



# ATLAS DE RIESGOS POR FENÓMENOS NATURALES Y VULNERABILIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN COZUMEL, QUINTANA ROO



**Unidos** somos  
más **Grandes**

# INDICE

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b>	<b>6</b>
1.1. Objetivos	7
1.2. Antecedentes históricos destacables	8
1.2.1. Periodo 1988-2003	8
1.2.2. 2004: Características e impacto socioeconómico por las lluvias atípicas e impredecibles de los días 11 al 13 de junio de 2004 en el municipio de Cozumel	8
1.2.3. 2005: Descripción general de las características e impacto socioeconómico del huracán “Emily” en el municipio de Cozumel	12
1.2.5. Periodo 2006-2009	16
1.2.6. 2012: Características e impacto socioeconómico de las intensas lluvias registradas por la presencia de la tormenta tropical Ernesto en el estado de Quintana Roo	16
1.2.7. Periodo 2013-2015	17
1.2.8. Periodo 2017-2019	17
1.2.9. Año 2020	18
1.3. Componentes de la Gestión Integral de Riesgos en el Municipio	19
1.3.1. Consejo municipal de protección civil	20
1.3.2. Dirección de Protección Civil, Bomberos y Guardavidas del municipio de Cozumel (Unidad de PC Cozumel)	20
1.3.3. Comités operativos especiales	21
1.3.4. Grupos voluntarios	21
1.3.5. Inventario de programas especiales de Protección Civil	21
1.3.6. Infraestructura física estratégica	21
1.3.7. Instrumentos financieros de gestión de Riesgos	22
1.3.8. Inventario de Refugios Temporales	22
1.3.9. Simulacros	22
1.3.10. Sistema de alerta temprana municipal	22
1.3.11. Brigadas	23
1.3.12. Centros de acopio	23
1.3.13. Centros de operaciones	23
<b>CAPÍTULO 2: DETERMINACIÓN DE NIVELES DE ANÁLISIS Y ESCALAS DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA</b>	<b>25</b>
2.1. Mapas generales	25
2.1.1. Límites geográfico - político	25
2.1.2. Localidades	25
2.1.3. Topografía general	26

## **CAPÍTULO 3: CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL MEDIO NATURAL** **31**

3.1. Fisiografía	31
3.2. Geomorfología	31
3.3. Geología	35
3.4. Edafología	35
3.5. Clima	36
3.5.1. Temperatura media anual	36
3.5.2. Precipitación media anual	36
3.5.3. Cambio climático	38
3.6. Tectónica	38
3.7. Erosibilidad	39
3.8. Hidrografía	39
3.9. Hidrología	39
3.10. Cuevas y cavernas	39
3.11. Uso de suelo y vegetación	46
3.12. Áreas naturales protegidas	46

## **CAPÍTULO 4: CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEMOGRÁFICOS, SOCIALES y ECONÓMICOS** **52**

4.1. Demografía actual y sus proyecciones futuras	52
4.2. Densidad de población	54
4.3. Escolaridad	54
4.4. Población con discapacidad	54
4.5. Lengua	54
4.6. Pobreza	54
4.7. Hacinamiento y marginación	58
4.8. Actividades económicas	58
4.9. Expansión de la mancha urbana	58

## **CAPÍTULO 5: CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS EXPUESTOS DEL MUNICIPIO** **60**

5.1. Metodología de información por infraestructura	60
5.1.1. Infraestructura del Sector Educativo	61
5.1.2. Infraestructura del Sector Salud	62
5.1.3. Infraestructura de Carreteras y Red vial	63
5.1.4. Infraestructura Comercial	65
5.1.5. Infraestructura de Vivienda	66
5.1.6. Otro tipo de infraestructura (Sitios de interés)	67
5.2. Resultados por infraestructura	68
5.2.1. Infraestructura del Sector Educativo	68
5.2.2. Infraestructura del Sector Salud	71

5.2.3. Infraestructura de Carreteras y Red vial	71
5.2.4. Infraestructura Comercial	73
5.2.5. Infraestructura de Vivienda	73
5.2.6. Otro tipo de infraestructura (Sitios de interés)	76

## **CAPÍTULO 6: IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS, PELIGROS, VULNERABILIDAD Y RIESGOS ANTE FENÓMENOS PERTURBADORES** **80**

6.1. Identificación y modelación de peligro	80
6.1.1. Karsticidad	80
6.1.2. Ciclones tropicales	97
6.1.3. Precipitaciones	117
6.1.4. Inundaciones	121
6.1.5. Sequía	138
6.1.6. Incendio forestal	142
6.1.7. Tsunami	148
6.1.8. Origen antropogénico	161
6.2. Impacto del Cambio Climático	212
6.2.1. Actividad ciclónica (huracanes)	212
6.2.2. Impacto en los niveles de precipitación	216
6.2.3. Pérdida de Biodiversidad y Hábitats Naturales	217
6.3. Caracterización de vulnerabilidad social	218
6.3.1. Antecedentes de la vulnerabilidad social en Cozumel	220
6.3.2. Estimación de la vulnerabilidad social asociada a desastres en el municipio de Cozumel – CENAPRED	221

## **CAPÍTULO 7: ESTIMACIÓN DEL RIESGO** **255**

7.1. Análisis de la exposición y estimación de la vulnerabilidad	255
7.1.1. Asignación de funciones de vulnerabilidad para inundación	256
7.1.2. Funciones de vulnerabilidad para viento (estructuras)	258
7.1.3. Funciones de vulnerabilidad para inundación (vías)	259
7.1.4. Estimación de pérdidas humanas	260
7.2. Estimación de pérdidas	261
7.3. Calculo Del Riesgo	261
7.4. Resultados	263
7.4.1. Viento	263
7.4.2. Inundación	264
7.4.3. Mapas de distribución de pérdidas económicas	265

## **BIBLIOGRAFÍA** **282**

# 1

# INTRODUCCIÓN



**Unidos** somos  
más **Grandes**

  
**Cozumel**  
AYUNTAMIENTO  
2021-2024

# CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Por su ubicación geográfica el Municipio de Cozumel se encuentra expuesto a diversos fenómenos naturales, principalmente aquellos de origen hidrometeorológico. Dadas las características de su infraestructura (e.g., tipo de material, cubiertas, etc.), estos activos pueden ser vulnerables y sufrir daños materiales y pérdidas económicas cuantiosas. Esto sin mencionar el posible incremento de eventos extremos por cambio climático. Históricamente, el municipio de Cozumel ha sido impactado por diferentes fenómenos de origen climático, destacando tormentas tropicales que derivaron huracanes de alta severidad y lluvias extremas. Por ejemplo, el Huracán Wilma (2005) y el Huracán Gilberto (1988) ambos de categoría 5. Estos eventos ocasionaron daños en el territorio mexicano y particularmente al municipio de Cozumel.

Precisamente por su singular paisaje kárstico del Municipio. Los sistemas kársticos son conocidos por sus redes de drenaje subterráneo y sus sumideros, que afectan a los ecosistemas de aguas superficiales y subterráneas. Precisamente por la complejidad de dichos sistemas, las perturbaciones externas, como los huracanes, tienen un impacto significativo tanto en los ecosistemas terrestres como en los marinos. En particular, el huracán Wilma en 2005 causó daños considerables al paisaje y, en consecuencia, a los sistemas hidrológicos.

Considerando posibles eventos futuros y la incidencia del cambio climático, Cozumel podría verse expuesto a eventos extremos con mayor recurrencia. De acuerdo con estudios de (Kerry, 2013) en clima, se estima una mayor actividad ciclónica (huracanes). En general, se espera un incremento cercano al 40% en los huracanes categoría 3 o mayor, similares a lo visto en Wilma y Gilberto. En contraste, es posible encontrar en los escenarios climáticos relacionado con Cozumel que se espera una reducción de los niveles de precipitación respecto a lo visto en las últimas décadas (European Climate Assessment and Dataset, 2022).

Dada las posibles consecuencias a los que se encuentran expuestos los activos en el municipio de Cozumel, el alcance de este Atlas de Riesgos considera un estudio formal del riesgo ante fenómenos de origen natural-antropogénico y medioambiental, los cuales incluyen peligros como: Geológico, Hidrometereológico, Químico Tecnológico, Sanitario Ecológico, y Socio Organizativos. En cada uno de los peligros se hará análisis cualitativo y/o cuantitativo. Además, se incluye la valoración de la vulnerabilidad social, así como un énfasis particular en el

medio ambiente como promotor de la justicia social y el desarrollo económico vinculados a las metas sobre agua limpia, la vida submarina, la vida en la tierra y la acción climática, resaltados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030.

El presente Atlas de Riesgos se suma a los esfuerzos previos en 2011 para Cozumel y el Atlas Estatal en 2018. Durante los últimos 15 años no existe una actualización a nivel municipal del atlas, cambios relevantes en la dinámica municipal, por ejemplo, el crecimiento poblacional, el turismo y nuevas urbanizaciones, entre otros son factores que el presente Atlas reconoce y considera como parte del estudio.

En este sentido, el presente trabajo es un esfuerzo del municipio tendiente al cumplimiento de la AGENDA 2030, así como el presente documento constituye una herramienta fundamental para la toma de decisiones enfocadas a salvaguardar la integridad física de los pobladores y de los bienes expuestos ante amenazas naturales y antropogénicas. Además, se podrá utilizar como una herramienta para la planeación de crecimiento, prevención de desastres, mitigación, distribución de recursos, entre otros.

La metodología y procedimiento que se seguirá para la elaboración del presente Atlas de Riesgos será de acuerdo con las bases para la estandarización del Atlas de Riesgos emitidas por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED,) además de las guías básicas para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), o metodologías internacionalmente reconocidas para la modelación de peligros y estimación de riesgo; así como de aquellas disponibles para la identificación de riesgos ante fenómenos asociados al cambio climático.

El Atlas de Riesgos se divide en 7 capítulos, el primero provee la introducción al documento, sus objetivos y los eventos catastróficos históricos de mayor relevancia en el pasado reciente del municipio, así como un análisis de los componentes actuales de la gestión integral de riesgos en el Municipio de Cozumel. El capítulo 2 informa sobre los determinantes de niveles de análisis y escalas de representación

cartográfica utilizadas para este documento. En los Capítulos 3 y 4 se reporta la caracterización de los elementos del medio natural y de los elementos demográficos, sociales y económicos respectivamente. El capítulo 5 muestra la metodología y resultados de su implementación, para desarrollar una base de datos de activos expuestos a las amenazas naturales. En el capítulo 6 se expone la identificación de las amenazas, peligros, vulnerabilidad y riesgos ante fenómenos perturbadores de origen natural. Finalmente, el capítulo 7 muestra la estimación del riesgo basada en la información de exposición y amenazas previamente analizada.

## 1.1. Objetivos

Analizar e identificar la susceptibilidad a los fenómenos perturbadores de origen natural en el Municipio de Cozumel, considerando los componentes de exposición, peligro y vulnerabilidad.

Objetivos específicos:

- Identificar los peligros naturales presentes en el municipio de Cozumel, resaltando aquellos producidos por fenómenos hidrometeorológicos.
- Identificar y caracterizar la vulnerabilidad social y física.
- Valorar los daños probables y su distribución geográfica.
- Integración de resultados en un Sistema de Información Geográfica (SIG).
- Elaboración de mapas temáticos para cada tipo de peligro identificado, con el fin de establecer grados de ponderación para cada uno de los fenómenos y sus variables involucradas.
- Jerarquización los resultados obtenidos a nivel de amenaza.

## 1.2. Antecedentes históricos destacables

La presente sección busca realizar un recuento de los desastres ocurridos en el pasado reciente en el Municipio de Cozumel. Para este propósito se considera como material de análisis la opinión experta del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) mediante las publicaciones especiales "Impacto socioeconómico de los desastres en" (CENAPRED, n.d.). El periodo de revisión de los daños y las pérdidas históricas abarcará desde el año 1988 hasta el año 2020, y considera tanto desastres ocurridos en Quintana Roo como en el municipio de Cozumel.

### 1.2.1. Periodo 1988-2003

En el año de 1988 se registraron 4 huracanes de los cuales solo Debby y Gilbert entraron a tierras nacionales; siendo este último el que impacto fuertemente a Quintana Roo, provocando la evacuación de 35,000 personas; 16 decesos; daños en 1,503 viviendas y 8,052 damnificados. Gilbert también golpeo a las entidades de Coahuila, Campeche, Nuevo León, Tamaulipas y Yucatán provocando en total una pérdida estimada de 76 millones de dólares.

En 1993 Veracruz, San Luis Potosí, Hidalgo, Guerrero, Tamaulipas y Quintana Roo fueron golpeados por el huracán Gert, provocando 40 muertos; 50,000 damnificados; 5,000 viviendas inundadas y 70,000 personas incomunicadas con una estimación total de 18.1 millones de pesos en pérdidas. Tanto solo dos años después (1995), Quintana Roo fue afectado por el huracán Opal el cual afectó 414 viviendas; 1,050 personas damnificadas, y daños a la infraestructura eléctrica y marítima. Adicional Opal, afectó 50,000 ha de selva baja, mediana y manglar; daños parciales en 45,000 ha de vegetación de dunas costeras, húmedas y selvas bajas en zonas de amortiguamiento.

Para el año 2000 nuevamente Quintana Roo se vio afectado por el paso del huracán Keith dejando pérdidas de alrededor de 42.4 millones

de pesos. En el mismo año Quintana Roo fue declarada zona de desastre por el FONDEN debido a incendios forestales con un monto en daños indirectos de 3.31 millones de pesos.

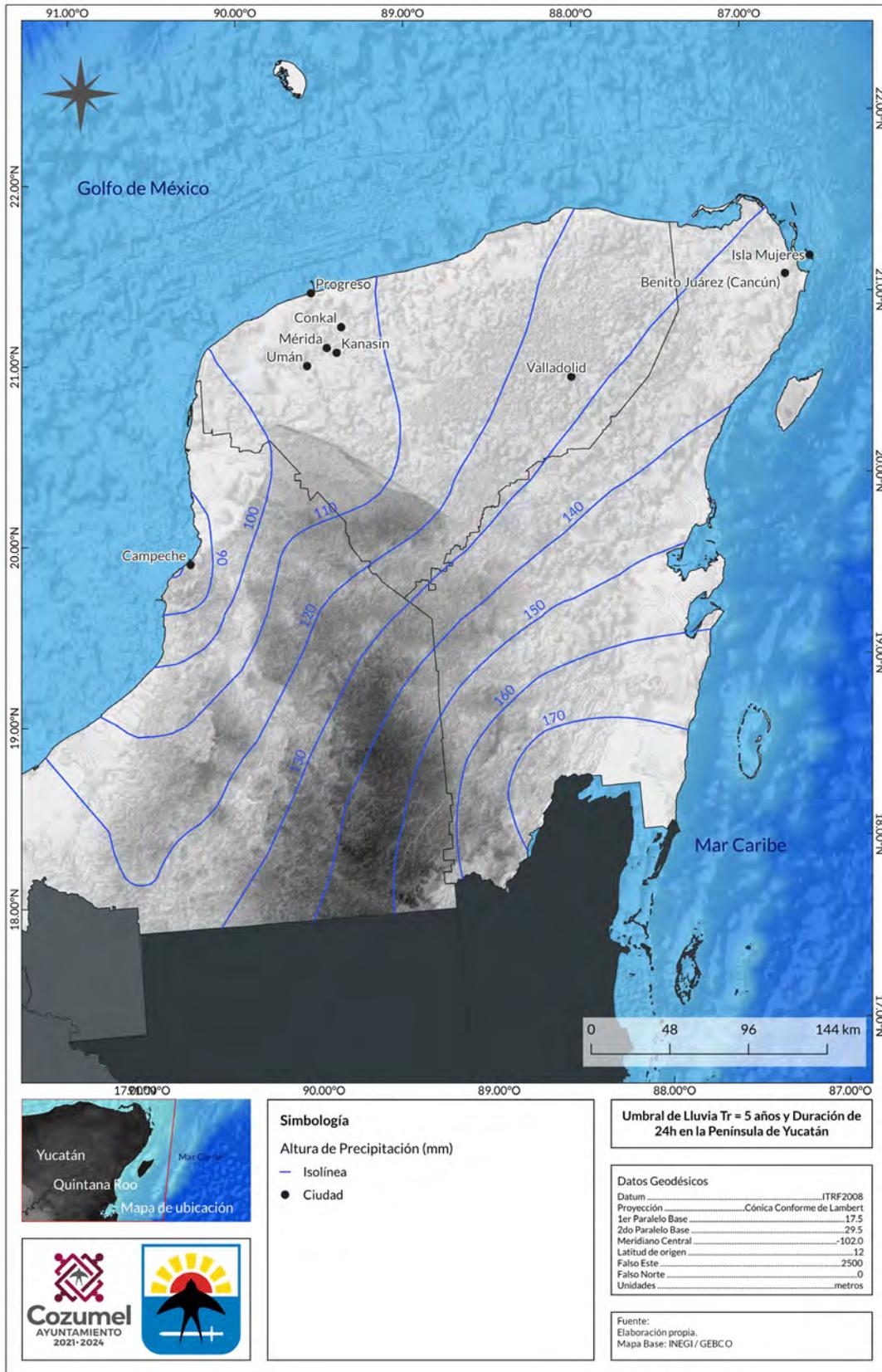
A finales del mes de agosto del 2001 la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA ahora SADER) solicitaron 118.2 millones de pesos con cargo al FONDEN por lluvias e inundaciones en el estado de Quintana Roo. En octubre del mismo año, el huracán Iris golpeó al estado dejando 2,500 damnificados.

Por último, en el año 2002 se registró el huracán Isidore con una estimación de pérdidas de casi 10,000 millones de pesos, con afectaciones en los estados de Yucatán (6,500), Campeche (2,300) y Quintana Roo (1,200); y en el año 2003 se emitió la Declaratoria de Emergencia a los municipios de Benito Juárez, Solidaridad, Cozumel, Felipe Carrillo Puerto, Lázaro Cárdenas, Othón P. Blanco, Isla Mujeres y José María Morelos del Estado de Quintana Roo con motivo de la inminente afectación de la tormenta tropical Claudette.

### 1.2.2. 2004: Características e impacto socioeconómico por las lluvias atípicas e impredecibles de los días 11 al 13 de junio de 2004 en el municipio de Cozumel

Con motivo de las intensas precipitaciones registradas el día 12 y 13 de junio de 2004, ocasionadas por la onda tropical no. 8, un grupo de investigadores del CENAPRED realizó una visita técnica a la isla de Cozumel. Dichas precipitaciones trajeron como consecuencia una alta precipitación de 298 mm en solo 24 hrs. **(siendo la de mayor magnitud en todo el país)**, y una acumulación de 410.5 entre el 10 y 14 del mismo mes. La precipitación de la estación Cozumel, superó el umbral de lluvia establecido para un periodo de retorno de 5 años, en la zona afectada, con un valor de 140 mm en 24 horas (figura 1.2.2-1). Más aún, el valor de 298 mm, supera la media de precipitación para el mes de junio en ese estado, que es de 177.50 mm

Figura 1.2.2-1. Umbral de lluvia TR =5 años y duración de 24 horas en la Península de Yucatán



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía ( INEGI) / General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)

(USMN), lo cual quiere decir que el día 12 de junio llovió poco más de una vez y media lo que llueve en promedio en el mes. Con esto se concluye que la precipitación en Cozumel del día 12 al 13 de junio es poco frecuente.

Las principales causas de la problemática de inundaciones fueron:

- a) De acuerdo con la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Cozumel (CAPA Cozumel), se detectó que, con lluvias de intensidad no muy alta, 50 mm en 24 hrs. ocurrían problemas en el funcionamiento del alcantarillado sanitario, por ejemplo, la salida de aguas negras en los puntos más bajos del área urbana (falta de un adecuado sistema de drenaje pluvial).
- b) La impermeabilidad de la zona urbana, debido al pavimento de las calles y a las estructuras de concreto en los predios, aunada a una disminución de la capacidad de infiltración en la zona adyacente a la zona urbana (hacia el este de la isla) debida a la saturación del suelo, provocaron que el volumen de agua que debía desalojarse fuera excesivo para ser manejado como se hace convencionalmente con el drenaje sanitario, el drenado a través de cenotes y pozos de absorción más un pequeño volumen que es bombeado.

- c) El terraplén de la carretera transversal actuó como un parteaguas, reteniendo el volumen llovido en la zona norte de la isla. Adicionalmente, la sobreelevación que existe dentro de la zona urbana, paralela a la costa, también sirve como parteaguas. Ambas trabajaron como un “dique”, impidiendo que el agua pasara hacia el otro lado y se concentrara en la zona mostrada en la Figura 1.2.2-2, que de acuerdo con el reporte de CAPA – Cozumel fue donde se registraron la mayoría de los casos de afectación.

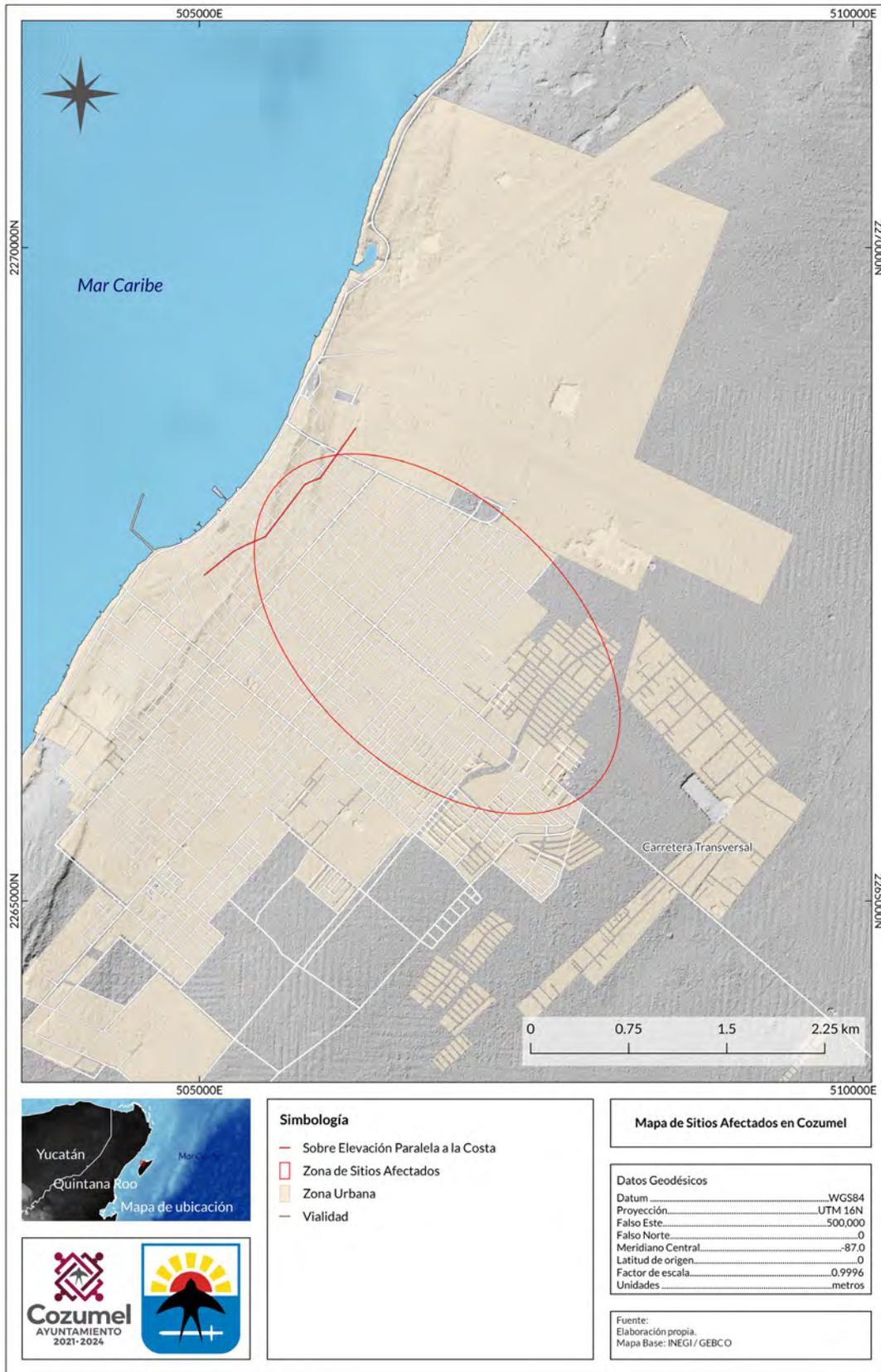
De las reuniones que sostuvieron los investigadores de CENAPRED con Protección Civil Municipal (PCM) y la CAPA Cozumel se obtuvo que los principales efectos producidos por la inundación fueron: lesiones menores, como heridas y contusiones ocasionadas durante la inundación; 5,000 familias damnificadas; pérdidas materiales no cuantificables dentro de los domicilios particulares de la población; pérdidas materiales en los servicios públicos (los pozos y yacimientos se contaminaron, debido al desbordamiento de las letrinas y de la red de drenaje sanitario por lo que se interrumpió el servicio de suministro de agua); el transporte estuvo afectado debido al cierre de calles y la caída del sistema de semáforos, además de una incipiente coordinación de las autoridades de tránsito; pérdida de varios automóviles; pérdidas no contabilizadas en la fauna silvestre. En la Figura 1.2.2-3 se presenta el resumen de los daños.

Figura 1.2.2-3 Resumen de los daños en Cozumel (Miles de Pesos).

Sector	Daños directos	Daños indirectos	Total	Porcentaje
<b>Infraestructura Social</b>				
Vivienda	2,330.4	408.3	2,738.7	19.4
Salud		1,733.1	1,733.1	12.3
Educación	5,745.4	77.4	5,822.8	41.2
Infraestructura hidráulica	490.3	415.3	905.6	6.4
Agua potable y alcantarillado	340.8	53.5	394.3	2.8
<b>Subtotal</b>	<b>8,906.9</b>	<b>2,687.6</b>	<b>11,594.5</b>	<b>82.0</b>
<b>Infraestructura económica</b>				
Sector eléctrico	850.0	43.6	893.6	6.3
<b>Subtotal</b>	<b>850.0</b>	<b>43.6</b>	<b>893.6</b>	<b>6.3</b>
<b>Sectores productivos</b>				
Sector agrícola	162.5	24.0	186.5	1.3
Comercio o industria	829.1	165.85	994.9	7.0
<b>Subtotal</b>	<b>991.6</b>	<b>189.8</b>	<b>1,181.4</b>	<b>8.4</b>
Atención a la emergencia		463.4	463.4	3.3
<b>Total</b>	<b>10,748.5</b>	<b>3,384.4</b>	<b>14,132.9</b>	<b>100</b>

Fuente CENAPRED 2004.

Figura 1.2.2-2. Sitios afectados en Cozumel



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía ( INEGI) / General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)

Otros daños causados en el año 2004, en el estado de Quintana Roo, se dieron por incendios forestales los cuales afectaron a 311 hectáreas con una pérdida económica de 0.31 millones de pesos.

### ***1.2.3. 2005: Descripción general de las características e impacto socioeconómico del huracán “Emily” en el municipio de Cozumel***

El día 10 de julio de 2005, se formó la depresión tropical no. 5, a partir de una zona de fuerte actividad nubosa localizada a 4,645 km al este de Cancún, Quintana Roo, ésta siguió desarrollándose y al siguiente día fue la tormenta tropical Emily, convirtiéndose el 17 de julio a las 22:00 h, en huracán categoría 4 y se encontró a 115 km al sursureste de Puerto Morelos, Q. Roo. En ese momento se desplazaba a 30 km/h, con una dirección hacia el oeste-noroeste, sus vientos máximos eran de 215 km/h con rachas de 260 km/h, una presión central de 955 mb y el diámetro de su ojo fue de 18.5 km. Debido a la presencia del huracán Emily en el estado de Quintana Roo, el día 17 de julio se estableció una zona de alerta, para todos los municipios del estado. (Figura 1.2.3-1).

En su paso por el territorio mexicano, dentro de los efectos generados por Emily, se presentó viento, oleaje, marea de tormenta y precipitación; por separado o en conjunto, éstos causan severos daños principalmente a la población y a su infraestructura. En el caso particular de la isla de Cozumel, Emily presentó un incremento importante de marea de tormenta; principalmente en la región oriente donde la isla de Cozumel se encuentra expuesta a mar abierto, en dicho lugar la altura de la marea fue aproximadamente de 4 m.

El estado de Quintana Roo es uno de los más expuestos a ciclones tropicales en el país, lo que ha derivado en el compromiso por parte del gobierno y la sociedad civil en la creación de una cultura ejemplar sobre la Protección Civil. Lo anterior quedó demostrado en el resultado por el paso del huracán “Emily”, en donde no hubo pérdidas humanas que lamentar; y las medidas

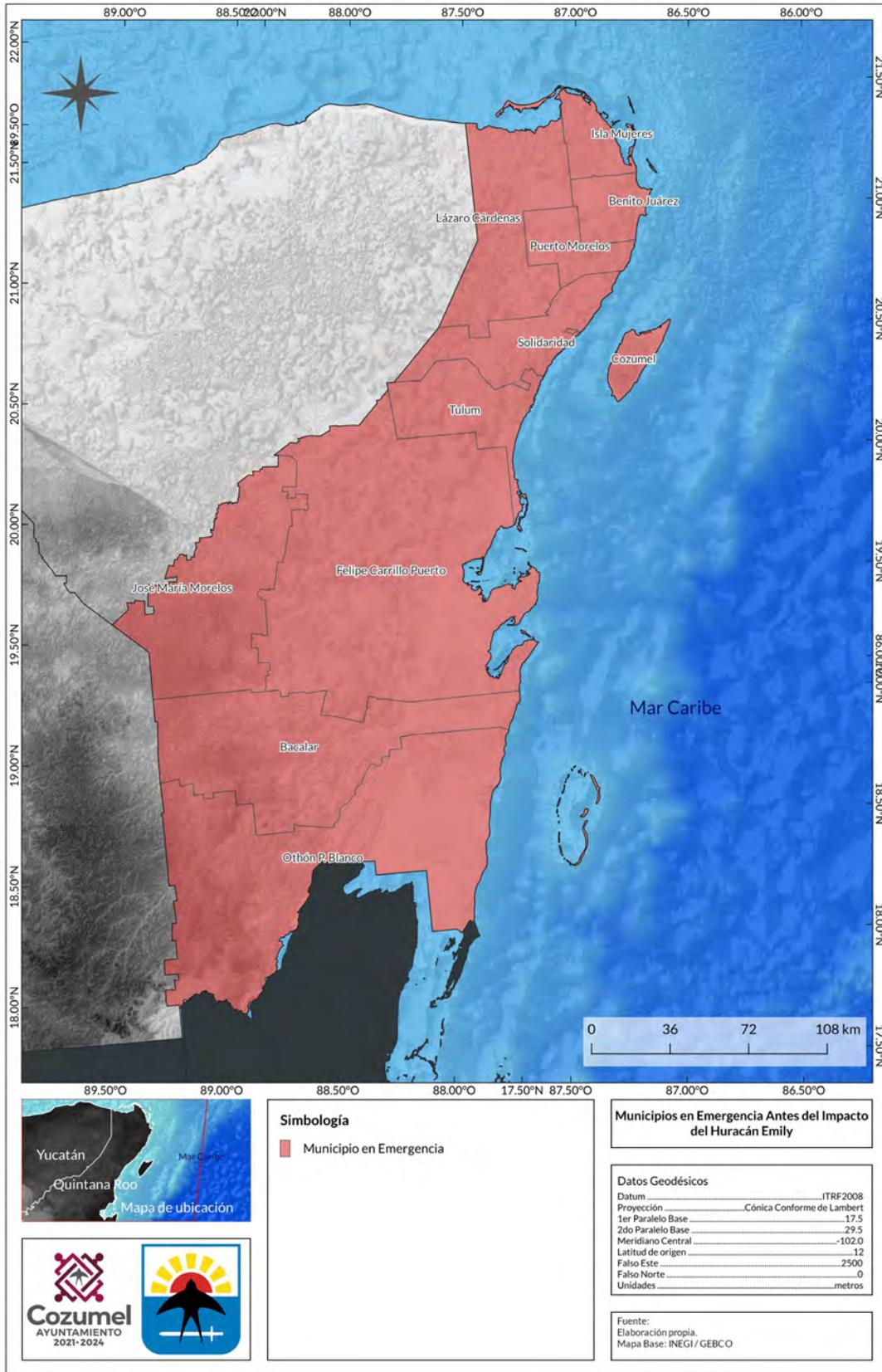
preventivas implantadas por las autoridades municipales y estatales, previo a la entrada del huracán, ayudó a que no se causaron un impacto importante en el sector turismo (principal fuente de ingresos del estado) y con el retiro con 24 horas de anticipación de semáforos, anuncios espectaculares, señales de tránsito, así como el corte de las copas de los árboles cercanas a los cables de energía contribuyeron a que los daños fueran menores a los esperados.

A pesar del ejemplar manejo de la atención de la emergencia, las pérdidas económicas ascendieron a 10.37 millones de pesos (Vivienda: 6.4; Educación: 1.79; Salud: 0.95; Atención emergencia: 0.23; Señalización y letreros: 1). Otro tipo de daños fueron al medio ambiente (15 kilómetros de litoral, duna costera y arrecifes), a la fauna (1,510 nidos de huevos de tortuga equivalente a 181,200 huevos perdidos) y al sector turismo (De las 2,972 se observó que un total de 1,821 habitaciones sufrieron daños menores que provocó que estuvieran poco menos de un mes sin operar. Daños medianos se registraron en 251 habitaciones que tuvieron que suspender operaciones durante un lapso de entre uno y tres meses. Finalmente, unas 900 habitaciones permanecieron desocupadas durante más de tres meses.)

### ***1.2.4. 2005: Descripción general de las características e impacto socioeconómico del huracán “Wilma” en el municipio de Cozumel***

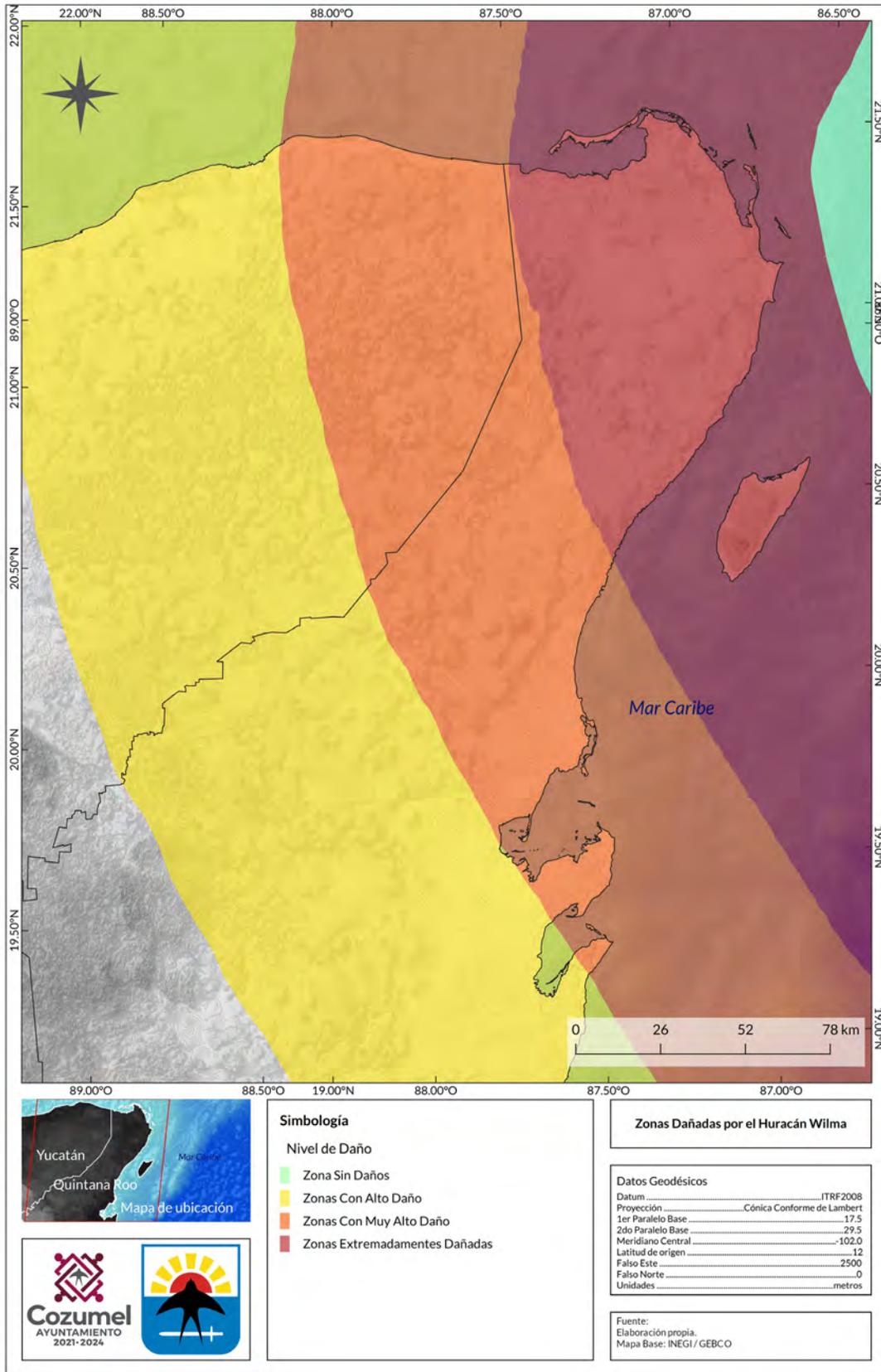
En términos generales, el huracán “Wilma” cuya trayectoria cruzó Playa del Carmen y Puerto Morelos con categoría 4 con vientos de 220 km/h y rachas de 270 km/h atravesó al día siguiente los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres debilitándose hasta categoría 2 y a las 19 horas reingresó al mar en las cercanías de Cabo Catoche, (véase figura 1.2.4-1). No obstante, a pesar de la intensidad y permanencia del ciclón y los ingentes daños económicos ocasionados al estado, sólo se reportó un número limitado de decesos atribuibles al mismo (3 en todo el estado).

Figura 1.2.3-1. Municipios en emergencia antes del impacto del huracán Emily, 2005



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía ( INEGI ) / General Bathymetric Chart of the Oceans ( GEBCO )

Figura 1.2.4-1. Determinación de las zonas de afectación del huracán "Wilma".



La gran cantidad de lluvia generada por el huracán provocó inundaciones en varias regiones del estado, como en la isla de Cozumel, donde la profundidad del agua anegada fue de hasta un metro en ciertas depresiones topográficas. (Figuras 1.2.4-2); mientras que, el oleaje generado por Wilma alcanzó una altura de más de 3.5 m cerca de la costa de Cozumel (Figuras 1.2.4-3 a y b) provocando una fuerte erosión de la playa.

Figura 1.2.4-2 Inundación en una de las calles de la zona hotelera de la isla de Cozumel.



Figura 1.2.4-3 a Oleaje generado por el huracán Wilma en Cozumel.



Figura 1.2.4-3 b Destrucción del muelle por la combinación del oleaje y marea de tormenta del huracán en Cozumel.



Fuente: Protección civil de Cozumel 2005.

Ahora bien, en cuanto daños económicos, el huracán Wilma dejó una impresionante afectación de 18, 258 millones de pesos, cifra que representó nada menos que un 13.6% del producto interno bruto del estado; dejando huella como la mayor afectación en México a la proporción de la economía local.

Al identificar las pérdidas exclusivamente en Cozumel se tienen los siguientes datos:

- a) Sector Vivienda: afectación a 3,930 personas y 786 viviendas y un monto total (FONDEN) de 9.54 millones de pesos.
- b) Sector Educativo: afectación a 27 escuelas nivel básico, 4 de nivel medio y 1 de nivel superior y un monto total (FONDEN) de 17.54 millones de pesos.
- c) Sector Salud: afectación al Hospital General de Cozumel provocando daños en aires acondicionados de ventana y minisplit, en mobiliario y equipo de rayos X y en equipo de red de voz y datos (servidor) con un monto (FONDEN) de 0.76 millones de pesos y 1.78 fueron recursos estatales acumulando en total 2.55 millones de pesos.
- d) Sector Agropecuario: afectación a 6.3 hectáreas y una pérdida total de 0.13 millones de pesos; afectación a 24 productores ganaderos con un total de 269 cabezas de ganado y una pérdida de 0.45 millones de pesos.
- e) Sector Turismo: pérdidas estimadas en infraestructura hotelera alrededor de 295 millones de pesos (28.07 millones de dólares a un tipo de cambio promedio de 10.5 pesos por dólar) con un total de 1,510 cuartos dañados. Adicional se estimaron pérdidas por ingresos dejados de percibir en el periodo octubre 2005-julio 2006 por 1,515.7 millones de pesos (144.35 millones de dólares a un tipo de cambio promedio de 10.5 pesos por dólar)
- f) Sector Áreas Naturales Protegidas: se dañaron 1,113 hectáreas del Parque Natural Chankanaab y de la zona de conservación ecológica Refugio Estatal de Flora y Fauna laguna Colombia cuyas pérdidas económicas ascendieron a 11.21 millones de pesos.

- g) Muros de contención: se perdieron 327 m<sup>2</sup> de muro y su reconstrucción costo 3.3 millones de pesos.

Asimismo, en el año 2005, se identificaron daños por 150 incendios forestales en todo el estado de Quintana Roo, provocando pérdidas económicas por 5.8 millones de pesos.

### 1.2.5. Periodo 2006-2009

En el año de 2006 se identificaron y se clasificaron como fenómenos químicos 142 incendios con una afectación de un deceso y 53,618 hectáreas (53.6 millones de pesos) en todo el estado de Quintana Roo, de los cuales solo 1 se originó en la isla de Cozumel, el cual afecto a 5.5 hectáreas (0.055 millones de pesos). Cabe mencionar que estos incendios fueron producto de la gran cantidad de material combustible que dejaron a su paso los huracanes Emily y Wilma en 2005.

Para el año 2007, el 10 de septiembre, debido al huracán Dean fue publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la declaratoria de desastre incluyendo a todos los municipios de Quintana Roo. Dean impacto al estado con categoría cinco en la escala de Saffir-Simpson (daños extremos). El municipio más afectado fue Othón P. Blanco, debido a que el huracán entró a tierra por esta zona con su máxima intensidad, afectado principalmente la localidad de Mahahual. Un factor importante para la reducción de pérdidas de vidas humanas y materiales es el conocimiento que posee la población del estado para enfrentar los ciclones tropicales, aprovechando las experiencias del pasado. Lo anterior fue evidente cuando en Cancún se tomaron medidas de mitigación como la preparación de las viviendas y comercios ante la llegada de Dean, lo cual finalmente no ocurrió.

Dentro del rubro “daños ocasionados por otro tipo de fenómenos hidrometeorológicos” se identificó una pérdida de 0.9 millones de pesos, como consecuencia de una granizada en el estado de Quintana Roo y afecto a 20 viviendas y 100 personas.

Finalmente se identificaron 86 incendios forestales en Quintana Roo con una pérdida de 0.8 millones de pesos. En cuanto a incendios urbanos, se registró uno con 2 decesos y una afectación de 18 personas.

En lo que respecta al año 2008 para el Estado, en el resumen de daños ocasionados por lluvias, inundaciones y ciclones tropicales, se identificó un total de 975 personas afectadas y 195 viviendas equivalente a una pérdida económica de 141.6 millones de pesos.

Adicional se identificó que en el 2008 se registraron 212 incendios forestales afectando en total 17,830 hectáreas y generando una pérdida de 17.8 millones de pesos.

En el año 2009, se registraron 226 incendios forestales afectando en total 42,350 hectáreas y generando una pérdida de 42.4 millones de pesos. Asimismo, se presentó un incendio urbano el cual afecto a 286 personas sin daños económicos.

Por otra parte, entre el 19 y 25 de abril, el estado de Quintana Roo se sumó a la lista de estados con presencia del virus A H1N1 (influenza), sin medidas de distanciamiento social, pero las pérdidas estimadas en el estado por la pandemia fueron de 14, 614 millones de pesos. Siendo el sector turismo el más afectado.

Finalmente se tiene registrada una pérdida económica de 1.4 millones de pesos por fenómenos socio organizativos en el estado de Quintana Roo.

### 1.2.6. 2012: Características e impacto socioeconómico de las intensas lluvias registradas por la presencia de la tormenta tropical Ernesto en el estado de Quintana Roo

El 7 de agosto 2012, el huracán Ernesto impacto a Quintana Roo como categoría 1, provocando lluvias severas en tres municipios, ocasionando perjuicios en diversos sectores. Por tal motivo, el 8 de agosto del mismo año, el Gobierno Estatal solicitó la correspondiente declaratoria de desastre, con el fin de acceder a los recursos

del FONDEN, para realizar las labores de reconstrucción; ese mismo día por la tarde, se alejó del estado, dejando en total afectaciones por 209.7 millones de pesos, siendo la infraestructura carretera y la naval las más perjudicadas ya que absorbieron 77.1% del total de daños y pérdidas, seguido por la actividad productiva (agricultura, servicios y comercio) que representó el 21.9%. EL 1% restante corresponde a las pérdidas en el sector hidráulico.

Por otra parte, el municipio de Cozumel fue afectado ya que se cerró la navegación en sus puertos, sin embargo, no fue posible obtener el monto de las pérdidas por las cancelaciones en el sector, por el arribo de turistas y los ingresos que se dejaron de percibir.

Por otra parte, en cuanto a incendios forestales, en el año 2012 se registraron en Quintana Roo 56 con una afectación de 1 millón de pesos; y con relación a fenómenos químicos, se registró 1 solo y no hubo daños.

### *1.2.7. Periodo 2013-2015*

Para el año 2013, el 18 de junio, fue publicada en el DOF, la declaratoria de desastre en 5 municipios de Quintana Roo incluido Cozumel, por la ocurrencia de lluvia severa del 1 al 5 de junio del mismo año, ocasionando un deceso y una pérdida de 12.3 millones de pesos.

En lo que se refiere a incendios forestales, se identificaron 71 en Quintana Roo con una pérdida de 246.5 millones de pesos. Finalmente se identificó la existencia de 5 defunciones a causa de fenómenos socio organizativos y una pérdida de 1 millón de pesos.

El 13 de junio de 2014, se publicó en el DOF la declaratoria de desastre por la ocurrencia de lluvia severa del 31 de mayo al 3 de junio del mismo año en 7 municipios, entre ellos de Cozumel; pocos meses después, el 03 de noviembre, se publicó otra declaratoria de desastres por la misma causa ocurrida el día 22 de octubre en 6 municipios y nuevamente se incluyó a Cozumel. Los daños y pérdidas por los dos desastres ascendieron a 249.6 millones de pesos, afectando a 32,718 personas, 63 viviendas.

Adicional, se registraron 2 muertes asociadas con las altas temperaturas (golpe de calor). En total se atendieron 5 casos por golpe de calor y 2 por agotamiento por calor. Por último, en relación con incendios forestales, se registraron 40 mismos que dañaron 1,409 hectáreas traduciéndose en una pérdida de 1.4 millones de pesos.

Para el año de 2015 nuevamente se declaran 2 desastres por lluvia severa en el estado de Quintana Roo, el primero por la lluvia ocurrida del 01 al 05 de junio para los municipios de Benito Juárez, Cozumel, Isla Mujeres, Lázaro Cárdenas y Solidaridad; y el segundo por la lluvia ocurrida del 16 al 18 de octubre para los municipios de Bacalar, Benito Juárez, Cozumel, Felipe Carrillo Puerto, Isla Mujeres, Othón P. Blanco y Solidaridad. El resumen de afectaciones ocasionadas por lluvias e inundaciones en el 2015 fueron: 104,399 personas; 985 viviendas; 60 escuelas; 25 unidades de salud y una pérdida económica de 1,358.9 millones de pesos.

Por otra parte, se registraron 81 incendios forestales con una afectación de 5,572 hectáreas lo que se traduce en 5.6 millones de pesos.

Por último, se registraron 2 fenómenos más en el estado de Quintana Roo: se registró un brote de virus de chikunguny con 139 casos (fenómeno sanitario) y un desastre por fenómenos socio organizativos en el cual 3 personas perdieron la vida.

### *1.2.8. Periodo 2017-2019*

En el año 2017 se tiene registro en Quintana Roo de impactos socioeconómicos de desastres naturales y antropogénicos por un total de 9.6 millones de pesos y 13 defunciones. Adicional se contabilizó un deceso más por altas temperaturas y la atención a 9 casos por golpe de calor. En el tema de fenómenos socio organizativos resaltan los accidentes de transporte, con 12 decesos en toda la entidad.

Uno de los principales desastres de origen natural ocurridos en el año 2018 en el estado de Quintana Roo fue las lluvias severas del 14 al 15 de junio con daños y pérdidas de 1,245.5 millones de pesos. Al incorporar los daños y pérdidas

por fenómenos antropogénicos la pérdida se incrementa en 105.4 millones de pesos para una pérdida global de 1,350.9 millones de pesos.

Respecto a la atención de la población por altas temperaturas, Quintana Roo gastó 31.04 millones de pesos en todo el año. El desglose de casos fue 2 decesos, atención 10 casos por golpe de calor y 3 por agotamiento por calor.

El 28 de mayo del 2018 se emitió la declaratoria de emergencia por onda cálida en gran parte del país; en el caso de Quintana Roo se incluyeron 8 municipios.

En cuanto a fenómenos químicos se refiere, el estado registró 11 defunciones y un total en pérdidas alrededor de 9.73 millones de pesos.

El 23 de diciembre de 2019 se publicó en el DOF la declaratoria de desastre natural por la presencia de sequía severa ocurrida del 1 de mayo al 30 de noviembre de 2019 en 9 municipios del Estado de Quintana Roo y del 1 de diciembre de 2018 al 30 de noviembre de 2019 en 1 municipio de dicha entidad federativa; sin embargo, ninguna de las dos declaratorias incluía al municipio de Cozumel.

Por fenómenos químicos, específicamente por incendios forestales, la entidad registró pérdidas por 17.9 millones de pesos ocasionada por 59 incendios y un total de 24,400 hectáreas. En cuanto a daños y pérdidas provocadas por las explosiones, derrames y fugas, Quintana Roo registró una pérdida de 29,710 pesos.

Asimismo, el estado perdió 0.12 millones de pesos por fenómenos de origen sanitario y 3.2 millones de pesos por fenómenos socio organizativos. Estos últimos provocaron la defunción de 3 personas.

### 1.2.9. Año 2020

El 12 de junio de 2020, se publicó en el DOF la declaratoria de desastre natural por la presencia de inundación pluvial ocurrida del 3 al 5 de junio de 2020 en 4 municipios del Estado de Quintana Roo, derivada de la tormenta tropical Cristóbal.

De acuerdo con el análisis posterior a la temporada de ciclones tropicales 2020, realizado por el Centro de Huracanes de Miami, Florida, E. U. A., "Gamma" alcanzó intensidad de huracán el 3 de octubre, frente a la costa de Quintana Roo cuando presentó vientos máximos sostenidos de 120 km/h, fuerza con la que tocó tierra a las 11:45 horas del día 3 de octubre, (hora del centro de México), a 5 km al sur de la población de Tulum, Q. Roo. Al tocar tierra el huracán se debilitó rápidamente a tormenta tropical y continuó su trayecto sobre territorio de Quintana Roo y Yucatán, salió al golfo de México sin provocar daños en Quintana Roo.

El 16 de octubre de 2020, se publicó en el DOF la declaratoria de desastre natural por la presencia de Huracán Delta (lluvia severa y vientos fuertes) los días 5 y 6 de octubre de 2020 en 6 municipios del Estado de Quintana Roo, El huracán Delta ocasionó desastre en los municipios de Cozumel, Isla Mujeres, Benito Juárez, Lázaro Cárdenas, Solidaridad y Puerto Morelos. Y el 05 de noviembre se emite la declaratoria de desastre natural por la presencia de lluvia severa el 26 de octubre de 2020 por la presencia del huracán Zeta, en los municipios de Cozumel, Solidaridad, Tulum y Puerto Morelos. El impacto económico de los fenómenos de tipo hidrometeorológico en Quintana Roo fue de 754.88 millones de pesos, desglosados de la siguiente manera: lluvias e inundaciones (113.58 millones), ciclones tropicales (Total 641.3: Cristóbal 376.4 millones; Delta 264.9 millones).

En este año de nueva cuenta se registraron defunciones (3) en la entidad por golpe de calor ocasionado por altas temperaturas en la región. Asimismo, se registraron 38 incendios forestales con daños y pérdidas de 58.2 millones de pesos. Respecto a los fenómenos socio organizativos, se registraron en Quintana Roo pérdidas por 1 millón de pesos y 4 defunciones.

En relación con fenómenos sanitarios, el año 2020 será recordado por la pandemia global a causa del coronavirus. El número de muertes en México en ese año tan sólo por la COVID-19 (125 807) representa casi 12 veces el total de muertos en 20 años por desastres (10 626); es decir, de 2000 a 2020, en promedio, 506 personas perdieron la vida al año en nuestro país como consecuencia

de desastres; sin embargo, en 2020, únicamente por la pandemia, han muerto en un año casi 250 % más personas.

Dentro de la historia moderna de nuestro país, el terremoto de 1985 ha sido el más catastrófico por la pérdida de vidas. El total de decesos para ese desastre fueron oficialmente de 6000, por lo tanto, las defunciones por la COVID-19, que es casi 21 veces más ese número, terminarían por llevar a conclusiones no válidas en el análisis de la gobernanza de la Gestión Integral de Riesgos de Desastres nacional, argumentando esto, sobre todo, por lo que significa un evento completamente nuevo (una enfermedad, un virus, hasta ese entonces desconocido), diferente a los ya estudiados, analizados y contextualizados que conforman los desastres de origen natural y las principales herramientas del actuar nacional en cuestiones de protección civil. En este sentido, el total de muertes registrado en un año, y sólo por esa causa, resultaría un dato atípico en una comparativa de impactos de desastres, generando un gran sesgo en las estadísticas básicas del análisis de desastres.

El primer caso de la COVID-19 detectado en México ocurrió el 27 de febrero, se trató de un hombre de 35 años que había estado en Bérgamo, Italia, la última semana de febrero. El 24 de marzo de 2020, emitido por el secretario de Salud, se publicó en el DOF el acuerdo por el que se establecieron las medidas preventivas que se debían implementar para la mitigación y control de los riesgos para la salud que implica la enfermedad ocasionada por el virus SARS-CoV2. Entre las medidas a ejecutar se establecieron la suspensión temporal de las actividades de los sectores público, social y privado que involucraran la concentración física, tránsito o desplazamiento de personas a partir de la entrada en vigor de este acuerdo hasta el 19 de abril de 2020.

Del 28 de febrero al 31 de diciembre de 2020 se confirmaron 1,426,094 casos de la COVID-19, el índice de letalidad (número de fallecimientos por cada 100 personas con contagio confirmado) fue de 8.8 %, es decir, con 125 807 casos. Ciudad de México concentró 23.2 % de los casos confirmados en el país, siguieron Estado de México con 10.3 %, Guanajuato y Nuevo León con 5.8 % y Jalisco con 3.6 %.

En Quintan Roo, el número de contagios del 2020 hasta noviembre de 2023 es de 124,443 y un total de 4,484 defunciones. Específicamente en Cozumel las cifras son de 6,168 contagios y 192 defunciones. Sin duda alguna el sector más afectado para la entidad y particularmente en la isla de Cozumel fue el turismo, reflejando una ocupación hotelera al cierre de 2020 en la isla de apenas el 25% de la capacidad total (Munguía, 2021).

### 1.3. Componentes de la Gestión Integral de Riesgos en el Municipio

En esta sección se presenta el estado actual de los principales componentes de una Gestión Integral de Riesgos en el municipio, para este propósito se busca identificar ciertos elementos clave en la estrategia integral de riesgos. El primer punto de partida para identificar los elementos clave se halla en el Reglamento de Protección Civil (PC) del Municipio de Cozumel, el cual refiere lo siguientes: el conjunto de acciones encaminadas a la identificación, análisis, evaluación, control y reducción de los riesgos, considerándolos por su origen multifactorial y en un proceso permanente de construcción, que involucra a los tres niveles de gobierno, así como a los sectores de la sociedad, lo que facilita la realización de acciones dirigidas a la creación e implementación de políticas públicas, estrategias y procedimientos integrados al logro de pautas de desarrollo sostenible, que combatan las causas estructurales de los desastres y fortalezcan las capacidades de resiliencia o resistencia de la sociedad. Involucra las etapas de: identificación de los riesgos y/o su proceso de formación, previsión, prevención, mitigación, preparación, auxilio, recuperación y reconstrucción.

Considerando la experiencia internacional y buenas prácticas en gestión integral de riesgos, se ha recopilado un conjunto de elementos clave, mismos que se verifican en el Reglamento de PC Cozumel y a su vez, se contemplan en las bases y principios que rigen al Sistema Municipal de Protección Civil.

Los elementos clave identificados, contemplan componentes que ayudan a concertar acciones entre los sectores público, social y privado para lograr la reducción del riesgo de desastres y desarrollar una mayor comprensión y concientización para reducir la vulnerabilidad de la población y sus bienes. En la Tabla 1.3-1 se presenta la relación de componentes clave y la existencia de éste en el municipio:

Tabla 1.3-1 Existencia de componentes que integran la Gestión Integral de Riesgos del municipio de Cozumel. Fuente: Elaboración propia.

Componente clave	Existencia
Consejo Municipal de Protección Civil	✓
Dirección de Protección Civil Municipal	✓
Comités Operativos Especiales	✓
Grupos Voluntarios	✓
Inventario de Programas Especiales de Protección Civil	✓
Infraestructura Estratégica	✓
Instrumentos Financieros de Gestión de Riesgos	X
Inventario de Refugios Temporales	✓
Simulacros	✓
Sistema de Alerta Temprana Municipal	✓
Brigadas	✓
Centros de Acopio	✓
Centro de Operaciones	✓
Registro de Particulares y Dependencias Públicas que ejercen la actividad de asesoría, capacitación, evaluación y elaboración de Programas Internos de Protección Civil	✓

✓ Existente  
X No existente

Derivado del análisis de la Tabla 1.3-1 se puede concluir que el Municipio de Cozumel cuenta con una Gestión Integral de Riesgos de Desastres robusta, acorde las normativas locales, así como consistente con las prácticas internacionales y de buenas prácticas, aún tiene un área de oportunidad, como lo es desarrollar instrumentos financieros de gestión integral de riesgos de desastres.

