; después, la azúcar y el tabaco tuvieron una sustitución paulatina por el café, impulsando éste la integración al mercado internacional; para mediados del siglo XIX, la industria textil tuvo su esplendor con la formación de sociedades que combinaron capital nacional y extranjero.

En años más recientes, la industria textil se ha ausentado ante nuevas industrias, como lo son cerveceras, papeleras, cementeras, farmacéuticas, refresqueras, siderúrgicas, alimentarias, zapateras, entre otras. La región ha permitido una gran concentración de población, debido a su aptitud para el desarrollo de diferentes actividades del sector primario y secundario, éstas corresponden a Orizaba y Córdoba, respectivamente, desempeñando papeles complementarios.

e) Región del Sotavento

Se emplaza entre las cuencas del Papaloapan y Coatzacoalcos; el relieve dominante corresponde a extensas llanuras costeras, recibe la denominación de Sotavento pues resaltan las elevaciones de los Tuxtlas-Sierra de Santa Marta; en la zona funcional baja del Papaloapan existe un clima cálido húmedo, destacan los Tuxtlas como un importante ecosistema que provee de una selva tropical, reconocida como patrimonio de la humanidad, con una gran diversidad de especies; por su parte la cuenca Coatzacoalcos posee condiciones climáticas similares y, por lo tanto, permiten un desarrollo de biodiversidad semejante.

Esta región, durante la época prehispánica, representa el inicio de la cultura Olmeca, civilización madre de Mesoamérica, destacando entre sus centros rectores San Lorenzo Tenochtitlán, La Venta y Tres Zapotes; con una conquista y colonización tardía, existió una baja en la densidad de la población; sobresale la producción de ganadería vacuna, hubo un aprovechamiento del puerto para su exportación a diferentes lugares (la Habana y el Altiplano Central); la dinámica perduraría hasta el siglo XVIII, cuando nuevas actividades y la reconfiguración del territorio alientan un proceso de subespecialización, consolidado en el siglo XIX y con su punto álgido en el siglo XX. Factores como la actividad petrolera y la instalación del ferrocarril, impulsan, en el último siglo, una dinámica poblacional, volviendo a la región un polo de atracción.

De forma más reciente, esta región ha albergado a otras con identidad geográfica y económica propias, conservando su comunicación y relación con los mercados internacionales; por su parte Coatzacoalcos destaca por las actividades del corredor industrial y la petroquímica (petróleo, azufre y fertilizantes); mientras que en los Tuxtlas existe la agricultura, ya ahora mecanizada, de piña, caña y tabaco; en un ámbito similar, Uxpanapa y Tuxtepec-Playa Vicente, hay plantaciones de monocultivo de hule y plátano. Otras actividades presentes refieren a la ganadería, pesca y explotación forestal.

2.2.2 Generalidades sociales de Veracruz

El choque cultural luego de la conquista, de manera general, se reflejó en una ruptura de la demografía y distribución de la población nativa, por lo que en el devenir histórico la dinámica se orientó a nuevos ordenamientos; para 1930, Veracruz se erigía como el estado más poblado, sin embargo, en las décadas siguientes fue superado (B. Rodríguez, 2006), ocupando en la actualidad el cuarto lugar a nivel nacional (INEGI, 2020a); esta dinámica encuentra explicación a la suma del crecimiento natural y el crecimiento

social, pues Veracruz fungió como un estado receptor por sus requerimientos de mano de obra; para la década de 1940 existían las mayores concentraciones en las vertientes de las sierras (Orizaba y Córdoba); más adelante, en 1970, da inicio la colonización agraria, la cual concluiría para los 2000, fomentando en el transcurso mayores concentraciones en las áreas urbanas de las serranías, pero también destacando las concentraciones en los puertos del Golfo (Tampico, Veracruz y Coatzacoalcos) (Palma, 2006; B. Rodríguez, 2006).

La mayoría de la población vive dispersa en pequeñas localidades; sus centros urbanos son, en el norte Poza Rica, Martínez de la Torre y Tuxpan; en el centro, Xalapa, Boca del Río, Córdoba y Orizaba; y en el sur, Coatzacoalcos y Minatitlán. Pese a lo anterior, la tasa de crecimiento ha disminuido, evidenciando la transición del estado de uno receptor a uno expulsor (B. Rodríguez, 2006).

Sobre las condiciones de la población, los indicadores del desarrollo humano muestran el éxito o rezago de una sociedad en tres áreas clave, la calidad de vida (salud); el capital humano (educación); y el desarrollo productivo (nivel de ingreso) (H. Rodríguez, 2006). En el caso de Veracruz, de acuerdo con la Oficina de Investigación en Desarrollo Humano del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2015), alcanzaba la posición 28 con 0.713, por debajo del nacional con 0.746.

Con respecto a la situación de marginación, ésta atañe a la accesibilidad a los servicios básicos, de acuerdo con el Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2021a), para Veracruz se estableció un índice de marginación normalizado de 0.603863, ocupando la posición 4 en el contexto nacional y catalogado con un grado alto.

En el rubro de las actividades, el sector primario destaca como gran generador de empleos; con respecto al sector secundario, debido a sus antecedentes ya existe una estructura industrial establecida en petroquímica y generación de electricidad (Blázquez, *et al.*, 2016). Sobresale la producción de chayote, caña de azúcar, naranja, piña, limón; pesca de ostión, mojarra y lebrancha; y ganadería bovina (INEGI, 2009).

Por lo anterior, H. Rodríguez (2006) señala que el desarrollo de los monocultivos ha traído consigo consecuencias en el equilibrio ecosistémico, así como la susceptibilidad ante la caída de los precios agrícolas en el mercado internacional; dichas circunstancias acarrearán la reproducción de condiciones de empobrecimiento, desempleo; factores que, por lo tanto, contribuyen a aumentar la vulnerabilidad ante desastres.

Asimismo, en referencia a la dispersión de la población, ésta implica un desafío en la implementación de servicios, infraestructura y equipamiento; del mismo modo, esta condición de distribución contribuye a una relación con la dinámica hídrica que supone el deterioro de las fuentes de abastecimiento; esto se refleja en problemas de contaminación, ausencia o exceso de agua (Blázquez, *et al.*, 2016; B. Rodríguez, 2006).

2.2.3 Organización hidrológica

En México, en el Diario Oficial de la Federación (1998), se instauró una regionalización hidrológica-administrativa que consta de 13 regiones, esto considerando, además de las características naturales, los límites político-administrativos, con el fin de facilitar la gestión del agua y la promoción de la participación a través de los consejos de cuenca. Con un propósito similar, se ha establecido una delimitación en 37 regiones hidrológicas (RH), éstas de acuerdo con sus límites naturales, características morfológicas e hidrológicas. En lo que atañe a las cuencas, éstas se definen por la división de acuerdo con la configuración del relieve, definiendo en el territorio nacional 757 unidades (Sistema Nacional de Información del Agua [SINA], 2021).

La entidad de Veracruz se encuentra localizada en las regiones hidrológicas administrativas de Golfo Norte IX y Golfo Centro X; con respecto a sus regiones hidrológicas (Cervantes & Córdoba, 2015), se distinguen la RH26 Pánuco, la cuales son drenadas por el río homónimo, Tamesí y Moctezuma, posee superficie de manglar; RH27 Norte de Veracruz, conformada por los ríos Tuxpan, Nautla y cauces secundarios, la cual posee distinciones en el ámbito geomorfológico; la RH28 Papaloapan, se compone de los ríos Papaloapan, Actopan, La Antigua y Jamapa, la región sobresale por tener la mayor descarga de agua dulce, así como el área más grande de inundación, la Laguna de Alvarado; por último, RH29 Coatzacoalcos, drenada por el río del mismo nombre, se distingue por su descarga fluvial y su sistema lagunar estuarino de la Laguna del Ostión.

En alusión a sus cuencas, Veracruz posee 12 cuencas principales y 8 secundarias, siendo sus ríos principales, de norte a sur: Pánuco, Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Bobos-Nautla, Misantla, Actopan, La Antigua, Jamapa Cotaxtla, Blanco, Papaloapan, Coatzacoalcos y Tonalá (Blázquez, *et al.*, 2016; Comisión Nacional del Agua, 1998; en Secretaría de Protección Civil, 2015).

2.3. Características físicas de la cuenca del río Misantla

En el presente subcapítulo se exponen las características físicas de la cuenca del río Misantla; se establece su localización y principales distinciones; después se incluyen algunas particularidades que permite insertarla en la regionalización fisiográfica; en seguida se añaden las singularidades del relieve y su configuración.

Luego, para complemento de la regionalización de unidades climáticas, se alude a las estaciones climatológicas que forman parte del área de interés, su distribución y antigüedad de sus registros; se procede a discernir las características y distribución de los suelos; después, se hace mención de los usos del territorio y la vegetación, con énfasis en la relevancia de esta última como ecosistema. Para finalizar, se proporcionan las singularidades hidrográficas de la cuenca y su cauce principal, después se expresa la temporalidad de sus afluentes y se estima el caudal de éstos.

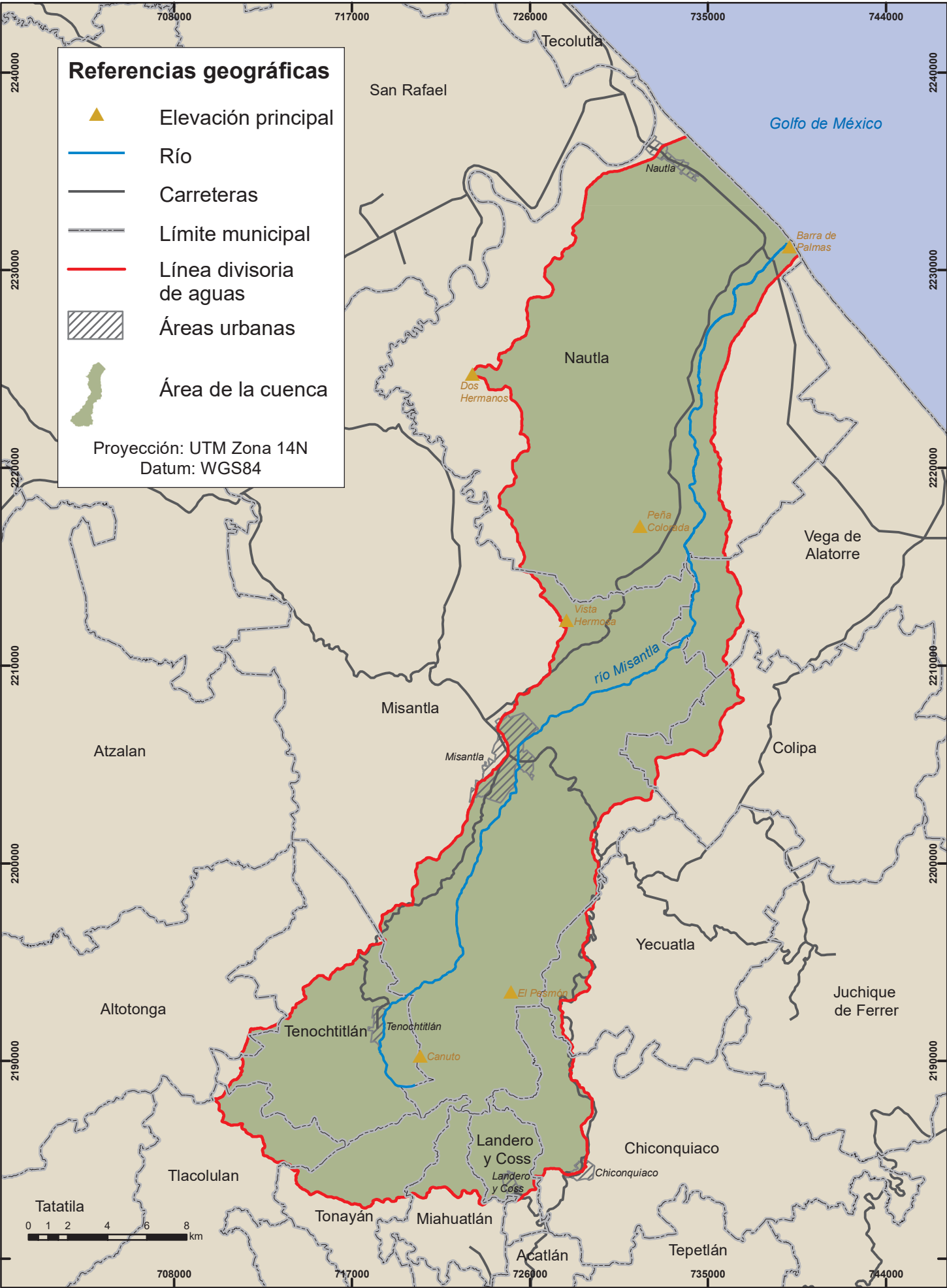
2.3.1 Ubicación geográfica

La cuenca del río Misantla, se encuentra localizada entre los 19°45' y 20°10' latitud norte y 96°45' y 97°00' longitud oeste, dentro de la RHA del Golfo Centro X, en la RH27, en las cercanías de la zona montañosa central del estado; se emplaza en las regiones Totonacapan y Central, según la propuesta de Blázquez, *et al.* (2016).

La cuenca, por su delimitación natural, abarca un área de 585.86 km² (INEGI, 2010a) y comprende 12 municipios: Altotonga, Chiconquiaco, Colipa, Landero y Coss, Miahuatlán, Misantla, Nautla, Tenochtitlán, Tlacolulan, Tonayán, Vega de Alatorre y Yecuatla; no obstante de éstos, tan solo Misantla, Nautla y Tenochtitlán representan cerca del 80% de la cuenca (Centro de Información del agua, 2022; Melchor & Román, 2016).

A continuación, la figura 2.5 expresa la localización de la cuenca del río Misantla con respecto a las delimitaciones municipales; asimismo, en el territorio, algunas de las localidades urbanas más relevantes corresponden a Chiconquiaco, Landero y Coss, Nautla, Tenochtitlán, Misantla (INEGI, 2020b); siendo que el emplazamiento, de las dos últimas, está en las cercanías del río que le da nombre a la cuenca; otros rasgos geográficos corresponden, en su mayoría, a elevaciones como Canuto, El Pesmón, Vista Hermosa, Peña Colorada, Dos Hermanos y Barra de Palmas (INEGI, 2019).

Figura 2.5. Localización de la cuenca del río Misantla, Veracruz



Fuente: elaborado con base en INEGI (2000a, 2010a, 2019 y 2020b).

2.3.2 Contexto fisiográfico

La delimitación fisiográfica atañe a una distinción de unidades homogéneas a partir del análisis integral de información topográfica, geológica, hidrológica y edafológica; asimismo, dentro de esta clasificación, se hallan las subprovincias y los sistemas de topoformas, las primeras corresponden a subregiones con características distintivas y las segundas a conjuntos de formas relacionadas por un patrón estructural (INEGI, 2001d).

La cuenca del río Misantla (figura 2.6) se encuentra emplazada entre dos provincias, dos subprovincias y dos sistemas de topoformas. Concerniente a las provincias, en la parte alta corresponde al Eje Neovolcánico, el cual se conforma de una gran masa de rocas volcánicas, pero también con la presencia de elementos de tipo sedimentario; en la parte baja se halla en la Llanura Costera del Golfo, planicie en la cual sobresalen las rocas de sedimentarias (Secretaría de Protección Civil, 2021; INEGI, 2001a).

En lo que atañe a las subprovincias, la parte alta de la cuenca se sitúa en la denominada Sierra de Chiconquiaco, cuyo rasgo distintivo alude a la presencia de unidades abruptas con continuidad hasta la otra subprovincia; en cambio, la parte baja corresponde a la subprovincia de Llanuras y Lomeríos, en ésta predominan las estructuras redondeadas relacionadas a cañadas y mesetas (Rodríguez, Valdés, Ellis & Armenta, 2020; INEGI, 2001c).

Por último, en referencia a los sistemas de topoformas, se distinguen dos, sierras y lomeríos; el primero alude a relieves montañosos, mientras que los segundos denotan un espacio con pendientes más suaves (INEGI, 2001b).

Figura 2.6. Fisiografía de la cuenca del río Misantla, Veracruz



Fuente: elaborado con base en INEGI (2000a, 2001a, 2001b, 2001c, 2010a, 2019 y 2020b).

2.3.3 Características del relieve

La RH27 destaca, en el aspecto geomorfológico, por poseer las principales expresiones en el litoral, como lo son las dunas e islas de barrera, así como la existencia de arrecifes que forman sistemas lagunares estuarinos (Cervantes & Córdoba, 2015).

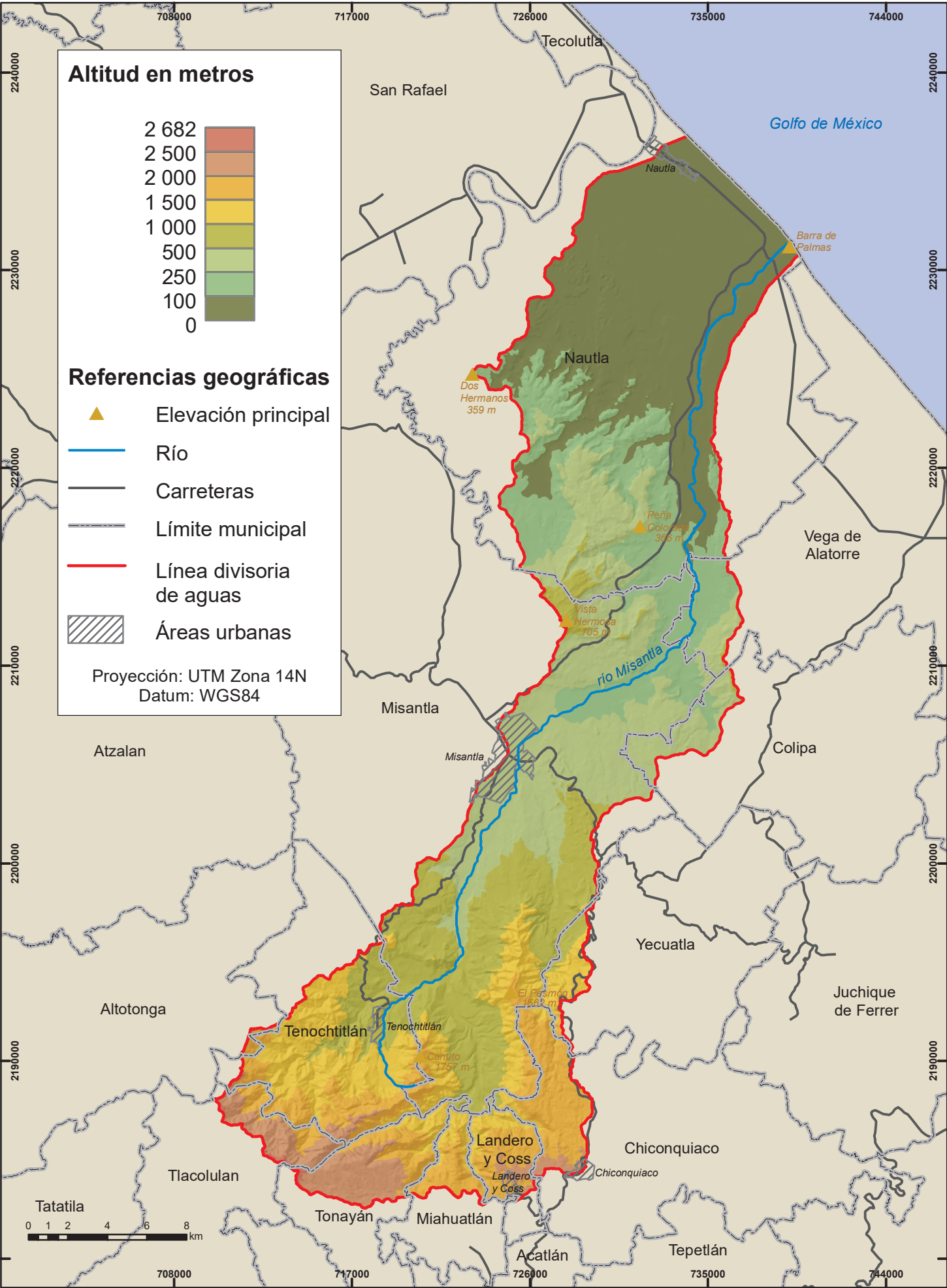
En la cuenca del río Misantla existe una elevación máxima de 2 682 msnm y una mínima de 0, en un rango de 55.5 km, por lo que posee un relieve accidentado con diversas elevaciones, éstas relacionadas con el vulcanismo (Rodríguez, *et al.*, 2020); dicha configuración topográfica permite establecer los límites naturales de la cuenca por medio de la línea divisoria de aguas.

Las principales topoformas presentes en la cuenca son sierra alta escarpada, valle de laderas tendidas con llanura, lomerío típico y valle con llanuras (Melchor & Román, 2016). Las partes de mayor altitud (figura 2.7) se encuentran en los municipios de Tlacolulan, Tonayán, Miahuatlán, Landero y Coss, Chiconquiaco y Tenochtitlán, con alturas superiores a 1 000 msnm; se distinguen sistemas de sierras, entre los que destacan las elevaciones, por su toponimia, Canuto y El Pesmón (INEGI, 2019; INEGI, 2022a).

Con orientación suroeste a noreste, existe un descenso de los valores de altitud, por lo que, en las áreas intermedias, correspondientes a los municipios de Misantla y Colipa, sobresalen las formas asociadas a valles producto de la dinámica hídrica, correspondiente ésta con el río Misantla.

La tendencia de la disminución de altitud persiste en la misma dirección noreste, siendo que las más bajas se emplazan en los municipios de Misantla, Vega de Alatorre y Nautla; se distingue la transición de algunos lomeríos a formas asociadas a valle con llanuras.

Figura 2.7. Relieve de la cuenca del río Misantla, Veracruz



Fuente: elaborado con base en INEGI (2000a, 2010a, 2019, 2020b y 2022a).

2.3.4 Condiciones climáticas

En la cuenca del río Misantla están presentes tres estaciones climatológicas y una de éstas también es catalogada como estación hidrométrica; éstas son: *El Raudal*, la cual posee la asignación de estación climatológica e hidrométrica, ubicada en la parte baja de la cuenca, opera desde el 1 de enero de 1961; la estación *Misantla* se localiza en la localidad homónima y tiene datos desde el 1 de octubre de 1925; y *Tenochtitlán*, la cual se halla en la parte alta de la cuenca y opera desde el 1 de enero de 1999 (Servicio Meteorológico Nacional [SMN], 2022; SMN, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] & Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2020a).

La cuenca del río Misantla destaca por poseer los niveles de precipitación media anual más altos de su respectiva RH, con 1 662 mm; asimismo su temperatura promedio máxima es de 33°C, mientras que la mínima es de 22.8°C (Rodríguez, *et al.*, 2020).

Por los datos puestos a disposición por el SMN, SEMANART & CONAGUA (2020b y 2020c) en el cuadro 2.1 se establecen los tipos de clima a los que corresponde cada estación climatológica, cuya clasificación se realizó con base en el Sistema de Clasificación Climática de Köppen adaptado a México por García (2014); resalta que las estaciones denotan un régimen de precipitación durante todo el año.

Cuadro 2.1. Clima de las estaciones climatológicas de la cuenca del río Misantla

Estación	Clima	Nomenclatura	Datos
El Raudal	Cálido húmedo con lluvias todo el año	Am(f)	Normales climatológicas 1981-2010
Misantla	Templado subtropical con lluvias todo el año y canícula	Cfaw''	Normales climatológicas 1981-2010
Tenochtitlán	Templado subtropical con lluvias todo el año y canícula	Cfaw''	Valores mensuales 1999-2018

Fuente: elaborado con base en los valores de temperatura media normal y precipitación normal de SMN, SEMARNAT & CONAGUA (2020b, 2020c).

En adición, la figura 2.8 muestra las unidades climáticas (INEGI, 2008) que comprenden a la cuenca del río Misantla; el criterio de esta delimitación por regiones se basa en las modificaciones de García sobre el Sistema de Clasificación de Köppen, distinguiendo los siguientes:

-Cálido húmedo: con nomenclaturas Am(f) y Af(m), con lluvias abundantes en verano y todo el año respectivamente; se emplaza en la parte media y baja de la cuenca, posee rangos de precipitación entre los 1 500 y 2 000 mm.

-Cálido subhúmedo: con clave Aw1(x'), con lluvias en verano y sequía en el invierno; comprende la parte más baja de la cuenca, cercano a la costa.

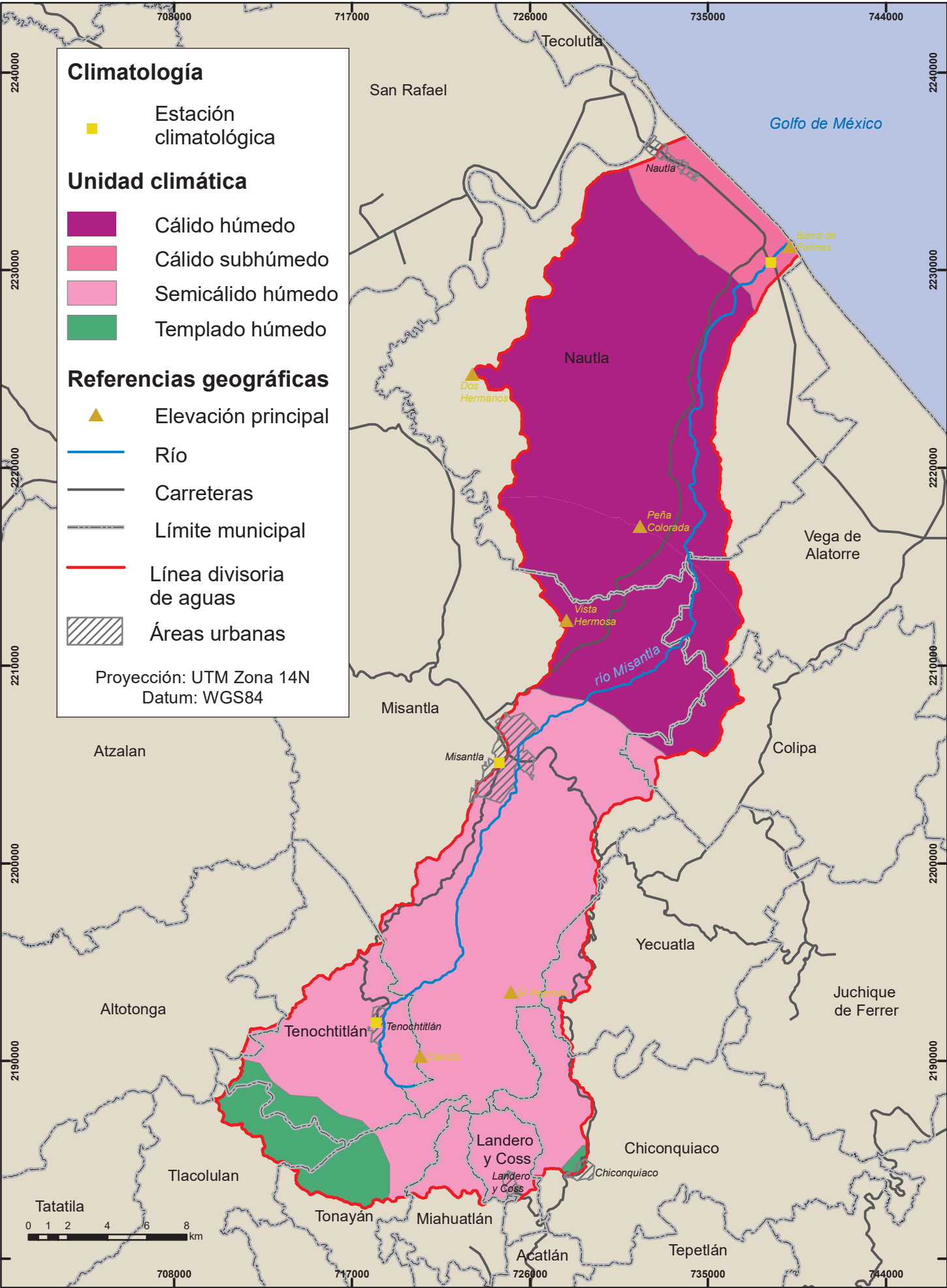
-Semicálido húmedo: se asigna (A)C(fm), con lluvias todo el año; se localiza en regiones de la parte media y alta de la cuenca, conteniendo a la mayoría de las localidades urbanas, con excepción de Chiconquiaco.

-Templado húmedo: se distingue por C(fm) y C(m), con lluvias todo el año y en verano respectivamente; se sitúa en las partes más altas de la cuenca.

(Secretaría de Protección Civil, 2021; Rodríguez, 2016).

Los climas identificados se emplazan a manera de pisos, que corresponden esencialmente con la configuración del relieve; se perciben climas más cálidos en las partes bajas, habiendo una tendencia a reducir conforme aumenta la altura, pasando de cálido a semicálido, siendo para las partes más altas del tipo templado; sin embargo, en toda la cuenca se conserva la condición de humedad con constantes precipitaciones.

Figura 2.8. Unidades climáticas de la cuenca del río Misantla



Fuente: elaborado con base en INEGI (2000a, 2008, 2010a, 2019, 2020b); SMN (2022).

2.3.5 Edafología

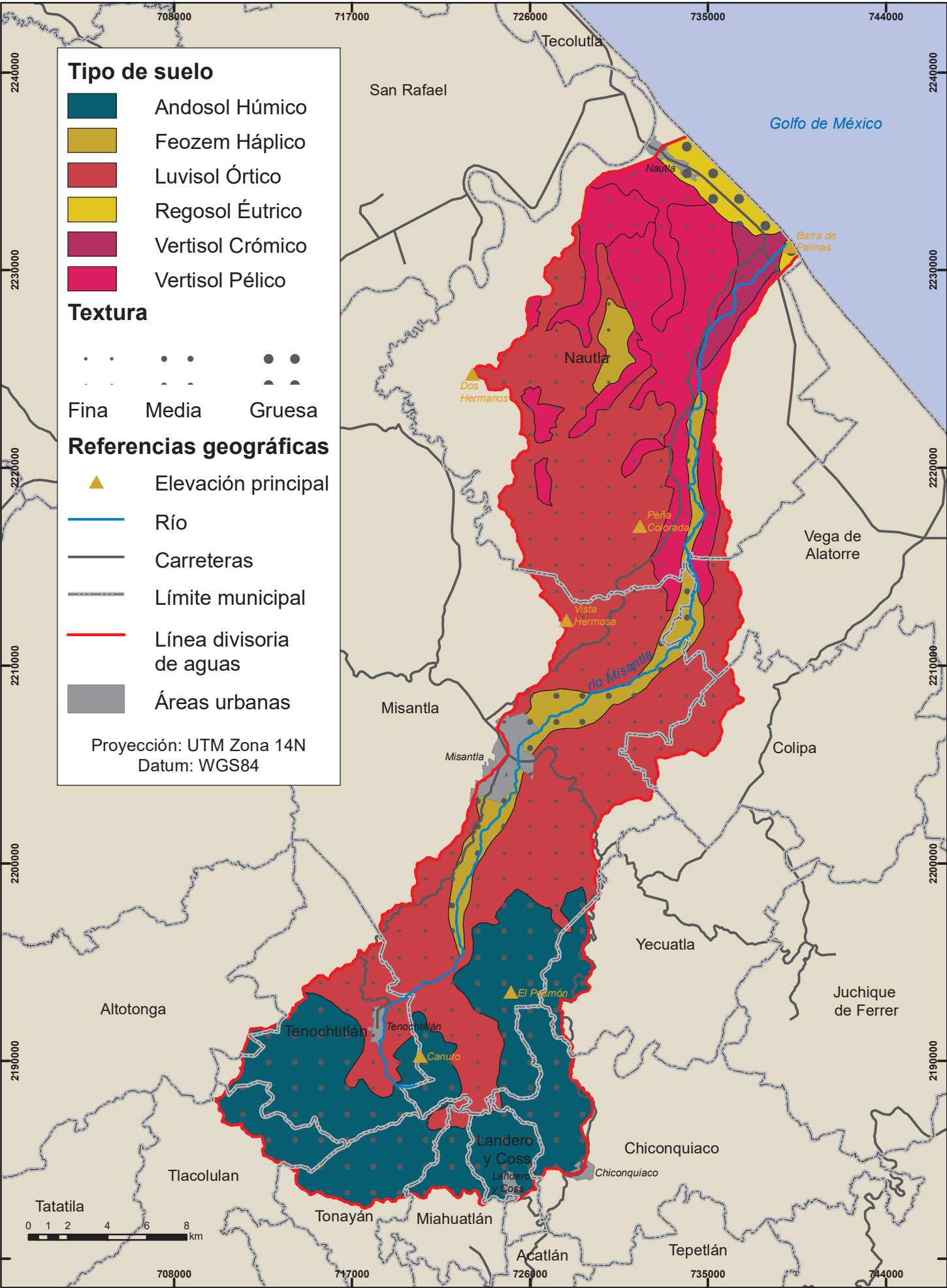
En el área de estudio se distinguen cinco tipos principales de suelo, los cuales son:

- Andosol: de origen volcánico o desarrollo sobre materiales procedentes de la actividad volcánica; el proceso dominante en estos suelos se asocia a la meteorización y la transformación mineral; no existen limitaciones en su emplazamiento (pendiente o altitud). Por la acumulación de materia orgánica poseen una alta productividad natural, lo que favorece el crecimiento de vegetación y, por lo tanto, el desarrollo de actividades agrícolas (Departamento de Agricultura de Estados Unidos, 1999).
- Phaeozem: suele presentarse en regiones con climas templados y húmedos; en estos suelos, con profundidad, se generan procesos de “lavado”. Sus horizontes superficiales, con saturación de bases, son oscuros y ricos en humus; por lo anterior son muy fértiles y aptos para soportar una gran variedad de cultivos y vegetación, como lo son pastizales y bosques. Son susceptibles a procesos erosivos; con respecto a la variante *Háplico*, ésta se caracteriza por no tener algún horizonte diagnóstico determinante (SEMARNAT, 2002; Universidad de Sevilla, 2015b; AGROVOC, 2020).
- Luvisol: se desarrolla sobre materiales no consolidados en áreas con poca pendiente y climas del tipo cálido, templado o frío; se distingue por su contenido de arcillas en capas profundas, esto se debe a la existencia de un proceso de “lavado” el cual fomenta la migración de estos elementos; el horizonte donde se hallan las arcillas existe una alta base de saturación. Los luvisoles poseen texturas variables, sin embargo, si estas permiten un drenaje adecuado, entonces es posible el desarrollo de la actividad agrícola (Universidad de Sevilla, 2015a; AGROVOC, 2020).
- Regosol: es un suelo con poco desarrollo, sobre materiales no consolidados, generalmente provenientes de la erosión fluvial; por lo tanto, suelen ubicarse en áreas de acumulación al pie de terrenos montañosos. Con respecto a la variante *éutrica*, ésta se halla cubierta por una capa, llamada *ócrica*, la cual, al ser desprovista de vegetación adquiere propiedades de dureza que impiden la adecuada infiltración; en consecuencia, no es posible el desarrollo de cultivos o vegetación natural, asimismo la reducción de la infiltración conlleva un aumento en la escorrentía y, por lo tanto, en la actividad erosiva (SEMARNAT, 2002; AGROVOC, 2020).
- Vertisol: suelo arcilloso con profundidad, con desarrollo preferente en terrenos con pendientes suaves; se distinguen por sus características de color, baja permeabilidad y la presencia de fracturas; éstas son generadas por un conjunto de procesos, los cuales están condicionados a las temporadas húmeda y seca, así como el contenido de arcillas y mineralogía; aunado a lo anterior, existe una dinámica de expansión y contracción que también afecta la consistencia; por lo tanto, estos suelos exigen prácticas especiales para el desarrollo de la actividad agrícola,

la vegetación natural predominante es pasto, bosque o arbustos desérticos. Las variantes de vertisol son clasificadas según la distinción de los horizontes diagnósticos.

En la figura 2.9 se muestran las unidades edafológicas presentes en la cuenca del río Misantla (Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias [INIFAP] y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO, 1995]), las cuales tienen el siguiente arreglo: los andosoles y luvisoles (con textura media y fina, respectivamente), se hallan en las partes más altas, de relieve montañoso; referente a los phaeozems y vertisoles (con textura media y fina, respectivamente), están en las inmediaciones del cauce principal y las áreas de valle; por su parte, los regosoles (con textura gruesa), se sitúan en las áreas de depósito, aldeaño a la costa. Su distribución permite discernir las áreas funcionales de la cuenca, pues la formación de los suelos es inherente a la interacción de las diferentes características geológicas, geomorfológicas y climatológicas (Secretaría de Protección Civil, 2021).

Figura 2.9. Edafología de la cuenca del río Misantla, Veracruz



Fuente: elaborado con base en INEGI (2000a, 2010a, 2019 y 2020b); INIFAP & CONABIO (1995).

2.3.6 Uso de suelo y vegetación

En la cuenca del río Misantla se distinguen diferentes usos de suelo; no obstante, resalta la presencia del pastizal cultivado (58.37 %); bosque mesófilo de montaña (19.68 %), el cual tiene diferentes grados de conservación; actividad agrícola (15.12 %); y manchones de vegetación secundaria de selva (5.6 %) (INEGI, 2018; Secretaría de Protección Civil, 2021).

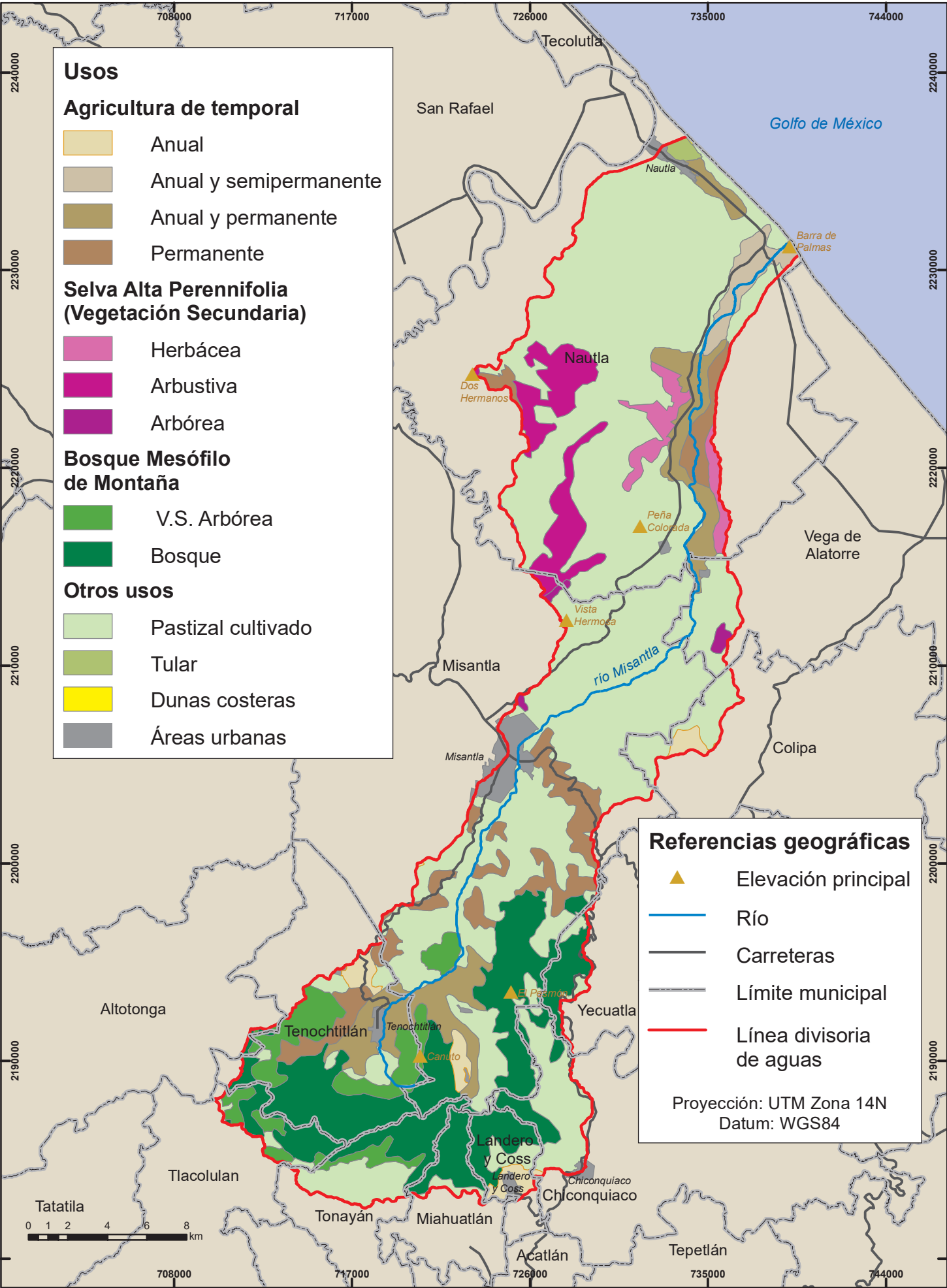
En la figura 2.10 se muestra el emplazamiento que los diferentes usos tienen; en lo que se refiere al pastizal, éste se extiende principalmente en las partes medias y bajas de la cuenca; el bosque mesófilo de montaña en las partes altas; la agricultura, en la parte alta y media, se desarrolla a los alrededores de las localidades, sin embargo, en la parte baja, se ubica en las cercanías del cauce del río Misantla; la vegetación secundaria de selva alta se halla en los sistemas de lomeríos transitorios de la parte media a baja de la cuenca; referente a la vegetación de dunas costeras y tular, se sitúan próximas al litoral y la localidad de Nautla; por último, concerniente a los asentamientos humanos, además de los ya presentados en mapas previos, se añaden otras localidades con emplazamiento principalmente en la parte media de la cuenca.

Pese a lo anterior, en la herramienta Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL) de INEGI (2022c), se emplean los datos vectoriales del Uso del Suelo y Vegetación Serie VI (2016), los cuales, en adición a los usos ya mencionados, también destaca la presencia de bosque y vegetación de galería con agrupaciones en las márgenes de los cauces principales, la cual a menudo se refleja en árboles espaciados y con desigual distribución (Rodríguez, 2016).

La cuenca del río Misantla en su conjunto posee una gran relevancia pues comprende ecosistemas, como lo son el bosque mesófilo de montaña y la selva alta perennifolia, que proveen de diferentes servicios ambientales para su población (Melchor & Román, 2016), ya que, por ejemplo, en el caso del bosque mesófilo de montaña, éste se emplaza en la subregión de la Sierra Norte de Puebla o Chiconquiaco, un corredor biológico con prioridad alta para su conservación (Rodríguez, 2016); este tipo de cubierta mantiene en equilibrio los procesos del ciclo hidrológico (regulación de flujos), fomentando la conservación de la biodiversidad, la captura de carbono y la reducción de la actividad erosiva (Paré & Gerez, 2012 en Rodríguez, *et al.*, 2020).

Por último, en alusión al uso predominante, los pastizales, cuya presencia está determinada tanto por las características edafológicas y climatológicas, así como, la actividad humana; representa un espacio ideal para la actividad ganadera (Rodríguez, 2016).

Figura 2.10. Uso de Suelo y Vegetación de la cuenca del río Misantla, Veracruz



Fuente: elaborado con base en INEGI (2000a, 2010a, 2018, 2019 y 2020b).

2.3.7 Características hidrográficas

La cuenca del río Misantla perteneciente a la RH27, posee una disponibilidad de 666.293 hm³ (Diario Oficial de la Federación, 21/09/20; en SINA, 2021); debido a su configuración corresponde a una cuenca de tipo exorreica, es decir, con desembocadura en el mar, en este caso en el Golfo de México (Centro de Información del Agua, 2022).

El cauce del río Misantla tiene su nacimiento a una elevación aproximada de 1 800 msnm, en las cercanías de la Sierra de la Magdalena y el Cerro Quemado; la corriente posee una dirección prioritaria suroeste a noreste y su recorrido es cercano a 65 km, en su trayecto recibe aportaciones del río *Palcham*; uno de sus dos puntos de desembocadura tiene lugar en la *Barra de Palmas*. En la estación *El Raudal*, se estima un volumen medio anual de 479.3 millones de m³ (INEGI, 1984; en Ibáñez, 2016; Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales [BANDAS] de CONAGUA, 2016). A continuación, en el cuadro 2.2, se proporcionan algunas características del cauce principal, el cual corresponde parcialmente con el río Misantla.

Cuadro 2.2. Índices del cauce principal

Propiedad	Valor
Altura máxima	2 552 m
Altura media	1 262 m
Altura mínima	0 m
Longitud	71 636 m
Pendiente media	3.5247 %
Tiempo de concentración	384.14 minutos

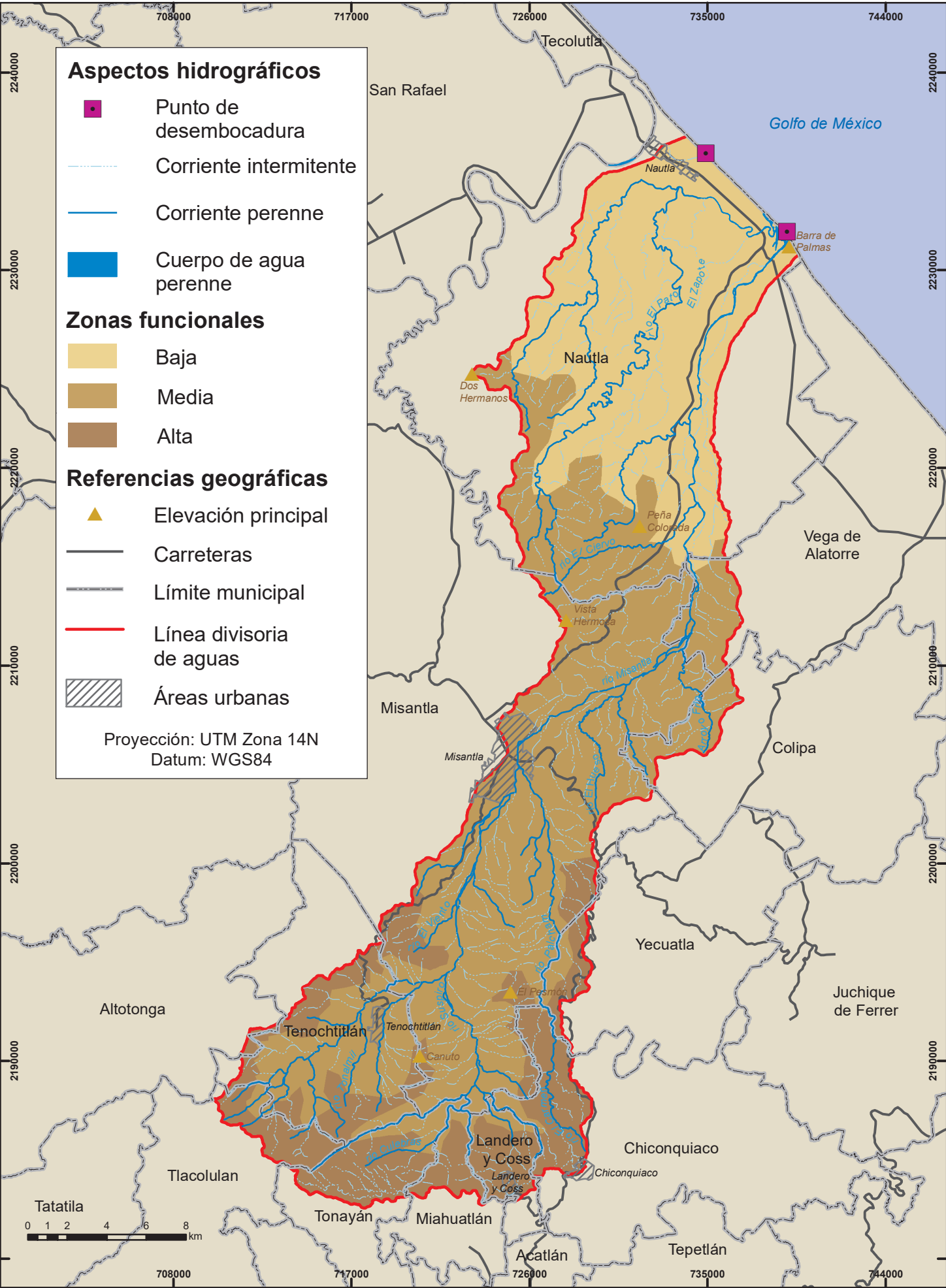
Fuente: obtenido de herramienta SIATL de INEGI (2022c).

En la figura 2.11 se expresa la delimitación de las zonas funcionales; esta distinción corresponde a las siguientes particularidades: la zona alta se halla cercana a la línea divisoria de aguas y el relieve predominante es montañoso, en éste se producen los primeros escurrimientos; la zona media compete a una transición donde los escurrimientos confluyen, motivando la actividad erosiva; la zona baja refiere a los espacios de acumulación y puntos de desembocadura; las zonas se interrelacionan a través de aportes de energía, minerales, sedimentos y nutrientes (Cotler, *et al.*, 2013).

Asimismo, en la figura 2.11, se incluyen los datos sobre las corrientes y su temporalidad (INEGI, 2010a); muchos de los cauces presentes en la cuenca son perennes, entre éstos se distinguen algunas de las siguientes toponimias: *Misantla*, *Culebras*, *Suspiro*, *El Carmén*, *Tonalmil*, *El Viento*, *El Palcham*, *El Hueso*, *El Ciervo* y *El Pato*. Con respecto a las corrientes intermitentes, éstas también se emplazan en las tres zonas funcionales, aunque tienen una ubicación preferente en las inmediaciones de los relieves montañosos y lomeríos en el caso de la cuenca baja. De igual manera se incorporan los puntos de desembocadura, uno se ubica en la *Barra de Palmas* y el otro en las cercanías de la localidad de Nautla.

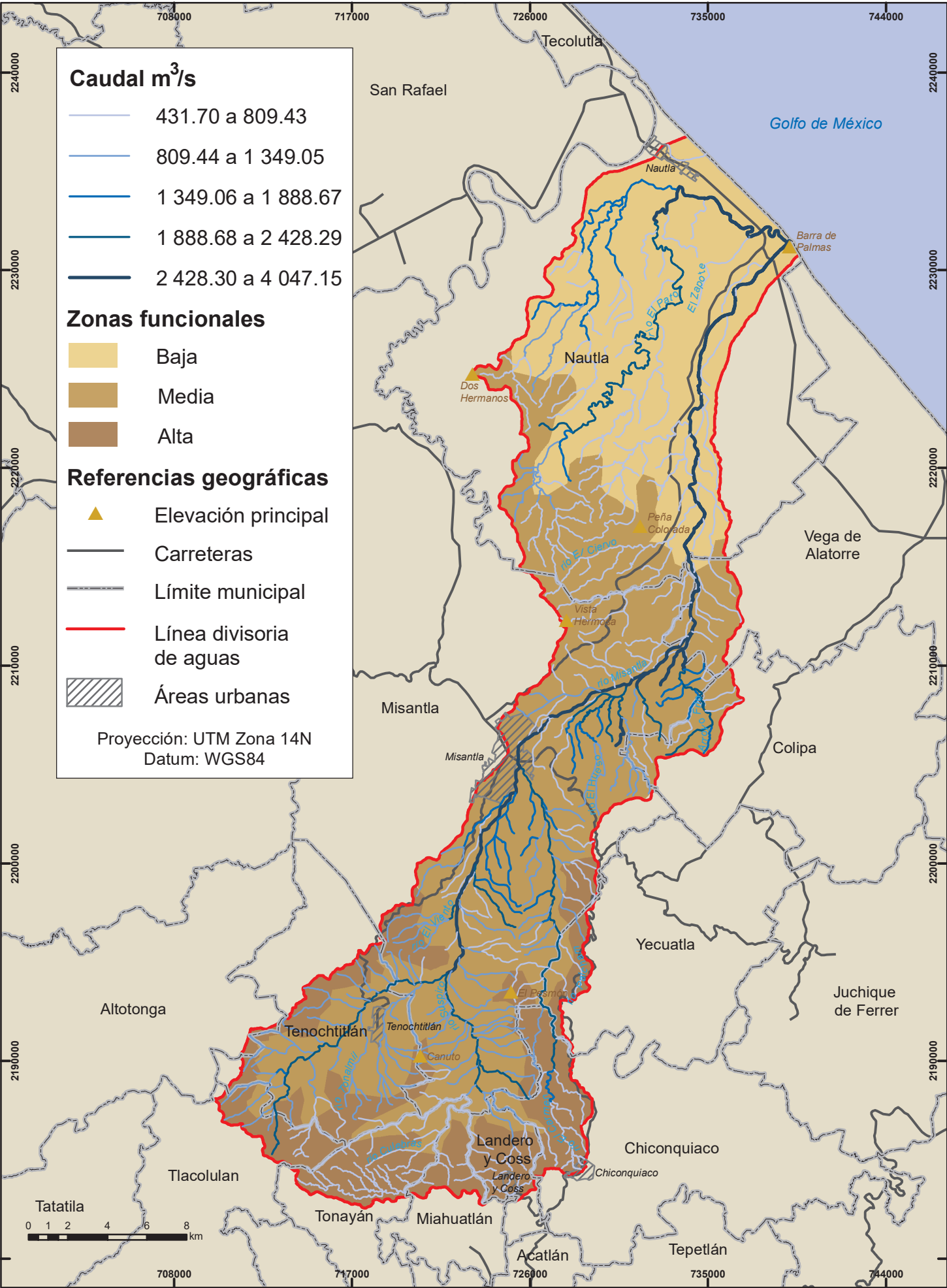
Por su parte, la figura 2.12 expresa la estimación del caudal para un escenario de 20 años de retorno y lluvia probabilísticas de 24 horas; los valores de éste se obtuvieron con la herramienta SIATL de INEGI (2022) y el coeficiente de escurrimiento (INEGI, 1984); destacando las corrientes de mayor caudal en la zona media y baja, debido a los aportes provenientes de los sistemas montañosos.

Figura 2.11. Hidrografía de la cuenca del río Misantla, Veracruz



Fuente: elaborado con base en INEGI (2000a, 2010a, 2019 y 2020b).

Figura 2.12. Caudal de la cuenca del río Misantla, Veracruz



Fuente: elaborado con base en INEGI (1984, 2000a, 2010a, 2019, 2020b y 2022b).

2.4 Características sociales de la cuenca del río Misantla

En este se otorgan los datos más recientes sobre la población que forma parte del área de interés, se distingue su estructura por sexo y edad; asimismo, se resaltan las diferencias con censos anteriores en cantidad de la población y la relación hombres-mujeres.

Más adelante se caracteriza su distribución y se dispone de datos socioeconómicos que atañen a la Población Económicamente Activa (PEA), escolaridad y hablantes de lengua indígena, discapacidades, acceso a servicios de salud y suministro de servicios básicos a las viviendas. Por último, se da un panorama de la producción agrícola y pecuaria de los municipios que conforman la cuenca.

2.4.1 Demografía

De acuerdo con el Centro de Información del Agua (2022), la cuenca del río Misantla tiene 49 909 habitantes en 190 localidades; sin embargo, en el Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020c), se refleja la existencia de 198 localidades urbanas y rurales, que se hallan en la cuenca del río Misantla, conformando un total de 63 119 habitantes, de los cuales, 31 282 son mujeres y 30 584 son hombres.

Con respecto a su transición demográfica, el cuadro 2.3 conformado con los principales resultados por localidad de los Censos de Población y Vivienda de 1990 a 2020 (INEGI, 1990, 2000b, 2010b y 2020c); resalta el mayor incremento de habitantes entre los años 2000 y 2010; por otro lado, concerniente a las localidades, sobresale su aumento entre 1990 y 2000; no obstante, en el último censo existe una ligera disminución, por lo tanto, se infiere una paulatina tendencia a concentraciones de población. Con respecto a la relación entre hombres y mujeres, existe un decremento de 1990 a 2010, pero un repunte en el censo más reciente; lo anterior halla explicación en su contexto estatal y los fenómenos de reducción del crecimiento demográfico y los procesos migratorios (Secretaría de Protección Civil, 2021).

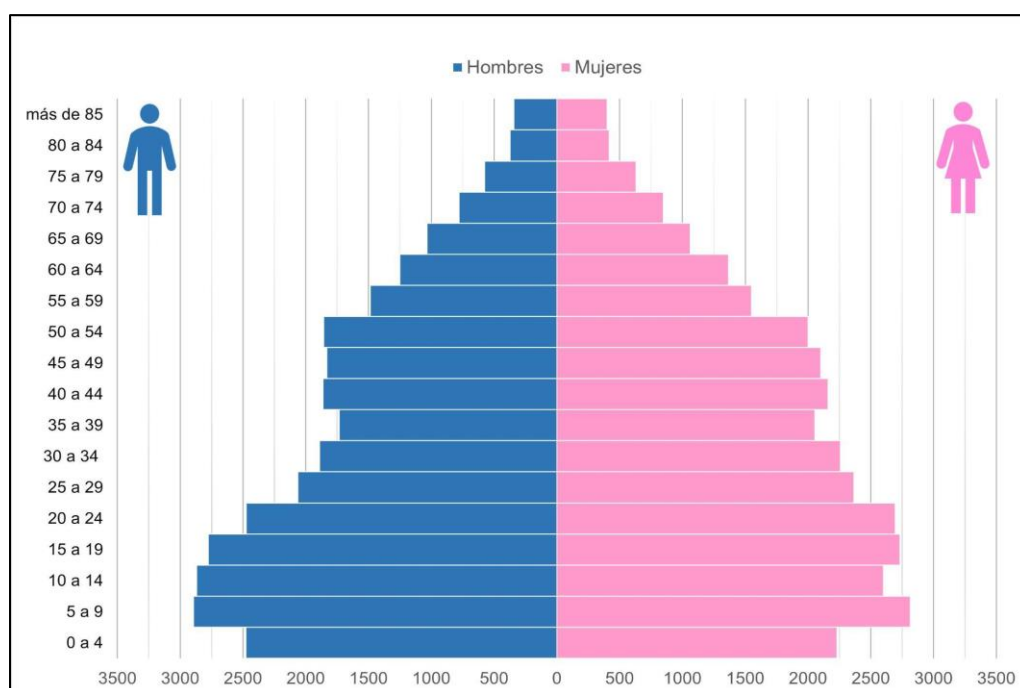
Cuadro 2.3. Transición demográfica

Año	Número de localidades	Población total	Población femenina	Población masculina	Relación Hombres Mujeres
1990	157	49 425	24 643	24 503	99.43
2000	202	53 155	26 954	25 835	95.85
2010	206	59 186	30 312	28 559	94.21
2020	198	63 119	31 282	30 584	97.76

Fuente: elaborado sobre la base de INEGI (1990, 2000b, 2010b, 2020c).

A continuación, la figura 2.13 muestra la estructura de la población por grupos de edad, en la cuenca del río Misantra (2020); en ésta destacan, por su predominante presencia las edades de 5 a 19 años, las cuales, además, denotan una disminución paulatina conforme avanza la edad; de los grupos de 25 a 39 años, hay una disminución para luego evidenciar un ligero aumento en los grupos de 40 a 54 años; los grupos de edades superiores manifiestan una disminución proporcional al aumento de edad.

Figura 2.13. Pirámide poblacional de la cuenca del río Misantra (2020)



Fuente: elaborado sobre la base de INEGI (2020c).

2.4.2 Distribución de la población

La cuenca del río Misantra tiene una densidad de población de 107 habitantes por kilómetro cuadrado; en comparación con el indicador a nivel estatal, éste es de 112 habitantes por kilómetro cuadrado (INEGI, 2020a), es decir, que no existe gran discrepancia, lo cual señala un arreglo similar, con dispersión y algunas áreas de concentración.

A continuación, el cuadro 2.4 incluye los datos de la población que conforma la cuenca por municipio; asimismo, en su contenido denota la densidad de población con respecto al territorio ocupado en la cuenca; destacan por su mayor concentración los municipios de Chiconquiaco y Misantra, no obstante sobresale la diferencia de número de localidades, contando el primero con 7, mientras que el segundo cuenta con 66; en contraste aquellos municipios con menor densidad corresponden a Colipa y Tlacolulan (INEGI, 2020b y 2020c).

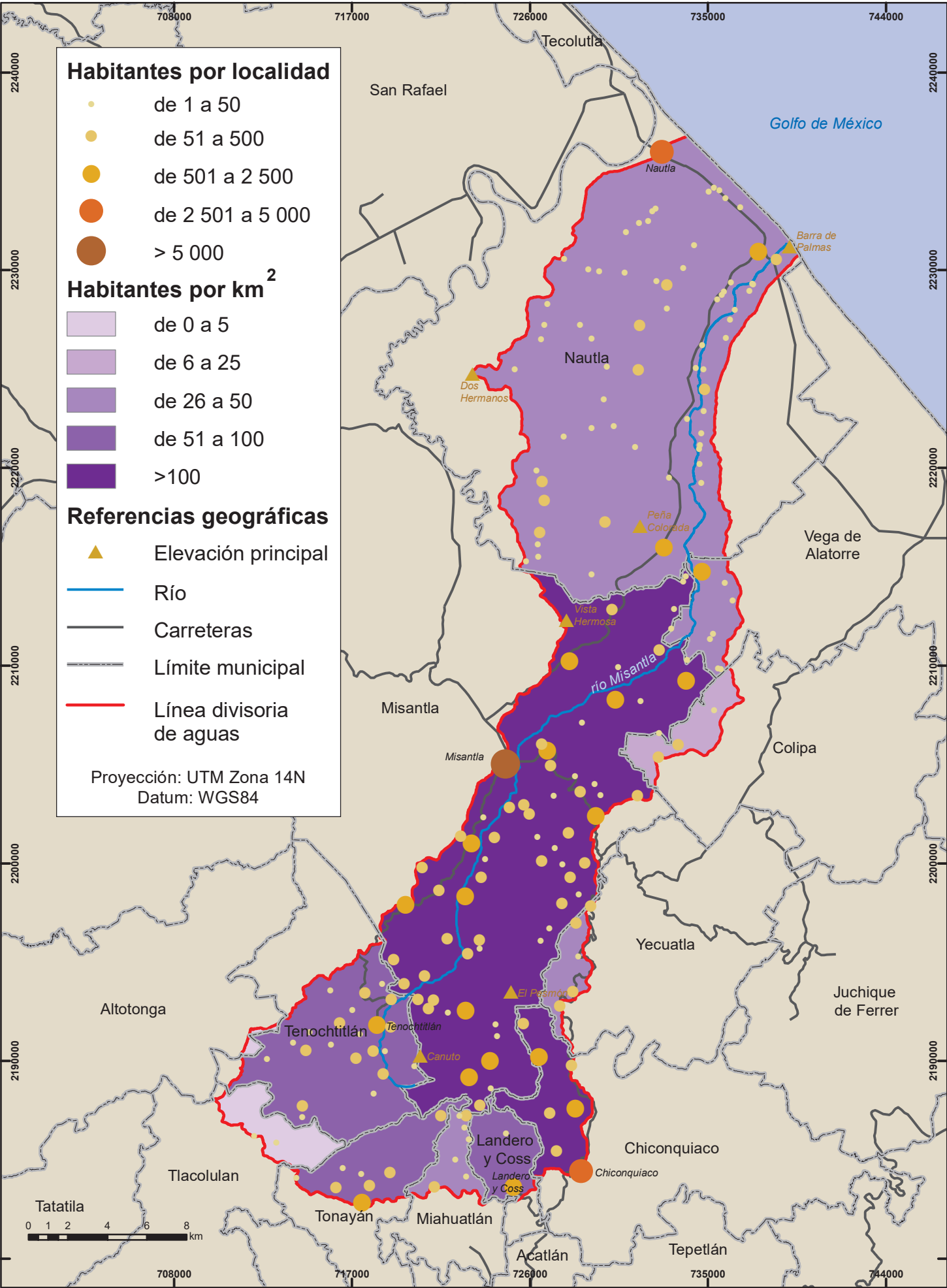
Cuadro 2.4. Densidad de población por municipio

Municipio	Número de localidades	Población Total	Población Femenina	Población Masculina	Área km²	Densidad (hab/km²)
Altotonga	0	0	0	0	1.01	0
Chiconquiaco	7	5 462	2 729	2 733	20.71	264
Colipa	3	195	98	97	11.53	17
Landero y Coss	2	1 122	570	552	13.38	84
Miahuatlán	7	312	150	159	8.65	36
Misantla	66	43 939	22 693	21 222	195.12	225
Nautla	68	6 405	3 186	3 046	222.2	29
Tenochtitlán	22	3 505	1 782	1 714	57.31	61
Tlacolulan	2	42	21	21	12.29	3
Tonayán	8	1 325	662	651	21.56	61
Vega de Alatorre	8	539	259	248	13.7	39
Yecuatla	5	273	132	141	8.39	32

Fuente: elaborado sobre la base de INEGI (2020c).

La visualización de esta densidad se muestra en la figura 2.14, en la cual también se expresan las localidades y su clasificación por número de habitantes; en adición, con el cuadro 2.5, se complementa el panorama y destaca el emplazamiento de las localidades con menos habitantes (1 a 500) en la zona funcional baja y media, es decir, que existe una dispersión en estas áreas de la cuenca; con respecto a las localidades con más de 500 y hasta 2 500 habitantes tienen su posicionamiento preferente en la zona funcional media y alta; con respecto a aquellas que superan los 2 500 habitantes, existen 3 localidades de las cuales, cada una se emplaza en una zona funcional; por lo anterior, éstas corresponden a los principales centros de concentración de la cuenca, sobresaliendo la localidad de Misantla con 30 232 habitantes.

Figura 2.14. Distribución de la población en la cuenca del río Misantla, Veracruz



Fuente: elaborado con base en INEGI (2000a, 2010a, 2019, 2020b y 2020c).

Cuadro 2.5. Localidades por zona funcional

Número de habitantes por localidad	Zona Funcional Alta	Zona Funcional Media	Zona Funcional Baja
1 a 50	15	46	52
51 a 500	16	41	6
501 a 2 500	5	13	1
2 501 a 5 000	1	0	1
> de 5 000	0	1	0

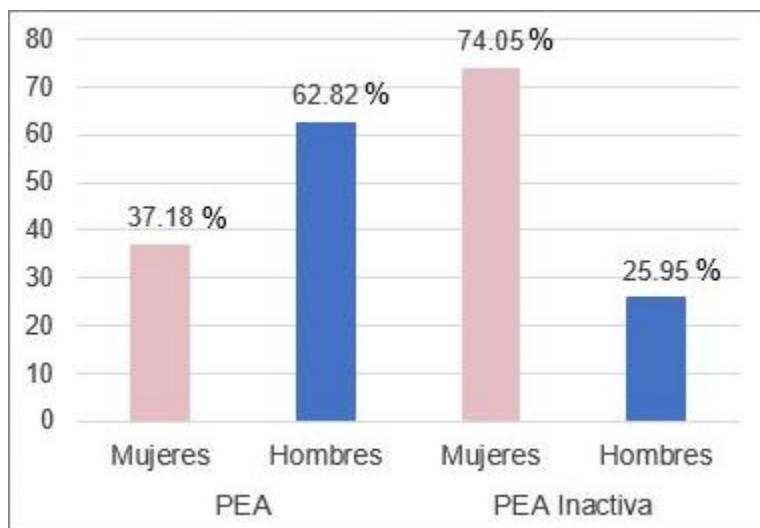
Fuente: elaborado sobre la base de INEGI (2020c).

2.4.3 Características socioeconómicas

Con respecto a la PEA, se refiere a las personas mayores a 12 años que trabajan o se encuentran en busca de laborar; en el caso de la cuenca del río Misantla, suman 29 709, es decir, un 47% del total; asimismo, se distingue la PEA Inactiva, la cual alude a las personas en el mismo rango de edad, pero que no se encuentran laborando por diferentes circunstancias, la cual consta de 20 418, aproximadamente 32% del total.

A continuación, la figura 2.15 muestra las discrepancias entre la PEA y la PEA Inactiva por sexo, es posible señalar que con respecto a la primera, son mayoritariamente del sexo masculino; en contraste, la segunda expone una mayor cantidad de personas del sexo femenino (INEGI, 2020c).

Figura 2.15. Diferencia PEA y PEA Inactiva por sexo en la cuenca del río Misantla

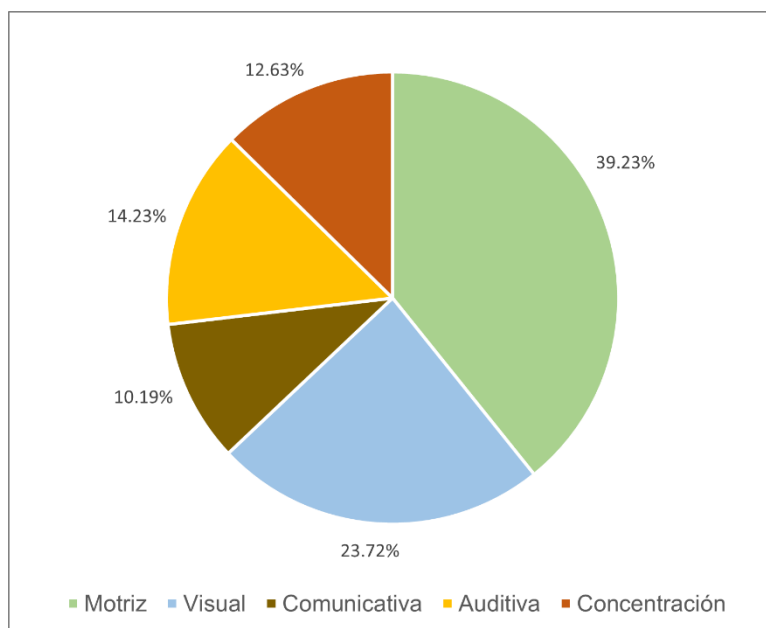


Fuente: elaborado sobre la base de INEGI (2020c).

En alusión a la escolaridad y comunicación de la población, la mayoría saben leer y escribir (94.7 %); asimismo existen 180 personas, quienes además de hablar el español, hablan alguna lengua indígena, de éstas 90 son mujeres y 90 hombres.

Con respecto a las discapacidades, 10% de la población padece alguna; éstas son catalogadas en motriz, visual, auditiva, comunicativa y de concentración. En la figura 2.16 se observa que las que tienen mayor repercusión son la motriz, seguida de la visual y la auditiva.

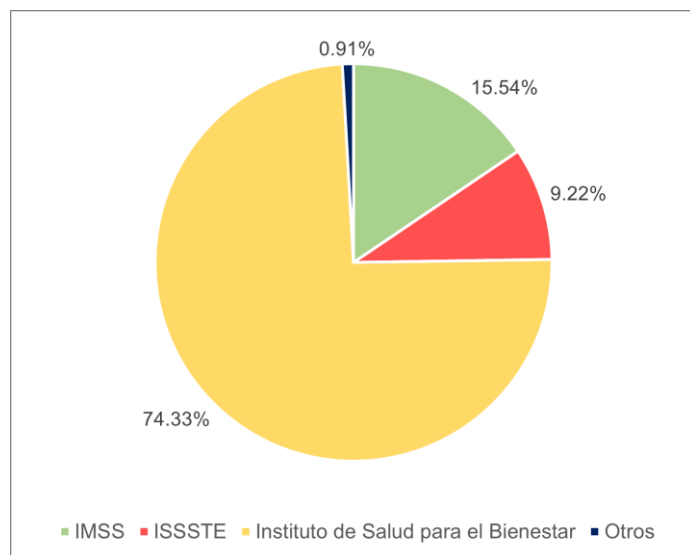
Figura 2.16. Discapacidades en la población de la cuenca del río Misantla



Fuente: elaborado sobre la base de INEGI (2020c).

En lo concerniente a los servicios de salud el 72 % de la población de la cuenca se encuentra afiliada a alguno; de éstos se muestra que el Instituto de Salud para el Bienestar es el que brinda una mayor cobertura, seguido del IMSS e ISSSTE (figura 2.17).

Figura 2.17. Cobertura de servicios de salud para la población de la cuenca del río Misantla



Fuente: elaborado sobre la base de INEGI (2020c).

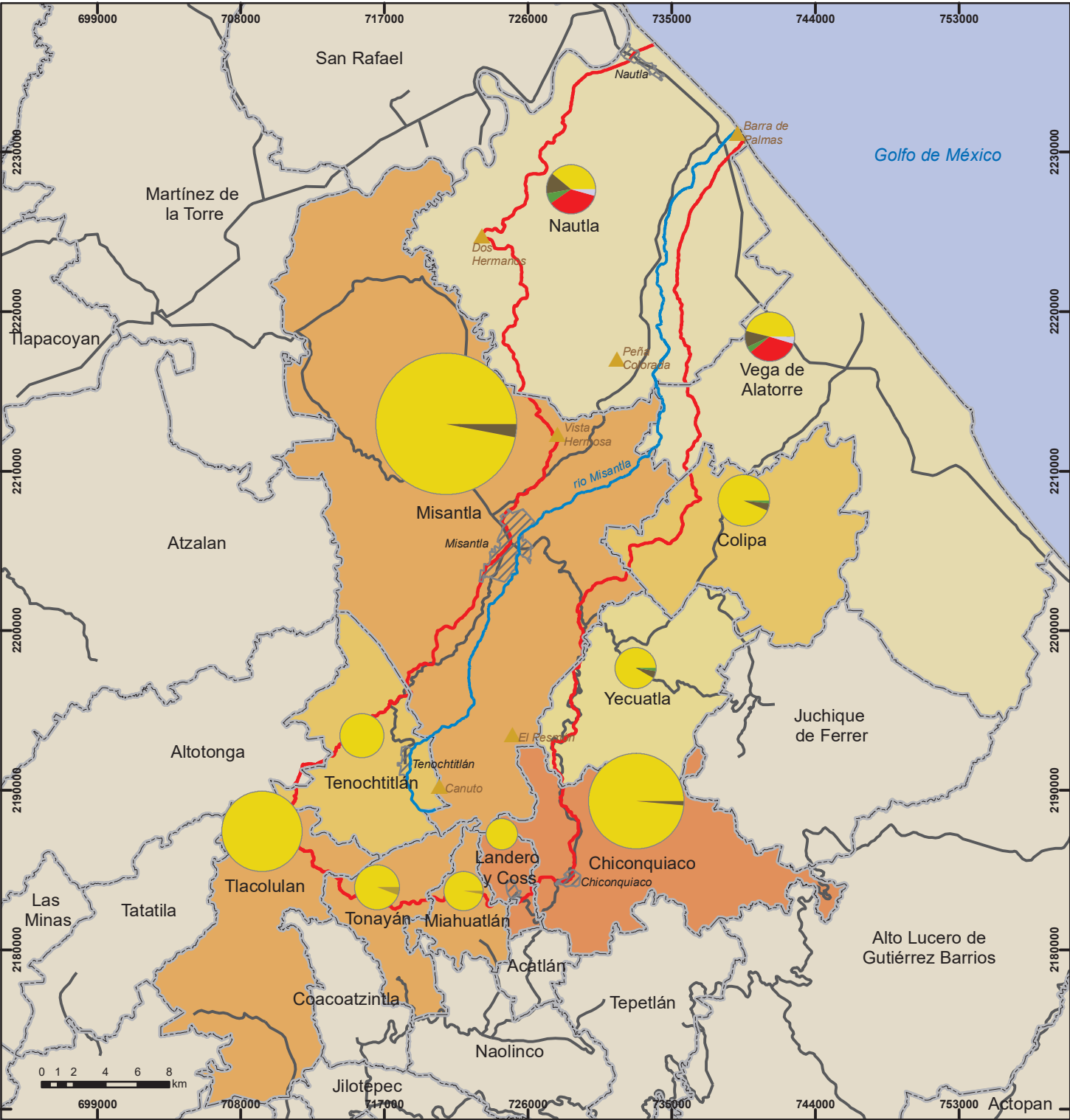
En referencia a algunas características de las viviendas, el 74.5 % poseen en sus pisos un material diferente a la tierra; 77 % son suministradas con energía eléctrica; 74.7 % tienen agua entubada; y 75.8 cuentan con drenaje (INEGI, 2020c).

2.4.4 Actividades productivas

Las principales actividades desarrolladas en la cuenca del río Misantla son aquellas que atañen al sector primario, es decir, la agricultura y la ganadería. En alusión a la agricultura, de acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020a y 2020b), referente al año agrícola, el cual incluye otoño - invierno (OI) y primavera – verano (PV), denotan una mayor superficie cosechada, en relación con su área, los municipios de Chiconquiaco y Landero y Coss, cuyos cultivos principales son el maíz grano; asimismo, es permisible señalar que los municipios de Nautla y Vega de Alatorre poseen la mayor diversidad de cultivos, pues, además del maíz grano, existen cosechas de frijol, chile verde, papa, sandía, tomate rojo y verde (figura 2.18). Concerniente a la mayor cantidad de superficie cosechada (figura 2.20) sobresalen los municipios de Misantla y Chiconquiaco, seguidos por Tlacolulan.

En lo que refiere al ciclo perenne, los municipios con una mayor superficie cosechada, con respecto a su área, son Misantla y Yecuatla; de igual manera, el primero, junto a Nautla y Vega de Alatorre, muestran una mayor diversidad de cultivos (figura 2.19), entre los que se encuentran el café cereza, limón, plátano, naranja, caña de azúcar, papaya. Con respecto a las hectáreas cosechadas (figura 2.21) vuelve a destacar Misantla, seguido de Nautla y Yecuatla; si bien el cultivo de café cereza tiene gran presencia en la mayoría de los municipios que comprende la región de interés, también están presentes los cultivos de toronja y mandarina.

Figura 2.18. Año agrícola 2020 en los municipios de la cuenca del río Misantla, Veracruz



Hectáreas cosechadas

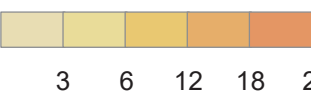


> 6 000
3 000
1 000

Cultivos cosechados

- Maíz grano
- Frijol
- Chile verde
- Papa
- Sandía
- Tomate rojo y verde

Superficie cosechada (%)



3 6 12 18 24

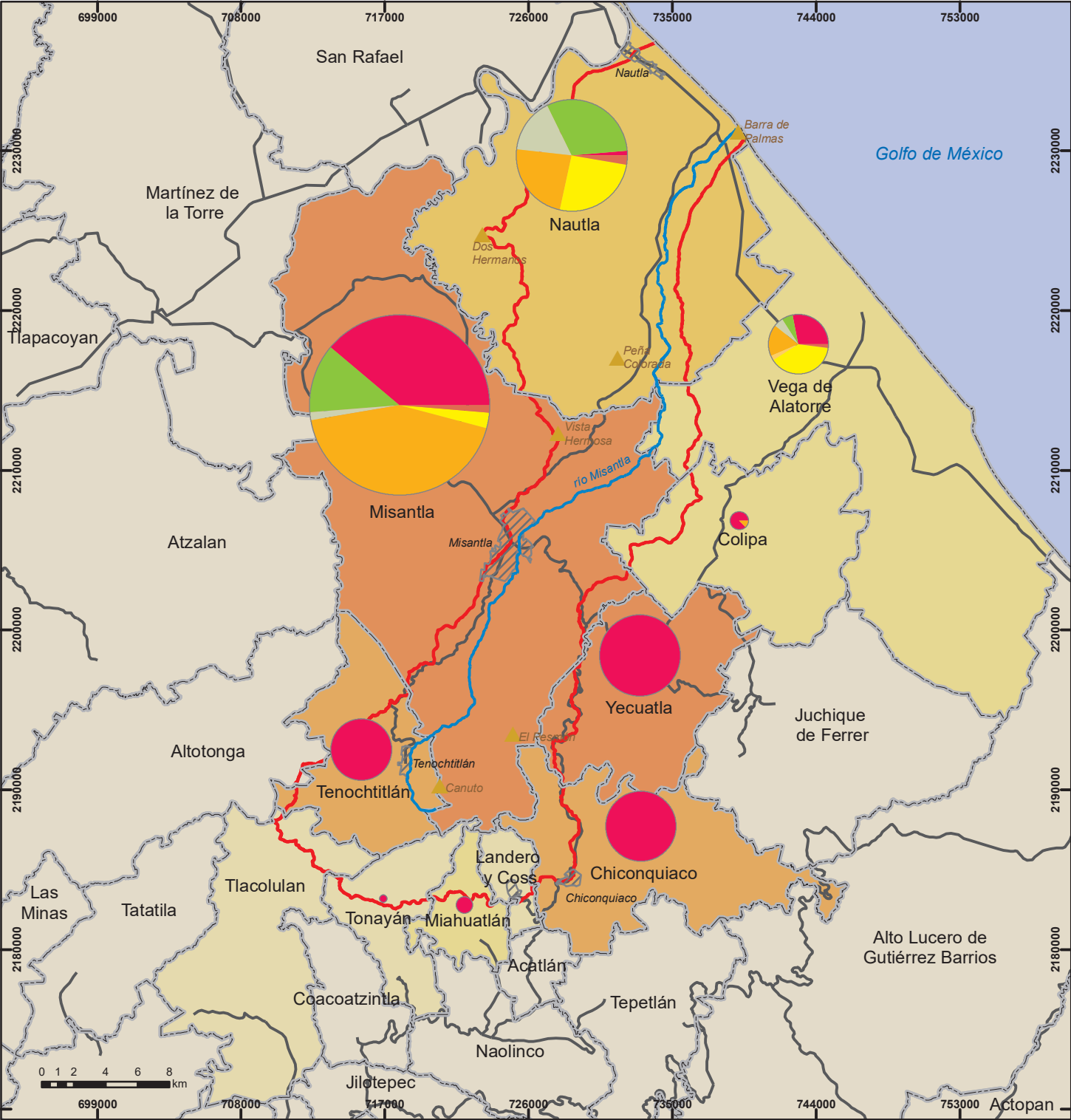
Referencias geográficas

- Elevación principal
- Río
- Carreteras
- Límite municipal
- Línea divisoria de aguas
- Áreas urbanas

Proyección: UTM Zona 14N
Datum: WGS84

Fuente: elaborado con base en INEGI (2000a, 2010a, 2019 y 2020b); SIAP (2020a y 2020b).