A continuación, se desglosa los elementos identificados por cada componente en el marco institucional existente en el municipio:

### 1.3.1. Consejo municipal de protección civil

Uno de los cuatro pilares que conforman el Sistema Municipal de Protección Civil, y de acuerdo con el Reglamento de PC Cozumel, dentro de sus objetivos y atribuciones, entre otros, se encuentra:

- Aprobar y evaluar el Programa Municipal de Protección Civil, el Plan Municipal de Contingencias y coadyuvar en su aplicación
- Identificar y analizar los riesgos reales y potenciales que amenacen la seguridad municipal, elaborando los estudios correspondientes para proponer las estrategias y procedimientos que propicien enfrentarlos y superarlos con seguridad
- Promover investigaciones y análisis que permitan conocer con mayor profundidad los sistemas perturbadores y sus efectos en los sistemas afectables, para implementar los procedimientos de coordinación que mitiguen los efectos destructivos
- Crear Comités Operativos Especializados, con relación al diagnóstico de riesgos previsibles, y supervisar su adecuado funcionamiento
- Establecer y mantener con el Sistema Estatal de Protección Civil, una coordinación de monitoreo y seguimiento de fenómenos hidrometeorológicos

### 1.3.2. Dirección de Protección Civil, Bomberos y Guardavidas del municipio de Cozumel (Unidad de PC Cozumel)

El titular de la Unidad de PC Cozumel, cuenta con amplia experiencia adquirida en sus anteriores comisiones como es el caso de la

Secretaría de Marina (SEMAR) y más recientemente como subinspector, comandante accidental y coordinador regional de la Guardia Nacional en la isla, lo que viene a reforzar de manera muy importante los objetivos y mandatos de esta Dirección.

Asimismo, la Unidad de PC Cozumel se encuentra alineado y en estrecha comunicación con la Coordinación Estatal de Protección Civil de Quintana Roo (COEPROC) y esta última con la Coordinación Nacional de Protección Civil (CNPC).

### 1.3.3. Comités operativos especiales

En función a lo descrito en la sección de antecedentes históricos destacables, se observa que los daños y pérdidas más recurrentes han sido por fenómenos hidrometeorológicos; razón por la cual se crea un comité operativo especializado en dichos fenómenos. Por otra parte, en el 2006 derivado de la gran cantidad de material combustible que dejaron a su paso los huracanes Emily y Wilma, se incrementaron los fenómenos químicos en todo el estado de Quintana Roo incluyendo la isla de Cozumel, y por ende la necesidad de crear el comité operativo especializado en prevención y combate de incendios forestales.

### 1.3.4. Grupos voluntarios

Junto con el Consejo Municipal, Unidad de PC Cozumel, y los Comités Operativos Especializados, los Grupos Voluntarios conforman en su totalidad el Sistema Municipal de Protección Civil, y son organizaciones de habitantes de una población coordinadas con y por las autoridades, que se integran a las acciones de protección civil y que colaboran en los programas y acciones respectivos, en función a su ámbito territorial. En este sentido, el municipio cuenta con diversas fundaciones, clubes, asociaciones civiles de los distintos sectores públicos, privados y sociales que conforman dichos grupos.

### 1.3.5. Inventario de programas especiales de Protección Civil

En el Reglamento de PC Cozumel, se dicta que, entre otras funciones corresponde a la Unidad de PC Cozumel la elaboración de planes de contingencia y programas básicos de prevención, auxilio y recuperación para enfrentar los diferentes tipos de riesgos y peligros que afecten o puedan afectar al municipio, como son: el (*PLAN MUNICIPAL DE CONTINGENCIA POR CICLONES TROPICALES 2021-2024 2 Contenido, n.d.*) (Plan municipal de contingencia por ciclones) y el (*PLAN MUNICIPAL DE INCENDIOS FORESTALES 2021- 2024, n.d.*) (Plan municipal de incendios forestales) con el objetivo de minimizar los daños y pérdidas que podrían ocasionar los fenómenos hidrometeorológicos, y en el caso de los incendios con el objetivo de establecer un plan operativo en el municipio durante la temporada para la protección de las zonas forestales, reforzando los esfuerzos en áreas críticas del mismo. Ambos planes contemplan la participación de los tres niveles de gobierno, así como el sector social y privado.

Actualmente, se están elaborando los programas especiales solicitados por la COEPROC enfocados en: invierno, verano, fiestas patrias y tradicionales.

### 1.3.6. Infraestructura física estratégica

Considerando que la Infraestructura estratégica “es aquella que es indispensable para la provisión de bienes y servicios públicos, y cuya destrucción o inhabilitación es una amenaza en contra de la seguridad nacional”, conforme al artículo 2 fracción XXXI de la LGPC, en caso de desastres por fenómenos hidrometeorológicos, la prioridad la tiene la infraestructura portuaria y aérea, a fin de comunicar a la isla y mantenerla abastecida<sup>1</sup>. Dicha infraestructura se compone<sup>2</sup> de un aeropuerto internacional, tres terminales internacionales de cruceros, la terminal marítima de San Miguel, así como un transbordador para vehículos desde Punta Venado.

<sup>1</sup> (*REGLAMENTO DE PROTECCIÓN CIVIL DEL MUNICIPIO DE COZUMEL. TÍTULO PRIMERO De Las Disposiciones Generales, n.d.*)

<sup>2</sup> (Ayuntamiento de Cozumel, 2021)

Adicional, existe un puerto de abrigo para embarcaciones privadas y los puertos FONATUR que en caso de emergencia o desastres podrían utilizarse como apoyo.

### **1.3.7. Instrumentos financieros de gestión de Riesgos**

En el Plan Municipal de Desarrollo 2021-2024 (Ayuntamiento de Cozumel, 2021), se menciona que uno de los beneficios de contar con un Atlas de Riesgos municipal, es la de prever escenarios para anticipar la necesidad de recursos, capacidades y alianzas para hacer frente a las amenazas. Por otra parte, en el Plan municipal de contingencia por ciclones, se identifica que el comité operativo especializado en fenómenos hidrometeorológicos cuenta con un subcomité de finanzas a cargo de la Tesorería municipal, encargado entre otras funciones de realizar las gestiones para la creación de un fondo municipal de desastres naturales. Sin embargo, no se confirmó la existencia de algún instrumento financiero que contribuya a la gestión de riesgos de desastres, lo que representa un área de oportunidad importante para el Municipio.

### **1.3.8. Inventario de Refugios Temporales**

Otro subcomité con el que cuenta el comité operativo especializado en fenómenos hidrometeorológicos es el de refugios y albergues; y de acuerdo con el Plan municipal de contingencia por ciclones, el responsable es la Dirección de desarrollo social, la cual cuenta con el apoyo de: la Unidad de PC Cozumel, Guarnición militar, Guardia Nacional, secretaría de educación, D.I.F., Dirección de educación, Templos, iglesias y logias, Sindicatos, así como de los principales hoteles. En su Anexo 9.1 se constató que el municipio cuenta con 15 refugios (6 para población civil y 1 para 100 turistas) habilitados en caso de emergencias con una capacidad para 1,903 personas; de los cuales 6 funcionan como refugios temporales (885 personas) y 8 como auto refugios. Estos últimos son habilitados por los hoteles principales para poder albergar a 1,018 turistas.

### **1.3.9. Simulacros**

El Reglamento de PC Cozumel contempla en tres de sus artículos temas relacionados con simulacros:

- *Artículo 22.- Los servicios de asesoría técnica para simulacros y/o capacitación en materia de protección civil consisten en el apoyo y asesoramiento técnico y de carácter consultivo, que brinda el personal de la Dirección, a los particulares para verificar la práctica correcta de simulacros, obtener su opinión respecto a las medidas tomadas en materia de protección civil, así como en la capacitación para el manejo de situaciones de riesgo o accidentes.*
- *Artículo 65.- Los centros de trabajo, en coordinación con las autoridades competentes, deberán practicar simulacros de protección civil en los términos y condiciones que les exijan las Normas Oficiales aplicables.*
- *Artículo 102/I.- Campañas permanentes de capacitación en coordinación con las entidades educativas con el objeto de dar cumplimiento al Programa Nacional de Seguridad y Emergencia Escolar en planteles de educación preescolar, primaria y secundaria, así como de programas similares en los planteles de educación superior. De acuerdo con las condiciones de alto riesgo que se presenten en la localidad, se realizarán simulacros para capacitar operativamente a los educandos, apropiados a los diferentes niveles escolares a que se hace mención en el párrafo anterior.*

Adicional, en entrevista con la Unidad de PC Cozumel y en encuestas que se hicieron en la población se pudo constatar que, si realizan simulacros en el municipio, principalmente contra huracanes, inundaciones y contra incendios. En fechas recientes también se llevó a cabo un simulacro de tsunami.

### **1.3.10. Sistema de alerta temprana municipal**

En el Capítulo 5 del municipal de contingencia por ciclones se describe el Sistema de alerta temprana

para ciclones tropicales, en cuatro secciones: 5.1) Funcionamiento, 5.2) Fase de acercamiento-parte delantera del ciclón; 5.3) Fase de alejamiento-parte trasera del ciclón; 5.4) Acciones generales por alerta. Toda esta información, se publica en el sitio en el internet (Protección Civil, 2023) a cargo de la Unidad de PC Cozumel incluyendo información referente a el pronóstico del tiempo, alertas tempranas de ciclones y huracanes para prevenir a la población, principales números de emergencia, información sobre el ¿Qué hacer? antes, durante y después de un huracán, ¿Qué debe contener un botiquín básico?, ¿Qué debe contener un kit de suministros en caso de un huracán? Así como un mapa de los refugios para la población civil en el Municipio. Por último, se constató mediante entrevista a una muestra de la población, la importancia que han tomado las redes sociales como canal de comunicación para informar alertas a la población civil.

### 1.3.11. Brigadas

En los dos planes municipales (Plan municipal de contingencia por ciclones y Plan municipal de incendios forestales) se menciona la participación de brigadas. En el caso de contingencia por ciclones, el D.I.F. municipal convocará a diversos organismos públicos, privados y organizaciones sociales en materia de seguridad social, los cuales por medio de brigadas que se integrarán con psicólogos, psiquiatras, sacerdotes de la religión católica, pastores de las iglesias evangélicas, otros clérigos; grupos laicos, civiles, culturales, morales y sociales, efectuarán diversas labores de reanimación moral entre los damnificados y habitantes del municipio. Por otro lado, en la previsión y combate de incendios forestales, los brigadistas tienen como propósitos, garantizar la seguridad del personal y la atención y mitigación del incendio; conformando tanto brigadas oficiales como comunitarias.

### 1.3.12. Centros de acopio

De acuerdo con el Artículo 100/I. del Reglamento de PC Cozumel cada refugio deberá contar con un área de víveres para cuando menos 7 días, con una ración de agua como mínimo de dos litros por persona.

### 1.3.13. Centros de operaciones

El Reglamento de PC Cozumel contempla en tres de sus artículos lo referente a el centro de operaciones:

- *Artículo 27.- El Centro de Operaciones de Protección Civil será el sitio en el que se reúnan con el Presidente del Consejo Municipal de Protección Civil, los responsables de la prevención y auxilio en caso de desastre y los representantes de los sectores social y privado que desempeñen las mismas funciones.*
- *Artículo 28.- El Centro de Operaciones de Protección Civil se activa para coordinar los procedimientos, planes y programas destinados a prevenir y reducir los efectos destructivos de los desastres, creando en la población una conciencia de protección y de autoprotección para reducir o eliminar las amenazas, los riesgos, la incertidumbre y la inseguridad.*
- *Artículo 29.- Las autoridades y funcionarios responsables de los Comités Operativos deberán incorporarse al Centro de Operaciones de Protección Civil, cuando se tenga conocimiento de la existencia de alguna amenaza que pueda afectar a la comunidad, debiendo estar al pendiente del seguimiento y evolución del fenómeno para cumplir con sus responsabilidades cuando se active el sistema de avisos.*

Cabe mencionar que, tanto en el Plan municipal de contingencia por ciclones como en el Plan municipal de incendios forestales, se menciona la instalación del centro de operaciones desde el cual se emitirán mensajes de alerta a la población.

Después de verificar que prácticamente el municipio cuenta con todos los componentes que permiten considerar una base adecuada para llevar a cabo la Gestión Integral de Riesgos municipal, se presenta una importante área de oportunidad para el municipio en el tema de implementación de instrumentos financieros de gestión de riesgos; mismos que ayudarían a disminuir las posibles pérdidas económicas ocasionadas por fenómenos hidrometeorológicos, al contar con mecanismos de prevención y transferencia de riesgos.

# 2

## DETERMINACIÓN DE NIVELES DE ANÁLISIS Y ESCALAS DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA



**Unidos** somos  
más **Grandes**

## CAPÍTULO 2:

# DETERMINACIÓN DE NIVELES DE ANÁLISIS Y ESCALAS DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA

### 2.1. Mapas generales

A continuación, se presentan los mapas temáticos para mostrar la caracterización de los límites geográficos del municipio de Cozumel y sus localidades, así como la topografía de su territorio.

#### 2.1.1. Límites geográfico - político

El municipio de Cozumel se localiza en el mar Caribe a 18 km de la costa noreste de Quintana Roo (Figura 2.1.1-1), entre las coordenadas extremas:

- al Norte 20 grados 36',
- al Sur 20 grados 16' de Latitud Norte;
- al Este 86 grados 44' y
- Oeste 87 grados 20' de Longitud Oeste.

Colinda al Norte y Oeste con el municipio de Solidaridad y al Sur y Este con el Mar Caribe (Frausto et al., 2016).

Tiene una extensión total de 488 km<sup>2</sup>, 48 km de Norte a Sur y 14.8 km de Este a Oeste, lo que representa el 1.27% del estado de Quintana Roo (Ayuntamiento de Cozumel, 2021) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2020c)

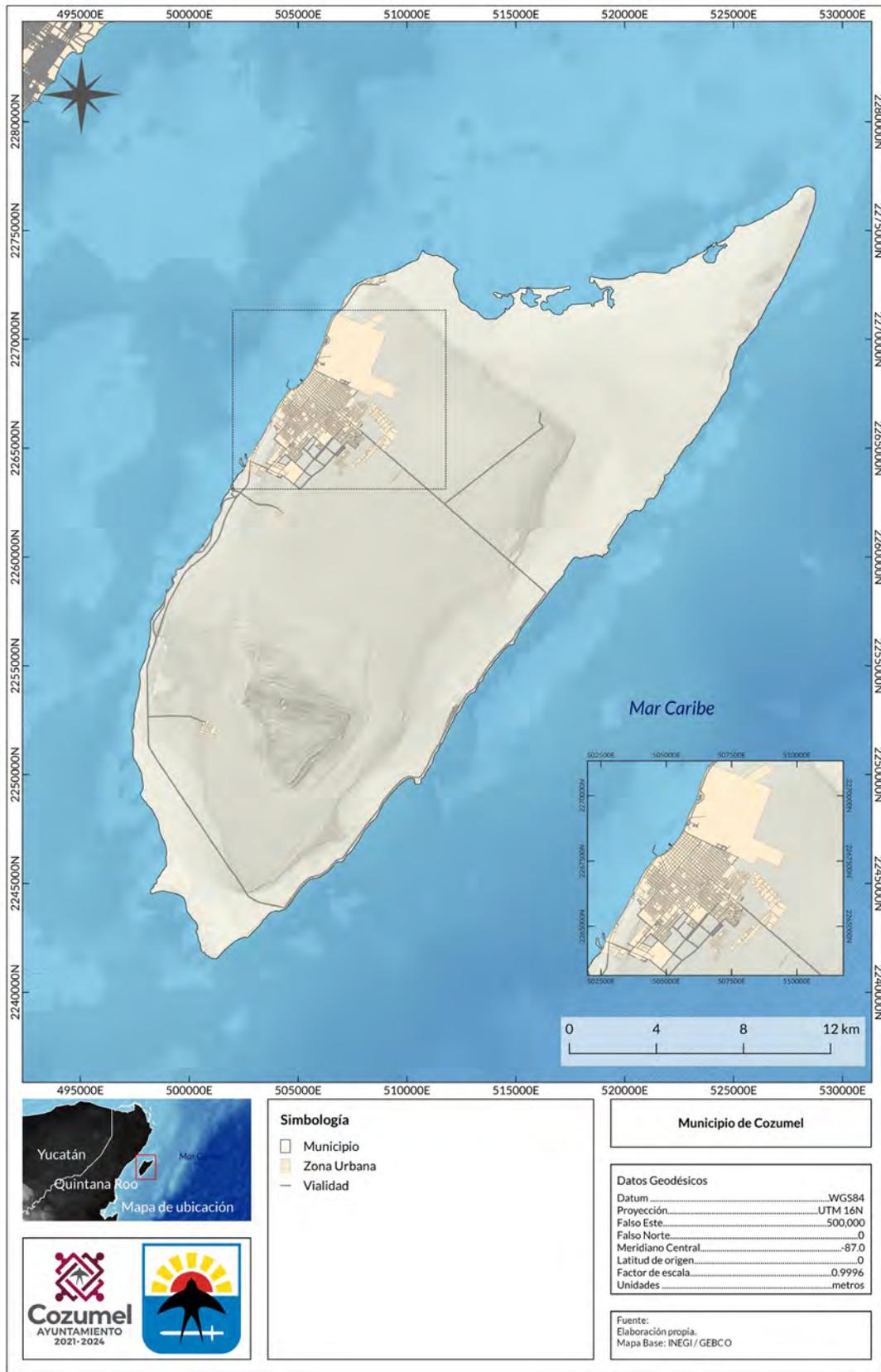
#### 2.1.2. Localidades

El municipio está conformado por 144 localidades (Figura 2.1.2-1). De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, las localidades más pobladas son: su cabecera municipal, Cozumel con 84,519 habitantes (el 95.36% de la población total), Las Fincas con 1,403 habitantes, Ranchitos con 761 habitantes, San Fernando con 505 habitantes, La Esperanza con 434 habitantes, La Estrella con 181, Huerto Familiar con 152 y El Cedral con 55 habitantes (INEGI, 2020b).

### *2.1.3. Topografía general*

La topografía de tipo kárstica del municipio produce la infiltración del agua pluvial provocando el colapso de techos de cavernas y formando depresiones pedregosas conocidas como dolinas o cenotes. En el área cercana a Punta Sur existen varios cenotes y dolinas en la selva inmediatamente al norte de la laguna de Colombia, así como una pequeña meseta calcárea en Punta Celarain (Ayuntamiento de Cozumel, 2011). La topografía del municipio se muestra en la Figura 2.1.3-1.

Figura 2.1.1-1. Municipio Cozumel



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía ( INEGI) / General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)

Figura 2.1.2-1. Localidades urbanas y rurales del municipio Cozumel

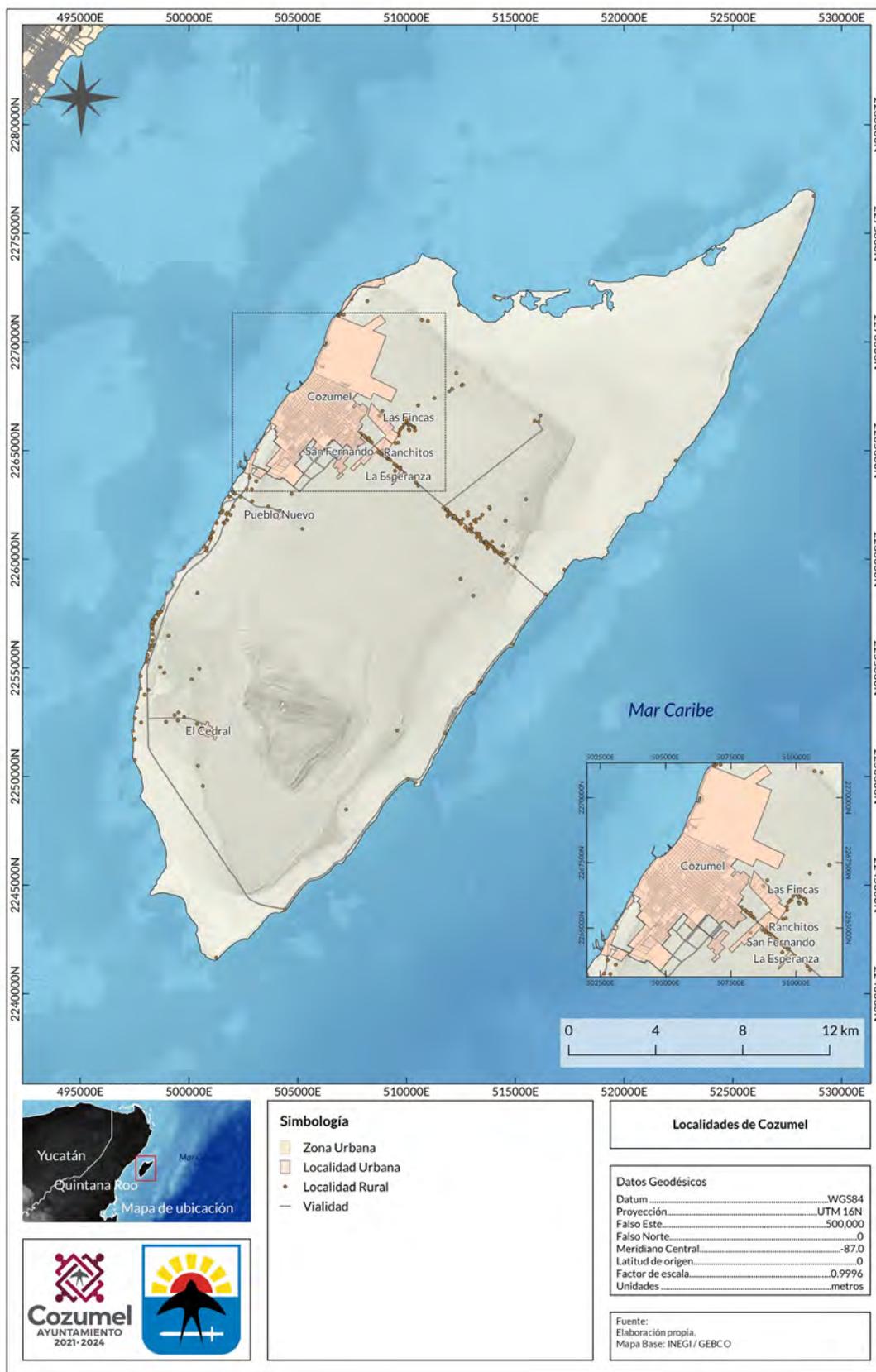


Figura 2.1.3-1. Topografía del municipio Cozumel



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía ( INEGI ) / General Bathymetric Chart of the Oceans ( GEBCO )

# 3

## CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL MEDIO NATURAL



**Unidos** somos  
más **Grandes**

## CAPÍTULO 3:

# CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL MEDIO NATURAL

En este capítulo se presenta un breve compendio de la descripción de los elementos que representan el medio físico con base en sus características naturales del municipio de Cozumel (fisiografía, geomorfología, geología, edafología, clima, tectónica, erosibilidad, temperatura media anual, hidrografía, hidrología, precipitación media anual) y el medio socio-económico y biótico (uso de suelo, vegetación, y áreas naturales protegidas), lo anterior se muestra en este capítulo mediante elementos visuales en formato de mapas temáticos que a continuación se describen.

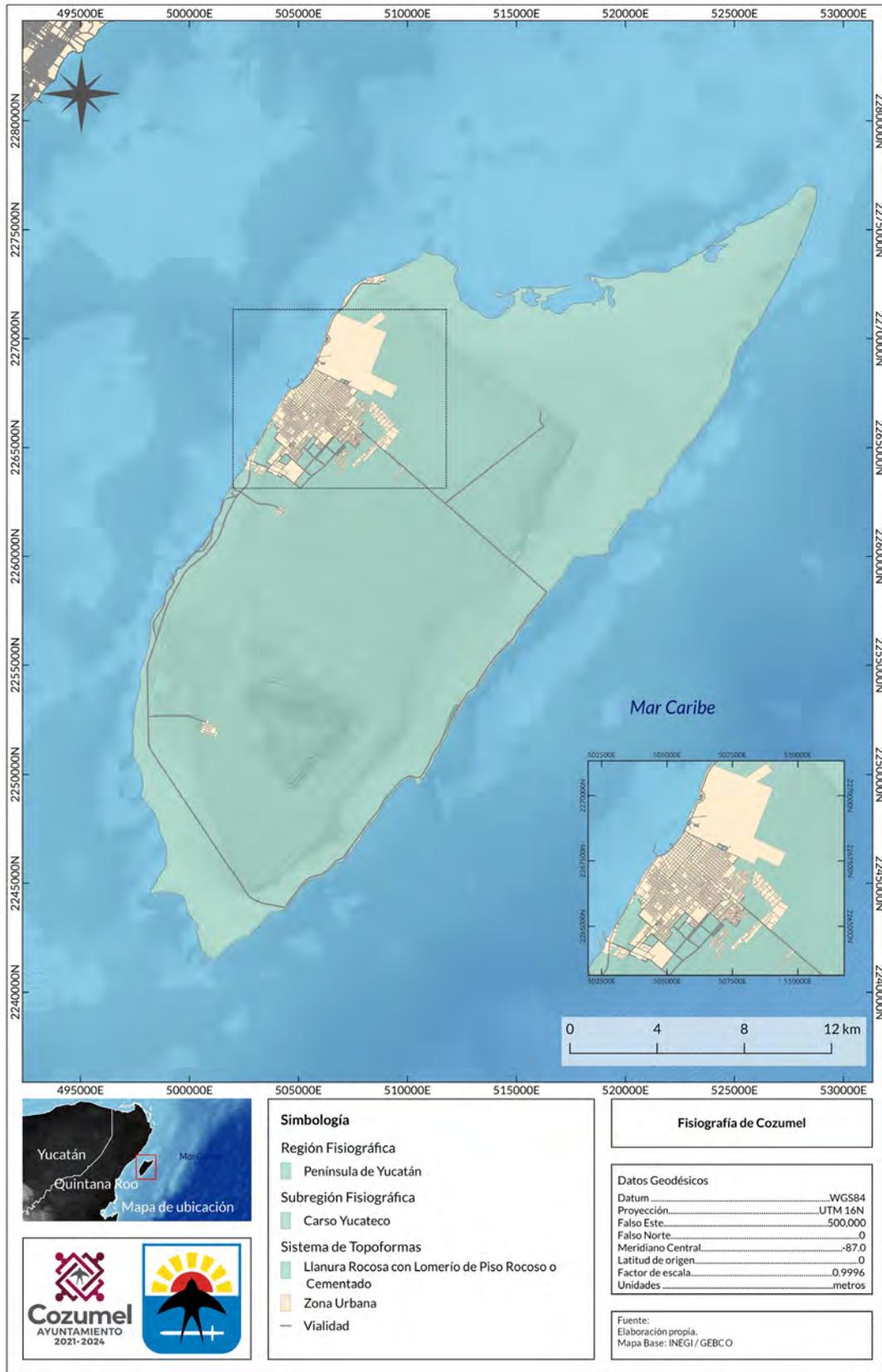
### 3.1. Fisiografía

El municipio, por su composición de sus estratos y su génesis, pertenece a la provincia fisiográfica del karst Yucateco (100%), presentando características homogéneas en toda su superficie, de los cuales la subprovincia Carso Yucateco tiene una superficie de 48,725.14 hectáreas (ha) (99.83%) y Costa Baja de Quintana Roo de 82.97 ha (0.17%) (SEMARNAT, 2022), (CCC, 2023). Por lo que, la isla presenta un relieve ligeramente ondulado en su mayor parte, alternándose con áreas planas sin elevaciones importantes. El territorio es relativamente plano en su porción occidental y escarpado en sus costas norte y oriental. Así como comprende islotes y cayos adyacentes (DOF, 2013a) (Ayuntamiento de Cozumel, 2021). La fisiografía del municipio se muestra en la Figura 3.11.

### 3.2. Geomorfología

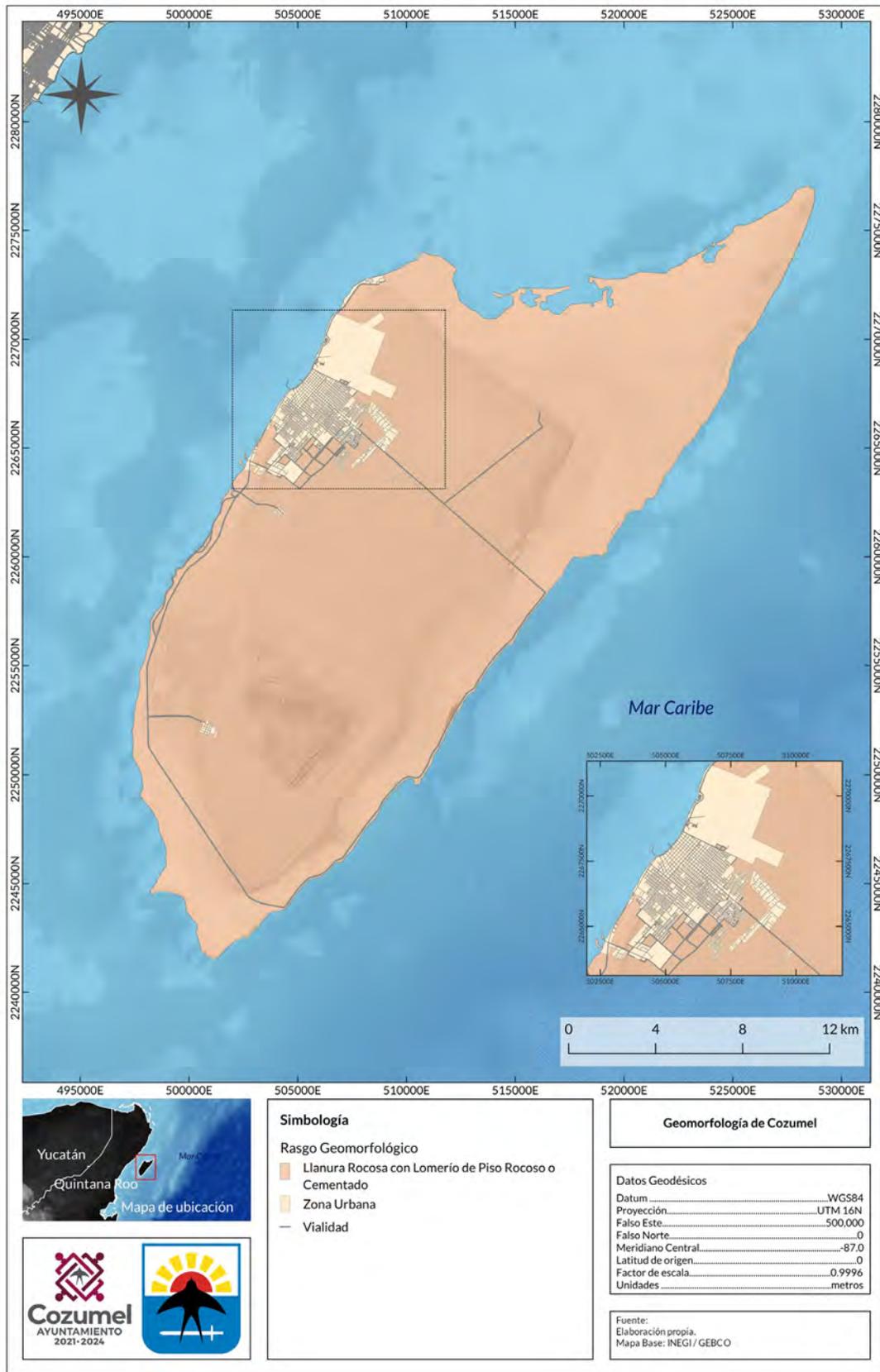
En la zona donde se localiza el municipio los rasgos geomorfológicos son condicionados por la génesis de sus materiales, sus componentes principalmente sedimentarios calcáreos y las condiciones meteorológicas han propiciado la evolución del ambiente kárstico. La totalidad del municipio pertenece al sistema de llanura rocosa de piso cementado compuesto por roca caliza, y se caracteriza por pendientes planas y escasas elevaciones que no alcanzan 20 metros de altura (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2022).

Figura 3.1-1. Fisiografía del municipio Cozumel



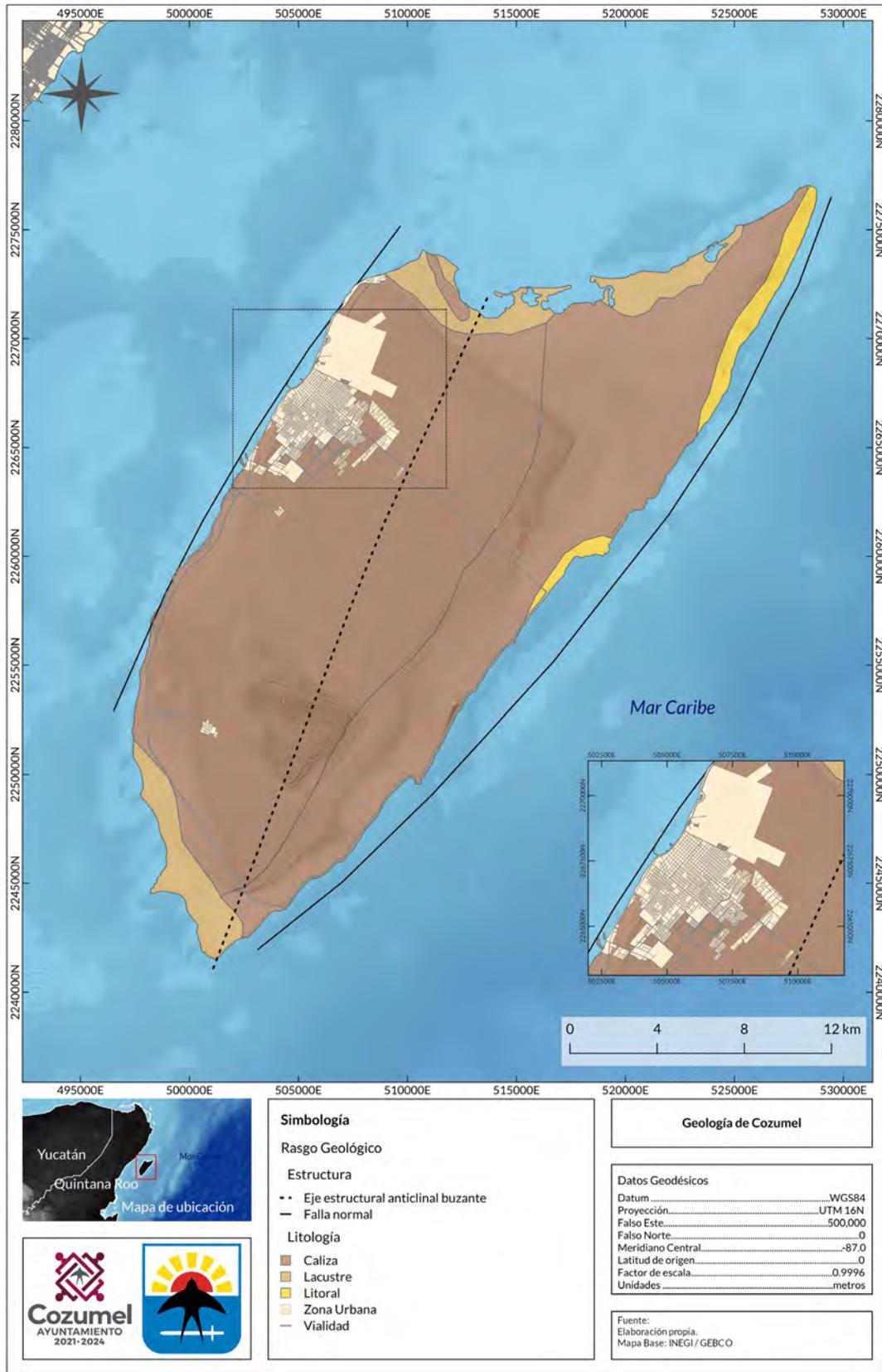
Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía ( INEGI) / General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)

Figura 3.2-1. Geomorfología del municipio Cozumel



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía ( INEGI) / General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)

Figura 3.3-1. Geología del municipio Cozumel



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía ( INEGI) / General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)

De acuerdo con el (CCC, 2023), en el municipio se distinguen tres tipos de costas:

- La costa de inundación y/o de inter mareas se localizan en la zona norte y sur de la isla y se caracteriza por la presencia de zonas lagunares con conexión directa con el mar. Tiene una superficie de 4,740.1335 ha (10.02%).
- La costa biogénica de arrecife coralino se localiza principalmente en la costa oriental de la isla en dos sitios, en el litoral central desde Mezcalitos hasta Chen Río y en el litoral norte abarcando los Arrecifes y el Castillo Real. Tiene una superficie de 985.148 ha (2.08%).
- La costa no diferenciada con la playa se presenta en la costa oriental de la isla en el litoral sur desde Chen Río hasta Playa Box y en el litoral norte desde Mezcalitos hasta los arrecifes. Tiene una superficie de 1,810.4735 ha (3.82%).

La geomorfología del municipio se muestra en la Figura 3.2-1.

### 3.3. Geología

El municipio está constituido por rocas sedimentarias calcáreas marinas del Terciario y Cuaternario, las rocas más antiguas son las calizas y saturadas de agua salada (formación Cozumel), a principios del Plioceno por actividad sísmica se crearon fallas de tipo normal, generando el levantamiento de la isla, en el Plioceno inferior, hubo depósitos de la formación Chankanaab, conformada por lodolita arenosa. La mayor parte de la isla está constituida por la formación de Abrigo que se compone, principalmente, por calcarenitas y areniscas, por movimientos emergentes durante el Pleistoceno, donde las formaciones quedaron expuestas a intemperismo, y comenzó un proceso de erosión. Las unidades geológicas más recientes pertenecen al cuaternario y están conformadas por fragmentos de conchas y otros organismos y clastos de arena y gravillas calcáreas de color blanco (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2022).

De acuerdo con lo anterior, la totalidad de la geología del municipio es de tipo sedimentario (SEMARNAT, 2022) (INEGI, 1983):

- el 90.6 % es caliza, distribuyéndose de manera homogénea al norte – sur, este – oeste adyacente al área urbana Cozumel que se localiza al noroeste del municipio.
- el 6.8% es lacustre en la zona sur y norte de la isla, donde en la parte sur- suroeste se desarrollan manglares, y en las partes norte – noroeste el tular; y
- el 2.6% son unidades litorales 2.6% del cuaternario al este, noreste donde se presenta una franja de manglares adyacentes a la línea de costa.

En el municipio existen zonas inundables, que corresponden a terrenos llanos o un poco ondulados, que experimentan inundaciones ocasionales o periódicas, que se generan por el agua directa de la lluvia y de la que fluye desde el acuífero hasta la costa, que termina por mezclarse con las aguas marinas (Ayuntamiento de Cozumel, 2021). La geología del municipio se muestra en la Figura 3.3-1.

### 3.4. Edafología

En la superficie insular se distribuyen cinco grupos principales de suelos (SEMARNAT, 2022):

- Leptoso (LP), ocupa una superficie de 33,404.9904 hectáreas (ha) (70.6%) repartiéndose por su zona central. Estos suelos se encuentran limitados en profundidad por una roca continua y dura dentro de los 10 cm de la superficie del suelo, por lo que presentan un perfil de tipo A-R. Aparecen siempre en áreas con pendiente acusada y/o lugares que han sufrido intensos procesos de erosión. En estas condiciones, si el proceso degradativo del suelo continúa, estos Leptosoles pueden desaparecer dando lugar a afloramientos generalizados de la roca subyacente, alcanzando un estado final de degradación prácticamente irreversible.

- Solonchak (SC), ocupa una superficie de 5,702.839 ha (12.05%) y se distribuye principalmente en las zonas pantanosas de los extremos sur, norte y en una porción de la costa nororiental (siendo en el primer caso de tipo órtico y en los otros dos de tipo gléyico). Este tipo de suelo se encuentra sobre la franja de terrenos bajos y pantanos de la planicie palustre y pueden ser diferenciados por sus contenidos relativos de sales y materia orgánica.
- Gleysol (GL) (de tipo mólico), ocupa una superficie de 2,892.8721 ha (6.1%) y se encuentra en la costa oriental inmediatamente al norte de la carretera transversal. Son suelos con mal drenaje, presentan agua en el perfil, en forma permanente o semipermanente, con fluctuaciones de nivel freático en los primeros 5 m; los más abundantes son los gleisoles húmicos y calcáricos. Se dan cuando las condiciones del relieve favorecen el estancamiento.
- Arenosol (AR), ocupa una superficie de 4,647.5946 ha (9.84%), y tienen una textura franco-arenosa o más gruesa. Están caracterizados por su escasa evolución y un perfil prácticamente indiferenciado con un delgado horizonte A, con muy baja incorporación de materia orgánica, sobre un material arenoso totalmente suelto y sin ninguna cohesión entre sus partículas. Son suelos muy permeables y con escasa capacidad de retención de agua, lo que origina que las plantas se vean sometidas a estrés hídrico. La elevada porosidad de estos suelos repercute en una gran facilidad de aireación, que favorece la oxidación y rápida mineralización de la materia orgánica. Además, tienen una gran susceptibilidad ante los procesos erosivos, especialmente eólicos, si no son fijados por una adecuada cobertura vegetal, como ocurre con las dunas móviles del territorio.
- Hortisol (ZU), ocupa una superficie de 671.8842 ha (1.40%) y son suelos antrópicos favorables para la producción de cultivos.

La edafología del municipio se muestra en la Figura 3.4-1.

### 3.5. Clima

En el Estado de Quintana Roo el 99% de su superficie presenta clima cálido subhúmedo y el 1% cálido húmedo, este último en el municipio de Cozumel (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2023). El clima del municipio se presenta en la Figura 3.5-1.

El clima es tropical lluvioso, y como se mencionó, se caracteriza por ser cálido húmedo, con abundantes lluvias en verano y alto porcentaje de lluvia invernal, del tipo Aw (f)<sup>3</sup>, (Ayuntamiento de Cozumel, 2021), (DIGAOHM, n.d.), (DIGAOHM, n.d.), (Orellana Lanza, n.d.).

Los veranos suelen ser largos, cálidos, opresivos, húmedos y nublados, mientras que, los inviernos son cortos, cómodos, bochornosos y mayormente despejados (Weather Spark, 2023).

#### 3.5.1. Temperatura media anual

La temperatura media anual en la Isla de Cozumel es de 26° C, la mínima promedio es de 17°C y la máxima promedio es de 33°C. La evaporación media anual es de 1,202.4 milímetros. De acuerdo con datos de CONAGUA en el mes de noviembre del 2021 se registró la temperatura máxima de 37° C de acuerdo con el registro del Plan Municipal de Desarrollo 2021-2024 (Ayuntamiento de Cozumel, 2021) (DOF, 2013a).

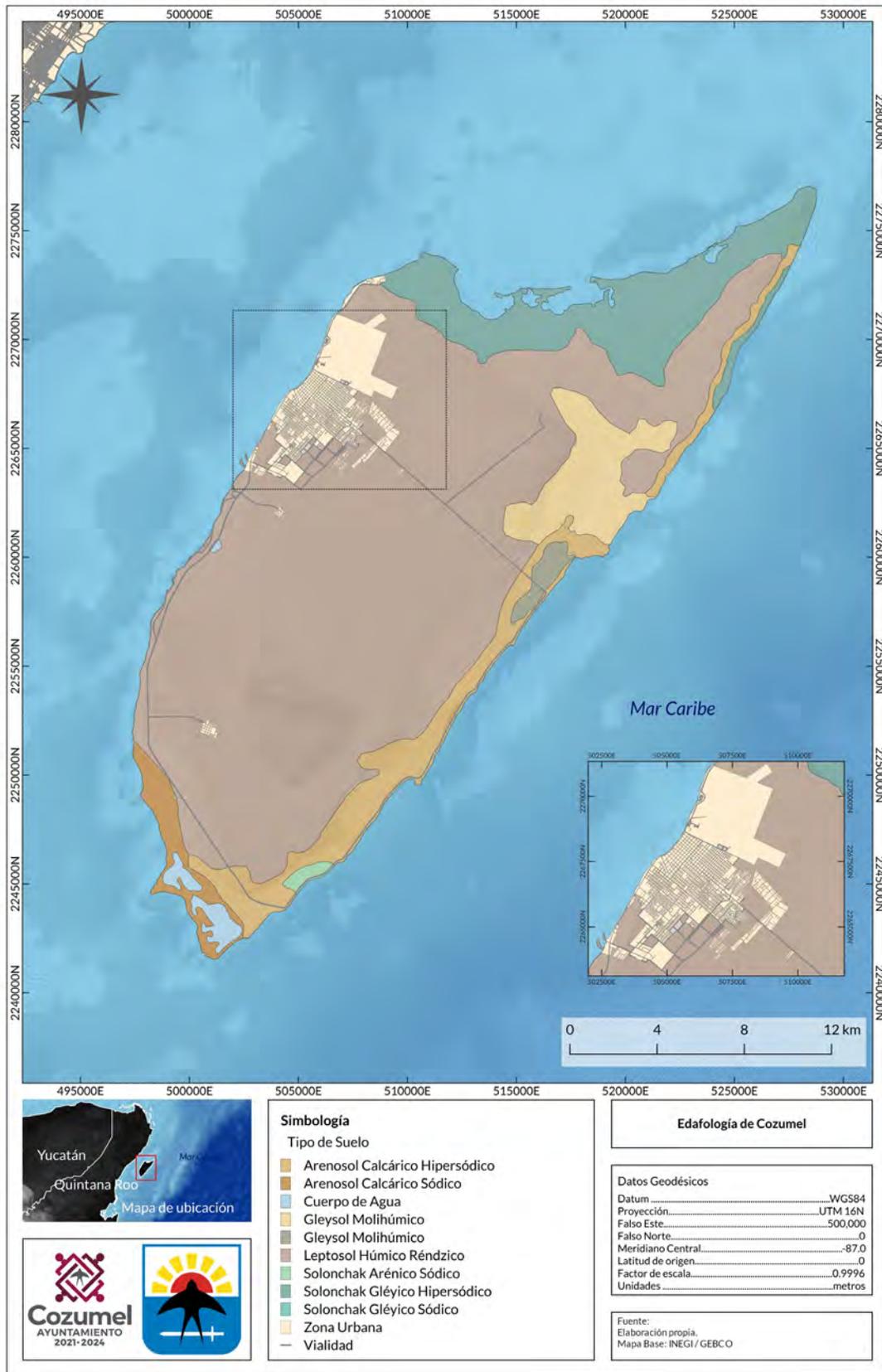
Respecto a la temperatura de las aguas, esta ronda entre los 28° C y los 30° C en verano, y los 26° C y 27° C en el invierno (Ayuntamiento de Cozumel, 2021).

#### 3.5.2. Precipitación media anual

Las precipitaciones se registran durante todo el año, y la precipitación anual es de 1,607 mm, donde el mes con menor precipitación es marzo con 44.1 mm y el mes con mayor precipitación es septiembre con 241.6 mm (CCC, 2023).

<sup>3</sup> De acuerdo con los grupos climáticos originales de Köppen la clasificación "A" corresponde a climas cálidos húmedos tropicales, y respecto a los regímenes de lluvia posibles en México, las lluvias en verano se identifican con (w), mientras que las abundantes todo el año con (f). En ese sentido, en Cozumel se presenta un clima cálido húmedo con lluvias en verano y alto porcentaje de lluvia invernal. (Orellana Lanza, n.d.)

Figura 3.4-1. Edafología del municipio Cozumel



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía ( INEGI) / General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)

### 3.5.3. Cambio climático

La temperatura en el municipio presenta una tendencia positiva, especialmente en los últimos años, sin embargo, los valores no están alejados de la media mensual ya que solo superan 2 °C. Mientras que, los valores atípicos de bajas temperaturas cada vez son menos frecuentes, aunque se seguirán presentando con valores que oscilan en los -2 °C de la media histórica (Torres Rodríguez et al., 2018).

Considerando una climatología base de temperaturas de 1961-2000, las proyecciones futuras del escenario RCP<sup>4</sup> 8.5 para fines de siglo, presentan un incremento de 4°C, lo que la llevará de los 40.5 °C de la climatología actual a un valor de 44.5 °C, mientras que bajo el escenario RCP 6.0 se espera un aumento de 2°C (Torres Rodríguez et al., 2018).

Para el caso de las temperaturas mínimas, en el escenario RCP 8.5 se proyecta un incremento de 4°C, pasando de 8°C en la climatología actual a 12°C, mientras que bajo el escenario RCP 6.0 el incremento estimado es de 2°C, lo que significa un cambio benéfico en las temperaturas mínimas en la zona de Cozumel (Torres Rodríguez et al., 2018).

Respecto al aumento de la temperatura del agua en las lagunas costeras, sobre todo en época de estiaje y en los meses con temperaturas máximas puede afectar severamente a algunas especies de estos ecosistemas, ya que la disolución del oxígeno en la columna de agua disminuye con el aumento de la temperatura. Considerando los escenarios de cambio climático, se estima un aumento de 3.0°C en el escenario RCP 8.5 para el futuro cercano y de 5.0 °C para el futuro lejano (Torres Rodríguez et al., 2018).

<sup>4</sup> Las Trayectorias Representativas de Concentración (RCP) son escenarios que incluyen series cronológicas de emisiones y concentraciones de la serie completa de gases de efecto invernadero y aerosoles, así como de gases químicamente activos, el uso de la tierra y la cubierta terrestre. La palabra "representativa" significa que cada RCP proporciona tan solo uno de varios escenarios posibles que darían lugar a las características específicas del forzamiento radiativo (por ejemplo, el calentamiento asociado con los gases de efecto invernadero). El término "trayectoria" destaca que no solo interesan los niveles de concentración a largo plazo, sino también la trayectoria en el tiempo para alcanzar ese resultado (Torres Rodríguez et al., 2018).

### 3.6. Tectónica

La península de Yucatán se encuentra ubicada en la confluencia de la Placa Oceánica del Caribe y la Placa Continental de Norte América (Vargas López, n.d.) (ver Figura 3.6-1). Particularmente, la placa del Caribe se encuentra deformada y apilada entre las placas oceánicas Pacífica y Atlántica, y sobre las placas continentales Norte y Sudamericana. La zona de sutura con la Placa Norteamericana es la denominada zona de sutura de Motagua. Debido a sus movimientos, la Península de Yucatán se desplaza en sentido de las manecillas del reloj (Reyes Sainos, 2021) (ver Figura 3.6-2).

Adicionalmente, en la Península de Yucatán se encuentran rocas de todos tipos, tanto sedimentarias, como ígneas y metamórficas, lo cual es un indicio de una importante actividad geológica y tectónica, por lo que, si bien la actividad sísmica en región es poco numerosa y de baja magnitud, sí se registran sismos, como el que ocurrió el 11 de enero de 2015 al suroeste de Playa del Carmen, con una magnitud de 4.2 (SSN, 2015).

Si bien, la placa del Caribe colisiona con la placa de Norteamérica, produciéndose procesos de subducción, en donde la fricción entre los bordes de las placas, produce terremotos y una gran cantidad de energía térmica que se manifiesta en actividad volcánica, la parte occidental (llamada también mar de las Antillas o mar de Yucatán), tiene un origen distinto y es prácticamente inactivo desde el punto de vista sísmico y volcánico, debido a que esta zona se localiza sobre la placa de Norteamérica, lejos de la línea de contacto con la placa del Caribe (Bezaury-Creel et al., 2011).

En ese sentido, se han sentido en la región sismos originados en la placa tectónica del mar Caribe ubicada frente a las costas de Jamaica y Cuba, como el que ocurrió el 28 de enero de 2020 a las 13:10 hrs. con una magnitud de 7.7 grados (Coordinación General de Comunicación, 2020). Por lo que el Centro de Alertas de Tsunamis (CAT -SEMAR) emitió un boletín informativo, el cual establecía que con base a la información del sismo se esperaban posibles variaciones del nivel del mar menores a 1 metro para las costas

del caribe mexicano, estimando que la primera ola llegaría a Cozumel a las 14:34 hrs. (CAT-SEMAR, 2020).

Sin embargo, en Cozumel el peligro de terremoto se clasifica como muy bajo, lo que significa que hay menos de un 2 % de probabilidad de que en los próximos 50 años se produzca un terremoto potencialmente dañino. Mientras que el peligro de tsunami se clasifica como bajo (ThinkHazard!, 2020).

### 3.7. Erosibilidad

A lo largo de la zona costera se presentan casos de acreción y de erosión, así como diversas combinaciones de ambos. En el periodo de análisis de 1968-2017, se observó que la costa Este de Cozumel se encuentra en proceso de erosión y que solo en la zona de Laguna Colombia y Punta Sur aparecen casos de acreción (Torres Rodríguez et al., 2018).

Particularmente, la erosión costera es originada por la elevación del nivel del mar, los efectos termosféricos en el agua de mar (aumento del volumen por expansión térmica), el aumento en la frecuencia e intensidad de tormentas y huracanes, y por la construcción de en la zona costera, en Cozumel existen sitios críticos de erosión de hasta 29.8 metros de pérdida de playa (Secretaría de Turismo & Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), 2019). Sin embargo, las dunas costeras existentes gracias a sus plantas y sus raíces, retienen la arena evitando la erosión de las playas (Flora, 2021).

### 3.8. Hidrografía

Debido al escaso relieve y a la permeabilidad del suelo, el municipio no tiene corrientes superficiales de agua, por lo que estos se han conformado en corrientes subterráneas y cenotes, además, en la zona sur se localizan entradas de agua marina, la Laguna Colombia y Chankanaab y al norte Laguna Ciega, todas ellas de agua salobre<sup>5</sup> (Ayuntamiento de

<sup>5</sup> Agua con una salinidad entre el agua dulce y el agua de mar. (Valdivielso, s.f.)

Cozumel, 2021) (Dirección General Adjunta de Oceanografía, n.d.). En la figura 3.8-1 se muestra la hidrografía del municipio.

### 3.9. Hidrología

La erosión kárstica de las calizas de la isla de Cozumel ha determinado la ausencia de cauces de agua superficial y la formación de cuerpos subterráneos de agua dulce que yacen sobre las aguas saladas marinas, de mayor densidad. Esta lente de agua dulce alcanza su máximo espesor en la zona centro-oriental de la isla (Ezcurra et al., 1985). Adicionalmente, el agua que se precipita en la superficie del terreno se infiltra rápidamente o se acumula en las zonas de inundación, al norte y sur de la isla o en pequeños estanques temporales (DOF, 2013a).

La alta permeabilidad de las calizas ha causado problemas de abastecimiento de agua dulce en el municipio, ya que se mezcla el agua dulce del manto freático superior con agua salada de origen marino. En la zona de la Laguna Colombia esta problemática es muy frecuente, por la alta tasa de evapotranspiración del sistema lagunar y las intrusiones marinas al mismo (Instituto Nacional de Ecología, 1998).

### 3.10. Cuevas y cavernas

Por la geología de la península de Yucatán, al igual que la de la isla de Cozumel, se han formado sistemas limnológicos muy particulares que incluyen aguas expuestas y subterráneas asociadas a estructuras derivadas de la disolución de la roca caliza, conocidas como cenotes y sus sistemas de cuevas subterráneas (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2023).

Los cenotes (del maya ts'ono'ot o d'zonot, que significa "caverna con depósito de agua") y sus aguas subterráneas tienen un papel ecológico fundamental al enlazar a los elementos bióticos y abióticos compartidos con el mar Caribe. Su funcionalidad ecológica y biodiversidad no serían posibles sin los procesos y aportes de

materia orgánica de los ecosistemas adyacentes, principalmente de las selvas y manglares. Algunos cenotes, los más cercanos a la costa, tienen influencia tanto de agua dulce epicontinental como de agua salada marina, que ingresa por la red de cavernas desde el mar. A estos sistemas con zonas de encuentro e interacción entre aguas con diferentes gradientes de salinidad se les conoce como cuevas anquihalinas (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2023).

La formación de los cenotes (cuevas o sistemas kársticos) se da a partir de procesos geoquímicos de dilución de rocas de carbonato de calcio por acción del agua de lluvia y corrientes de agua subterránea. Al filtrarse el agua de lluvia por el subsuelo se enriquece con dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) tornándose ligeramente ácida y actuando a lo largo del tiempo como un agente erosivo de la roca caliza desgastándola y formando cavidades subterráneas inundadas de distintos tamaños y conformaciones, que después de miles de años de erosión hídrica se colapsan formando depresiones llamadas dolinas, llegando un momento en el que el techo se adelgaza hasta colapsar dejando al descubierto total o parcialmente la parte inundada (CONANP, 2023).

En la Península de Yucatán se han registrado 2,241 cenotes de un estimado de más de 5,000 y tan solo en Quintana Roo se calcula que existen más de 2,000 de estas formaciones (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2023).

En Cozumel se han registrado 180 entradas al subsuelo, de las cuales el 50 % contienen agua o bien están completamente inundadas, y existen otras totalmente secas, como las cuevas de flanco margen localizadas en la paleoduna que rodea a la isla. En estas habitan una gran biodiversidad, la mayoría de las especies endémicas, con características particulares que les permiten tener una gran especialización y estrategias para sobrevivir en ambientes extremos y la mayoría de las especies son endémicas<sup>6</sup> (CCC, 2023).

<sup>6</sup> Recientemente se han encontrado especies de microcrustáceos endémicos en cavernas inundadas de la isla, en donde sus congéneres más cercanos se han encontrado en otras partes del mundo, lo que resalta la importancia del cuidado de estos ambientes, no sólo por sus especies presentes, si no como ecosistemas de gran relevancia para la isla (CCC, 2023).

En el municipio se han detectado alrededor de 36 cenotes, de los cuales aproximadamente 19 se encuentran dentro de la zona urbana. Debido a su carácter costero y poca elevación sobre el nivel del mar, la mayoría de estos son de tipo cueva y están totalmente inundados agua (La Jornada Maya, 2023) (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2023).