Figura 2.19. Ciclo agrícola perenne 2020 en los municipios de la cuenca del río Misantla, Veracruz



Hectáreas cosechadas

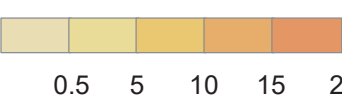


> 9 000
3 500
1 000

Cultivos cosechados

- Café cereza
- Limón
- Guayaba
- Toronja
- Caña de azúcar
- Naranja
- Papaya
- Plátano
- Mandarina

Superficie cosechada (%)



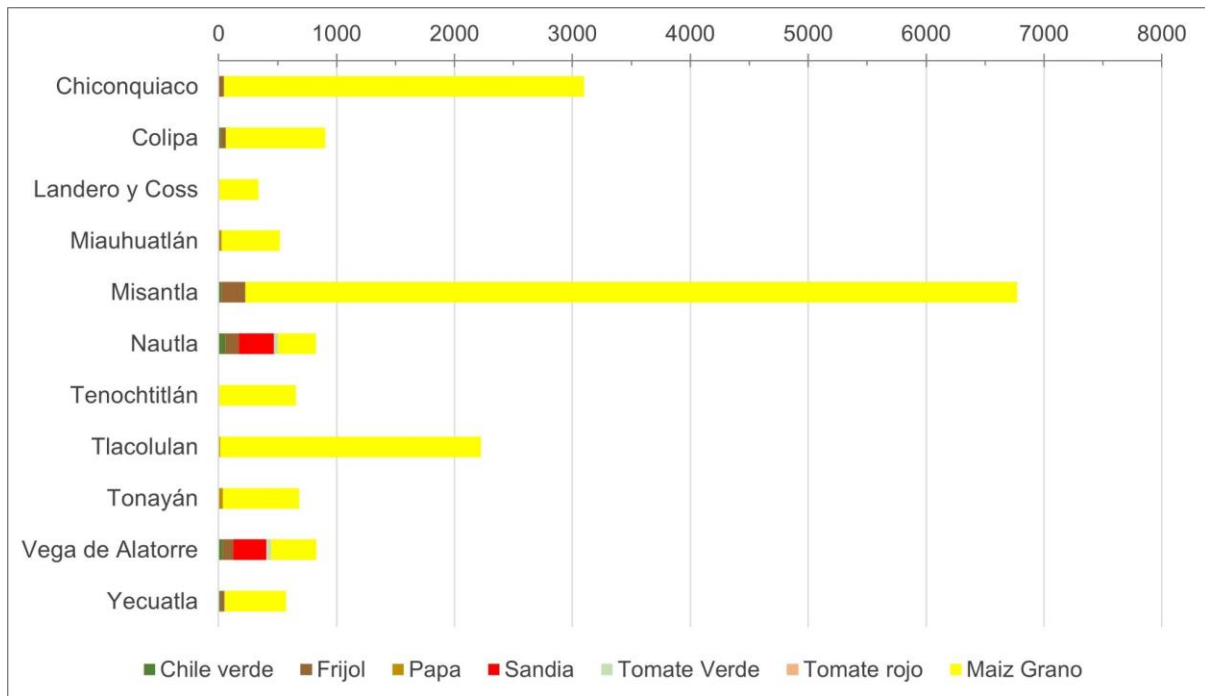
Referencias geográficas

- Elevación principal
- Río
- Carreteras
- Límite municipal
- Línea divisoria de aguas
- Áreas urbanas

Proyección: UTM Zona 14N
Datum: WGS84

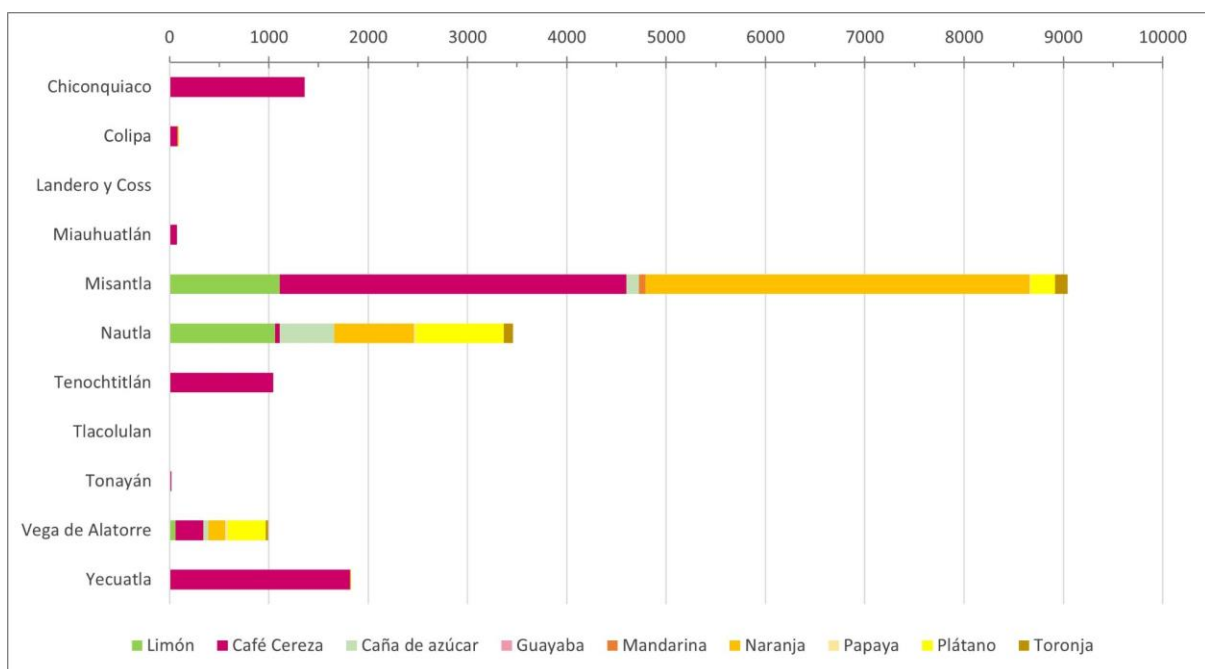
Fuente: elaborado con base en INEGI (2000a, 2010a, 2019 y 2020b); SIAP (2020a y 2020b).

Figura 2.20. Hectáreas cosechadas por municipio (año agrícola OI + PV) en la cuenca del río Misantla



Fuente: elaborado sobre la base de SIAP (2020c).

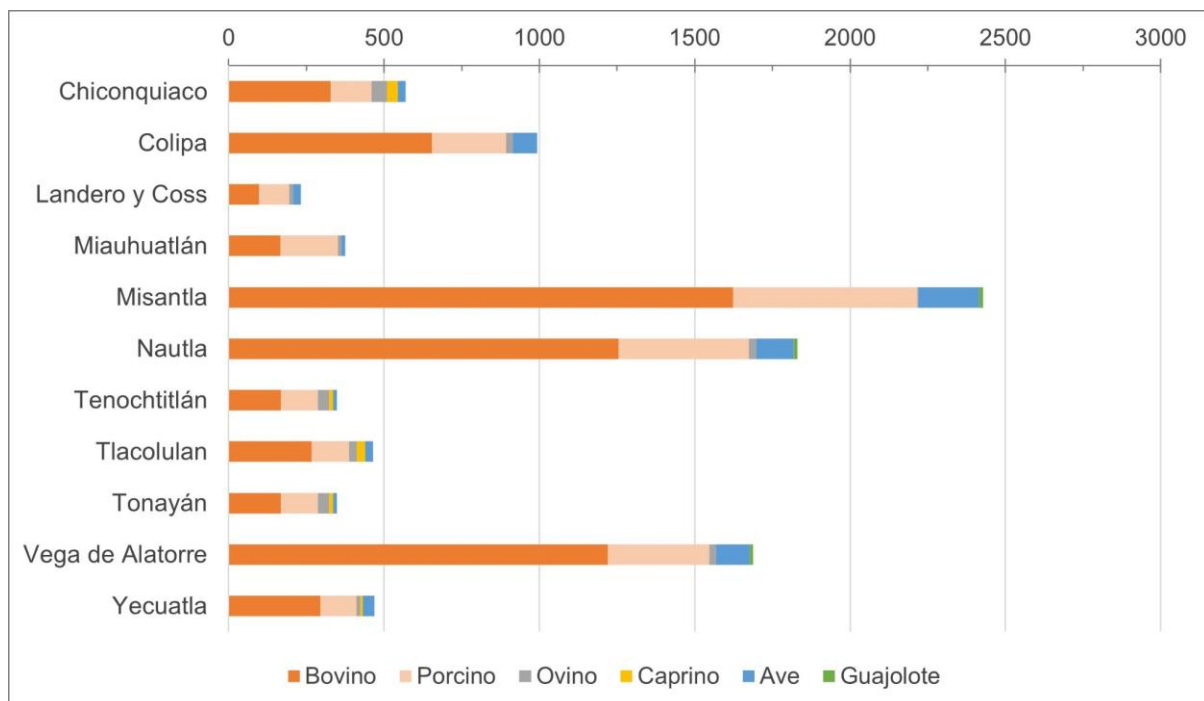
Figura 2.21. Hectáreas cosechadas por municipio (Ciclo Perenne) en la cuenca del río Misantla



Fuente: elaborado sobre la base de SIAP (2020c).

Por último, en lo que atañe a la producción pecuaria, de acuerdo con SIAP (2020b), los municipios con mayor producción de carne en canal son Misantla, Nautla y Vega de Alatorre; en alusión al producto, cabe oportuno señalar la presencia del tipo bovino, porcino y ave, en todas las entidades municipales. Otras especies con menor cantidad de producción son el ovino y el caprino; sin embargo, éstas tienen mayor relevancia en la parte alta de la cuenca que en la baja (figura 2.22). Otros productos presentes corresponden a la producción de leche, huevo y miel; con respecto a la primera, la mayoría proviene de la especie bovina.

Figura 2.22. Carne en canal (toneladas) por municipio de la cuenca del río Misantla



Fuente: elaborado sobre la base de SIAP (2020b).

2.5 Eventos de inundación en la cuenca del río Misantla

En el presente, ahondando en el contexto geográfico estatal del área de estudio, se proveen un conjunto de causalidades naturales y antropogénicas que fomentan la ocurrencia de las inundaciones. Más adelante, se proporciona una recopilación de los eventos más importantes en la cuenca del río Misantla, en éstas se describen las condiciones que propiciaron su incidencia, las principales consecuencias y algunas de las medidas de mitigación y prevención llevadas a cabo.

2.5.1 Causalidades

El Estado de Veracruz, debido a la conjunción de su configuración orográfica y la dinámica meteorológica, posee regímenes de precipitación lluviosos (40% de días del año con lluvias); esto provoca la elevación de los niveles de los ríos, incluso si tienen poco o nulo caudal (Tejeda, 2006).

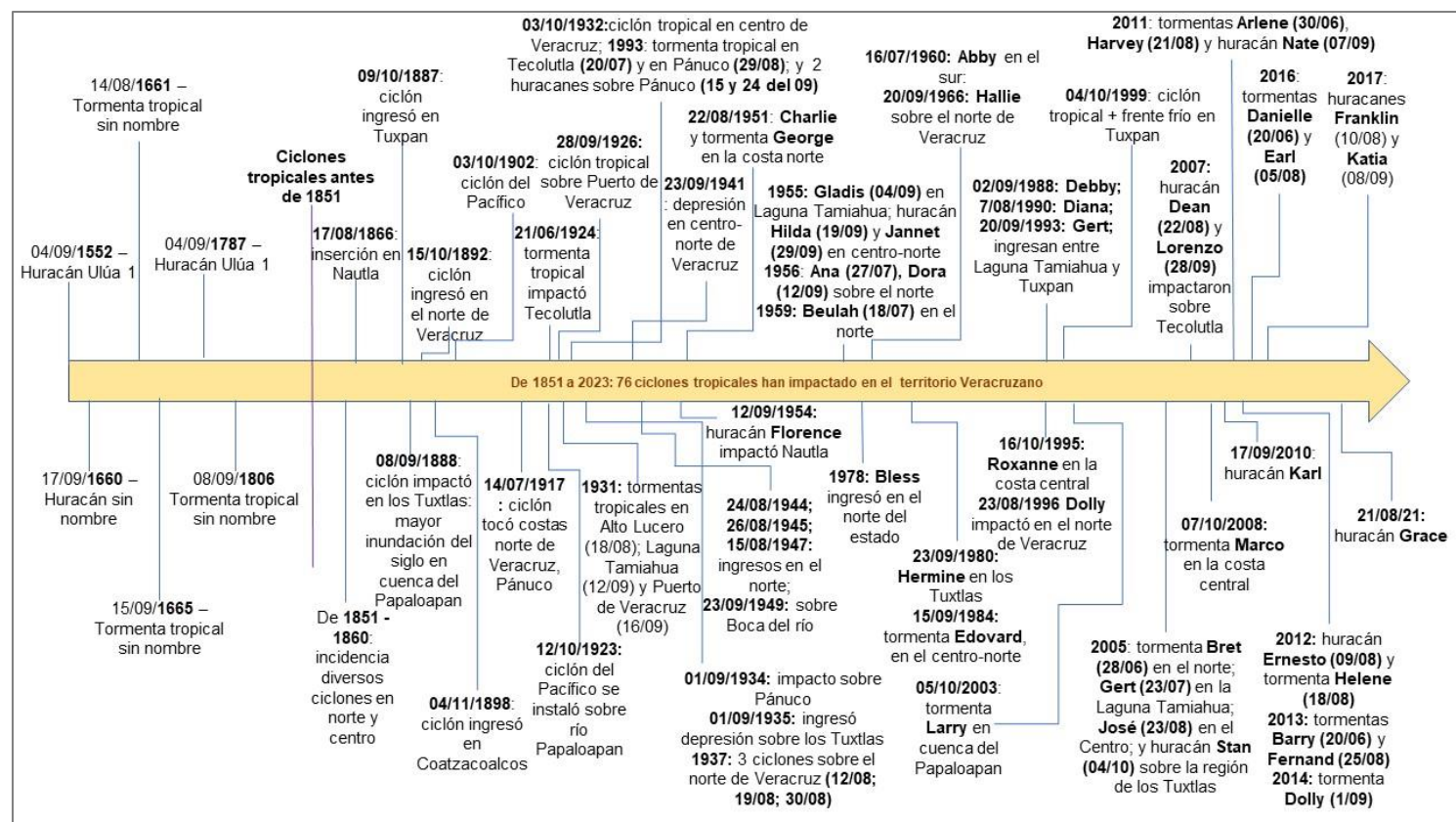
Se reconoce la influencia de diferentes fenómenos y sistemas de circulación atmosférica que afectan directamente a la variabilidad de la precipitación (Tejeda, 2011); por ejemplo, la presencia de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), que consiste en anomalías en la temperatura media de la superficie del mar, se refleja en afectaciones directas sobre el ciclo hidrológico (Travieso, 2011), como lo es disminución de las lluvias durante el verano; en contraste, este mismo, en su fase de La Niña, provoca lluvias excesivas tanto en verano como en otoño; otros fenómenos son la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y la Oscilación Atlántica Multidecadal (AMO), de las cuales, la primera, en su fase negativa, induce precipitaciones excesivas; por su parte la segunda, en su fase positiva, genera lluvias intensas que destacan en el verano (Ruiz, 2011).

En relación a lo anterior, otros elementos integrantes de la dinámica atmosférica son los *nortes* (octubre a mayo) y las *ondas tropicales*; en referencia a los primeros, se trata de acumulaciones de aire frío que se originan en latitudes medias, en su ingreso a los trópicos se manifiestan en vientos de hasta 110 kilómetros por hora (km/h), descenso en las temperaturas (de 2 a 15°C) y condiciones de humedad que propician precipitaciones; con respecto a las ondas tropicales, éstos sistemas tiene ocurrencia durante el verano, cuyo origen está dado en las costas occidentales de África debido a que los vientos alisios del este sufren ondulaciones (asociado a la temperatura del mar o desplazamiento de la zona intertropical de convergencia), su incidencia provoca dinámicas de subsidencia y convección (Acevedo & Diaz, 2006).

Si la instauración de una onda tropical encuentra las condiciones propicias (temperatura, bajas presiones y vapor de agua), éste puede convertirse en un *ciclón tropical* (junio a noviembre), el cual es un sistema de inestabilidad atmosférica y convergencia de vientos; recibe una clasificación de acuerdo con la velocidad de sus vientos: *depresión* ≤ 64 km/h; *tormentas* de 65 a 118 km/h; y *huracanes* >119 km/h (Acevedo & Diaz, 2006).

Se establece que la formación de éstos requieren la agregación de diversas condiciones de baja proporcionalidad; sin embargo, debido a la magnitud de las manifestaciones, la ocurrencia de éstas se percibe con regularidad (Gutiérrez, Monfort & López, 2006); existen antecedentes del conocimiento de estos fenómenos desde la época prehispánica, no obstante, su estudio científico comenzó hasta después de la segunda guerra mundial; a continuación la figura 2.23 muestra la temporalidad de aquellos eventos que han tocado territorio veracruzano.

Figura 2.23. Ciclones tropicales en Veracruz



Fuente: elaborado con base en Centro Nacional de Huracanes de los Estados Unidos en Luna & Rivera (2011); Gobierno de México (2017); SMN (2023); Tejeda (2006).

Es necesario apuntar que, desde 1851 y hasta 2010, han sido 63 ciclones tropicales que se han insertado en la entidad; de este conjunto sobresale su ingreso y distribución en la región centro y norte del estado. Sin embargo, también es pertinente mencionar la existencia de más sistemas de inestabilidad atmosférica que, aun cuando no toquen el territorio, generan dinámicas que propician humedad, actividad en los vientos y el oleaje, y, por lo tanto, precipitaciones intensas, generalmente al entrar en contacto con el relieve montañoso o las partes altas de las cuencas (Travieso, 2011).

En adición a las veleidasas condiciones atmosféricas, se encuentran los factores de causalidad antropogénicos, los cuales contribuyen a la construcción de los desastres; algunos de éstos responden a la inserción de la sociedad en un contexto marcado por el cambio climático y como parte de un megaproceso sistémico (Gutiérrez, *et al.*, 2006); de manera más específica, la falta de desazolve de los

ríos; la deforestación que se refleja en erosión y, por lo tanto, degradación del suelo; falta de regulación en el uso de suelo y la construcción de viviendas en áreas inundables; actividades agropecuarias y forestales inadecuadas; falta de participación ciudadana y cultura de prevención; poca atención a los mapas de riesgo y falta de actualización (Tejeda, 2011).

Algunos eventos que merecen mención por la magnitud de sus impactos atañen a los años de 1898, 1936, 1944, 1955, 1980, 1984, 1995, 1999, 2005, 2007 y 2010, siendo escenarios recurrentes las cuencas del río Papaloapan, Pánuco y Tuxpan; en sus consecuencias, de manera más reciente y con mayor cobertura mediática se alude a los damnificados de 1999 (200 000), 2005 (1 500 000) y afectados directos de 2010 (1 000 000) (Tejeda, 2006; Tejeda, 2011); asimismo, en referencia a otros efectos negativos, hubo disminuciones relevantes en las actividades económicas, como lo es la pérdida de cultivos en la práctica agrícola (Luna & Rivera, 2011).

2.5.2 Evento del año 1955

El conjunto de ciclones (*Gladis*, *Hilda* y *Janet*) que acaecieron en septiembre de 1955, se reflejaron en un aumento importante de las precipitaciones; destaca el huracán *Janet*, el cual tuvo su origen en las inmediaciones del Caribe y en su recorrido transitó el sur de la península de Yucatán, después emanando hacia el Golfo por Campeche y tocando tierra cercano a los 20° norte en Veracruz; alcanzando un desarrollo de 400 km, es su banda exterior la que el día 29 de septiembre afectó a las regiones de Papantla, Misantla, Tecolutla y Poza Rica; el sistema *Janet* se disipó al hallarse ante los sistemas montañosos (Bravo, Sosa, Sánchez & Brutón, 2006; Nota de “El Informador” 29/09/1955 de Hemeroteca Nacional Digital de México en Meza, 2020).

Entre las consecuencias suscitadas de estos eventos provocó que los poblados que se hallaban asentados en las riberas del río Nautla perdieran dichos espacios, motivando a su vez la migración y desplazamiento hacia otras áreas (Palma, 2006). En la localidad de Misantla sobresalen los daños al suministro eléctrico; por otro lado, existen testimonios sobre el desbordamiento del río homónimo:

“creció de tal manera que arrasó con todo lo que encontró a su paso: casas, árboles, ganado, puentes, etc. Era impresionante ver como los gigantescos árboles (hayas), las casas, los muebles de madera, refrigerados, reses, cerdos y hasta personas eran arrastradas por las aguas impetuosas del río que parecía un mar embravecido” (Andrés Meza en Meza, 2020).

2.5.3 Evento del año 1995

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua, retomado por Mendiona (1996), el año de 1995 sobresale por su gran actividad atmosférica, ya que sus condiciones estuvieron influenciadas por la disipación de ENSO en el mes de abril (Ortega & Velázquez, 1996); entre junio y octubre existieron 32 ciclones, de éstos 21 en el Atlántico; destacaron los denominados *Opal* y *Roxanne* como aquellos de mayor amenaza a la entidad de Veracruz.

Con respecto al huracán *Roxanne*, este, el día 12 de octubre, poseía vientos de 170 km/h, ya había cruzado y ocasionado daños en la península de Yucatán, ingresando al Golfo de México se mantuvo estacionario y sus vientos perdieron fuerza; en los días subsecuentes su trayectoria era errática, sin embargo, se mantenía en las inmediaciones de los litorales mexicanos; para el día 20 de octubre, aunque ya se había degradado, sus remanentes entraron en interacción con un frente frío, lo que produjo inestabilidad atmosférica y humedad, traduciendo esto en precipitaciones intensas (Mendiona, 1996).

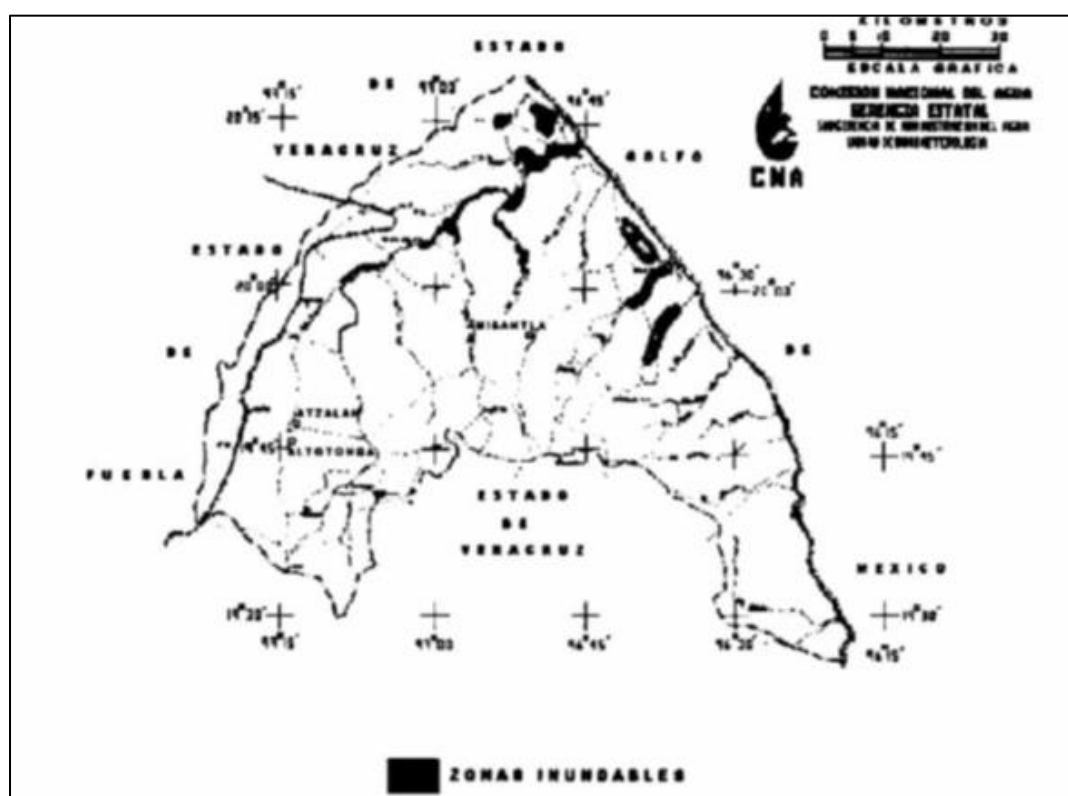
Los remanentes trajeron consigo precipitaciones de 296 mm (en la cuenca vecina, Nautla) hubo desbordamientos en los ríos Nautla, Colipa, Actopan, La Antigua, Jamapa y Cotaxtla; con respecto a la cuenca del río Misantra, hubo el rompimiento del bordo (construido en 1970 con un tramo de 100 metros) en la margen izquierda del río y el cual protegía a la localidad, volviendo así algunas de las calles parte del cauce; se afectaron varias colonias, entre las que se encuentran Nizín, El Pedregal I y II, Nacaquinia, Barrio del Zotuco, Aviación y Plan de la Vieja; cerca de 4 000 personas fueron evacuadas y distribuidas en ocho albergues (Mendiona, 1996; Secretaría de Protección Civil, 2021).

Otras localidades afectadas, ubicadas en la zona funcional alta, fueron Paso Blanco, El Pozón y Plan de Vega; en la parte media, además de Misantra está el Cedral; con respecto a la parte baja fueron casi 40 localidades, entre éstas Barra de Palmas, El Raudal, El Altillio y Ejido (Secretaría de Protección Civil, 2021).

A pesar de los daños no hubo pérdidas de vidas; la respuesta del gobierno federal a través de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos fue la rehabilitación del bordo de protección colapsado y su reforzamiento con enrocamiento, desde la Purísima hasta aguas arriba del puente Misantra-Xalapa, otras obras atañen a la construcción de baterías de espigones; con respecto a la población hubo autoorganización y actividades colaborativas (Secretaría de Protección Civil, 2021; Meza, 2019).

Coetáneo a los eventos de este año, existe el reconocimiento de zonas de riesgo de inundaciones en la entidad veracruzana, bajo la autoría de López & Acevedo (1995) exponen la figura 2.24, en la cual se muestra la cuenca del río Nautla y como parte de ésta la del río Misantra. En el mapa se expresan las áreas inundables, se identifican éstas principalmente en los márgenes del cauce del río Misantra y en la transición de la zona funcional media a la baja.

Figura 2.24. Zonas inundables en la cuenca del río Nautla y alrededores



Fuente: obtenido de López & Acevedo (1995: 146).

2.5.4 Evento del año 1999

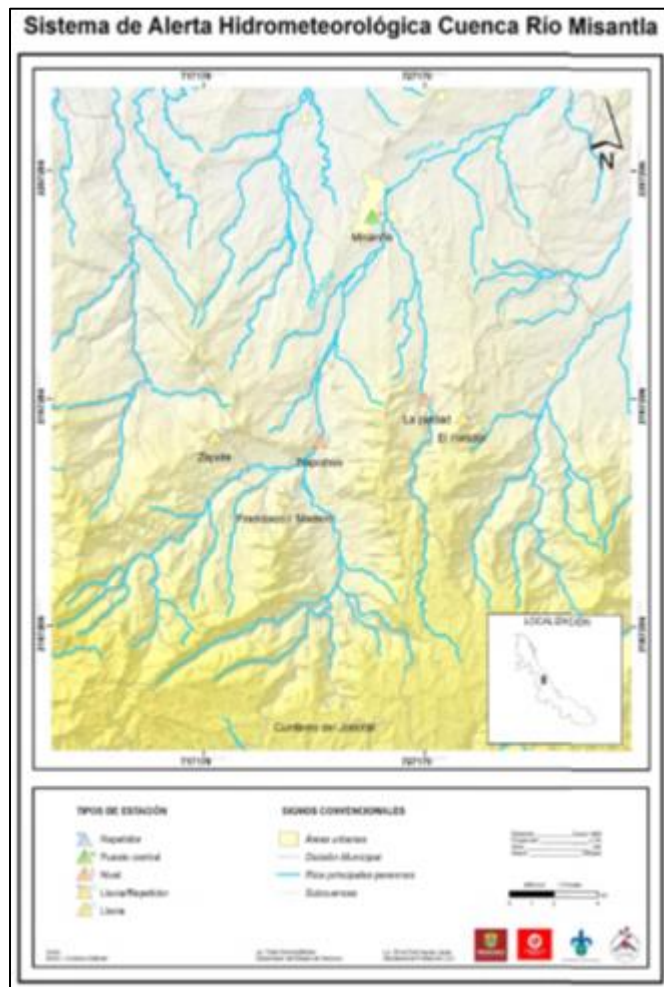
Los días 4, 5 y 6 de octubre de 1999 se distinguen por la interacción entre una depresión tropical y un norte, cuya dinámica atmosférica se encontró con la Sierra de Chiconquiaco provocando lluvias acumuladas de 411 mm; se estiman desbordamientos con 2 171/m² en 24 horas (Secretaría de Protección Civil, 2021; Tejeda, 2006).

La dinámica de la inundación fue muy similar a la de 1995 con desbordamientos en aguas abajo del puente Misantla-Xalapa y en algunas colonias y localidades aledañas al cauce del río Misantla, sin embargo, si bien la localidad de Misantla ya no recibió los mismos efectos negativos, no se descarta la presencia de éstos en otros espacios, pues se suman 200 000 damnificados, 12 000 viviendas afectadas, 18 000 personas en albergues, 20 afectaciones a carreteras y 200 muertos (Tejeda, 2011; Secretaría de Protección Civil, 2021).

Debido a los daños el gobierno federal por medio del Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) dio seguimiento a la terminación de la obra del bordo de protección de la localidad de Misantla, emplazada desde aguas arriba del puente Misantla-Xalapa hasta la terminación del área urbana (Secretaría de Protección Civil, 2021). Asimismo, se consideró la instalación de sistemas de alerta temprana de inundaciones, la cual se basa en un modelo matemático y permite anticipar 1 a 3 horas

sobre la posibilidad de incrementos en los escurrimientos y niveles de los cauces principales; en el caso de la cuenca del río Misantla fueron seis estaciones y el puesto central de registro se estableció en el palacio municipal de Misantla (Cervantes & Córdoba, 2015). A continuación, la figura 2.25 muestra el emplazamiento y el tipo de las estaciones, así como su cercanía a la localidad de Misantla y los escurrimientos.

Figura 2.25. Sistema de Alerta Temprana en la cuenca del río Misantla



Fuente: obtenido de Atlas de peligros geológicos e hidrometeorológicos de Secretaría de Protección Civil (2015: 95).

2.5.5 Evento del año 2005

El año 2005 destacó por su actividad meteorológica pues presentó 35 nortes y 34 ondas tropicales; de estas últimas, varias se intensificaron y se volvieron ciclones tropicales. De éstos, son cuatro los eventos que sobresalen por sus afectaciones a la entidad veracruzana, las tormentas *Bert*, *Gert*, *José* y el huracán *Stan* (Acevedo & Diaz, 2006).

El ciclón *Bert*, como depresión, tuvo lugar en las inmediaciones de Campeche el día 29 de junio, le antecede un desplazamiento preferente oeste-noroeste; insertándose en Tuxpan y alcanzando

velocidades de 65 km/h, su disipación ocurrió sobre la Sierra Madre Oriental; los registros de precipitación fueron de 266 mm en la estación el Raudal (Acevedo & Diaz, 2006).

Con respecto a la tormenta *Gert*, ésta surge el día 23 de julio en el sur del Golfo de México con trayectoria oeste-noroeste; al día siguiente se emplazó en las inmediaciones de Campeche; sin embargo, mantenía un movimiento errático y alcanzó velocidades de 65 y hasta 75 km/h. En su recorrido, tocó Tamaulipas y Veracruz, causando inestabilidad atmosférica y precipitaciones; al continuar su desplazamiento comenzó su deterioro al entrar en contacto con la Sierra Madre Oriental (Acevedo & Díaz; Ochoa, Utrera & Pérez, 2006).

Al mes siguiente, entre los días 19 y 23 de agosto, tuvo su formación la tormenta *José*, la cual, en su tránsito, causó lluvias en los estados de Campeche y Chiapas; su centro se localizó a 90 km al noreste de la ciudad de Veracruz, alcanzando 85 km/h. Para el día 23 ingresó por Vega de Alatorre, causando precipitaciones de 255 y 221.71 mm en Misantla y en el Raudal, respectivamente. Continuó al oeste y comenzó su degradación; sin embargo, también implicó inestabilidad atmosférica en los estados de Puebla, Tlaxcala, Estado de México y la Ciudad de México (Acevedo & Diaz, 2006; Ochoa, *et al.*, 2006).

El huracán *Stan* comenzó su formación el 1 de octubre a 180 km al sureste de Cozumel, Quintana Roo, con vientos de 45 km/h y una trayectoria oeste-noroeste; en su desplazamiento, al encontrarse más cerca de la costa, comenzó a aumentar de intensidad hasta alcanzar 75 km/h; para el día 2 de octubre cruzaba por la península de Yucatán y disminuyendo su intensidad, la cual fue recobrada para el día siguiente al reincorporarse al Golfo de México y conservando la dirección de su desplazamiento. El día 4 de octubre se reportaron vientos de 130 km/h y su cercanía al litoral del centro y sur de Veracruz; en su ingreso al continente, por los Tuxtlas, sus vientos disminuyeron y para el día 5 comenzó su proceso de disipación; sus bandas nubosas provocaron inundaciones en Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla y Quintana Roo; la lluvia máxima reportada fue de 307 mm en Paraíso Novillero y los lugares más afectados fueron Ángel R. Cabada, Misantla, Zihuanpan, Lauchapan, Martínez de la Torre y Tuxpan (Acevedo & Diaz, 2006; Ochoa, *et al.*, 2006).

Los principales efectos negativos se vieron reflejados en la mayor parte de la planicie costera y algunos puntos serranos, con 130 000 viviendas dañadas y 1 500 000 damnificados, ya que se establecieron 170 municipios afectados; las primeras estimaciones de pérdidas en el sector agrícola indicaron aproximadamente 50 000 hectáreas de cultivo de plátano y 60 000 hectáreas de maíz, caña, frijol y pastizales (Tejeda, 2006; Tejeda, 2011; Gutiérrez, *et al.*, 2006).

2.5.6 Evento del año 2010

Durante el 2010 existieron condiciones irregulares en una escala regional, en lo que refiere a los regímenes de precipitación, y a una escala global, con respecto a los océanos; esto se reflejó en una

desigual distribución y temporalidad de las precipitaciones en las porciones norte y sur de la entidad veracruzana (Ruiz, 2011). Los eventos más destacables de la temporada atañen a la tormenta *Matthew* y al huracán *Karl*.

El huracán *Karl* comenzó su formación aproximadamente el 9 de septiembre, como un centro de baja presión en las cercanías del Arco de las Antillas Menores; su dirección de desplazamiento hacia el oeste, con vientos que alcanzaron velocidades de los 65 hasta los 118 km/h. Su primera inserción en el continente, el 15 de septiembre, fue en la costa sur de Quintana Roo, lo cual lo hizo perder intensidad; al día siguiente, emergió de la sonda de Campeche y al reintegrarse al mar recobró velocidades previas; en el transcurso del mismo día, aún con trayectoria oeste, pasó de 119-149 km/h a 150-179 km/h. Para las primeras horas del 17 de septiembre se hallaba a 80 km al noreste del Puerto de Veracruz y sus vientos alcanzaban velocidades de 195 km/h, sus bandas nubosas ya se encontraban afectando diversos espacios del territorio mexicano; para el mediodía de ese día se reinsertó en el continente, al sur de Veracruz, en la población de Playa de Chachalacas (Luna & Rivera; Hernández, Bravo & Díaz, 2010).

Su recorrido en tierra poseía una trayectoria oeste-suroeste, en su avance comenzó su proceso de degradación pasando a la categoría de tormenta y depresión; sin embargo, dejó afectaciones en los niveles de humedad que alentaban la actividad convectiva; para el 18 de septiembre, a 95 km al sureste de la ciudad de Puebla, tenía vientos de 35 km/h y continuó con su disipación (Luna & Rivera; Hernández, *et al.*, 2010).

Con respecto a los efectos acaecidos por *Karl*, hubo acumulaciones de precipitaciones de 355 mm en Misantla; 245.3 mm en Martínez de la Torre y 200.4 mm en Veracruz; por lo tanto, las concentraciones de desbordamientos más relevantes ocurrieron entre las cuencas de la Antigua y el Papaloapan (Luna & Rivera; Hernández, *et al.*, 2010).

Por su parte, la tormenta tropical *Matthew* comenzó como un disturbio tropical asociado a una onda tropical el día 20 de septiembre, la cual continuó con su organización en los siguientes tres días. Para el 23 de septiembre se hallaba emplazada en la región central del Caribe, con dirección hacia el oeste y con vientos de hasta 65 km/h; el día siguiente siguió su avance e intensificación; para el 25 de septiembre, en su desplazamiento, favoreció un núcleo convectivo en Guatemala, Belice, Honduras y El Salvador; el día 26 de septiembre, dentro del continente y con movimiento oeste – noroeste motivó su debilitamiento en la Sierra de Chiapas; sin embargo, sus bandas nubosas se volvieron lluvias intensas en los estados de Veracruz, Tabasco, Yucatán, Oaxaca y Chiapas; sobre las máximas lluvias en 24 horas, se registraron 257.2 mm en Tres Picos, Chiapas y 182 mm en el Raudal, Veracruz (Díaz, 2010).

En conjunto, los daños se establecen 140 000 viviendas dañadas, 1 000 000 de afectados de manera directa y 130 muertos (Tejeda, 2011); ante el desastre Tejeda & Arenas (2012) apuntan que las secuelas son conformadas por una larga historia de circunstancias y perturbaciones, en las cuales las acciones humanas tienen gran relevancia.

2.5.7 Evento del año 2013

En el año 2013 son dos los eventos, ambos catalogados como tormentas, *Barry*, ocurrida en el mes de junio, y *Fernand* en el mes de agosto. Con respecto a *Barry*, tuvo su formación como perturbación tropical el 17 de junio, emplazada en el noroeste del mar Caribe, poseía vientos de 55 km/h y tuvo un desplazamiento predominante oeste-noroeste, para las 16 horas el centro del sistema se situó en la costa de Belice. En este contacto se debilitó, reduciendo sus velocidades; pero, continuó su avance por los países cercanos. Para el día 18 de junio, se estabilizó la variación de las velocidades de sus vientos; por la noche, al incorporarse al mar por la Sonda de Campeche, recobró su intensidad con 55 km/h; al día siguiente, seguía con movimiento al oeste y por las condiciones favorables sus vientos llegaron a 75 km/h. El día 20 de junio ingresó por la Playa La Mancha, conservando su fuerza; no obstante, en su avance y el transcurso del día comenzó a debilitarse. Inició su degradación al cruzar la Sierra Madre Oriental, pues ya para las últimas horas del día con vientos de 35 km/h se disipaba; empero algunos de sus remanentes persistieron (Bravo, 2013a).

Concerniente a la tormenta *Fernand*, ésta comenzó su formación el 25 de agosto, como depresión tropical en el suroeste del Golfo de México, con una trayectoria al oeste y vientos de 55 km/h; ese mismo día por la tarde a 45 km de Veracruz fue catalogado como tormenta, incrementando su intensidad a 75 km/h, para las últimas horas del día aumentaba a 85km/h y se emplazaba a 10 km al norte de Veracruz. Tocó tierra minutos antes del 26 de agosto, a 5 km al norte de Zempoala; al día siguiente, en su avance, fue constante la pérdida de su fuerza, pues para las 10 horas se degradó a depresión tropical y, por la tarde, al transitar por el estado de Hidalgo, a baja presión.

Las afectaciones en los registros de precipitación, dentro de la cuenca del río Misantla, fueron los siguientes; para *Barry*, 160 mm en Tenochtitlán y 372 mm en Misantla; por su parte *Fernand*, 310 mm en Tenochtitlán (Bravo, 2013a; Bravo, 2013b). Asimismo, se reportó la evacuación de seis colonias en la localidad de Misantla y la caída del puente que comunicaba la cabecera municipal con Xalapa (figura 2.26) (La Jornada, 2013 en SIATL de INEGI, 2022c).

Figura 2.26 Caída puente Misantla-Xalapa, 2013

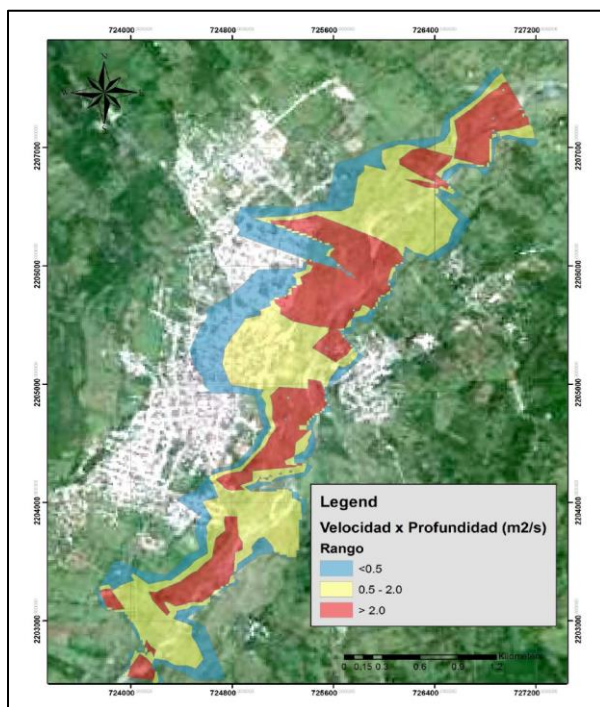


Fuente: obtenido de INEGI (2022c).

2.5.8 Años recientes

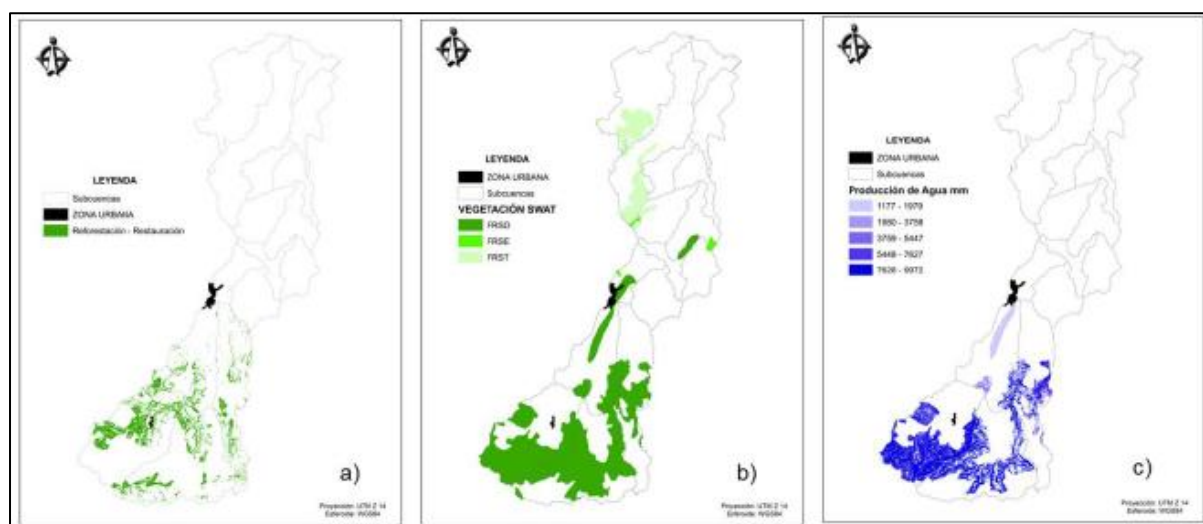
De acuerdo con los eventos previos, se han elaborado otras expresiones cartográficas que atañen a la cuenca, o parte de ella; tal es el caso de Ibáñez (2016) y Rodríguez (2016); el primero integra, a través de un modelo de simulación basado en ecuaciones diferenciales determinísticas, información topográfica y condiciones de gasto máximo dadas (figura 2.27); por su parte, el segundo, plantea diferentes escenarios de uso de suelo para estimar las variaciones en la cantidad y calidad del agua; asimismo, identifica áreas relevantes para su restauración, su protección y producción de agua (figura 2.28).

Figura 2.27. Velocidad x Profundidad (m^2/s) en la localidad de Misantla



Fuente: obtenido de Ibáñez (2016: 57).

Figura 2.28. Sitios de importancia en la cuenca del río Misantla; a) restauración, b) protección y c) producción de agua



Fuente: obtenido de Rodríguez (2016: 104).

En alusión a datos puestos a disposición por las autoridades, a continuación, el cuadro 2.6 recopila la información básica de peligros naturales a nivel municipal por CENAPRED (2021), acotado al peligro de inundación de los municipios que comprenden la cuenca del río Misantla; en éste destacan que los niveles de peligro son más altos en los municipios que conforman la zona funcional media y baja de la cuenca; asimismo en lo que respecta a la vulnerabilidad son seis catalogados con media y seis con alta.

Con respecto a las declaratorias de emergencia entre los años de 2000 a 2019, los municipios con mayor número son Misantla y Nautla; en lo que refiere a los eventos reportados resalta la persistencia en años más recientes, como lo es el caso de Misantla y Nautla, en 2018 y 2020, 2017 y 2020, respectivamente.