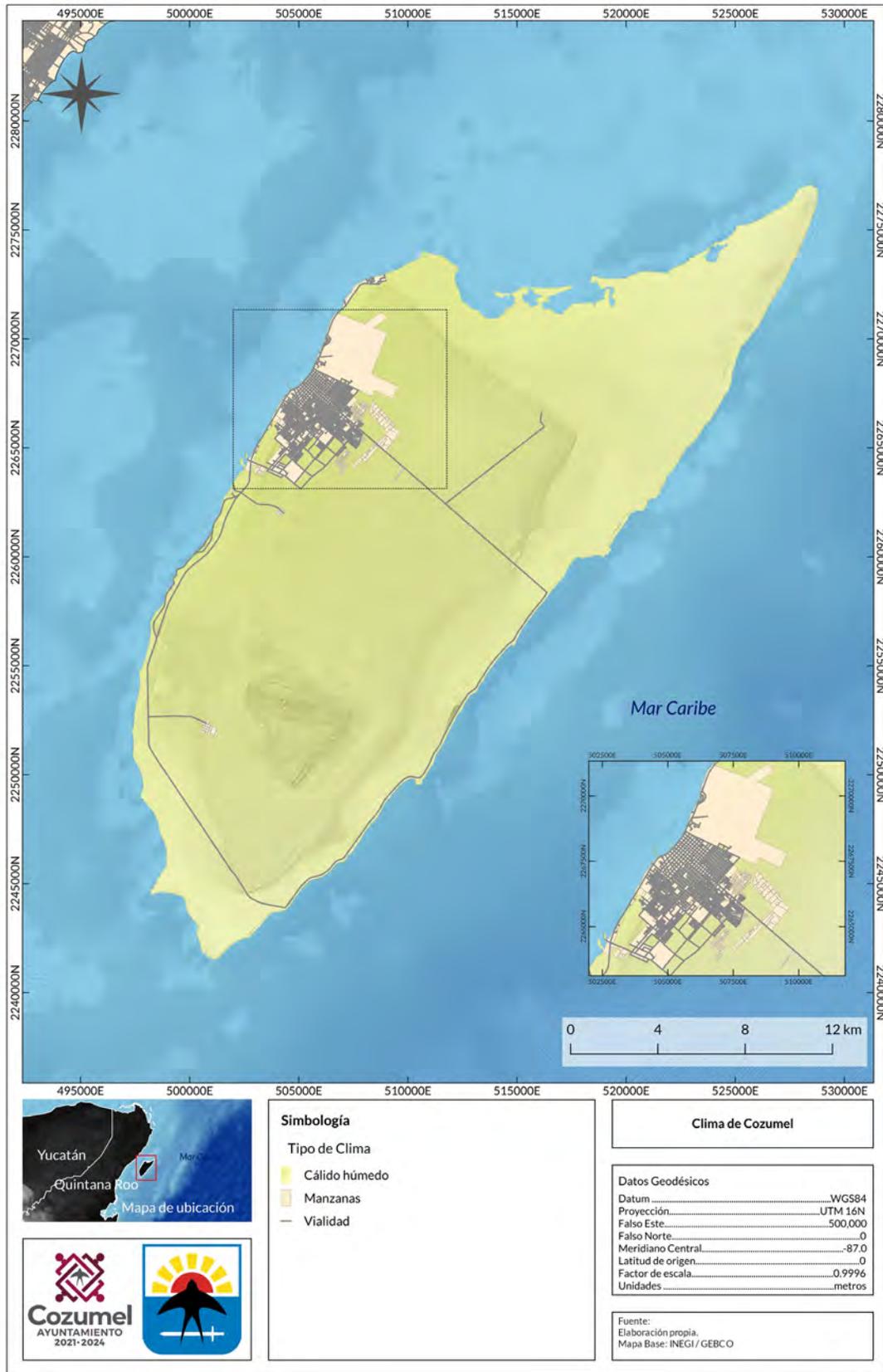
Los principales cuerpos de agua están cerca de la costa, y otros que se encuentran en el interior de la isla. Algunas de las cuevas conocidas en el municipio son cenotes llenos de agua y de lados empinados, y casi todas se consideran cuevas anquihalinas porque tienen conexiones con agua de mar. Algunos cenotes en Cozumel son la Cueva Rancho Santa Rita, la Cueva Quebrada Parque de Chankanaab, el Cenote Xkan-ha y el Cenote Aerolito. Sólo los Sistemas Quebrada y Aerolito tienen conexión marítima directa desde donde recolectamos crustáceos, equinodermos, gusanos y principalmente especies marinas de peces (Mejía Ortiz et al., 2007).

Los datos físicos del estudio de (Mejía Ortiz et al., 2007) muestran que tres cenotes tienen agua dulce escasa en la parte superior del nivel freático, sin embargo, la mayoría de estos sistemas están llenos de agua marina en sus capas más profundas.

Los cenotes son una ventana de comunicación entre la superficie y el agua subterránea. Algunos cenotes son lugares de esparcimiento y nado recreativo para los habitantes de la zona; desafortunadamente, otra parte de la población los usa como depósitos de residuos sólidos, electrodomésticos o material de construcción, por lo que, al ser una ventana de comunicación con el agua subterránea y estar en contacto con residuos sólidos y líquidos de distinta naturaleza, es altamente probable que haya cambios en sus características, provocando que el agua que está en esa zona ya no se considere potable (CICY, 2023).

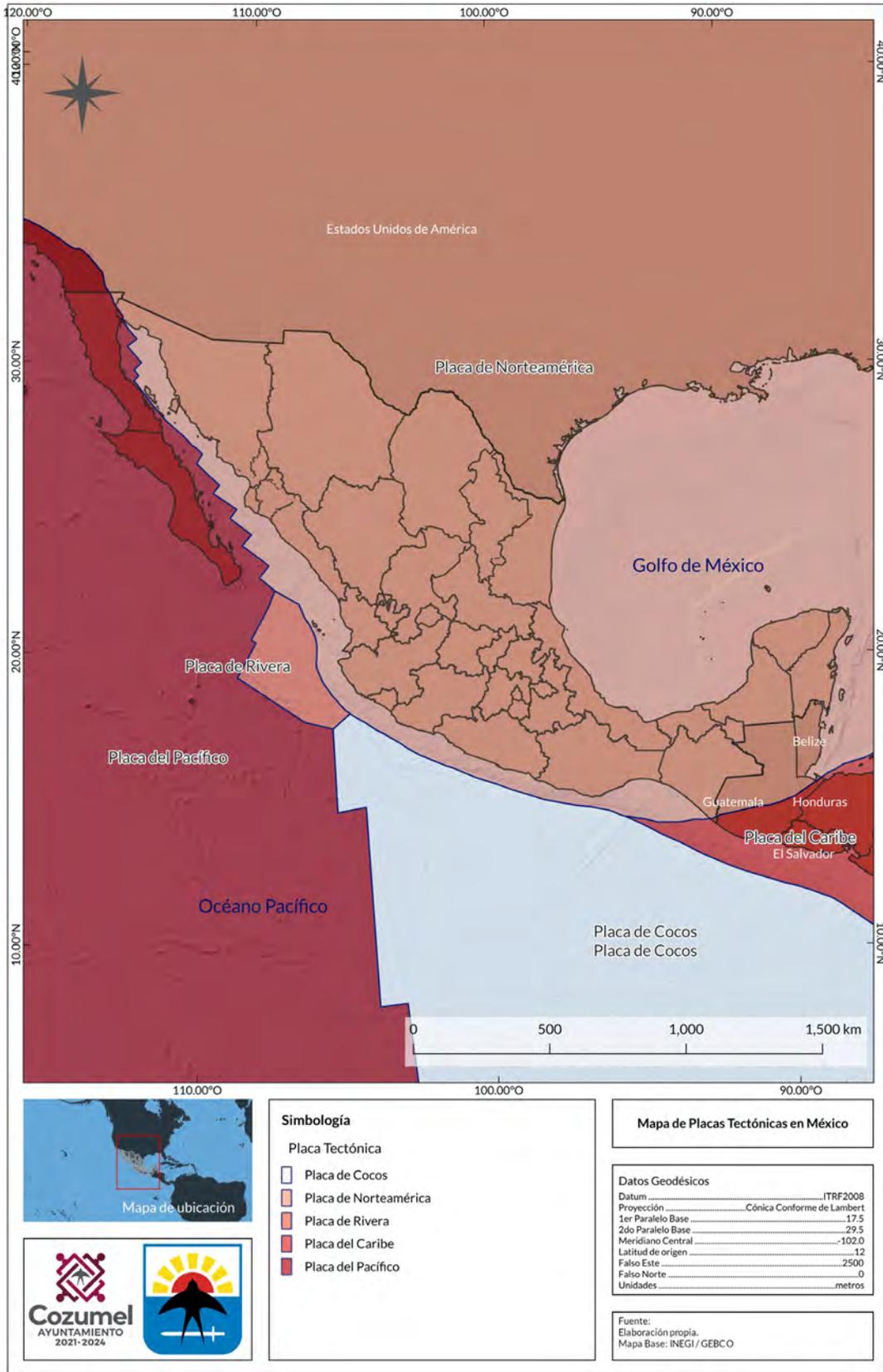
En Cozumel también se encuentran los cuerpos de agua superficiales con suelo de sedimentos poco profundos llamados aguadas, donde habitan peces de agua dulce y tortugas como fauna principal en casi todas las aguadas (Mejía Ortiz et al., 2007).

Figura 3.5-1. Clima del municipio Cozumel



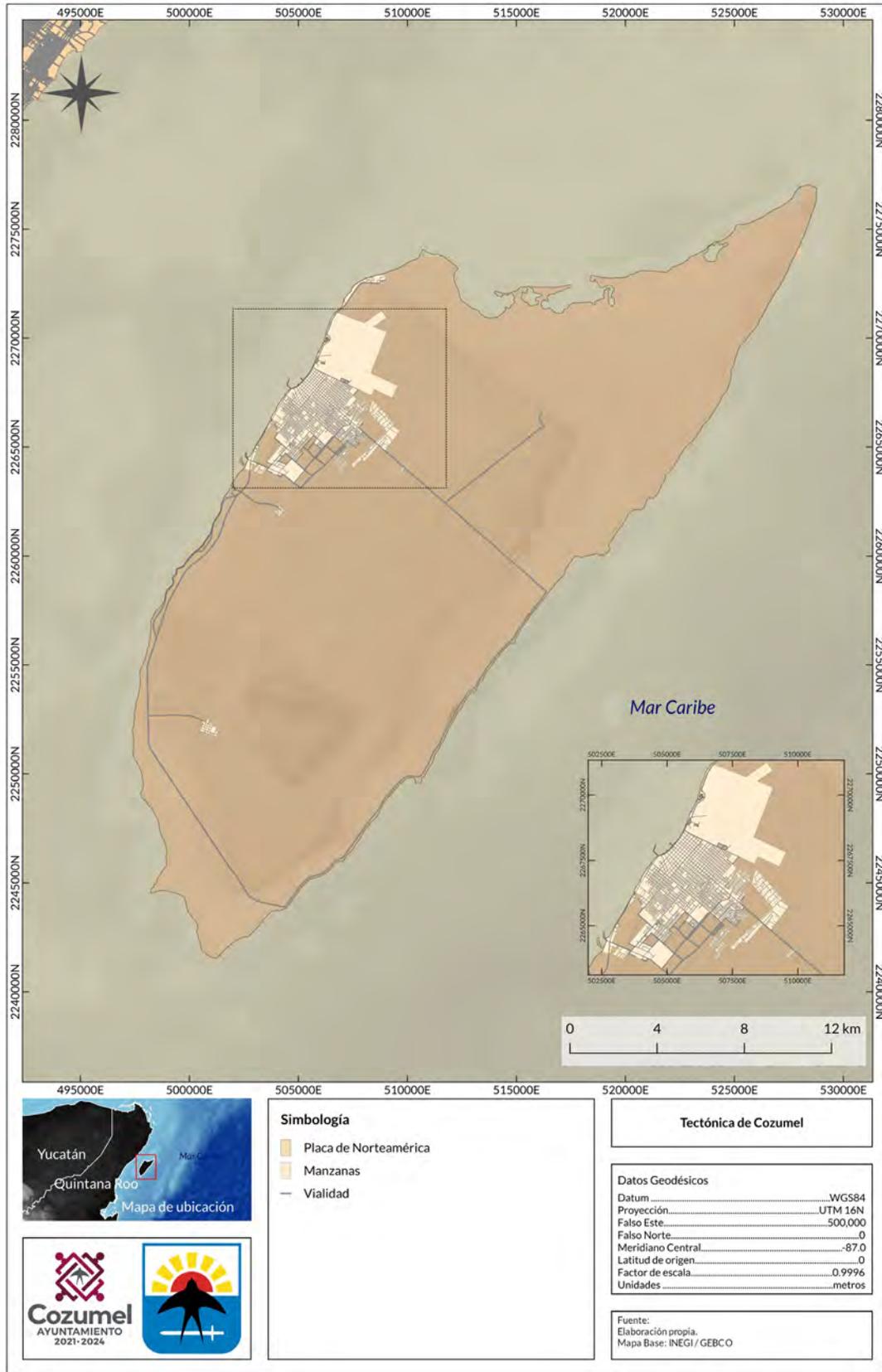
Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía ( INEGI) / General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)

Figura 3.6-1. Placas tectónicas de México



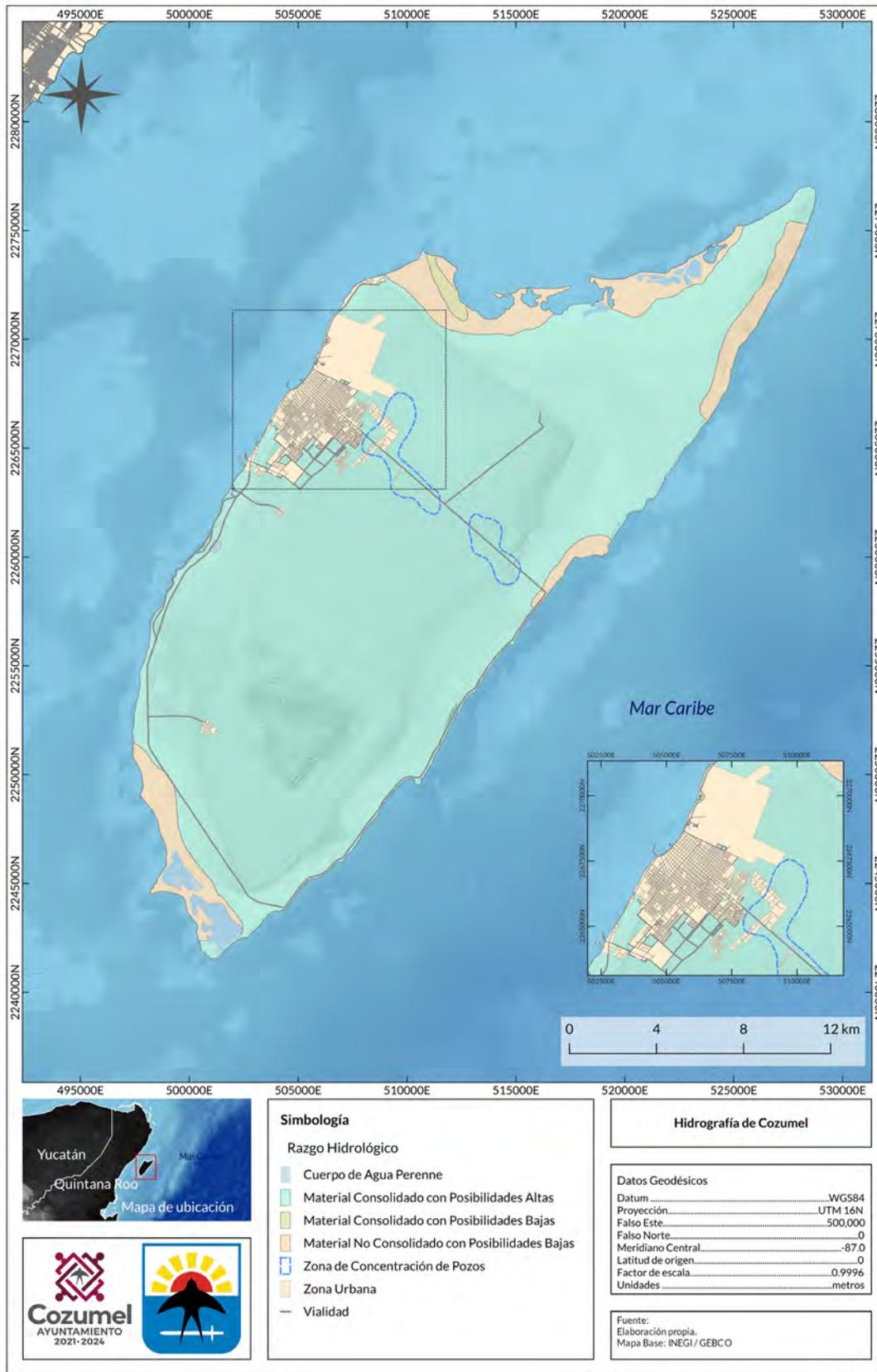
Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía ( INEGI) / General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)

Figura 3.6-2. Tectónica del municipio de Cozumel



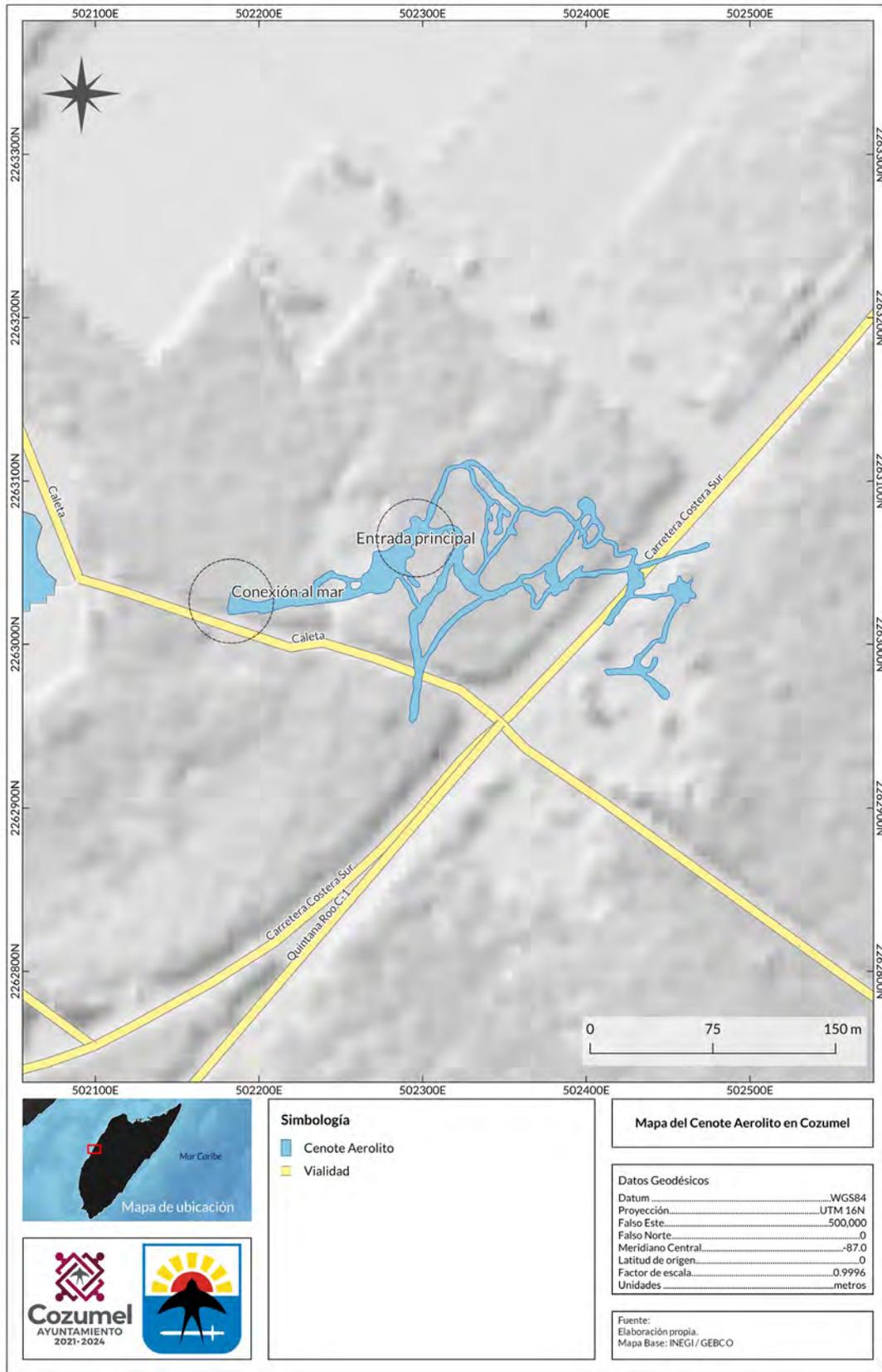
Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía ( INEGI) / General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)

Figura 3.8-1. Hidrografía del municipio Cozumel



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía ( INEGI) / General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)

Figura 3.10-1. Mapa del Cenote Aerolito



Fuente: (Solís-Marín & Laguarda-Figueras, 2010)

### 3.11. Uso de suelo y vegetación

La vegetación dominante en el municipio es la Selva Mediana Subperennifolia que se localiza en la parte central de la isla en dirección norte – sur con una superficie 307.99 km<sup>2</sup>, que representa el 65.08% del territorio. Al norte tiene contacto con los manglares, que se encuentran en las costas norte, sureste y suroeste, con una superficie de 53.64 km<sup>2</sup> lo que equivale al 11.34% del municipio.

Al noroeste en contacto con el mar y con la zona de manglares se encuentra superficie de tular, así como al suroeste del municipio, con una superficie 7.26 km<sup>2</sup>, 1.54%. En la parte noreste en contacto con los manglares se localiza vegetación secundaria arbustiva de manglar con una superficie de .35 km<sup>2</sup>, .08%. Al este tenemos la zona urbana, con contacto con las costas occidentales con una superficie de 2.45 km<sup>2</sup>, 4.96% (SEMARNAT, 2022) (INEGI, 2021). (Ver tabla 3.11-1 y figuras 3.11-1 y Figura 3.11-2).

### 3.12. Áreas naturales protegidas

De acuerdo con el (Ayuntamiento de Cozumel, 2021), el (DOF, 2023) y el (CCC, 2023) en el municipio se han decretado áreas naturales protegidas (ANP) como:

Federales:

- El Parque Marino Nacional de Arrecifes de Cozumel que tiene una superficie de 11,887.87 ha y comprende los arrecifes coralinos del litoral.
- El Área de Protección de Flora y Fauna Porción Norte y la Franja Costera Oriental, Terrestres y Marinas ubicada con una superficie total de 37,829.17 ha, destaca por la diversidad de ecosistemas terrestres y marinos que ahí se desarrollan y la diversidad de especies que la habitan.

Tabla 3.11-1. Superficie y porcentaje del uso de suelo y vegetación en el municipio de Cozumel

Tipo	Superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Asentamientos humanos	23.47	4.96
Cuerpo de agua	6.00	1.27
Desprovisto de vegetación	2.22	0.47
Manglar	53.64	11.34
Pastizal cultivado	2.51	0.53
Selva mediana subperennifolia	308.00	65.08
Sin vegetación aparente	3.91	0.83
Tular	7.27	1.54
Vegetación de dunas costeras	8.13	1.72
Vegetación secundaria arbórea de selva mediana subperennifolia	52.04	11.00
Vegetación secundaria arbustiva de manglar	0.36	0.08
Vegetación secundaria arbustiva de selva mediana subperennifolia	5.68	1.20
<b>Total</b>	<b>473.22</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, publicado por el CONABIO (2021)

- La Reserva de la Biósfera Caribe Mexicano, se localizada en los municipios de Isla Mujeres, Benito Juárez, Tulum y frente a las costas de Puerto Morelos, Solidaridad, Cozumel, Bacalar y Othón P. Blanco, con una superficie de 5,754.055.36 ha, y donde se localizan aproximadamente 1,900 especies de flora y fauna terrestre y marina; alrededor de 86 especies de coral; más de 500 especies de peces, 140 de ellas asociadas a los arrecifes de coral.
- El Cenote de Aerolito con una superficie de 10.21 Ha, con conexión directa al con el mar Caribe a través de una cueva submarina de 240 metros y donde se han registrado un total 293 especies nativas.

#### Estatales:

- La Laguna Colombia al sur del municipio con una superficie de 1,113.64 ha con la categoría de zona sujeta a conservación ecológica, refugio estatal de flora y fauna; y
- El Parque Natural de la Laguna de Chankanaab se localiza en la costa Occidental de la isla con una superficie de 13.65 ha donde se protege flora y fauna acuática, y se encuentra un jardín botánico que lo rodea;
- Las Selvas y Humedales de Cozumel, con una superficie de 19,846.45 ha es un mosaico de hábitats que incluye selvas bajas caducifolias, selvas medianas subcaducifolias, manglares, tasistales y vegetación de duna costera.

Figura 3.11-1. Uso de suelo del municipio Cozumel

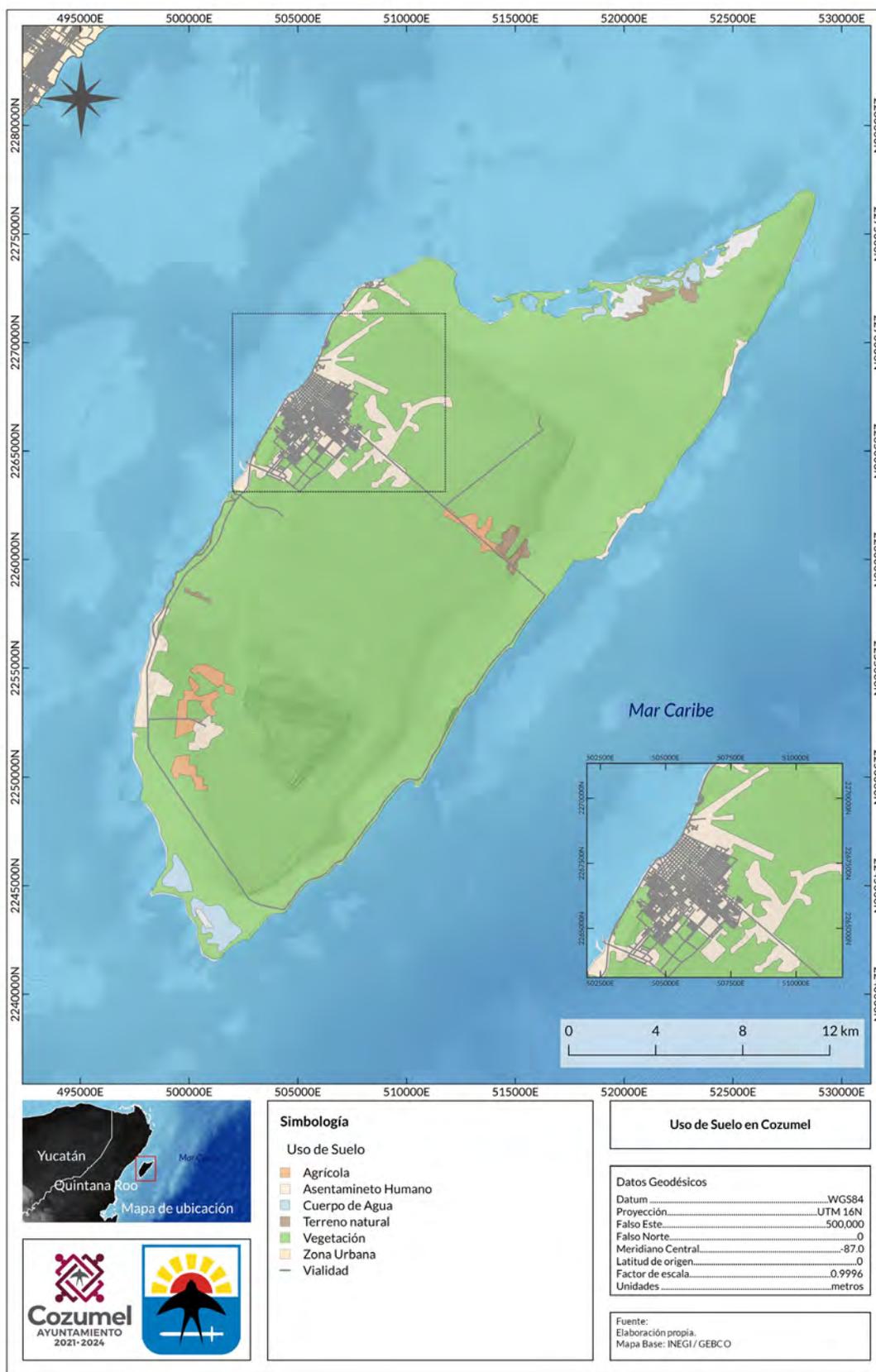
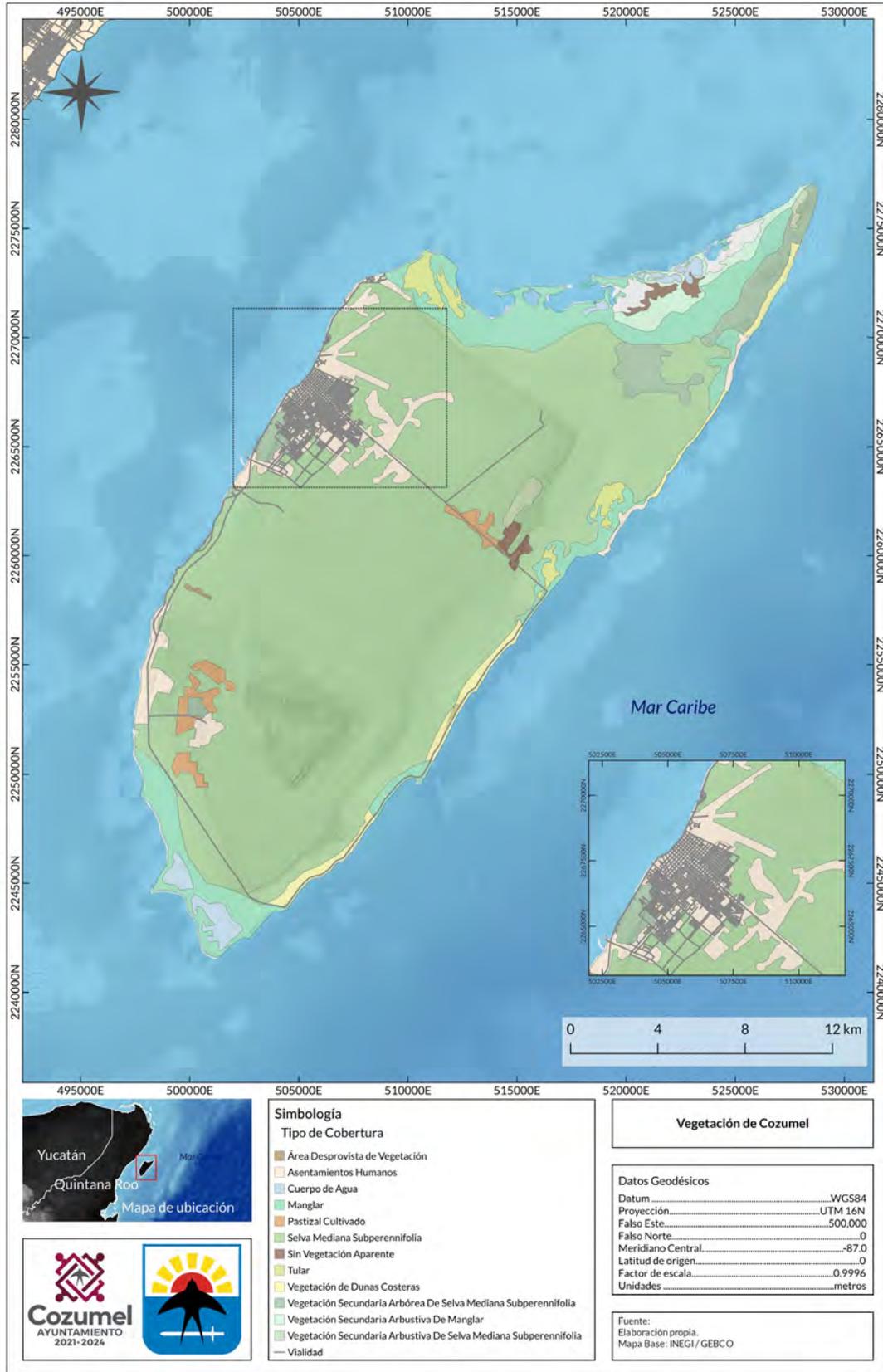


Figura 3.11-2. Vegetación del municipio Cozumel



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía ( INEGI) / General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)

Figura 3.12-1. Áreas naturales protegidas del municipio Cozumel



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía ( INEGI ) / General Bathymetric Chart of the Oceans ( GEBCO )

# 4

## CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEMOGRÁFICOS, SOCIALES y ECONÓMICOS



**Unidos** somos  
más **Grandes**

  
**Cozumel**  
AYUNTAMIENTO  
2021-2024

## CAPÍTULO 4: CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEMOGRÁFICOS, SOCIALES y ECONÓMICOS

A continuación, se presenta una caracterización general de la situación demográfica, social y económica del municipio de Cozumel, a través de indicadores básicos (demografía, densidad de población, escolaridad, población con discapacidad, lengua, pobreza, hacinamiento y marginación, y actividades económicas) que muestran las condiciones generales del estado que guarda el municipio.

### 4.1. Demografía actual y sus proyecciones futuras

La población del municipio de Cozumel se ha incrementado de manera importante en las últimas décadas debido a su potencial crecimiento como uno de los lugares turísticos más importantes del estado de Quintana Roo, y al aumento de gente que migra a la isla para establecer su residencia.

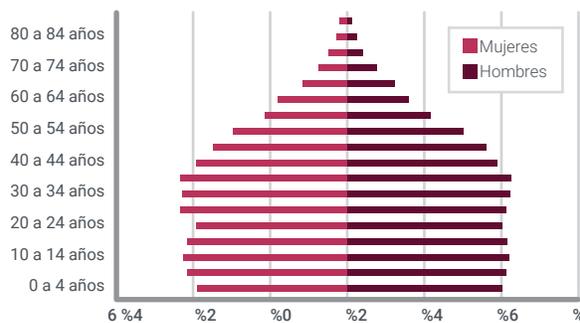
De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, Cozumel ocupa el cuarto lugar en lo que se refiere a población en el estado de Quintana Roo, su población total fue de 88,626 (ver Tabla 4.1-1) habitantes, siendo 44,211 mujeres (49.9%) y hombres 44,415 (50.1%) (INEGI), 2020 (ver Figura 4.1-1).

Tabla 4.1-1. Población total y por sexo de los municipios del Estado de Quintana Roo

MUNICIPIO	POB TOTAL	POB FEMENINA	POB MASCULINA
Benito Juárez	911,503	452,178	459,325
Solidaridad	333,800	163,324	170,476
Othón P. Blanco	233,648	118,552	115,096
<b>Cozumel</b>	<b>88,626</b>	<b>44,211</b>	<b>44,415</b>
Felipe Carrillo Puerto	83,990	42,036	41,954
Tulum	46,721	22,331	24,390
Bacalar	41,754	20,703	21,051
José María Morelos	39,165	19,310	19,855
Lázaro Cárdenas	29,171	14,327	14,844
Puerto Morelos	26,921	13,090	13,831
Isla Mujeres	22,686	11,144	11,542
<b>Total, Quintana Roo</b>	<b>1,857,985</b>	<b>921,206</b>	<b>936,779</b>

Fuente: Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI

**Gráfica 4.1-1. Pirámide poblacional por edades de los habitantes del municipio de Cozumel**



Fuente: Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI

**Tabla 4.1-2. Población total de acuerdo con Censos de 2010 y 2020 en el estado de Quintana Roo y en el municipio de Cozumel**

Población	2010	2020
Q Roo	1,325,578	1,857,985
Cozumel	79,535	88,626

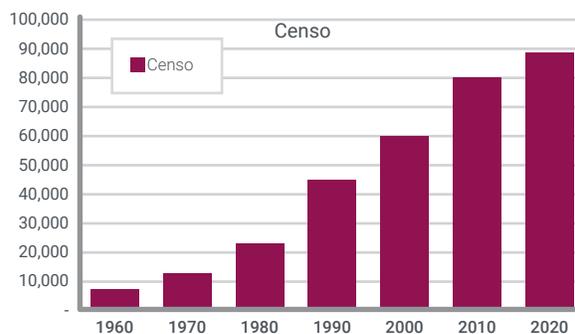
Fuente: Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI

**Tabla 4.1-3. Población del municipio de Cozumel y su incremento en porcentaje, de 1960 a 2020**

Censo	Población	Incremento
1960	7,562	
1970	12,622	66.9%
1980	23,270	84.4%
1990	44,903	93.0%
2000	60,091	33.8%
2010	79,535	32.4%
2020	88,626	11.4%

Fuente: Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI

**Gráfica 4.1-2. Población del municipio de Cozumel de 1960 a 2020**



Fuente: Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI

Respecto a la composición por edades, se observa una concentración en el segmento adulto de la población, de 25 a 39 años, mientras que, la población de más de 70 años es el más reducido (INEGI, 2020a).

En la Tabla 4.1-2 se presenta el comparativo de la población total en el estado de Quintana Roo y en el municipio de Cozumel, de acuerdo con los dos últimos censos correspondientes a los años de 2010 y 2020.

En la tabla anterior se observa que el estado de Quintana Roo creció en la última década 40.2%, mientras que la población del municipio de Cozumel aumento 11.4% para este mismo periodo.

En la tabla 4.1-3 y gráfica 4.1-2 se muestran los datos históricos por década de la población del municipio de Cozumel a partir de 1960 a 2020, donde se observa que la población se multiplico por más de 10 veces en el periodo analizado, mientras que, en la última década el crecimiento fue el más bajo en cuanto a porcentaje.

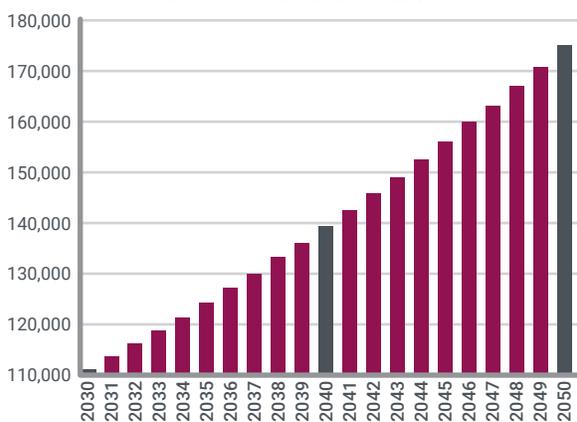
Es importante mencionar que el 95.4% de la población del municipio vive en la localidad de Cozumel, lo que se observa en la concentración de servicios y su infraestructura en esta localidad, la siguiente localidad con mayor población es Las Fincas con 1.6% de la población del municipio.

Para el año 2025 la proyección de población del Consejo Nacional de Población (CONAPO) muestra una tasa de crecimiento de 0.76%, lo que representa una población de 107,096 habitantes (Ayuntamiento de Cozumel, 2021). Mientras que, las proyecciones poblacionales para el año 2030 indican que en Cozumel vivirán casi 112 mil personas, sin embargo, el Consejo Estatal de Población (COESPO, s.a) calcula que por lo menos la mitad de estos habitantes serán personas migrantes en busca de los empleos asociados a la expansión del turismo (Santander & Ramos Díaz, 2011).

Para el presente Atlas de Riesgos se ha estimado una dinámica de población en Cozumel, acorde a la tendencia poblacional del estado, realizado diversos análisis considerando posibles escenarios de crecimiento de población y concluyendo que la población seguirá un

crecimiento anual compuesto de 2.29%. que lo lleve a alcanzar en 2030 cerca de 111,180 habitantes (Figura 4.1-1), así como para 2040 139,458 habitantes (Figura 4.1-2) y en 2050 174,938 habitantes (Figura 4.1-3).

**Gráfica 4.1-3. Proyección Población para Cozumel en el horizonte 2030 a 2050**



Fuente: estimación propia con datos de INEGI

## 4.2. Densidad de población

En el municipio, de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, se contabilizaron 31,078 viviendas, de las cuales 26,424 (el 85.02%) se registraron como habitadas. La densidad poblacional de Cozumel en el 2020 fue de 181.6 Hab/km<sup>2</sup> (CCC, 2023).

## 4.3. Escolaridad

En Cozumel el grado promedio de escolaridad de 10.22 años<sup>7</sup>, y de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, el 3.1% de la población de 15 años de no cuenta con un nivel de escolaridad, el 47.1% curso el nivel básico, el 31.2% el nivel medio superior y el 18.5% el nivel superior (INEGI, 2020b) (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2023).

<sup>7</sup> Número de años que, en promedio, aprobaron las personas de 15 años y más, en el Sistema Educativo Nacional. Resulta de dividir la suma de los años aprobados desde el primero de primaria hasta el último grado alcanzado de las personas de 15 años y más entre el total de la población de 15 años y más.

El nivel de rezago educativo en el municipio es bajo, ya que 8,201 personas están en esta situación, lo que representa el 11.2% de la población total (Ayuntamiento de Cozumel, 2021).

## 4.4. Población con discapacidad

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, en el municipio 3,362 personas tiene alguna discapacidad, lo que representa el 3.8% de la población total, particularmente, en personas con 60 años y más el porcentaje es del 17.6% (INEGI, 2020b).

## 4.5. Lengua

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, el 7.66% de la población de edad de 3 y años y más, habla una lengua indígena, y el 1.09% de esta población no habla español. Las lenguas indígenas más comunes son el maya y el tzeltal (INEGI, 2020b).

## 4.6. Pobreza

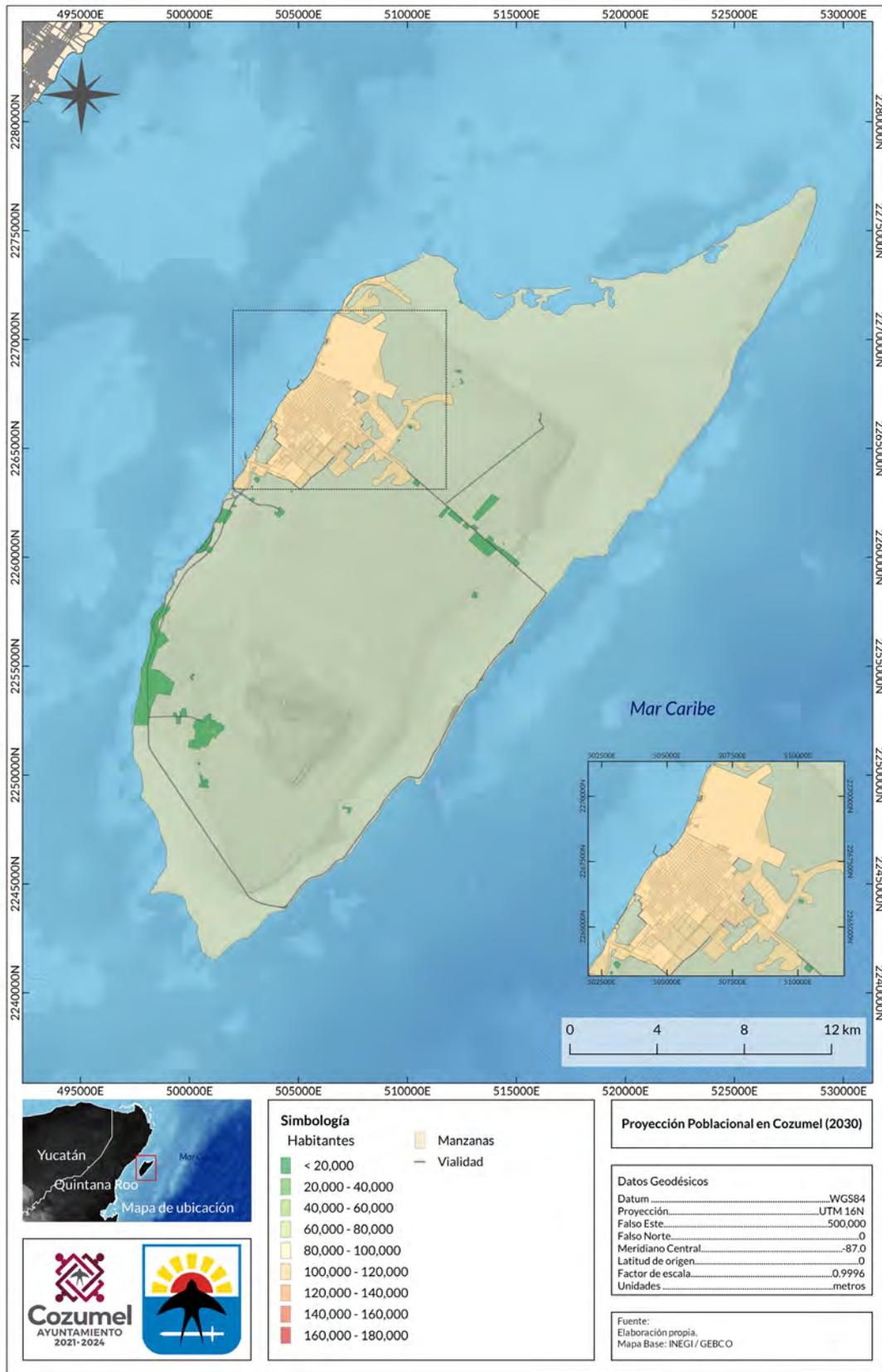
De acuerdo con la Medición Multidimensional de la Pobreza 2020 del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), con información de INEGI 2020 en el municipio hay 28,993 personas en situación de pobreza, de las cuales 25,286 están en pobreza moderada<sup>8</sup> y 3,707 en pobreza extrema<sup>9</sup> (Secretaría del Bienestar, 2023).

La proporción de la población en pobreza y pobreza extrema en el municipio de Cozumel es inferior a la del estado de Quintana Roo (ver tabla 4.6-1).

<sup>8</sup> Es aquella persona que, siendo pobre, no es pobre extrema (CONEVAL, n.d.).

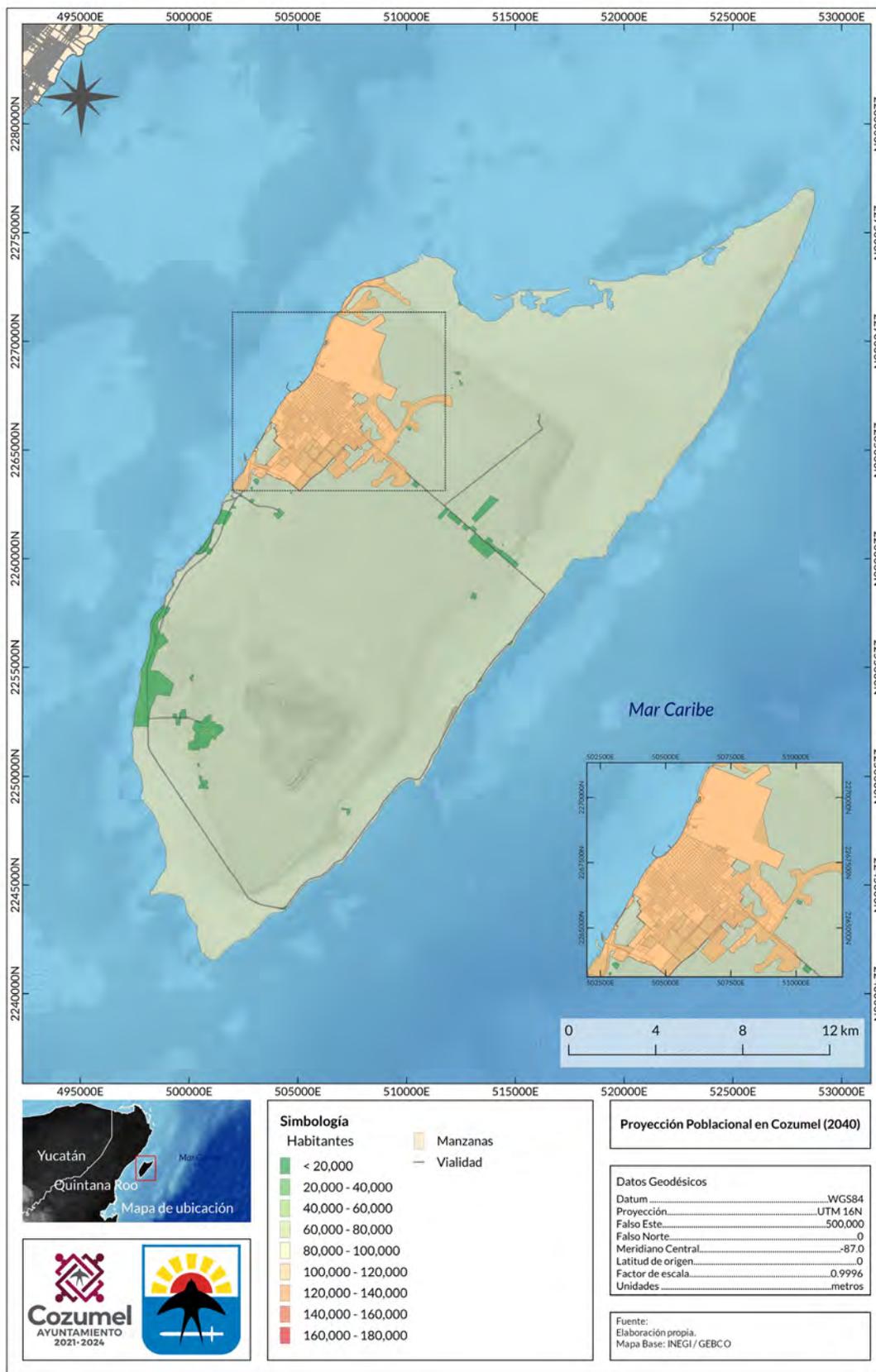
<sup>9</sup> Una persona se encuentra en situación de pobreza extrema cuando tiene tres o más carencias, de seis posibles, dentro del Índice de Privación Social y que, además, se encuentra por debajo de la línea de bienestar mínimo. Las personas en esta situación disponen de un ingreso tan bajo que, aun si lo dedicase por completo a la adquisición de alimentos, no podría adquirir los nutrientes necesarios para tener una vida sana (CONEVAL, n.d.).

Figura 4.1-1. Proyección de la población para el municipio de Cozumel (2030)



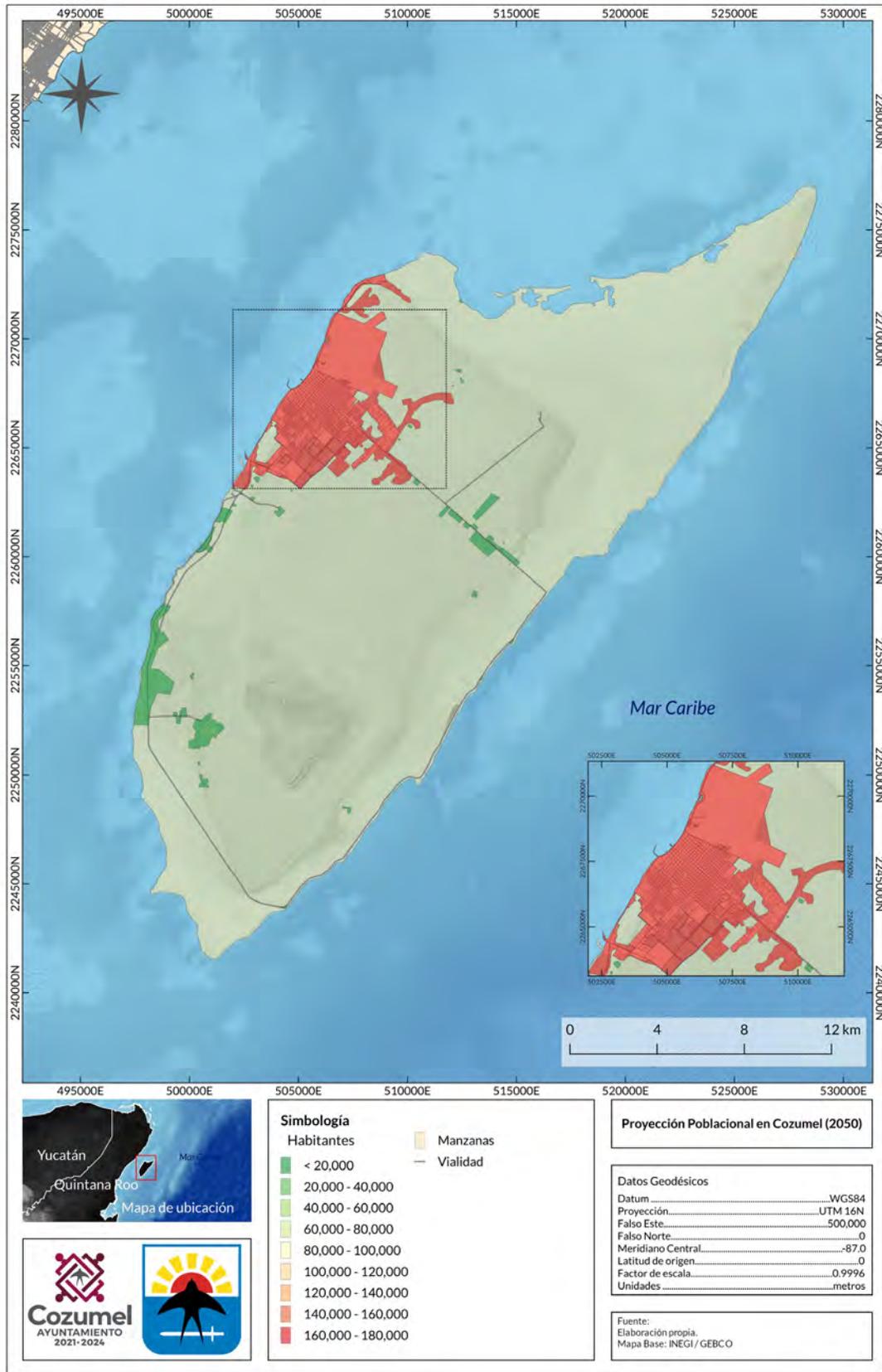
Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) / General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) y proyecciones estimadas con cálculos propios

Figura 4.1-2. Proyección de la población para el municipio de Cozumel (2040)



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) / General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) y proyecciones estimadas con cálculos propios

Mapa 19. Proyección de la población para el municipio de Cozumel (2050)



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) / General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) y proyecciones estimadas con cálculos propios

**Tabla 4.6-1. Porcentaje de la población en pobreza moderada y pobreza extrema. del estado de Quintana Roo y del municipio de Cozumel**

	Quintana Roo	Cozumel
Pobreza Moderada	36.9%	34.5%
Pobreza Extrema	10.6%	5.1%

Fuente: Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL)

## 4.7. Hacinamiento y marginación

En el municipio viven 18,667 personas en 3,680 viviendas con hacinamiento, que representan el 21.1% de la población total y el 14.8% de las viviendas totales (Secretaría del Bienestar, 2023).

De acuerdo con el Índice de Marginación por entidad federativa 2020 publicado por el CONAPO, el municipio tiene un grado de marginación muy bajo, ya que un 31.78% de la población habita en viviendas particulares con hacinamiento y 0.46% reportan no tener agua entubada en sus viviendas particulares. (Secretaría del Bienestar, 2023)

## 4.8. Actividades económicas

De acuerdo con datos del INEGI el municipio cuenta con una población económicamente activa del 67.9%, de la cual el 58.8% son hombres y el 41.20% son mujeres (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2020).

En el municipio la principal actividad económica es el turismo que genera actividades comerciales y de prestación de servicios. El municipio destaca por su turismo de descanso, ecoturismo y lugares arqueológicos, así como por las actividades que se realizan como el snorkel y buceo, ya que cuenta con la segunda barrera arrecifal más grande del mundo (Ayuntamiento de Cozumel, 2021).

Por su parte, el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) ubica 5,310 unidades económicas en el municipio, de las cuales aproximadamente un 50% se dedican a

comercio al por menor. Por su parte, as unidades dedicadas a servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas (978 unidades) y otros servicios, excepto actividades gubernamentales (711 unidades) (INEGI, 2022a).

Las principales ventas internacionales en el municipio de Cozumel durante el 2022 fueron por USD \$1.16 millones. Los productos de mayor venta internacional fueron los artículos de joyería y sus partes, de metal precioso o chapa de metal precioso por USD \$ 772 mil, siendo Estados Unidos, el principal destino de ventas internacionales (Secretaría de Economía, 2023).

Respecto a las compras internacionales, en 2022 fueron por USD \$ 16.1 millones, los productos de mayor compra internacional fueron artículos de joyería y sus partes, de metal precioso o de chapado de metal precioso (plaqué) por USD \$5.9 millones, relojes de pulsera, bolsillo y similares por USD \$2.84 millones y Camisetas por USD \$1.74 millones. Los principales países de origen de las compras internacionales fueron Estados Unidos (USD \$6.12 millones), Suiza (USD \$2.66 millones) y China (USD \$1.33 millones) (Secretaría de Economía, 2023).

## 4.9. Expansión de la mancha urbana

Cozumel es un municipio en crecimiento, lo cual se observa en el aumento del número total de viviendas, en el 2020 fue de 26, 413 en comparación con el año 2015 con un total de 24, 147, así como en el número de población en 2020 fue de 88,626 habitantes y en 2015 de 86 415. Lo que se traduce en el aumento de la densidad poblacional, en 2015 fue de 177.1 habitantes por km2, aumentando en el 2020 a 181.6 habitantes por km2 (INEGI, 2015) (INEGI, 2020b).

# 5

## CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS EXPUESTOS DEL MUNICIPIO



**Unidos** somos  
más **Grandes**

  
**Cozumel**  
AYUNTAMIENTO  
2021-2024

## CAPÍTULO 5: **CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS EXPUESTOS DEL MUNICIPIO**

El presente capítulo tiene por objetivo construir una base de datos que aproxime un inventario sintético de los bienes físicos e infraestructura por tipo de sector al que pertenecen para el Municipio de Cozumel. El capítulo está dividido en dos grandes subsecciones, la subsección 5.1 muestra la metodología aplicada para construir el inventario. En la subsección 5.2 se muestra el resultado de implementar la metodología

Un inventario sintético no constituye un recuento físico desarrollado censalmente. Las metodologías aquí desarrolladas permiten crear mediante aproximación, a través de bases de datos existentes y del uso de sistemas de información, base de datos robustas y costo-eficientes, de los bienes o activos expuestos a las amenazas naturales, sin la necesidad de implementar un censo de activos físicos.

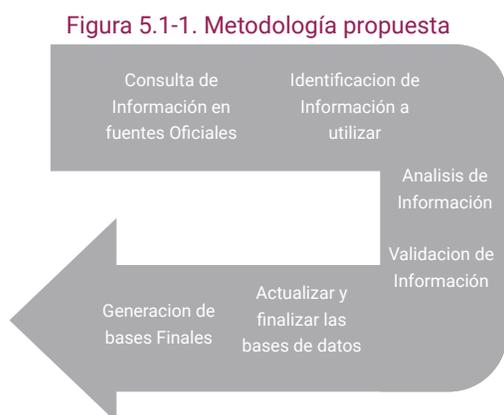
En la subsección 5.2, se muestran los resultados de la metodología desarrollada, los cuales son un recuento aproximado de los activos, así como sus características físicas asociadas, la información en su conjunto constituyen las bases de datos de activos expuestos, la cual representan un insumo fundamental para la estimación de pérdidas analizadas en los capítulos subsecuentes.

### **5.1. Metodología de información por infraestructura**

En esta sección, se describen los componentes metodológicos para la generación de las bases de datos que contienen la identificación y caracterización de atributos correspondiente a cada una de las infraestructuras municipales como expuestas a algún fenómeno natural. Los componentes descritos a continuación muestran cómo se obtuvo la información de diferentes fuentes públicas oficiales, su procesamiento, análisis, depuración y validación. Con lo anterior se define cuáles son las variables relevantes de cada base de datos georreferenciada, por último, la generación de la información faltante que de acuerdo con la presente metodología se haya identificado.

Los componentes generales de esta metodología fueron los siguientes (ver figura 5.1-1):

1. Consulta de información en diferentes fuentes públicas oficiales correspondiente al estado de Quintana Roo y/o Cozumel.
2. Identificación de información para cada una de las infraestructuras.
3. Análisis de la información.
4. Validación de información.
5. Actualizar y finalizar las bases de datos.
6. Generación de bases de datos para un Sistema de Información Geográfica.



Fuente: Creación Propia.

La presente metodología se explica sectorialmente en las subsecciones 5.1.1 a la 5.1.5, cubriendo los sectores de educación, salud, carreteras y red vial, comercial y vivienda, respectivamente. En el caso de la subsección 5.1.6 se incluye otros tipos de infraestructura. Cada subsección está dividida según corresponda en tres aspectos clave, tales como: la consulta de información (componentes 1 y 2), análisis y depuración de la misma (componentes 3 y 4) y estructura de variables para las bases de datos y generación de variables faltantes (componentes 5 y 6).

### 5.1.1. Infraestructura del Sector Educativo

En esta sección se identifican las escuelas tanto públicas como privadas de todos los niveles de educación; a continuación, se describen

las actividades que se realizaron para la identificación de este sector educativo.

#### 5.1.1.1. Consulta de información en diversas fuentes públicas oficiales.

Dentro del primer paso se identificaron fuentes oficiales como el (Sistema de Información y Gestión Educativa, 2023) de la Secretaría de Educación Pública (SEP), así como del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) (INEGI, 2022d) y el Marco Geoestadístico con la información actualizada a diciembre 2022 (INEGI, 2022b).

Como segundo paso se identifica la información obtenida de las fuentes públicas ya mencionadas en formato de base de Excel, se revisa la información que es utilizada en este proyecto, la información cuenta con datos de cada centro escolar como control, turno, nivel, nombre del centro de trabajo, domicilio desglosado por calle, número, colonia, etc. Se considera como el identificador de cada inmueble a la Clave de Centro de Trabajo (CCT).

#### 5.1.1.2. Análisis y depuración de la información.

Como tercer punto se analiza el total de la información dejando la que resulta más útil para la localización de exposición de esta infraestructura, se identifican las escuelas que cuentan con dos turnos (escuelas públicas), y solo se considera un turno, esto debido a que para la geolocalización solo se considerara como un inmueble expuesto. En el caso de escuelas privadas que ofrecen diferentes niveles educativos y que se ubican en el mismo predio.

Como cuarto punto se validan que cada uno de los inmuebles y sus coordenadas de latitud y de longitud sean correctas, y en caso de existir errores se corrige.

#### 5.1.1.3. Estructura de variables para las bases de datos y generación de variables faltantes

Como quinto punto para definir las variables como la de tipología de construcción, número de pisos y el estado del inmueble se realizó una

revisión visual desde herramientas como Google Earth y Google Maps.

El valor de reposición de los inmuebles educativos se obtiene como el valor de construcción por metro cuadrado de acuerdo con la tipología de construcción, adicionalmente se estima una superficie de construcción para poder obtener un valor de cada inmueble.

Como último punto y para la generación de las bases de datos, se describen las variables que fueron identificadas y que serán utilizadas para el análisis del sector educativo (ver Tabla 5.1.1.3-1).

### 5.1.2. Infraestructura del Sector Salud

Para las instalaciones de la infraestructura de salud tanto públicas como privadas se realizaron las siguientes actividades.

#### 5.1.2.1. Consulta de información en diversas fuentes públicas oficiales

Como primer paso se identificaron diferentes fuentes oficiales públicas como la de Secretaría de Salud de Quintana Roo (SESA) (Secretaría de Salud, 2023)

y del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) (INEGI, 2022d), y el Marco Geoestadístico con la información actualizada a diciembre 2022 (INEGI, 2022b).

Como segundo paso se identifica la información que se obtuvo de las fuentes ya mencionadas en formato de base de Excel, se revisa la información identificada que será utilizada para este proyecto, las bases de datos contienen información de cada inmueble como control, nombre del hospital, domicilio desglosado por calle, número, colonia, etc. Se considera como el identificador de cada inmueble a la Clave Única de Establecimientos de Salud (CLUES).

#### 5.1.2.2. Análisis y depuración de la información

En el tercer punto se analiza la información que se obtiene de la consulta de hospitales la cual incluye un listado de hospitales, laboratorios y consultorios. Sin embargo, para este tipo de infraestructura solo se consideran hospitales tanto públicos como privados, ya que los laboratorios y consultorios están incluidos en otro tipo de estructura. Para los hospitales se considera como identificador la Clave Única de Establecimientos de Salud (CLUES),

Tabla 5.1.1.3-1. Campos y tipo de Variables de la base de datos Georreferenciada del sector Educativo

Variable	Descripción	Tipo de Variable
CCT	Clave de Centro de Trabajo, aplica como un identificador del inmueble o identificador único	Texto
CVE_MUN	Clave de Municipio, de acuerdo con el INEGI	Numérico
NOMBRE_MUN	Nombre del Municipio, todos los registros corresponden a COZUMEL	Texto
CVE_LOCA	Clave de la Localidad, de acuerdo con el INEGI	Numérico
NOMBRE_LOC	Nombre de la Localidad, de acuerdo con el INEGI	Texto
LATITUD	Coordenada Geográfica Latitud de la escuela	Numérico
LONGITUD	Coordenada Geográfica longitud de la escuela	Numérico
USO	Distinción: Escuela Pública / Escuela Privada	Texto
PISOS	Número de Pisos	Texto
SUELO	Material predominante del suelo de la escuela	Texto
CIMENTACIO	Tipo de cimentación de la escuela	Texto
AÑO	Año de construcción de la escuela	Numérico
CUBIERTA	Material predominante de la cubierta de la escuela	Texto
MAT_PRED	Material predominante de construcción	Texto
EDO_CONSER	Estado de conservación	Texto
VALOR_REP	Valor estimado de reposición	Numérico

Como cuarto punto se validan que cada uno de los inmuebles y sus coordenadas de latitud y de longitud sean correctas, y en caso de haber error se corrige.

### 5.1.2.3. Estructura de variables para las bases de datos y generación de variables faltantes

Para el quinto punto para definir las variables como la de tipología de construcción, número de pisos y el estado del inmueble se realiza una revisión visual desde herramientas como Google Earth y Google Maps.

Mientras que, el valor de reposición se obtiene como el valor de construcción por metro cuadrado de acuerdo con la tipología de construcción. Adicionalmente se estima una superficie de construcción para obtener un valor de cada inmueble.

Sexto punto, se describen las variables que fueron identificadas y que serán utilizadas para el análisis del sector salud (ver Tabla 5.1.2.3-1).

## 5.1.3. Infraestructura de Carreteras y Red vial

A continuación, se describen las actividades realizadas en el contexto de la metodología implementada para obtener la información de la infraestructura carretera y vial.

### 5.1.3.1. Consulta de información en diversas fuentes públicas oficiales

En esta sección se menciona el primer paso la cual se consultaron fuentes públicas como la red Nacional de Caminos (INEGI, 2022c), y red vial (IMT, 2022), y el Marco Geoestadístico, diciembre 2022 del (INEGI, 2022b).

Como segundo paso se revisa cada uno de los campos de la información obtenida de cada tipo de expuestos, en el caso de la red vial, se obtuvo la base a nivel nacional y se analiza cada uno de los campos como son tipo vial, nombre, jurisdicción, etc.

Tabla 5.1.2.3-1. Campos y tipo de Variables de la base de datos Georreferenciada del sector Salud

Variable	Descripción	Tipo de Variable
CLUES	Clave Única de Establecimientos de Salud	Texto
CLAVE_DEL	Clave de Municipio, de acuerdo con el INEGI	Numérico
MUNICIPIO	Nombre de Municipio, todos los registros corresponden a COZUMEL	Texto
CLAVE_DE_2	Clave Localidad, de acuerdo con el INEGI	Numérico
LOCALIDAD	Nombre Localidad, de acuerdo con el INEGI	Texto
LATITUD	Coordenada Geográfica Latitud del CLUES	Numérico
LONGITUD	Coordenada Geográfica longitud del CLUES	Numérico
USO	Nombre del Hospital de acuerdo con el CLUES	Texto
PISOS	Número de pisos del CLUES	Numérico
SUELO	Material predominante del Suelo	Texto
CIMENTACION	Tipo de cimentación	Texto
AÑO	Año de construcción	Texto
CUBIERTA	Material predominante de la cubierta	Texto
MAT_PRED	Material predominante de construcción	Texto
EDO_CONSER	Estado de conservación	Texto
VALOR_REP	Valor estimado de reposición	Numérico

En el caso de carreteras se encontraron campos como derechos de tránsito, pavimento, condición, administración, etc.

Por último, en el caso de puentes, se encontraron campos de la base de datos creada como son por ejemplo el nombre, tipo y material.

### 5.1.3.2. Análisis y depuración de la información.

En el tercer punto se analiza la información y se realiza procesos en los cuales solo se considera la exposición correspondiente al municipio de Cozumel, se homogeneiza la información de la red nacional de caminos y de la red vial, dado que se obtuvieron de fuentes y tablas diferentes, esto para concentrar dicha información en una base de datos se obtiene en bases de datos, por último, para el caso de puentes, solo se identificó un puente en el municipio de Cozumel.

Como cuarto punto, se realizan procesos geoespaciales para que la información vial y de carretera no se duplique en algunos tramos o que se observen desplazados además de revisión visual por tramos en herramientas como Google Earth y Google Maps.

### 5.1.3.3. Estructura de variables para las bases de datos y generación de variables faltantes

Como quinto punto se estima el valor de reposición del puente como el valor de construcción por metro cuadrado de acuerdo con el material predominante, adicionalmente se estima una superficie de construcción para poder obtener su valor.

En el municipio se encuentra un puente denominado Puente Calica, y esta sobre la carretera Chetumal – Cancún, de acuerdo con sus características está catalogado como un puente mediano y en condiciones buenas. A continuación, se muestran las variables para la caracterización de este bien.

Respecto a la infraestructura de comunicación terrestre, en el municipio de Cozumel se identificaron carreteras, ramales, brechas, caminos, terracerías y calles. La tabla 5.1.3.3-1 indica las variables para la caracterización de esta infraestructura.

Tabla 5.1.3.3-1. Campos y tipo de variables de la base de datos georreferenciada de puentes

Variable	Descripción	Tipo de Variable
ID_PUENTE	Identificador del puente	Numérico
NOMBRE	Nombre del puente	Texto
CLAVE_DEL	Clave de Municipio, acuerdo con el INEGI	Numérico
MUNICIPIO	Nombre de Municipio, corresponde a COZUMEL	Texto
TIPO	Rango del tamaño del puente	Texto
MATERIAL	Tipo de material predominante	Texto
LONGITUD	Coordenada geográfica de latitud del puente	Numérico
LATITUD	Coordenada geográfica longitud del puente	Numérico
EDO_CONSER	Estado de conservación del puente	Texto
VALOR_REP	Valor estimado de reposición	Numérico

Tabla 5.1.3.3-2. Campos y tipo de variables de la base de datos georreferenciada del sector carretero y Vial

Variable	Descripción	Tipo de Variable
OBJECTID_1	Identificador de tramo de carretera o calle	Numérico
TIPO	Identificador del tramo: Para el sector carretero se consideran; carretera, ramal, brecha, camino y Terracería. En el caso de sector vial se tienen los tipos: calle, avenida, andador, paso, acceso, circuito y privada	Texto
NOMBRE	Nombre de del tramo	Texto
PAVIMENTAD	Si, si esta Pavimentada, No, para no Pavimentada	Texto
LATITUD_I	Coordenada geográfica inicial de latitud del tramo	Numérico
LONGITUD_I	Coordenada geográfica inicial de longitud del tramo	Numérico
LATITUD_F	Coordenada geográfica final de latitud del tramo	Numérico
LONGITUD_F	Coordenada geográfica final de longitud del tramo	Numérico
LOCALIDAD	Nombre de la Localidad donde se encuentra el tramo	Texto
SHAPE LENG	Longitud del tramo en metros	Numérico
VALOR_REP	Valor estimado de reposición	Numérico

En el caso de red vial y carreteras, el valor de reposición se obtuvo como el valor de pavimentación o de otro tipo de acabado que no sea pavimento por metro cuadrado. Adicionalmente, se estima una superficie de área para poder obtener un valor de cada tramo (ver Tabla 5.1.3.3-2).

#### 5.1.4. Infraestructura Comercial

A continuación, se describen las actividades que se realizaron para la identificación de la infraestructura comercial.

##### 5.1.4.1. Consulta de información en diversas fuentes públicas oficiales

En este primer paso se identificaron diferentes fuentes públicas como el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) (INEGI, 2022d) y el Marco Geoestadístico, diciembre 2022 del (INEGI, 2022b).

Como segundo paso se identifica la información que se obtuvo de las fuentes mencionadas en formato de base de Excel en la cual se cuenta con la información de manera detallada como nombre de establecimiento, clave y nombre de la actividad del negocio, domicilio desglosado por calle, número, colonia, entre otros campos.

##### 5.1.4.2. Análisis y depuración de la información

Como tercer punto se analiza la información, dado que existen demasiadas claves de actividad (366), se agrupan para dejar un catálogo más compacto (55 actividades) cuando es posible, lo anterior con la finalidad de que los más de 5,000 comercios queden agrupados por actividad.

En el cuarto paso se valida que los comercios no queden duplicados ya que en esta información contiene información que se menciona en otras infraestructuras se revisa de manera aleatoria las coordenadas de latitud y de longitud de algunos comercios y se determina la consistencia de la información.

##### 5.1.4.3. Estructura de variables para las bases de datos y generación de variables faltantes

Por último, en el quinto paso para la definición de tipología de construcción y el estado del inmueble se realizó una revisión visual desde herramientas como Google Earth y Google Maps, dicha revisión se realizó para una muestra y se extrapola con dicha revisión.

El valor de reposición se obtuvo como el valor de construcción por metro cuadrado de acuerdo con la tipología de construcción, y adicionalmente se estima una superficie de construcción para poder obtener un valor de cada inmueble.

A continuación, en la tabla 5.1.4.3-1 se describen las variables que fueron identificadas y que serán utilizadas para el análisis de la infraestructura de comercio.

### 5.1.5. Infraestructura de Vivienda

A continuación, en la tabla 5.1.4.3-1 se describen las actividades que se realizaron para obtener la información de la infraestructura de viviendas.

#### 5.1.5.1. Consulta de información en diversas fuentes públicas oficiales

Primer paso, se identificaron diferentes fuentes públicas incluyendo información que compartió la (Dirección de Catastro del municipio de Cozumel, 2023), la del Censo de Población y Vivienda 2020 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2020g), y la del Marco Geoestadístico, diciembre 2022 del (INEGI, 2022b).

Como segundo paso se identifica la información que se obtuvo de las fuentes ya mencionadas en formato database file (DBF), se analiza la información que será utilizada en este proyecto, dado que se cuenta con información como número de niveles, clave de tipo de construcción, volado, superficie de nivel, área y otros.

#### 5.1.5.2. Análisis y depuración de la información

En el tercer punto se analiza la información proporcionada por la Dirección de Catastro municipal de Cozumel dada la importancia de la dependencia, se encuentran campos que no son necesarios para este estudio.

En el cuarto paso se valida las coordenadas de latitud y de longitud, así como la congruencia de las características de la base de datos y sus áreas.

#### 5.1.5.3. Estructura de variables para las bases de datos y generación de variables faltantes

Como quinto punto para definir las variables como la de tipología de construcción se utiliza principalmente las claves de construcción que tiene las bases de datos de catastro, sin embargo,

Tabla 5.1.4.3-1. Campos y tipo de Variables de la base de datos Georreferenciada de Infraestructura de comercio

Variable	Descripción	Tipo de Variable
ID	Identificador del comercio / negocio	Numérico
CVE_MUN	Clave de Municipio, de acuerdo con el INEGI	Numérico
MUNICIPIO	Nombre de Municipio, en todos los registros corresponden a COZUMEL	Texto
CVE_LOC	Clave Localidad, de acuerdo con el INEGI	Numérico
LOCALIDAD	Nombre Localidad, de acuerdo con el INEGI	Texto
LATITUD	Coordenada geográfica Latitud del comercio	Numérico
LONGITUD	Coordenada geográfica longitud del comercio	Numérico
ACTIVIDAD	Actividad agrupada del comercio	Texto
PISOS	Número de pisos donde se ubica el comercio / negocio	Numérico
PAREDES	Material predominante de las paredes	Texto
LOSA	Material predominante de la losa	Texto
ESTADO	Estado general del inmueble	Texto
VALOR_REP	Valor estimado de reposición	Numérico

debido a su alto nivel de concentración, se realizó un procedimiento adicional, el cual consistió en identificar por tamaño y ubicación de viviendas. Para el caso de número de pisos se considera si son unifamiliares o multifamiliares, dado que se hallaron algunas claves de catastro con terrenos muy grandes se realizaron revisiones puntuales, en el caso de encontrar edificios o condominios de casas, se asignaron viviendas entre 65 hasta 100 metros, dejando en el campo “número de viviendas” la estimación de número de viviendas utilizando herramientas como Google Earth y Google Maps, lo cual además contribuyó para aproximar el estado de los inmuebles.

Para asignar el valor de reposición de las viviendas, se obtuvo como el valor de construcción por metro cuadrado de acuerdo con la tipología de construcción, y adicionalmente se estimó una superficie de construcción para poder obtener un valor de cada vivienda.

A continuación, en la Tabla 5.1.5.3-1 se describen las variables identificadas que serán utilizadas para el análisis de las viviendas.

## 5.1.6. Otro tipo de infraestructura (Sitios de interés)

### 5.1.6.1. Consulta de información en diversas fuentes públicas oficiales

Como primer paso, se identificaron diferentes fuentes públicas como el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) (INEGI, 2022d), la información compartida por la (Dirección de Catastro del municipio de Cozumel, 2023), y el Marco Geoestadístico, diciembre 2022 del (INEGI, 2022b).

Como segundo paso se identifica la información que se obtuvo de las fuentes mencionadas en formato de base de Excel en la cual se cuenta con la información de manera detallada como nombre de establecimiento, domicilio desglosado por calle, número, colonia, entre otros campos.

### 5.1.6.2. Análisis y depuración de la información

Como tercer punto se analiza la información que se consideró la necesaria para la identificación de

Tabla 5.1.5.3-1. Campos y tipo de variables de la base de datos georreferenciada de Infraestructura de vivienda

Variable	Descripción	Tipo de Variable
OBJECTID	Identificador de la vivienda	Numérico
CVE_MUN	Clave de Municipio, de acuerdo con el INEGI	Numérico
NOMBRE_MUN	Nombre de Municipio, todos los registros corresponden a COZUMEL	Texto
NUM_VIV	Número de viviendas en el lugar geoespacial	Numérico
LATITUD	Coordenada geográfica de latitud de la vivienda	Numérico
LONGITUD	Coordenada geográfica de longitud de la vivienda	Numérico
PISOS	Número de pisos	Numérico
SUELO	Material predominante del tipo de Suelo	Texto
CIMENTACIO	Tipo de cimentación	Texto
ANIO	Año de construcción	Texto
FORMA_CUBI	Forma de cubierta	Texto
TIPO_CUBIE	Tipo de cubierta	Texto
MAT_PRED	Material predominante de construcción	Texto
EDO_CONSER	Estado de conservación	Texto
VALOR_REP	Valor estimado de reposición	Numérico

exposición de esta infraestructura, se identifican inmuebles de puntos importantes para el municipio de Cozumel como son el palacio municipal, dependencias municipales, Cruz Roja, bomberos, deportivos, parques, aeropuerto, terminales de cruceros, terminal de ferry, entre otros.

Como cuarto punto se validan que cada uno de los inmuebles y sus coordenadas de latitud y de longitud sean correctas, y en caso de haber error se corrige.

### 5.1.6.3. Estructura de variables para las bases de datos y generación de variables faltantes

Como quinto punto para definir las variables como la de tipología de construcción, número de pisos y el estado del inmueble, esto de acuerdo con cada punto y si es que aplica las características mencionadas, se realizó una revisión visual desde herramientas como Google Earth y Google Maps.

Se precisa que el valor reposición de cada punto de interés se obtuvo como el valor de construcción por metro cuadrado de acuerdo con la tipología de construcción, y adicionalmente se estima una

superficie de construcción para poder obtener un valor del punto de interés, esto no aplica para parques y ruinas.

A continuación, en la Tabla 5.1.6.3-1 se describen las variables identificadas y que serán utilizadas para el análisis de la infraestructura de puntos importantes.

## 5.2. Resultados por infraestructura

Teniendo la información de exposición para cada una de las infraestructuras, se realizan resúmenes de las bases de datos finales, estas bases servirán para la estimación de pérdidas en los diferentes modelos de amenazas, además se muestran resumen de manera gráfica para cada una de las infraestructuras.

### 5.2.1. Infraestructura del Sector Educativo

En esta sección se identifican las escuelas de todos los niveles que existen en el municipio de Cozumel, tanto públicas como privadas.

Tabla 5.1.6.3-1. Campos y tipo de variables de la base de datos Georreferenciada de puntos de interés

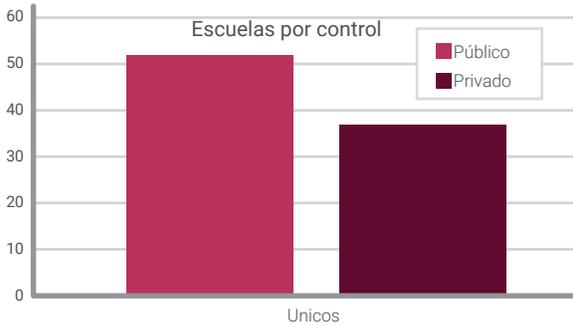
Variable	Descripción	Tipo de Variable
NOMBRE	Nombre del punto de interés (parque, ruinas, lugar, etc.).	Texto
TIPO	Agrupación de los puntos de interés (ruinas, deportivo, mercado, etc.)	Texto
CVE_MPIO	Clave de Municipio, de acuerdo con el INEGI	Texto
MUNICIPIO	Nombre de Municipio, en todos los registros corresponden a COZUMEL	Texto
PISOS	Número de pisos, del punto de interés, en algunos casos no aplica	Texto
SUELO	Material predominante de suelo	Texto
ANIO	Año de construcción	Texto
FORMA_CUBI	Forma de cubierta	Texto
TIPO_CUBIE	Material predominante del tipo de cubierta	Texto
MAT_PRED	Material predominante de construcción	Texto
EDO_CONSER	Estado de conservación	Texto
LATITUD	Coordenada geográfica de latitud del punto de interés	Numérico
LONGITUD	Coordenada geográfica de longitud del punto de interés	Numérico
VALOR_REP	Valor estimado de reposición	Numérico

Tabla 5.2.1-1. Número de escuelas por tipo de nivel educativo en el municipio de Cozumel

Tipo Nivel	Nivel	Pública	Privada
Básica	Preescolar	22	14
	Primaria	27	9
	Secundaria	9	6
CAM	Centro de Atención Múltiple	3	0
Media superior	Profesional Técnico	1	0
	Bachillerato	9	5
Superior	Licenciatura / Posgrado	2	4
<b>Total</b>		<b>73</b>	<b>38</b>

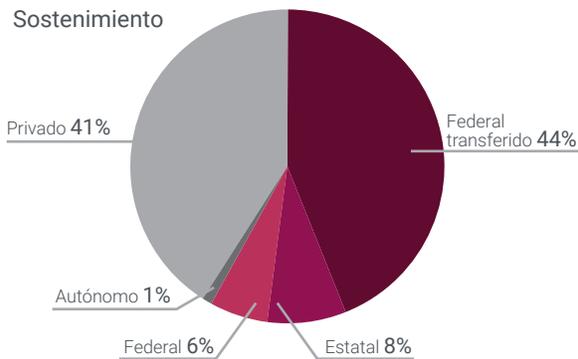
Fuente: Sistema de Información y Gestión Educativa

Gráfica 5.2.1-1. Numero de inmuebles de escuelas y total por nivel educativo



Fuente: Sistema de Información y Gestión Educativa

Gráfica 5.2.1-2. Distribución del tipo de sostenimiento de las escuelas en el municipio de Cozumel



Fuente: Sistema de Información y Gestión Educativa

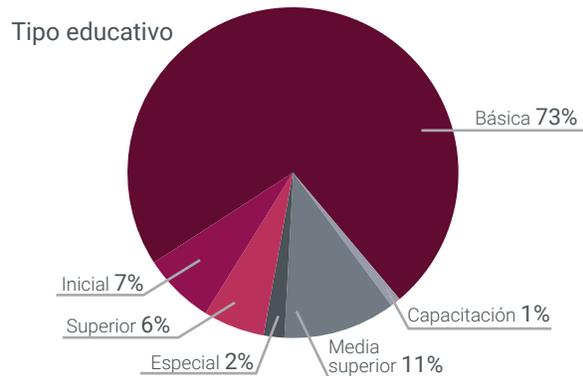
A continuación, se presenta el número de escuelas públicas y privadas en el municipio, por cada uno de los niveles educativos.

En la gráfica 5.2.1-1 se muestra el número de escuelas públicas (considerando solo un inmueble en escuelas con dos turnos) y privadas, y donde se observa que en el municipio existen más escuelas públicas.

En la gráfica 5.2.1-2 se presenta la distribución del tipo de sostenimiento de las escuelas en el municipio de acuerdo con la categoría de la SEP, y donde se observa que las escuelas federales transferidas y privadas tienen un porcentaje similar.

En la gráfica 5.2.1-3 se muestra la distribución de las escuelas del municipio por nivel educativo, y donde se observa que el nivel básico representa el mayor porcentaje.

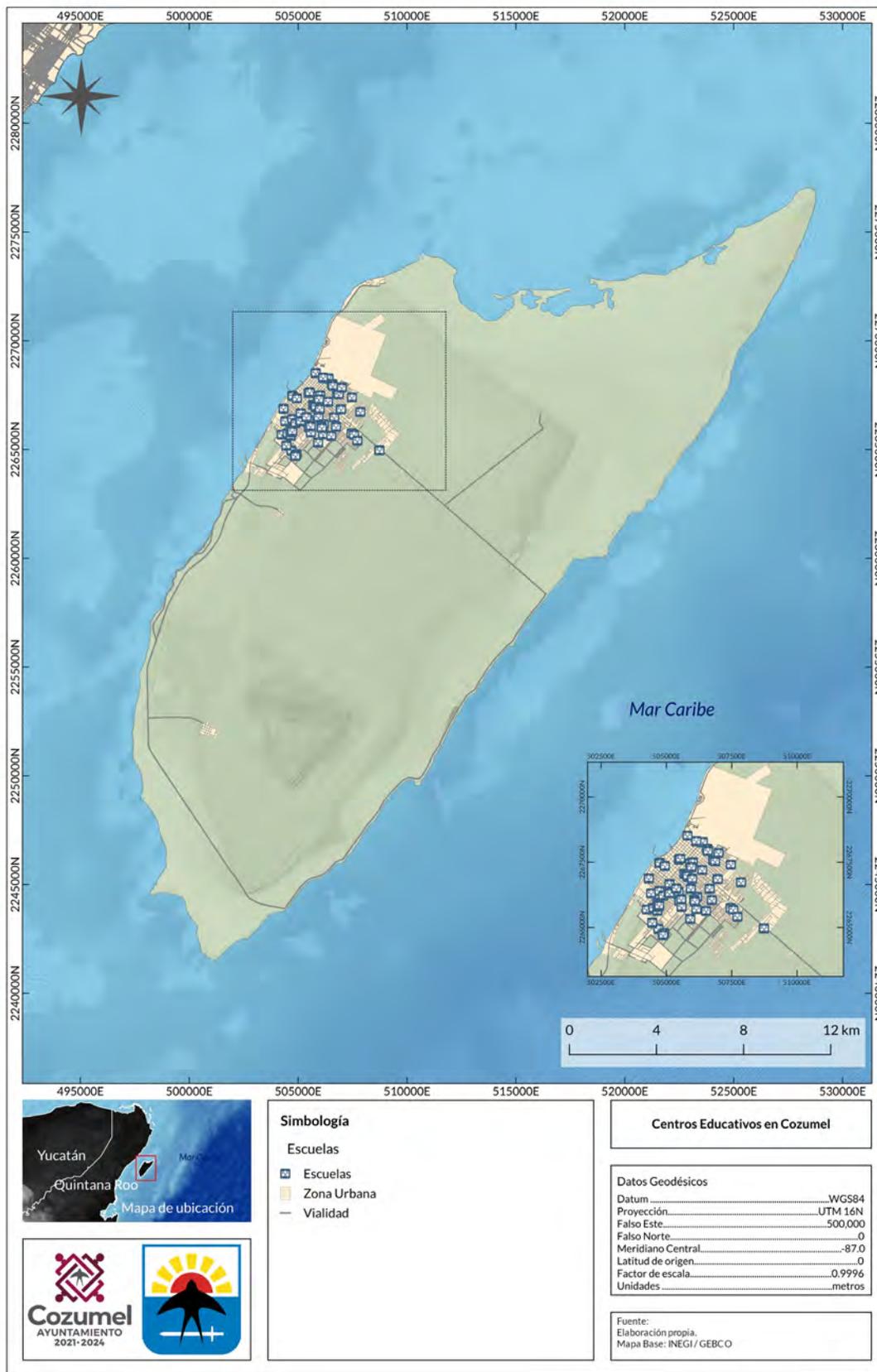
Gráfica 5.2.1-3. Distribución porcentual del nivel educativo de las escuelas en el municipio de Cozumel



Fuente: Sistema de Información y Gestión Educativa

En general, los inmuebles del sector educativo del municipio de Cozumel se encuentran buen estado, desde 2010 a la fecha, el número de escuelas creció al menos el 25%. Y se observa que existe una alta concentración de escuelas en la localidad de Cozumel, dado que sólo dos escuelas se encuentran en una localidad diferente.

Figura 5.2.1-1. Ubicación geográfica de las escuelas en el municipio de Cozumel



### 5.2.2. Infraestructura del Sector Salud

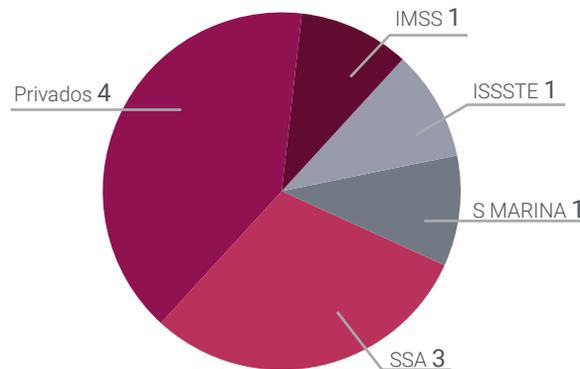
En el caso de la infraestructura de Salud, en el municipio existen 6 hospitales públicos y 4 privados, los cuales son los más grandes en el municipio (no se consideraron consultorios, laboratorios clínicos).

A continuación, en la gráfica 5.2.2-1 se muestran las dependencias y número de hospitales.

Los Hospitales públicos identificados son:

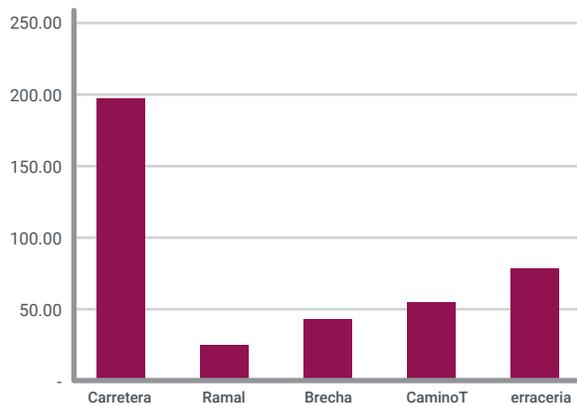
- Hospital General de Subzona con Medicina Familiar, del IMSS

Gráfica 5.2.2-1. Número de hospitales por dependencia en el municipio de Cozumel



Fuente: Secretaria de salud de Quintana Roo (SESA)

Gráfica 5.2.3-1. Longitud en kilómetros de la categorización de carreteras en el municipio Cozumel



Fuente: Red Nacional de Caminos

- Clínica de Medicina Familiar con Especialidades, del ISSSTE

- Hospital de la Marina

- Hospital General de Cozumel

- Centro De Salud Urbano No. 1

- Centro De Salud Urbano No. 2

Los Hospitales privados identificados son:

- Centro Médico De Cozumel

- Clínica Médica San Miguel De Cozumel

- Medicina Hiperbárica Integral

- Hospital Amerimed Cozumel Islamed

Es importante mencionar que, dado que la población de Cozumel ha crecido desde 2000 hasta 2020 el 50%, los hospitales son relativamente actuales y se encuentran en buen estado.

### 5.2.3. Infraestructura de Carreteras y Red vial

El municipio de Cozumel cuenta con carreteras, red vial y un puente.

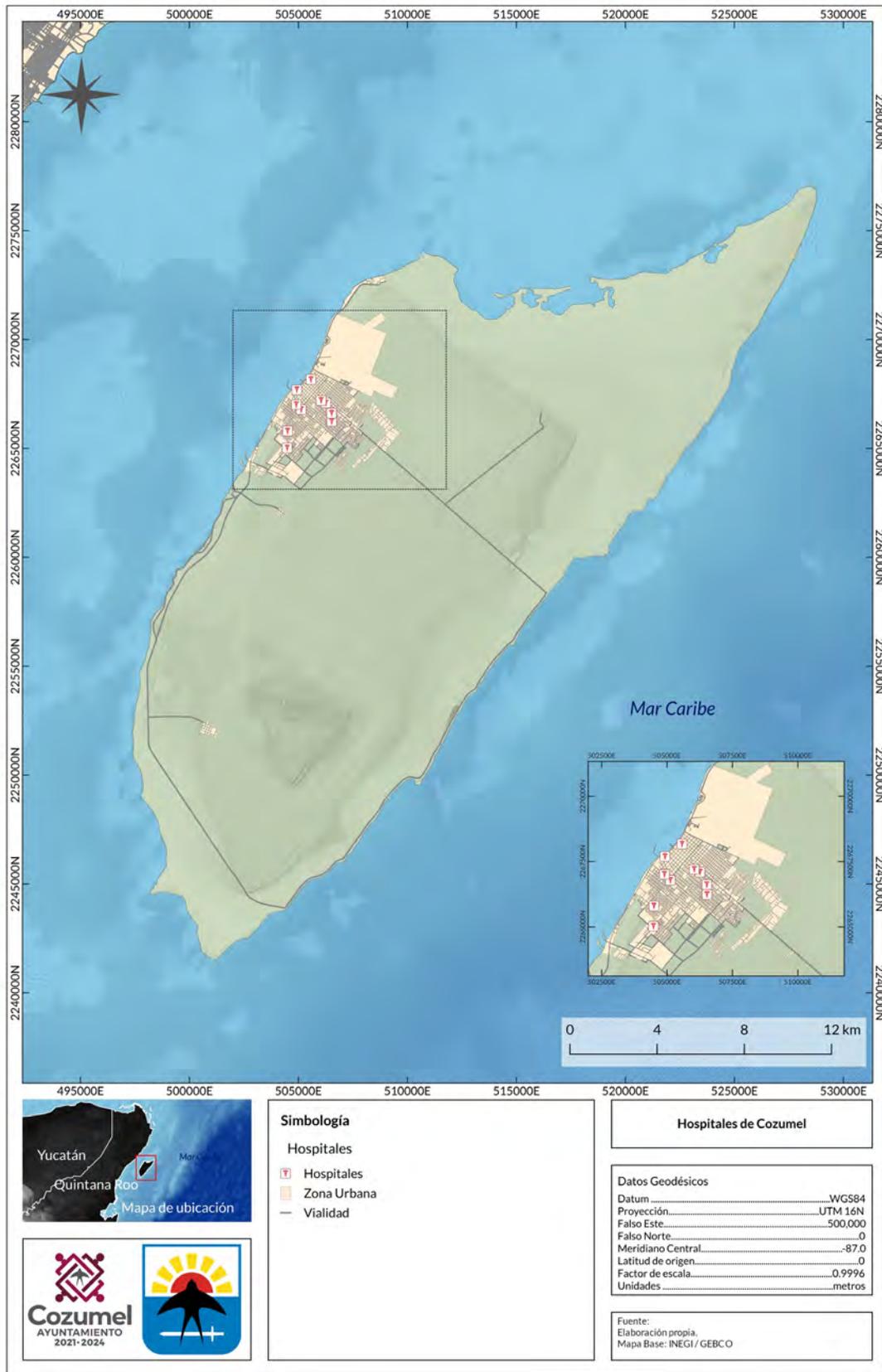
A continuación, en la gráfica 5.2.3-1 se muestra la longitud en kilómetros para cada tipo de infraestructura del sector carretero.

En cuanto a su material de construcción, las carreteras son las únicas que cuentan con pavimento, mientras que el resto no cuenta con pavimento.

#### Red Vial

La red vial del municipio está integrada por calles y avenidas que concentran el 98% del total de la red. La gráfica 5.2.3-2 muestra la longitud en kilómetros de la categorización de esta red.

Figura 5.2.2-1. Ubicación geográfica de los hospitales en el municipio de Cozumel

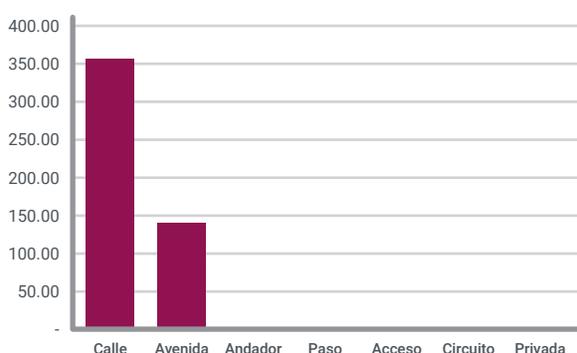


Del total de infraestructura de carreteras, así como de la red vial, el 75% tiene pavimento.

#### 5.2.4. Infraestructura Comercial

Una de las principales actividades económicas en el municipio de Cozumel es el turismo, por lo que el comercio también es una actividad importante ya que muchos comercios se encuentran en centros comerciales, plazas, hoteles, parques recreativos, entre otros.

Gráfica 5.2.3-2. Longitud en kilómetros de la categorización de la red vial del municipio Cozumel,



Fuente: Red Vial

Tabla 5.2.4-1. Distribución porcentual de los inmuebles comerciales por actividad en el municipio de Cozumel

Actividad	Distribución
Restaurante	14.68%
Artesanías	9.88%
Abarrotes	6.06%
Bares	4.30%
Spa, Estética, Peluquería	3.85%
Ropa	3.35%
Joyería	2.84%
Minisúper	2.21%
Hotel	1.60%
Lavandería	1.83%
<b>Subtotal</b>	<b>50.60%</b>

Fuente: Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas

La actividad económica de las 10 actividades con mayor concentración en cuanto al número de locales fijos o semifijos está relacionada con el turismo, como son restaurantes, hoteles y venta de artesanías, sin embargo, una de las importantes para la economía de Cozumel es la joyería.

De acuerdo con el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas, en el municipio se contabilizan alrededor de 5,000 negocios, en la tabla 5.2.4-1 se muestra la distribución porcentual de estos.

Dentro de la exposición mostrada se identifica que, el municipio cuenta con dos estaciones de gas para distribución al mayoreo, cinco estaciones de carga de gasolina, una planta de combustible, una bodega de productos químicos para limpieza y un laboratorio químico de tratamiento de agua; estos tipos de actividades son importantes de identificar, dado que utilizan materiales altamente propensos a incendios de todo tipo, explosiones, fugas tóxicas, radiaciones y derrames, dado las sustancias químicas que se manejan.

Por otro lado, se encuentra el Centro de Acopio de Materiales Reciclables (CAMAR), el cual debe de cumplir con normas estrictas para disminuir riesgos sanitarios.

Al igual que en otros sectores, existe una alta concentración de estos inmuebles en la localidad de Cozumel.

#### 5.2.5. Infraestructura de Vivienda

El crecimiento del número de viviendas en el municipio está ligado con el crecimiento de la población, sin embargo, en 2010 el número de habitantes por vivienda correspondía a 3.63 personas, mientras que, en el censo de 2020, este número decreció a 3.36 personas, es decir, hubo un incremento de viviendas mayor (20.49%) que el de habitantes (11.43%).

De la población total del municipio de Cozumel, el 95% de esta se concentra en la localidad de Cozumel, por lo que la infraestructura de las viviendas sigue la misma tendencia, esto aun y cuando esta concentración tiende a bajar.

Figura 5.2.3-1. Ubicación geográfica de las carreteras y red vial del municipio de Cozumel

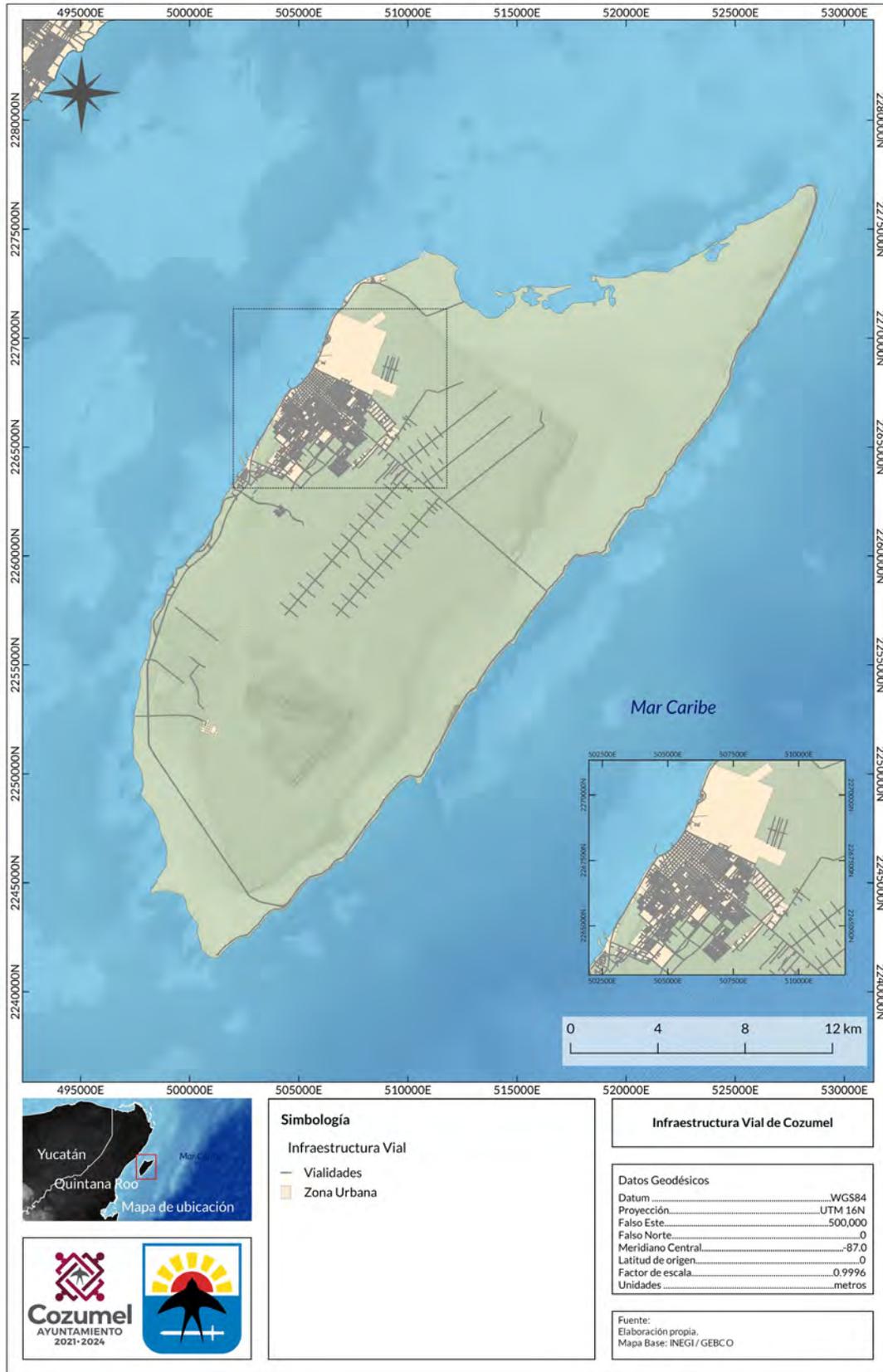
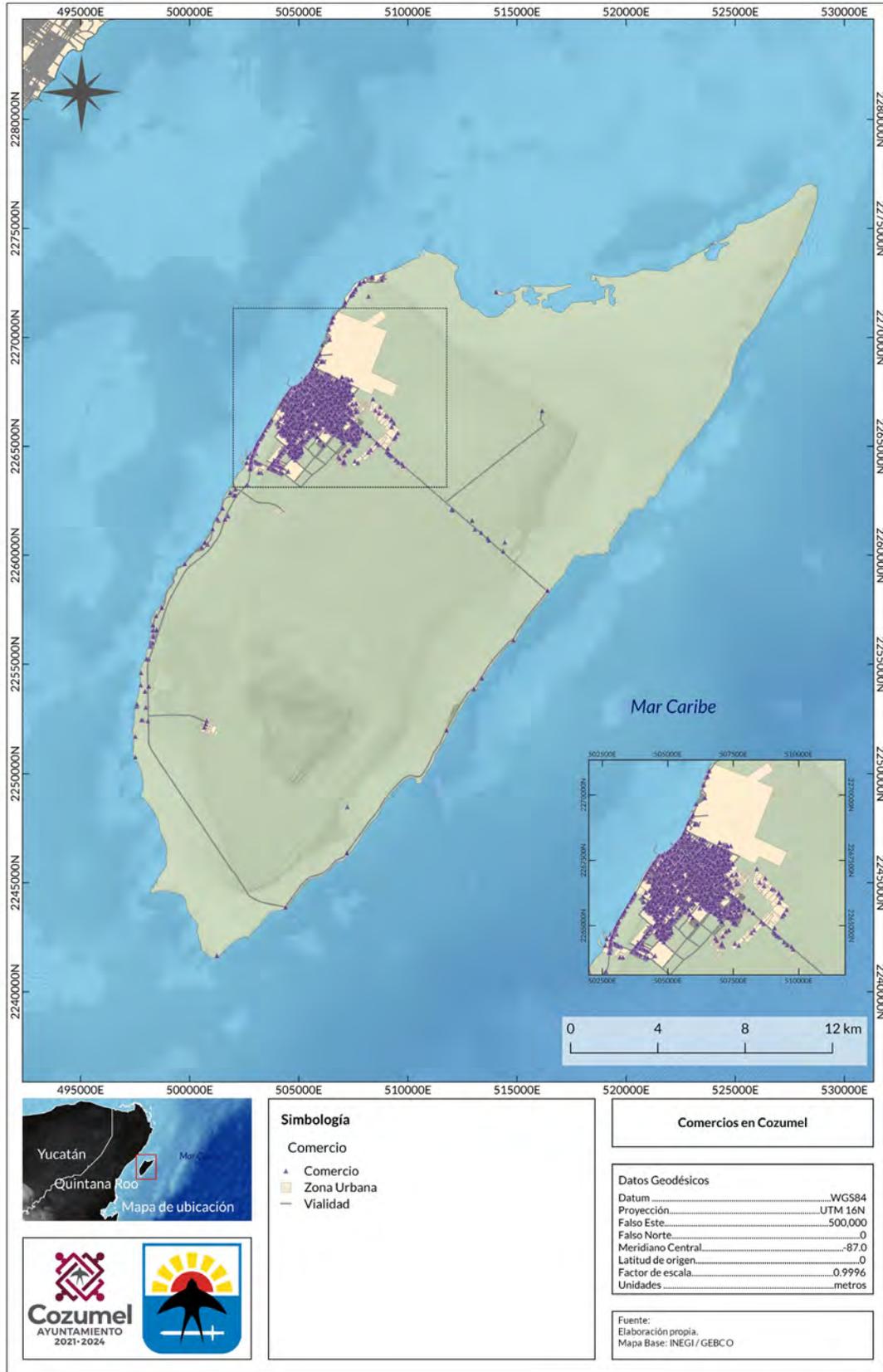


Figura 5.24-1. Ubicación de los inmuebles comerciales en el municipio de Cozumel



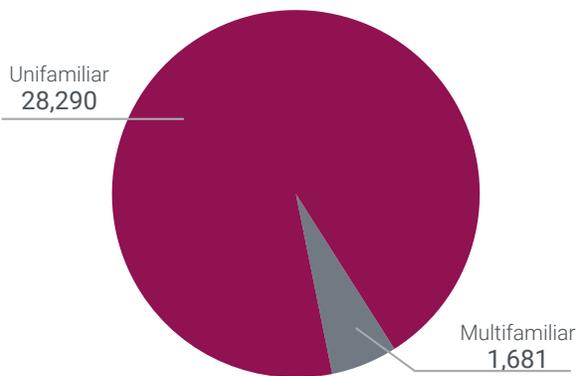
Fuente: Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas

De acuerdo con el último Censo de 2020, en Cozumel hay 26,413 viviendas habitadas, de las cuales más del 90% corresponden a viviendas unifamiliares y el resto a multifamiliar.

El Consejo Nacional de Evaluación, menciona que, en el municipio de Cozumel, menos del 1% de las viviendas tienen piso de tierra, el 1.4% tienen techos de material endeble, y cerca de 1% tienen muros de materiales endebles, es importante mencionar que los porcentajes no son excluyentes, por lo cual no se deben de sumar.

En la gráfica 5.2.5-1 se presenta el número de viviendas unifamiliares y multifamiliares, por lo que, el total de viviendas estimadas en el municipio de Cozumel son de 29,971, que incluye las 26,413 viviendas habitadas que se contabilizaron en el Censo de 2020.

Gráfica 5.2.5-1. Número de viviendas estimadas.



Fuente: Estimación propia a partir del censo 2020 e información de la Dirección de Catastro del municipio de Cozumel

Tabla 5.2.6-1. Resumen de puntos de interés

TIPO	Número
Parque	47
Ruinas	7
Deportivo	4
Capa	2
Terminal ferry	2
Palacio Municipal	1
Mercado Municipal	1
Otros	19
<b>Total</b>	<b>83</b>

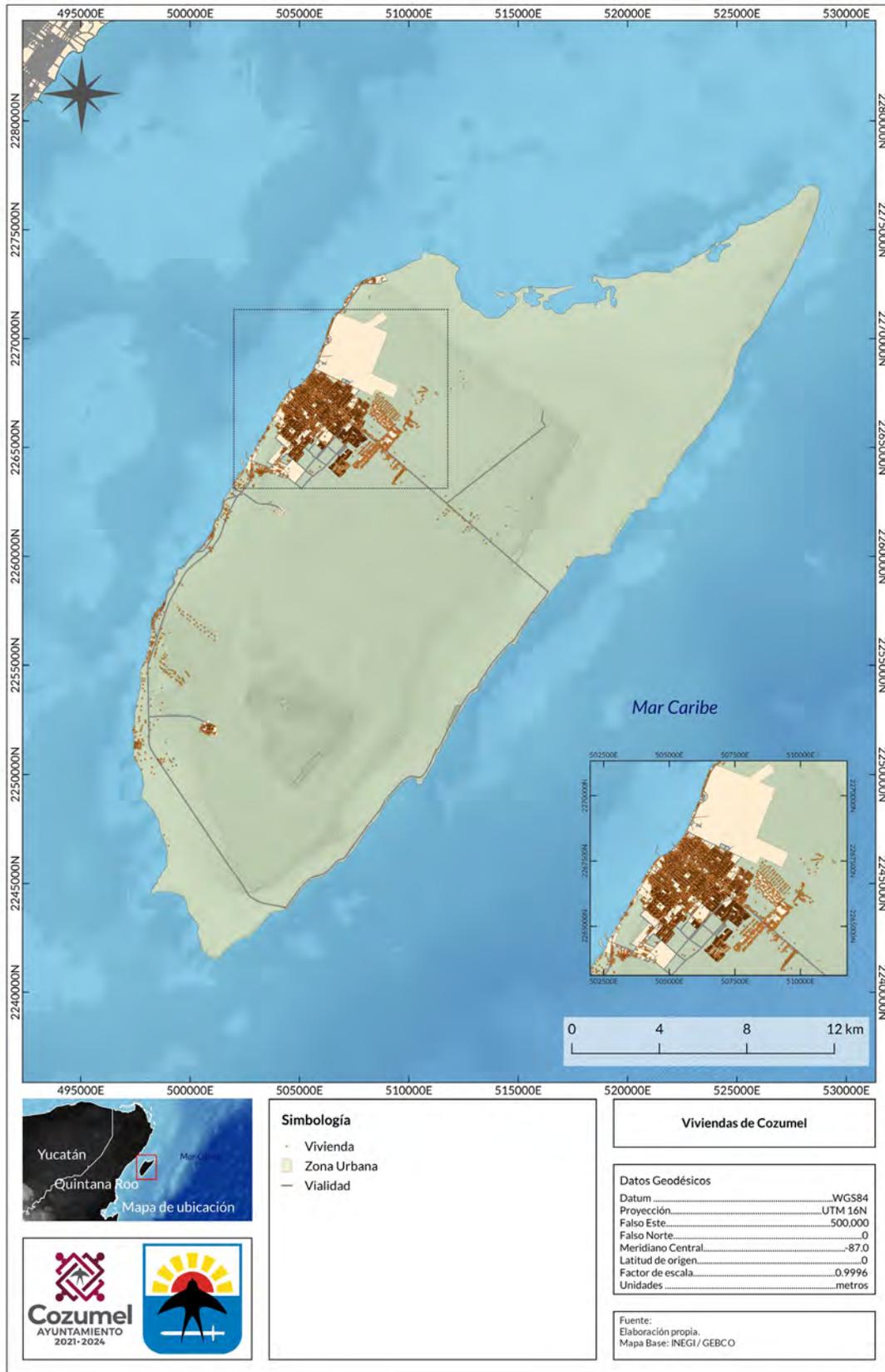
Fuente: elaboración propia

### 5.2.6. Otro tipo de infraestructura (Sitios de interés)

Se identificaron y ubicaron 83 puntos de interés, que corresponden a inmuebles de oficinas del municipio, como el palacio municipal, la subdirección de ecología, la subdirección de salud, la estación de policía, el basurero municipal, el mercado municipal, y la cruz roja mexicana, así como las instalaciones de la Comisión Federal de electricidad, de bomberos, y la estación de ferry, entre otras. Además, se geolocalizaron parques (47), deportivos (4), ruinas (7).