Cuadro 2.6. Peligros básicos de peligros naturales a nivel municipal

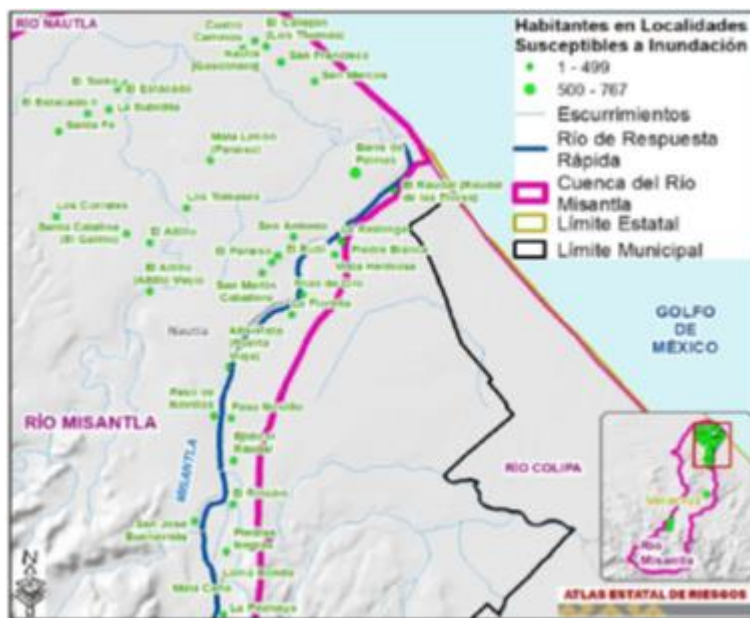
Municipio	Nivel de peligro	Vulnerabilidad	Declaratorias de emergencias (2000 a 2019)	Eventos recientes
Altotonga	Medio	Alta	14	Sin registro
Chiconquiaco	Bajo	Alta	11	2 en 2016
Colipa	Alto	Alta	13	Sin registro

Landero y Coss	Muy Bajo	Media	7	Sin registro
Miahuatlán	Bajo	Media	7	Sin registro
Misantla	Muy Alto	Alta	17	1 en 2018 1 en 2020
Nautla	Muy Alto	Media	16	1 en 2017 1 en 2020
Tlacolulan	Bajo	Media	10	2 en 2016
Tenochtitlán	Medio	Alta	13	1 en 2015
Tonayán	Muy Bajo	Media	9	Sin registro
Vega de Alatorre	Muy Alto	Media	12	1 en 2017
Yecuatla	Alto	Alta	13	Sin registro

Fuente: elaborado sobre la base de CENAPRED (2021).

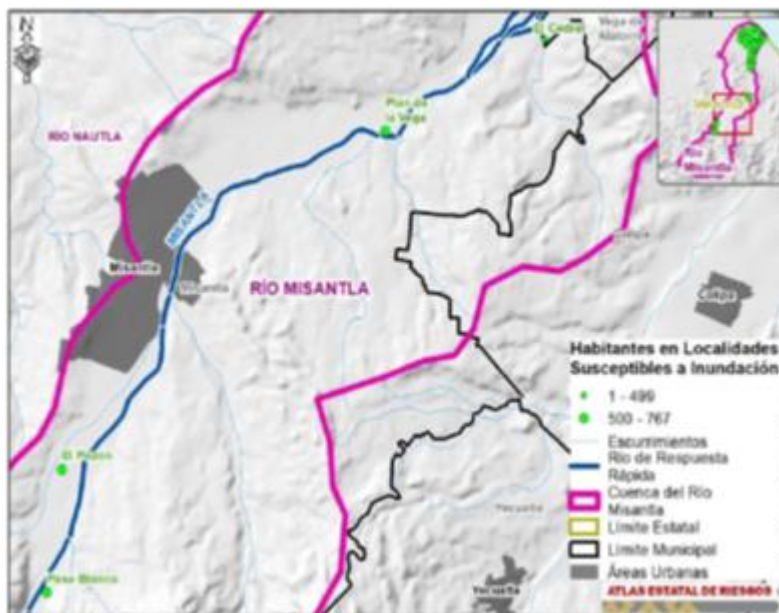
En adición, de manera reciente se ha hecho el diagnóstico de las inundaciones en la cuenca del río Misantla (2021); en dicha evaluación se han incluido y expresado las localidades susceptibles a inundación en la zona funcional baja (figura 2.29) y media (figura 2.30).

Figura 2.29. Localidades susceptibles a inundación en la zona baja de la cuenca del río Misantla



Fuente: obtenido de Secretaría de Protección Civil (2021:10).

Figura 2.30. Localidades susceptibles a inundación en la zona centro de la cuenca del río Misantla



Fuente: obtenido de Secretaría de Protección Civil (2021:11).

Del mismo modo, sobresale la existencia de la brigada comunitaria en la localidad de El Altillio, en el municipio de Nautla, cuya conformación y organización está orientada a la protección civil y bajo la premisa de reducción del riesgo; entre sus tareas se encuentran el alertamiento, el rescate, evacuación,

atención de refugios, el fomento de la prevención y la generación de mapas de riesgo comunitarios (Secretaría de Protección Civil, 2021).

Sin embargo, en otro ámbito, también es importante retomar la noticia que conmemoraba los eventos del año 1995 (González, 2020) por sus 25 años, en el cual por el recuento de los hechos se da a saber la desaparición del sistema de alerta temprana que había sido implementado en la cuenca, cuya asistencia favorecía en las tareas de alertamiento y evacuación.

Finalmente, es posible aludir que, de acuerdo con la información histórica puesta disposición por el SMN (2023), se denota la presencia de diferentes ciclones tropicales que han ingresado al estado de Veracruz, destacando los años de 2016 (tormentas *Danielle* y *Earl*), 2017 (huracanes *Franklin* y *Katia*) y 2021 (huracán *Grace*); sin embargo, también es necesario señalar otros años en 2020 (*Nana*, *Gamma*, *Delta*, *Zeta* y *Eta*), 2021 (*Nicholas*) y 2022 (*Lisa*) en que la dinámica atmosférica no promueve su inserción en el territorio Veracruzano, empero esta condición no exenta su incidencia y su reflejo en precipitaciones intensas y, por lo tanto, con repercusiones sobre la población. Puede decirse que ha sido menor la atención mediática para estos eventos; no obstante, se tienen algunas declaratorias de emergencia o desastre natural en varios municipios del área de estudio, a través del Diario Oficial de la Federación (03/04/2015, 04/11/2015, 17/08/2016, 24/10/2017, 09/09/2021), así como noticias de periódicos locales y en redes sociales.

Capítulo 3. Cartografía temática del riesgo por inundación en la cuenca del río Misantla

En el presente capítulo se abordan algunos de los requerimientos necesarios para el seguimiento de una propuesta metodológica; más adelante, sobre la base de dicha propuesta, se esclarecen diferentes cuestionamientos en torno a la planeación y composición de los diferentes mapas temáticos.

Después, se ahonda en los contenidos y procedimientos de diferentes metodologías, las cuales son evaluadas sobre su aplicación total o parcial al caso de estudio. Luego, son proporcionadas las especificaciones, pasos y observaciones llevados a cabo para la construcción de las expresiones temáticas que atañen al peligro, la vulnerabilidad y el riesgo.

Enseguida, se describen las decisiones que orientaron el ejercicio de simbolización en los mapas temáticos; posteriormente, se hace hincapié en las actividades de generalización y particularidades de la representación. Al finalizar, se realiza un análisis e interpretación del mapa de riesgo por inundación.

3.1 Estrategia metodológica

Los requerimientos para llegar al mapa de riesgo por inundación en la cuenca del río Misantla, fueron los siguientes:

a) Trabajo de gabinete

Se realizó la consulta de diversas fuentes oficiales (CENAPRED, CONAGUA, CONABIO, CONAPO e INEGI), también se recuperó información empleada en la caracterización del área de estudio (capítulo 2) y se procesó para su complemento y apoyo en la generación de la nueva.

b) Trabajo de campo

Se estableció contacto con las autoridades responsables de protección civil o afín de las localidades de mayor relevancia en la región de estudio, pese a lo anterior, solo se obtuvo respuesta del *Ayuntamiento Municipal de Nautla*, cuya condición para concretar la solicitud consistió en que ésta debía ser emitida de manera presencial. Se planearon visitas, recorridos y entrevistas abiertas para los habitantes de las comunidades. La práctica fue realizada durante los días del 15 al 18 de marzo del 2023.

En la localidad de Nautla:

- Se acudió al *Ayuntamiento Municipal de Nautla*, donde se solicitó apoyo a elementos de protección civil, dicha petición fue atendida por el director de Protección Civil, Erik Posadas, quien se vio dispuesto a conversar sobre los temas de interés para la presente investigación, asimismo proporcionó de manera digital el Atlas Municipal de Riesgos de Nautla (2018).
- Levantamiento de entrevistas abiertas y selección de sitios para la toma de fotografías entre los que se hallan: *Parque Municipal, Monumento a la Tortuga Marina, DIF Municipal Nautla, Torres de Observación Silvestre, Playa Maracaibo y Puente Nacional de Nautla.*

En la localidad de Misantla:

- Se asistió al *Ayuntamiento Municipal de Misantla*, donde autoridades proporcionaron indicaciones hacia el módulo de *Dirección de Tránsito y Vialidad*, donde se ubica Protección Civil. La solicitud fue atendida por el director de Protección Civil, Víctor Leonardo Herrera, quien se mostró en disposición para atender a los planteamientos de la entrevista.
- En alusión al levantamiento de las entrevistas dirigidas a la población, se le dio prioridad a lugares de gran afluencia como el *Parque Misantla*, *Casa de la Cultura el Calvario* e *Iglesia Santa María de la Asunción*. Asimismo, de acuerdo con la información proporcionada se fijó el recorrido a algunas de las vialidades señaladas como previamente afectadas, entre las que se hallan las calles *Ignacio Comonfort*, *Comonfort*, *Cánovas* y *Álvaro Obregón*; del mismo modo se visitó y tomaron fotografías de otros sitios de interés como el *Panteón Municipal* y el *punto Palchan*.

Otros:

- El traslado, de la localidad de Nautla a Misantla, se hizo a través de las vialidades: Entrada a Jicaltepec, Vereda el Pital y Banderilla-Martínez de la Torre; pasando por las localidades de Jicaltepec, Isla Chachapa, Coapeche, Santa Clara, Arroyo Hondo y La Primavera. A lo largo del trayecto se tomaron fotografías de los rasgos geográficos más destacados.

c) Planeación mapas temáticos

Se reflexionó en torno a diferentes cuestionamientos cartográficos con el fin de establecer los propósitos, usuarios a los que iría dirigido, características requeridas y alcances.

d) Revisión bibliográfica

Se retomó el marco epistemológico concerniente al vínculo entre la Cartografía y la Geografía de los Riesgos, con énfasis en la valoración de las diferentes metodologías para la estimación y representación de los componentes del riesgo (peligro y vulnerabilidad); se priorizó la selección con base en la disposición de información y los propósitos planteados en la planeación.

e) Inspección del simbolismo de expresiones cartográficas

Se expusieron las convenciones generadas y se procedió a describir sus características y evaluar su adaptabilidad al caso de estudio; con base en lo anterior, también se enuncian propuestas de representación.

f) Generalización

Durante el proceso cartográfico y de confección se valoró la implementación de técnicas según se requiera para cumplir con el objetivo principal de los mapas.

g) Composición y confección mapas

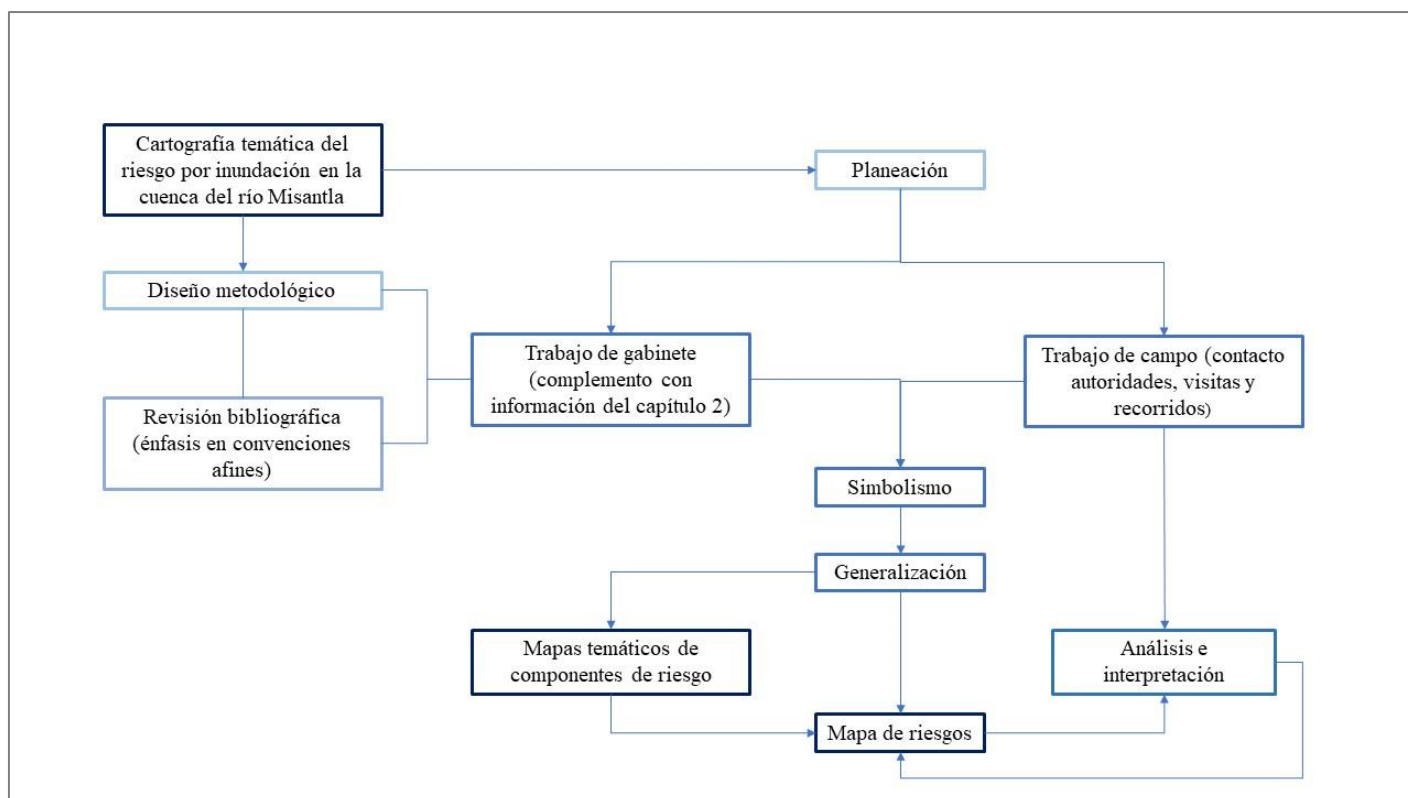
Se establecieron un conjunto de parámetros para su representación final, procurando que éstos sean congruentes con los otros elementos y etapas del proceso cartográfico.

h) Análisis e interpretación

Con la información sintetizada en un mapa se procedió a realizar inferencias; se enlazaron los resultados con los componentes del riesgo, reconociendo posibles causalidades y consecuencias para así proponer acciones de prevención y mitigación.

A continuación, la figura 3.1 sintetiza los requerimientos previamente descritos, en dicho diagrama se observa la interrelación entre las etapas; del mismo modo, en la figura se disciernen los tonos de los bordes de los cuadros, siendo que el tono más claro refiere a un ejercicio de identificación, el tono medio alude a un procedimiento y el tono más oscuro representa la obtención de un producto.

Figura 3.1. Estrategia metodológica



Fuente: elaboración propia.

3.2 Planeación de los mapas temáticos

El proceso cartográfico es un ejercicio el cual implica una reflexión sobre una serie de cuestiones y etapas, las cuales se ven inmersas en un tratamiento integrado, interactivo e iterativo (Aldana & Flores, 1999; Rystedt, 2015), por lo tanto, si las circunstancias lo ameritan, es factible volver con la intención de preservar el sentido de los planteamientos establecidos. Tyner (2010) enlista un conjunto de interrogantes, las cuales al ser contestadas guían y sustentan la composición cartográfica.

3.2.1 Necesidad de existencia del mapa temático

La primera cuestión refiere a si un mapa es la mejor solución para desarrollar el tema; en el caso particular de la presente investigación, la disciplina de los riesgos posee un componente espacial y, por lo tanto, obliga al desarrollo e inclusión de un producto cartográfico. Éste es un elemento esencial del cual se derivan conexiones entre las representaciones del fenómeno y el lugar donde ocurre, contribuyendo a una contextualización de dicho espacio y la realidad misma.

Es conveniente la elaboración de un mapa temático del riesgo por inundación, ya que es uno de los insumos básicos para darle seguimiento y sustento a la planeación del uso y ocupación del territorio.

3.2.2 Tema del mapa

El mapa final manifestará el riesgo por inundación en la cuenca del río Misantla; como producto de la síntesis de metodologías que refieren a sus componentes (peligro y vulnerabilidad), procesamiento de datos geográficos y un ejercicio de simbolismo y generalización que permita distinguir posibles causalidades, áreas prioritarias y que sustente la decisión en torno a la implementación de medidas preventivas y/o de mitigación.

3.2.3 Escala, proyección cartográfica y grado de generalización

En alusión a la escala de trabajo, ésta se halla condicionada por las características de los datos adquiridos y generados; por lo anterior, se plantea un mapa final de riesgo cuya escala (1:150 000) sea mayor a la de los documentos elaborados para el capítulo 2 (1:250 000); lo anterior con la intención de develar un mayor detalle en las diferentes zonas funcionales de la cuenca.

Sobre la proyección elegida, esta decisión posee mayor relevancia cuando el área a representar está planteada en una escala chica; en el caso particular de la cuenca del río Misantla, debido a su localización geográfica, es posible recurrir a la proyección Universal Transversal de Mercator (U.T.M), ya que se emplaza en la zona 14N, misma que se empleó para su caracterización; dicha proyección es adecuada para cuando el espacio a representar es pequeño, pues tanto la forma como el área y rumbo se presentan con muy poca deformación (Alonso, 1986).

En lo referente al grado de generalización, se valorará la implementación de diferentes técnicas que permitan integrar los mapas de los componentes del riesgo, siendo que el mapa final, a su vez,

comunique lo esencial de éstos y también exprese la abstracción de nueva información que aliente una lectura legible.

3.2.4 Propósito e intencionalidad del mapa

La corriente temática en cartografía fija como uno de sus objetivos principales a la comunicación de la información plasmada en sus documentos; el mapa de riesgo por inundación tiene el objetivo principal de identificar áreas que se hallan bajo condiciones de peligro, reconocer elementos expuestos y vulnerables en dichos espacios, así como la comunicación de estas circunstancias a los actores involucrados (Fuchs, Spachinger, Dorner, Rochman & Serrhini, 2009).

Aunado a lo anterior, los objetivos de la cartografía en la presente investigación son el esclarecimiento de los componentes del riesgo y su expresión producto de la síntesis y complemento de las diferentes metodologías; también abordar el simbolismo y métodos de representación cartográfica, la capacidad comunicativa de éstos y la propuesta de incursionar con la integración de otras convenciones y/o combinación de los métodos. En alusión al área de trabajo, la cuenca hidrográfica, se aspira a enaltecer la concepción de ésta como un sistema del cual sus relaciones son inseparables y que pretende incluir a la población con su entorno de forma equilibrada.

En lo concerniente a la intencionalidad de uso, se espera que funja como pieza para orientar las decisiones sobre el espacio; asimismo, es deseable que de la expresión surjan nuevas interrogantes, alentando la investigación.

3.2.5 Público objetivo

Es ideal que los mapas de riesgo sean entendibles para la población y difundidos entre las comunidades con mayores condiciones de riesgo (López, 2015); no obstante, el mapa de riesgo final funge cual insumo para estudios y procesos subsecuentes que simplifiquen las condiciones de riesgo para la población; por lo tanto, se establece que por su sustento epistemológico y técnicas de construcción está dirigido a usuarios que posean un bagaje del tema y/o del territorio, como lo son académicos, investigadores y estudiantes, así como autoridades afines a los temas de protección civil y gestión del riesgo.

3.2.6 Formato y forma de producción

Para su producción se utilizarán tecnologías de la información y el apoyo de Sistemas de Información Geográfica (SIG), ya que éstos facilitan el ingreso, almacenamiento, manejo, análisis, integración y salida de datos espaciales (Karmakar, Simonovic, Peck & Black, 2010); de igual manera, se recurrirá a la obtención de diversos insumos y uso de herramientas puestas a disposición por fuentes oficiales.

Como consecuencia de la propuesta de aumento de escala, el formato de presentación del mapa temático de riesgo por inundación será tanto impreso como digital, en un tamaño tabloide (27.9 cm x

43.2 cm), esto con el fin de que sea posible proporcionarle, tanto una adecuada difusión, como una mayor accesibilidad a los costos de producción física.

3.2.7 Difusión

La accesibilidad al mapa final, así como sus métodos de construcción, se hallarán en los contenidos de la presente investigación; del mismo modo, se valora la posibilidad de su divulgación entre las autoridades de protección civil.

3.3 Revisión de metodologías

En el presente subcapítulo se valoran las metodologías para la determinación de los factores del riesgo; se prioriza su selección con base en los alcances y límites señalados en la planeación, es decir, que serán elegidas y sintetizadas aquellas en las que sus insumos sean de factible obtención y procesamiento.

Como se expuso en el primer capítulo de esta tesis, el desarrollo epistemológico es un proceso que se halla inmerso ante distintas circunstancias que motivan y alientan sus avances; tal es el caso de los términos que refieren al riesgo, pues su conceptualización ha sido variable y, por lo tanto, estos enfoques se reflejan en una dispersión metodológica.

3.3.1 Peligrosidad

Como punto de partida, se establecerá el reconocimiento de la información puesta a disposición en el Atlas Nacional de Riesgos sobre los fenómenos hidrometeorológicos, índices de inundabilidad y zonas susceptibles ante el fenómeno de inundación. A continuación, se alude a algunas metodologías las cuales se les ha evaluado con factibilidad de su aplicación parcial para esta investigación.

a) Combinación de metodologías para zonas rurales y urbanas de CENAPRED

La propuesta para **zonas urbanas**, bajo la autoría de Salas (2011), se fundamenta en aspectos teóricos de la hidrología y la hidráulica, ya que en su desarrollo retoma fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración, la fórmula racional para el gasto máximo y otros coeficientes como lo es el de escurrimiento y de rugosidad de Manning; no obstante, predomina el uso de herramientas tecnológicas y SIG.

Las etapas para su desarrollo son las siguientes:

1. Primero se requiere el *tratamiento de un modelo digital de elevación* (DEM, por sus siglas en inglés), del cual se determinan depresiones, dirección y acumulación predominante de los flujos, así como la red de drenaje, límites hidrográficos y características fisiográficas de la unidad territorial (área, perímetro, longitud y pendiente de cauces).
2. Después, se retoman los mapas de isoyetas de CENAPRED o estudio hidrológico previo de la zona y se calcula el tiempo de concentración, intensidad de la precipitación, ajuste de ésta a los periodos de retorno de interés y al tiempo de concentración; con lo anterior y el empleo de la **fórmula racional** es posible *obtener el gasto máximo* el cual se alcanza cuando la precipitación se mantiene con una intensidad constante durante un tiempo igual al tiempo de concentración.
3. Luego, se sopesa sobre el *modelo hidráulico o hidrológico* que se usará (unidimensional, bidimensional o tridimensional) para definir el comportamiento del fenómeno; se debe generar la trayectoria del río a partir de la red de drenaje previamente establecida, así como las secciones transversales. Posteriormente, se completa la información requerida como lo es el índice de

rugosidad de Manning y el tipo de simulación (decisiones de acuerdo con los intereses de la investigación).

4. Por último, los resultados son importados a otro sistema de información geográfica que permita su *procesamiento y confección*, se añaden las capas de red de drenaje, secciones transversales y el polígono de inundación integradas en un contexto geográfico (elementos naturales y sociales); se sugiere la producción de una superficie de red irregular de triángulos (TIN por sus siglas en inglés) de la elevación de la superficie de agua

Referente a la metodología orientada a las **zonas rurales** con arrastre de sedimentos, de la autoría de Eslava, *et al.* (2004), se construye bajo preceptos de la hidrología clásica, empleando distintos criterios para la determinación de los factores, así como otras técnicas para levantamientos en campo; en su desarrollo persiste el uso de métodos analíticos, pero muestra flexibilidad al incluir cálculos con métodos gráficos y/o empíricos; tiene como intencionalidad su aporte en el análisis para reubicación de viviendas o el diseño de obras sencillas de protección.

La secuencia de esta metodología es la siguiente:

1. Con apoyo de mapas topográficos de escala $\geq 1:50\ 000$, se realizan tareas de identificación y reconocimiento del río, cuenca y asentamientos de interés; en la determinación de sus *características fisiográficas* se delimita la línea divisoria de aguas, se calcula el área y pendiente de la unidad territorial, orden de la red de drenaje, longitud y pendiente del cauce principal; paralelo a los procedimientos anteriores, se sugiere la visita al sitio para recorridos a lo largo de la cuenca, toma de fotografías, observación del paisaje y registro de usos predominantes, levantamiento de muestras de suelo en sitios previamente planeados, así como medición de secciones en tramos del cauce.
2. Después, para la estimación del escurrimiento a la salida de cuenca, considera la suma de la fase líquida (agua) y la fase sólida (sedimentos); para la primera es necesario, con apoyo de los mapas de isoyetas, obtener el tiempo de concentración e intensidad media de la lluvia para así emplear la **fórmula racional**; en el caso de la segunda se recomienda el uso de la fórmula Universal de Pérdida del Suelo, cuya construcción implica la determinación de diferentes factores como lo es el índice de erosión (kg/m^2), índice de erosividad asociado a la lluvia del sitio, tipo de suelo predominante, longitud y pendiente del cauce principal, cobertura vegetal y obras que se han realizado en las laderas para el control de la erosión; dependiendo del resultado tendrá un valor o se sustituirá con otra fórmula. Una vez obtenidos el gasto líquido y la concentración de sedimentos se calcula el gasto total y las áreas hidráulicas requeridas en el río para evitar desbordamientos
3. Por último, se halla el levantamiento topográfico en secciones transversales del cauce que suelen desbordarse en temporada de lluvias, se determinan las áreas geométricas de dichas

secciones y se compara con el área hidráulica requerida para establecer si hay desbordamiento o no; las zonas inundables se estiman a través de tanteos de tirantes, proponiendo superiores hasta que se iguale con el del área hidráulica requerida.

b) Regionalización de gastos máximos de CENAPRED

Bajo la autoría de Dominguez, *et al.* (2017), se planteó un proyecto que permitiera estimar el caudal máximo en relación a diferentes periodos de retorno; su construcción está fundamentado en el estudio y análisis de las precipitaciones, así como los escurrimientos registrados en la red de estaciones pluviométricas e hidrométricas.

En alusión a la precipitación se tomaron en cuenta 2 380 estaciones, que tuvieran al menos 20 años de registro; el análisis de los datos en su contexto geográfico permitió la conformación de 66 regiones.

El valor que se consideró de éstas corresponde a las *precipitaciones diarias máximas anuales*, del cual tras su análisis estadístico se obtuvo la media, desviación estándar, coeficiente de variación, valor máximo y mínimo; estos procedimientos hicieron posible identificar y construir poblaciones ampliadas; después se ajustó una función de distribución de probabilidades.

Dado lo anterior, la estimación de la precipitación para cualquier periodo de retorno requiere la cartografía de isoyetas de las medias de las lluvias diarias máximas anuales y su multiplicación por los factores establecidos para cada región y periodo de retorno de interés

Con respecto a la esorrentía se consideraron aproximadamente 310 estaciones, cuyos escurrimientos no se hallan regulados por obras hidráulicas importantes localizadas aguas arriba; con base en la delimitación hidrológica de CONAGUA y el relieve se establecieron 34 grupos.

Con la intención de pasar de la media de los *gastos máximos anuales* al *gasto por periodo de retorno* de interés, se procedió a generar ecuaciones potenciales (combinaciones con diferente número de variables), las cuales se fundamentan en la asignación de una función de distribución de probabilidades, la estimación de la precipitación y características fisiográficas (área, longitud y pendiente media del cauce principal, tiempo de concentración, espesor del suelo, entre otras).

Los autores plantean la metodología en dos pasos: 1. cálculo de factores de diseño regionales (según área y período de retorno de interés); 2. determinación de ecuaciones en función de las características fisiográficas y precipitación de la cuenca.

c) Análisis geográfico de las superficies susceptibles a inundación

La siguiente metodología, propuesta de Vergara, *et al.* (2011), está fundamentada en el análisis geográfico de diferentes variables, las cuales refieren a áreas geomorfológicas, elevaciones, pendientes

y capacidad de drenaje del suelo (tipo y textura) en cuya interacción generan áreas susceptibles de presentar dichos fenómenos; se distinguen tres condiciones:

-Alta, implica a las áreas señaladas como llanuras fluviales (meandros y terrazas) con elevaciones de 0 a 20 msnm, pendientes de 0 a 2° y con suelos arcillosos de textura fina.

-Media, conlleva los espacios indicados como pie de monte con valles fluviales y lomeríos, elevaciones de 20 a 40 msnm e inclinaciones de 2 a 5°, así como suelos con texturas medias y drenaje pobre a moderado.

-Baja, combina las zonas de ladera y montaña, pendientes superiores a 5° y suelos con texturas gruesas y drenaje moderado a bueno.

d) Índice topográfico de humedad (TWI, por sus siglas en inglés)

El fundamento de esta metodología se halla en el empleo de un DEM y su procesamiento con apoyo de SIG; se distinguen índices primarios, los cuales se obtienen de los datos de elevación, y los secundarios, cuya generación es a través de combinaciones de los primeros (Mattivi, Franci, Lambertini & Bitelli, 2019).

Sobre el TWI, éste es uno de los más comúnmente usados, pues de manera general, a través de él se devela la tendencia de una celda a acumular agua. Su fórmula es la siguiente:

$$TWI = \ln\left(\frac{SCA}{\tan\varphi}\right)$$

Donde SCA se refiere al área específica de captación y φ corresponde a la pendiente, asumiendo que existen condiciones uniformes de suelo (Mattivi, *et al.*, 2019).

La secuencia para la aplicación de la metodología consiste en: adquisición del DEM; después se debe hacer el relleno de depresiones; a partir de este producto, entonces, se procede a obtener la acumulación de flujo. De manera paralela, también se requiere la estimación de la pendiente. Una vez dispuestos los elementos de pendiente y área de captación específica, éstos son ingresados para la construcción del TWI.

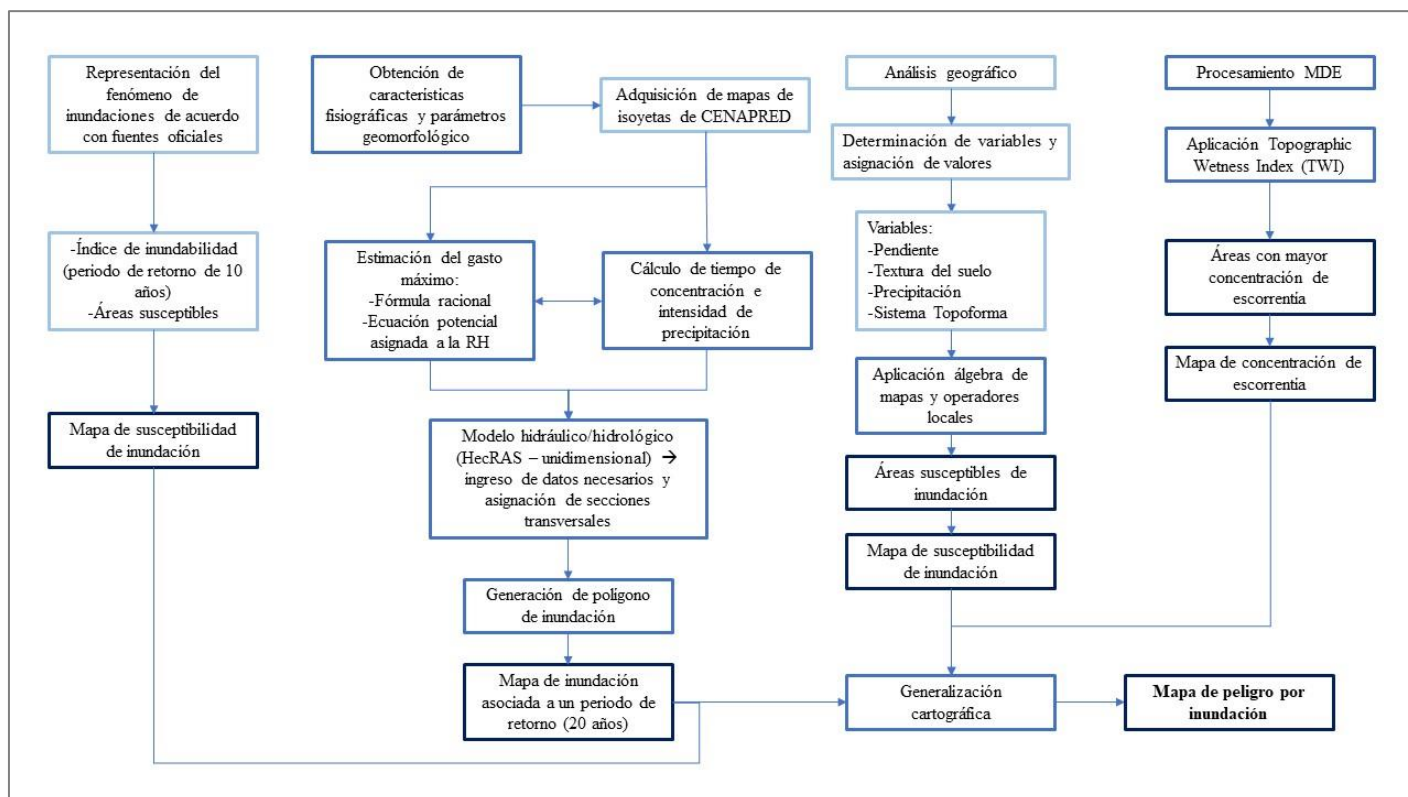
e) Síntesis

Revisando los métodos y técnicas para la estimación de la peligrosidad se decidió aplicar éstos de manera parcial y complementaria; su realización fue apoyada con tecnologías de la información y SIG.

Los resultados esperados consistían en la generación de un polígono de inundación y nociones sobre la susceptibilidad sujeta a las condiciones del ambiente; lo anterior permitió la confección de diferentes mapas los cuales, después de un proceso de generalización, se conjuntaron en uno de peligro.

En seguida la figura 3.2 muestra los pasos y otras especificaciones a atender durante su elaboración. Del mismo modo que en la figura 3.1, existe relación entre los tonos de los bordes de los recuadros y el tipo de actividad, ya que el tono más claro es un ejercicio de identificación, el tono medio atañe a procesos y el tono más oscuro es el resultado o producto.

Figura 3.2. Síntesis de peligrosidad



Fuente: elaboración propia.

3.3.2 Vulnerabilidad

De manera similar que la peligrosidad, se narra la inspección de la información que se halla en el Atlas Nacional de Riesgos en alusión a los índices de vulnerabilidad (2017); asimismo, se contemplarán los índices de marginación de CONAPO (2021b) y el Índice de Desarrollo Humano a nivel municipal puesto a disposición por PNUD (2020). En seguida se exponen algunas metodologías cuya aplicación total o parcial se ha considerado viable para esta investigación.

a) Flood Vulnerability Index (FVI)

Este método, propuesta de Bálica (2012; en Hernández, Ramírez & Barrios, 2017), está sostenido bajo un modelo paramétricos y distingue cuatro dimensiones de la vulnerabilidad: social, económico, ambiental y físico; en éstos por las variables e indicadores considerados se vislumbran aspectos de exposición, susceptibilidad y resiliencia.

De manera más específica, el aspecto social requiere información que atañe a la ubicación de la población, el panorama de su la calidad de vida, los modos de ocupación del territorio y la accesibilidad a la información; en alusión a lo económico, éste necesita datos de las actividades, desempleo, inversión gubernamental y la existencia de seguros contra inundación; para el elemento ambiental se recurre a relacionar el crecimiento urbano, el uso de suelo, los valores de precipitación y evaporación anual; en lo que concierne a la vulnerabilidad física se basa en el vínculo entre la topografía de los cauces, regímenes hidrográficos (precipitación y evaporación) y la proximidad del río.

Su procedimiento conlleva el cálculo individual de cada una de las dimensiones, para después éstas ser normalizadas y conjuntadas en un FVI Total.

b) Valor índice medio

Esta metodología, de la autoría de García de León (1989), se encuentra basada en técnicas de análisis multivariado. Implica el procesamiento de diferentes indicadores cuantitativos, obteniendo un índice que permite clasificar y jerarquizar un conjunto de casos, facilitando, por lo tanto, la identificación de diferencias y el establecimiento de tipologías.

Para su elaboración se sugiere que, de acuerdo con el marco teórico del estudio, las variables denoten condiciones favorables ante el fenómeno; por lo anterior, conforme mayor sea el valor numérico del índice entonces mejores serán las circunstancias del parámetro evaluado, es decir, en este caso será menos vulnerable. A continuación se abordan los pasos a seguir para su construcción.

1. Primero se debe realizar una *normalización de las variables* originales, para lo que es necesario obtener la media aritmética y su desviación típica para cada una; se establece la siguiente ecuación para su normalización:

$$Zi = \frac{Xi - \bar{Xi}}{S(i)}$$

Donde

i - número de variable;

Xi - valor de cada caso en la variable i ;

$\bar{i}$ - valor de la media aritmética de la variable i ;

$S(i)$ - desviación típica de la variable i ;

Z - valor normalizado de la variable i

2. Después es necesario *categorizar las variables* normalizadas según su posición con respecto a la media aritmética; se recomiendan seis rangos debido al principio estadístico planteado por Gauss sobre la probable distribución de los casos, donde en cuatro de estos rangos se hallarán cerca del 68.27% de los casos.
3. En seguida se realiza la suma de las calificaciones obtenidas de cada uno de los casos, dividiendo esta adición del total entre el número de variables; el *coeficiente generado* será el indicador de valor medio aritmético de las calificaciones de cada caso.
4. Por último, se hace la *suma del número de calificaciones* semejantes logradas por cada caso.

c) Vulnerabilidad física de CENAPRED

Para el estudio de la vulnerabilidad, tanto en su metodología para zonas rurales (2004) como urbanas (2011), está fundamentada en la diversidad de tipo de viviendas que se hallan en el país; se propone una tipología de combinaciones con base en los materiales de los techos y muros empleados para su construcción; aunado a lo anterior también se establece una relación con el menaje presente y el tirante (m).

En un entorno urbano, se plantea con el apoyo de SIG y los datos recopilados en los censos de población; no obstante, se señala que la información en este último no se encuentra al nivel de desagregación requerido, por lo que se sugiere adquirir la base de datos a nivel registro. Se seleccionan los atributos de mayor interés que permite establecer las clasificaciones de las viviendas; sin embargo, en su representación, debido a la disposición de información y en adición a lo establecido la Ley Federal de Protección de Datos Personales, no se deben señalar las viviendas de manera individual, sino que se recurrirá a la moda estadística para asignar qué tipo de vivienda predomina en cada AGEB o manzana urbana.

En referencia a un ambiente rural, la metodología propuesta requiere el apoyo de cartografía a gran escala ($\geq 1:20\ 000$), apoyado de trabajo de campo, recorridos y encuestas; se debe realizar el registro del total de viviendas en la localidad de interés, de cada una de éstas será recopilada información sobre los materiales de sus muros, sus techos, a qué grupo pertenecen y nivel de terreno al que está desplantada; en su relación con la peligrosidad se asocia con el nivel de agua y tirante, para así determinar los posibles daños. Con la ubicación de los tipos de viviendas es posible identificar cuáles son las más vulnerables e inferir patrones de distribución.

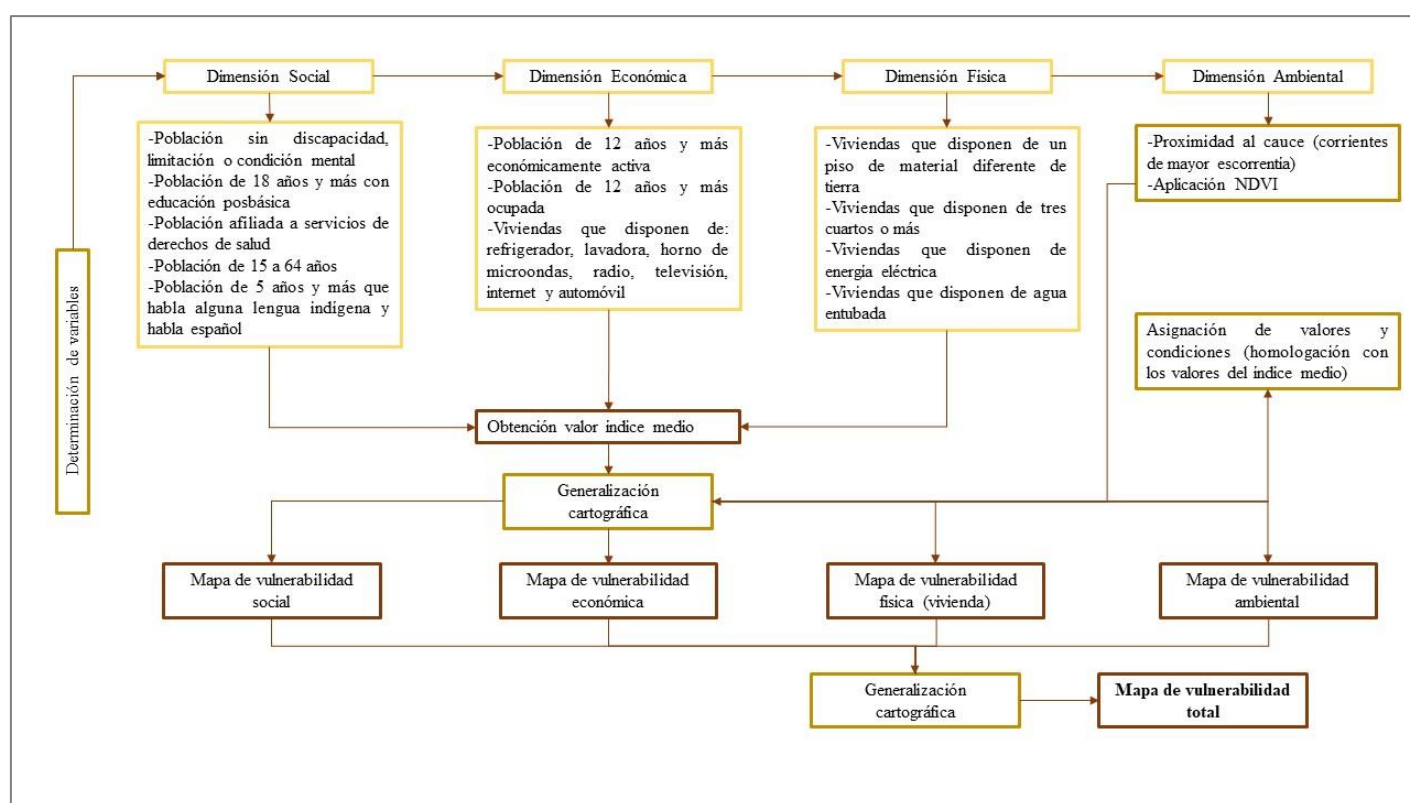
d) Síntesis

Después de exponer estas metodologías se consideró que su aplicación total o parcial podrían aportar elementos significativos para espacializar la vulnerabilidad; se optó por tomar de referencia las dimensiones social, económica, ambiental y física (Bálica, 2012; en Hernández, Ramírez & Barrios, 2017), no obstante, se debe señalar que se le dio una re-conceptualización a las dos últimas, ya que los

elementos involucrados en la propuesta original tenían gran relación con procedimientos llevados a cabo para la estimación de la peligrosidad, por lo tanto, la dimensión ambiental se determinó por las características del entorno y la ubicación de los asentamientos; mientras que, la dimensión física tuvo un enfoque similar al proporcionado por CENAPRED, es decir, a las viviendas y sus características,

En alusión a los resultados fue deseable que con el establecimiento de los valores obtenidos orientaran la delimitación de áreas de mayor o menor vulnerabilidad. A continuación, la figura 3.3 devela el procedimiento y otras especificaciones a atender durante su elaboración, del mismo modo el significado del tono de los bordes de los cuadros es el mismo que en la figura 3.2.