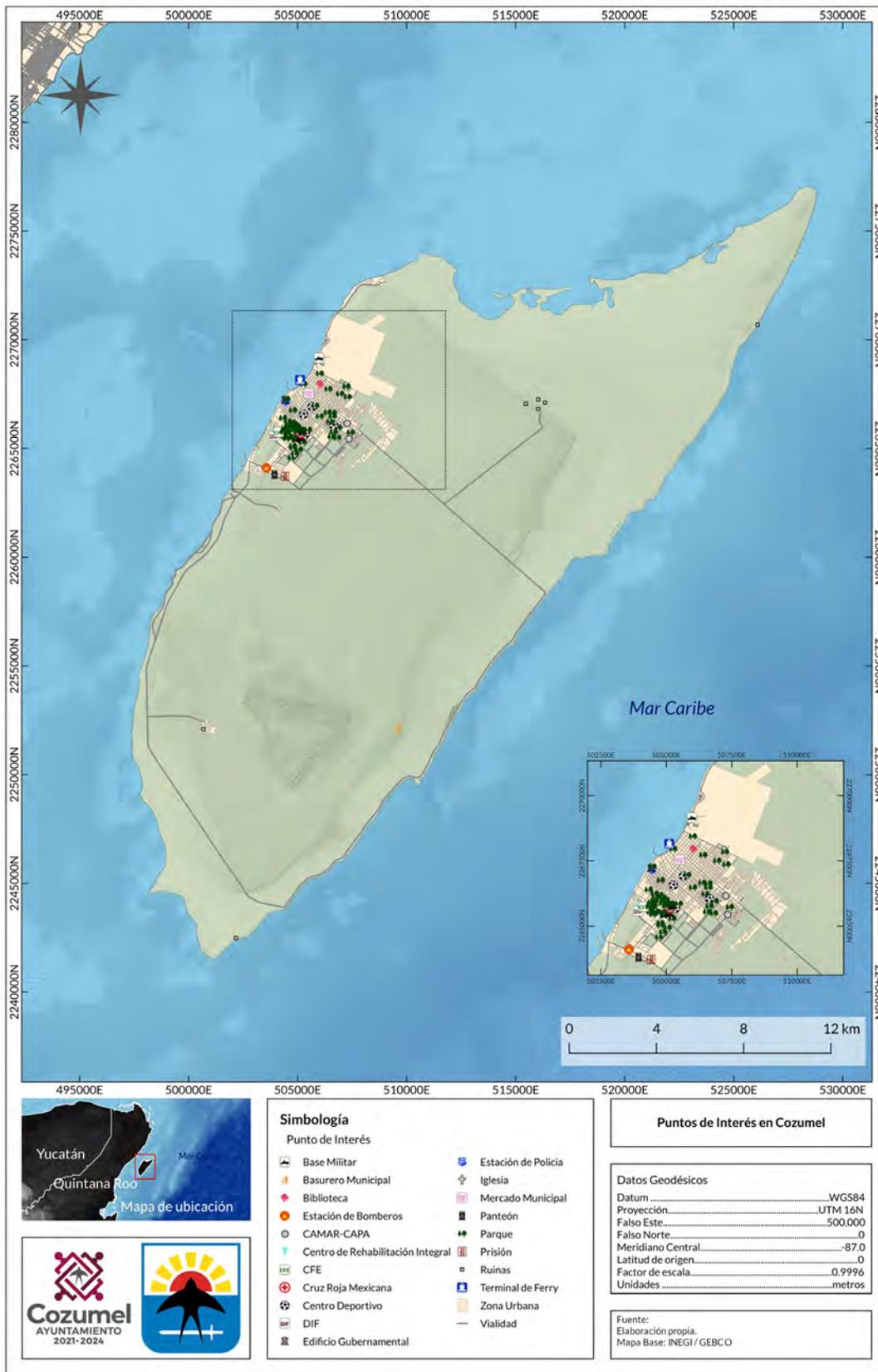
A continuación, se presenta el número de sitios de interés identificados por tipología, agrupando en otros los menos representativos.

Figura 5.2.5-1. Ubicación de viviendas en el municipio de Cozumel



Fuente: Cartografía de Cozumel Catastro

Figura 5.2.6-1. Ubicación de Comercios en el municipio de Cozumel



Fuente: Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas

# 6

## IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS, PELIGROS, VULNERABILIDAD Y RIESGOS ANTE FENÓMENOS PERTURBADORES



**Unidos** somos  
más **Grandes**

## CAPÍTULO 6: **IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS, PELIGROS, VULNERABILIDAD Y RIESGOS ANTE FENÓMENOS PERTURBADORES**

El objetivo del presente capítulo es describir con un sustento científico los fenómenos naturales identificados a los cuales está expuesto el Municipio de Cozumel, la información indicada en cada subsección y el nivel de análisis corresponde al alcance de datos disponibles para su análisis y a la estructura de estos, provenientes de diversas fuentes de información como lo son las instituciones académicas, organismos de la sociedad civil, instituciones de gobierno de los tres órdenes.

### **6.1. Identificación y modelación de peligro**

#### **6.1.1. Karsticidad**

##### *6.1.1.1. Descripción general del hundimiento progresivo de la superficie del territorio nacional*

El karst es un tipo de paisaje que abarca el 15.5% de la superficie terrestre sin hielo en el mundo, en el caso del territorio mexicano es 19.94% del total de su superficie continental. Dicho paisaje está formado por rocas parcialmente solubles, predominantemente calizas y dolomitas, con una menor proporción de evaporitas. Estas rocas, al disolverse o karstificarse, dan lugar a la formación de distintas geoformas características de los paisajes kársticos. Cuando estas rocas representan más del 65% de la geología de una zona, se considera un área de karst continuo, mientras que, si la proporción está entre el 15% y el 65%, se trata de un área de karst discontinuo. Debido a la solubilidad relativamente alta de estas rocas y la permeabilidad del suelo, estas regiones se caracterizan por contar con una mayor cantidad de agua subterránea en comparación con cuerpos de agua superficiales. La diversidad geológica, topográfica e hidrológica resalta la importancia de abordar el estudio de estos paisajes desde diversos enfoques, como la sociología, la edafología, la génesis, la geoquímica, entre otros, con el fin de proponer estrategias de manejo y gestión que reduzcan los riesgos ambientales y aseguren un uso adecuado de los recursos. (Compilador, 2023)

El karst es un tipo de paisaje que se encuentra ampliamente distribuido en todo el mundo, y su característica principal es que está compuesto en su mayoría por rocas que son parcialmente solubles, como las calizas ( $\text{CaCO}_3$ ) y las evaporitas (que incluyen halita [ $\text{NaCl}$ ], anhidrita [ $\text{CaSO}_4$ ], y yeso [ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ]), (Jennings, 1985). Se considera que un territorio es de karst continuo cuando más del 65% de sus rocas son carbonatadas y/o evaporitas, mientras que se clasifica como karst discontinuo cuando esta proporción se encuentra en el rango del 15% al 65% (Chen et al., 2017). El proceso de karstificación se debe principalmente a la disolución de las rocas que conforman los paisajes kársticos. Este proceso está relacionado con la concentración de especies químicas carbonatadas (como  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{2-}$ ) que se encuentran disueltas en el agua y que influyen directamente en el pH. En consecuencia, un mayor contenido de ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) promueve la disolución de la roca, mientras que una mayor concentración de carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) conduce a su precipitación.

Estos paisajes kársticos se caracterizan por la presencia de diversas geofomas que pueden constituir un relieve positivo, como puentes naturales, montículos, cerros y montañas, un relieve negativo, que incluye dolinas, úvalas y poljes, o un relieve neutral, como planicies. Además, estos paisajes suelen albergar acuíferos libres y presentar suelos de poca profundidad y alta porosidad, en ocasiones de origen residual (Jennings, 1971).

A nivel mundial, se estima que las áreas de karst cubren una extensión de 20.3 millones de kilómetros cuadrados, lo que representa el 15.5% de la superficie terrestre sin hielo. De esta área, aproximadamente el 9.4% se considera como karst continuo, y el 5.8% se clasifica como karst discontinuo (Goldscheider et al., 2020). En el caso de México, las regiones kársticas abarcan una superficie de 391,700 kilómetros cuadrados, lo que equivale al 19.94% de la extensión total del país (Gunn, 2004). Estas áreas de karst se encuentran principalmente asociadas con la Península de Yucatán, la Sierra de Chiapas, la Sierra Madre del Sur y la Sierra Madre Oriental (Gutiérrez, 2008; Williams, 2008).

Debido a las propias características del material geológico en los entornos kársticos, que incluyen

una alta porosidad, un desarrollo edáfico limitado y la presencia de grietas y fisuras, estos lugares son particularmente susceptibles a la erosión del suelo y a la contaminación de los acuíferos. Esto se debe al hecho de que los contaminantes tienen la capacidad de infiltrarse con facilidad a través de los poros, grietas y fisuras de las rocas, llegando así de manera directa al acuífero (Leibundgut, 1998; Plan et al., 2009; Gao et al., 2018).

Esta problemática se agrava aún más debido a la escasa presencia de cuerpos de agua superficiales en estas áreas. Como resultado, en numerosos casos, la principal fuente de suministro de agua para las actividades humanas se deriva del agua subterránea. En este sentido es crucial estudiar los efectos que las actividades humanas tienen en estas áreas, como se ha indicado en investigaciones (v.g. Alcocer et al., 2018).

Los estudios relacionados con la karsticidad en México han identificado que el estado de Yucatán cuenta con el mayor número de investigaciones realizadas en su territorio, llegando a un total de 148 estudios, lo que representa aproximadamente el 33.56% del total. Le siguen en la lista el estado de Quintana Roo con 85 estudios y Chiapas con 24 estudios. Además, se han llevado a cabo 77 estudios adicionales dentro del territorio de la Península de Yucatán, que abarca dos o tres estados de dicha península.

Otros estados que han sido objeto de estudio incluyen San Luis Potosí, que cuenta con 19 investigaciones, Coahuila y Campeche con 10 cada uno, Tamaulipas con ocho, y Oaxaca, Veracruz, Tabasco con siete, Chihuahua con cuatro. Por otro lado, los estados de Guerrero, Estado de México y Querétaro cuentan con dos estudios cada uno, mientras que Hidalgo, Michoacán, Nuevo León, Puebla, Sonora y Morelos han sido objeto de un estudio individual.

El estado de Yucatán se encuentra en la parte norte de la Península de Yucatán y está predominantemente compuesto por una plataforma de roca caliza que se formó durante la era Cenozoica. Esta área se caracteriza por su baja altitud y la ausencia de ríos de flujo continuo (Stoessell, 1995).

Desde una perspectiva geomorfológica, esta región se distingue por una densidad

notablemente alta de depresiones kársticas, que incluyen dolinas y úvalas (Aguilar et al., 2016). Se estima que en esta área se encuentran entre 7000 y 8000 cenotes (Beddows et al., 2007b). Además, existen cavidades subterráneas dentro de la estructura de la roca que facilitan la acumulación de suelo debido a procesos de traslocación (Estrada Medina et al., 2010). Estos factores influyen en la distribución de las raíces de las especies arbóreas, lo que requiere que estas especies se adapten para acceder al recurso hídrico (Querejeta et al., 2007; Estrada-Medina et al., 2013a, 2013b).

### 6.1.1.2. Caracterización de Cozumel

El Municipio de Cozumel se ubica en la Provincia Fisiográfica del karst Yucateco, que abarca una superficie total de 47,325.1284 hectáreas, lo que representa el 100% de la superficie de la región.

Es probable que el origen de la isla esté relacionado con un desprendimiento que ocurrió en el margen oriental de la Península durante la formación de la cuenca de Yucatán, un proceso que tuvo lugar entre el Mesozoico Tardío y el Cenozoico Temprano. La topografía de la isla es de tipo kárstico, lo que provoca que el agua de lluvia se infiltre en el suelo y ocasione el colapso de techos de cavernas, generando depresiones pedregosas que son conocidas como dolinas o cenotes. En Cozumel, tanto los cenotes como las dolinas suelen ser de dimensiones pequeñas.

En las inmediaciones de Punta Sur, se encuentran varios cenotes y dolinas en la selva que se ubica al norte de la laguna de Colombia. Además, en Punta Celarain, hay una pequeña meseta calcárea. La naturaleza kárstica de la isla impide la formación de ríos en su superficie, ya que toda el agua de lluvia se filtra a través de fracturas y fisuras en el terreno hasta llegar al nivel freático. Como resultado, los escurrimientos hacia el mar prácticamente no transportan sólidos en suspensión.

### 6.1.1.3. Geología de Cozumel

Las unidades geológicas de la Isla de Cozumel son:

- El sistema cuaternario lacustre Q(la) se encuentra en la zona sur de la isla que abarca desde Palancar hasta Punta Celarain, que comprende las zonas de manglares y

lagunares. En la zona norte de la isla también se encuentra este tipo de formación, abarca la zona desde la Isla de la Pasión hasta Aguada Grande. Esta formación abarca una superficie de 2,832.6198 has (5.9858%).

- El sistema cuaternario litoral (Qli) se observa en la costa oriental de la isla desde Puntas Morena hasta los humedales de Mezcalitos. También se observa desde Punta Arrecifes hasta Punta Molas. Tiene una superficie de 1,242.9385 has (2.6167%).
- El sistema terciario plioceno tipo caliza Tpl (cz) que abarca la parte central de la isla hacia la costa occidental tiene una superficie de 27,352.6132 has (57.8110%).
- El sistema terciario superior caliza Ts (cz) tiene una superficie de 15,893.8008 Has (33.5865%).

La geología de la Isla de Cozumel guarda similitudes con la geología que se encuentra en toda la Península de Yucatán. Los estudios existentes coinciden al indicar que la formación de esta área se originó a partir de la sedimentación en el lecho marino, que tuvo lugar a partir de la Era Terciaria, sobre una base de rocas que datan de la Era Secundaria. Este proceso dio lugar a la formación de una inmensa losa que experimentó ascensos y retrocesos a lo largo del período de la Era Cenozoica, y este proceso continúa hasta la actualidad en la parte norte de la isla.

Esta losa está compuesta principalmente por calizas granulares de naturaleza desmenuzable, de color blanco, conocidas como sascab. En la entidad, el tipo de roca más común es de naturaleza sedimentaria y se origina tanto en el Terciario como en el Cuaternario, períodos que forman parte de la Era del Cenozoico, que se extiende a lo largo de un período de 63 millones de años.

### 6.1.1.4. Geomorfología de Cozumel

La geomorfología de Cozumel se caracteriza por una única formación geomorfológica, que es el relieve kárstico denudatorio, una extensa llanura kárstica con procesos incipientes de formación de dolinas que abarcan una superficie de 39,789.3733 hectáreas, lo que representa un

84.0766% del área total de la isla. Además, en la costa de Cozumel se pueden identificar tres tipos distintos de entornos:

- La costa de inundación y/o de intermareas, que se encuentra en las zonas norte y sur de la isla, y se caracteriza por la presencia de áreas lagunares que están directamente conectadas con el mar. Estas áreas experimentan fluctuaciones constantes de flujo y reflujo de las mareas y cubren una superficie de 4,740.1335 hectáreas, equivalente al 10.0161% del territorio.
- La costa biogénica de arrecife coralino, que se ubica principalmente en la costa oriental de la isla, abarcando dos áreas: desde Mezcalitos hasta Chen Rio en la costa central, y en la costa norte, incluyendo los Arrecifes y el Castillo Real. En la costa occidental, se presenta desde la Caleta, la Ceiba, Dzul-Ha, y parte de la zona de Curvas de Tormentos. Estas áreas ocupan una superficie de 985.148 hectáreas, lo que corresponde al 2.0817% del territorio.
- La costa no diferenciada con la playa, que se encuentra en la costa oriental de la isla, tanto en el litoral sur desde Chen Rio hasta Playa Box, como en el litoral norte desde Mezcalitos hasta los arrecifes. Esta zona abarca una superficie de 1,810.4735 hectáreas, representando un 3.8256% del territorio.

El relieve terrestre de la isla de Cozumel ha evolucionado a lo largo del tiempo debido a una serie de procesos constructivos y destructivos. Estos procesos son influenciados constantemente por factores como las mareas en las costas, los vientos alisios y la meteorización, que proviene de elementos como las lluvias y, en ciertas épocas, por fenómenos meteorológicos como tormentas tropicales y huracanes. Estos fenómenos desempeñan un papel equilibrador, ya que impulsan las zonas elevadas a descender y llenar las áreas más bajas, lo que da lugar a la transformación del relieve en diversas etapas.

El relieve se ve afectado por una combinación de factores bióticos y abióticos, aunque aquellos de naturaleza puramente geográfica son de origen abiótico y exógeno. Estos factores incluyen el relieve, el suelo, el clima y los cuerpos de agua.

El clima, con sus elementos como la presión, la temperatura y los vientos, desempeña un papel importante en la modelación del relieve. El agua superficial, a través de la escorrentía y la acción de los ríos y del mar, así como las mareas que afectan la línea costera, son factores esenciales en los procesos erosivos y de transformación del relieve.

#### 6.1.1.5. Procedimientos de análisis

El proceso de análisis involucró la formulación de un modelo conceptual de susceptibilidad y su aplicación a través de un modelo lógico. El modelo conceptual se basa en el análisis condicional respaldado por el teorema de Bayes, como se describe en el trabajo de Sujatha, Kumaravel y Rajamanickam (2014). Este enfoque se basa en la evaluación de la probabilidad de causas teniendo en cuenta los efectos observados en el pasado. Dado nuestro conocimiento sobre la morfogénesis y morfodinámica relacionadas con las condiciones geológicas, geomorfológicas y ambientales en la zona de estudio, asumimos que, en un contexto territorialmente homogéneo, es probable que se produzcan procesos y geofomas de susceptibilidad similares.

En el modelo conceptual de susceptibilidad, los factores que influyen en la susceptibilidad se dividen en dos categorías: estáticos o pasivos y activos o dinámicos, como se señala en el trabajo de Palacio Aponte (2013). Los factores estáticos son aquellos que no experimentan cambios en tiempo real o en períodos cortos, y los principales entre ellos son los litológicos y estructurales. Por otro lado, los factores dinámicos son aquellos que experimentan cambios rápidos y que ejercen presión constante sobre los factores estáticos, incluyendo factores como hidrogeológicos, litológicos, climáticos, estructurales y sismotectónicos.

Para los propósitos de evaluación de susceptibilidad en este estudio, nos enfocamos en los factores pasivos (morfología – topografía y geología – tipo de material), es decir, los litológicos y estructurales; y en factores dinámicos (ambientales – vegetación y lluvia).

Para hacer cartográficamente operativo el modelo conceptual, se implementó un modelo lógico en un sistema de información geográfica (Qgis 3.30.1), donde mediante un análisis

multicriterio de jerarquías analíticas se asignaron pesos diferenciales a la litología y a los factores estructurales, según su contribución a la intensidad de los procesos kársticos corrosivo-erosivos y en consecuencia a la susceptibilidad. Los valores fueron asignados directamente de forma semicuantitativa y cualitativa a los formatos vectoriales de los mapas originales y transformados a formatos ráster para su suma lineal ponderada.

El modelo de susceptibilidad se expresa en tres mapas, dos parciales de ponderación litológica y de ponderación morfoestructural, y un mapa final o resultado de susceptibilidad a la subsidencia y colapsos kársticos. Los insumos cartográficos y los mapas se desarrollan en escalas medias 1:250,000 y 1:50,000 acordes a niveles regionales.

El mapa de ponderación litológica sintetiza la solubilidad intrínseca de las rocas, impurezas y tamaño de las partículas por tipos litológicos. Las características de las rocas se delimitaron a partir de las unidades geológicas cartografiadas por el Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2007) en formato vectorial. Confirmando la información del SGM, a cada tipo litológico se les asignó una ponderación numérica entre 0 y 1 según el criterio de solubilidad diferencial en tres niveles, bajo (0.33) medio (0.66) y alto (1.0). El mapa de ponderación dinámica sintetizada zonas de posibles inundaciones, según el criterio de bajo (0.11) medio (0.66) y alto (1.0).

En cuanto al mapa de ponderación morfoestructural, este abarca la porosidad secundaria y los planos de estratificación, y su relevancia radica en que los puntos de ruptura o las áreas de debilidad en fallas, diaclasas e intersecciones desempeñan un papel crucial en la iniciación de procesos corrosivos y erosivos diferenciales. Para cuantificar esto, se dividió el mapa en 10 clases normalizadas mediante el cálculo de densidad kernel utilizando el método de ruptura natural (Jenks). Este enfoque permitió diferenciar las áreas con una mayor o menor densidad de debilidades morfoestructurales. El cálculo de la densidad kernel implicó sumar las líneas, puntos e intersecciones dentro de áreas específicas y luego dividir este valor entre el área cubierta, generando así una densidad en formato ráster. Las celdas cercanas al centro del área de búsqueda presentaron valores de densidad

más elevados que las que se encontraban en los bordes. Esta condición refleja una predisposición diferencial a la disolución, ya que a medida que los valores de densidad son mayores, también aumenta la permeabilidad secundaria y, por consiguiente, la susceptibilidad a la disolución y la probabilidad de que ocurra un fenómeno corrosivo-erosivo. Se establecieron tres clases normalizadas de densidad: baja (0.06-0.15), media (0.16-0.28) y alta (0.29-0.58).

Los mapas parciales se generaron al superponer y coincidir las unidades litológicas, características morfoestructurales y paisajes geomorfológicos previamente definidos a nivel estatal. Estos paisajes geomorfológicos se basaron en investigaciones previas realizadas por Bautista, Batllori-Sampedro, Palacio, Ortiz Pérez y Castillo-González en 2005.

Finalmente, mediante el uso de funciones de análisis espacial, que involucraron la superposición en formatos ráster y una suma ponderada lineal utilizando la herramienta de álgebra de mapas en QGIS, se combinaron los mapas parciales (como se describe en el trabajo de Hu et al., 2021) para producir un único mapa alternativo (final) que contiene información relacionada con la susceptibilidad.

#### 6.1.1.6. Resultados

Los mapas que se presentan a continuación que muestran los resultados del análisis se llevan a cabo a partir de la clasificación dada su composición litológica y su edad geológica debido a su génesis y su concentración de carbonatos.

La clasificación de suelos y su cubierta vegetal también ha sido clasificada y presentada en un mapa. de acuerdo con el desarrollo del suelo y tipo de vegetación este puede ser un factor para el aumento de concentración de pH y esto se traduce agua alcalina la cual disuelve y degrada la litología que contiene carbonatos.

La zona urbana, por su parte, está creciendo sobre roca sedimentaria del Neógeno, en llanura; sobre área donde originalmente había suelo denominado Leptosol; tiene clima cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, y está creciendo sobre terreno previamente ocupado por selva. Entre los resultados del componente litológico,

destaca el diferente comportamiento disolutivo entre yesos, sales y carbonatos. La extraordinaria diferencia de las solubilidades respectivas oscila entre cientos de g L<sup>-1</sup> para la sal, en torno a 2 g L<sup>-1</sup> el yeso frente algunos centenares de mg L<sup>-1</sup> de las calizas y las dolomías. Las calizas interestratificadas con yesos la más alta susceptibilidad a la disolución, y en menor grado, calizas con margas, calizas con conglomerados y depósitos palustres, aluviales y litorales. Para hacer comparables las solubilidades de los minerales que existen en Cozumel, se tomaron estándares teóricos promedio a 25 °C, presión de 1 atm, y en agua con pH7 con base en el trabajo de Best, Fielding, Jarvis y Mozley (2009). Sus solubilidades promedio y su relación con los niveles de susceptibilidad esperada, se presentan en la tabla 6.1.1.6-2.

Mediante el examen de los datos litológicos y morfogénéticos, se generó el mapa de ponderación litológica, como se muestra en la Figura 6.1.1.6-1. Aquellos factores ambientales que exhibieron comportamientos promedio sin variaciones significativas y una relativa homogeneidad en todo el territorio estatal no se consideraron en la ponderación de los factores condicionantes. Esto se debe a que no contribuyeron de manera significativa a la demarcación diferenciada de áreas con susceptibilidad contrastante. Los factores claves para que exista la disolución es la temperatura, la vegetación, la litología y su potencial de ser disuelto, la disolución está directamente relacionada a la exposición a

lluvias, acumulaciones de agua en la superficie principalmente en las partes altas y la dinámica de los flujos en el macizo rocoso.

El relieve y la aportación de lluvias interactuando con la vegetación de Cozumel, son detonantes de la disolución de las calizas, esto permite la existencia de zonas más susceptibles a formar karticidad.

La vegetación es un factor importante que impacta en el pH del agua ya que se agregan ácidos de origen vegetal a las corrientes superficiales y subterráneas y estos reaccionan con las rocas carbonatadas diluyéndolas y generando karsticidad. La selva mediana tiene mayor cobertura y se encuentra en las zonas más altas de la isla, esto se traduce a un aporte constante de agua acidificada por este tipo de vegetación.

La correlación de las diferentes clasificaciones presenta niveles de susceptibilidad junto a los escenarios de lluvias para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 250 y 500 años, obtenemos los siguientes mapas de karticidad para Cozumel.

Tabla 6.1.1.6-1. Nivel de Susceptibilidad por Solubilidad de los materiales líticos

Geología	Lacustre	Litoral	Caliza	Caliza Lacustre
Clave	Q (la)	Q (li)	Tpl (cz)	Ts (cz)
Solubilidad (mg/L)	12	12	120	285
Nivel de Susceptibilidad	0.03	0.03	0.28	0.66

Tabla 6.1.1.6-2. Solubilidad de los materiales líticos

Mineral	Solubilidad (mg L <sup>-1</sup> )	Litología en el estado de Campeche
Sedimentos recientes del cuaternario	<12	Depósitos lacustres, aluviales y litorales
Calcita (CaCO <sub>3</sub> ) Sílice (SiO <sub>2</sub> )	120	Caliza, conglomerado
Calcita (CaCO <sub>3</sub> )	100-500	Caliza

Nota: Elaboración propia con base en datos de Best et al. (2009).

Figura 6.1.1.6-1. Susceptibilidad de solubilidad de los diferentes tipos de rocas y sedimentos en Cozumel.

Atlas de riesgos por fenómenos naturales y vulnerabilidad ante el cambio climático en Cozumel, Quintana Roo | Capítulo 6: Identificación de amenazas, peligros, vulnerabilidad y riesgos ante fenómenos perturbadores

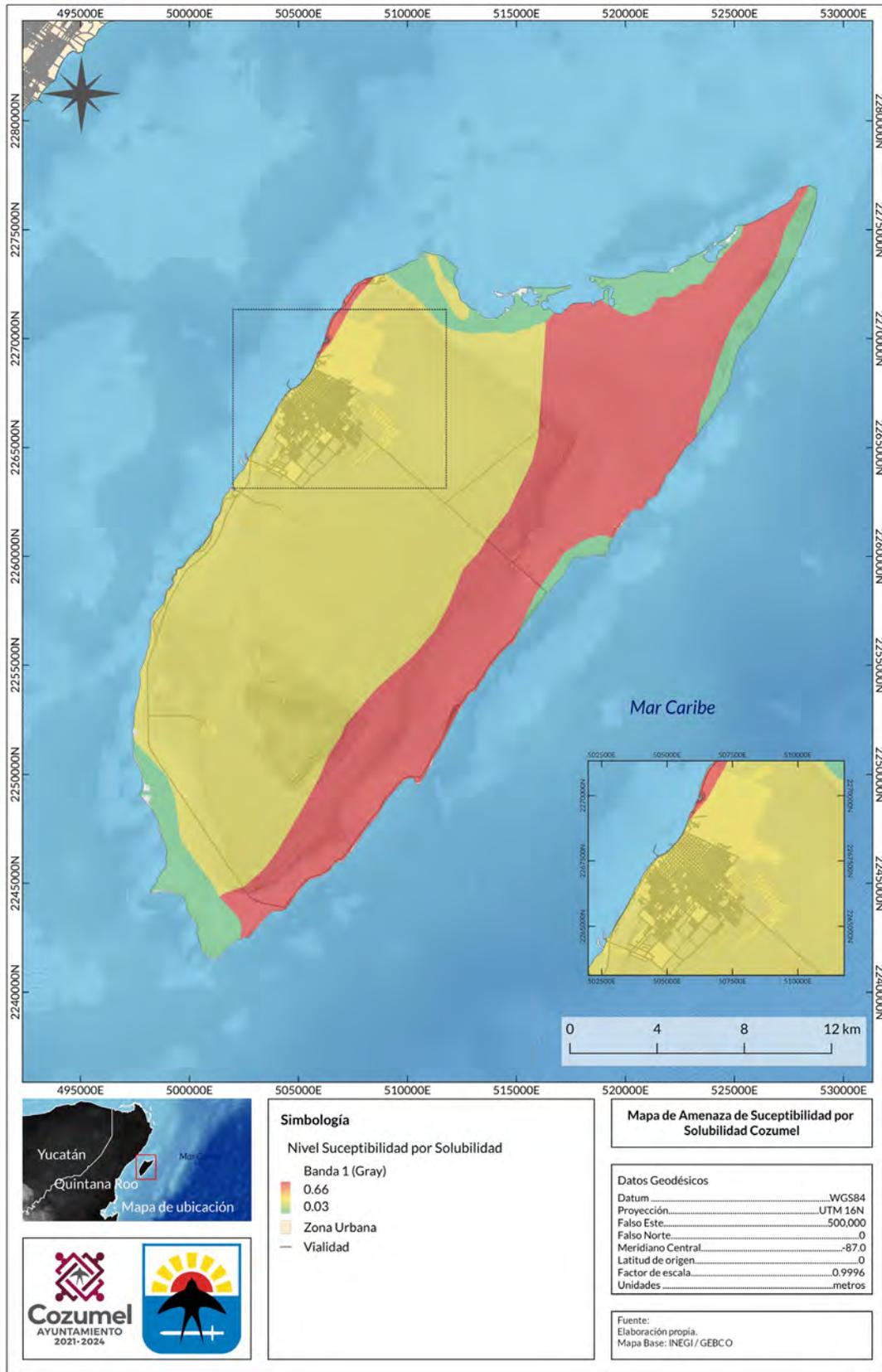


Figura 6.1.1.6-2. Mapa de elevación de vegetación de Cozumel

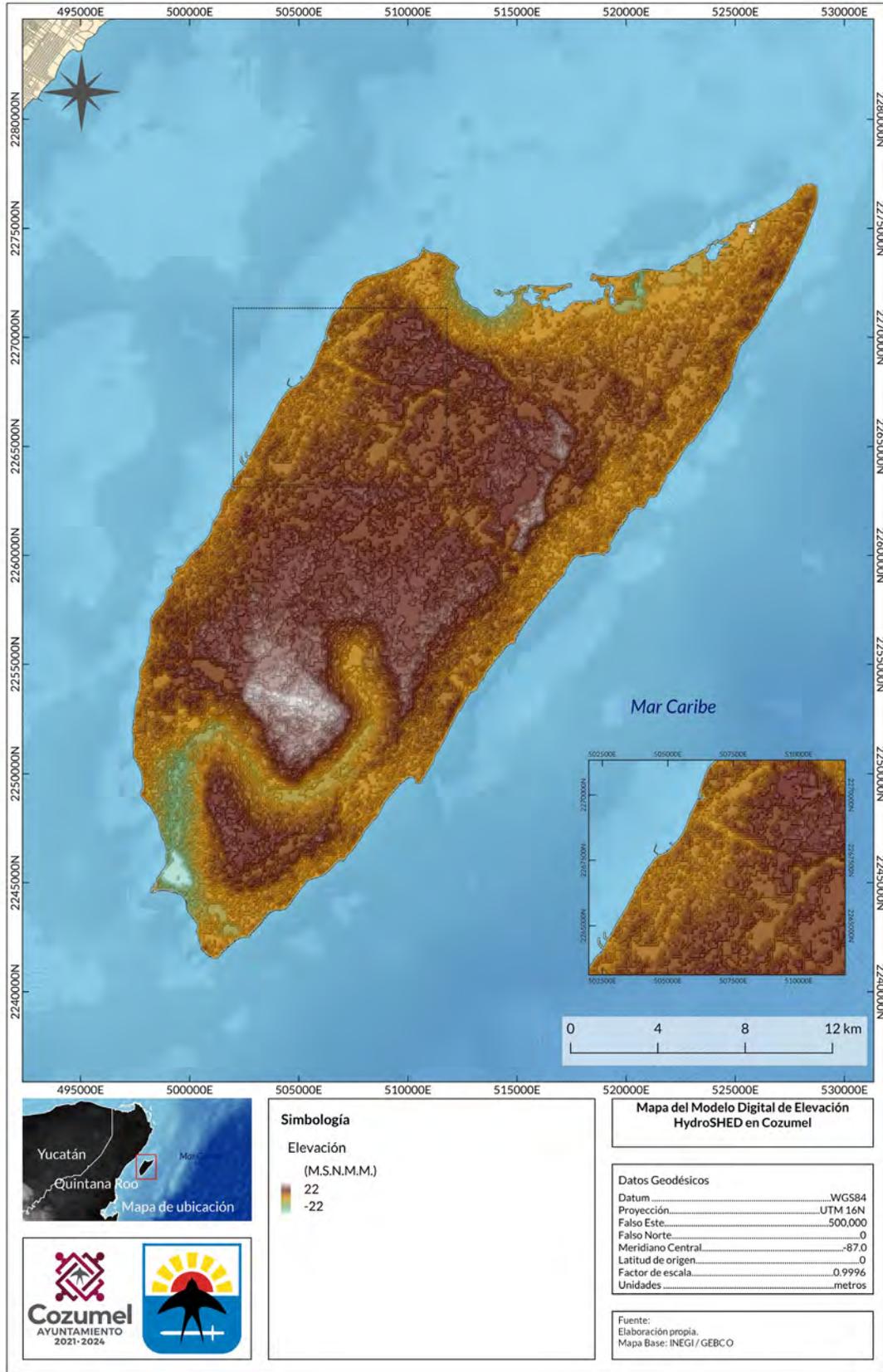


Figura 6.1.1.6-2. Mapa de elevación de vegetación de Cozumel (continuación)

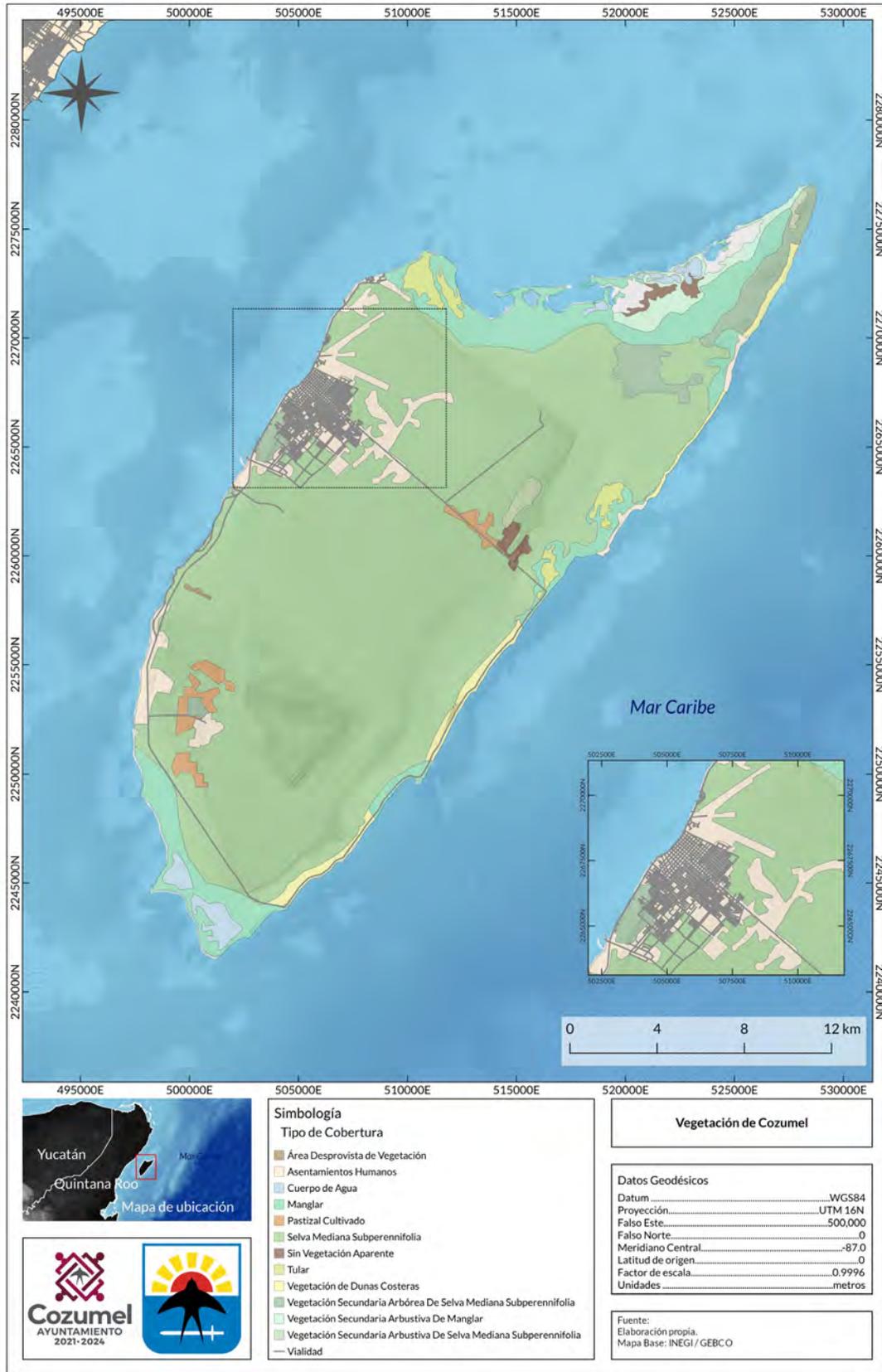


Figura 6.1.1.6-3. Mapas de riesgo por karticidad para un Tr de 2 y 5 años.

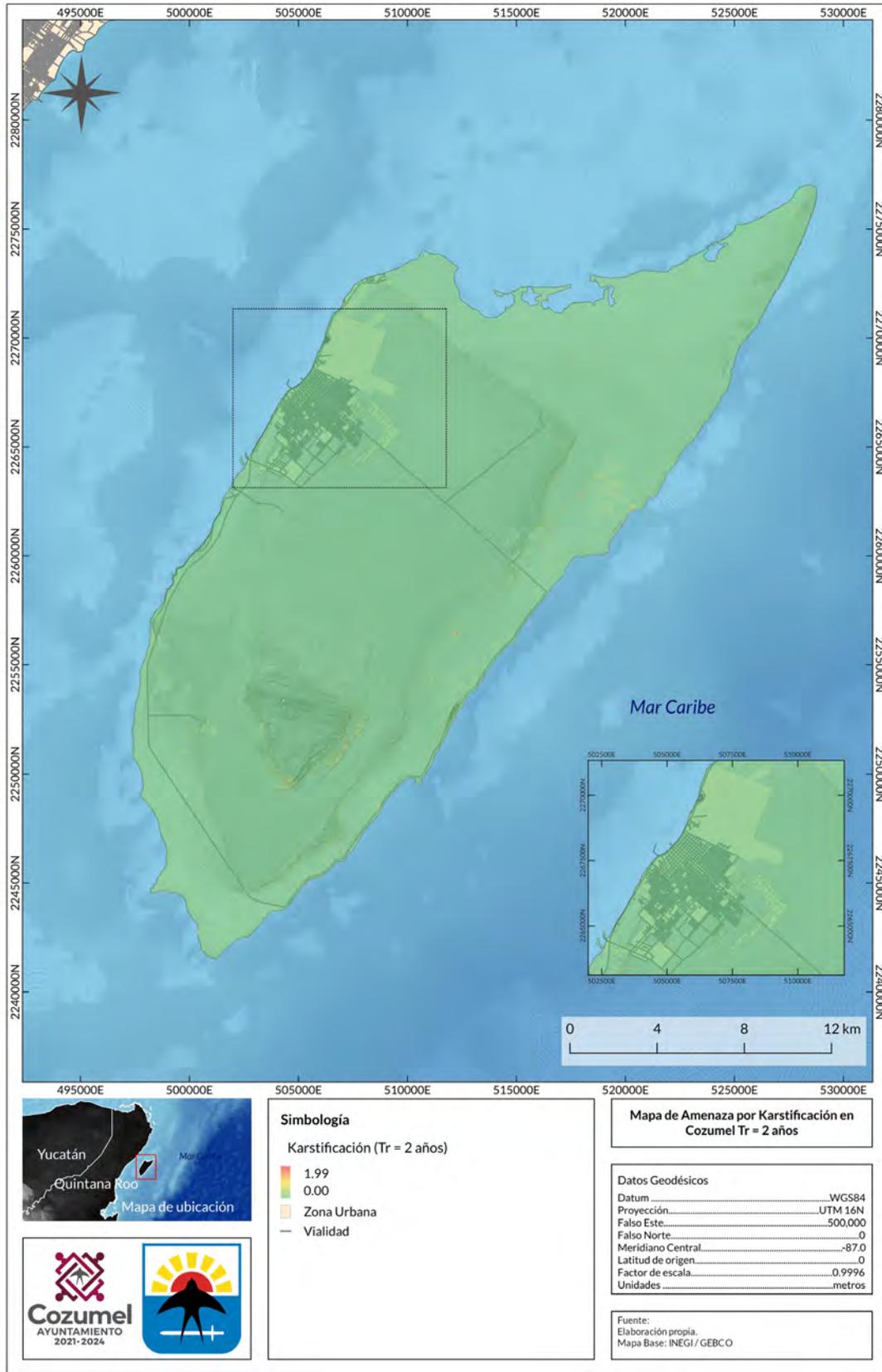


Figura 6.1.1.6-3. Mapas de riesgo por karcidad para un Tr de 2 y 5 años (continuación).

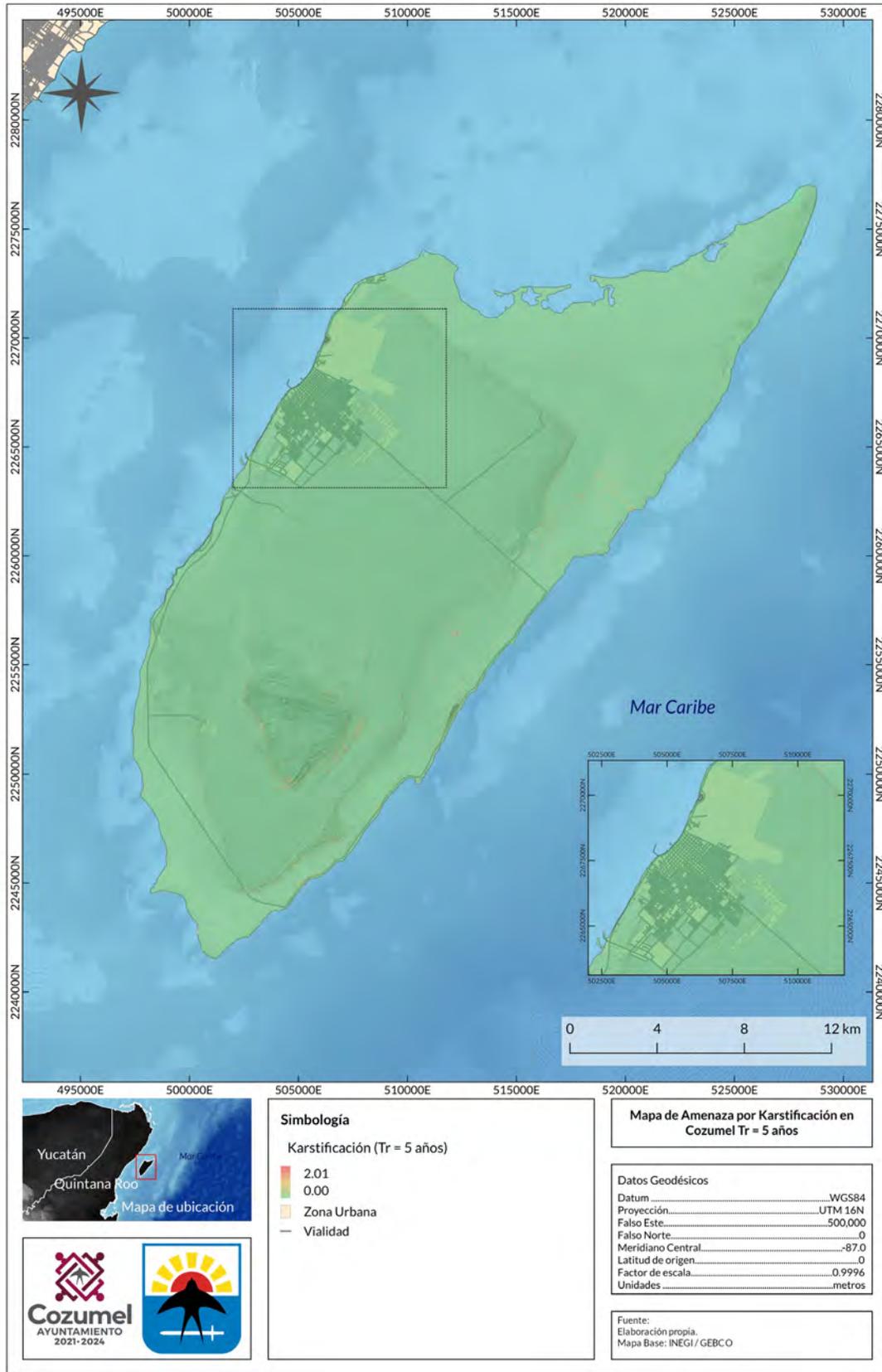


Figura 6.1.1.6-4. Mapa de riesgo por karsticidad para un Tr de 10 y 25 años.

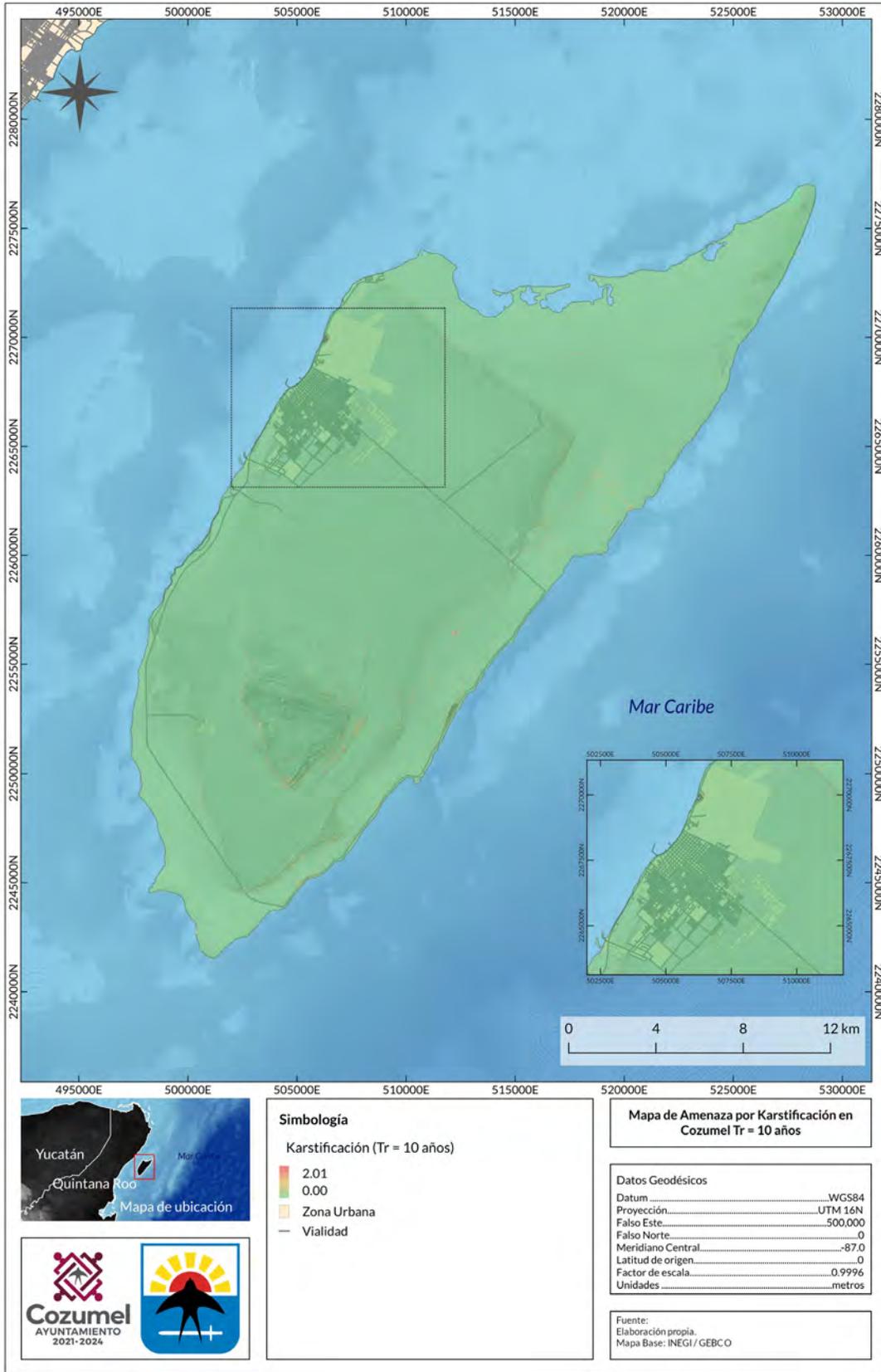


Figura 6.1.1.6-4. Mapa de riesgo por karsticidad para un Tr de 10 y 25 años (continuación).

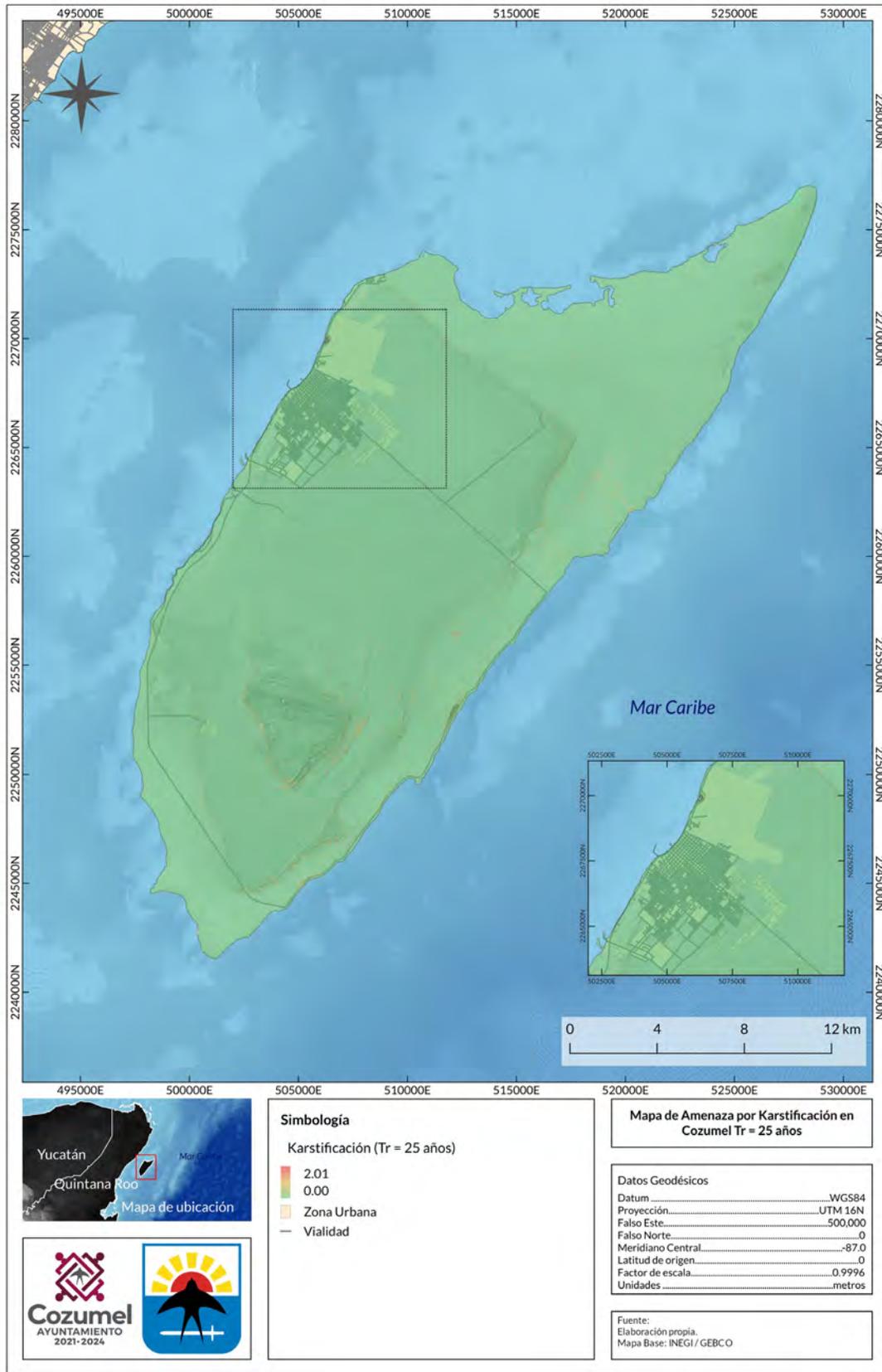


Figura 6.1.1.6-5. Mapa de riesgo por karcitividad para un Tr de 50 y 100 años.

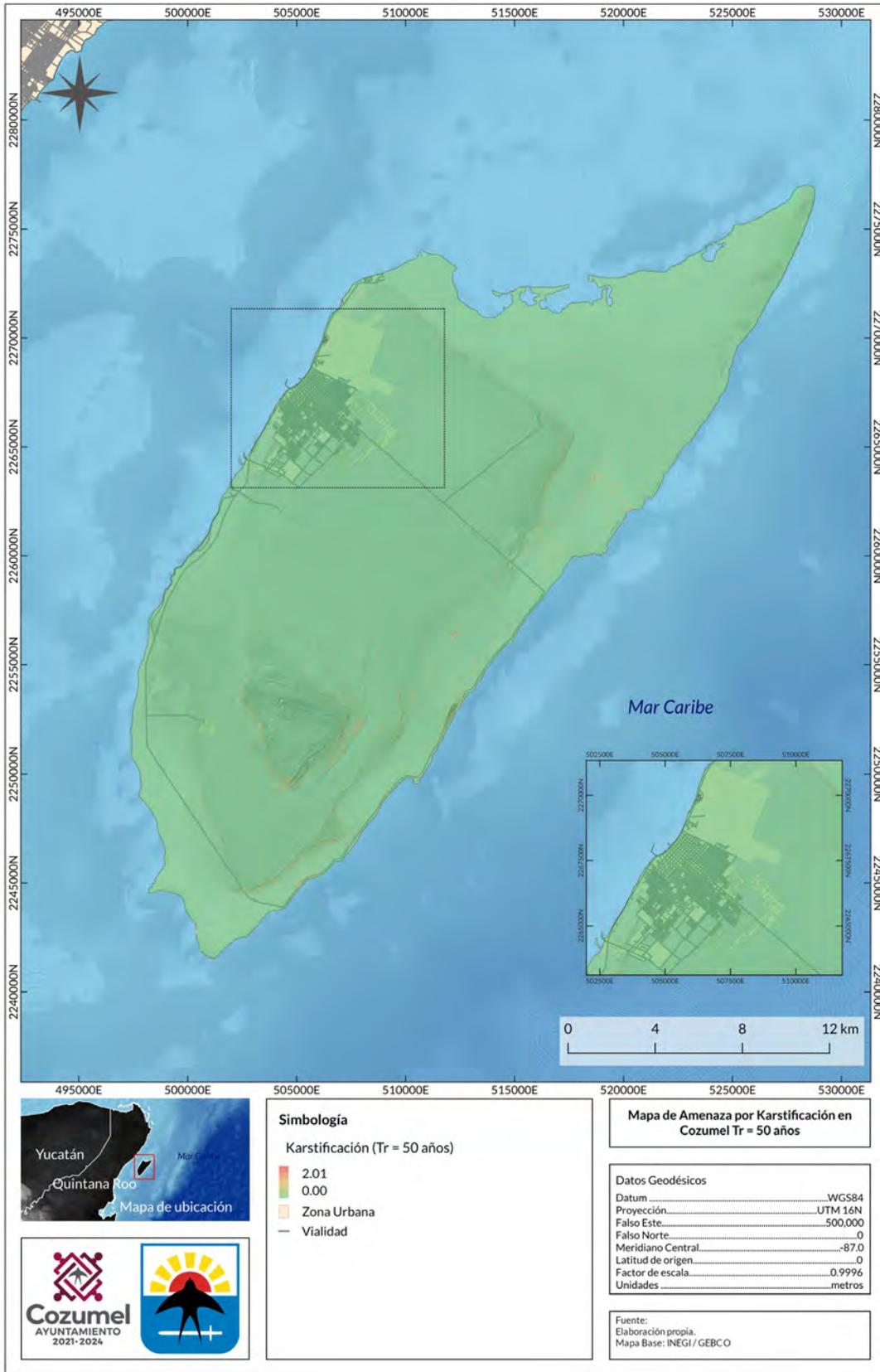


Figura 6.1.1.6-5. Mapa de riesgo por karticidad para un Tr de 50 y 100 años (continuación).

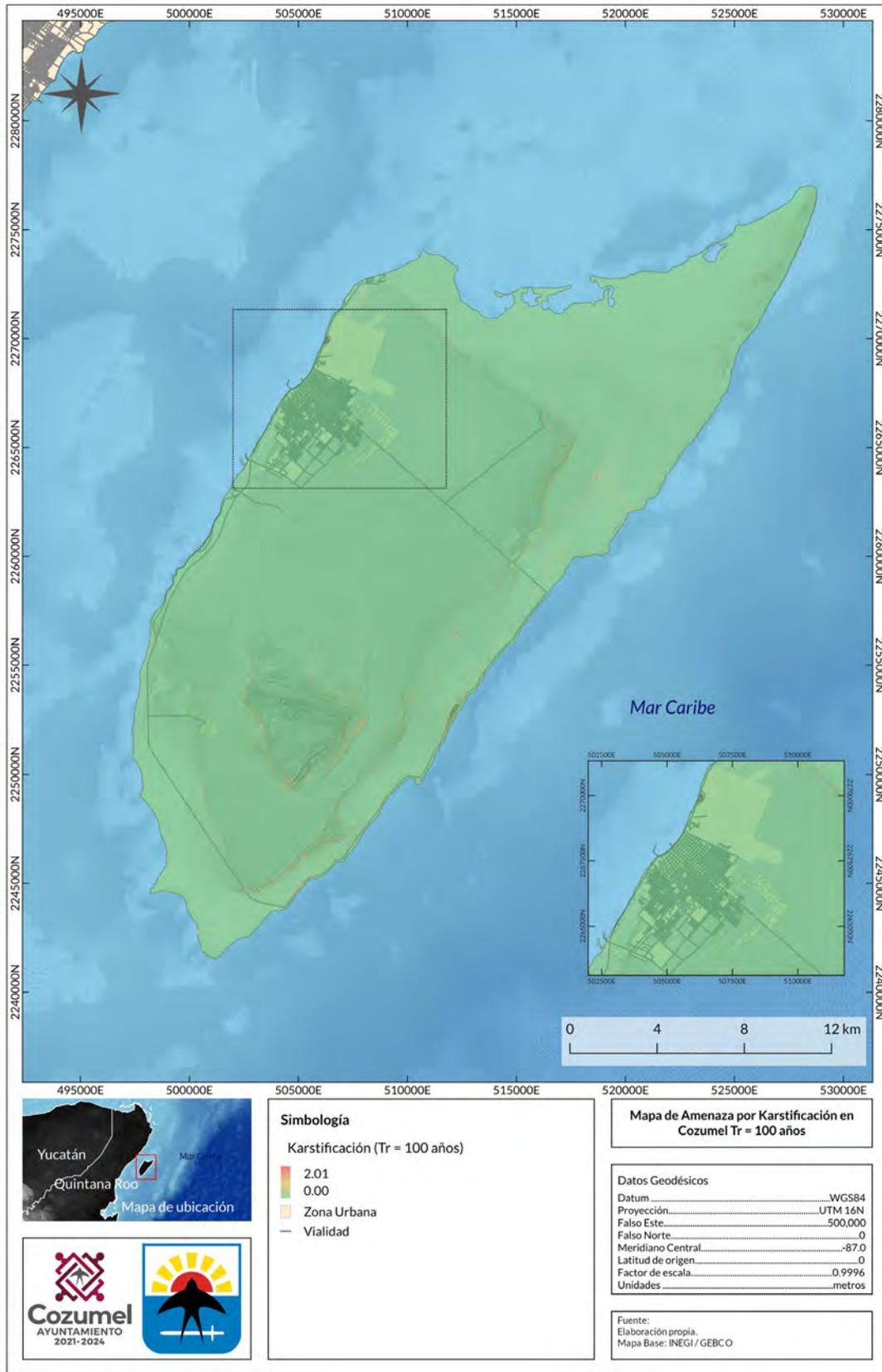


Figura 6.1.1.6-6. Mapa de riesgo por karticidad para un Tr de 250 y 500 años.

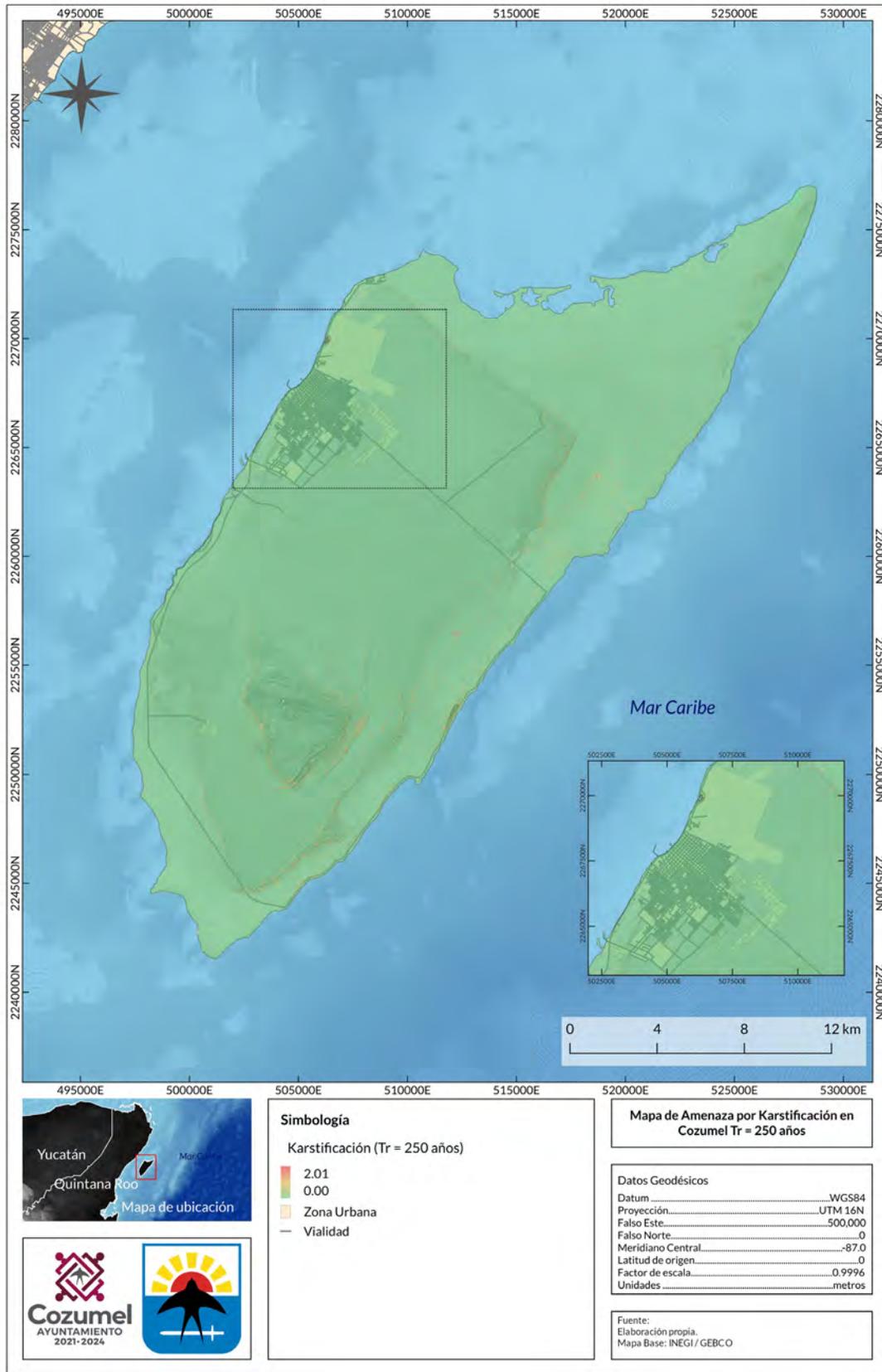
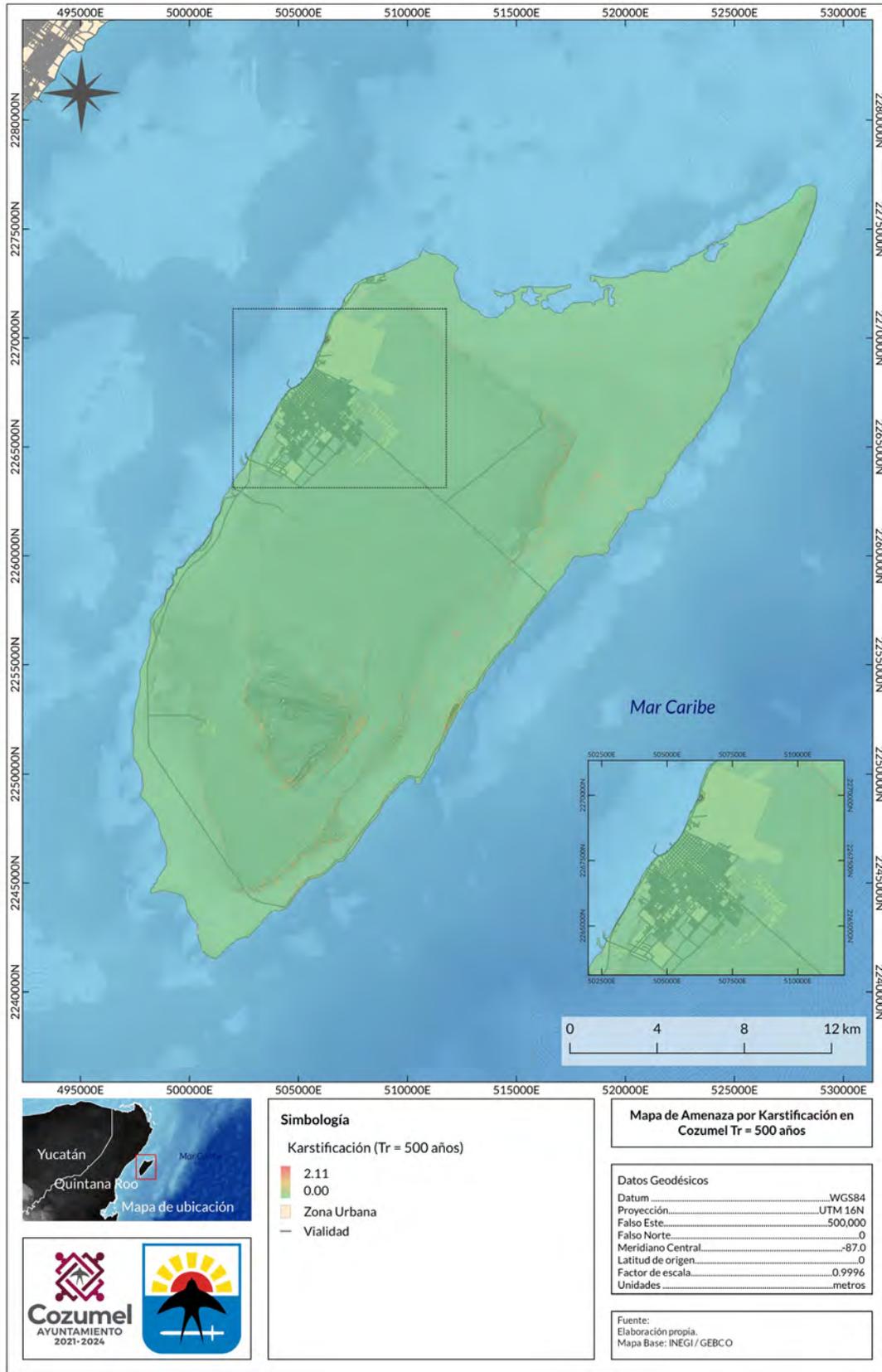


Figura 6.1.1.6-6. Mapa de riesgo por katicidad para un Tr de 250 y 500 años (continuación).



Para la Tasa de Retorno a 2 y 5 años las zonas susceptibles a erosionarse, sufrir disolución y generar karsticidad son las partes en rojo, estas zonas son las partes donde existen rasgos morfológicos y litologías como calizas lacustres, se resalta que para este retorno las morfologías en donde la topografía tiene cambios abruptos son las más afectadas, el relieve es el factor más importante en estas etapas del fenómeno de la karsticidad.

Para la exposición temporal Tasa de Retorno de 10 y 25 años las zonas susceptibles a erosionarse, sufrir disolución y generar karsticidad se ubican donde existen rasgos morfológicos y litologías como calizas lacustres (parte sur este de la isla), se resalta que, para estas exposiciones temporales, la lluvia acumulada y las pendientes son el factor clave para continuar el deterioro de los macizos rocosos superficial y subterráneamente.

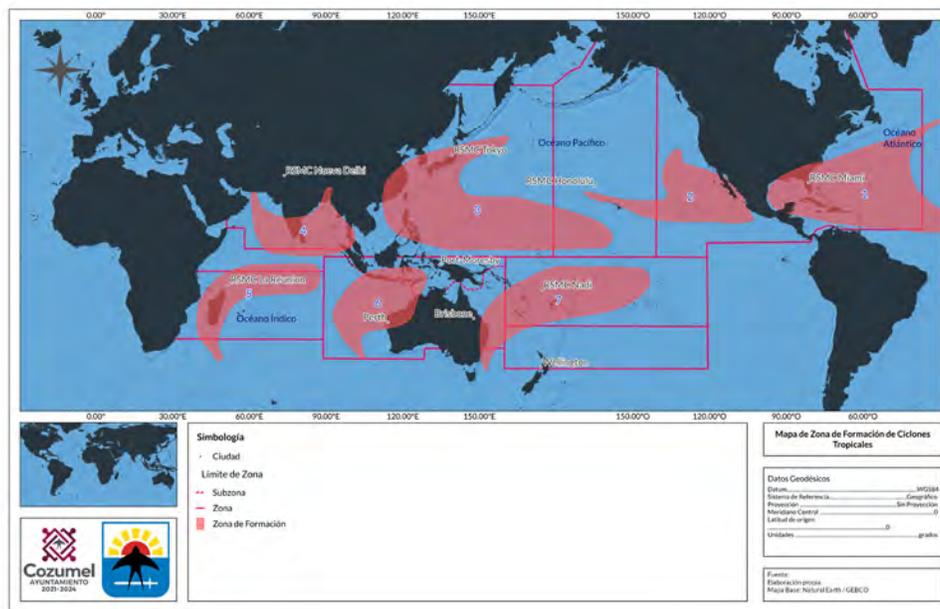
Para la exposición temporal Tasa de Retorno de 50 y 100 años las zonas donde se sufre disolución y problemáticas derivadas de karsticidad se ubican donde existen rasgos morfológicos y litologías como calizas lacustres (parte sur este de la isla), se resalta que, para estas exposiciones temporales, la lluvia acumulada y las pendientes son el factor clave para continuar el deterioro de los macizos rocosos superficial y subterráneamente.

Para la exposición temporal de 250 y 500 años las zonas más afectadas por karsticidad son las zonas que presentan desniveles y taludes principalmente en las zonas con litologías como calizas lacustres (parte sur este de la isla), el deterioro de los macizos rocosos superficial y subterráneamente pueden tener posibles oquedades y tubificaciones que conectan las zonas altas con las costas y escurrimientos naturales, las zonas en tonos rojos sufrirán mayor escurrimiento y disolución de sus carbonatos.

### 6.1.2. Ciclones tropicales

Un ciclón tropical es un sistema de tormenta no frontal caracterizado por un centro de baja presión, bandas de lluvias en espiral y fuertes vientos. Normalmente se origina sobre aguas tropicales o subtropicales, y rota en el sentido de las agujas del reloj en el hemisferio sur y en dirección opuesta en el hemisferio norte. El sistema adquiere más fuerza con el calor liberado al ascender el aire húmedo y condensarse el vapor de agua que contiene (sistema de tormenta “de núcleo cálido”). Para ello, la temperatura del agua debe ser superior a 27 °C. El huracán es la etapa más severa de los ciclones tropicales. Una de las características de los huracanes es que los vientos suelen ser muy intensos, alcanzando velocidades de más de 119 kilómetros por hora.

Figura 6.1.2.-1. Zonas de formación de ciclones tropicales en el mundo



Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Los huracanes son grandes estructuras atmosféricas fáciles de detectar y de predecir su movimiento, con lo que es posible prevenir a la población. Por su excepcionalidad tienen un nombre. Cada zona tiene sus listas, entre dos y seis, que se aplican a las tormentas tropicales a medida que van apareciendo. Cuando un huracán es significativamente destructivo se saca su nombre de la lista y es sustituido por otro. Hay siete regiones principales de formación de ciclones tropicales. Son el océano Atlántico, las zonas oriental, sur y occidental del océano Pacífico, así como el sudoeste, norte y sureste del océano Índico (Figura 6.1.2.-1). A nivel mundial, cada año se forman una media de 80 ciclones tropicales.

Los ciclones tropicales se clasifican de acuerdo con la fuerza de sus vientos, mediante la escala de huracanes de Saffir-Simpson. Basándose en esta escala, los huracanes Categoría 1 serían los más débiles y los Categoría 5 los más fuertes (Figura 6.1.2.-2). Los ciclones con velocidades entre 63–118 km/h se denominan tormentas tropicales.

Los huracanes que llegan a tierra pueden provocar daños por los fuertes vientos, las lluvias torrenciales, las inundaciones, el aumento del nivel de la marea y la formación de los tornados que lo acompañan. Los vientos huracanados son capaces no sólo de generar grandes olas, sino de incluso, desplazar buena parte de la superficie marina provocando mareas altas.

En recientes años, los huracanes que son estacionarios son más peligrosos porque las ciudades o comunidades han crecido exponencialmente. Aunado a esto, estos fenómenos naturales al ser estacionarios pueden producir más lluvias sobre un mismo lugar durante un lapso de tiempo más largo produciendo inundaciones. También, estos lugares podrían sufrir los vientos intensos asociados al sistema por más tiempo, ocasionando daños a la infraestructura y la vida humana.

Entonces, unos causan más daños que otros porque acumulan ciertas características que los hacen más peligrosos, no sólo tiene que ver

Figura 6.1.2.-2. Escala Saffir-Simpson.

INTENSIDAD	VELOCIDAD DEL VIENTO	PRESIÓN CENTRAL	MAREA
 Categoría 1	119-153 km/h	980 -994 mbar	1,2-1,5 m
	74-95 mph		
	33-42 m/s		
Vientos muy peligrosos que producirán algunos daños			
 Categoría 2	154-177 km/h	965 -979 mbar	1,8-2,4 m
	96-110 mph		
	43-49 m/s		
Vientos extremadamente peligrosos que causan daños extensos			
 Categoría 3	178-209 km/h	945 -964 mbar	2,7-3,7 m
	111-130 mph		
	50-58 m/s		
Vientos con daños devastadores Afectaciones estructurales en edificios pequeños			
 Categoría 4	210-249 km/h	920 -944 mbar	4,0-5,5 m
	131-155 mph		
	59-69 m/s		
Vientos con daños catastróficos Afectaciones generalizadas en estructuras protectoras			
 Categoría 5	250 km/h	<920 mbar	≥ 5,5 m
	156 mph		
	170 m/s		
Vientos con daños catastróficos Destrucción de altos porcentajes de viviendas			

Fuente: NOAA.

Figura 6.1.2.-3 Nivel de daño asociado a las diferentes categorías de la escala Saffir-Simpson



Fuente: National Hurricane Center (NHC) de la NOAA.

con la intensidad, sino otros factores como los mencionados. Cabe recalcar, que la lluvia no está asociada con la intensidad de un ciclón tropical. Por ejemplo, una tormenta tropical estacionaria podría ser más peligrosa que un huracán categoría 1 cuya velocidad de traslación sea muy rápida.

El objetivo de este estudio es el determinar escenarios de vientos máximos asociados a ciclones tropicales para el municipio de Cozumel.

#### 6.1.2.1. Bases de datos de huracanes

El registro de huracanes que han afectado la región data de finales del siglo XIX. Sin embargo, no es sino hasta mediados del siglo XX que se dispone de registros de sus trayectorias completas y de parámetros indicativos de su severidad, tales como la presión barométrica en el ojo o la velocidad ciclostrofica (velocidad máxima).

Las Bases de Datos de Huracanes (HURDAT), administradas por el Centro Nacional de Huracanes (NHC) de la NOAA, son dos bases de datos separadas que contienen detalles sobre ciclones tropicales que han ocurrido en el Océano Atlántico y el Océano Pacífico Oriental desde 1851 y 1949, respectivamente. El HURDAT es el conjunto de datos de la 'mejor para el Atlántico Norte' mantenido por el TPC. Se le llama "mejor" debido a que la "mejor" trayectoria y las estimaciones de intensidad de los ciclones tropicales son determinadas en un análisis posterior a que todos los datos estén disponibles.

La base de datos del Pacífico Oriental se compiló originalmente en el NHC durante 1976, para ayudar con la inicialización con dos modelos de pronóstico de ciclones tropicales. Inicialmente,

los rastros de la región del Pacífico Central y los rastros de las depresiones tropicales que no se convirtieron en tormentas tropicales o huracanes no se incluyeron en la base de datos. Durante los años siguientes, se archivaron las trayectorias. Los mejores datos de las trayectorias del Centro de Huracanes del Pacífico Oriental (EPHC) fueron archivados por el NHC anualmente. Durante 1982, el NHC comenzó a incluir datos sobre tormentas tropicales y huracanes en el Pacífico central en la base de datos, antes de que asumieran la responsabilidad de emitir avisos durante 1988. El formato de la base de datos del Pacífico oriental se modificó significativamente durante 2013 para incluir los mejores tiempos de seguimiento no sinópticos y depresiones tropicales que no se desarrollan.

Después de que se crearon las bases de datos HURDAT; en las dos décadas siguientes se hizo evidente que era necesario revisar HURDAT porque estaba incompleto, contenía errores importantes o no reflejaba los conocimientos científicos más recientes sobre la interpretación de datos pasados. En 2013, el formato del archivo se modificó significativamente para incluir mejores tiempos de seguimiento no sinópticos, depresiones tropicales no desarrolladas y radios de viento.

Este conjunto de datos tiene un formato de texto delimitado por comas con información del lugar (latitud y longitud) cada 6 horas (00,06, 12 y 18 GMT), los vientos máximos (en 4 cuadrantes), presión central y, a partir del 2004, el tamaño de todos los ciclones tropicales y los ciclones subtropicales conocidos (ver Figura 6.1.2.1-1).



Figura 6.1.2.2-1 Número de eventos ocurridos para eventos categoría 1, calculados a partir de la base de datos del NHC de la NOAA para la zona de estudio con categorías iguales o mayores a las distintas categorías de la escala Saffir-Simpson.

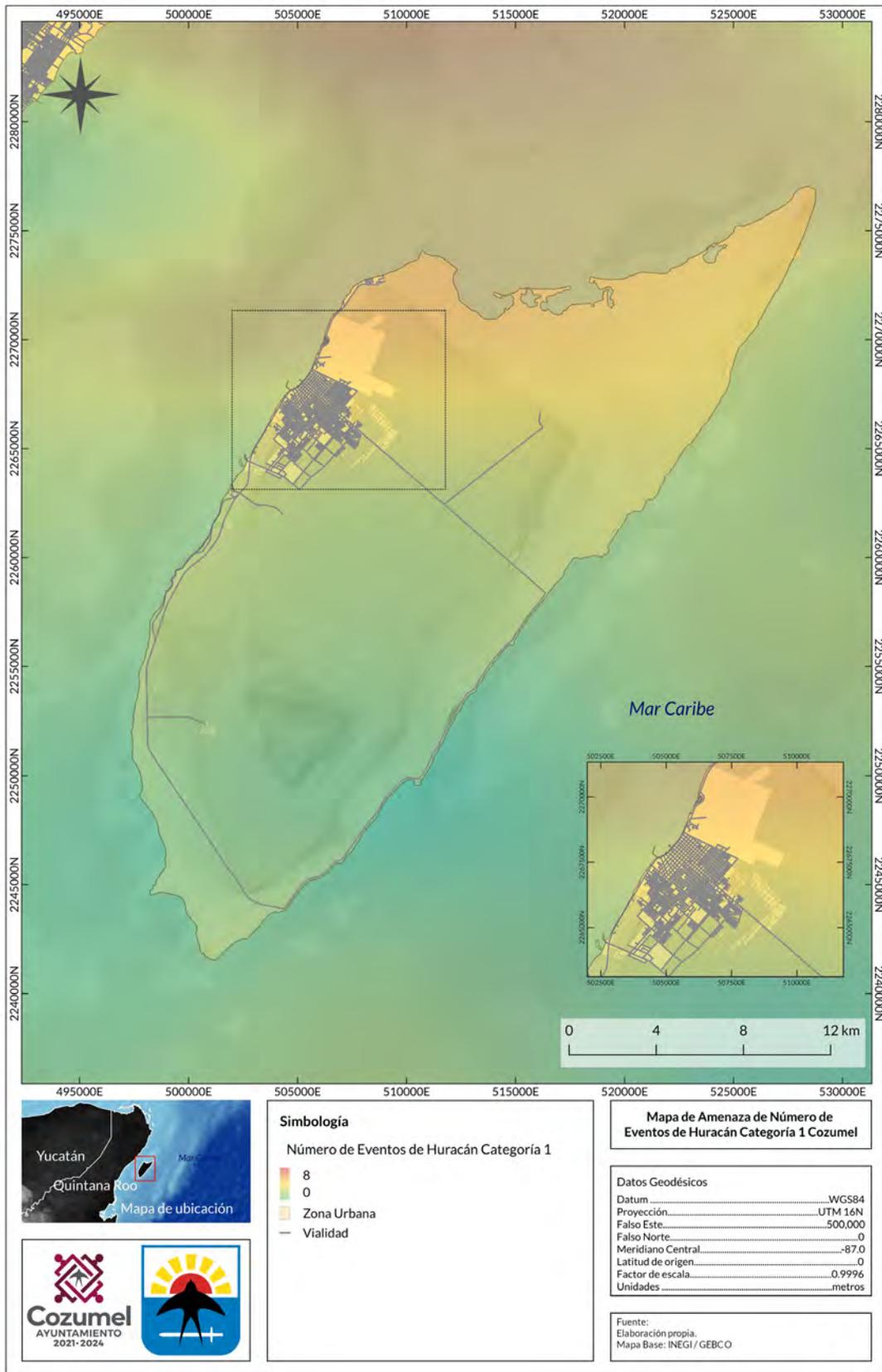


Figura 6.1.2.2-1 Número de eventos ocurridos para eventos categoría 2, calculados a partir de la base de datos del NHC de la NOAA para la zona de estudio con categorías iguales o mayores a las distintas categorías de la escala Saffir-Simpson (continuación).

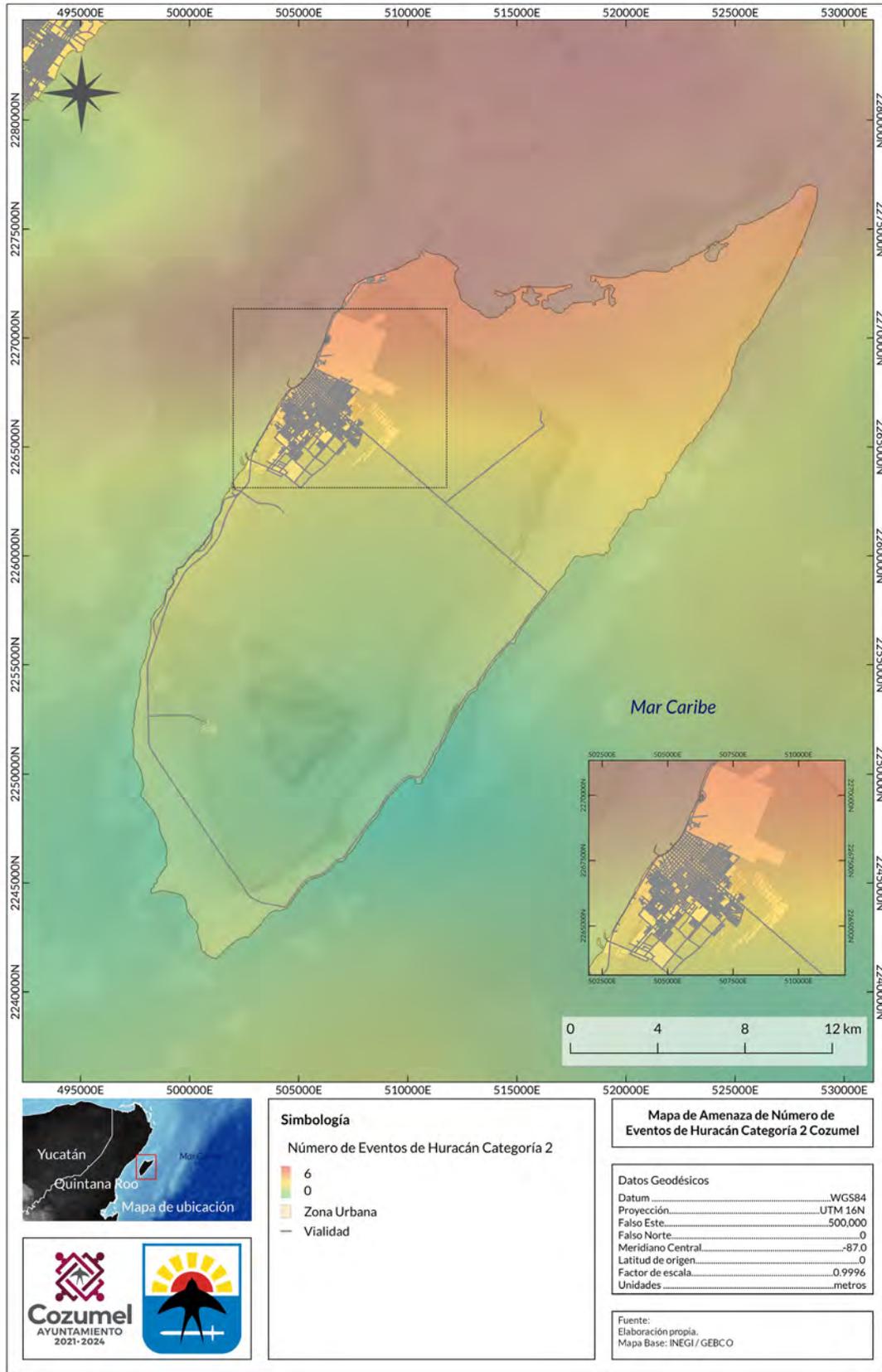


Figura 6.1.2.2-1 Número de eventos ocurridos para eventos categoría 3, calculados a partir de la base de datos del NHC de la NOAA para la zona de estudio con categorías iguales o mayores a las distintas categorías de la escala Saffir-Simpson (continuación).

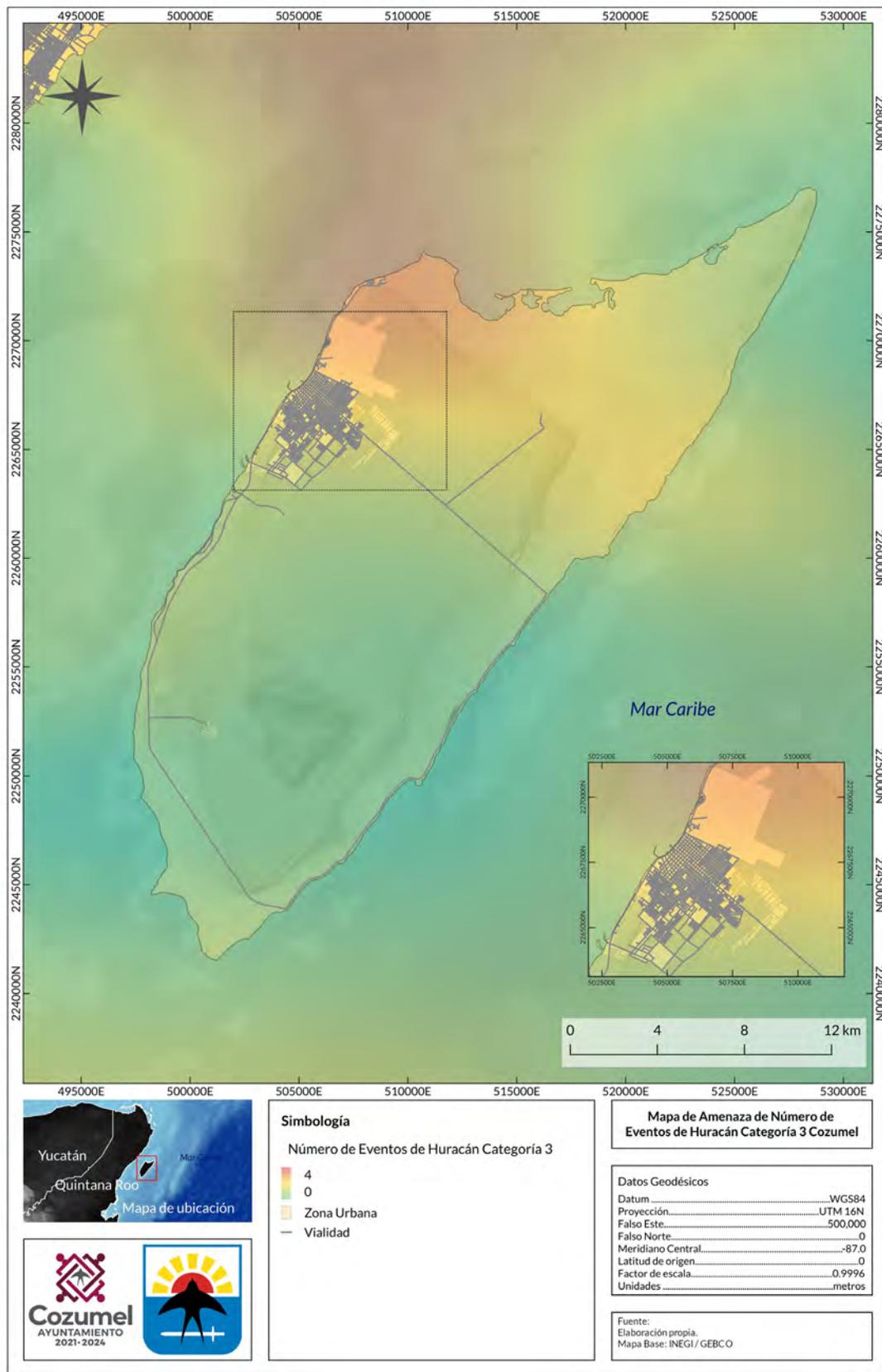


Figura 6.1.2.2-1 Número de eventos ocurridos para eventos categoría 4, calculados a partir de la base de datos del NHC de la NOAA para la zona de estudio con categorías iguales o mayores a las distintas categorías de la escala Saffir-Simpson (continuación).

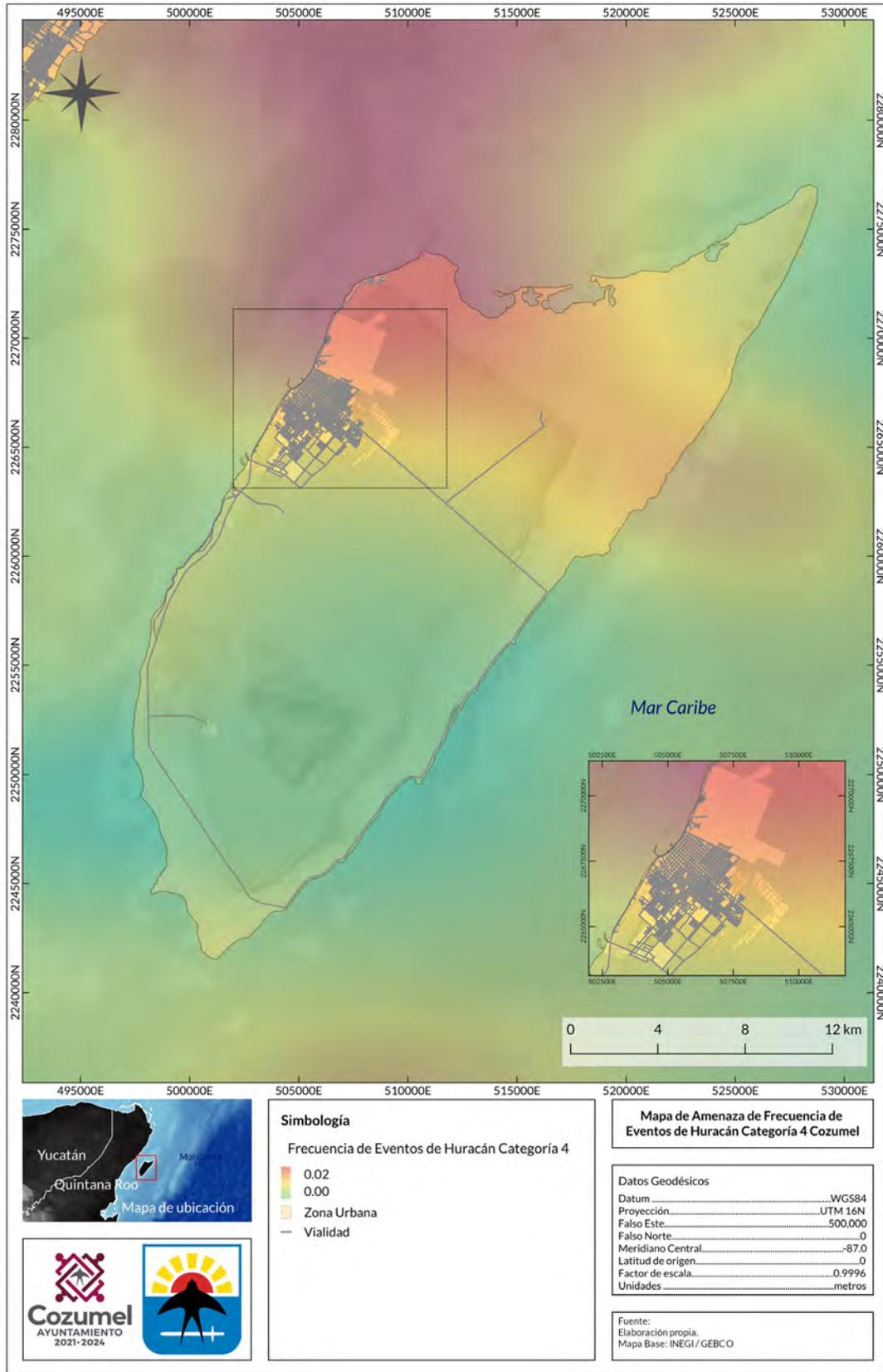
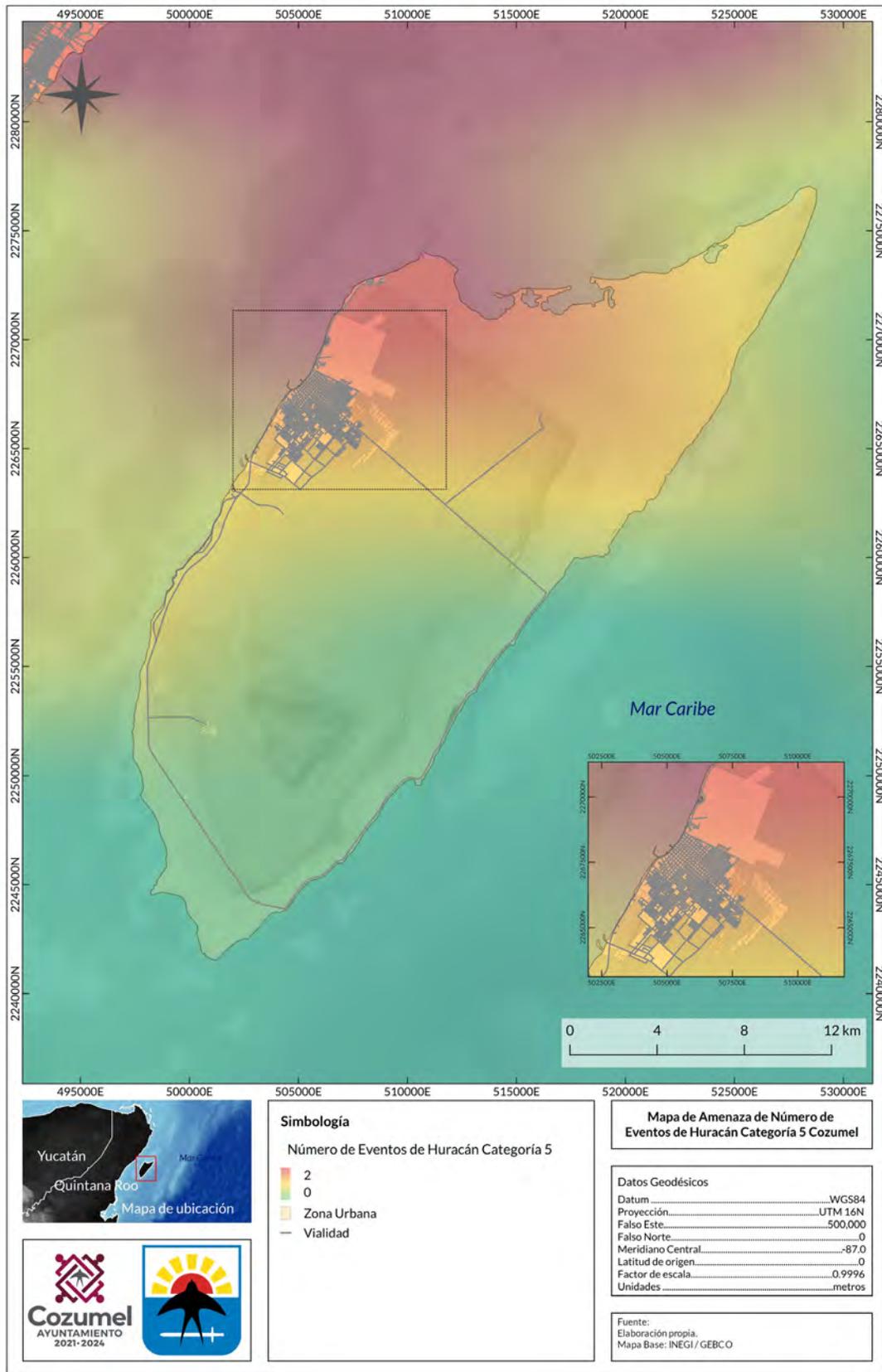


Figura 6.1.2.2-1 Número de eventos ocurridos para eventos categoría 5, calculados a partir de la base de datos del NHC de la NOAA para la zona de estudio con categorías iguales o mayores a las distintas categorías de la escala Saffir-Simpson (continuación).



### 6.1.2.3. Máximos vientos

Un ciclón tropical presenta un área de aire que circula en sentido descendente en el centro del mismo; si el área es lo suficientemente fuerte se puede desarrollar lo que se llama "ojo". Normalmente, en el ojo la temperatura es cálida y este se encuentra libre de nubes (sin embargo, el mar puede ser extremadamente violento). En el ojo del ciclón se registran las temperaturas más frías en superficie y las más cálidas en altura. Normalmente el ojo es de forma circular y puede variar desde los 3 a los 370 kilómetros de diámetro. La pared del ojo es una banda alrededor del ojo donde los vientos alcanzan las mayores velocidades, las nubes alcanzan la mayor altura y la precipitación es más intensa. El daño más grave debido a fuertes vientos ocurre mientras la pared del ojo de un huracán pasa sobre tierra.

En los ciclones tropicales intensos hay un ciclo de reemplazo de la pared del ojo. Cuando los ciclones alcanzan un pico de intensidad, normalmente tienen una pared del ojo y un radio de las ráfagas de viento que contraen a un tamaño muy pequeño, alrededor de 10 o 25 kilómetros. Las bandas de lluvia externas se pueden organizar en un anillo de tormentas externo que se mueve lentamente hacia el interior y que roba la pared del ojo para captar su humedad y momento angular. Cuando la pared del ojo interno se debilita, el ciclón tropical también se debilita, los vientos más fuertes se debilitan y la presión en el centro aumenta. Al final del ciclo la pared del ojo externo reemplaza al interno completamente. La tormenta puede ser de la misma intensidad o incluso mayor una vez que el ciclo de reemplazo ha terminado. La tormenta vuelve a extenderse de nuevo y se forma un nuevo anillo externo para la nueva sustitución de la pared del ojo.

### 6.1.2.4. Máximos vientos

Hasta 1979, algunos de los informes proporcionados por la NOAA omitían la presión central. Para resolver este problema, se utilizan las siguientes ecuaciones que expresan la presión central en función de la velocidad máxima o de la superficie para los océanos Atlántico y Pacífico, respectivamente, propuestas por Silva et al. (2002).

$$(6.1.2.4-1)$$

$$P_0 = 1019.08 - 0.182V_V - 0.0007175 V_V^2 \text{ (Atlántico)}$$

$$(6.1.2.4-2)$$

$$P_0 = 1017.45 - 0.1437V_V - 0.00088 V_V^2 \text{ (Pacífico)}$$

Donde  $P_0$  es la presión central del ciclón en milibares (mb) y  $V_V$  es la velocidad máxima promediada en 1 minuto y que se encuentra reportada en los boletines.

El radio ciclostrofico,  $R_c$ , es un parámetro que normalmente no se incluye en los reportes. Por lo tanto, cuando no se tienen mediciones directas, y debido a la importancia que tiene, es necesario evaluarlo de una manera sencilla y confiable mediante el uso de la siguiente ecuación (Silva et al. 2002):

$$R_c = 301.201 + 0.348383P_0 \quad (6.1.2.4-3)$$

Donde  $P_0$  es la presión en el centro del ciclón tropical. Cabe aclarar que el intervalo de variación de esta ecuación está comprendido para valores de  $880 \leq P_0 \leq 1000$  milibares.

Para la generación de los escenarios de viento se considera que la velocidad máxima del viento reportada en los boletines de la NOAA se mantiene en un radio igual a 2 veces el radio ciclostrofico o de máximos vientos. Esto ayuda a incluir, de manera conservadora, ciertas incertidumbres asociadas a los datos y al modelo de viento. Además de observarse, que la mayor cantidad de los daños ocasionados por viento, se ubican en las zonas de impacto directo de los huracanes. Estas velocidades de viento consideran un intervalo promedio de 1 minuto. En las siguientes figuras se muestran algunos de los escenarios de vientos máximos generados que más han afectado al municipio en estudio.

A partir de las velocidades máximas para cada una de las trayectorias que cruzan la zona de estudio, se realiza la estimación de las velocidades de viento máximas anuales asociadas a diferentes periodos de retorno con la finalidad de capturar la variabilidad de los vientos máximos en la zona. Los periodos de retorno considerados en el análisis fueron de 5, 10, 25, 50, 100, 250, 500 y 1000 años.

Figura 6.1.2.4-1 Velocidades máximas de viento (1 min.) del huracán Wilma en 2005 sobre el municipio de Cozumel, Q. Roo.

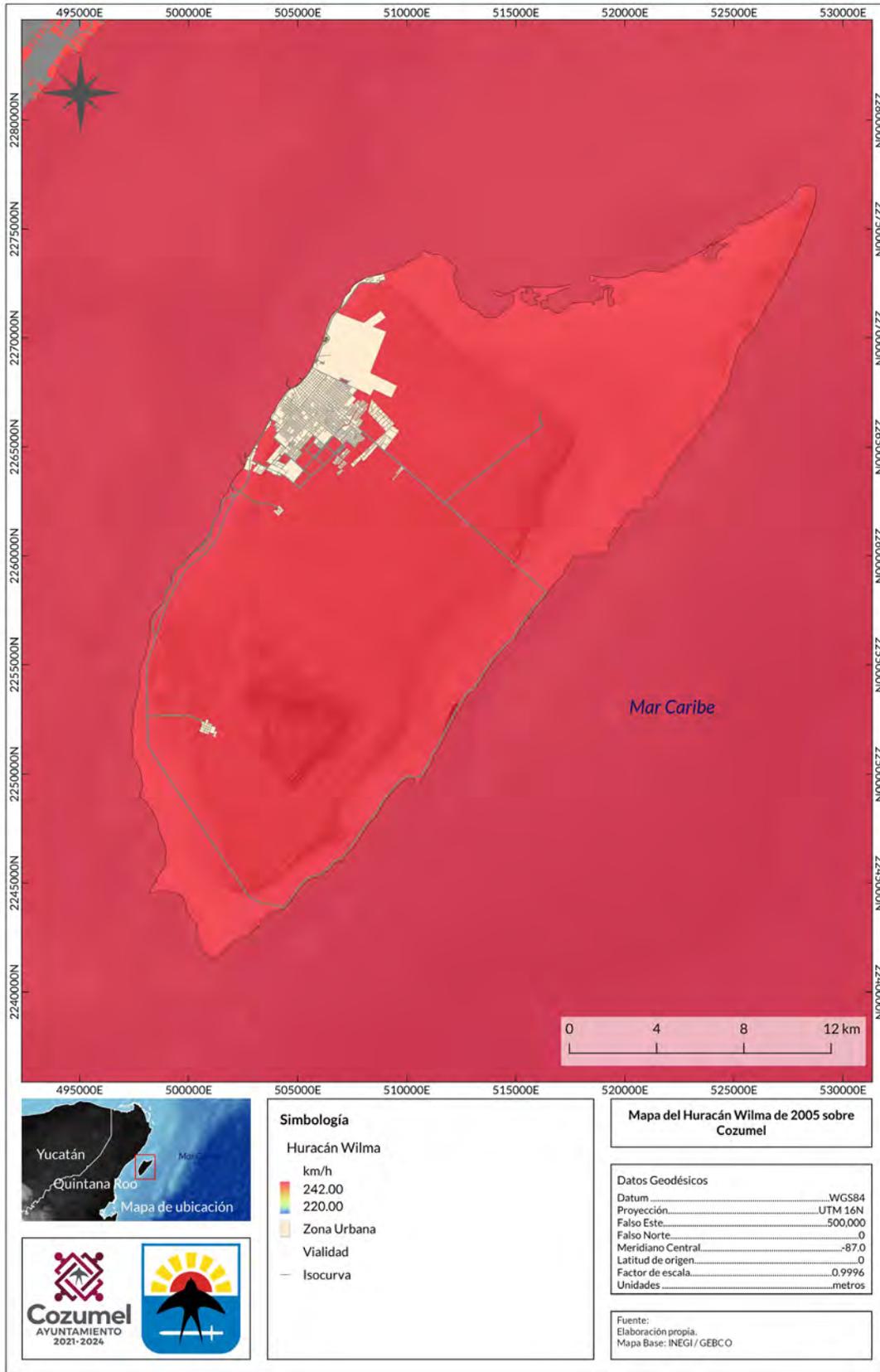


Figura 6.1.2.4-2 Velocidades máximas de viento (1 min.) del huracán Emily en 2005 sobre el municipio de Cozumel, Q. Roo.

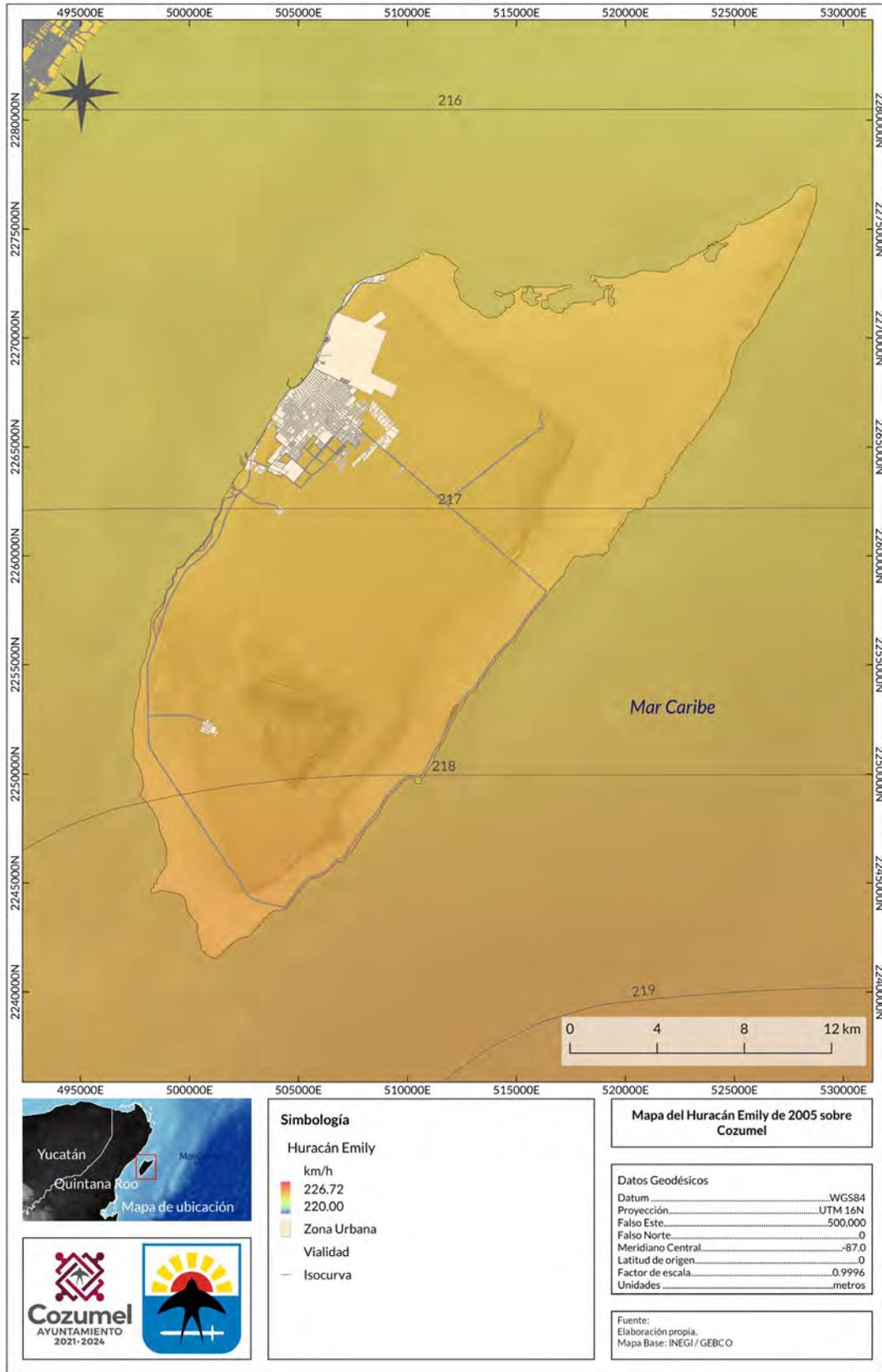


Figura 6.1.2.4-3 Velocidades máximas de viento (1 min.) del huracán Gilbert en 1988 sobre el municipio de Cozumel, Q. Roo.

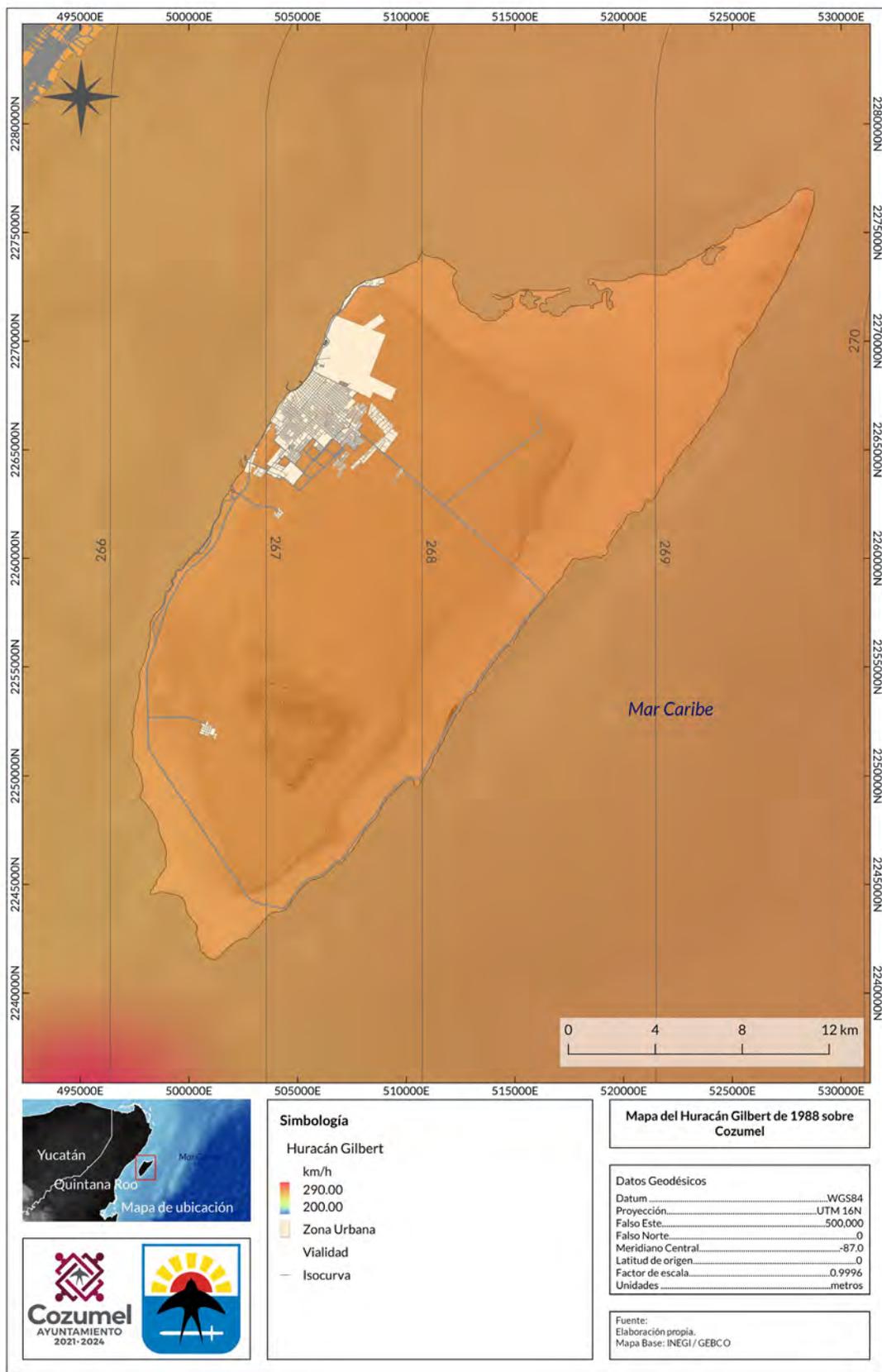


Figura 6.1.2.4-4 Velocidades máximas de viento (1min) asociadas a ciclones tropicales en la zona de estudio para periodos de retorno de 5.

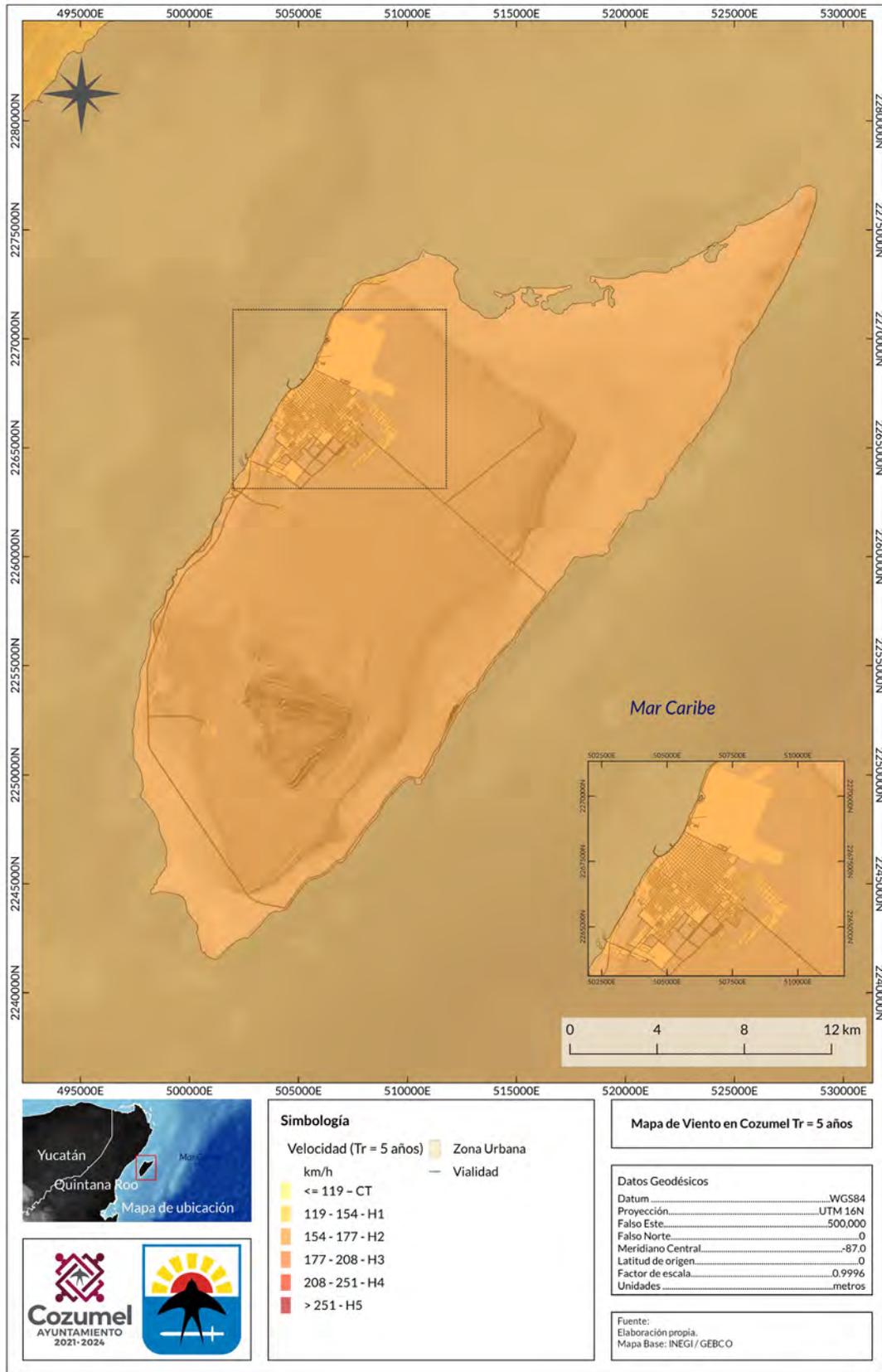


Figura 6.1.2.4-4 Velocidades máximas de viento (1min) asociadas a ciclones tropicales en la zona de estudio para periodos de retorno de 10 (continuación).