Figura 3.3. Síntesis de vulnerabilidad



Fuente: elaboración propia.

3.3.3 Riesgo

En lo correspondiente a la cartografía del riesgo, predominan las metodologías que enuncian su integración a través de un ejercicio de superposición y/o un análisis matricial con el cruce de los valores del peligro y la vulnerabilidad (Secretaría de Desarrollo Social [SEDESOL], 2004; Ribera, 2004; Bosque, *et al.*, 2005; Alcocer, *et al.*, 2016; Mesías, 2017). En el caso de México, CENAPRED (Salas, 2011; Eslava, *et al.*, 2004) sugiere la estimación del riesgo a partir de diferentes escenarios de riesgo (Zepeda, *et al.*, 2004; Bosque, *et al.*, 2005), a través de combinar diferentes variaciones de las condiciones, usualmente de los períodos de retorno e intensidades del peligro.

Otros métodos de unificación refieren a expresar el daño medio por unidad de área (Vargas, *et al.*, 2017), reglas lógicas de decisión (Smith, *et al.*, 2004), análisis espacial e interpolación (Diez, *et al.*, 2008). Por lo anterior, a continuación se enlistan las metodologías o condiciones que fueron tomadas en cuenta para la composición del mapa temático del riesgo por inundación.

a) Superposición

Se conjuntan ambas informaciones y a través de una selección se destacan las comunidades asentadas en las áreas susceptibles de presentar el fenómeno, a partir de lo anterior se distinguirá su riesgo (medio, alto o muy alto) de acuerdo con la vulnerabilidad que presenten; en el caso de los sitios no inmersos en la ocurrencia del fenómeno también se vislumbran sus características de vulnerabilidad para establecer su riesgo (muy bajo o bajo).

b) Matriz de riesgos

Se establece un conjunto de condiciones que se deben cumplir para la asignación de un nivel de riesgo; en esta propuesta se le proporciona mayor énfasis al aspecto histórico, ya que para conformar los niveles de riesgo más altos están integradas las áreas de inundación pasada, procediendo a distinguir a través de desagregar la vulnerabilidad. A continuación, el cuadro 3.1 establece las especificaciones para asignar un nivel de riesgo.

Cuadro 3.1. Relación condiciones de inundación y vulnerabilidad

Condiciones	Nivel de riesgo
-Zona sin inundación y sin elementos de vulnerabilidad	Sin riesgo
-Zona sin inundación y vulnerabilidad (muy baja)	Muy bajo
-Zona sin inundación y vulnerabilidad (baja) -Zona de inundación potencial y vulnerabilidad (muy baja)	Bajo
-Zona sin inundación y vulnerabilidad (media) -Zona de inundación potencial y vulnerabilidad (baja)	Moderado
-Zona de inundación pasada y vulnerabilidad (baja) -Zona de inundación potencial y vulnerabilidad (media)	Alto

-Zona de inundación potencial y vulnerabilidad (alta)	
-Zona de inundación pasada y vulnerabilidad (alta)	Muy alto

Fuente: elaborado sobre la base de Rodríguez (2018).

c) Distinción de áreas

En la propuesta metodológica de Bosque *et al.* (2005), debido a la región de aplicación (Centroamérica) hubo una reinterpretación para los elementos a considerar para la determinación de la vulnerabilidad; son tomados en cuenta los tipos de equipamiento y/o ayuda, aunado a las características de las viviendas y la población.

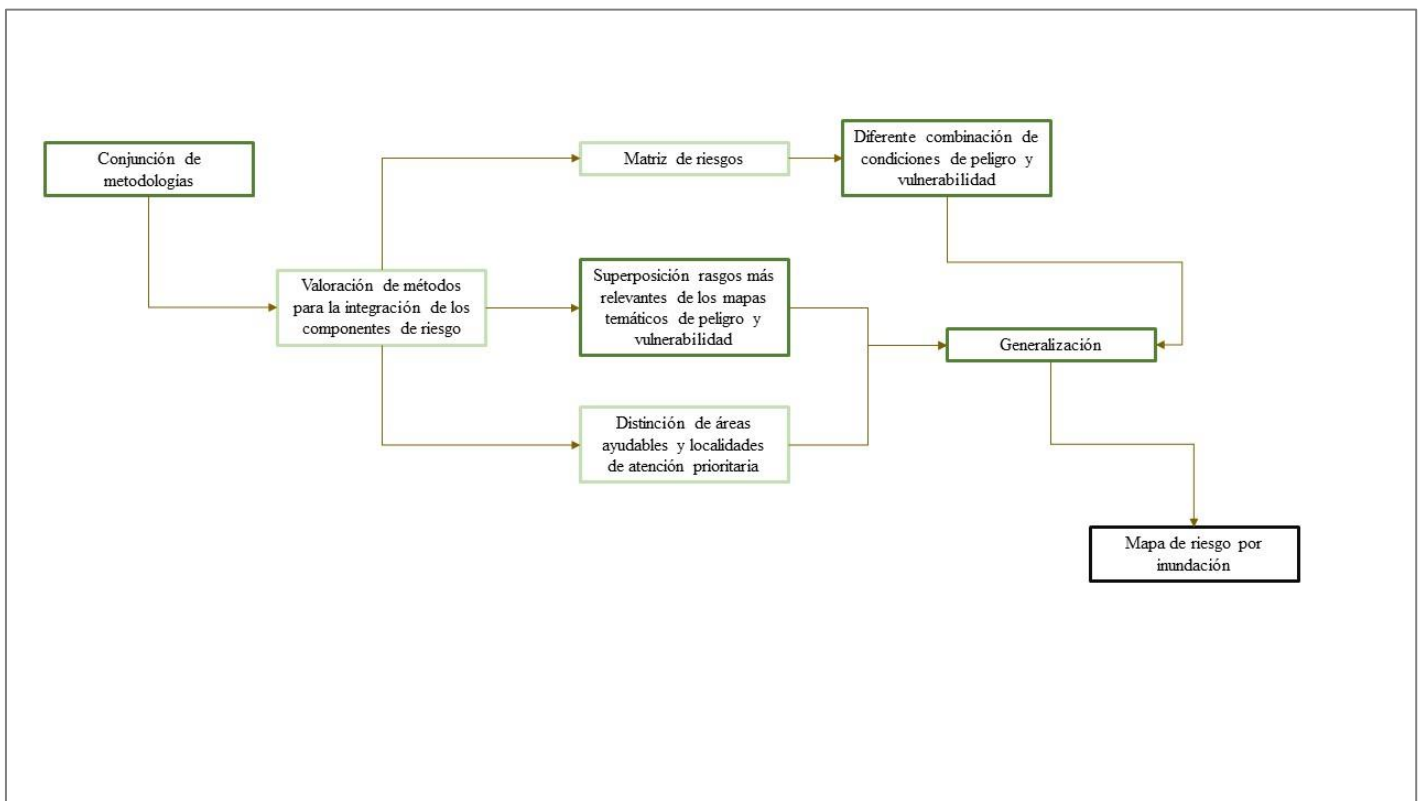
Por lo anterior, es posible delimitar diferentes áreas de acuerdo con su condición, pudiendo ser estas: *áreas evacuables*, *áreas ayudables*, *áreas sin refugio* y *áreas capacitadas*. A continuación se aborda el fundamento de su delimitación.

- Las *áreas evacuables*: se determinan a partir del cálculo de la mayor o menor accesibilidad a determinados equipamientos. Por lo anterior es necesario concretar la localización de los principales centros de ayuda, refugios y hospitales; se procede a vincular éstos con la red de carreteras. Después se realiza un cálculo de costes y acceso de acuerdo con la distancia entre los centros y las vialidades.
- Las *áreas ayudables*: para su delimitación interesan los puntos del territorio con mayores posibilidades de recibir ayuda; en el caso particular de la propuesta referida, debido a la escala de análisis, se le proporcionó gran relevancia a las capitales nacionales, aeropuertos y puertos.
- Las *áreas sin refugio*: se estiman con base en las características de las viviendas, según el porcentaje de viviendas catalogadas de baja calidad.
- Las *áreas capacitadas*: consideran la disposición de la población para comprender qué ocurre durante una emergencia y de atender a las recomendaciones de las autoridades, para esto la medida parte del porcentaje de población analfabeta.

d) Síntesis

A continuación, la figura 3.4 muestra algunas particularidades que fueron consideradas para la determinación del riesgo; entre estos sobresale un énfasis en los ejercicios de generalización para la conjunción de los mapas temáticos que lo conforman. Al igual que en la síntesis de sus componentes, el tono de los bordes denota actividad de identificación, procedimiento y resultado.

Figura 3.4. Síntesis de riesgo



Fuente: elaboración propia.

3.4 Procedimientos específicos

En el presente subcapítulo se recopilan los resultados obtenidos luego de la síntesis y seguimiento de las diferentes metodologías. Se establecen las especificaciones asignadas para la construcción de los diferentes mapas temáticos, asimismo, se adjuntan algunas observaciones durante los procedimientos.

3.4.1 Peligrosidad

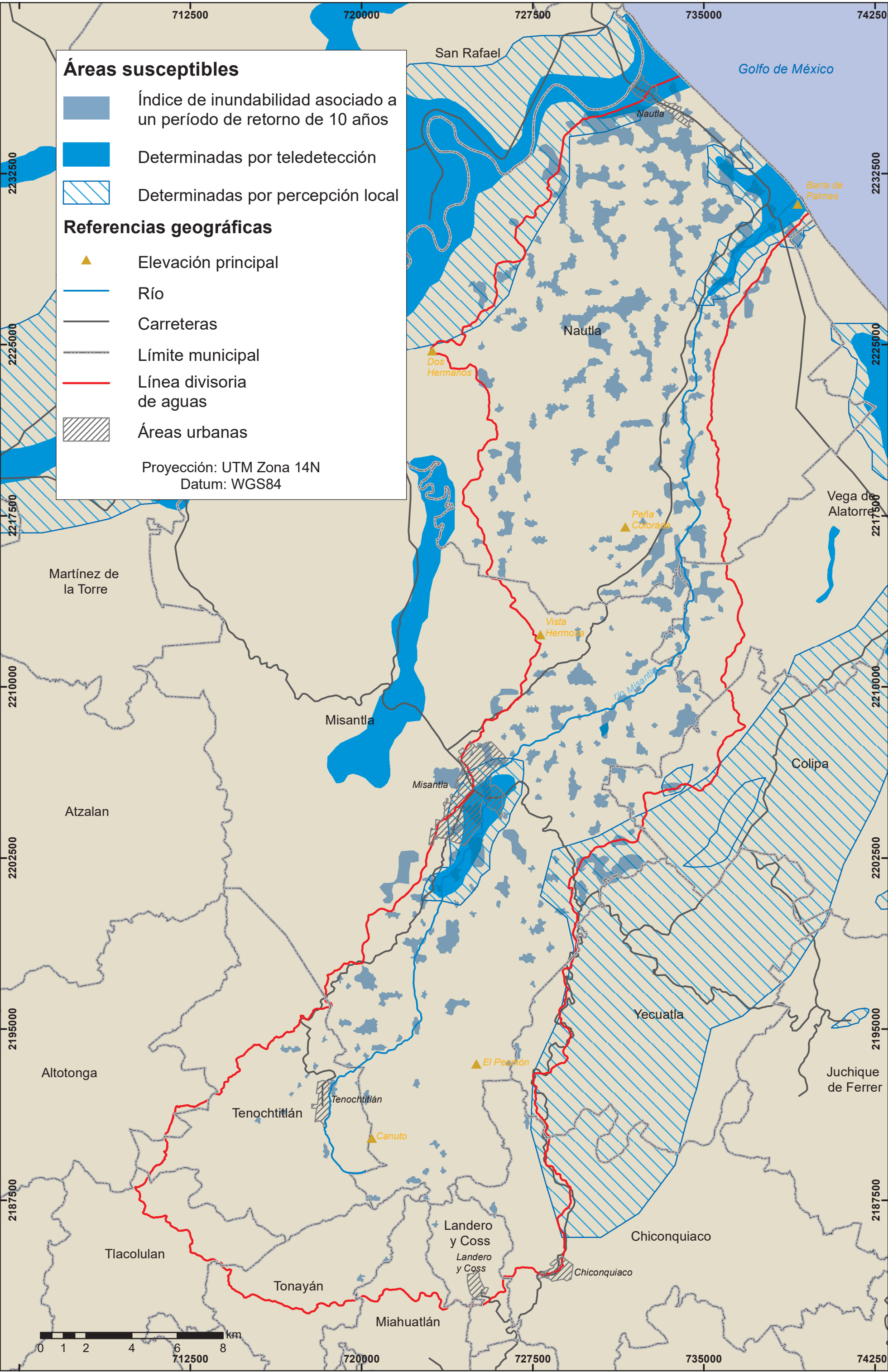
a) Susceptibilidad de inundación de acuerdo con fuentes oficiales

Se obtuvieron los insumos disponibles en el Atlas Nacional de Riesgos y el Atlas Estatal de Riesgos de Veracruz de CENAPRED (2019 y 2023), se le dio prioridad a los siguientes:

- Índice de inundabilidad para un periodo de retorno de 10 años; éste se encontraba en archivo raster por lo que se hizo su conversión a un archivo vectorial con una geometría poligonal.
- Zonas susceptibles de inundación en el estado de Veracruz; en los atributos de ésta se identificó una clasificación de los métodos de delimitación de dichas áreas (por percepción remota y por percepción local); esta distinción fue expresada en el mapa.

A continuación, la figura 3.5 expone la manifestación del fenómeno de las inundaciones de acuerdo con la información puesta a disposición de las fuentes oficiales.

Figura 3.5. Susceptibilidad de inundación de acuerdo con fuentes oficiales



Fuente: elaborado con base en CENAPRED (2019 y 2023); INEGI (2000a, 2010a, 2019 y 2020b).

b) Modelación unidimensional asociada a un período de retorno de 20 años

Para la construcción de este mapa requirió el seguimiento parcial de las metodologías para zonas urbanas y rurales de CENAPRED.

A continuación, el cuadro 3.2 y 3.3 muestran los datos requeridos para la aplicación de las metodologías de CENAPRED; asimismo, se incluye información de fuentes alternativas y se establece cuál fue el valor empleado en los procedimientos subsecuentes.

Cuadro 3.2. Parámetros fisiográficos requeridos la metodología de zonas urbanas

Parámetro	Centro de Información del Agua (2022)	SIATL de INEGI (2022c)	Vectorial INEGI (2015) en Melchor & Roman (2016)	Vectorial INEGI (2010a) elaboración propia	Valor establecido
Área	588.12 km ²	585.58 km ²	585.58 km ²	585.86 km ²	585.86 km ²
Perímetro	-	169.91 km	-	170.58 km	170.58 km
Longitud (cauce)	-	71 636 m	71 636 m	Cauce principal: 71 636 m	71 636 m
Pendiente (cauce)	-	3.5247 % 2.0187°	Pendiente de la cuenca → 30.83 % 17.1345°	Cauce principal: 3.5247% 2.0187°	3.5247 %

Fuente: elaborado sobre la base de las fuentes referenciadas.

Cuadro 3.3. Parámetros fisiográficos requeridos la metodología de zonas rurales

Parámetro	Obtención previa	Técnica propuesta de la metodología	Observaciones	Valor establecido
Delimitación de la cuenca	Red hidrográfica de INEGI, 2010a	Cualitativo-manual	Delimitación (INEGI, 2010a) y ajuste con el Marco Geoestadístico	-

			(INEGI, 2020)	
Área de la cuenca	Red hidrográfica de INEGI, 2010a	Método gráfico, analítico o apoyo de software	Con base en la delimitación y sus modificaciones	585.86 km ²
Orden de la red de drenaje	Red hidrográfica de INEGI, 2010a	Cualitativo, criterio de Horton Strahler	Clasificación ya establecida (INEGI, 2010a)	Orden 6
Pendiente de la cuenca	DEM, INEGI (2022a)	Método gráfico manual - Criterio de Nash	Generación de pendientes a partir de DEM.	28.01% 15.65°
Longitud del cauce principal	SIATL de INEGI (2022c)	Método gráfico - manual	Obtenido de SIATL de INEGI (2022c)	71 636 m
Pendiente del cauce principal	SIATL de INEGI (2022c)	Criterio de Taylor y Schwarz	Retomado de SIATL de INEGI (2022c) a partir de la expresión: <i>pendiente % = (altura máxima / longitud)*100</i>	3.5247 % 2.0187°
Tipo de suelo	Caracterización capítulo 2	Método en campo	INAFAP (1995)	-
Cubierta vegetal*	Caracterización capítulo 2	Método en campo	INEGI (2018)	-

Fuente: elaborado sobre la base de las fuentes referenciadas.

Después, en el seguimiento de la aplicación parcial de las metodologías para zonas urbanas y rurales de CENAPRED, fue necesario el cálculo de tiempo de concentración y con base en éste la estimación de la intensidad de precipitación en relación con los diferentes periodos de retorno.

Las fórmulas empleadas fueron las siguientes:

- Fórmula de Kirpich (en Aparicio, 1989) $\rightarrow T_c = 0.000325 * \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$

Donde L es la longitud del cauce principal en metros y S corresponde a la pendiente del cauce principal en porcentaje.

$$T_c = 0.000325 * \frac{(71\,636)^{0.77}}{(3.5247)^{0.385}} = 0.000325 * \frac{(5\,475.84)}{(1.62)} = 0.000325 * 3\,380.15 = \underline{\underline{1.1 \text{ horas}}}$$

- Estimación SIATL de INEGI, fundamento teórico en Kirpich (Martínez, 2008 en Carrasco, s/f)
 $\rightarrow T_c = 0.00663 * \left[\frac{L}{\sqrt{\frac{H}{L}}} \right]^{0.77}$

Donde L es la longitud del cauce principal en kilómetros y H se refiere a la altura máxima de la cuenca.

$$T_c = 0.0663 * \left[\frac{71.636}{\frac{2.682}{\sqrt{71.636}}} \right]^{0.77} = 0.0663 * \left[\frac{71.636}{\sqrt{0.037}} \right]^{0.77} =$$

$$0.0663 * \left[\frac{71.636}{0.19} \right]^{0.77} = 0.0663 * [377.03]^{0.77} = 0.0663 * 96.34 = \underline{\underline{6.39 \text{ horas}}}$$

Es importante señalar que se realizó el cálculo de una tercera fórmula, $T_c = \frac{L}{3\,600\,V}$ (Aparicio, 1989), la cual considera la longitud del cauce y velocidades estimadas en relación con la pendiente del cauce principal, ésta dio como resultado: 22.11 horas; por lo anterior, es evidente la existencia de incertidumbre en este parámetro. Se optó por tomar el valor generado por INEGI (2022c), es decir, 6.39 horas, para los pasos posteriores.

En seguida, se obtuvieron los mapas de isoyetas de precipitación para 1 y 24 horas para diferentes periodos de retorno; se estableció la media de los valores presentes en el área de estudio para luego éstos asociarlos al tiempo de concentración por medio de la expresión $h_{ptc} = \frac{hp_{24} - hp_1}{3.1781} (\ln(tc)) + hp_1$. Los resultados de esto son expuestos a continuación en el cuadro 3.4.

Cuadro 3.4. Isoyetas asociadas al periodo de retorno y tiempo de concentración

Periodo de retorno	hp1 (d= 1 hr)	hp24 (d= 24 hr)	hptc (d=6.39)
10	70.07	180.71	134.64
20	88.06	226.85	169.06
50	107.1	274.35	204.71

100	119.17	301.18	225.39
200	127.63	326.32	243.59

Fuente: elaborado sobre la base de CENAPRED (2018a y 2018b).

Luego, la intensidad de la precipitación se calculó con $i = \frac{hptc}{d}$, los resultados se encuentran incorporados en el cuadro 3.5.

Cuadro 3.5. Intensidad de la precipitación asociada a diferentes periodos de retorno

Periodo de retorno	Tc 6.39
10	21.07
20	26.46
50	32.04
100	35.27
200	38.12

Fuente: elaborado sobre la base de CENAPRED (2018a y 2018b).

Se procedió a la obtención del gasto; sin embargo, en esta parte, como se indicó en la síntesis de metodologías, se recurrió al complemento de la fórmula racional con la metodología de regionalización de gastos máximos de CENAPRED.

La fórmula racional se expresa: $Q_p = 0.278 * C * i * A$

Donde C refiere al coeficiente de escurrimiento, i es la intensidad media de precipitación y A el área de la cuenca.

A continuación, el cuadro 3.6 contiene la estimación de los caudales para diferentes periodos de retorno y de acuerdo con diferentes porcentajes del coeficiente de escurrimiento.

Cuadro 3.6. Caudal estimado con la fórmula racional

Periodo de retorno	Tc 6.39 hrs									
	Coeficiente de escurrimiento %									
	7	15	25	35	45	55	65	75	85	95
10	240.22	514.75	857.91	1 201.08	1 544.24	1 887.41	2 230.57	2 573.74	2 916.9	3 260.07
20	301.67	646.43	1 077.38	1 508.33	1 939.28	2 370.23	2 801.19	3 232.14	3 663.09	4 094.04
50	365.28	782.75	1 304.58	1 826.41	2 348.25	2 870.08	3 391.91	3 913.74	4 435.58	4 957.41
100	402.11	861.66	1 436.1	2 010.54	2 584.98	3 159.42	3 733.86	4 308.29	4 882.73	5 457.17
200	434.6	931.29	1 552.14	2 173	2 793.86	3 414.71	4 035.57	4 656.43	5 277.28	5 898.14

Fuente: elaborado sobre la base de CENAPRED (2018a y 2018b); INEGI (1984).

Posteriormente, se ejecutó la metodología para la regionalización de gastos máximos de CENAPRED, para la cual se debe realizar el cálculo de factores de diseño regionales, éstos dependen del área homogénea de lluvia y el periodo de interés; en el caso de la cuenca del río Misantla, corresponde la región de lluvia R4; asimismo, se localiza entre los sistemas Libertad y Vega de Alatorre (con claves 27005 y 27007, respectivamente), las cuales han sido asignadas al subgrupo 2 y cuya ecuación con mayor coeficiente de determinación es:

$$MQ_{mi} = 1.07744 * A^{0.8856} * hp^{0.74459} * S^{-1.53999}$$

Donde A es área drenada en km²; hp se refiere a la precipitación media de la cuenca (relación con factores regionales) en mm; y S al espesor del suelo en cm. El cuadro 3.7 expone los resultados obtenidos, donde es importante señalar que el espesor del suelo fue sustituido por la media de los rangos del contenido de arcilla y su presencia de acuerdo con la profundidad (CONABIO, 2020).

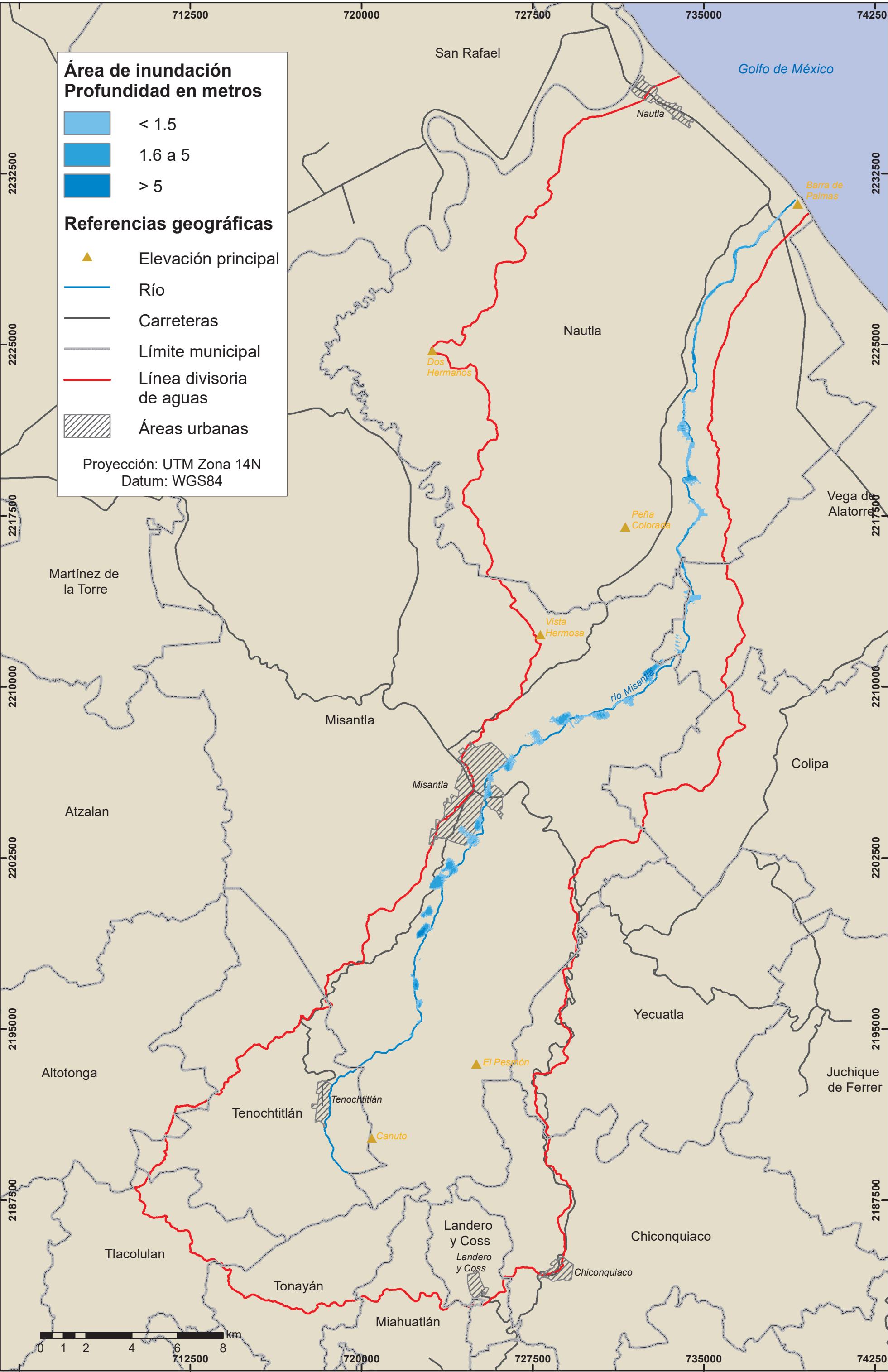
Cuadro 3.7. Caudal estimado con ecuación potencial

Tc 6.39 horas				Caudal m ³ /s				
Factores regionales				Contenido de arcilla (cm)				
Tr	Hptc	FR	Hp	10	22.5	45	75	145
10	134.64	1.54	207.35	466.18	133.72	45.98	20.94	7.59
20	169.06	1.91	322.9	648.32	185.96	63.95	29.12	10.55
50	204.71	2.33	476.97	866.84	248.65	85.51	38.94	14.11
100	225.39	2.59	583.76	1 007.56	289.01	99.39	45.26	16.4
200	243.59	2.84	691.8	1 143.36	327.96	112.78	51.36	18.61

Fuente: elaborado sobre la base de CENAPRED (2018c) y CONABIO (2020a, 2020b, 2020c, 2020d y 2020e).

Finalmente, para su modelación unidimensional, se realizó el trazo manual del río y sus respectivas márgenes, al igual que las direcciones de flujo; lo anterior con apoyo del DEM (INEGI, 2022a) e imágenes de Google Satellite disponibles en el modelo de HEC-RAS. Después, se generaron las secciones transversales con un intervalo de 800 metros y un largo de 1 200 m. Los datos que se ingresaron, con respecto al coeficiente de rugosidad de Manning fue el estimado para las corrientes naturales, asignando al río 0.040 y para sus márgenes 0.027; asimismo, el valor del caudal utilizado es 63.95 m³/s, que refiere a un periodo de retorno de 20 años y la mediana de los rangos de contenidos de arcilla (45 cm). A continuación, la figura 3.6 expresa los resultados obtenidos, los cuales atañen a extensiones de inundación y un estimado de profundidad.

Figura 3.6. Modelación unidimensional asociada a un periodo de retorno de 20 años



Fuente: elaborado con base en CENAPRED (2018a y 2018b); INEGI (2000a, 2010a, 2019, 2020b y 2022a).

c) Susceptibilidad de inundación

Para el desarrollo del análisis geográfico se sopesó qué variables geográficas pudieran ser incluidas, con base en Vergara, *et al.* (2011), para que éstas que en su conjunto favorezcan la ocurrencia del fenómeno de inundación.

Se realizó una selección parcial de parámetros y variables para la determinación de diferentes niveles de susceptibilidad. El cuadro 3.8 señala las variables y los valores asignados.

Cuadro 3.8. Clasificación y asignación de valores para la susceptibilidad

Variable	Clasificación	Valor asignado	Fuente
Relieve (sistema de topoforma)	Sierra Volcánica de laderas escarpada	0	INEGI. (2001b). Conjunto de datos vectoriales Fisiográfico. Continuo Nacional serie I. Sistemas topoformas. Escala 1: 1 000 000.
	Lomerío de basalto	1	
	Lomerío con llanura	2	
Suelo (textura)	Gruesa	0	INIFAP & CONABIO (1995). Edafología. Escala 1:250 000 y 1:1 000 000.
	Media	1	
	Fina	2	
Pendiente (°)	>5°	0	INEGI. (2022a). Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM). Descarga por área definida en resolución 30 m.
	2 a 5°	1	
	0 a 2°	2	

Fuente: elaborado sobre la base de Vergara, *et al.* (2011) con la información de las fuentes referenciadas.

Después se utilizó la herramienta del álgebra de mapas; en este caso se ejecutó una adición, obteniendo de esta manera diferentes resultados, los cuales atañen a diferentes condiciones, en seguida, en el cuadro 3.9, se abordan las particularidades y especificaciones.

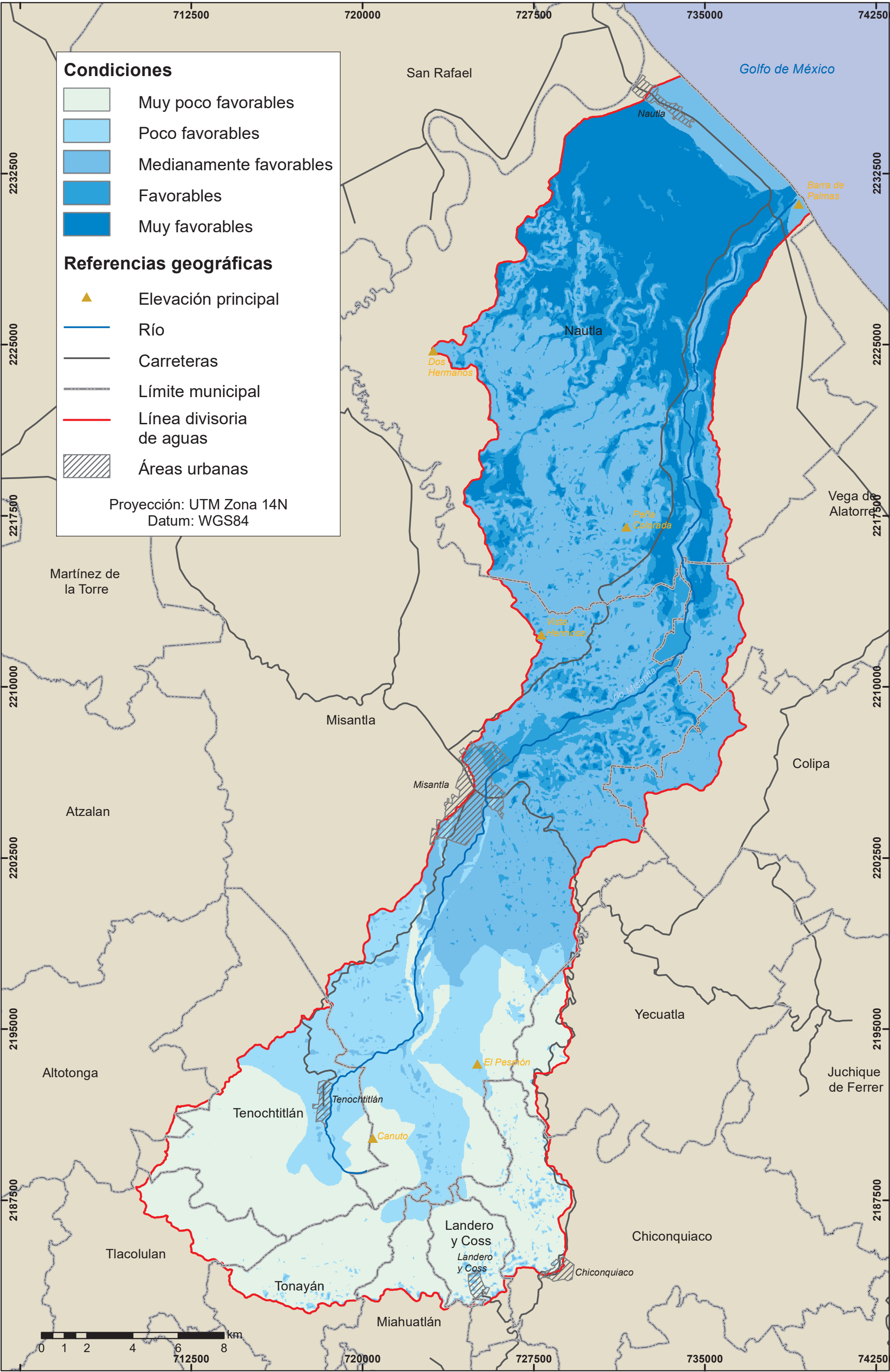
Cuadro 3.9. Condiciones de susceptibilidad

Nivel de susceptibilidad	Resultados	Condiciones
Muy bajo	1	Al menos una condición de susceptibilidad con valor de 1.
Bajo	2	Al menos una condición de susceptibilidad con valor de 2; combinación de dos condiciones de susceptibilidad con valor de 1.
Medio	3 a 4	Combinación de condiciones de susceptibilidad cuyos valores sumen 3 o 4.
Alto	5	Combinación de condiciones de susceptibilidad cuyos valores sumen 5.
Muy alto	6	Combinación de las condiciones de susceptibilidad con mayor valor, las cuales sumen 6.

Fuente: elaboración propia.

Por lo expresado en el cuadro anterior, los espacios que sobresalen por su mayor susceptibilidad, son aquellos que reciben una catalogación de lomerío con llanura, pendientes de 0 a 2° y que sus suelos son de textura fina. En seguida, la figura 3.7 muestra la distribución de las diferentes condiciones resultantes en el área de estudio.

Figura 3.7. Susceptibilidad de inundación en la cuenca del río Misantla, Veracruz



Fuente: elaborado sobre la base de INEGI (2000a, 2001b, 2010a, 2019, 2020b y 2022a); INIFAP & CONABIO (1995).

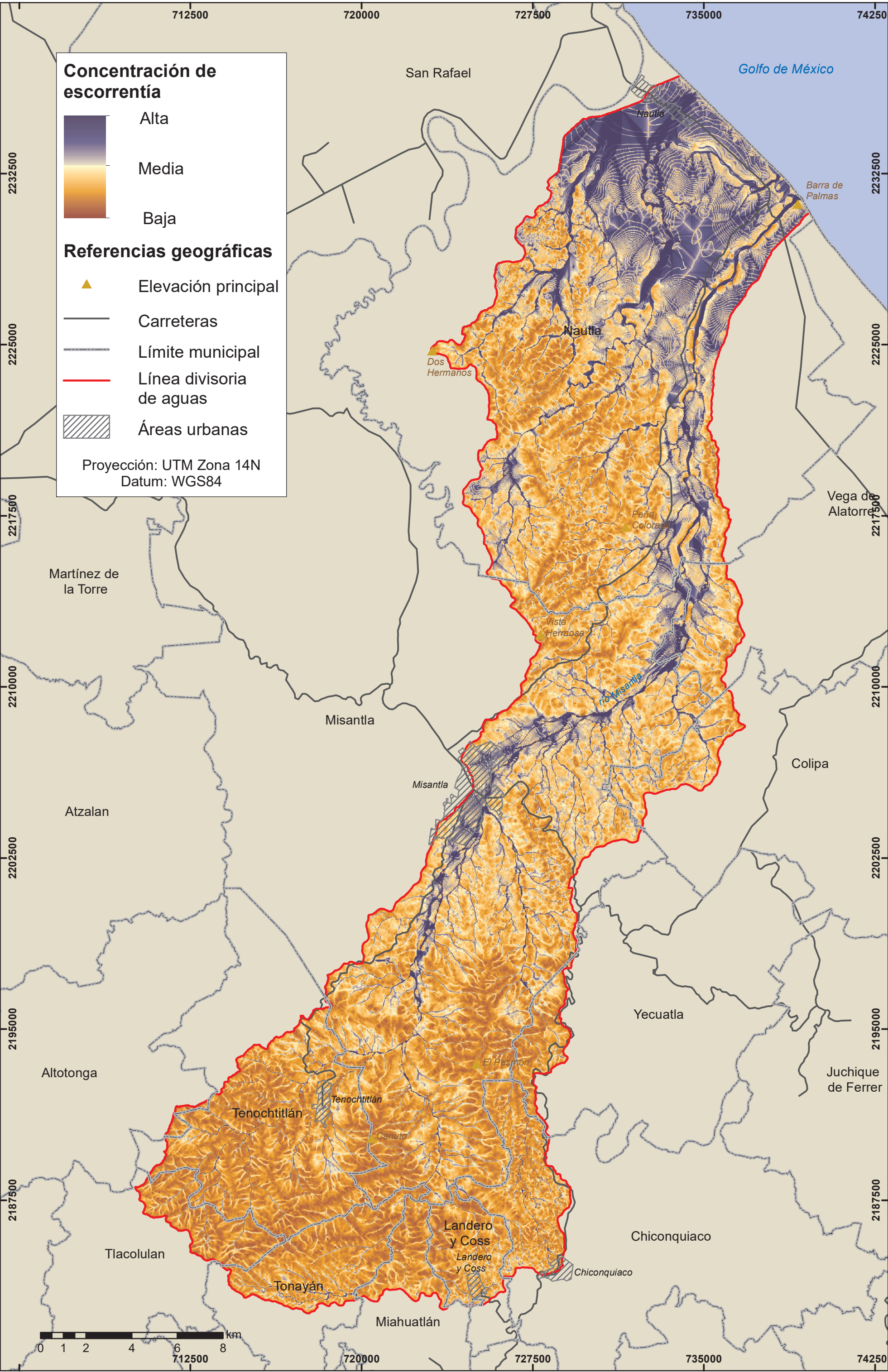
d) Concentración de escorrentía

Para la construcción de este producto cartográfico se empleó el programa SAGA; se partió del DEM (INEGI, 2022a), del cual como primer paso se obtuvo el rellenado de depresiones a través de la herramienta “Fill Sinks (Wang & Liu)”; con el resultado se procede a generar las direcciones de flujo, éste se produce con apoyo del apartado “Flow Accumulation (Top-Down)”. Después con los dos archivos anteriores se calculó el área de captación específica, cuya sección es “Flow Width and Specific Catchment Area” y se eligió el método “Multiple Flow Direction (Quinn, *et al.*, 1991)”.

Posteriormente, regresando al insumo del DEM (INEGI, 2022a), fue necesario hacer el cálculo de la pendiente en radianes, esto por medio de la opción “Slope, Aspect, Curvature” y asignando el método “least squares fitted plane (Horn 1981, Costa -Cabral & Burgess, 1996)”; por último, se ejecutó el algoritmo “Topographic Wetness Index”.

La figura 3.8 expone los resultados del índice topográfico de humedad, denotando que entre mayor sea este, entonces los espacios tendrán una saturación y alta concentración de escorrentía y, por lo tanto, actuarán como las rutas iniciales a procesos de inundación (Roa & Kamp, 2012).

Figura 3.8. Índice Topográfico de Humedad (TWI) en la cuenca del río Misantla, Veracruz



Fuente: elaborado con base en INEGI (2000a, 2010a, 2019, 2020b y 2022a).

e) Peligro por inundación

Para la expresión final del peligro se retomaron los mapas de susceptibilidad y el del TWI (figura 3.7 y 3.8, respectivamente); del primero se consideraron sus cinco categorías de susceptibilidad con sus valores mostrados en el cuadro 3.9, mientras que en el caso del segundo, éste se segmentó en cinco, pero solo fueron consideradas las dos de mayor valor, adjudicando a éstas un nuevo valor que permita homologar la información de ambas expresiones.

Se ejecutó la adición con apoyo de álgebra de mapas, resultando en las condiciones de peligrosidad que se muestran en el cuadro 3.10; no obstante, eventualmente se realizó una reclasificación para su próxima homologación con la vulnerabilidad.