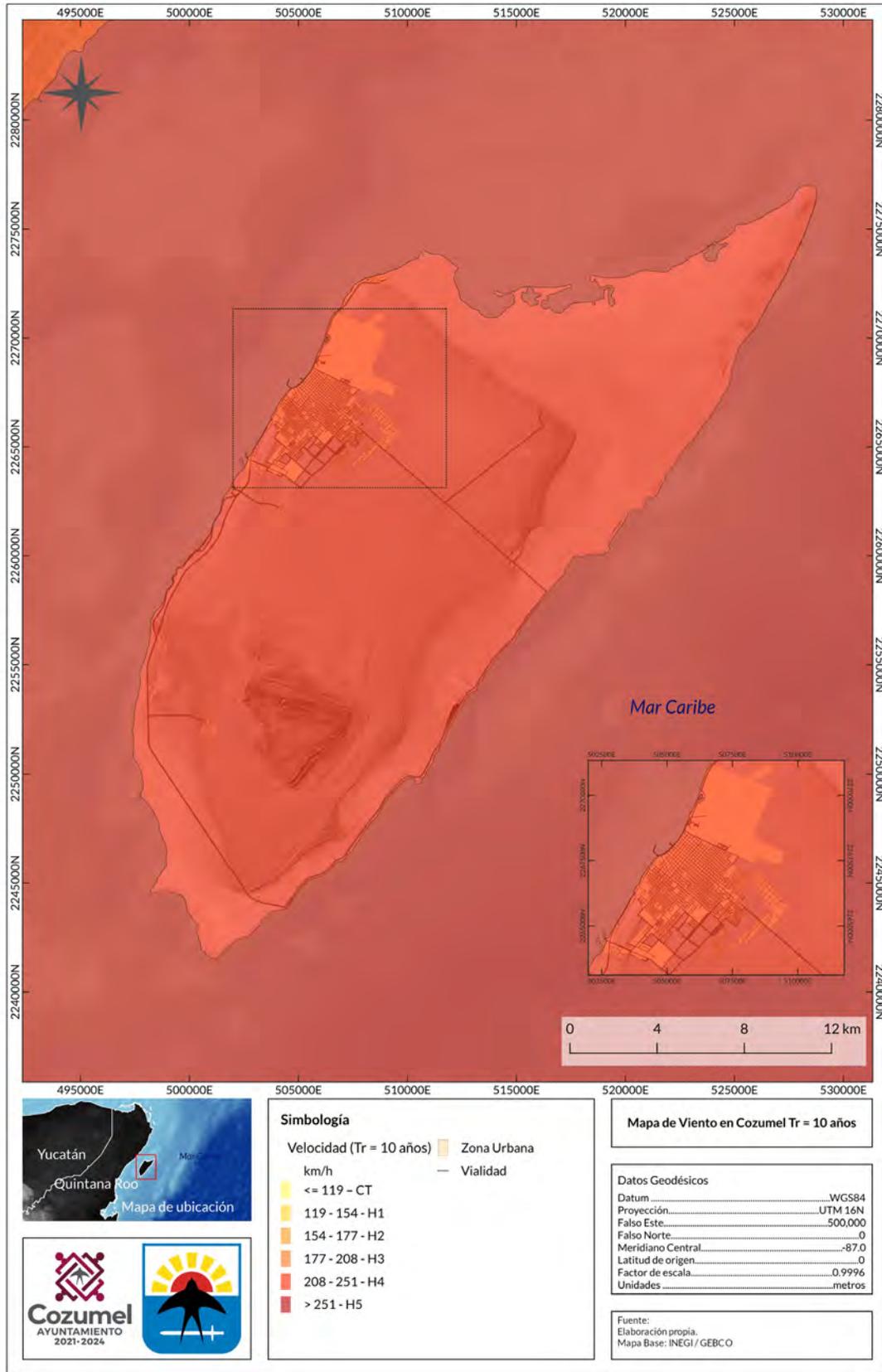


Figura 6.1.2.4-4 Velocidades máximas de viento (1min) asociadas a ciclones tropicales en la zona de estudio para periodos de retorno de 25 (continuación).

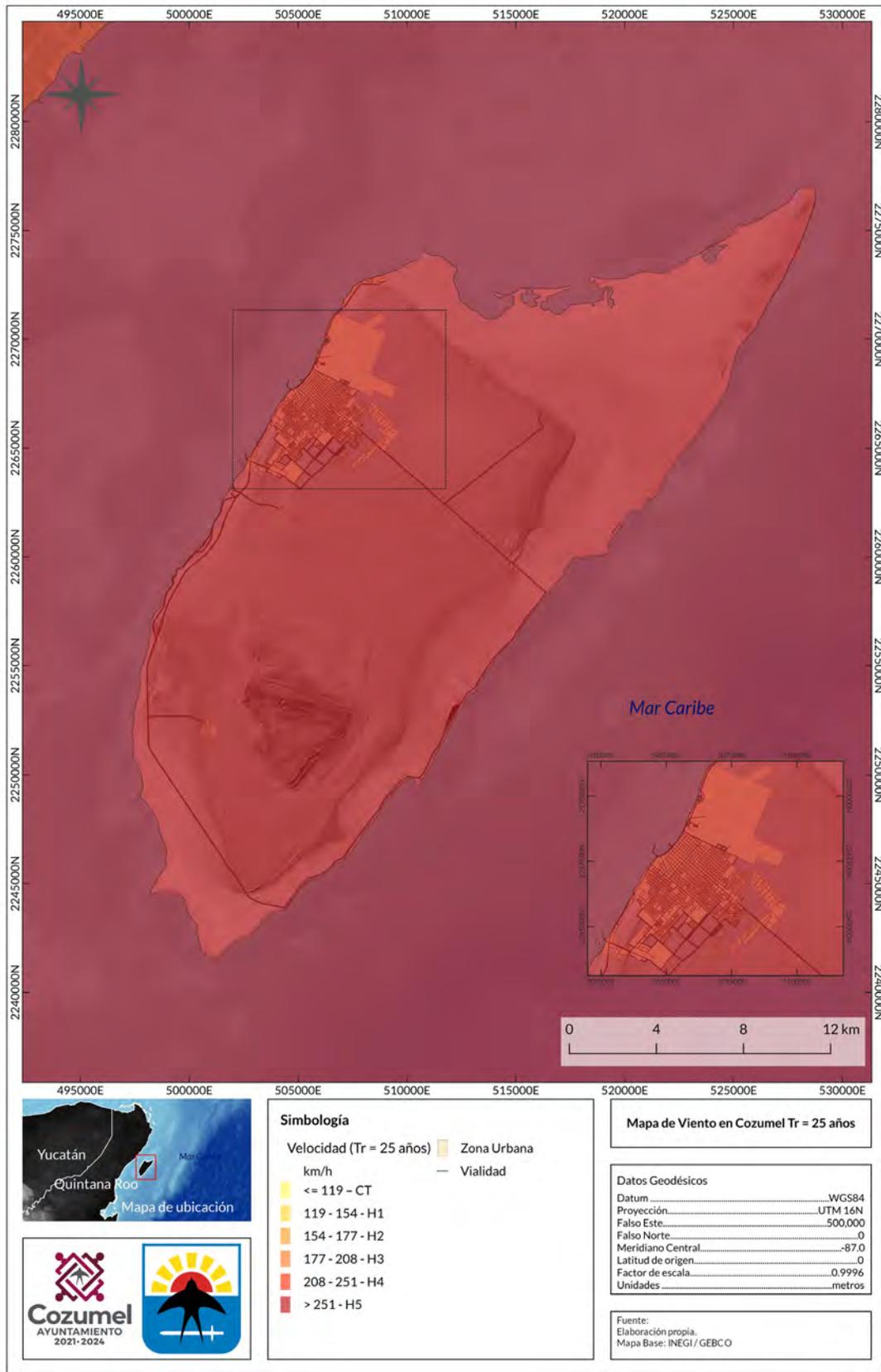


Figura 6.1.2.4-4 Velocidades máximas de viento (1min) asociadas a ciclones tropicales en la zona de estudio para periodos de retorno de 50 años (continuación).

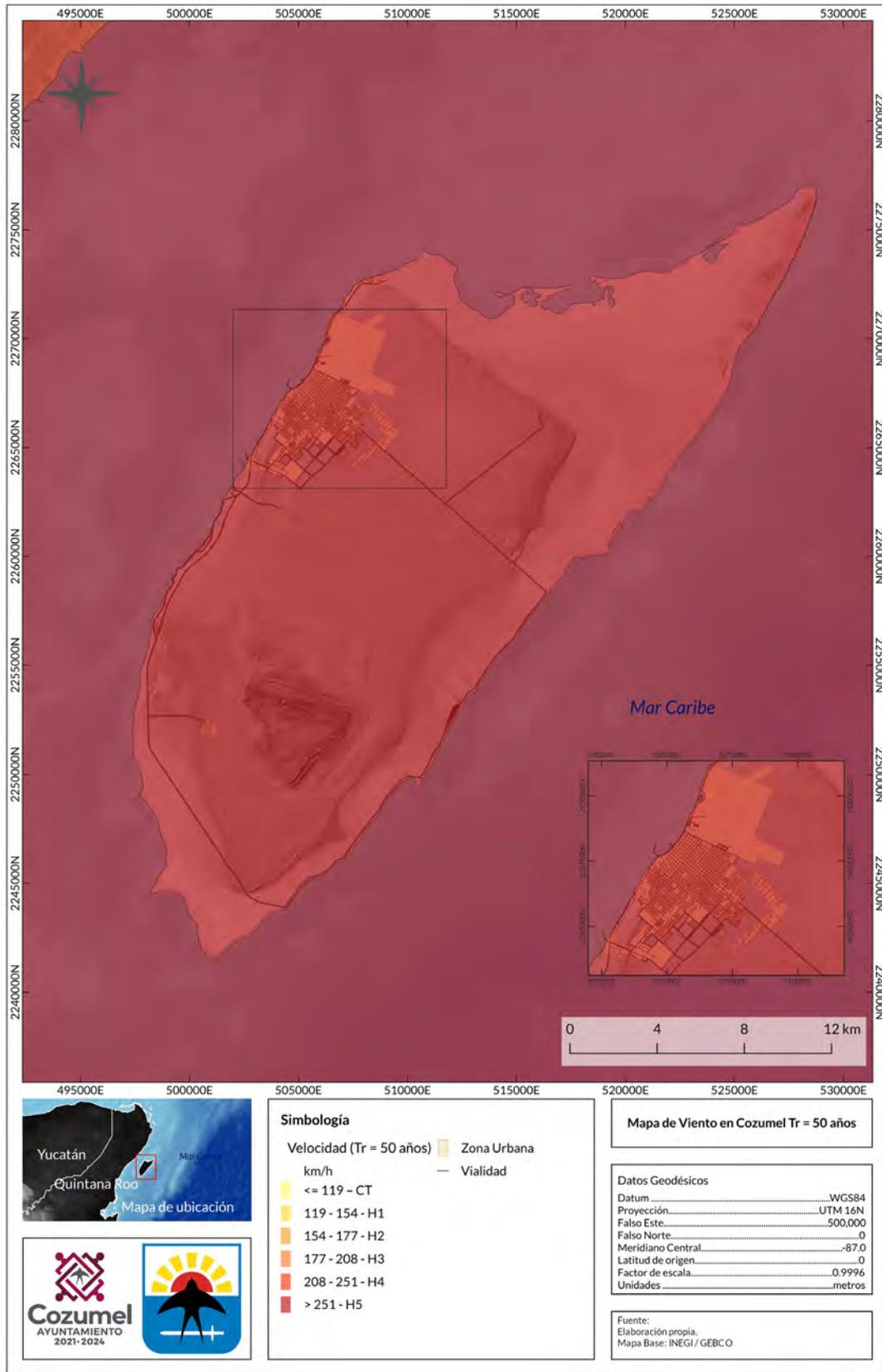


Figura 6.1.2.4-4 Velocidades máximas de viento (1min) asociadas a ciclones tropicales en la zona de estudio para periodos de retorno de 100 años (continuación).

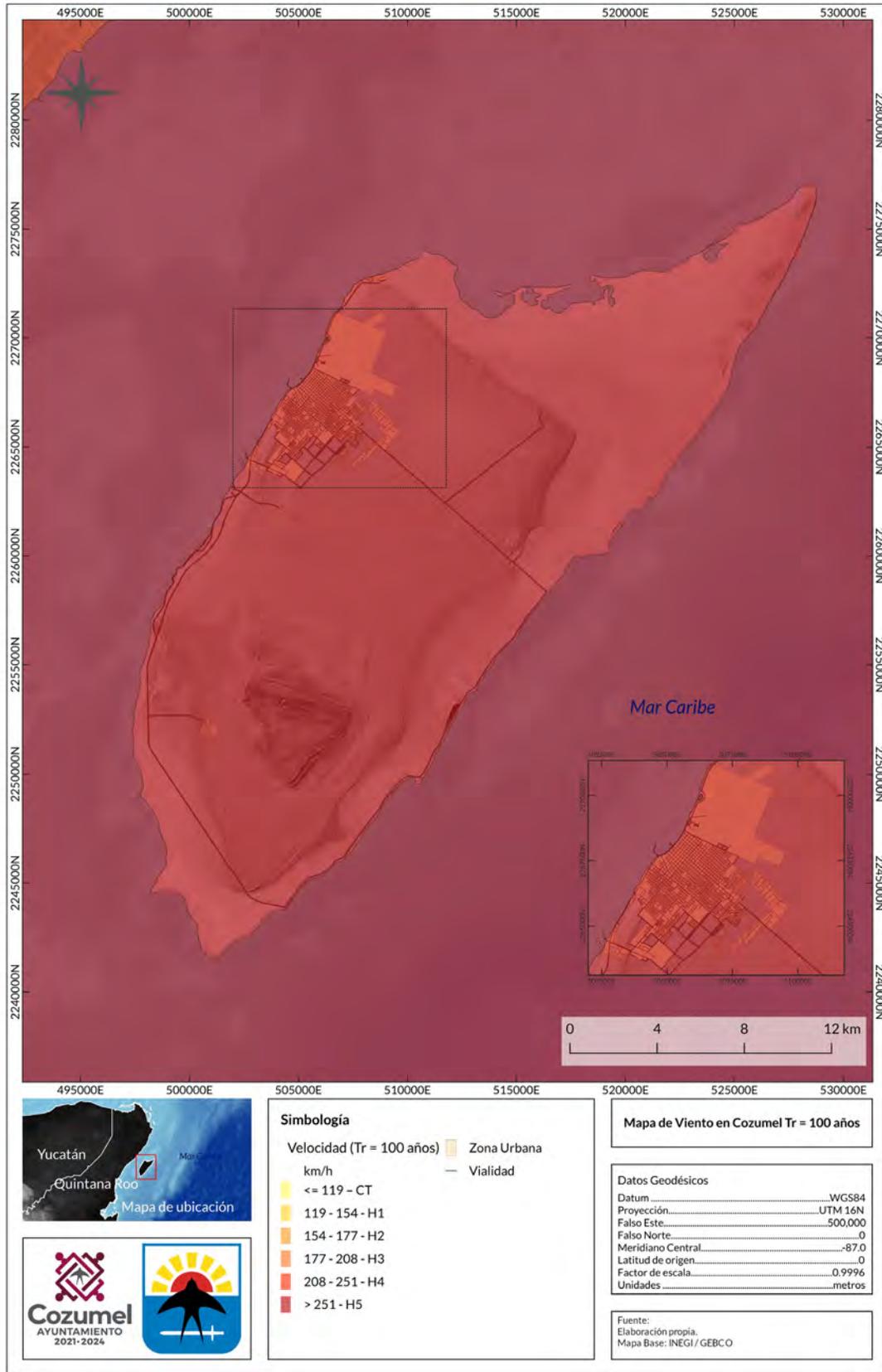


Figura 6.1.2.4-4 Velocidades máximas de viento (1min) asociadas a ciclones tropicales en la zona de estudio para periodos de retorno de 250 años (continuación).

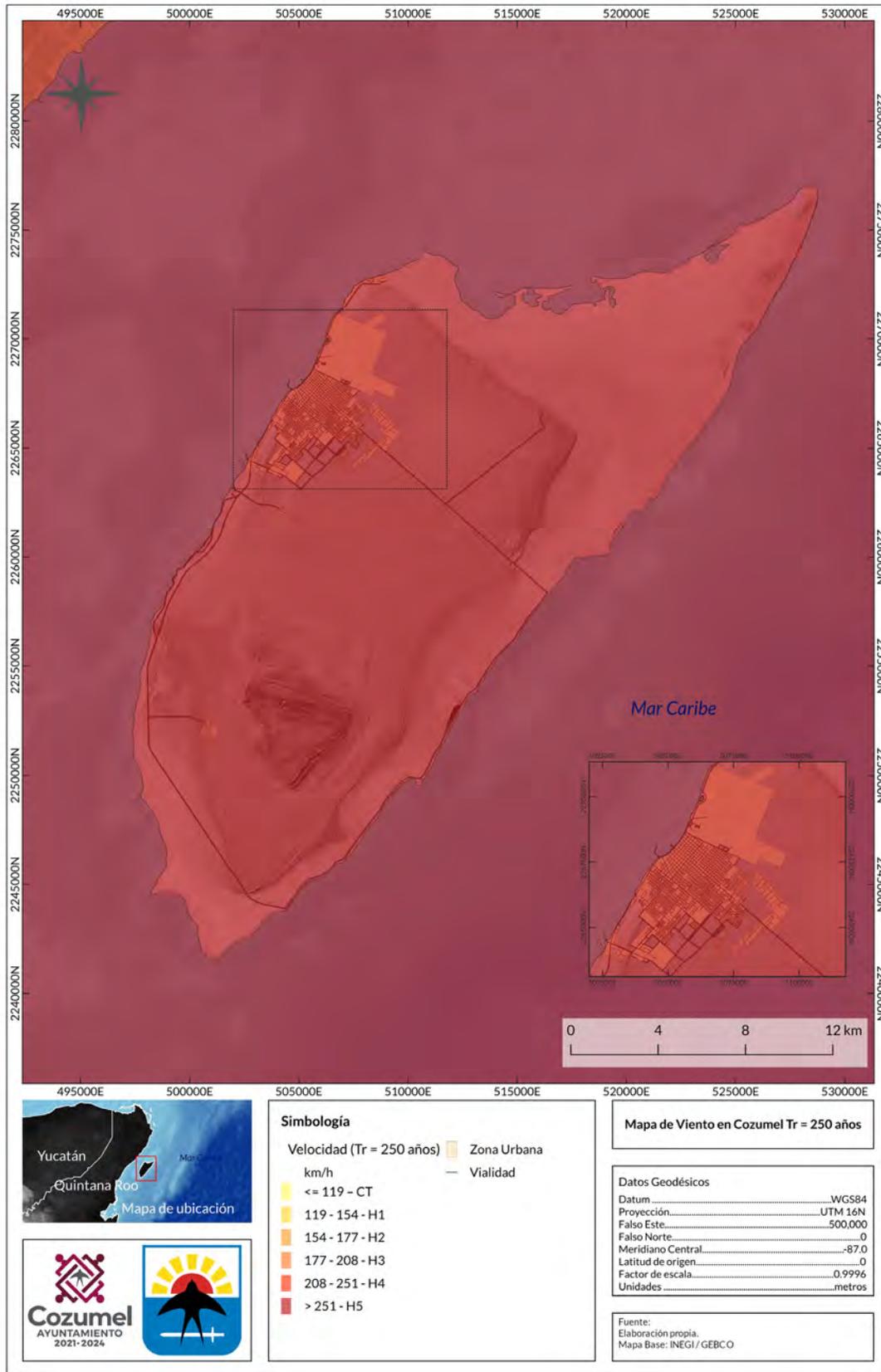
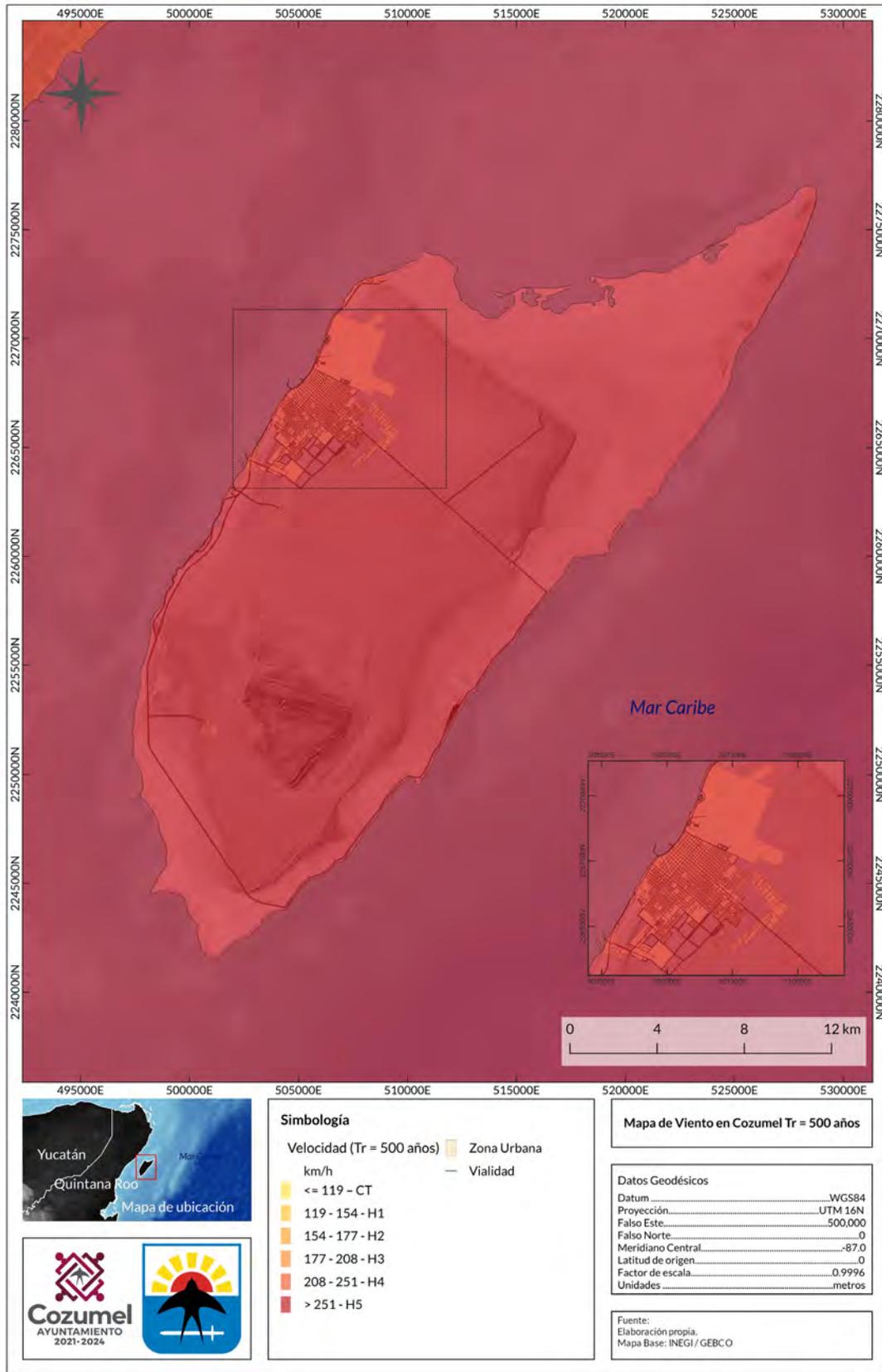


Figura 6.1.2.4-4 Velocidades máximas de viento (1min) asociadas a ciclones tropicales en la zona de estudio para periodos de retorno de 500 años (continuación).



### 6.1.3. Precipitaciones

La precipitación se presenta en forma de lluvia, nieve, granizo, etc.; generalmente, la más importante por su magnitud y frecuencia es la lluvia, aunque existen zonas del mundo donde la nieve y su fusión pueden causar grandes estragos. En el análisis hidrológico las características fundamentales de la precipitación son la altura, la intensidad y la duración. Para conocer la precipitación representativa sobre una región o cuenca, primero se requiere llevar a cabo un análisis de los datos registrados. Las características de la precipitación son distintas en cada cuenca. De aquí que los datos de precipitación registrados en diferentes zonas solamente ofrezcan una aproximación adecuada de la precipitación en la región inmediata a donde se realizó la medición. Durante los años en que el fenómeno de El Niño se presenta y afecta el Pacífico, se reducen considerablemente las lluvias en mayo y junio.

A continuación, se presenta el análisis regional de precipitaciones para la zona de estudio. Los resultados obtenidos servirán posteriormente como base para la evaluación del riesgo por inundaciones.

#### 6.1.3.1. Descripción de la zona de estudio

En Cozumel, los veranos son largos, cálidos, opresivos, mojados y nublados y los inviernos son cortos, cómodos, bochornosos y mayormente despejados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 19 °C a 32 °C y rara vez baja a menos de 14 °C o sube a más de 34 °C.

La temporada calurosa dura 4.5 meses, aproximadamente del 4 de mayo al 19 de septiembre, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 31 °C. El mes más cálido del año en Cozumel es agosto, con una temperatura máxima promedio de 32 °C y mínima de 22 °C.

La temporada fresca dura 2.7 meses, aproximadamente del 2 de diciembre al 22 de febrero, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 28 °C. El mes más frío del año en Cozumel es enero, con una temperatura mínima promedio de 19 °C y máxima de 27 °C.

La temporada más mojada dura 5.3 meses, aproximadamente de 26 de mayo a 5 de noviembre, con una probabilidad de más del 35 % de que cierto día será un día mojado. El mes con más días mojados en Cozumel es septiembre, con un promedio de 15.9 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación. La temporada más seca dura 6.7 meses, del 5 de noviembre al 26 de mayo. El mes con menos días mojados en Cozumel es abril, con un promedio de 4.3 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen solo lluvia, solo nieve o una combinación de las dos. En el caso de Cozumel aplican solo días con lluvia y es septiembre el mes con más días, con un promedio de 15.9 días. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 56 % el 27 de septiembre.

#### 6.1.3.2. Base de datos de precipitación

La precipitación muestra una alta variabilidad espacial y temporal. Los análisis del cambio y la variabilidad climática dependen comúnmente de las observaciones de superficie. Los pluviómetros, los disdrómetros y el radar son las herramientas que se utilizan habitualmente para medir la precipitación. Los pluviómetros son las herramientas más comunes para evaluar directamente la precipitación puntual en la superficie, midiendo la altura de la lluvia a medida que se acumula con el tiempo. Hay varios tipos de pluviómetros, como medidores de acumulación, medidores de cubeta basculante, medidores de pesaje y medidores ópticos; todos estos medidores tienen fortalezas y limitaciones.

Los servicios meteorológicos nacionales suelen recopilar observaciones de precipitación basadas en estaciones. Para la investigación climática, es necesario reunir todos los datos de diferentes naciones en un conjunto de datos global integrado. Fundada en 1873, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) es una organización intergubernamental con 191 estados y territorios miembros. La OMM promueve el desarrollo de redes de observación para los campos de la climatología, la hidrología y la geofísica, así como el intercambio, procesamiento y normalización de datos relacionados. También brinda asisten-

cia para la transferencia de tecnología, la capacitación y la investigación.

Las mediciones en estaciones terrestres brindan mediciones de precipitación relativamente precisas y confiables en puntos únicos, pero no están disponibles en muchas áreas oceánicas y escasamente pobladas y pueden verse afectadas por errores de muestreo. En el presente estudio se utilizan las mallas diarias de la base de datos del IMERG (Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM) de la NASA desde el año 2000 al 2020, las cuales integran registros de precipitación global a partir de la fusión de las estimaciones de lluvia recopiladas del satélite TRMM con las del satélite GPM, cuenta con valores de precipitación tanto en mar como en tierra.

### 6.1.3.3. Análisis de probabilidad

En este estudio, el análisis de los datos de precipitación se hace a partir de los registros de alturas de precipitación acumuladas en 24h; por esta razón se establecerán relaciones entre la lluvia de 24h y diferentes periodos de retorno. Para conocer estas relaciones se requiere calcular las alturas máximas anuales, su periodo de retorno y posteriormente ajustarle una función de distribución de probabilidad.

El periodo de retorno,  $T_r$ , se define como el número promedio de años en que un evento puede ser igualado o excedido. La probabilidad de que un evento con un periodo de retorno ocurra en cualquier año es igual a:

$$p = \frac{1}{T_r} \quad (6.1.3.3-1)$$

En un conjunto de eventos máximos, el periodo de retorno que se asocia a cada uno de ellos puede ser estimado con la fórmula de Weibull, comúnmente usada:

$$T_r = \frac{n + 1}{m} \quad (6.1.3.3-2)$$

Donde  $m$  es el número de orden y el número total de años del registro. Para eventos máximos anuales, los datos se ordenan de mayor a menor y el lugar que ocupan dentro de la lista corresponde al valor de  $m$ ; así, por ejemplo, el mayor valor tienen una  $m=1$ , mientras que para el más pequeño  $m = n$ .

Para pronosticar las lluvias, los gastos o volúmenes de diseño de las obras hidráulicas asociados a cierto periodo de retorno o frecuencia de recurrencia, se emplean métodos estadísticos. Para su aplicación se requiere de datos o registros de máximos anuales, con lo que se logra mayor precisión a medida que se cuenta con más años de registro. Los métodos para evaluar los eventos de diseño a partir de un periodo de retorno, consideran que la lluvia máxima anual es una variable aleatoria que se distribuye de acuerdo a una función de probabilidad. Es común que se cuente con pocos años de registro, o menor al requerido para las aplicaciones de los resultados, por lo que las curvas de distribución de probabilidad se tienen que extender en sus extremos a fin de inferir eventos mayores o menores a los registrados

### 6.1.3.4. Ajuste de probabilidad

La construcción de un modelo probabilista implica definir el espacio muestral y asociar a cada uno de los posibles resultados, una probabilidad de ocurrencia mediante el uso de las funciones de probabilidad. Los modelos probabilísticos sintetizan las propiedades probabilísticas de una variable aleatoria, facilitan su manipulación y permiten calcular las probabilidades asociadas.

En este estudio se consideran las siguientes funciones de probabilidad, comúnmente usadas en hidrología (Kite, 1988):

**Normal**

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx$$

donde:

$\mu$ : parámetro de ubicación  
 $\sigma$ : parámetro de escala

**Lognormal de dos parámetros**

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2} dx$$

donde:

$\mu_y$ : parámetro de ubicación  
 $\sigma_y$ : parámetro de escala

**Lognormal de tres parámetros**

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{(x-x_0)\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-x_0) - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2} dx$$

donde:

$X_0$ : parámetro de ubicación  
 $\mu_y$ : parámetro de ubicación  
 $\sigma_y$ : parámetro de escala

**Gamma de dos parámetros**

$$F(x) = \int_0^x \frac{x^{\beta-1} e^{-\frac{x}{\alpha}}}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)} dx$$

donde:

$\alpha$ : parámetro de escala  
 $\beta$ : parámetro de forma  
 $\Gamma(\beta)$ : función Gamma completa

**Gamma de tres parámetros o Pearson Tipo III**

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)} dx$$

donde:

$\alpha$ : parámetro de escala  
 $\beta$ : parámetro de forma  
 $X_0$ : parámetro de ubicación  
 $\Gamma(\beta)$ : función Gamma completa

**Log-Pearson Tipo III**

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{\alpha x \Gamma(\beta)} \left(\frac{\ln x - y_0}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{\ln x - y_0}{\alpha}\right)} dx$$

donde:

$\alpha$ : parámetro de escala  
 $\beta$ : parámetro de forma  
 $Y_0$ : parámetro de ubicación  
 $\Gamma(\beta)$ : función Gamma completa

**Gumbel**

$$F(x) = e \left[ -e \left( - \left[ \frac{x-\mu}{\alpha} \right] \right) \right]$$

donde:

$\mu$ : parámetro de ubicación  
 $\alpha$ : parámetro de escala

**General de Valores Extremos (GVE)**

$$F(x) = e \left\{ - \left[ 1 - \left( \frac{x-\mu}{\alpha} \right)^\beta \right]^{\frac{1}{\beta}} \right\}$$

donde:

$\alpha$ : parámetro de escala  
 $\beta$ : parámetro de forma  
 $\mu$ : parámetro de ubicación

Uno de los criterios mejor adoptados de selección para el tipo de distribución que mejor ajuste a la muestra de datos es el error estándar (Kite, 1988), expresado como:.

$$EE_j = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{N - m_j} \right\}^{1/2} \quad (6.1.3.4-1)$$

donde  $X_i$  son los valores históricos para  $i=1$ ; son los valores calculados para  $i=1, \dots, N$ ;  $N$  es el tamaño de la muestra; y  $m_j$  es el número de parámetros del modelo matemático.

Una de las fuentes más importante de incertidumbre se genera en ajustar las diferentes funciones de distribución a las series de máximos anuales, ya que proporcionan diferentes valores de extrapolación de acuerdo con el tipo de función y al método para estimar sus parámetros, debido a esto generalmente se aplican pruebas de bondad para determinar qué función de distribución representa mejor a la muestra.

Desafortunadamente, debido a que las muestras por lo general son pequeñas, estas pruebas no son lo suficientemente poderosas para discriminar entre las diferentes funciones de distribución, y es recomendable no confiar por completo en estas pruebas estadísticas.

### 6.1.3.5. Construcción de una función compuesta

Generalmente en los ajustes de funciones de distribución se hace uso de pruebas de bondad de ajuste para seleccionar las distribuciones apropiadas. Por lo general solo algunas de las distribuciones pueden ser rechazadas por este medio y varias funciones de distribución pueden ser vistas como potencialmente representativas de la muestra. Por esta razón se ha propuesto una "función de distribución compuesta" que es una combinación de las diferentes funciones de distribución ajustadas (Wood y Rodríguez-Iturbe, 1975; Russel, 1982).

$$f_{com}(x) = \sum_{i=1}^m \alpha_i f_i(x) \quad (6.1.3.5-1)$$

donde  $m$  es el número de funciones de ajuste consideradas y  $\alpha_m$  es el peso relativo de la función de distribución  $i$ .

La estadística Bayesiana ofrece un marco para la combinación de diferentes tipos de información haciendo el mejor uso de lo que está disponible, se propone construir la función compuesta haciendo uso del procedimiento propuesto por Russell (1982), el cual está basado en la aplicación del teorema de Bayes. El concepto básico de este procedimiento es utilizar una distribución compuesta que actualice los pesos de las distribuciones con los datos de la serie de máximos en estudio usando la siguiente fórmula:

$$\alpha_i'' = \frac{\alpha_i' L_{i,j}}{N} \quad (6.1.3.5-2)$$

donde  $\alpha_j$  es la probabilidad a posteriori o peso de la función de distribución  $i$ ;  $\alpha_i'$  es la probabilidad a priori o peso inicial para la función de distribución  $i$ ;  $L_{ij}$  es la probabilidad de que cierto valor  $j$  sea verdadero para una función de distribución  $i$ ; y  $N$  es un factor de normalización,  $(\alpha_1' L_{1,n} + \alpha_2' L_{2,n} + \alpha_3' L_{3,n} + \dots + \alpha_m' L_{m,n})$ .

En este estudio se considera el peso inicial o a priori de las funciones de probabilidad en función del error estándar de ajuste de acuerdo con la siguiente expresión:xxxxxx

$$\alpha_i' = \frac{EE_i}{\sum_i^m EE_i} \quad (6.1.3.5-3)$$

### 6.1.3.6. Resultados

En la Tabla 6.1.3.6-1 se pueden observar los valores de precipitación diaria máxima para la zona de estudio. Estos valores fueron obtenidos a partir de los registros diarios de precipitación de la estación 23048 del Servicio Meteorológico Nacional y fueron utilizados como base para la estimación de las precipitaciones asociadas a diferentes periodos de retorno con los procedimientos comentados en las secciones anteriores.

La estimación de las precipitaciones asociadas a diferentes periodos de retorno se hizo anualmente con la finalidad de capturar la variabilidad de las lluvias máximas en la zona. Los periodos de

retorno considerados en el análisis fueron de 5, 10, 25, 50, 100, 250, 750 y 1000 años.

**Tabla 6.1.3.6-1 Precipitación diaria asociada a diferentes periodos de retorno obtenida a partir de los registros de la estación 23048 del Servicio Meteorológico Nacional.**

Tr (años)	hp (mm)
2	116.8
5	176.4
10	215.6
25	252.9
50	297.0
100	330.1
250	374.2
500	407.9
1000	427.7

#### 6.1.4. Inundaciones

Las inundaciones son un fenómeno global que causa devastación, daños económicos y pérdidas de vidas humanas. Las inundaciones son el desastre más frecuente. En todo el mundo, las áreas urbanas en riesgo han sido particularmente afectadas por los crecientes impactos de las inundaciones. Los impactos, tanto actuales como proyectados, imprimen un sentido de urgencia a la necesidad de hacer que el manejo del riesgo tenga alta prioridad en la agenda política. La comprensión de las causas y efectos de sus impactos, así como, el diseño e inversión en medidas de mitigación y manejo del riesgo de inundaciones deben ser parte integral del pensamiento actual y metas sobre el desarrollo.

Las inundaciones afectan asentamientos urbanos de todo tipo, desde pequeños poblados, pueblos comerciales y centros de servicio mediano hasta ciudades más grandes, megaciudades y áreas metropolitanas. A los crecientes impactos de las inundaciones se suman los de la expansión urbana por fuera de las defensas existentes, el incremento de la pavimentación y las superficies impermeables,

la superpoblación, drenajes, infraestructura de saneamiento insuficientes, antiguos o con falta de mantenimiento, y la ausencia del manejo del riesgo por inundaciones. Las zonas urbanas pueden inundarse por ríos, inundaciones costeras, flujos de aguas pluviales y subterráneas, y fallos de sistemas artificiales. Las inundaciones por lo general provienen de una compleja combinación de eventos extremos meteorológicos e hidrológicos, tales como precipitación y escorrentía. Sin embargo, con frecuencia también ocurren como resultado de actividades humanas, incluyendo el crecimiento y desarrollo no planificados en llanuras de inundación, o la ruptura de una presa o un dique que no alcanza a proteger asentamientos planificados.

Es importante distinguir entre la probabilidad de ocurrencia de un evento climático y la probabilidad de ocurrencia de una inundación. La inundación es básicamente causada por fenómenos meteorológicos que pueden ser difíciles de predecir. Por esta razón, las predicciones de amenaza de inundaciones se expresan comúnmente como probabilidades, calculadas a partir de datos históricos en el área de interés. El valor de inferencia basada en observaciones históricas depende naturalmente de la disponibilidad y calidad de la base de datos. Por esta razón, es necesario recurrir a modelos que nos permitan simular numéricamente escenarios de inundación futuros o pasados a partir de las diferentes variables involucradas.

A continuación, se presenta el análisis regional de inundaciones utilizando los escenarios de precipitación estimados en la sección anterior para para el municipio de Cozumel. Para el modelado de los escurrimientos no se requirió el uso de un modelo hidrológico-hidráulico tradicional basado en las ecuaciones de flujo. Debido al tamaño de la región, se optó por el uso de un modelo conceptual de inundación basado en el modelo de propagación rápida de inundaciones o Efficient, Regional Scale Flood Inundation Model (RFSM), con una gran aplicabilidad en regiones grandes o para cuando se requieren una gran cantidad de simulaciones. Para el análisis del peligro, el presente estudio se enfoca en las inundaciones ocasionadas por el escurrimiento de la precipitación. Para efectos de medición de la intensidad de las inundaciones

se considera el tirante o profundidad relacionada con un periodo de retorno.

#### 6.1.4.1. Metodología

El escurrimiento de una cuenca lo constituyen tres componentes, los cuales pueden, en un determinado momento, ocurrir en forma separada o simultáneamente variando su magnitud. Estos componentes son: a) Escurrimiento superficial; b) Escurrimiento subsuperficial, y c) Escurrimiento base o escurrimiento subterráneo.

El escurrimiento superficial, como su nombre lo indica, viaja sobre la superficie del terreno y a través de los cauces hacia la salida de la cuenca (L'homme et al., 2008). El escurrimiento superficial comúnmente ocurre cuando la intensidad de la lluvia excede la demanda inicial de interceptación, infiltración y almacenamiento por las depresiones del terreno. Este escurrimiento varía durante la tormenta y puede cesar durante su ocurrencia o súbitamente después de que ha cesado la tormenta.

El escurrimiento subsuperficial representa la porción de la lluvia infiltrada que escurre cerca de la superficie del suelo y más o menos paralela a él hasta alcanzar el escurrimiento en corriente (L'homme et al., 2008). Este escurre más lento que el escurrimiento superficial y puede unirse al escurrimiento superficial durante o después de la tormenta. La parte del escurrimiento que ocurre como escurrimiento subsuperficial depende de las características geológicas de la cuenca y de las propiedades en el tiempo y en el espacio de la lluvia. Este escurrimiento se encuentra comúnmente en climas húmedos y cuencas con alta capacidad de infiltración y laderas de moderadas a escarpadas.

El escurrimiento base es aquella parte del agua infiltrada que alcanza el agua subterránea y que descarga en la corriente. Este tipo de flujo escurre mucho más lento y tiene poco efecto en las avenidas máximas en cuencas pequeñas. La respuesta del flujo base varía ampliamente de un cuerpo de agua subterráneo a otro, al depender de la permeabilidad del suelo.

Estos componentes del escurrimiento no aparecen regularmente en una cuenca. Por ejemplo, en zonas áridas el escurrimiento

en cuencas pequeñas es casi siempre escurrimiento superficial. En zonas húmedas el escurrimiento subsuperficial es predominante. Sin embargo, a lo largo de sucesivas tormentas puede producirse escurrimiento subsuperficial y también escurrimiento base en zonas áridas. Por lo tanto, el tipo de escurrimiento que ocurre en una cuenca es determinado por una combinación de factores climáticos y fisiográficos, en conjunto con las características espaciales y temporales de la lluvia.

Aunque estos componentes de escurrimiento se originan de diferentes fuentes o tienen diferentes rutas de escurrimiento, la distinción entre ellos resulta esencialmente arbitraria. En el curso de su trayectoria, estos componentes tienen rutas mezcladas y cambian de forma. Por ejemplo, el escurrimiento subsuperficial puede ser superficial durante parte de su trayectoria y aparecer como escurrimiento superficial. Lo contrario es igualmente probable.

Para conocer el gasto que produce las inundaciones se requiere de datos de escurrimiento en las áreas de interés; sin embargo, en ocasiones no se cuenta con esta información o bien, por cambios en las condiciones de drenaje de la cuenca como es, por ejemplo, la deforestación, la urbanización, entre otros; pueden hacer que los datos de gastos recabados antes de esos cambios no sean útiles.

Por otra parte, debido a que es más complicado obtener datos de escurrimiento de las corrientes que de precipitación, debido a que no existen en la zona en estudio estaciones hidrométricas y se cuenta con mayor cantidad de información de lluvias. Por estas razones se han propuesto metodologías para inferir escurrimientos a partir de la precipitación que los origina, aplicables a cuencas no aforadas. A los procedimientos indirectos se les conoce como modelos lluvia-escurrimiento.

#### 6.1.4.2. Precipitación efectiva

La precipitación efectiva o lluvia en exceso se define como la porción de lluvia que contribuye al escurrimiento directo, tanto superficial como subsuperficial rápido. Esa porción de lluvia depende del uso de la tierra, de las condiciones de la superficie, tipo de suelo y de la cantidad y duración de la lluvia.

Para la determinación de los eventos de diseño se considera que la tormenta de diseño tiene una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca; al utilizar la fórmula propuesta por el US Soil Conservation Service (1957), se obtiene la lámina de lluvia en exceso. La fórmula propuesta por el SCS para la lámina de lluvia en exceso tiene la forma siguiente:

$$hpe = \frac{10 \left( \frac{hp}{10} - \frac{508}{N} + 508 \right)^2}{\left( \frac{hp}{10} + \frac{2032}{N} - 20.32 \right)} \quad (6.1.4.2-1)$$

donde  $N$  es el número de escurrimiento;  $hp$  es la lámina de lluvia para la duración de la tormenta en mm; y  $hpe$ , lámina de lluvia en exceso, en mm.

El rango de aplicación de la ecuación anterior, de acuerdo con Ven T. Chow, es para valores de:

$$hp = 10 \left( \frac{508}{N - 5.08} \right) \quad (6.1.4.2-2)$$

donde  $hp$ , es la lámina de lluvia total en mm

### 6.1.4.3. Número de curva de escurrimiento

El número de escurrimiento,  $N$ , depende del uso, tipo y composición del suelo y del tratamiento, pendiente y estado de humedad del terreno. El método de número de curva (CN) del USDA es

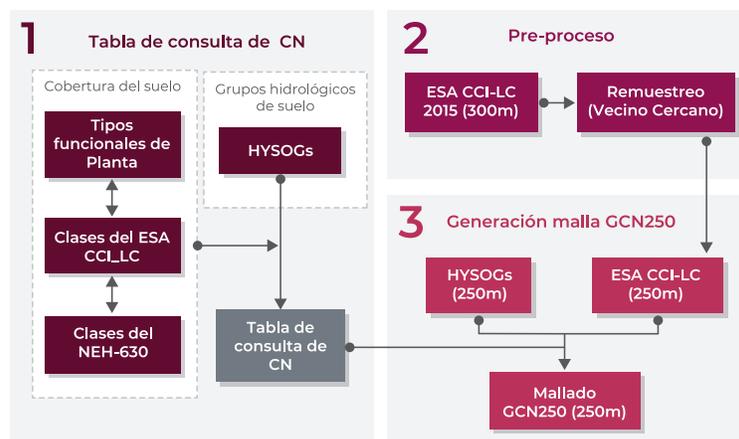
fundamental para el modelado de lluvia-escorrentía ya que es uno de los métodos más empleados para determinar la precipitación en exceso.

El producto GCN250, representa la escorrentía para una combinación del conjunto de datos de cobertura terrestre global de la Iniciativa de Cambio Climático de la Agencia Espacial Europea, ESA-CCI, (Poulter et al., 2015) muestreado a 250 m y registrado geográficamente con el producto de grupo hidrológico de suelos, HYSOGs250m, publicado en 2018 (Ross et al., 2018).

Hay tres registros de datos asociados para cada una de las condiciones de escorrentía antecedentes (ARCI = seco, ARCI = promedio, ARCI = húmedo). El producto GCN250 está archivado públicamente en Figshare, en formato GeoTiff a 7.5 segundos de arco (resolución espacial de aprox. 250 m) utilizando el sistema de coordenadas geográficas de referencia del Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84).

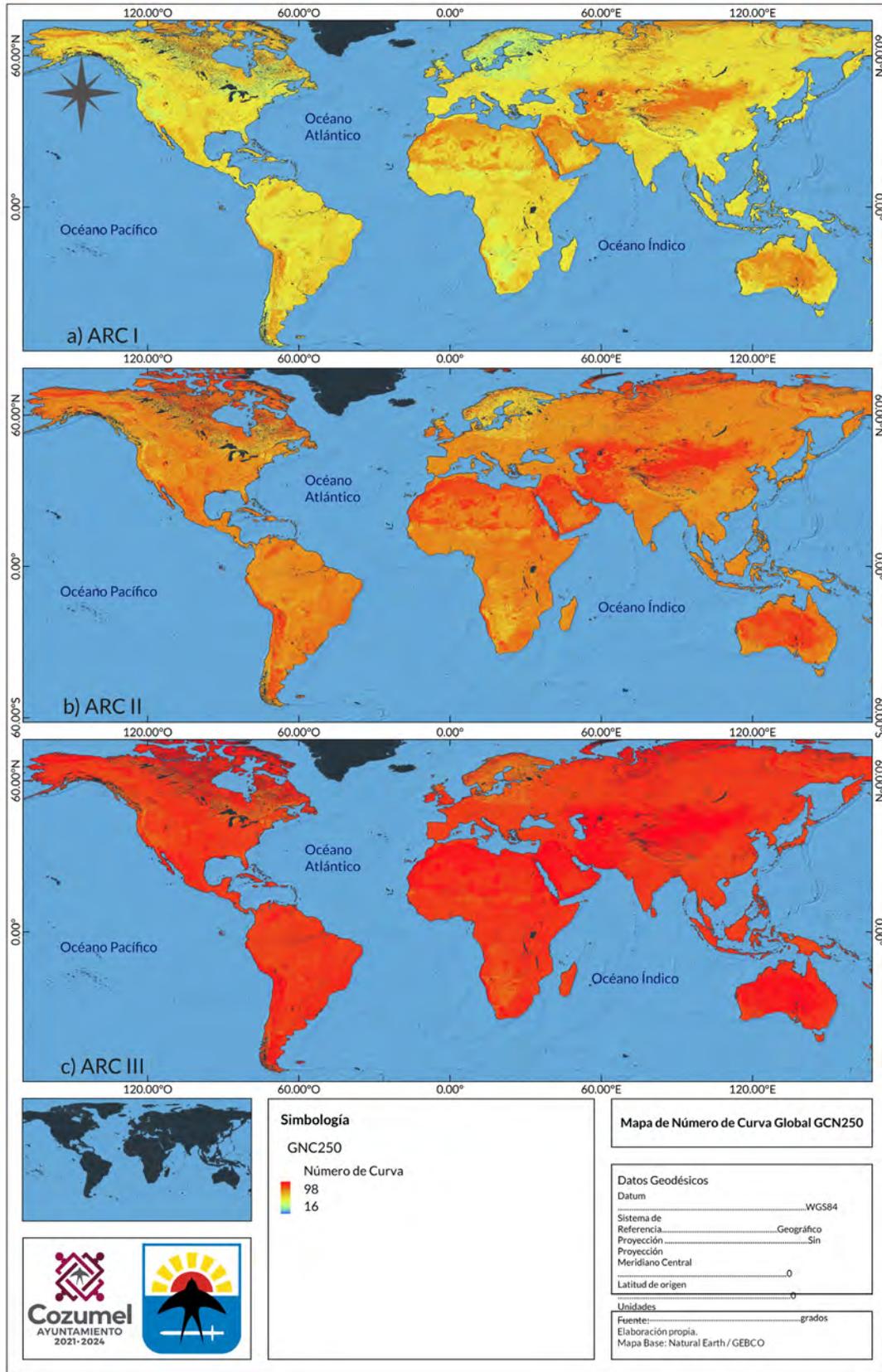
Para generar el GCN250 se usan tres entradas principales (Figura 6.1.4.3-2) imágenes de uso/cobertura del suelo de la Agencia Espacial Europea; 2) grupos hidrológicos de los suelos; y 3) tablas de consulta de CN creada con base en el método del Número de Curva de Escorrentía (CN) del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) del USDA. Posteriormente, para evaluar la precisión de los resultados se comparan las proporciones de escorrentía diaria y mensual resultantes de los tres productos GCN250 con las de la escorrentía del Sistema Global de Asimilación de Datos Terrestres, GLDAS (Beaudoin and Rodell, 2016).

Figura 6.1.4.3-1 Descripción esquemática de la generación del producto GCN250 de número de curva global.



Fuente: Adaptado de Ross et al., 2018

Figura 6.1.4.3-2 Mapas de número de curva global (GCN250) para las 3 condiciones de precipitación antecedente: a) seco (ARCI), b) promedio (ARCII), y c) húmedo (ARCIII).



#### 6.1.4.4. Hidrograma unitario

El hidrograma es una representación gráfica del gasto que pasa por una sección particular de un río, como función del tiempo. Cuando no se dispone de registros simultáneos de precipitación y escurrimiento se puede estimar un hidrograma unitario para la cuenca en estudio conociendo las características físicas de ella. Para ello se emplea un hidrograma unitario obtenido en otro lugar, casi siempre referido a ciertos parámetros del lugar en donde fue calibrado, a este tipo de hidrogramas se les llama sintéticos.

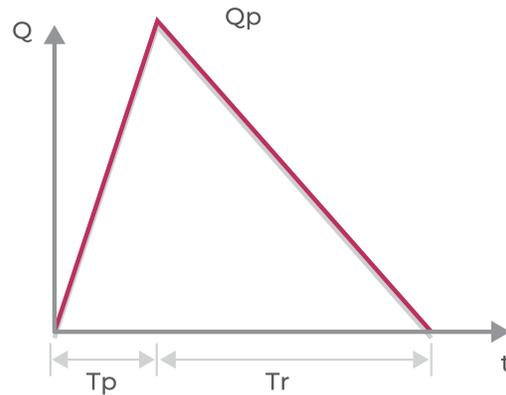
En cuencas pequeñas se recomienda usar duraciones menores o iguales a 6 h; sin embargo, también se suele considerar que la duración sea igual al tiempo de concentración. El tiempo de concentración  $T_c$  se define como el tiempo que tarda una partícula de agua en viajar desde un punto dado de la cuenca hasta la salida de la misma. Para calcular este tiempo se usan relaciones empíricas, en ellas intervienen características fisiográficas de la cuenca, siendo una de las más utilizadas la propuesta por Kirpich (1940), la cual se define como:

$$T_c = 0.0003245 \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77} \quad (6.1.4.4-1)$$

donde  $T_c$  es el tiempo de concentración en h;  $L$  es la longitud del cauce principal, en m;  $S$  es la pendiente media del cauce principal, adimensional. En este estudio se calcula la pendiente media del cauce mediante la fórmula de Taylor-Schwarz.

En el procedimiento del hidrograma triangular unitario se requiere conocer las características fisiográficas de la cuenca. Se ha desarrollado para cuencas pequeñas y su forma es triangular. El hidrograma de escurrimiento directo se calcula al multiplicar cada una de las ordenadas del HUT por la lluvia efectiva, expresada en mm.

Figura 6.1.4.4-1 Hidrograma triangular unitario



El gasto pico se estima con la ecuación:

$$Q_p = 0.566 \frac{hpe}{n} \frac{A}{T_p} \quad (6.1.4.4-2)$$

Donde:

$$T_p = \frac{T_c}{2} + 0.6T_c \quad \text{para cuencas pequeñas}$$

$$T_p = \sqrt{T_c} + 0.6T_c \quad \text{para cuencas grandes}$$

$$n = 2 + \frac{A - 250}{1583.3} \quad \text{para cuencas grandes}$$

Si  $A \leq 250 \text{ km}^2$  entonces  $n=2$

Donde  $hpe$  es la lámina de lluvia efectiva, en mm;  $A$  es el área de la cuenca en  $\text{km}^2$ ;  $T_c$  es el tiempo de concentración, en h;  $T_p$  es el tiempo pico, en h;  $T_r$  es el tiempo de retraso, en h;  $T_b$  es tiempo base, en h; y  $n$  es el factor de corrección por área.

Para el análisis regional de inundaciones se realizará el análisis del escurrimiento de los volúmenes asociados al tiempo de concentración en cada una de las celdas del MDE.

#### 6.1.4.5. Análisis regional de inundaciones

Junto con los modelos climático, hidrológicos y de ríos, la aplicación de modelos de inundación se ha extendido para ayudar en la formulación de estrategias para adaptación al cambio climático y mitigación del riesgo. Generalmente, la

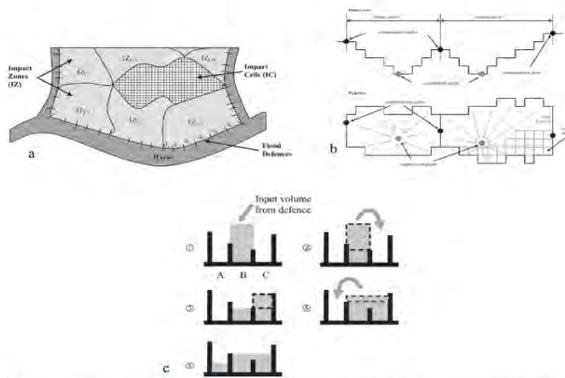
aplicación de cualquier modelo requiere atención al contexto de los resultados de interés, así como sus escala espacial y temporal, el nivel de precisión requerida y las demandas de eficiencia computacional.

Para el pronóstico de inundaciones, las aplicaciones pueden requerir consideraciones de tiempo de ejecución rápido y asimilación de datos en tiempo real. Las evaluaciones del riesgo de inundaciones en áreas urbanas se basan en la precisión de la representación del flujo supercrítico que puede ofrecer un modelo numérico que simula la dinámica de fluidos. La velocidad debe modelarse y reportarse cuidadosamente para la construcción de presas, evaluación de daños por inundaciones o estudios de erosión; mientras que la extensión máxima de la inundación y la profundidad del agua pueden ser suficientes para el mapeo de peligros, la evaluación del flujo ambiental y la planificación de los recursos hídricos. Todas estas consideraciones exigen que se seleccione sabiamente un modelo que equilibre las demandas con la complejidad del modelo y los requisitos de datos.