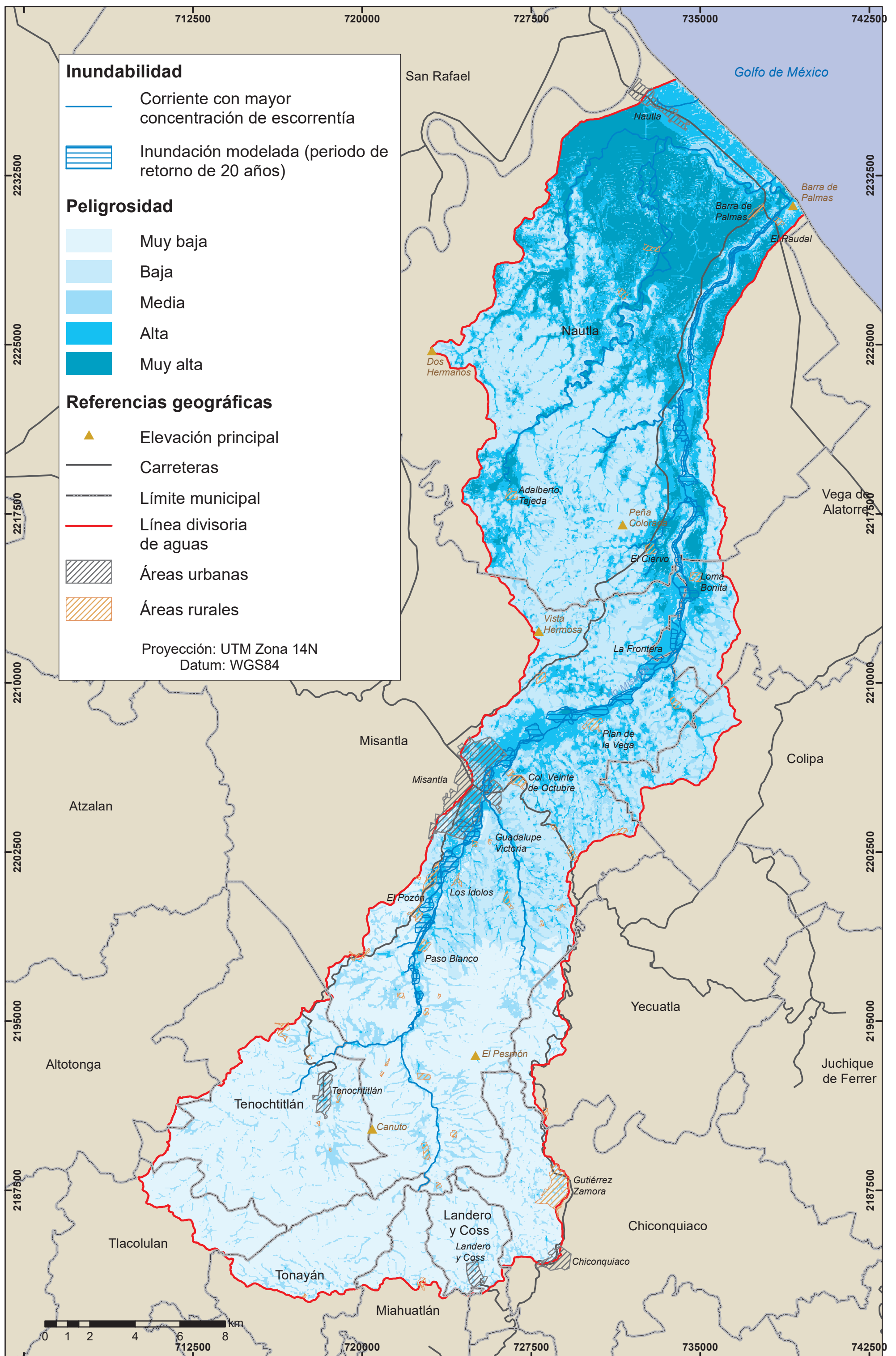
Cuadro 3.10. Niveles de peligrosidad

Nivel	Resultado de la adición	Reclasificación
Muy bajo	1-2	5
Bajo	3-4	4
Medio	5-6	3
Alto	7-8	2
Muy alto	9-10	1

Fuente: elaboración propia.

A continuación, la figura 3.9 devela la expresión del peligro por inundación en la cuenca del río Misantla.

Figura 3.9. Peligro por inundación en la cuenca del río Misantla, Veracruz



Fuente: elaborado con base en CENAPRED (2018a, 2018b); INEGI (2000a, 2001b 2010a, 2019, 2020b y 2022a); INIFAP & CONABIO (1995).

f) Simbolismo asociado a la expresión de la peligrosidad

Usualmente las implantaciones cartográficas empleadas para la representación de la peligrosidad, corresponden al tipo areal y lineal, destacando también el uso de los métodos de áreas e isolíneas. Asimismo, otra particularidad atañe al empleo de colores, algunos autores e instituciones sugieren una gama de colores cálidos (amarillo, naranja y rojo), los cuales usualmente se emplean para “enfaticar determinado contenido que se quiere transmitir en forma priorizada” (Errázuriz, *et al.*, 1998; en Propin, 2003:103).

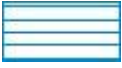
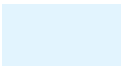
Pese a lo anterior, debido a la naturaleza de los elementos que se suelen representar, es decir, asociados al recurso hídrico, algunos autores (Eslava, *et al.*, 2004; Salas, 2011; Rodríguez, 2018) dan preferencia a los colores fríos, primando el azul, y el aumento del tono para indicar una mayor intensidad del fenómeno.

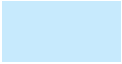
En el caso de los mapas para la caracterización de la peligrosidad en la cuenca del río Misantla, debido al contenido investigativo, predomina el uso de los colores fríos, cuya transición de tonos de más claros a oscuros, denotan jerarquía como en la figura 3.7 y 3.9. No obstante, también se dispuso de una transición de cálidos a fríos, con el fin de distinguir los valores del TWI en la figura 3.9, vinculando los fríos a situaciones de peligro de inundación.

Del mismo modo, en la expresión final del peligro, los elementos adicionales de inundabilidad, corresponden a la selección de la red hidrográfica emplazada en los valores más altos del TWI; y la inundación modelada para 20 años de periodo de retorno. La simbolización de ambos atañe a la naturaleza del fenómeno que representan y, por lo tanto, también se emplean colores fríos, no obstante, se procura su discernimiento con su fondo, pues en el caso de la corriente se le asigna un tono diferente, mientras que para las áreas de inundación se recurre a un entramado de líneas horizontales que no oculta su fondo.

A continuación, el cuadro 3.11 incluye el simbolismo utilizado en el mapa temático de la peligrosidad.

Cuadro 3.11. Simbolismo asociado a la expresión de la peligrosidad

Elemento		Abstracción simbólica
Corriente con mayor concentración de escorrentía		
Inundación modelada (periodo de retorno de 20 años)		
Niveles de peligrosidad	Muy baja	

	Baja	
	Media	
	Alta	
	Muy alta	

Fuente: elaboración propia.

3.4.2 Vulnerabilidad

a) Antecedentes e información de fuentes oficiales

De manera similar a la determinación de la peligrosidad, se realizó una inspección sobre algunos índices que involucran la caracterización socioeconómica de la población, para obtener un panorama general sobre la situación; si bien estos datos no son integrados en los siguientes procedimientos y los mapas temáticos, sí son tomados en cuenta durante el ejercicio de análisis e interpretación de las localidades más vulnerables dentro de su contexto municipal.

A continuación, el cuadro 3.12 incluye los valores referentes al IDH, asimismo, éste viene desglosado en los índices de educación, ingreso y salud. Destaca el municipio de Chiconquiaco por ser el único que se halla catalogado con un índice bajo; en el rubro de la educación son los municipios de la parte alta de la cuenca, Chiconquiaco, Tonayán, Tlacolulan, Tenochtitlán, Miahuatlán y Colipa, aquellos que presentan los valores más bajos; en alusión al índice de ingreso los que sobresalen por las menores estimaciones son Chiconquiaco, Landero y Coss, Tenochtitlán y Tonayán; por último, en referencia al tema que atañe a la salud son Altotonga y Chiconquiaco los que cuentan con evaluaciones inferiores al resto de los municipios.

Cuadro 3.12. Índice de Desarrollo Humano por municipio

Municipio	IDH	Índice Educación	Índice Ingreso	Índice Salud	Categoría
Altotonga	0.586	0.463	0.649	0.668	Medio
Chiconquiaco	0.542	0.396	0.583	0.689	Bajo
Colipa	0.609	0.477	0.640	0.742	Medio
Landero y Coss	0.616	0.498	0.571	0.825	Medio
Miahuatlán	0.616	0.454	0.624	0.825	Medio
Misantla	0.699	0.556	0.667	0.923	Medio
Nautla	0.658	0.525	0.666	0.813	Medio

Tenochtitlán	0.583	0.458	0.572	0.757	Medio
Tlacolulan	0.595	0.440	0.605	0.791	Medio
Tonayán	0.577	0.418	0.570	0.808	Medio
Vega de Alatorre	0.694	0.539	0.714	0.871	Medio
Yecuatla	0.612	0.471	0.632	0.768	Medio

Fuente: elaborado sobre la base de PNUD (2020).

En alusión al índice de marginación, los valores normalizados de éste se presentan en el cuadro 3.13; es relevante mencionar que Misantla y Vega de Alatorre son los municipios que destacan por tener las posiciones de marginación más bajas, en contraste, Chiconquiaco, Colipa, Tenochtitlán, Tlacolulan y Tonayán, tienen las asignaciones de marginación más altas.

Cuadro 3.13. Índice de marginación por municipio

Municipio	Índice de Marginación	Nivel
Altotonga	0.8300	Medio
Chiconquiaco	0.7987	Alto
Colipa	0.8057	Alto
Landero y Coss	0.8542	Medio
Miahuatlán	0.8429	Medio
Misantla	0.8682	Bajo
Nautla	0.8501	Medio
Tenochtitlán	0.8148	Alto
Tlacolulan	0.8159	Alto
Tonayán	0.8204	Alto

Vega de Alatorre	0.8748	Bajo
Yecuatla	0.8258	Medio

Fuente: elaborado sobre la base de CONAPO (2021b).

Por último, en lo que atañe a la vulnerabilidad de inundación, el cuadro 3.14 muestra que predominan los niveles alto y medio de aquellos municipios que comprende la cuenca; destacando por una mayor vulnerabilidad los municipios de Altotonga, Chiconquiaco, Colipa, Misantla, Tenochtitlán y Yecuatla.

Cuadro 3.14. Nivel de vulnerabilidad por municipio

Municipio	Vulnerabilidad
Altotonga	Alta
Chiconquiaco	Alta
Colipa	Alta
Landero y Coss	Media
Miahuatlán	Media
Misantla	Alta
Nautla	Media
Tenochtitlán	Alta
Tlacolulan	Media
Tonayán	Media
Vega de Alatorre	Media
Yecuatla	Alta

Elaborado sobre la base de CENAPRED (2017).

b) Vulnerabilidad social

La elaboración de este producto requirió el seguimiento de la metodología del valor índice medio (García, 1989); a continuación se enlistan las variables empleadas:

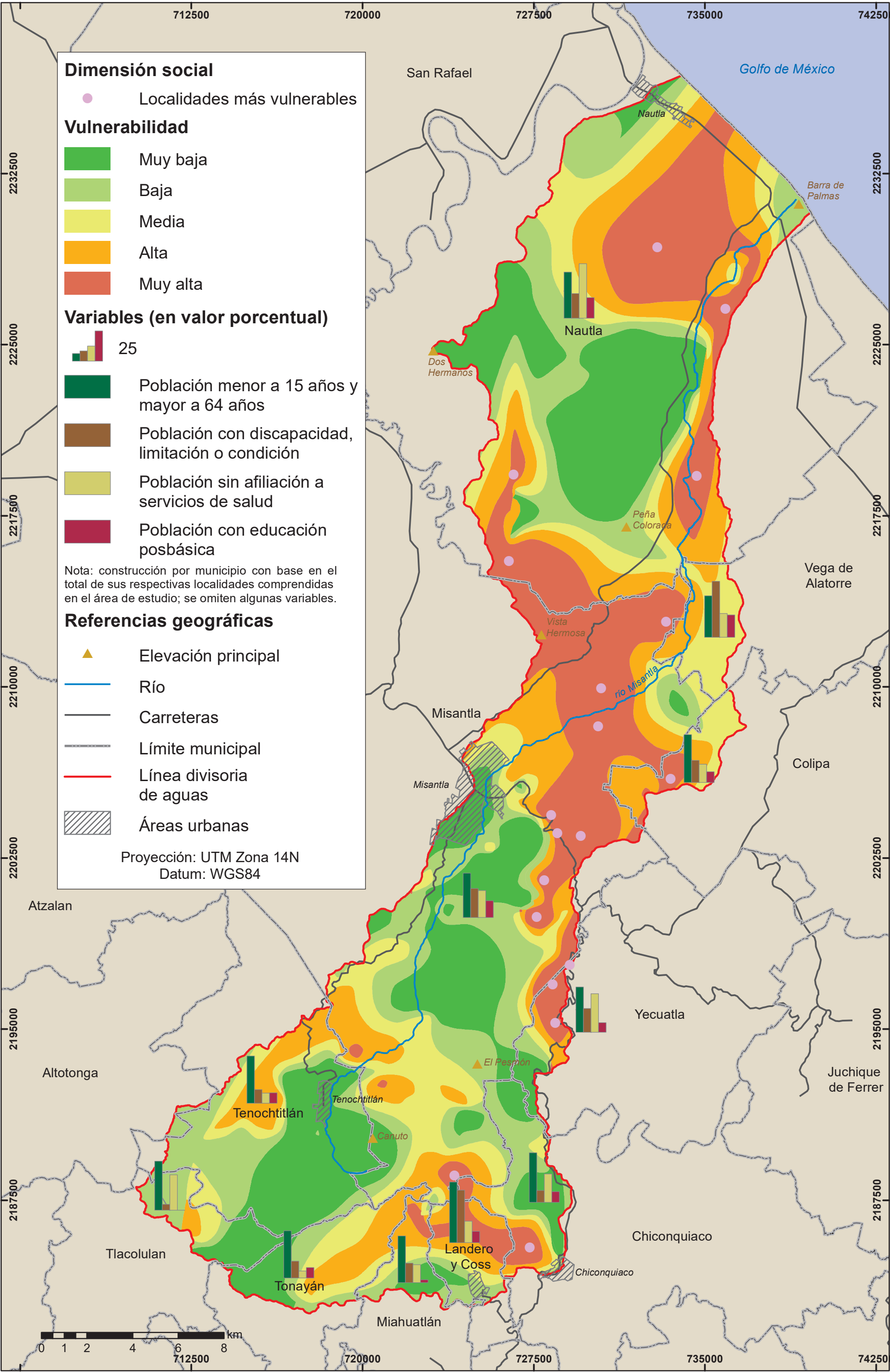
- Población de 15 a 64 años
- Población de 5 años y más que habla alguna lengua indígena y español
- Población sin discapacidad, limitación, problema o condición mental
- Población de 18 años y más con educación posbásica
- Población afiliada a servicios de salud

Esta selección se realizó con el fin de dar cobertura a algunas características de la población e indicios de calidad de vida. Para su tratamiento fue necesario la obtención del porcentaje por localidad con respecto al total de su población, no obstante, es importante señalar que fueron omitidas 57 localidades debido a la falta de información.

Después de obtenidos los porcentajes, se obtuvo la media y su desviación estándar; luego se ejecutó la resta del porcentaje de cada localidad con respecto al promedio y este resultado dividido entre la desviación estándar. Se procedió a establecer el conjunto de condiciones para la asignación de los valores del índice medio, si el valor obtenido es >1 entonces se asigna 5; si es > 0.5 entonces le corresponde 4; si es > 0 entonces se fijará 3; si es > -0.5 entonces tendrá un valor de 2; y si es <-0.5 entonces se le adjudicará 1.

Luego de realizar las asignaciones, entonces se generó la media de éstas para cada localidad. Posteriormente, se ingresaron los datos en un SIG generando una interpolación por el método de Vecino Natural (Natural Neighbour, en inglés) y su clasificación en cinco categorías por el método de cuantiles, después se hizo una reclasificación para su representación y tratamiento con las otras dimensiones. A continuación, la figura 3.10 muestra la expresión de la vulnerabilidad social.

Figura 3.10. Vulnerabilidad social en la cuenca del río Misantla, Veracruz



Fuente: elaborado con base en INEGI (2000a, 2010a, 2019, 2020b y 2020c).

c) Vulnerabilidad económica

La realización de este mapa, de igual manera que en la dimensión social, implicó el seguimiento de la metodología del valor índice medio (García, 1989); las variables elegidas para su tratamiento corresponden con:

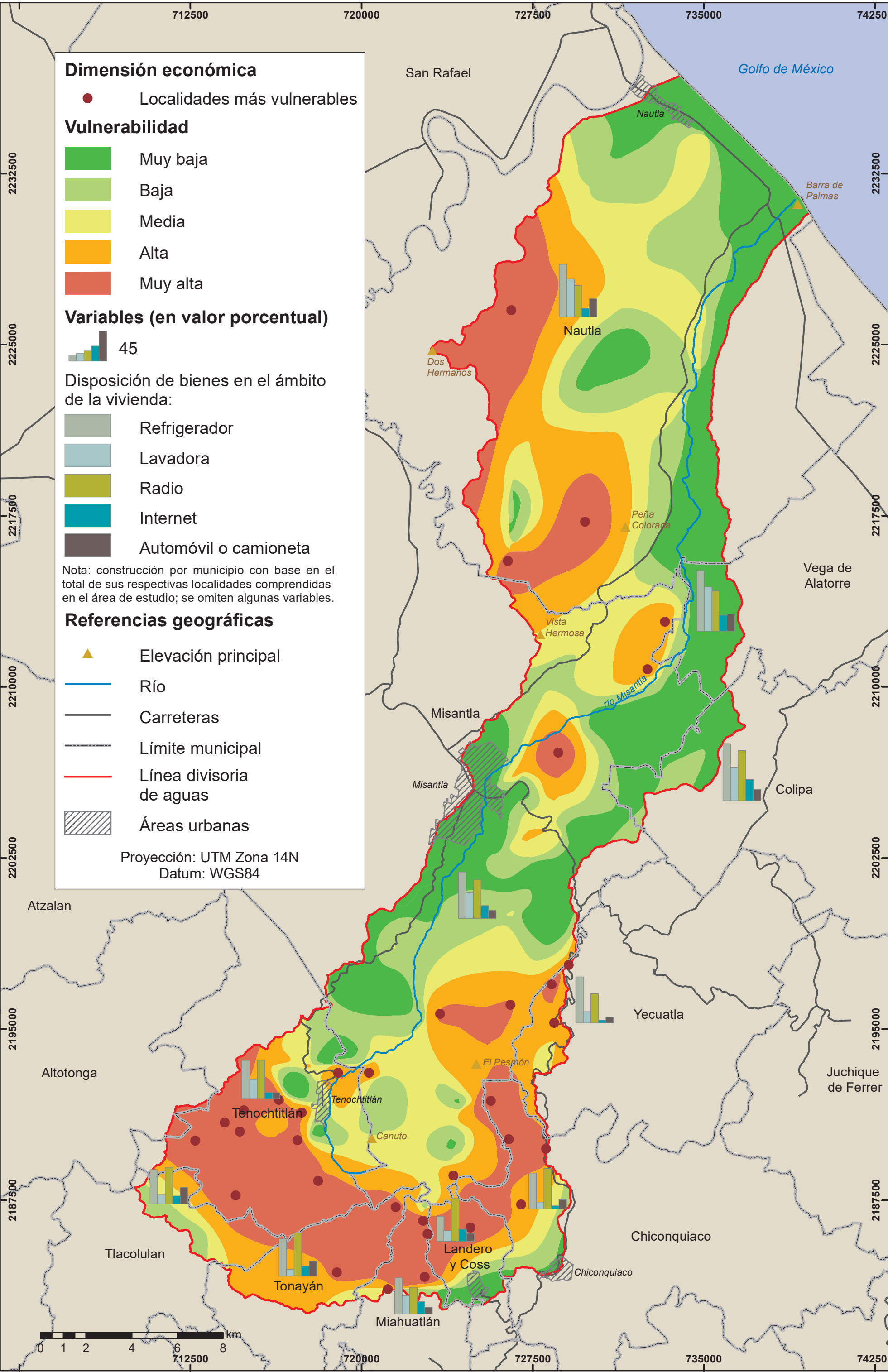
- Población de 12 años y más económicamente activa
- Población de 12 años y más ocupada
- Viviendas particulares que disponen de refrigerador
- Viviendas particulares que disponen de lavadora
- Viviendas particulares que disponen de horno de microondas
- Viviendas particulares que disponen de televisión
- Viviendas particulares que disponen de radio
- Viviendas particulares que disponen de computadora, laptop o tableta
- Viviendas particulares que disponen de internet
- Viviendas particulares que disponen de automóvil o camioneta

Esta compilación se fundamenta en la evaluación de la población que se ve participe de las actividades de la localidad; asimismo, se obtiene un panorama general de los principales bienes con los que se dispone en el ámbito de la vivienda. Su tratamiento implicó la obtención del porcentaje por localidad con respecto al total de su población o de viviendas particulares según corresponda; también fueron omitidas 57 localidades debido a la falta de información que permitiera caracterizarlas.

Eventualmente tras obtenidos los porcentajes, se estimó la media y su desviación estándar; en seguida se realizó la resta del valor de cada localidad en relación con el promedio, este resultado se dividió entre la desviación estándar. Se estableció el mismo conjunto de condiciones que con la dimensión previa: si el valor obtenido es >1 entonces se asigna 5; si es > 0.5 entonces le corresponde 4; si es > 0 entonces se fijará 3; si es > -0.5 entonces tendrá un valor de 2; y si es <-0.5 entonces se le adjudicará 1.

Con las asignaciones establecidas entonces se estimó la media de éstas para cada localidad, después en su ingreso en un SIG, se realizó la interpolación por el método Vecino Natural y su clasificación en cinco categorías por el método de cuantiles seguido de una reclasificación para su homologación con las otras dimensiones; la figura 3.11 expone la vulnerabilidad económica.

Figura 3.11. Vulnerabilidad económica en la cuenca del río Misantla, Veracruz



Fuente: elaborado con base en INEGI (2000a, 2010a, 2019, 2020b y 2020c).

d) Vulnerabilidad física

La determinación de la vulnerabilidad física, como en las dimensiones anteriores, se recurrió a la metodología del valor índice medio de García de León (1989); a continuación, se añaden las variables que fueron utilizadas:

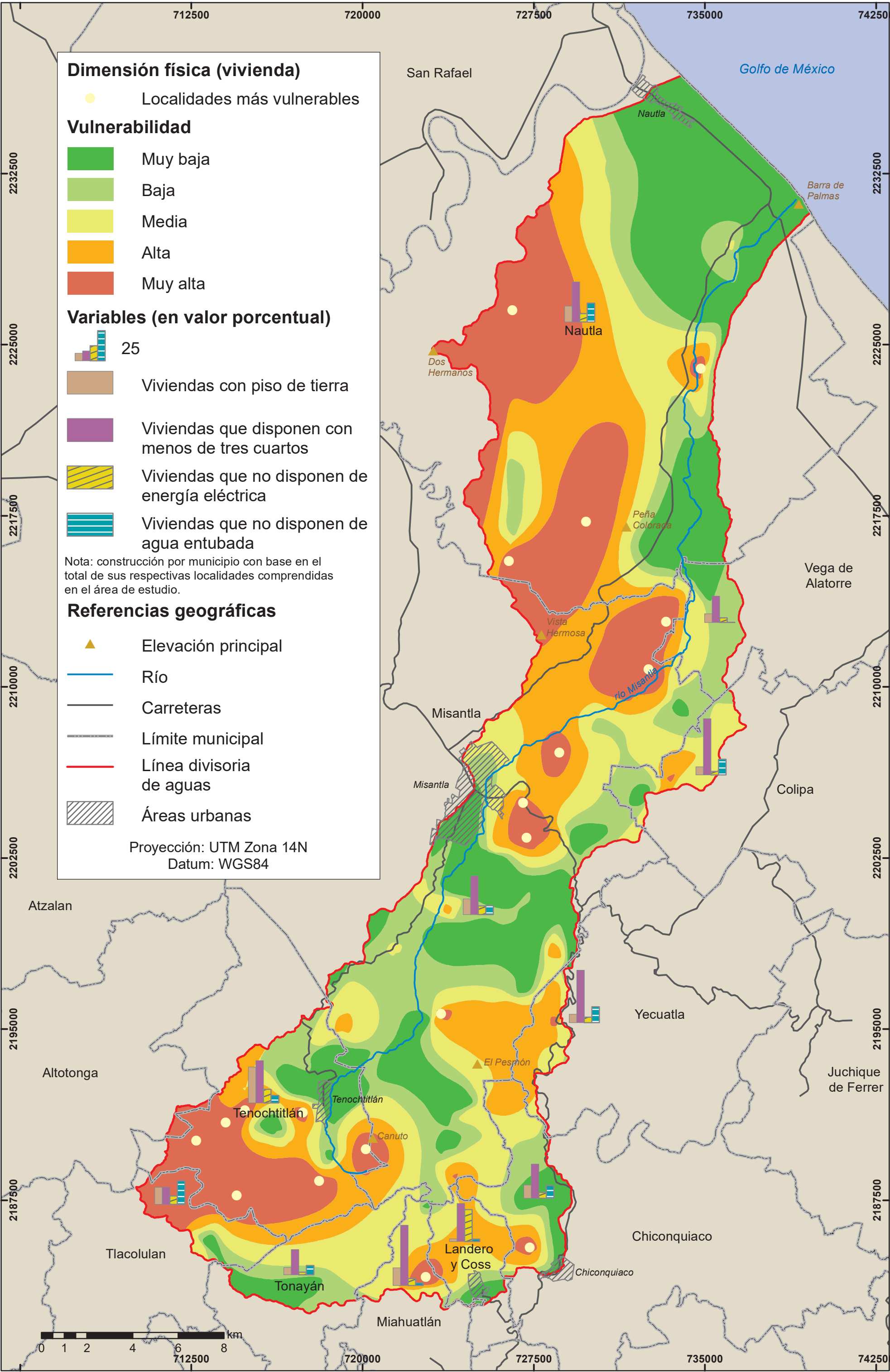
- Viviendas particulares habitadas con piso de material diferente de tierra
- Viviendas particulares habitadas con tres cuartos o más
- Viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica
- Viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda

Esta selección toma de referencia el fundamento de la metodología de CENAPRED, cuya intención es la caracterización de las viviendas; en este caso, se eligieron aquellas que proporcionarán nociones de sus materiales y su acceso a los servicios básicos. Se procedió a generar el porcentaje por localidad con respecto al total de las viviendas particulares; y de manera similar a las otras dimensiones, 57 localidades tuvieron que ser omitidas por falta de información.

Luego, ejecutando la resta de cada localidad con respecto a la media y su división entre la desviación estándar. Se estableció el mismo conjunto de condiciones que con las dimensiones anteriores: si el valor obtenido es >1 entonces se asigna 5; si es > 0.5 entonces le corresponde 4; si es > 0 entonces se fijará 3; si es > -0.5 entonces tendrá un valor de 2; y si es <-0.5 entonces se le adjudicará 1.

Una vez asignados los valores para cada variable, éstos son promediados para cada localidad; en su procesamiento en el SIG se generó la interpolación y se hizo una clasificación en cinco categorías por el método de cuantiles y una reclasificación para su eventual procesamiento. En seguida, la figura 3.12 muestra la dimensión física de la vulnerabilidad.

Figura 3.12. Vulnerabilidad física en la cuenca del río Misantla, Veracruz



Fuente: elaborado con base en INEGI (2000a, 2010a, 2019, 2020b y 2020c).

e) Vulnerabilidad ambiental

La construcción de este mapa temático se basó en las aproximaciones de la dimensión física y ambiental expuestas por Hernández, Ramírez & Barrios (2017); asimismo está sustentada con SIG y álgebra de mapas de acuerdo con las particularidades de las variables, las cuales son:

- Proximidad al cauce
- Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI, por sus siglas en inglés)

En el caso del primero, se obtuvo la distancia de las localidades con respecto a la corriente con mayor concentración de escorrentía. A continuación, el cuadro 3.15 muestra su clasificación manual en cinco categorías y su valor asignado para su procesamiento subsecuente.

Cuadro 3.15. Proximidad al cauce

Distancia (metros)	Valor asignado
37.92 a 250	5
250.01 a 500	4
500.01 a 1 000	3
1 000.01 a 2 500	2
2 500.01 a 8 229.54	1

Fuente: elaboración propia.

En alusión al NDVI, éste se estableció en tres categorías, cuyos valores permiten discernir las características del ambiente y las condiciones de la vegetación. A continuación, la tabla 3.16 muestra las asociaciones de las estimaciones y su asignación para los siguientes procedimientos.

Cuadro 3.16. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado

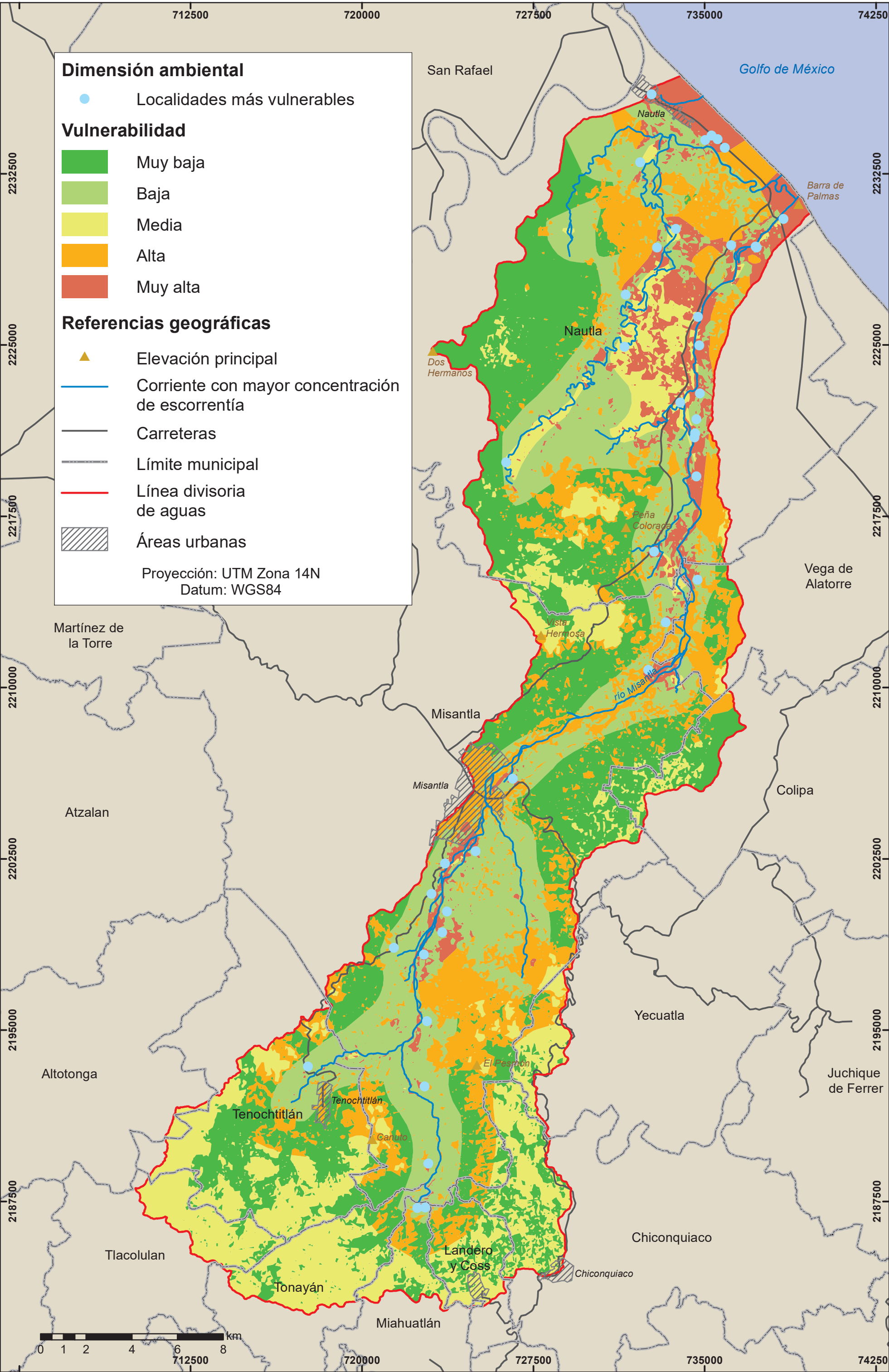
Valor NDVI	Asociación	Valor asignado	Justificación
≤ 0.1	Espacio sin vegetación y/o áreas rocosas.	4	Se fomenta la escorrentía y, por lo tanto, no existe susceptibilidad de anegación, pero sí afectación relacionada con la erosión hídrica.

0.11 a 0.3	Área con vegetación dispersa o vegetación poco saludable.	5	Contribuye tanto a la escorrentía como la infiltración, dependiente de las características del suelo; del mismo modo, existe afectación relacionado con la erosión hídrica, pero también una posible saturación del suelo.
0.31 a 0.59	Lugares con vegetación saludable; áreas de bosque templado o tropical.	0	Se coadyuva la infiltración y, por lo tanto, se reduce la acción erosiva; del mismo modo, estos ecosistemas brindan servicios ecosistémicos que aminoran la presencia o los efectos negativos de las inundaciones.

Fuente: elaborado sobre la base de Weier & Herring (2000); Remote Sensing Phenology (2018).

Posteriormente se realizó la adición con apoyo de álgebra de mapas, generando las condiciones de vulnerabilidad, resultado en un valor mínimo de 1 y un máximo de 10, después estos resultados fueron reclasificados para homologación con las otras dimensiones de vulnerabilidad. En seguida la figura 3.13 expone la vulnerabilidad ambiental.

Figura 3.13.Vulnerabilidad ambiental en la cuenca del río Misantla, Veracruz



Fuente: elaborado con base en INEGI (2000a, 2010a, 2019, 2020b, 2020c y 2022a); USGS (2023).

f) Vulnerabilidad total

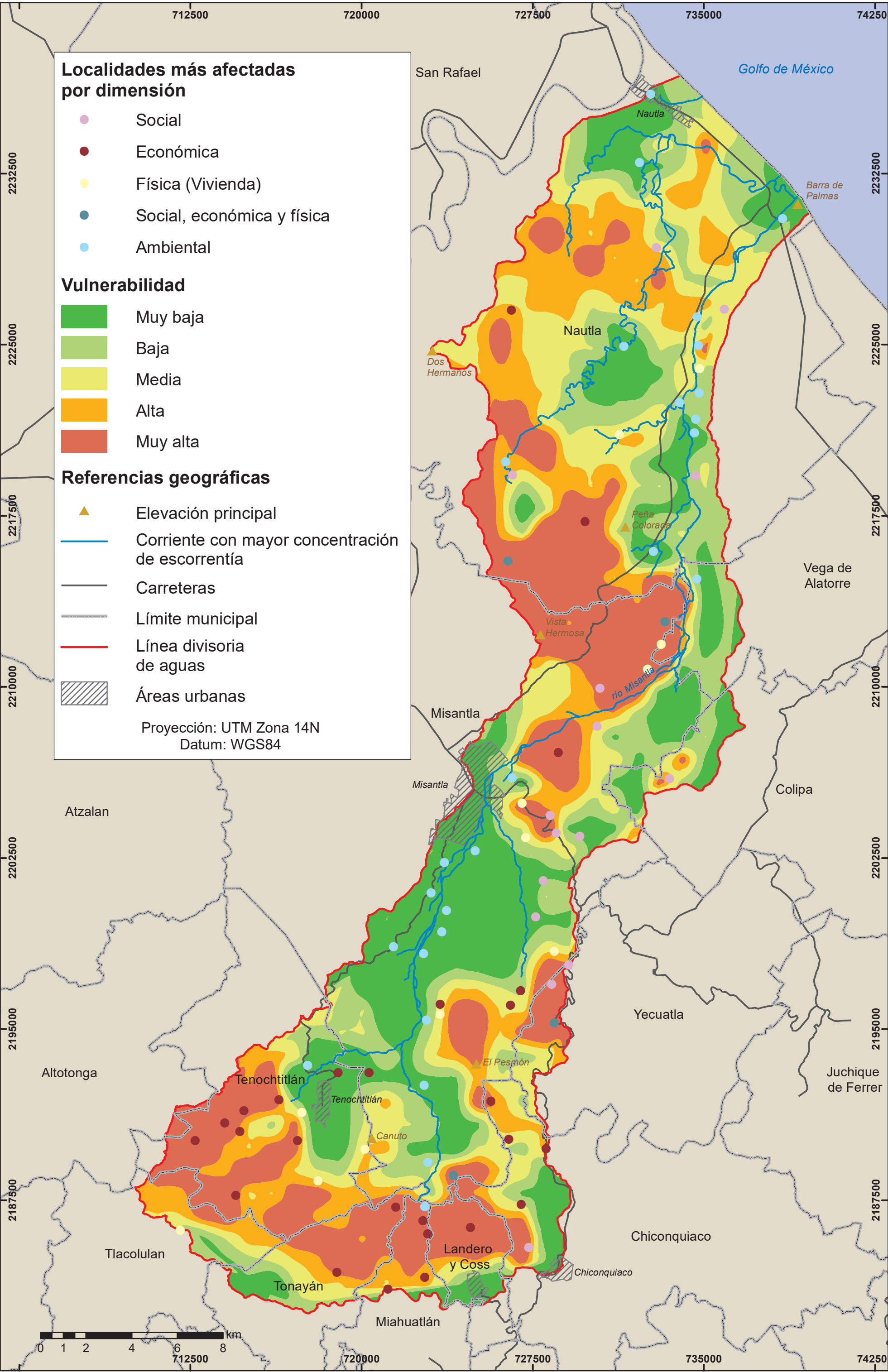
En referencia a los procedimientos que conciernen a la determinación de vulnerabilidad total, se generó una red de puntos regulares cada kilómetro en el área de estudio, esto permitió establecer una cobertura de 584 puntos; con base en su posicionamiento se determinó a qué nivel de vulnerabilidad pertenecía para cada dimensión.

Posterior al reconocimiento y distinción de los valores de los niveles de vulnerabilidad para cada punto, se obtuvo la media y después se generó la interpolación por el método de Vecino Natural; luego se hizo una primera clasificación en cinco categorías por el método de cuantiles y después se hizo una reclasificación para su procesamiento con la peligrosidad.

De manera adicional se puede apuntar, que en ésta y las otras expresiones de vulnerabilidad, son resaltadas algunas localidades; en el caso de las dimensiones social, económica y física (figuras 3.10, 3.11 y 3.12), se realizó una selección con base en su valor índice medio, el cual denotará la mayor vulnerabilidad; mientras que en la dimensión ambiental (figura 3.13) su selección se basó en su posicionamiento en las extensiones de mayor nivel de riesgo.

No obstante, esta selección, en el mapa temático de vulnerabilidad total, es modificada, pues se realiza una distinción adicional para resaltar las localidades que se ven afectadas en las dimensiones social, económica y física. A continuación, la figura 3.14 expresa la conjunción de la vulnerabilidad.

Figura 3.14. Vulnerabilidad total en la cuenca del río Misantra, Veracruz



Fuente: elaborado con base en INEGI (2000a, 2010a, 2019, 2020b, 2020c y 2022a); USGS (2023).

g) Simbolismo asociado a la expresión de la vulnerabilidad total

En alusión a la vulnerabilidad, de manera similar que la peligrosidad, las implantaciones más utilizadas son las del tipo areal e incluso, si la escala lo permite, se recurre a la puntual para resaltar puntos de interés para la temática. Con respecto a los métodos de representación comúnmente se emplean los mapas coropléticos para indicar una jerarquía en unidades territoriales.

También es posible hacer alusión a las diferencias del empleo de colores con respecto a la peligrosidad; ya que su contenido no se encuentra ligado de manera directa con el fenómeno natural; por lo tanto, existe mayor sentido en el uso de colores cálidos, donde el aumento de tono señala una mayor relevancia. Asimismo, en estos mapas temáticos, resulta imperativo el resaltar, a través de más variadas implantaciones, otros elementos geográficos que provean de un amplio contexto social.

Específicamente en los mapas temáticos que conciernen a la vulnerabilidad en la cuenca del río Misantla se apeló al método de isolíneas; los colores empleados en estas extensiones corresponden a una transición de colores fríos a cálidos para presentar una jerarquía de los niveles de vulnerabilidad.

Asimismo, en las expresiones elaboradas para cada dimensión se optó por el método de cartodiagramas, insertando diagramas de líneas (de barras) en las áreas de los municipios que comprende la región de interés; la simbolización de estos gráficos atiende al discernimiento entre sí mismos y con su fondo.

Del mismo modo, sí incluidos en la vulnerabilidad total, se hace uso del método de información puntual nominal, pues son resaltadas las localidades que sobresalen por su mayor vulnerabilidad en las diferentes dimensiones. La elección de sus características, de tamaño y color, prioriza su discernimiento entre sí mismas y con su fondo.

En seguida, el cuadro 3.17 muestra el simbolismo que compone al mapa temático de vulnerabilidad total.

Cuadro 3.17. Simbolismo asociado a la expresión de la vulnerabilidad total

Elemento		Abstracción simbólica
Localidades más afectadas por dimensión	Social	
	Económica	
	Física	
	Social, económica y física	
	Ambiental	
Nivel de vulnerabilidad	Muy baja	

	Baja	
	Media	
	Alta	
	Muy Alta	

Fuente: elaboración propia.

3.4.3 Riesgo

a) Riesgo

En alusión a la determinación del riesgo, de manera similar que con la vulnerabilidad total, se retomó la red de puntos regulares cada kilómetro en la cuenca; después, de acuerdo con el posicionamiento de cada punto, se identificó su respectivo nivel de peligro y vulnerabilidad. A continuación, el cuadro 3.18 expone las posibles combinaciones y la asignación del nivel de riesgo correspondiente.

Cuadro 3.18. Nivel de riesgo

V \ P	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Muy baja	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Medio	Medio
Baja	Muy bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
Media	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto
Alta	Medio	Medio	Alto	Alto	Muy alto
Muy alta	Medio	Medio	Alto	Muy alto	Muy alto

Fuente: elaboración propia.

Después, se generó la interpolación por el método de Vecino Natural en cinco categorías y se empleo el método de clasificación de cuantiles con el fin de dar una distribución de número de casos similares para cada categoría.

De manera adicional se consideró la conceptualización establecida en la metodología para la determinación de la vulnerabilidad de Bosque, *et al.* (2005), en la cual se distinguen distintas áreas por sus características. De manera específica se establecieron *áreas ayudables*, como locaciones que suelen centralizar la afluencia de apoyo; por lo tanto, fueron considerados algunos de los servicios registrados en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas de INEGI (2022b), a continuación, son listados con sus respectivas claves:

- Administración pública general (931210)
- Transporte (485111)
- Servicios de salud (621111, 621112, 621115, 621116 y 622112)

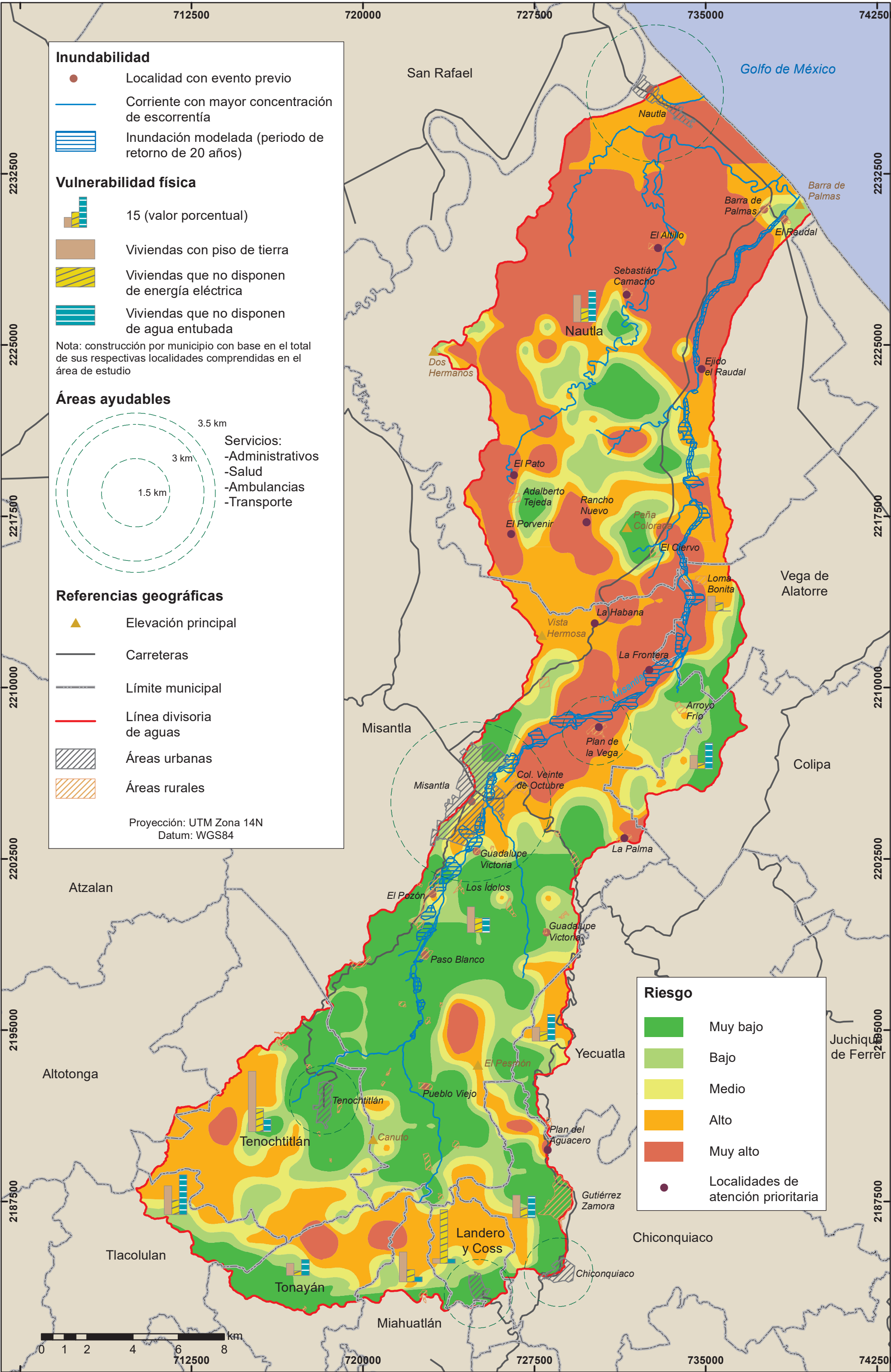
- Servicio de ambulancias (621910)

La localización de los servicios, en su mayoría, corresponden con las localidades urbanas; por lo tanto, se distinguió el tipo de servicio que contenían los centros de población y se generaron las coordenadas medias de los puntos de interés. Por consiguiente, dependiendo de los servicios se les adjudicaron los siguientes alcances: administración pública general 750 m; transporte 1 500 m; servicios de salud 750 m; y servicio de ambulancia 500 m. Por último, se generó una adición y se obtuvo el área de influencia.

Con respecto a las *áreas sin refugio* y su adaptación al caso de estudio, se optó por señalar las localidades que requieran atención prioritaria debido a sus condiciones que atañen al mayor nivel de riesgo y que también tuviesen más de 50 habitantes.

De manera complementaria, se retomó información previamente expresada en otros mapas temáticos (elementos de inundabilidad y gráficos de vulnerabilidad física), con el propósito de mostrar algunos de los factores que están contribuyendo al establecimiento de un cierto nivel de riesgo. A continuación, la figura 3.15 presenta el riesgo por inundación en la cuenca del río Misantla.

Figura 3.15. Riesgo por inundación en la cuenca del río Misantla, Veracruz



Fuente: elaborado con base en INEGI (2000a, 2010a, 2019, 2020b, 2020c y 2022b).

b) Simbolismo asociado a la expresión del riesgo

En referencia al riesgo, parecido a los factores que lo componen, las implantaciones corresponden al tipo areal y puntual, en el caso del riesgo asociado a las inundaciones fluviales, la adición de elementos lineales también resulta imperativa. En lo concerniente a los métodos de representación, los de mayor uso son coropléticos e isolíneas, ambos señalando los diferentes niveles del riesgo, no obstante, los primeros responden a una unidad territorial determinada.

Del mismo modo, los mapas temáticos de riesgo suelen portar información complementaria, pero que en otras expresiones es el tema principal; esto ocurre con la caracterización de sus componentes y una posterior conjunción y generalización. Asimismo, la inclusión de elementos geográficos resulta necesaria para la contextualización de la región de interés.

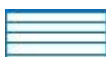
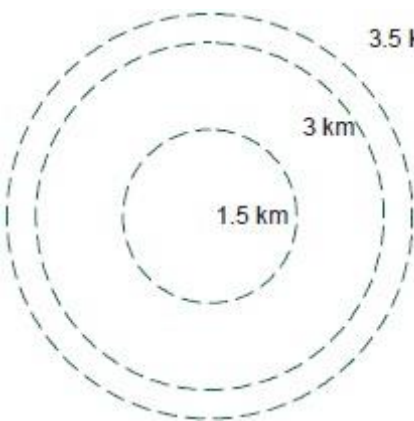
En el caso del mapa temático del riesgo por inundación en la cuenca del río Misantla, se procuró conservar consistencia con sus componentes y, por lo tanto, también se procedió con el método de isolíneas sobre la base de las extensiones de los diferentes niveles de peligrosidad y vulnerabilidad. La elección de los colores de estas superficies consiste en una transición de fríos a cálidos, para denotar, de manera similar que en las expresiones de vulnerabilidad, una jerarquía de los niveles de riesgo.

Como elementos adicionales, de mapas temáticos previos, fueron incluidos los más relevantes de la peligrosidad, apelando a implantaciones areales (inundación modelada) y lineales (corriente con mayor concentración de escorrentía); asimismo, de la vulnerabilidad, se seleccionó de manera parcial la dimensión física, aludiendo al método de cartodiagramas.

Por último, también se recurre a la generación de una isolínea a partir de un punto central para delimitar las áreas con una mayor posibilidad de recibir ayuda sobre la base de la disposición de sus servicios. De igual manera, haciendo uso del método de puntos de información nominal, se resaltan las localidades con un evento previo y aquellas que por sus condiciones de riesgo es oportuno que reciban atención prioritaria.

A continuación, el cuadro 3.19 refleja la simbolización utilizada en la expresión final del riesgo, mientras que el cuadro 3.20 suma aquellos elementos geográficos que son incluidos, en esta y expresiones previas, para la contextualización de la cuenca.

Cuadro 3.19. Simbolismo asociado a la expresión final del riesgo

Elemento		Abstracción simbólica	
Inundabilidad	Localidad con evento previo		
	Corriente con mayor concentración de escorrentía		
	Inundación modelada		
Vulnerabilidad física	Viviendas con piso de tierra		
	Viviendas que no disponen de energía eléctrica		
	Viviendas que no disponen de agua entubada		
Distinción de áreas y puntos	Áreas ayudables		
	Localidades de atención prioritaria		
Niveles de	Muy bajo		

riesgo	Bajo	
	Medio	
	Alto	
	Muy alto	

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 3.20. Simbolismo adoptado para las referencias geográficas

Referencia geográfica	Realidad geográfica	Abstracción simbólica
Elevación principal		
Río		
Carreteras		

Límite municipal	Nota: algunos de los límites en la región están dados por elementos naturales, tales como ríos.	
Línea divisoria de aguas		
Áreas urbanas		
Áreas rurales		

Fuente: elaboración propia, fotografías tomadas durante el trabajo de campo.

3.5 Técnicas destacadas ocupadas para la generalización cartográfica

En el presente subcapítulo se hace una aproximación de algunas técnicas de la generalización cartográfica. Además de revisar en qué consisten, se añaden especificaciones de cómo fueron aplicadas a lo largo de las diferentes expresiones; más adelante son incluidos algunos extractos de los mapas temáticos para ilustrar las acciones implementadas.

3.5.1 Clasificación

La clasificación es un ejercicio de generalización el cual permite distribuir los casos en diferentes categorías y, por lo tanto, éste tendrá su reflejo en la representación (Salitchev, 1979); en el caso de los mapas temáticos para la caracterización del riesgo, la clasificación fue un ejercicio reiterativo; entre estas expresiones se puede mencionar la distinción de los comportamientos de la información ráster.

Algunas de las expresiones en las que sobresale este procedimiento son en las figuras 3.7, 3.8 y 3.13; las dos primeras para su conjunción en la peligrosidad y la otra para su tratamiento subsecuente y de homologación con las otras dimensiones de vulnerabilidad.

De igual manera, se realizaron ejercicios similares, sobre la base de los resultados del valor índice medio, que permitieron la determinación de algunos de los modelos de vulnerabilidad, destacando la agrupación por medio del método de cuantiles, el cual admite un número de casos similares en las categorías establecidas.

En la expresión final del riesgo, considerando las extensiones de los niveles de peligrosidad y vulnerabilidad y sobre la red de puntos regulares, se asigna un valor y con base en esto se genera el modelo; debido a la variación en la distribución de los casos y su visualización en la representación y el mensaje del mapa, se preservó el método utilizado en expresiones anteriores, por cuantiles.

3.5.2 Simplificación

Morrison (1977) apunta que la simplificación suele aplicarse posterior a los ejercicios de clasificación, y, por lo tanto, consiste en destacar lo esencial de éstos; esta actividad fue llevada a cabo en algunas expresiones utilizadas para la determinación del riesgo, principalmente en aquellas cuya composición está elaborada sobre la base de información ráster o cuyo resultado posee este formado de salida.

En algunos casos se realizó de manera automatizada con apoyo de herramientas puestas a disposición por los SIG, pero en otros, también se hizo de manera manual; este ejercicio se refleja en la eliminación de espacios aislados.

De manera particular, en la expresión final del riesgo, en el tratamiento del modelo y previo a su vectorización, se aplicó una práctica semejante, con el fin de proporcionar una visualización que dirija a la interpretación del contexto general y no en los espacios aislados.

3.5.3 Suavizado

El ejercicio de suavizado se inserta en la generalización a través de incidir en el aspecto geométrico de los elementos (Salitchev, 1979), siendo aplicado prioritariamente en los modelos de la vulnerabilidad y el riesgo. Se ejecutó con apoyo de las herramientas proporcionadas por los SIG, a través de establecer distintos criterios en una aproximación iterativa, hasta obtener el resultado deseado.

El procedimiento involucra una modificación de los vértices de los objetos y esto se refleja en una transición menos abrupta y rígida entre los niveles de vulnerabilidad y de riesgo y, por lo tanto, mejoran la apariencia de la representación final.

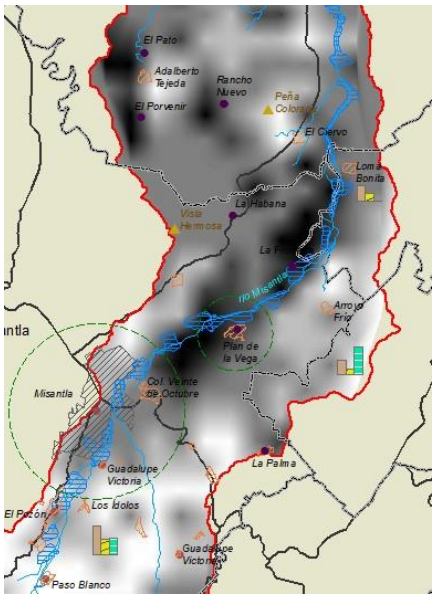
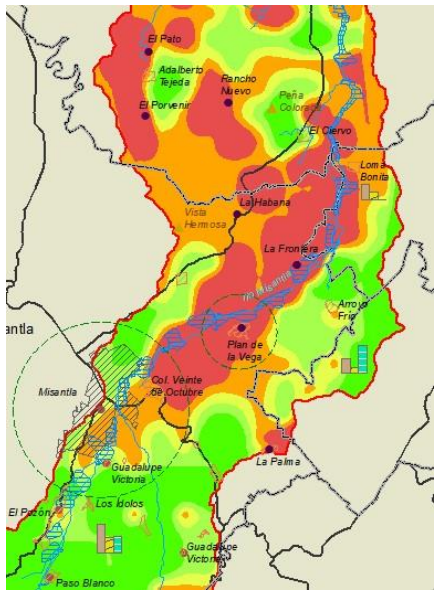
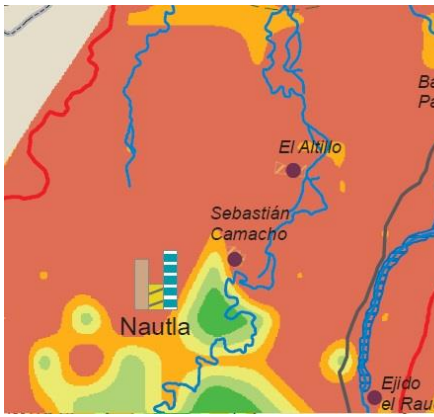
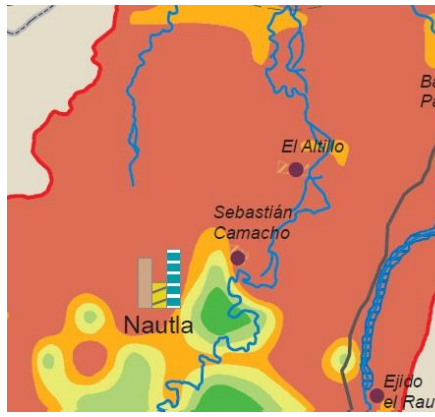
3.5.4 Selección

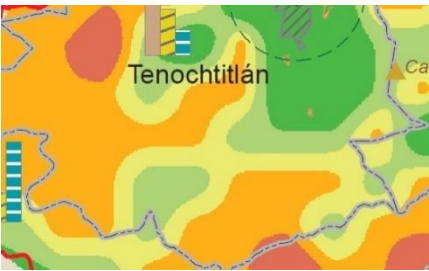
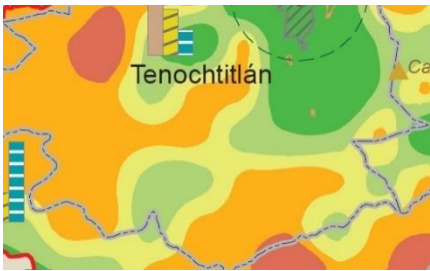
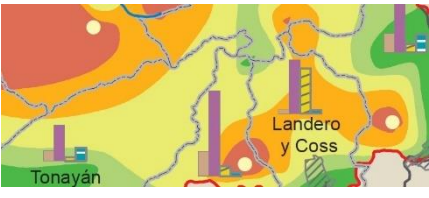
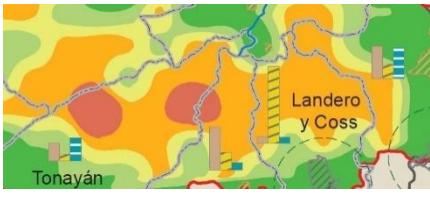
Acercas de la selección, se trata de una labor que prioriza los objetos que son esenciales para el espacio y tema a representar, manteniendo a su vez coherencia con otros aspectos de la planificación cartográfica, como lo son objetivos, escala y naturaleza de los datos; algunos autores han propuesto normas de selección e índices de selección cualitativas y cuantitativas (Salitchev, 1979; Dorling & Fairbairn, 1997).

Para la expresión del riesgo en la cuenca del río Misantla, la selección estuvo sustentada con base en los elementos incluidos en la expresión final del peligro y de una dimensión de la vulnerabilidad; de la primera, se integran objetos que atañen a la presencia del fenómeno natural, como lo son las áreas de la modelación unidimensional y los tramos de la red hidrográfica que, por las características del relieve y pendiente, tienden a destacar por una mayor escorrentía; en alusión a la vulnerabilidad, se decidió por la adaptación parcial de los gráficos empleados en el mapa temático de la dimensión física, dicha elección es orientada por la naturaleza del tema y la asociación del fenómeno y su afectaciones sobre los asentamientos.

A continuación, el cuadro 3.21, proporciona un conjunto de extractos tomados durante la confección de las diferentes expresiones temáticas, se enfatiza en los cambios suscitados luego de los diferentes ejercicios de generalización.

Cuadro 3.21. Técnicas de generalización implementadas

Técnica	Antes de la generalización	Después de la generalización
Clasificación		
Simplificación		
		Eliminación de espacios aislados, discernibles de su contexto general; lado izquierdo, captado durante proceso de elaboración de la figura 3.15; lado derecho, obtenido de la figura 3.15.

Suavizado		
Edición de la geometría para un suavizado de contornos; lado izquierdo, tomado antes del procedimiento; lado derecho, obtenido de la figura 3.15.		
Selección		
		
Selección de elementos tomados de otros mapas temáticos; lado izquierdo arriba, tomado de la figura 3.9; lado derecho arriba, integración de elementos de inundabilidad en la figura 3.15; lado izquierdo abajo, capturado de la figura 3.12; lado derecho abajo, selección parcial de los gráficos referentes a la dimensión física, insertados en la figura 3.15.		

Fuente: elaboración propia.

3.6 Especificaciones del diseño y composición del mapa temático

A continuación, se proporciona un conjunto de especificaciones que atañen al diseño de la representación cartográfica concerniente al riesgo, asimismo se proporcionan nociones sobre los aspectos que orientaron dichas decisiones.

3.6.1 Encuadre de la representación

Debido a que el tamaño de la hoja corresponde al tipo tabloide, es decir, 27.94 cm de ancho y 43.18 cm de altura, el área de la representación se le ha asignado 25.94 cm de ancho y 39.97 cm de altura enmarcado en un margen de color negro, de este modo la región de interés debido a su configuración es expuesta en su totalidad, su posicionamiento dentro de la hoja son los siguientes: en ambos márgenes laterales se estableció 0.9977 cm; en alusión al margen superior se ha dejado 1.95 cm de espaciado para el título, mientras que en el margen inferior se optó por una separación de 1.3 cm que permite la inserción del texto que contiene las fuentes de información.

3.6.2 Coordenadas

El sistema de coordenadas empleado pertenece a la proyección Universal Transversal de Mercator zona 14 norte; su emplazamiento es en el interior del encuadre de la representación, son indicadas con líneas perpendiculares al margen; en el caso de los laterales estas son posicionadas de manera vertical ascendente, al contrario, en el margen superior e inferior se hallan de forma horizontal. Se les asignó fuente arial tamaño 9 en color negro.

Con respecto al intervalo entre las coordenadas, tanto para las abscisas como las ordenadas, es de 7 500 metros. En cuanto a las coordenadas extremas que son indicadas, para el eje de las abscisas son adscritas 712 500 m en el oeste y 742 500 en el este; concerniente al eje de las ordenadas se apuntan 2 187 500 m en el sur y 2 232 500 m en el norte.

3.6.3 Escala cartográfica

Está ubicada dentro del encuadre de la representación, en la parte inferior izquierda, a 1.1 cm del margen izquierdo y 0.45 cm con respecto al margen inferior. La escala se caracteriza por expresarse en kilómetros; cuenta con cuatro divisiones principales cada 2 kilómetros y cuatro secundarias cada 0.5 kilómetros. La relación entre el mapa y la realidad es la siguiente: un centímetro de la representación equivale a 1.5 kilómetros del territorio.

3.6.4 Título

El título, del mismo modo que en los mapas temáticos anteriores, va precedido del número de figura correspondiente. La expresión ha sido titulada como: riesgo por inundación en la cuenca del río Misantla, Veracruz, con una fuente Times New Roman y un tamaño 14, su posición, fuera del encuadre

de la representación, con respecto a la hoja es a 0.9978 cm de lado izquierdo y a una altura de 42 cm con relación a la parte inferior.

3.6.5 Leyenda

Con respecto a la leyenda, esta se encuentra dividida en dos partes, no obstante, ambas son emplazadas aprovechando la configuración del área de interés, por lo que la de mayor contenido se localiza en la parte izquierda, mientras que la segunda, de menor contenido, pero de gran relevancia, se ubica a la derecha, pues como sugerencia de Fuchs, *et al.* (2009) aunado a la inclusión de áreas coloridas, la leyenda en los mapas de riesgos de inundación, debe ser visible y de fácil accesibilidad que su locación influye en la percepción del lector; por lo tanto, al dividir la leyenda, también se apela a un mejor discernimiento entre los elementos.

De manera más específica, en cuanto a los símbolos y contenidos; los significados son ubicados inmediatamente al símbolo; en la leyenda de mayor extensión se incluyen elementos de peligrosidad, vulnerabilidad y las referencias geográficas, es decir, elementos que ya habían sido expuestos en representaciones anteriores. Por su parte la leyenda localizada en la parte derecha de la cuenca, posee los niveles de riesgo y señala las localidades de atención prioritaria.

Algunas de las particularidades de formato son las siguientes: los textos se encuentran en una fuente arial, para los títulos les fue asignado un tamaño de 12, mientras que el significado de los símbolos se redujo a 11; asimismo son incluidas notas en un tamaño de 9.

3.6.8 Rótulos

En referencia a los textos que son añadidos como complemento para proveer más información y contextualizar el espacio representado todos son asignados en una fuente arial y se distinguen a través del tamaño, estilo y color.

3.7 Riesgo por inundación en la cuenca del río Misantla

En el siguiente apartado se realiza un ejercicio de análisis del mapa temático del riesgo, en el cual se describen la presencia y particularidades del fenómeno; del mismo modo, se evalúan las acciones implementadas e impresiones generadas a través de un ejercicio de interpretación, aportando también inferencias que atañen a posibles causalidades y esclarecimiento de las relaciones entre los elementos representados.

3.7.1 Análisis mapas temáticos

Sobre lo expresado en los mapas temáticos que determinan el riesgo, en el caso de la peligrosidad (figura 3.9), la distribución de los mayores niveles se sitúan a lo largo del cauce principal en ambas márgenes, este comportamiento comienza desde aproximadamente dos kilómetros aguas arriba de la localidad Paso Blanco y se mantiene hasta la desembocadura en el Golfo de México; del mismo modo, estos niveles prevalecen en la zona funcional baja, con algunas excepciones como lo son los espacios de transición asociados a las elevaciones de El Pesmón, Vista Hermosa y Peña Colorada.

Acerca de la vulnerabilidad (figura 3.14), la distribución de sus niveles más altos sobresale en la parte alta, en los municipios de Tenochtitlán, Tonayán, Miahuatlán y Landero y Coss, región en la cual las localidades presentan una mayor afectación por la dimensión económica; otra región con niveles de muy alta vulnerabilidad se emplaza entre los límites de los municipios de Yecuatla, Chiconquiaco y Misantla, en la cual, además de tener repercusión el rubro económico, existen poblaciones con muy alta vulnerabilidad social; en adición, existen otros espacios de muy alta vulnerabilidad, localizados aguas abajo de la ciudad de Misantla, en las cercanías del río homónimo y las elevaciones de Peña Colorada y Vista Hermosa, en dichas extensiones las comunidades resaltadas se ven afectadas en diferentes dimensiones.

En alusión a la expresión del riesgo (figura 3.15), los niveles de riesgo muestran las siguientes características: los espacios de riesgo muy bajo se extienden en 137.13 km², en los cuales se ven incluidas 61 localidades y una población aproximada de 20 918 personas; con respecto a las áreas de riesgo bajo, éstas abarcan 82.66 km² y contienen 22 localidades que suman cerca de 12 641 personas; sobre la superficie asociada al nivel de riesgo medio se distribuye en 70.1 km², en los cuales viven alrededor de 7 010 personas en 24 localidades; relacionado a la extensión del riesgo alto, ésta se distribuye en 136.52 km² en los que se insertan 36 localidades que en conjunto cuentan con un estimado de 14 457 personas; en lo concerniente al nivel de riesgo muy alto, posee la más extensa superficie de todos los niveles, con 159.44 km², afecta a 54 localidades y un total de 2 188 personas.

De manera particular, sobre la distribución de los niveles más altos de riesgo, algunos afectan la parte alta de la cuenca, inmediato a la transición de la zona funcional alta a la media, comprendiendo los municipios de Tenochtitlán, Tonayán y Chiconquiaco; de este último, también existe un espacio

que, a partir de la localidad Plan de Aguacero, se extiende al sur del municipio de Misantla, al este del cauce principal.

Otras áreas de muy alto riesgo se emplazan en el descenso altitudinal posterior a la localidad de Misantla, sobre el cauce, con un área aproximada de 34.8 km², y afectando diferentes localidades, entre las que son resaltadas Colonia 20 de Octubre, Plan de Vega, La Frontera y Loma Bonita. En adición, otros espacios con una situación similar se posicionan en la transición de la zona funcional media a la baja, en las cercanías de las elevaciones Vista Hermosa y Peña Colorada, pero también se producen áreas como una suerte de “islas”, algunas de estas coinciden con los tramos de mayor concentración de escorrentía. Es imperativo señalar que el área más amplia de riesgo muy alto, abarca 92.6 km² y comprende gran parte de la zona funcional baja.

Sobre algunos espacios que presentan niveles altos de riesgo se encuentran corredores entre los municipios de Tonayán, Miahuatlan y Landero y Coss; y la mayor parte del municipio de Yecuatla que forma parte de la cuenca y su colindancia con el municipio de Misantla.

En oposición, la distribución de los niveles más bajos de riesgo muestra un emplazamiento preferente en las cercanías de las localidades urbanas, con algunas excepciones, como es el caso Nautla, que se ubica en niveles altos, y de Misantla, en la cual se posicionan diferentes niveles.

Entre otras particularidades mostradas en la expresión del riesgo (figura 3.15), se hallan elementos extraídos directamente de otros mapas temáticos; en alusión a la inundación modelada, muestra su distribución a lo largo del cauce principal, asimismo, es necesario señalar que aguas debajo de la localidad de Misantla, las áreas de inundación son coincidentes con espacios de muy alto riesgo.

Sobre los gráficos de la vulnerabilidad física (figura 3.12), es posible apuntar que sobresalen aquellos pertenecientes a los municipios de Tenochtitlán, pues posee más viviendas cuyo material de piso es de tierra; de Tlacolulan, por indicar la falta de disposición de agua entubada; de Landero y Coss, el cual revela un alto porcentaje de viviendas con falta de acceso al servicio de electricidad. Con respecto a las viviendas en otros municipios, como lo es Chiconquiaco, Yecuatla, Colipa y Nautla, aunque no destacan visualmente, sí advierten la carencia del servicio de agua entubada.

En lo concerniente a las *áreas ayudables*, éstas se sitúan sobre las localidades urbanas; sin embargo, debido a los servicios puestos a disposición, destacan los alcances de Nautla y Misantla; ambas brindan una cobertura en diferentes niveles de riesgo e incluso superando la extensión de sus respectivas comunidades.

Alusivo a las localidades planteadas en la hipótesis, en la localidad de Misantla se extienden diferentes niveles de riesgo, sin embargo, destacan, por su mayor presencia, los asociados a un nivel bajo, con una cobertura de 2.31 km², en el que se inserta cerca de 9 034 habitantes; y un nivel alto, con una extensión de 2.16 km², el cual afecta a aproximadamente 8 448 personas. En lo concerniente a la

comunidad de Loma Bonita, la cual posee una población de 507 habitantes, ésta se ve inmersa en niveles altos. Referente a la población de El Raudal, conformada por 319 ciudadanos, se sitúa en espacios de riesgo medio y bajo.

Asimismo, las localidades Barra de Palmas y El Ciervo no se encuentran incluidas en los alcances de las *áreas ayudables* relacionadas con los servicios de las localidades urbanas; no obstante, la localidad de Plan de Vega sí posee la existencia de servicios de transporte.

3.7.2 Interpretación mapas temáticos

En la cuenca del río Misantla, el mayor nivel de riesgo, a pesar de poseer la mayor extensión, solo afecta a un aproximado de 2 188 personas y, por lo tanto, proporciona un indicio que dicha dispersión contribuye a su condición de riesgo; la mayor cantidad de comunidades en esta situación se encuentra posicionada en la zona funcional media y su transición a la baja; teniendo una mayor incidencia en los municipios de Misantla y Nautla.

En estos municipios, dentro del área de estudio, los usos de suelo son coincidentes, pues ambos tienen una amplia superficie de pastizal cultivado, ciclos agrícolas y ecosistemas naturales; sin embargo, en caso de ocurrencia de un evento de inundación, el municipio de Nautla se vería más afectado pues posee una mayor diversificación de cultivos (maíz grano, sandía, frijol, chile verde, tomate, plátano, limón, naranja, caña de azúcar, entre otros) y algunos espacios dedicados a esta actividad se emplazan en las márgenes del río Misantla. Asimismo, la localidad de Nautla se ve inmersa en el sistema hidrográfico del río Bobos, por lo que ante la dinámica de éste, las vías de comunicación y su capacidad de brindar y/o recibir ayuda puede verse limitada.

De manera complementaria, se puede mencionar que en la localidad de Nautla se han implementado medidas estructurales, suscitado de los eventos de 1999, construyendo un muro de contención para la mitigación de los desbordamientos del sistema hidrográfico del río Bobos. Asimismo, algunos ciudadanos comentan que existió una dinámica de autoorganización entre sus habitantes para soportar los efectos negativos del evento.

En el caso particular del municipio de Misantla y en concreto su localidad homónima, la ocurrencia de precipitaciones intensas asociadas a la dinámica atmosférica y ciclones tropicales, sí se ha manifestado en el desbordamiento del río Misantla y la inundación parcial de la ciudad, donde se reconocen calles afectadas y tirantes de referencia, principalmente relacionados con los eventos de 1995.

La configuración de la localidad de Misantla ha fomentando la reducción de la infiltración y, por lo tanto, se refleja en un aumento de la escorrentía. Lo anterior podría estar teniendo afectaciones en las localidades aguas debajo de la ciudad; en el mapa, se produce un corredor en el que se ven inmersas diversas comunidades, aún pertenecientes a Misantla y cuyo uso de suelo predominante refiere

a pastizal cultivado en un suelo vertisol de textura fina, el cual, por sus características, al llegar a su estado de saturación resulta en posibles anegaciones. Algunas acciones llevadas a cabo por las autoridades han consistido en el dragado de ríos, con el fin de reducir el caudal y arrastre de sedimentos.

Una de las localidades cuya condición de afectación es posible que se deba a la dinámica urbana de Misantla es Loma Bonita; sin embargo, al ser la única localidad de Vega de Alatorre dentro del área de estudio, permite discernir, a través de los gráficos de vulnerabilidad física, que sus habitantes poseen una buena calidad de vida, posicionándose con vulnerabilidades bajas y solo llamando la atención su porcentaje de viviendas cuyo material refiere a piso de tierra.

Con respecto a la localidad de El Raudal, aunque sobre ésta se emplaza un área de inundación modelada, sus niveles de riesgo medio y bajo están dados por las características de la población e indican que, ante un evento de inundación, sus habitantes podrían tener un proceso de recuperación conveniente.

Asimismo, es posible referir a las áreas de riesgo, las cuales están asociadas a corrientes con alta concentración de escorrentía, pero cuyo origen es ajeno al río Misantla y sus aportes provienen de las elevaciones de Peña Colorada, Vista Hermosa y Dos Hermanos, existen localidades las cuales tienen de 1 a 50 habitantes y, por lo tanto, dicha condición de dispersión, contribuye a su vez a una mayor limitación en la disposición de servicios e implementación de vías de comunicación. Por lo que, ante un evento de inundación, debido a sus características de aislamiento, tanto la posibilidad de recibir apoyo de autoridades y los procesos subsecuentes de recuperación pueden verse obstaculizados.

Es necesario apuntar la situación de las localidades de atención prioritaria, debido a que conjuntaban las mayores condiciones de peligro, vulnerabilidad y, por lo tanto, de riesgo; y también su conformación por una población igual o superior a 50 habitantes. Se vislumbra su localización en diferentes partes del área de estudio, aunque predomina su posicionamiento en la zona funcional media y baja.

Es imperativo indicar la existencia de ciertas situaciones, ya que, por una parte, existen áreas de muy alto riesgo en la parte alta de la cuenca, cuyas características de pendiente no propicia anegaciones y, por otra parte, localidades que muestran un evento previo o su inserción en la superficie de inundación modelada y sin embargo, su nivel de riesgo es bajo.

De manera específica, en el caso de las localidades en la parte de la región alta, su riesgo alto está dado a la configuración del territorio, caracterizado por un relieve montañoso con pendientes abruptas, lo cual dificulta la instauración de servicios básicos; lo anterior se reafirma con los valores del índice de marginación. Del mismo modo, la región sobresale por su vulnerabilidad en el rubro económico, es decir, que las viviendas cuentan con menos bienes que en el contexto general y poca accesibilidad a servicios de comunicación como lo son la televisión, radio e internet. Ante un evento de

inundación, el fenómeno repercutiría principalmente en el arrastre de sedimentos y acción erosiva, dañando las estructuras de los asentamientos y los espacios destinados a la actividad agrícola.

Con respecto a las localidades con evento previo o una alta vulnerabilidad ambiental, muchas de estas comunidades se encuentran situadas en superficies de bajo o muy bajo riesgo, debido a que en los demás rubros de vulnerabilidad han resultado favorables; si bien ante un evento, dado sus rasgos, es posible que su proceso de recuperación sea rápido, no se debe descuidar la implementación de acciones que reduzcan las afectaciones.

Conclusiones

La cartografía es una disciplina cuya necesidad es innegable. La historia del ser humano, a través de numerosas expresiones, ha dejado vestigios de los modos de vida, tendencias y paradigmas. Esta ciencia ha construido su conocimiento sobre la base de diferentes aportes epistemológicos, lo que ha conllevado también una variación en su conceptualización, los elementos, procesos y métodos que la componen. Pese a esta variabilidad, siempre ha fungido como una materia inherente a la geografía.

En la cartografía es posible discernir entre dos tipos principales: la topográfica, que se da a la tarea de abstraer la realidad tal cual lo es, y la temática, la cual, con base en la topográfica, se dispone a expresar diferentes fenómenos y prioriza la eficacia comunicativa; dicha distinción ha hecho posible el brindar a cada una de métodos propios para su elaboración.

Es importante destacar la inserción y auge de la cartografía temática, la cual ha trascendido incidiendo e involucrándose con otras materias, ya que en conjunto se amplía la gama de intencionalidades y usos adjudicados a las diferentes expresiones suscitadas de las interrelaciones.

El proceso cartográfico es un ejercicio que está inmerso en el planteamiento de diferentes cuestiones, las cuales giran en torno al mapa; entre éstas se encuentran las intencionalidades, la información disponible y requerida para su construcción; asimismo, es necesario aludir a la existencia de otras normas técnicas, que también van a influenciar en el proceso cartográfico, como lo son las proyecciones, escalas, convenciones y simbolización; todo se ve articulado y armonizado bajo un lenguaje cartográfico, el cual se alinea a la temática y áreas de conocimiento involucradas.

Algunas actividades intrínsecas de la confección cartográfica, como lo es la generalización y los métodos de representación, brindan diferentes posibilidades de comunicación que permiten no solo representar conocimientos ya existentes, sino fomentar la generación de nuevos. Es esta condición la que permite darle seguimiento al desarrollo epistemológico de la misma Cartografía y también se constituye como un aporte que encauza la evolución de otras disciplinas.

En lo concerniente a la geografía de los riesgos, la historia de la humanidad permite vislumbrar las relaciones del ser humano con la naturaleza, que surge a partir de un conjunto de creencias originado por los fenómenos naturales, para transitar a la resignificación de éstos y su reconocimiento como parte de la dinámica de la Tierra. Su epistemología, de igual manera que en la cartografía, inmersa en diferentes contextos históricos, se refleja en diferentes propuestas de enfoque y conceptualizaciones.

Algunos de los términos, cuyo discernimiento parece dirigirse a una convención, son el peligro y la vulnerabilidad, que en conjunto determinan el riesgo; en alusión al peligro, éste mantiene una relación directa con el fenómeno que genera una condición de posible afectación; en lo concerniente a la vulnerabilidad, ésta atañe a los sistemas y sus características, en dicha situación probable de repercusión.

Es imperativo señalar que, debido a las diferentes propuestas de conceptualización, existen, por lo tanto, una cantidad equiparable de metodologías y procedimientos para su determinación; algunas variando el peso adjudicado a los componentes y otras elaboradas sobre la base del fenómeno o la escala de análisis. Es posible reconocer una tendencia a brindarle mayor relevancia al papel que juegan los sistemas afectables, así como poner a disposición nuevas alternativas con un enfoque de prevención, pues no pretende incidir directamente en el fenómeno, sino en otros rubros que atañen a las acciones antes, durante y después de un desastre.

El fenómeno considerado en esta tesis refiere a las inundaciones y, a través de ellas, se exploró el vínculo entre la cartografía y la geografía de los riesgos; esta relación es esencial pues, los eventos de inundación ocurren en un espacio dado y, por lo tanto, es posible su abstracción en un mapa. Existen diferentes expresiones, las cuales son generadas sobre la base de diferentes insumos, métodos, escalas, intencionalidades y público objetivo; sin embargo, se reconoce que un mapa que tiene el propósito de exponer el riesgo por inundación, debe mostrar la posible afectación a los sistemas expuestos y, por lo tanto, brindar soporte en las decisiones sobre el territorio en beneficio de este y de sus habitantes.

La escala de análisis, la cuenca hidrográfica, permite reconocer un sistema cuyas dinámicas e interacciones se ponen en marcha por el ciclo hidrológico; del mismo modo, el manejo integral de cuencas, destaca por ser una alternativa ante las medidas estructurales, que además de involucrar de manera activa la participación de su población, orienta un aprovechamiento más equilibrado del entorno, así como una reducción de las externalidades o afectación a habitantes posicionados en otras zonas funcionales de la cuenca. Por los fundamentos del manejo integral de cuencas, se reconoce su alineación con algunas de las nuevas tendencias en la literatura de la geografía de los riesgos y el manejo integral de riesgos.

El estado de Veracruz, se inserta en la dinámica global atmosférica, percibiendo los efectos de los fenómenos de El Niño, La Niña, ondas tropicales y frentes fríos, los cuales, usualmente, repercuten en la humedad atmosférica y, por lo tanto, en la ocurrencia de precipitaciones intensas y el desbordamiento de ríos.

Debido a la configuración territorial de la entidad de Veracruz, existen diferentes características geográficas, las cuales van desde los climas y tipos de ecosistemas, hasta las culturas que se desarrollaron durante la época prehispánica y la colonia, así como las tendencias de ocupación, distribución de la población y actividades desarrolladas en tiempos más recientes. Dado lo anterior, es imperativo considerar la implementación de diferentes medidas y flexibilidad de adaptación según los contextos naturales y culturales.

De manera más específica, la población de la cuenca del río Misantla, se caracteriza por tener localidades distribuidas en todo su territorio; sin embargo, muchas de éstas tienen de 1 a 50 habitantes lo cual indica una dispersión de la población y, por lo tanto, dificulta no solo la disposición del acceso

a servicios básicos, sino la posibilidad de brindar ayuda ante la ocurrencia de un fenómeno de inundación. En oposición, las concentraciones de población más importantes, están dadas en las localidades de Chiconquiaco, Misantla y Nautla, cada una emplazada en una zona funcional de la cuenca, alta, media y baja, respectivamente; por lo tanto, se vislumbran algunos espacios y alcances para apoyar a las localidades con menos habitantes.

Los eventos de inundación en el área de interés, hallan en sus causalidades de ocurrencia una relación con diferentes fenómenos hidrometeorológicos, entre los que destacan, tormentas y ciclones tropicales. Estos hechos, sus características, trayectorias y áreas de afectación han sido documentadas, por lo que existe un seguimiento; autoridades de protección civil mantienen un monitoreo constante de sus intensidades, recorridos y espacios de posible afectación, continuando con el alertamiento y difusión a través de medios de noticias y redes sociales.

Algunos de los eventos más importantes están registrados durante los años de 1955, 1995, 1999, 2005, 2010 y 2013; sin embargo, durante la vista en campo, el que mayor presencia tenía en la memoria colectiva de algunos de los ciudadanos refiere a los primeros tres; no obstante, elementos de protección civil, señalan la ocurrencia de eventos más recientes en 2019 y 2020, pero que han tenido una menor cobertura mediática.

En alusión a la estrategia metodológica y planeación cartográfica que orientó la elaboración de los mapas temáticos afines al riesgo por inundación en el área de interés, se midió la posibilidad de adaptación y aplicación parcial de las diferentes metodologías puestas a disposición en la literatura y por fuentes oficiales; sin embargo, se presentaron inconvenientes relacionados a los insumos requeridos, el acceso a éstos, algunos pasos poco esclarecidos y los resultados deseados; por lo tanto, se considera que la síntesis presentada es una manera adecuada de dar solución que se ajusta a las posibilidades, recursos e intereses.

En muchos de los trabajos consultados se percibe una gran dispersión metodológica en ambos componentes del riesgo, la peligrosidad y la vulnerabilidad, y aún lejos de una estandarización; no obstante, en lo concerniente a su abstracción, los métodos de representación y simbolización, en el caso del peligro asociado a anegaciones, la elección de colores son orientadas por la naturaleza del tema, predominando los tonos fríos, aunque no están exentos el uso de colores cálidos para señalar espacios de mayor relevancia; en oposición, para las expresiones de vulnerabilidad a pesar de su multidimensionalidad, el empleo de mapas coropléticos y la transición de colores fríos a cálidos para denotar jerarquía es más común. Es imperativo reconocer y establecer el sustento epistemológico de los componentes del riesgo, ya que los procesos cartográficos subsecuentes deben ser coherentes con su significado para transmitir los mensajes e impresiones deseadas.

Con relación al riesgo como resultado final, algunas de las metodologías consultadas se limitan a enunciar que consiste, por lo regular, en una superposición; sin embargo, no se ahonda en las posibles

particularidades que orientan su asignación de condición. Durante la elaboración de la expresión final del riesgo, se experimentó con diferentes métodos para cruzar la información de sus componentes, primero incidiendo a través de las localidades, pero posteriormente, se optó por generar una red de puntos regulares, la cual, desliga la distribución de los modelos con el emplazamiento de las comunidades. Los procedimientos y especificaciones incluidas, además de aumentar la precisión cartográfica de las representaciones, fortalecen la propuesta metodológica para una posible aplicación en otra cuenca hidrográfica o región de estudio, y se establece, a su vez, la necesidad del seguimiento de métodos y técnicas flexibles.

En lo concerniente a los mapas temáticos, los métodos de representación permitieron incidir, a través del manejo de diferentes variables visuales, para armonizar y conjuntar la información de diferentes productos cartográficos; aunado a un proceso de generalización, imperó la confección de un producto con énfasis en resaltar áreas y localidades a las cuales se les debería brindar una atención prioritaria.

De manera particular, el mapa final del riesgo, devela áreas de mayor riesgo, las cuales, responden a las características físicas del ambiente y los rasgos de la población y su distribución; destacan las zonas funcionales media y baja, debido a su localización y características del relieve y pendiente, están en un riesgo muy alto; asimismo, se distingue la situación de la comunidad Misantla, que por las características de su población, se posiciona en una situación de menor riesgo a pesar de hallarse en un contexto físico geográfico con alta susceptibilidad de inundación. Del mismo modo, se reconocen los posibles externalidades de la ciudad de Misantla sobre las localidades aguas debajo.

Es imperativo reiterar la presentación de dos situaciones, espacios de muy alto riesgo, cuyas características de pendiente no propician inundaciones, pero sí afectaciones asociadas a la acción erosiva de la dinámica hídrica; y, en oposición localidades en niveles de riesgo bajos, pero evidente afectación por anegación. Por lo tanto, en el seguimiento de las acciones de prevención y mitigación del riesgo, no se deben excluir espacios, sino proporcionarles las medidas adecuadas; se sugiere el desmenuzamiento y análisis individual de los componentes del riesgo, y de manera específica, para el caso de los primeros, la proposición de programas que incidan en la reducción de su vulnerabilidad, así como soporte ante las afectaciones del arrastre de sedimentos; mientras que para los segundos, una evaluación para la posible instauración de medidas estructurales que reduzcan la ocurrencia de inundaciones.

Con respecto al público objetivo al que se dirige la expresión final del riesgo, que son autoridades estatales y municipales, así como personas del mundo académico o expertos insertados en asociaciones civiles, sería deseable el conocimiento de este resultado para su uso con fines de la gestión del riesgo; se prevé que sus conocimientos y experiencia puedan denotar nuevas incorporaciones y generar la retroalimentación cartográfica. En lo concerniente a la población en general, particularmente

la que reside en la cuenca, es necesaria una redacción y diseño cartográficos distintos que acercaran al mapa al ámbito de la divulgación de conocimiento, no obstante, también se requiere promover sesiones participativas y talleres que pongan a disposición los elementos esenciales para comprender la expresión cartográfica y, del mismo modo, que sea posible verter sus conocimientos.

En alusión a la hipótesis, se comprueba que las localidades Misantla, Loma Bonita y El Raudal, presentan niveles de riesgo diferentes, a pesar de situarse en las márgenes del río Misantla; si bien la principal explicación para este discernimiento está dada por la vulnerabilidad, también existen otras particularidades físicas como los tipos de suelo, sus texturas y usos que contribuyen a un contexto diferente. Asimismo, se afirma que las localidades Barra de Palmas y El Ciervo, debido a su localización, no se hallan dentro de los alcances de apoyo asociados a los diferentes servicios disponibles ante una situación de emergencia; sin embargo, en el caso de Plan de la Vega, dentro de ésta se inserta un servicio de transporte, el cual brinda una mayor posibilidad de respuesta ante un evento.

Finalmente, el mapa temático del riesgo por inundación en la cuenca del río Misantla, se advierte como una inspección de acercamiento medio, fundamentada en las cuencas hidrográficas como sistemas y, por lo tanto, resalta las relaciones que generan su condición de riesgo. Por lo anterior, se plantea el futuro seguimiento a través de una valoración de metodologías que involucren escalas más detalladas en espacios específicos y, del mismo modo, apelar a otros métodos de representación y generalización que consideren nuevas intencionalidades de uso y público al que podría ir dirigido.

Referencias

- Acevedo Rosas, F., & Díaz Peón, A. (2006). "Principales fenómenos meteorológicos que afectaron al estado de Veracruz en el año 2005" en *Inundaciones 2005 en el Estado de Veracruz*. México: Universidad Veracruzana & Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología.
- AGROVOC Multilingual Thesaurus. (2020). World Reference Base soil types. Disponible en: AGROVOC: AGROVOC: World Reference Base soil types (fao.org).
- Alba de, F., & Castillo Oropeza, O. (2014). "*Después del desastre... Viene la Informalidad*" *Reflexiones sobre las inundaciones en la Metrópolis de México*. Revista de Direito da Cidade 06 (01), 141-167.
- Alcocer-Yamanaka, V. H., Rodríguez-Varela, J. M., Bourguett- Ortiz, V. J., Llaguno-Guilberto, O. J., & Alborno-Góngora, P. M. (2016). *Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas*. Tecnología y Ciencias del Agua, 7(5), 33-55.
- Aldana, A., & Flores, E. (1999). *La corriente comunicacional o semiológica de la Cartografía Temática*. Geoenseñanza, Vol. 4 1999 (2), 223-236.
- Alonso Lerch, F. (1986). *Apuntes de cartografía*. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Aneas de Castro, S. (2000). *Riesgos y Peligros: Una visión desde la Geografía*. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales, no. 60. Universidad de Barcelona.
- Angelotti Pasteur, G. (2014). *Acciones gubernamentales frente a los desastres provocados por fenómenos hidrometeorológicos en México*. Gestión y Ambiente, Vol. 17(2), 69-83.
- Aparicio Mijares, F. (1989). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Editorial Limusa.
- Arreguín Cortes, F., López Pérez, M., & Manengo Mogollón, H. (2016). *Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática*. Tecnología y Ciencias del Agua, 7(5), 5-13.
- Arreguín, López, Rodríguez & Montero (coord.). (2015). *Atlas de Vulnerabilidad Hídrica en México ante el cambio climático*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Asdak, C., Supian, S., & Subiyanto. (2018). *Watershed management strategies for flood mitigation: A Case Study of Jakarta's Flooding*. Weather and Climate Extremes 21, 117-122.
- Blanco García, A. (2012). *Cartografía y Sociedad: La extensión de la Cartografía Temática en la actualidad*. Revista Catalana de Geografia IV, vol. XVII, no. 46.
- Blázquez Domínguez, C., Celaya Nández, Y., Velasco Toro, J. (2016). *Historia Breve Veracruz*. México: Fideicomiso Historia de las Américas. Fondo de Cultura Económica.
- Bocco, G. (2004). "Cartografía y Sistemas de Información Geográfica en el Manejo Integrado de Cuencas" en el *Manejo Integral de Cuencas en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, 41-48.
- Bosque Sendra, J., Ortega Sisqués, A., & Rodríguez Espinosa V. (2005). *Cartografía de Riesgos naturales en América Central con datos obtenidos desde internet*. Doc Anàl. Geogr 45, 41-70.
- Bravo Lujano, C. (2013a). *Reseña de la tormenta tropical "Barry" del Océano Atlántico*. México: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional.
- Bravo Lujano, C. (2013b). *Reseña de la tormenta tropical "Fernand" del Océano Atlántico*. México: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional.
- Bravo Álvarez, H., Sosa Echeverría, R., Sánchez Álvarez, P., & Butron Silva, A. (2006). "Riesgo químico asociado a fenómenos hidrometeorológicos en el estado de Veracruz" en *Inundaciones 2005 en el Estado de Veracruz*. México: Universidad Veracruzana & Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología.
- Brooks, K., Ffolliot, P., & Magner, J. (2013). *HYDROLOGY AND THE MANAGEMENT OF WATERSHEDS*. Estados Unidos: Wiley Blackwell, 4ta edición.

- Brotton, J. (2014) *A History of the World in Twelve Maps*. Traducción de: Ramos Mena, F. La historia del mundo en 12 mapas. Colombia: Penguin Random House Group Editorial.
- Cajigal Molina, E & Maldonado González, A. (2019). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante inundaciones. Un ejercicio emergente ante el cambio climático. *Economía, Sociedad y Territorio*, 19(61), 543-574.
- Calvo Garcia-Tornel, F. (1984). *La Geografía de los Riesgos*. Cuadernos críticos de Geografía Humana No. 54. Universidad de Barcelona.
- Cantú Martínez, P. (2017). *Gestión del riesgo como un instrumento para prever los estragos de las sequías y de las inundaciones en México*. *Ambiente y Desarrollo* 21(40), 27-42.
- Carles Membrado, J. (2015) *El lenguaje cartográfico en los mapas temáticos*. *Estudios Geográficos* 75(1 278), 177-201.
- Carrasco Esparza, R. (s/f). Cálculo de gasto o caudal.
- CENAPRED. (2017). Índice de vulnerabilidad de inundación.
- CENAPRED. (2018a). Atlas Nacional de Riesgos: Precipitación Nacional. Isoyetas de precipitación media anual, 1 hr.
- CENAPRED. (2018b). Atlas Nacional de Riesgos: Precipitación Nacional. Isoyetas de precipitación media anual, 24 hrs.
- CENAPRED. (2018c). Atlas Nacional de Riesgos: Precipitación Nacional. Regiones homogéneas de lluvia.
- CENAPRED. (2019). “Zona susceptible de inundación” en Atlas Estatal de Riesgos, Veracruz.
- CENAPRED. (2021). Información Básica de Peligros Naturales a nivel municipal.
- CENAPRED. (2023). “Índices de inundabilidad. Periodo de retorno $Tr = 10$ ” en Atlas Nacional de Riesgos por Inundación.
- Centro de Información del Agua. (8/10/2021). *Inundaciones. Un problema creciente a nivel mundial*. En: <https://agua.org.mx/editoriales/inundaciones-un-problema-creciente-a-nivel-mundial/>
- Centro de Información del Agua (2022). Conoce tu cuenca (Consultado el 29/09/22). Disponible en: <https://app.agua.org.mx/cuenas>
- Centro de Información del Agua. (s/f). Cuencas Hidrográficas. Disponible en: <https://agua.org.mx/que-es-una-cuenca/#cuenas-hidrograficas-de-mexico>
- Cervantes Pérez, J., & Córdoba Malibrán, E. (2015). “Peligros Hidrometeorológicos” en Atlas de peligros geológicos e hidrometeorológicos, 82-104.
- Chávez Zárate, G. (2004). “Del Gobierno a la Gobernabilidad de los recursos hídricos” en el *Manejo Integral de Cuencas en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, 173-183.
- Cheng-Siang, Ch. (1980). The historical development of cartography in China. *Progress in Human Geography*, 3, 101-120.
- CONAGUA. (2016). Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS).
- CONABIO, (01/02/2020a). 'Contenido de Arcilla 05-15 cm (Mejor modelo)', escala: 1:4000000. edición: 1.0. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CDMX.
- CONABIO, (01/02/2020b). 'Contenido de Arcilla 15 a 30 cm (Mejor modelo)', escala: 1:4000000. edición: 1.0. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CDMX.
- CONABIO, (01/02/2020c). 'Contenido de Arcilla 30 a 60 cm (Mejor modelo)', escala: 1:4000000. edición: 1.0. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CDMX.

- CONABIO, (01/02/2020d). 'Contenido de Arcilla 60 a 90 cm (Mejor modelo)', escala: 1:4000000. edición: 1.0. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CDMX.
- CONABIO, (01/02/2020e). 'Contenido de Arcilla 90 a 200 cm (Mejor modelo)', escala: 1:4000000. edición: 1.0. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CDMX.
- CONAPO. (2021a). Índices de marginación 2020. Base de datos por entidad federativa 2020. Disponible en: <https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372>
- CONAPO. (2021b). Índices de marginación 2020. Base de datos por municipio 2020. Disponible en: <https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372>
- Coordinación Nacional de Protección Civil. (2014). *Convención Nacional de Protección Civil 2014* "Manejo de inundaciones fluviales con arrastre de sedimentos". CENAPRED, Subdirección de Riesgos por inundación.
- Cotler Ávalos, H., Galindo Alcántar, A., González Mora, I., Pineda López, R., & Ríos Patrón, E. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y Perspectivas para su manejo y gestión*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.x
- Cutter, S. (1996). Vulnerability to environmental hazard. *Progress in Human Geography* 20(4), 529-539.
- Cutter, S., Boruff, B, & Lynn, W. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, 84 (2), 242-261.
- De Luna Cruz, F., & Velez Morales, L. (2009). "Capítulo 4. Control de inundaciones Sistema de Gestión de Crecidas" en *La segunda Fase para la Integración del Plan Hídrico Integral de Tabasco*. CONAGUA.
- Delgado López, E. (2002) *El mapa: importante medio de apoyo para la enseñanza de la historia*. *Revista Mexicana de Investigación Educativa* 7(15), 331-356.
- Dent, B., Torguson J., & Hodler T. (2007). *Cartography. Thematic Map Design*. McGraw-Hill.
- Departamento de Agricultura de Estados Unidos. (1999). *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*.
- Deslisles Batista, P., & Ferman, E. (2018). *Los descriptores de la cartografía temática satelital para la gestión de emergencia pos desastres: caso inundaciones*. *Revista Ciencia y Tecnología* no. 23, 143-157.
- Diario Oficial de la Federación. (03/04/2015). Declaratoria de Desastre Natural por la ocurrencia de lluvia severa del 21 al 23 de marzo de 2015 y lluvia severa, granizo e inundación pluvial y fluvial del 25 al 29 de marzo de 2015, en 24 municipios del Estado de Veracruz Ignacio de la Llave.
- Diario Oficial de la Federación. (04/11/2015). Declaratoria de Emergencia por la presencia de inundación fluvial en los municipios de Nautla y San Juan Evangelista del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, y por inundación pluvial en el municipio de Tlacotalpan, ocurridas del 16 al 20 de octubre de 2015, y por movimiento de ladera al municipio de Huayacocotla de dicha entidad federativa, ocurrido del 16 al 21 de octubre de 2015.
- Diario Oficial de la Federación. (17/08/2016). Declaratoria de Desastre Natural por la ocurrencia de lluvia severa e inundación fluvial los días 5, 6 y 7 de agosto de 2016 en 86 municipios del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave.
- Diario Oficial de la Federación. (21/12/2016). Guía de Contenido Mínimo para la Elaboración de del Atlas Nacional de Riesgos. Tomo DCCLIX, no. 15, 38-75.
- Diario Oficial de la Federación. (24/10/2017). Declaratoria de Desastre Natural por la ocurrencia de lluvia severa e inundación fluvial del 27 de septiembre al 9 de octubre de 2017, en 39 municipios del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave.

- Diario Oficial de la Federación. (21/09/2020). ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 Regiones Hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos.
- Diario Oficial de la Federación. (09/09/2021). Declaratoria de Desastre Natural por la ocurrencia de huracán Grace (lluvia seca), inundación pluvial y fluvial del 20 al 24 de agosto del 2021, en 43 municipios del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave.
- Díaz González J. (2010). Reseña de la tormenta tropical “Matthew” del Océano Atlántico. México: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional.
- Diez Herrero, A., Laín Huerta, L., & Llorende Isidro, M. (2008). *Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración*. Instituto Geológico Minero de España.
- Diez, A., Llorende, M., Ballesteros, J & Ruiz, V. (2009). *Riesgo por avenidas e inundaciones fluviales* en Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra 17 (3), 254-263.
- Domínguez, M., Carrizosa, E., Arganis, J., Esquivel, G., González, C., Martínez, C., Hincapié, L., & Osyana, R. (2017). *Estudio para regionalizar los gastos generados por avenidas máximas, como base para la elaboración de mapas de peligro por inundaciones fluviales en todas las cuencas de la república mexicana*. Instituto de Ingeniería, UNAM. Tomos I al IV. Informe Técnico. Editado por CENAPRED.
- Dorling, D., & Fairbairn, D. (1997) *Mapping. Ways of representing the world*. pp. 38-42.
- Douben, K. (2006). *Characteristics of river floods and flooding. A global Overview*. Irrigation and Drainage vol. 55, S9-S21.
- Dourojeanni, A. (2004). “Si sabemos tanto sobre qué hacer en materia de gestión integrada del agua y cuencas ¿por qué no lo podemos hacer?” en el *Manejo Integral de Cuencas en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, 135-172.
- Edney, M. (2005) *Putting “Cartography” into the History of Cartography: Arthur H. Robinson, David Woodward and the creation of a discipline*. Cartographic perspectives, no. 55, 14-29.
- Eslava Morales, H; Jiménez Espinosa, M; Salas Salinas, M; García Jiménez, F; Vázquez Conde, M; Baeza Ramírez, C; & Mendoza Estrada, D. (2004). “Elaboración de mapas de riesgo por inundaciones y avenidas súbitas en zonas rurales, con arrastre de sedimentos” en *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos*, fenómenos hidrometeorológicos de la serie Atlas Nacional de Riesgos, editada por CENAPRED.
- European Exchange Circle on Flooding Map, EXCIMAP. (2007). *Handbook on Good practices for flood mapping in Europe*. Water Directors.
- Franzi, L. (2012). “Flood Risk Management in Rivers and Torrents” en *Risk Management for the future-Theory and Cases*, 233-274.
- Fuchs, S., Spachinger, K., Dorner, W., Rochman, J., & Serrhini, K. (2009). *Evaluating cartographic design in flood risk mapping*. Environmental Hazards 8 (52-70).
- Fuentes Mariles, O; Matías Ramírez, L; Jiménez Espinosa, M; Mendoza Estrada, D; & Baeza Ramírez, C. (2004). “Elaboración de mapas de riesgo por inundaciones costeras por marea de tormenta” en *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos*, fenómenos hidrometeorológicos de la serie Atlas Nacional de Riesgos, editada por CENAPRED.
- Galvis Lagos, M. (2007). *La generalización en cartografía básica y temática*. Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico. Ingeniería y Tecnología, 207-239.
- García Acosta, V. (2005). *El riesgo como construcción social y la construcción social del riesgo*. Desacatos no. 19, 11-24.
- García de León Loza, A. (1989). La metodología del valor índice medio. Investigaciones geográficas núm 19.

- García de Miranda, E. (2014). *Apuntes de Climatología*. México.
- Guerrero, A. (11/09/2017). Nautla sufrió inundación por Katia. El Herald de Martínez.
- Giraldo Restrepo, J. C. (2016). *Educación geográfica, Riesgos Socioambientales y Google Earth*. Revista DIM: Didáctica, Innovación y Multimedia, no.34.
- Girón Deleito, J. (2018). *Historia de la Cartografía*. La evolución de los mapas. España: Edición Personal.
- Gobierno de México. (2017). Ciclones que han impactado el estado de Veracruz periodo 1999-2014. Portal de datos abiertos [en línea] Disponible en: [Datos Abiertos de México - ciclones que han impactado al estado de Veracruz](#).
- Gómez Escobar, M. (2004). *Métodos y Técnicas de la Cartografía Temática*. México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- González, A. (2020). A 25 años de la tromba Misanla aún está en riesgo. El Demócrata,
- Gutiérrez Bonilla, L., Monfort Guillén, F., & López Flores, E. (2006). “Impacto económico en el sector agrícola” en Inundaciones 2005 en el Estado de Veracruz. México: Universidad Veracruzana & Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología.
- Hernández, J & Vieyra, A. (2010). *Riesgo por inundaciones en asentamientos precarios del periurbano Morelia, una ciudad media mexicana ¿El desastre nace o se hace?* Revista de Geografía Norte Grande no. 47, 45-62.
- Hernández Unzón, A., Bravo Lujano, C., & Díaz González, J. (2010). Reseña del Huracán “Karl” del Océano Atlántico. México: Coordinación General del Servicio Meteorológico.
- Hernández Uribe, R., Barrios Piña, H & Ramírez, A. (2017). *Análisis de Riesgo por Inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac*. Tecnología y Ciencias del Agua, 8 (3), 5-25.
- Ibáñez Reguera, R. (2016). Análisis de la vulnerabilidad de inundación en la Ciudad de Misanla, Veracruz. [Tesis Maestría] México: Universidad Veracruzana.
- INEGI. (1984). Conjunto de Datos de Aguas Superficiales serie I.
- INEGI. (1990). Principales Resultados por Localidad (ITER) en Censo de Población y Vivienda 1990.
- INEGI. (2000a). Conjunto de datos vectoriales de la serie topográfica. Carretera. Escala 1: 1 000 000.
- INEGI. (2000b). Principales Resultados por Localidad (ITER) en Censo de Población y Vivienda 2000.
- INEGI. (2001a). Conjunto de datos vectoriales Fisiográfico. Continuo Nacional serie I. Provincias fisiográficas. Escala 1: 1 000 000.
- INEGI. (2001b). Conjunto de datos vectoriales Fisiográfico. Continuo Nacional serie I. Sistemas topoformas. Escala 1: 1 000 000.
- INEGI. (2001c). Conjunto de datos vectoriales Fisiográfico. Continuo Nacional serie I. Subprovincias fisiográficas. Escala 1: 1 000 000.
- INEGI. (2001d). Diccionario de Datos Fisiográficos (Vectorial). Escala 1:1 000 000
- INEGI. (2008). Unidades climáticas. Escala 1:1 000 000.
- INEGI. (2009). Estadística. Serie por entidad federativa. México.
- INEGI. (2010a). “Cuenca R. Nautla y Otros. Región H. Tuxpan - Nautla” de Red hidrográfica edición 2.0. Escala 1: 50 000.
- INEGI. (2010b). Principales Resultados por Localidad (ITER) en Censo de Población y Vivienda 2010.
- INEGI (2018). Conjunto de datos vectoriales del uso del suelo y vegetación. Continuo Nacional Serie VII. Escala 1:250 000.

- INEGI. (2019). Conjuntos de datos vectoriales de información topográfica de Veracruz de Ignacio de la Llave Serie VI. Escala: 1:250 000.
- INEGI. (2020a). Censo de Población y Vivienda 2020.
- INEGI. (2020b). Marco geoestadístico 2020.
- INEGI. (2020c). Principales Resultados por Localidad (ITER) en Censo de Población y Vivienda 2020.
- INEGI. (2022a). Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM). Descarga por área definida en resolución 30 m.
- INEGI. (2022b). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas.
- INEGI. (2022c). Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL).
- INIFAP & CONABIO (1995). Edafología. Escala 1:250 000 y 1:1 000 000.
- Jacobson, D. (2006). Cartography en *Encyclopedia of Human Geography*, 28-29.
- Joly, F. (1982). *La Cartografía*. ARIEL Geografía.
- Karmakar, S., Simonovic, S., Peck, A., & Black, J. (2010). An Information System for Risk-Vulnerability Assessment to Flood. *Journal of Geographic Information System*. 2 (129-146).
- Kraak Menno, J., & Fabrikant, S. (2017). *Of maps, cartography and the geography of the International Cartographic Association*. *International Journal of Cartography*, 9-31.
- Kraak Menno, J., & Ormeling, F. (2010). *Cartography. Visualization of Spatial Data*. 3era edición. Inglaterra: Pearson Education Limited.
- López Rodríguez, E. (2015). “Los mapas temáticos de riesgos como elementos divulgativos y didácticos de concienciación social” en *Aplicaciones TIG en el análisis territorial*. España: Nieto Masot, A., 191-209.
- Luna Diaz Peón, A., & Rivera Silva, D. (2011) “Los ciclones tropicales en Veracruz y sinopsis del huracán Karl” en *Las inundaciones de 2010 en Veracruz. Memoria social y medio físico*. México: Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico.
- Mattivi, P., Franci, F., Lambertini, A., & Bitelli, G. (2019). TWI computation: a comparison of different open source GISs. *Open Geospatial Data, Software and Standards* 4:6.
- Martínez Rubiano M. (2009) *Los geógrafos y la teoría de riesgos y desastres ambientales*. Perspectiva Geográfica: Revista del Programa de Estudios de Posgrado de Geografía, vol. 14, 241-263.
- Melchor Marroquín, J., & Román Olazarán, M. (2016). “Estimación de la Erosión Hídrica en la Subcuenca del Río Misantla Mediante un SIG” en *Innovando el Agro Veracruzano 2016: Frente a los retos de la relación Sociedad-Naturaleza*. México: Colegio de Postgraduados (pp. 343- 363).
- Mendiona Solano R. (1996). Efectos de los huracanes Opal y Roxanne en el estado de Veracruz. México: Protección Civil del Estado de Veracruz en CENAPRED. (1996). PREVENCIÓN. No. 13.
- Meza y Carmona, A. (2019). La inundación del 95. El Chiltepin.
- Meza y Carmona, A. (2020). El paso del Ciclón Janet por Misantla en 1955. Disponible en: <http://misantla.mx/el-paso-del-ciclon-janet-por-misantla-en-1955/>
- Mesías Rosas, O. (2017). *Del mapa de amenaza natural a los mapas de riesgo: un paso fundamental para su gestión*. Colombia: Arquetipo, vol.15, 21-37.
- Montoya Arango, V. (2007). *El mapa de lo invisible. Silencios y gramática del poder en la Cartografía*. Universitas Humanística, no. 63, 155-179.
- Moreira Madueño, J. (1999). “Las nuevas tecnologías y los cambios en la Cartografía” en *La Cartografía Hoy ¿Evolución o Revolución?* Boletín de Geógrafos Profesionales de Andalucía. Andalucía Geográfica, no. 5, 21-23.

- Morrison, J. (1977). *The Science of Cartography and Its Essential Process*.
- Nájera Hernández, J. (2005). *El mapa de riesgos de la Naturaleza*. MAPFRE Empresas. División de grandes Riesgos, 90, 15-30.
- Nunes Da Silva, C., Palheta Da Silva, J., Nunes Chagas, C., Nogueira Castro, C. (2014) *The Cartography and The Espatial Representations: Search by Perfect Map*. Journal of Geographic Information System, 6, 624-635.
- Núñez de las Cuevas, R. (2012) *El poder de los mapas*. Estudios Geográficos, 73 (273), 581-598.
- Ochoa Martínez, C., Utrera Zárate, A., & Pérez Elorriaga, J. (2006). Precipitaciones Intensas en el Estado de Veracruz Durante el 2005 en Inundaciones 2005 en el Estado de Veracruz. México: Universidad Veracruzana & Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología.
- Ojeda, O. (1999). “La Cartografía Temática: la interpretación frente a la métrica” en *La Cartografía Hoy ¿Evolución o Revolución?* Boletín de Geógrafos Profesionales de Andalucía. Andalucía Geográfica, no. 5, 13-16.
- Organización Panamericana de la Salud. (2006). Guía para la elaboración de mapas de riesgos comunitarios. Ecuador: OPS.
- Ormeling, F. (2015) “Mapas Temáticos” en *El mundo de los mapas*. Grupo de Trabajo del Año Internacional del Mapa, 40 – 50.
- Oropeza Orozco, O., Cram Heydrich, S., & Fernández Lomelín. (2016) “Capítulo 12. Panorama General de las Inundaciones” en *Geografía de México: Una reflexión espacial contemporánea*, México: Instituto de Geografía, UNAM.
- Ortega Gil, G., & Velázquez Aguirre, L. (1996). Temporada 1995 de Huracanes en México. México: Comisión Nacional del Agua en CENAPRED. (1996). PREVENCIÓN. No. 13.
- Ortega Valcárcel, José. (2000). *Los horizontes de la Geografía. Teoría de la Geografía*. España: Ariel.
- Paira, A. (2007). *Introducción a la Cartografía Temática*. Cátedras de Cartografía Temática y Aplicaciones Cartográficas, Santa Fe, Argentina. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas.
- Palma, R. (2006). “Variaciones demográficas y ajustes territoriales en Veracruz durante el siglo XX” en Inundaciones 2005 en el Estado de Veracruz. México: Universidad Veracruzana & Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología.
- Pérez Morales, A., Gil Guirado, S., & Quesada Garcia. (2021). *Do we all stand equally towards the flood? Analysis of the social vulnerability in Spanish Mediterranean Coast*. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 88.
- Pérez Morales, A., Navarro Hervás, F., & Álvarez Rogel. (2016). *Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad social en poblaciones afectadas por el peligro de inundación: el caso de Águilas (Murcia, sureste ibérico)*. Documents d’Anàlisi Geogràfica, 62, 133-159.
- Perles Rosello, Ma. J. (2004). *Evolución histórica de los estudios sobre riesgos. Propuestas temáticas y metodológicas para la mejora del análisis y gestión del riesgo desde una perspectiva geográfica*. Baetica. Estudios de Arte, Geografía e Historia, 26, 103-127.
- Principi, N. (2020). *El enfoque sistémico en el análisis de riesgos en Geografía*. Anuario de la División Geografía 14.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2015). *Índice de Desarrollo Humano para las Entidades Federativas, México 2015*. México: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2020). *Índice de Desarrollo Humano por municipio*.
- Propin, E. (2003). *Teorías y métodos en Geografía Económica*. Instituto de Geografía, UNAM.

- Pueyo Campos, A., Postigo Vidal, R., Arranz López, A., Zúñiga Antón, M., Sebastián López, M., Alonso Logroño, M.P., & López Escolano, C. (2016): *La Cartografía Temática: Una Herramienta para la Gobernanza de las Ciudades. Aportaciones de la Semiología Gráfica Clásica en el Contexto de los Nuevos Paradigmas Geográficos*. Revista de Estudios Andaluces, 33 (1), 84-110.
- Ramos Radilla, V (coord.) (2004). Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Conceptos Básicos sobre Peligros, Riesgos y su Representación Geográfica editado por CENAPRED.
- Remote Sensing Phenology. (2018). NDVI, the Foundation for Remote Sensing Phenology. USGS.
- Renda, E., Rozas Garay, M., Moscardini, O., & Torchia, N. (2017). *Manual para elaboración de mapas de riesgo*. Argentina: Programa Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Ribera Masgrau, L. (2004). *Los mapas de riesgo de inundación: representación de vulnerabilidad y aportaciones de innovaciones tecnológicas*. Doc. Anàl. Geogr. 43, 153-171.
- Roa Lobo, J., & Kamp, U. (2012). Uso del índice topográfico de humedad (THI) para el diagnóstico de la amenaza de desborde fluvial, Trujillo-Venezuela. Revista Geográfica Venezolana, Vol. 53(1), 109-126.
- Robinson, A., Morrison, J., Muehrcke, P., Kimberling, J., & Gupitill, S. (1995). *Elements of Cartography*. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc, 30-38.
- Rodríguez, H. (2006). “Desarrollo Humano y Desastres en Veracruz” en Inundaciones 2005 en el Estado de Veracruz. México: Universidad Veracruzana & Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología.
- Rodríguez Hernández, L. (2016). Servicios ambientales hidrológicos proporcionados por los ecosistemas forestales de la cuenca del río Misantla Veracruz. [Tesis Maestría] México: Universidad Veracruzana.
- Rodríguez Hernández, L., Valdés Rodríguez, O., Ellis, E., & Armenta Montero, S. (2020). *Análisis de vulnerabilidad de la cuenca del río Misantla ante fenómenos hidrometeorológicos extremos*. Revista Bio Ciencias 7, e900.
- Rodríguez Vangort, M. (2018). *Cuantificación de vulnerabilidad y riesgo: las inundaciones en Motozintla de Mendoza, Chiapas, México*. Revista Cartográfica 97, 81-104.
- Rodríguez Villafuerte, B. (2006). “Las inundaciones y la dinámica demográfica en el estado de Veracruz” en Inundaciones 2005 en el Estado de Veracruz. México: Universidad Veracruzana & Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología.
- Ruiz Barradas, A. (2011). “Lluvias extremas en Veracruz en 2010 y su relación con la variabilidad natural del clima” en Las inundaciones de 2010 en Veracruz. Memoria social y medio físico. México: Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico.
- Rystedt, B. (2015) “Cartografía” en *El mundo de los Mapas*. Grupo de Trabajo del Año Internacional del Mapa, 7-13.
- Salas Salinas, M. (2011). “Metodología para la elaboración de Mapas de Riesgo por inundación en zonas urbanas” de la serie *Atlas Nacional de Riesgos*, editada por CENAPRED.
- Salas Salinas, M. & Jiménez Espinosa, M. (2004). *Inundaciones. Fascículos*. CENAPRED.
- Salitchev, K. (1979). *Cartografía*. La Habana: Pueblo y educación.
- Saurí Pujo, D. (2003). *Tendencias recientes en el análisis geográfico de los riesgos ambientales*. AREAS Revista de Ciencias Sociales, no. 23, 17-30.
- Secretaría de Desarrollo Social [SEDESOL]. (2004). Guía Metodológica para la Elaboración de Atlas de Peligros a Nivel Ciudad (Identificación y zonificación).

- Secretaría de Protección Civil. (2015). *Atlas. Peligros Geológicos e hidrometeorológicos del Estado de Veracruz*. México: Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Editores: Mora González, I., Morales Barrera, W., & Rodríguez Elizarrás, S.
- Secretaria de Protección Civil. (2021). *Diagnóstico de las inundaciones en las cuencas de los ríos principales del estado de Veracruz: Cuencas del río Misantla, Colipa y Llanuras de Actopan*. México: Gobierno del Estado de Veracruz
- Seidel, J., Dostal, P., & Imbery, F. (2012). "Analysis of Historical River Flood- A Contribution Towards Modern Flood Risk Management" en *Risk Management for the future. Theory and cases*, 275-294.
- SEMARNAT. (2002). Informe de la situación general del medio ambiente en México.
- Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, siglas en inglés). (2023). Imagen "LC90250462023073LGN00" de SENTINEL 9 colección 2 nivel 2 (obtenida 14/03/2023) en Earth Explorer. SIAP. (2020a). Anuario estadístico de la producción agrícola. Por ubicación geográfica (municipal). (Ciclo Perenne; OI + PV). Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- SIAP. (2020b). Avance mensual de la producción pecuario. Por ubicación geográfica (municipal). Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/avance_pecuario/
- SIAP. (2020c). Estadística de Producción agrícola 2020. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php
- SINA. (2021). Disponibilidad de cuencas hidrológicas. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=cuencas>
- Smith, R., Vélez, J., Rave, C., Caballero, H., Botero, V., & Escobar, D. (2004). Evaluación de riesgos en cuencas urbanas.
- SMN. (2022). Información Estadística Climatológica. Disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>
- SMN. (2023). "2016", "2017", "2020", "2021", "2022" y "2023" en Información histórica [en línea] Disponible en: [Información Histórica \(conagua.gob.mx\)](http://informacionhistorica.conagua.gob.mx).
- SMN, SEMARNAT & CONAGUA. (2020a). Estadísticas de las estaciones "Tenochtitlán", "Misantla" y "El Raudal".
- SMN, SEMARNAT & CONAGUA. (2020b). Normales climatológicas de las estaciones "Misantla" y "El Raudal".
- SMN, SEMARNAT & CONAGUA. (2020c). Valores mensuales de estación "Tenochtitlán".
- Sistema Nacional de Protección Civil México. (2017). Subcuenta de Investigación para la Prevención del FOPREDEN Informe Técnico Final "Estudio para regionalizar los gastos generados por avenidas máximas, como base para la elaboración de mapas de peligro por inundaciones fluviales en todas las cuencas de la República Mexicana. CENAPRED.
- Tejeda Martínez, A. (2006). "Panorámica de las inundaciones en el estado de Veracruz durante el 2005" en *Inundaciones 2005 en el Estado de Veracruz*. México: Universidad Veracruzana & Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología.
- Tejeda Martínez, A (Coord.). (2011). *Las inundaciones de 2010 en Veracruz. Memoria social y medio físico*. México: Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico.
- Tejeda Martínez, A., & Arenas Fuentes, V. (2012). *Las inundaciones de 2010 en Veracruz. La biósfera, escenarios y herramientas*. México: Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico.
- Travieso Bello, A. (2011). "Aplicación modelo Presión-Estado-Impacto-Respuesta al análisis de riesgos por inundaciones en la cuenca del río Nautla, Veracruz" en *Las inundaciones de 2010 en*

- Veracruz. La biosfera, escenarios y herramientas. México: Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico.
- Tyner, J. (2010). *Principles of Map Design*. New York: The Guilford Press.
- UNESCO-IHE Institute for Water Education. (s/f). Flood Vulnerability Indices (FVI) [en línea] Disponible en: <http://www.unesco-ihe-fvi.org/>
- Universidad de Sevilla. (2015a). Suelos de Andalucía Occidental “Luvisol Crómico”. Disponible en: Perfil de suelo (us.es).
- Universidad de Sevilla. (2015b). Suelos de Andalucía Occidental “Phaozem Háptico”. Disponible en: Perfil de suelo (us.es).
- Vargas Martínez, N., Verdugo Rodríguez, N., Arbelaez Salazar, J., Caicedo Cattascal, F., & Triana García, J. (2017). *Guía Metodológica para la elaboración de mapas de inundación*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.
- Vergara Tenorio, M., Ellis, E., Cruz Aguilar, J., Alarcón Sánchez, L & Galván del Moral, U. (2011). *La conceptualización de las inundaciones y la percepción del riesgo ambiental*. Política y Cultura, no. 36, 45-69.
- Vozenilek, V. (2015). “Diseño de mapas” en *El mundo de los Mapas*. Grupo de Trabajo del Año Internacional del mapa, 24-33.
- Weier, J., & Herring, D. (2000). Measuring Vegetation (NDVI & EVI). Earth Observatory.
- Wood, D. (1992). *How Maps Work*. CARTOGRAPHICA, 9(3 & 4), 66-74.
- World Bank Group. (2016). *Methods in Flood Hazard and Risk Assessment*.
- Zambrano, L. (2017). “La visión de las cuencas en el manejo del agua” en *El Agua en México*. México: Fundación Friedrich Ebert, 43-56.
- Zeng, X., Du, Q., Ren, F., & Zhao, F. (2013) *Design and implementation of a web interactive Thematic Cartography*. Bol. Cienc. Geod., sec. Artigos Curitiba, 19(2), 172-190.
- Zepeda Ramos, O., Muñoz Hernández, E & Torres Palomino, L. (2004) “Aspectos geográficos y tecnológicos” en Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Conceptos Básicos sobre Peligros, Riesgos y su Representación Geográfica. CENAPRED [Versión Electrónica, 2014].
- Zuñiga, E., & Magaña, V. (2017). *Vulnerability and risk to intense rainfall in Mexico: The effect of land use cover change*. Investigaciones Geográficas, Instituto de Geografía, UNAM.

Referencias cartográficas:

1. Alonso, J., & Pérez, N. (2012). TÉCNICAS DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA (SIMBOLOGÍA) DE DATOS TEMÁTICOS SISTEMA DE INFORMACIÓN DEL ATLAS NACIONAL DE ESPAÑA (15).
2. Cervantes Pérez, J., & Córdoba Malibrán, E. (2015). “Peligros Hidrometeorológicos” en Atlas de peligros geológicos e hidrometeorológicos (95).
3. Fang, J., Li, M., Shi, P. (2015). Mapping Risk of the World. En *World Atlas of Natural Disaster Risk*. Shi & Kaspersen (eds.) (79 y 94).
4. Ibáñez Reguera, R. (2016). Análisis de la vulnerabilidad de inundación en la Ciudad de Misantla, Veracruz. [Tesis Maestría] México: Universidad Veracruzana (57).

5. Jiménez Román, A., & Maderey Rascon, L. (1992). Escurrimiento medio anual en *Atlas Nacional de México*, Tomo II IV.6.4, Instituto de Geografía, UNAM.
6. Kraak Menno, J., & Ormeling, F. (2010). *Cartography. Visualization of Spatial Data*. 3era edición. Inglaterra: Pearson Education Limited (140 y 150).
7. López Rodríguez, R., & Acevedo Rosas, F. (1995). Zonas con riesgo de inundaciones en el estado de Veracruz. *La Ciencia y el Hombre*, septiembre-diciembre 1995, no. 21 (146).
8. Organización Mundial de la Salud- Organización Meteorológica Mundial (OMS-OMM). (2012). *Atlas Mundial de la Salud y Clima*. (26 y 27).
9. Ormeling, F. (2015) “Mapas Temáticos” en *El mundo de los mapas*. Grupo de Trabajo del Año Internacional del Mapa. (42 y 48)
10. Ortiz Alvarez, M., Juárez Gutiérrez, M., & Gómez Escobar, M. (1980). Población en edad reproductiva en *Atlas Nacional de México*, Tomo I III.1.6, Instituto de Geografía, UNAM.
11. Rodríguez Hernández, L. (2016). Servicios ambientales hidrológicos proporcionados por los ecosistemas forestales de la cuenca del río Misantla Veracruz. [Tesis Maestría] México: Universidad Veracruzana (104).
12. Salitchev (1979) *Cartografía*. La Habana: Pueblo y Educación. (64, 77, 79, 81, 86 y 92).
13. Sánchez Yáñez, E., Sánchez Salazar, M., Martínez Galicia, M., & Cervantes Ramírez, M. (1985). Usos del agua superficial y subterránea por entidad federativa en *Atlas Nacional de México* Tomo III VI.1.2, Instituto de Geografía UNAM.
14. Secretaria de Protección Civil. (2021). *Diagnóstico de las inundaciones en las cuencas de los ríos principales del estado de Veracruz: Cuencas del río Misantla, Colipa y Llanuras de Actopan*. México: Gobierno del Estado de Veracruz. (10 y 11).
15. Universidad del Estado de Pensilvania. (2020). Distribución de los casos de sida en Estados Unidos, 1988 en *The Nature of Geographic Information Statistical Surfaces*.