Durante el siglo pasado, dos grupos de enfoques han atraído la mayor atención y son objeto de investigación en curso: métodos empíricos como mediciones, encuestas, teledetección y modelos estadísticos desarrollados a partir de estos métodos basados en datos; y modelos hidrodinámicos. Estos últimos incluyen metodologías unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales que simulan el movimiento del agua mediante la resolución de ecuaciones derivadas de la aplicación de leyes físicas al movimiento de fluidos con diversos grados de complejidad. En los últimos años, un tercer grupo de enfoques ha ido ganando popularidad para modelar llanuras aluviales muy grandes (como para la evaluación del riesgo de inundaciones a escala nacional) y regiones con escasos datos. Estos modelos pueden etiquetarse como modelos conceptuales simplificados y se basan en representaciones más modestas de procesos físicos y tienen tiempos de ejecución órdenes de magnitud más cortos que los modelos hidrodinámicos. Son especialmente adecuados para grandes áreas de estudio y / o modelos estocásticos para la evaluación probabilística del riesgo de inundaciones.

Uno de estos modelos es el modelo de propagación rápida de inundaciones (RFSM, en inglés) (L'homme et al., 2008) que divide en una etapa de preprocesamiento la llanura aluvial en áreas elementales que representan depresiones topográficas. Luego distribuye los volúmenes de inundación llenando estas áreas usando un proceso de llenado/derrame. Algunos estudios de evaluación comparativa (benchmarking) (Neelz and Pender, 2009; 2010; 2013) muestran que este tipo de modelo puede producir predicciones aproximadas de las distribuciones finales de inundación, con claros beneficios en términos de costo computacional en comparación con los modelos hidrodinámicos. En este estudio se utiliza un modelo basado en RFSM para realizar el análisis regional de inundaciones en los países de la zona de estudio.

**Figura 6.1.4.5-1** Conceptualización del RFSM como se describe en L'homme et al. (2008): a) Definición básica de elementos de almacenamiento en las llanuras; b) Características clave de las zonas inundables; y c) Proceso de llenado/derrame.



#### 6.1.4.6. Modelo Digital de Elevaciones

HydroSHEDS (Hydrological data and maps based on SHuttle Elevation Derivatives at multiple Scales) es un producto de mapeo que proporciona información hidrográfica para aplicaciones de escala regional y global en un formato consistente. Ofrece un conjunto de datos georreferenciados (vectoriales y ráster) a varias escalas, incluidas redes de ríos, límites de cuencas hidrográficas, direcciones de drenaje y acumulaciones de flujo. HydroSHEDS se basa en datos de elevación de alta resolución obtenidos durante la misión SRTM (Shuttle Radar

Topography Mission) de la NASA. El conjunto de datos fue desarrollado por World Wide Fund for Nature(WWF) en sociedad con el USGS, Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, The Nature Conservancy y el Centro de Investigación de Sistemas Ambientales (Center for Environmental Systems Research) (CESR). En la Figura 6.1.4.6-1, se muestra el MDE utilizado para la zona de estudio.

#### 6.1.4.7. Número de curvas escurrimiento

Como se explicó anteriormente, el número de curva de escurrimiento se considera utilizando el producto GCN250 para la zona de estudio; sin embargo, es necesario conocer la condición de lluvia precedente a partir de la lluvia de los días anteriores para establecer si el escenario a evaluar tiene una condición seca, normal o húmeda. Con este fin se realizó un análisis de lluvias diarias precedentes para realizar un estimado de las condiciones de humedad predominantes para cada mes. En el análisis se consideró el acumulado de la lluvia de los 5 días anteriores, estableciendo de manera diaria, el tipo de condición considerando los siguientes criterios: a) Condición seca < 2.5cm; b) Condición normal entre 2.5 y 5cm; y Condición húmeda >2.5cm. Finalmente, se estimó el valor promedio mensual del número de curva a partir de los valores propuestos en el producto GCN250 para utilizarlo en los análisis de escurrimiento. En la Figura 6.1.4.7-1 se muestran los números de curva para la zona de estudio, considerando la condición promedio de humedad previa del suelo. Los números de curva, NC, alcanzan valores adimensionales comprendidos entre 0 y 100. A mayor número se obtiene un umbral de escorrentía menor, lo que se traduce en un menor escurrimiento. Un valor NC = 100 correspondería a una superficie completamente impermeable en la que toda la precipitación sobre la misma se transforma en escorrentía y en la consecuente inundación.

#### 6.1.4.8. Coeficiente de rugosidad de Manning

El producto de Cobertura Terrestre de MODIS (MCD12Q1) proporciona mapas globales de cobertura terrestre en intervalos de tiempo anuales y una resolución espacial de 500 m desde el 2001 al presente. El producto contiene

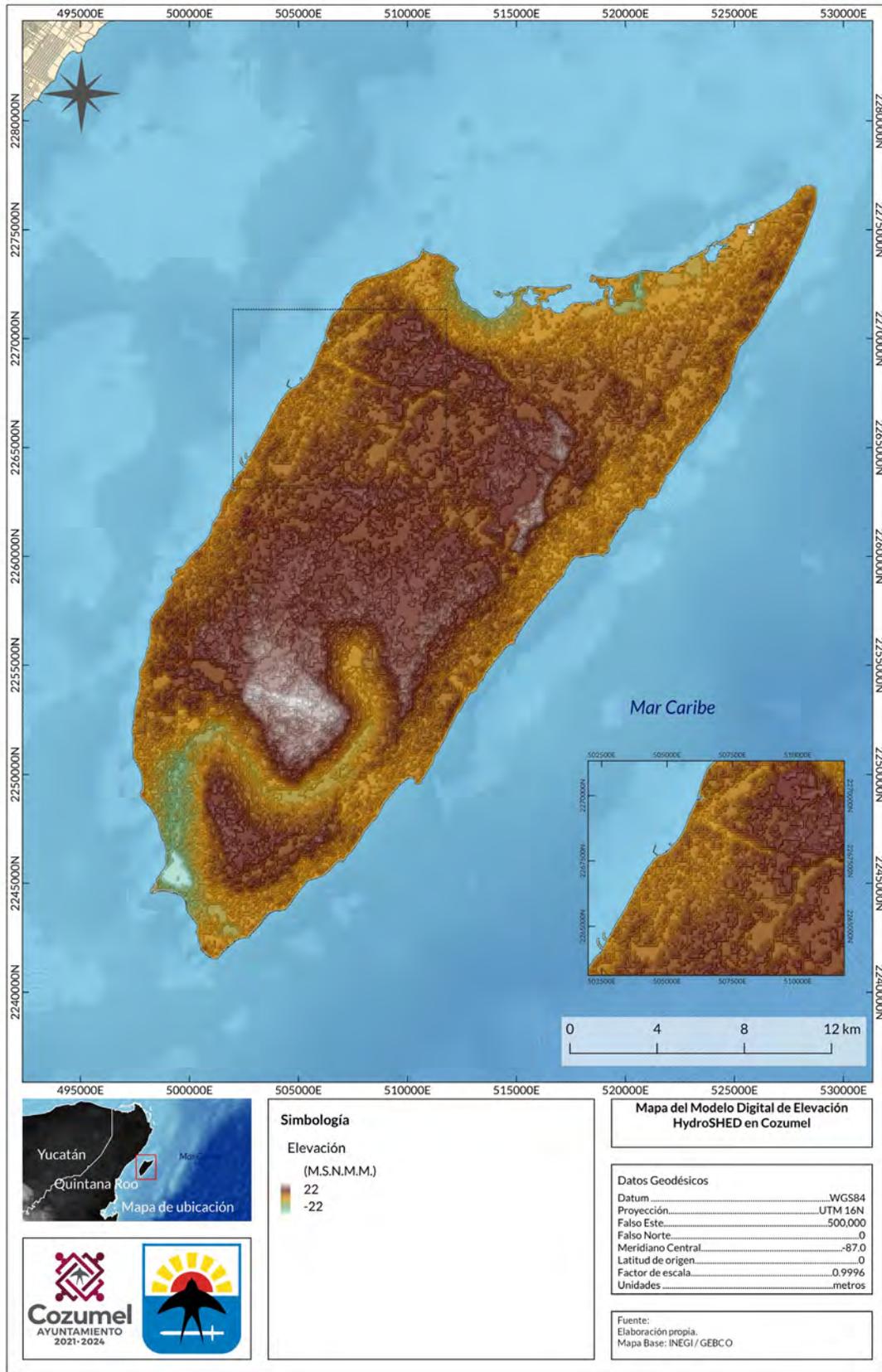
13 conjuntos de datos científicos que incluyen 5 esquemas de clasificación heredados (IGBP, UMD, LAI, BGC y PFT) y una leyenda de tres capas basada en el Sistema de Clasificación de la Cobertura Terrestre (LCCS) de la Organización para la Agricultura y la Alimentación de la ONU (FAO). En este trabajo se utilizan las clases de hidrología superficial de la FAO para asignar el coeficiente de rugosidad de Manning en la zona de estudio siguiendo los criterios establecidos. Entre mayor sea el coeficiente de rugosidad, mayor es la resistencia al flujo de agua.

#### 6.1.4.9. Resultados

Debido a la escasez de información disponible de estaciones meteorológicas de la región se utilizan bases de datos de mallas de precipitación global diaria, verificadas y usadas en varias regiones del mundo. Los escenarios de precipitación se obtienen a partir del análisis de los periodos de retorno de los registros mensuales utilizando la generación de una función compuesta bayesiana descrita en la sección de precipitaciones.

A partir de las mallas de precipitación para periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 100, 250, 500 y 1000 años, estimadas en el estudio de precipitaciones, se realiza el cálculo de las precipitaciones efectivas utilizando los valores de número de curva del GCN250. Aplicando el modelo de inundación descrito en secciones anteriores se obtienen los escenarios de inundación máxima diaria asociados a los escurrimientos asociados a las precipitaciones efectivas calculadas. En las siguientes figuras se muestran los mapas de tirantes máximos asociados a los escurrimientos de cada periodo de retorno calculados para los municipios en estudio.

Figura 6.1.4.6-1 Modelo Digital de Elevaciones para la zona de estudio obtenido de HydroSHEDS con una resolución de 3s (aprox. 90m).



Fuente: HydroSHEDS.

Figura 6.1.4.7-1 Numero de Curva de escurrimiento para la condición promedio para la zona de estudio obtenido del producto GCN250 con una resolución aproximada de 250m.

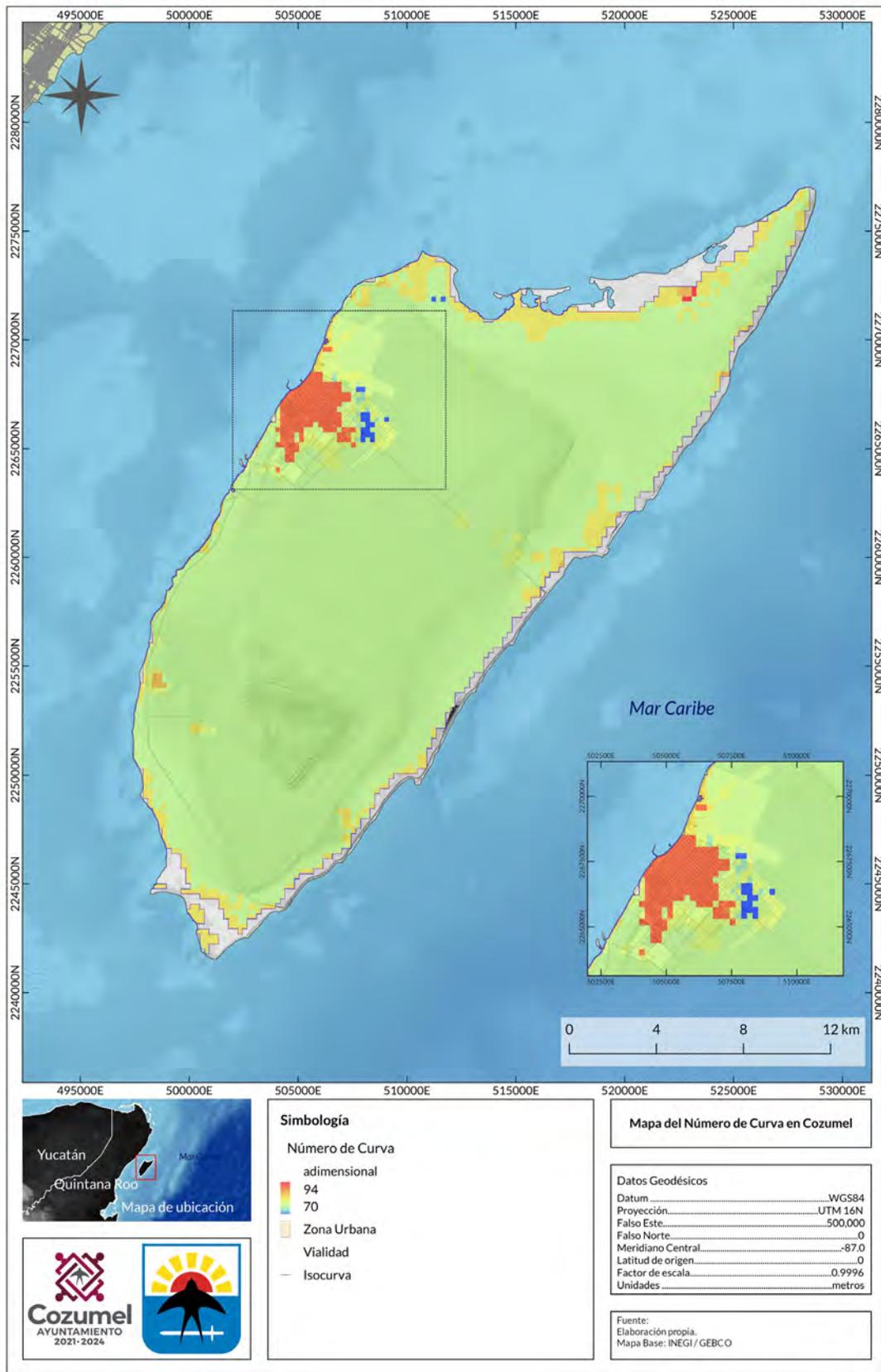


Figura 6.1.4.8-1 Coeficiente de rugosidad de Manning para la zona de estudio obtenido a partir del producto MCD12Q1 de MODIS con una resolución aproximada de 500m.

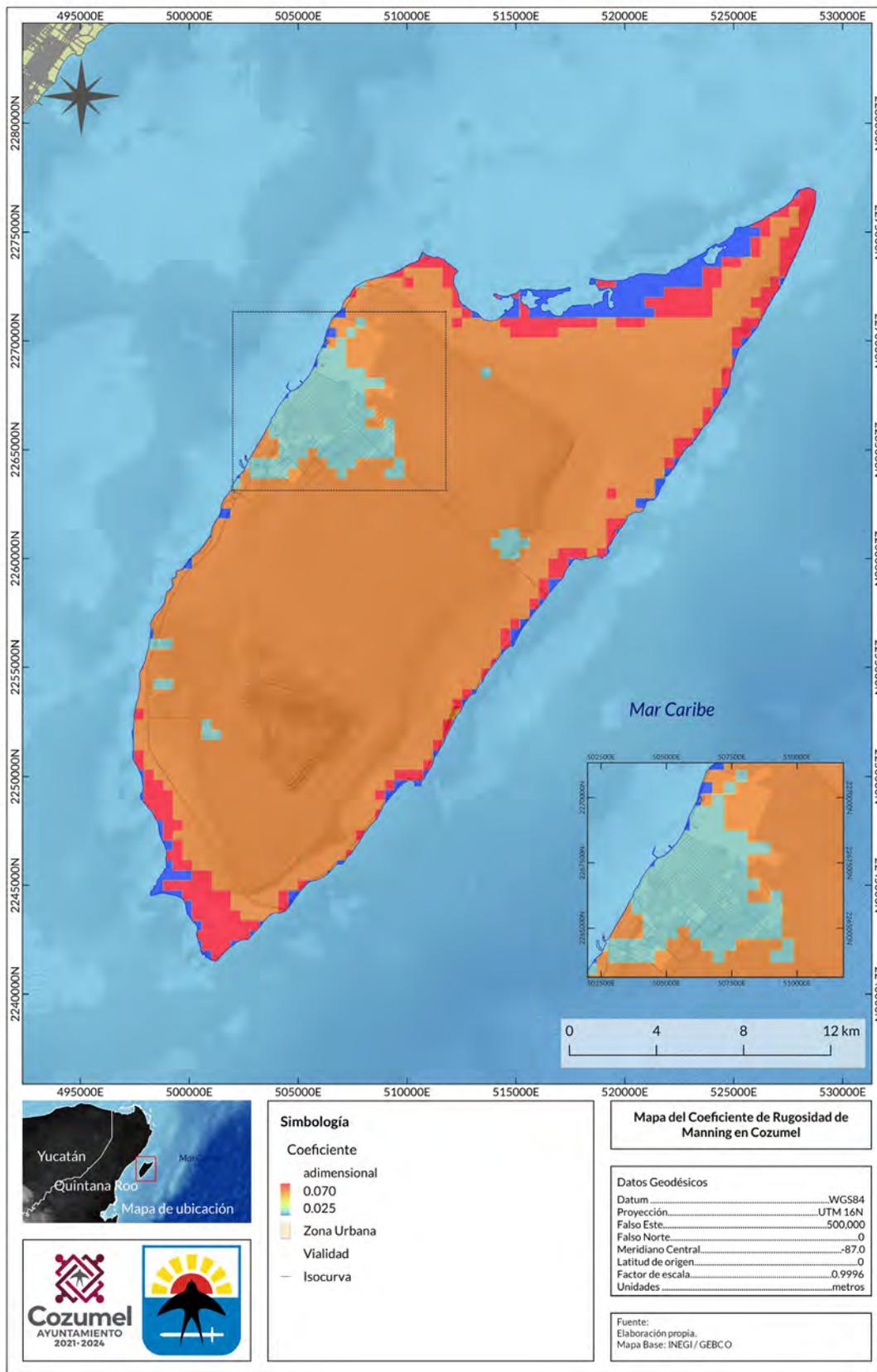


Figura 6.1.4.9-1 Tirantes de inundación para el municipio de Cozumel, Q. Roo para periodos de retorno de 5 años.

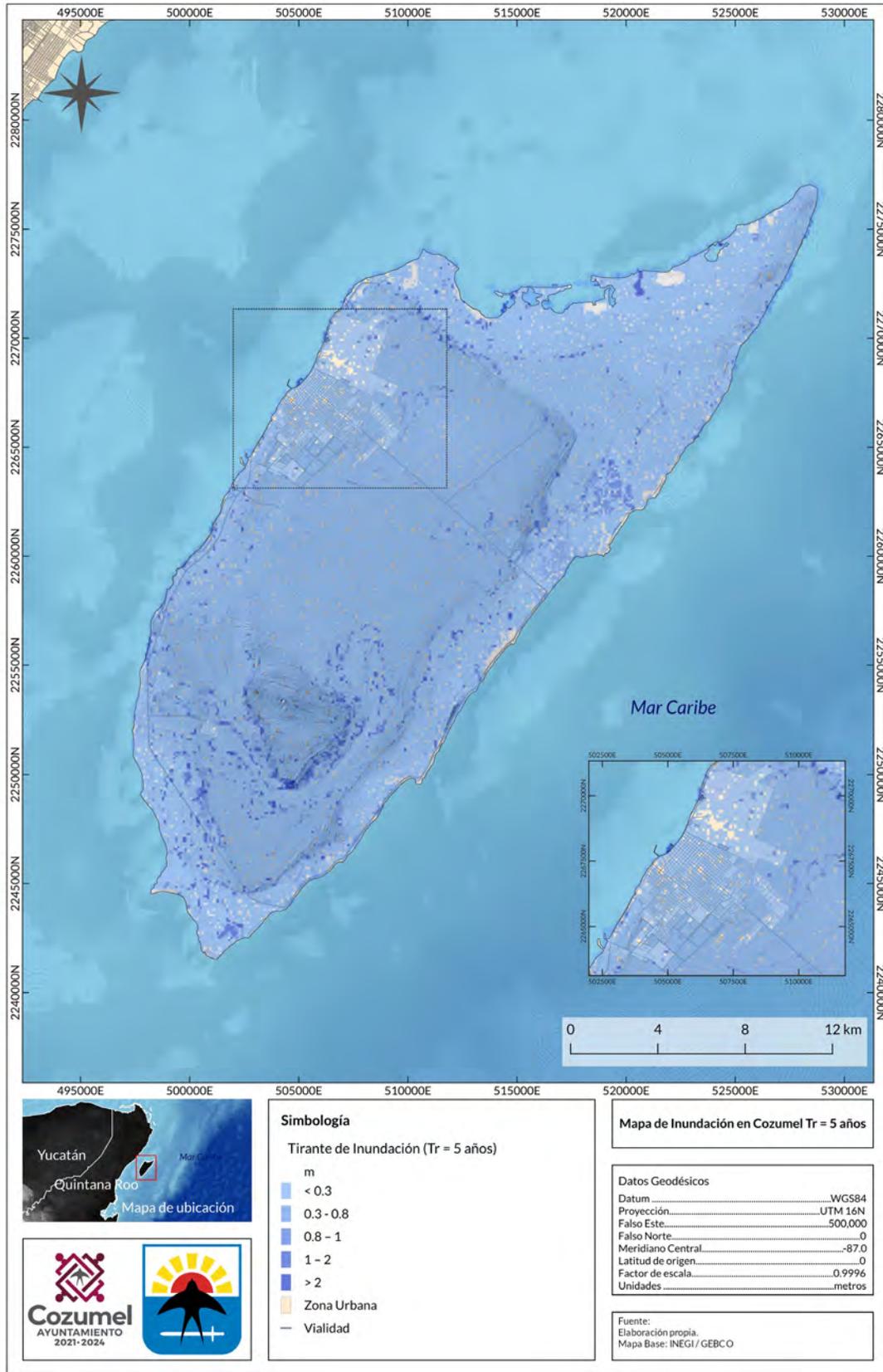


Figura 6.1.4.9-1 Tirantes de inundación para el municipio de Cozumel, Q. Roo para periodos de retorno de 10 años (continuación).

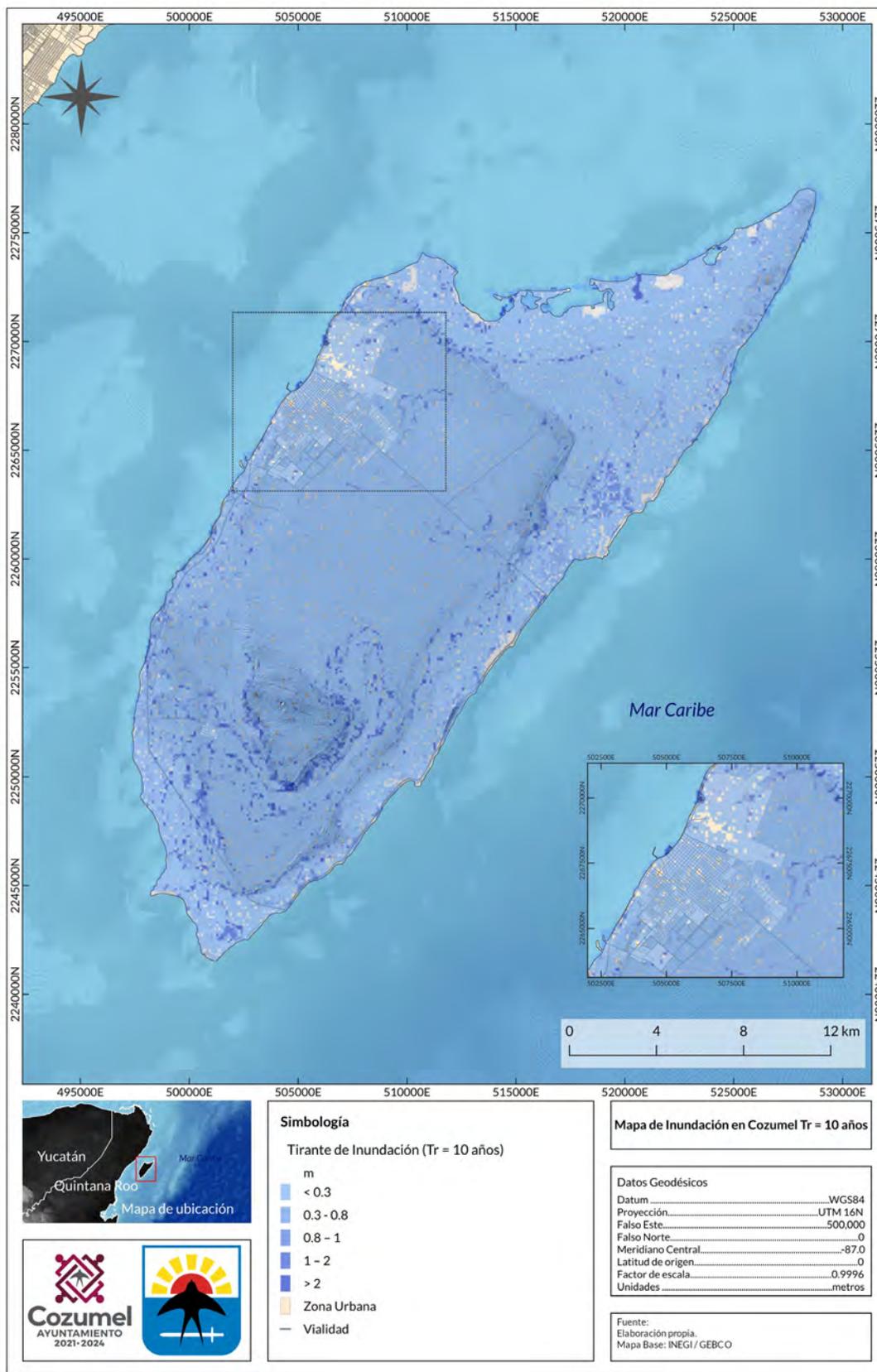


Figura 6.1.4.9-1 Tirantes de inundación para el municipio de Cozumel, Q. Roo para periodos de retorno de 25 años (continuación).

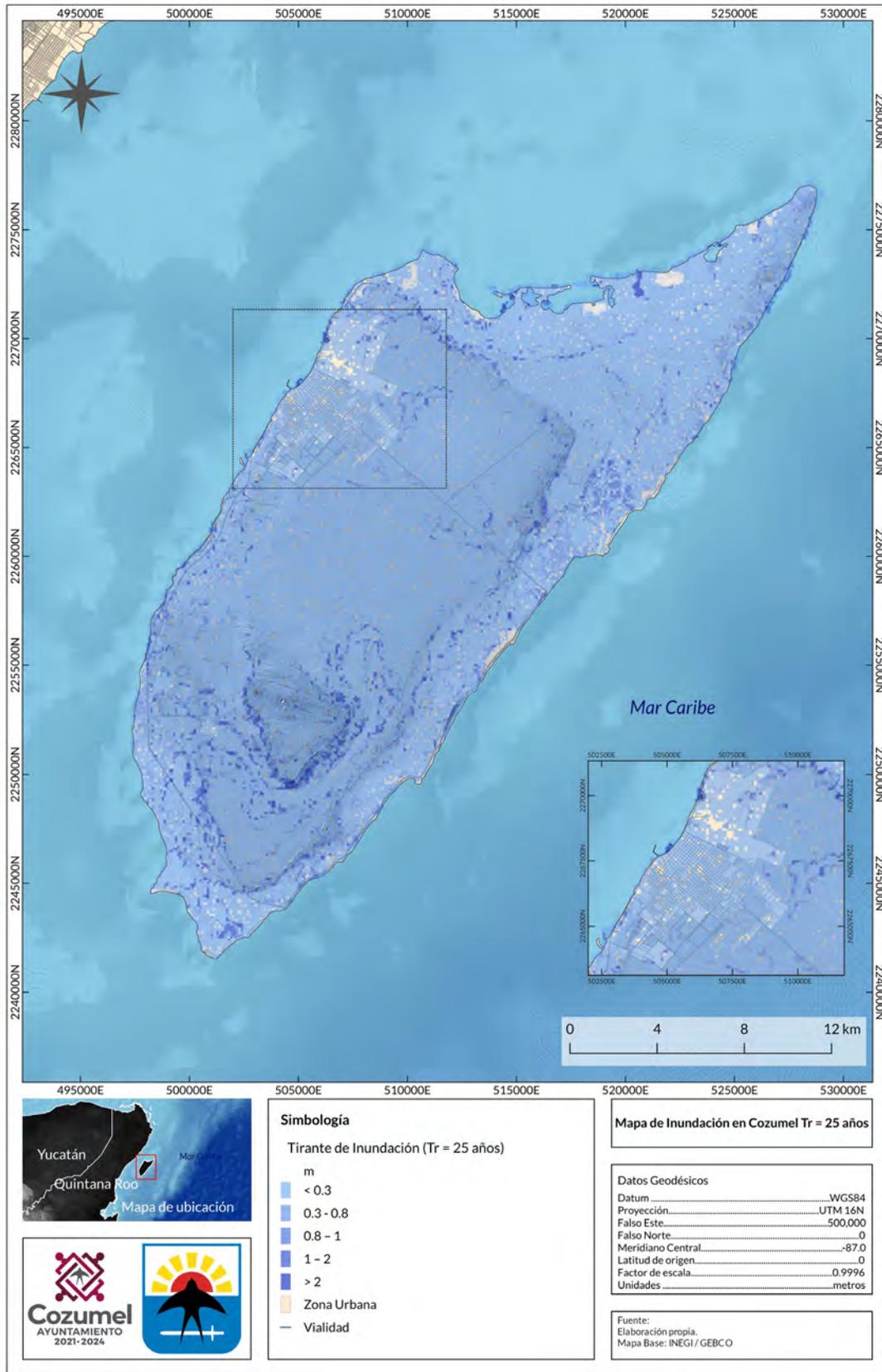


Figura 6.1.4.9-1 Tirantes de inundación para el municipio de Cozumel, Q. Roo para periodos de retorno de 50 años (continuación).

Atlas de riesgos por fenómenos naturales y vulnerabilidad ante el cambio climático en Cozumel, Quintana Roo | Capítulo 6: Identificación de amenazas, peligros, vulnerabilidad y riesgos ante fenómenos perturbadores

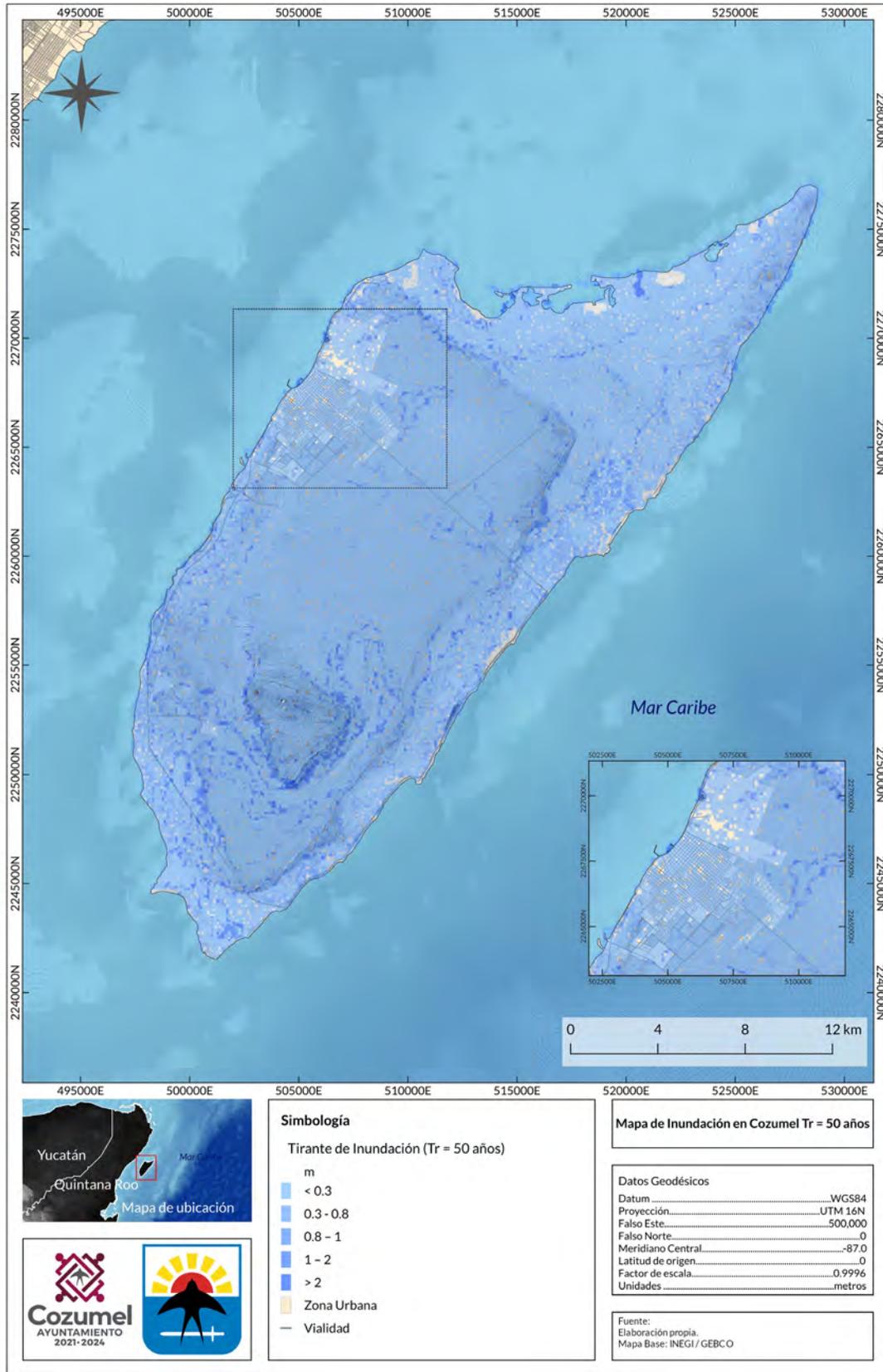


Figura 6.1.4.9-1 Tirantes de inundación para el municipio de Cozumel, Q. Roo para periodos de retorno de 100 años (continuación).

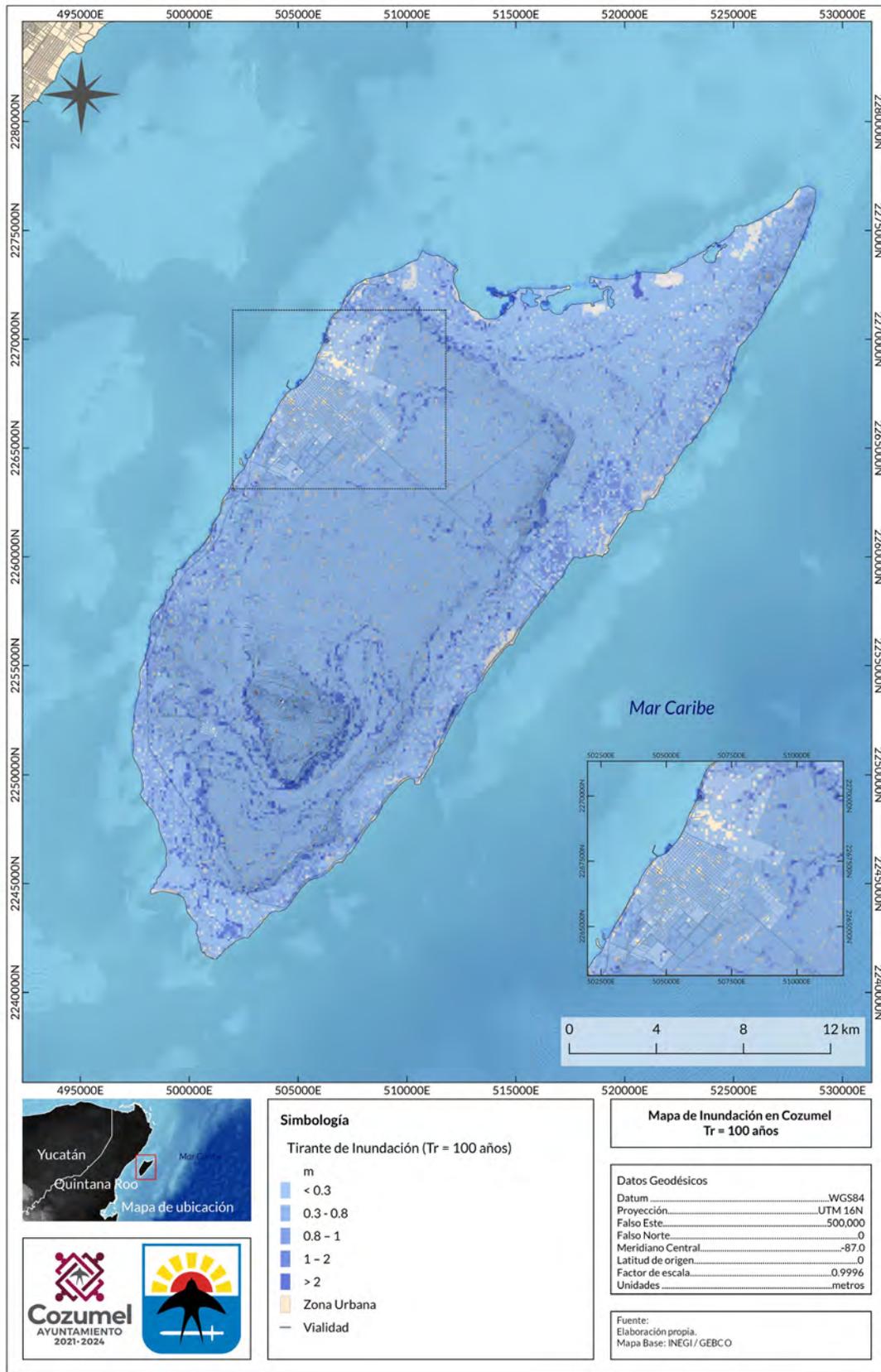


Figura 6.1.4.9-1 Tirantes de inundación para el municipio de Cozumel, Q. Roo para periodos de retorno de 250 años (continuación).

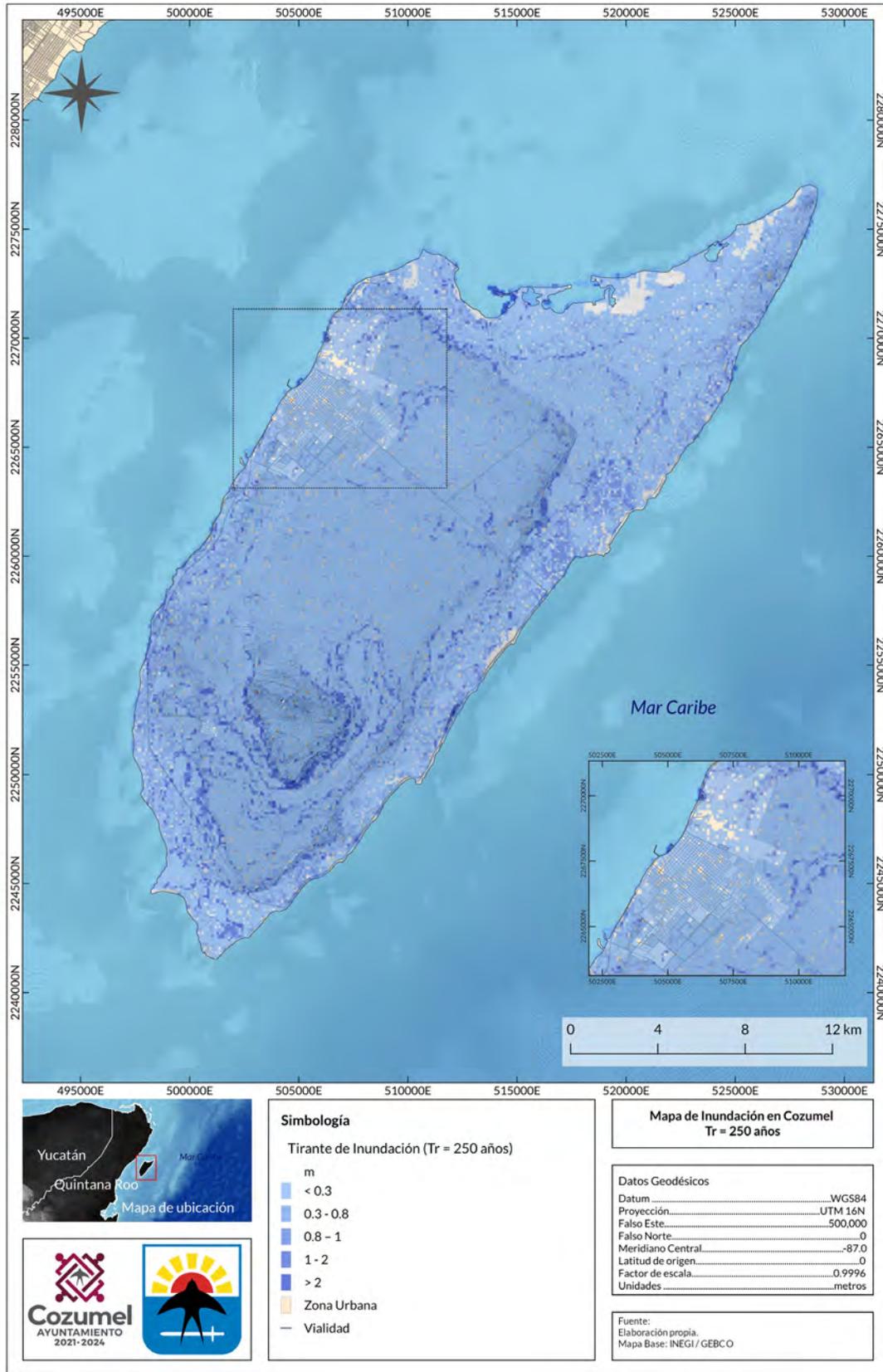
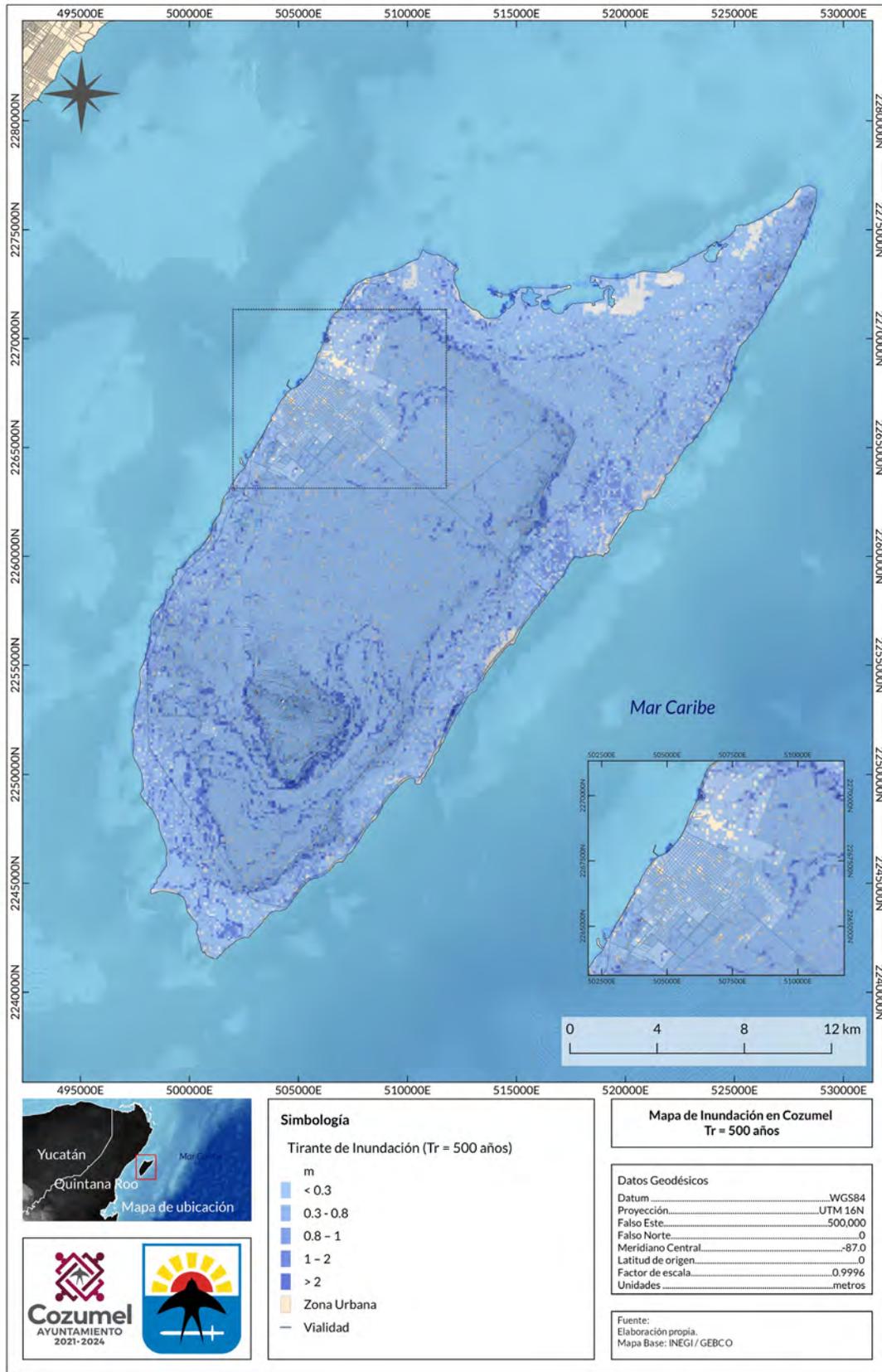


Figura 6.1.4.9-1 Tirantes de inundación para el municipio de Cozumel, Q. Roo para periodos de retorno de 500 años (continuación).



### 6.1.5. Sequía

La sequía es el resultado de una precipitación por debajo de la condición “normal” que, cuando se extiende por un periodo largo, el agua resulta insuficiente para satisfacer las demandas de las diversas actividades humanas y el medio ambiente Wilhite (2005).

La sequía es una característica normal y recurrente del clima que forma parte de la variabilidad climática de una región, aunque en ocasiones se le considera como un evento raro y aleatorio. La sequía ocurre en casi todas las zonas climáticas, aunque con variaciones en su distribución espacial y temporal, así como en su severidad.

Es común confundir el término de sequía con aridez, este último se refiere a una condición en la que las lluvias son escasas e incluso nulas, además de ser una característica permanente del clima.

La sequía en sí misma no es un desastre, el que lo sea depende de sus impactos en la población y el medio ambiente. Al no ser algo aleatorio sino parte de la variabilidad del clima, las sociedades deben contar con planes para enfrentarla. En el contexto científico actual se intenta no solo responder al desastre, sino que se intenta prevenirlo usando los avances en pronóstico climático.

De acuerdo con Wilhite (2005), la sequía difiere de otros fenómenos debido a que:

- Su desarrollo es muy lento y sus efectos se van acumulando durante un tiempo considerable. De ahí la dificultad de determinar en tiempo real cuándo inicia y se concluye.
- La ausencia de una definición de sequía que sea concisa y universalmente aceptada provoca confusión sobre si realmente está ocurriendo y con qué severidad.
- Los impactos de la sequía están dispersos sobre una mayor área geográfica comparados con los daños que resultan de otros fenómenos naturales (p.e. inundaciones, ciclones tropicales y sismos). La sequía rara vez resulta en daños estructurales en infraestructura.

Analizar la sequía involucra diversas disciplinas, cada una de las cuales incorpora diferentes factores en su definición dependiendo de los efectos que produce; sin embargo, todas las definiciones tienen como origen común el déficit de precipitación. Por ello, la sequía puede ser de tipo:

**Sequía meteorológica:** Se presenta cuando la precipitación acumulada durante cierto tiempo es significativamente más pequeña que el promedio de las precipitaciones registradas en dicho lapso o que un valor específico. Este tipo de sequía se considera como un proceso totalmente natural, debido a que no hay una influencia humana directa.

**Sequía hidrológica:** Ocurre cuando existe un déficit de agua en los escurrimientos superficiales y subterráneos con respecto a la media mensual o anual de los registros en la región. A nivel superficial, se manifiesta por una disminución en escurrimiento, caudal de ríos y nivel de almacenamiento de presas, mientras que, en el subsuelo, se manifiesta por un descenso del nivel freático.

**Sequía agrícola:** Es definida como el periodo en el que la humedad del suelo es insuficiente para que un cultivo pueda producir una cosecha. Este tipo de sequía depende de las sequías meteorológica e hidrológica.

**Sequía socioeconómica:** Es el tiempo durante el cual la demanda de agua no satisface las necesidades sociales, lo cual puede alimentar conflictos sociales.

#### 6.1.5.1. Monitor de sequía CONAGUA

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) registra, analiza y comparte información de este fenómeno en el país a través del Monitor de Sequía en México (MSM), el cual se basa en la obtención e interpretación de diversos índices o indicadores de sequía tales como:

- El Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) que cuantifica las condiciones de déficit o exceso de precipitación (30, 90, 180, 365 días).
- La Anomalía de Lluvia en Porcentaje de lo Normal (30, 90, 180, 365 días).

- La Anomalía de la Temperatura Media.
- Índice Satelital de Salud de la Vegetación (VHI) que mide el grado de estrés de la vegetación a través de la radiancia observada.
- El Modelo de Humedad del Suelo Leaky Bucket CPC-NOAA que estima la humedad del suelo mediante un modelo hidrológico de una capa.
- El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).
- El Porcentaje de Disponibilidad de Agua en las presas del país.

El MSM consta de un reporte que contiene una descripción de la sequía en el país, tablas y gráficos de porcentaje de área afectada por sequía a nivel nacional, estatal, 13 Organismos de Cuenca y 26 Consejos de Cuenca de la Comisión Nacional del Agua, además de la contabilidad de municipios afectados por cualquier categoría de sequía. Cabe señalar que no es un sistema de pronóstico, si no descriptivo en la evolución, magnitud, y extensión espacial de las sequías, principalmente para los sectores agropecuario e hídrico (IMTA, 2016).

El MSM está compuesto de una serie de diferentes indicadores, modelos y datos en diversas unidades con escalas espaciales y temporales, como se mencionó anteriormente que, a diferencia del Monitor de Sequía de América del Norte (NADM), combina los indicadores de manera subjetiva al criterio de un especialista, y no con base en un sistema objetivo de combinación de indicadores.

El insumo más importante en este modelo es la precipitación, por lo que en el país se establece una red de estaciones climatológicas que cumpla con las normas establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en cuanto a calidad, confianza y periodicidad. Dentro de la climatología se define como anomalía al valor observado respecto al valor promedio para una determinada escala de tiempo, esta variación se emplea para observar el régimen pluvial a mediano y largo plazo, y determinar sus impactos en el sector hídrico y agrícola.

Los datos de precipitación sirven para elaborar los mapas del SPI, índice considerado como el insumo principal para implementar sistemas de alerta temprana por sequías meteorológicas, por lo cual para englobar los diferentes tipos de sequía se han hecho propuestas de otros indicadores, considerándolos en forma única o aislada hasta combinados.

La temperatura a nivel nacional es la segunda variable observada, que de la misma forma que la precipitación, se maneja en términos de umbrales, considerando los valores de temperatura máxima, mínima y media, y sus correspondientes anomalías. Valores altos de temperatura conducen a un estrés hídrico e impacta de forma directa en la vegetación y condición de humedad de suelo.

Debido a que la vegetación responde rápidamente a las condiciones de humedad del suelo y temperatura; el uso de satélites permite bajo ciertas condiciones, observar la superficie terrestre y los procesos que ocurren en ésta, cubriendo grandes extensiones y a una resolución temporal.

El Índice de Salud Vegetal (VHI, por sus siglas en inglés) está compuesto por el índice de condición de vegetación (VCI, por sus siglas en inglés) y por el Índice de Condición de Temperatura (TCI, por sus siglas en inglés), donde un coeficiente determina la contribución de cada uno de éstos y se utiliza para el monitoreo de sequías, así como para determinar las condiciones de los cultivos en el corto plazo. Para fines prácticos, un valor del VHI por arriba de 60 indica condiciones favorables para la agricultura. Se obtiene de los sensores AVHRR en los canales visible, infrarrojo cercano e infrarrojo, instalados en los satélites de órbita polar de la NOAA.

Con datos de poco más de 20 años de los sensores AVHRR instalados en los satélites de órbita polar de la NOAA, se ha podido establecer un umbral de condiciones normales de vegetación a partir de valores inferidos por emisiones de energía electromagnética en las bandas visible e infrarroja. A partir de 1980, la información obtenida por el VHI, y derivado de su calidad y temporalidad, se ha vuelto indispensable para el seguimiento de condiciones de vegetación a tiempo real y el impacto del clima.

El principio del cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) depende de la medición de los valores de la reflectancia emitida por sus componentes en la superficie terrestre y en especial por la cobertura vegetal, separándola de aquella que es absorbida. Esta información se utiliza para determinar condiciones específicas comparando con valores estadísticos de largo plazo.

La percepción remota satelital permite, entre otras cosas, cuantificar qué fracción de la radiación fotosintéticamente activa es absorbida por la vegetación. De esta acción se puede determinar la condición de la vegetación, pues existe una relación directa entre la condición de la vegetación y su capacidad de absorción, y por lo tanto su productividad.

Así, pueden utilizarse regiones de reflexión y absorción de radiación fotosintéticamente activa sobre un periodo de tiempo para caracterizar la salud de la vegetación en función de su valor normal. Una manera para cuantificar la condición de desarrollo de la vegetación es mediante la diferencia normalizada de la radiación infrarroja cercana y la radiación visible

Una forma práctica de estimar las condiciones de humedad de suelo es mediante el uso de modelos, como el Leaky Bucket (cubo filtrante), el cual determina las condiciones hidrológicas de humedad antecedente en la superficie. Su hipótesis se basa en que la humedad contenida en el suelo, hasta cierta profundidad, puede cambiar la partición de la radiación entrante entre las variaciones de los flujos de calor, y de esa manera conocer las condiciones iniciales de la humedad del suelo, que pueden utilizarse como predictores útiles para la temperatura y precipitación en el corto plazo.

La humedad del suelo se calcula mediante un balance de contenido de agua en el suelo, considerando la precipitación, evaporación, escurrimiento superficial y pérdidas por flujo subterráneo (que por lo general ocurre en los primeros dos metros de la superficie terrestre). Aunque en general el modelo de contenido de humedad de suelo se emplea como un predictor importante para temperatura y humedad, en este caso su uso es para determinar el contenido de la humedad del suelo sólo en los periodos en los

que se elabora el MSM. La colaboración para la elaboración del NADM ha permitido extender este producto hasta México y es la información que se usa en la actualidad.

Las condiciones hidrológicas definen la escala de mediano y largo plazos en el monitoreo de la sequía; la información sobre las condiciones de los escurrimientos (ríos) y embalses tanto naturales como artificiales (presas) definen su condición precedente. La Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR) de la Conagua constantemente vigila el estado que guardan las presas y escurrimientos del país, haciendo énfasis en el almacenamiento de las principales presas; maneja umbrales de almacenamiento que relacionan el impacto de severidad dependiendo de su porcentaje de llenado, definiendo así que en un almacenamiento entre 65 y 80% de llenado, la severidad se considera como mínima y tiene una reducción en la dotación de 10 a 15%; cuando el almacenamiento es de entre 40 y 65% del llenado, la severidad es moderada y la reducción en la dotación fluctúa de 15 a 25%; si el almacenamiento varía de 25 a 40% del llenado, la severidad se considera severa y la reducción en la dotación oscila entre 25 y 40%; finalmente, cuando el almacenamiento es menor a 25% de su llenado, la severidad se clasifica como crítica y se establece una reducción en la dotación mayor a 40%.

La elaboración final del MSM considera que los índices y variables se integren mediante un SIG, después, por un consenso de expertos, se elabora el Monitor de Sequía para México, donde se determinan las regiones afectadas por sequía y su grado de impacto plasmado en un solo mapa. Así mismo, el modelo incluye en forma tabular el impacto de la sequía por municipio, y una narrativa o discusión, mencionando los impactos y estadísticas en temperatura y precipitación que reflejan las condiciones imperantes del mes en curso. Los registros de sequía son mensuales de enero de 2003 a enero de 2014, posterior a esta fecha y hasta la actualidad, los registros son quincenales.

La CONAGUA (2023) proporciona la siguiente clasificación de la Intensidad de la sequía de acuerdo con la NADM:

- **Anormalmente Seco (D0):** Se trata de una condición de sequedad, no es una categoría de sequía. Se presenta al inicio de un período de sequía: debido a la sequedad de corto plazo puede ocasionar el retraso de la siembra de los del período de sequía: puede persistir cultivos anuales, un limitado crecimiento de los cultivos o pastos y existe el riesgo de incendios, y al final déficit de agua, los pastos o cultivos pueden no recuperarse completamente.
- **Sequía Moderada (D1):** Se presentan algunos daños en los cultivos y pastos; existe un alto riesgo de incendios, bajos niveles en ríos, arroyos, embalses, abrevaderos y pozos, se sugiere restricción voluntaria en el uso del agua.
- **Sequía Severa (D2):** Probables pérdidas en cultivos o pastos, alto riesgo de incendios, es común la escasez de agua, se deben imponer restricciones en el uso del agua.
- **Sequía Extrema (D3):** Pérdidas mayores en cultivos y pastos, el riesgo de incendios forestales es extremo, se generalizan las restricciones en el uso del agua debido a su escasez.
- **Sequía Excepcional (D4):** Pérdidas excepcionales y generalizadas de cultivos o pastos, riesgo excepcional de incendios, escasez total de agua en embalses, arroyos y pozos, es probable una situación de emergencia debido a la ausencia de agua.

### 6.1.5.2. Resultados

A partir de la base de datos del Monitor de Sequía de México para el municipio de Cozumel, con registros de 2003 a 2023, se realiza el análisis estadístico de los registros de acuerdo con la condición de sequía clasificada. En la Tabla 6.1.5.2-1 se puede observar el número de días registrados y la probabilidad de estar en las diferentes clasificaciones. A partir de esos datos se obtiene que la probabilidad de que pueda presentarse cualquier condición de sequía es del 38.2% siendo la condición D0 la más probable con un 21.5%, seguida de la D1 con 12.3% y la D2 con 4.4%.

En la Tabla 6.1.5.2-2 se realiza el análisis estadístico por año con la finalidad de establecer las condiciones esperadas de sequía a partir de los datos históricos. De un total de 2910 días registrados en el periodo con alguna condición de sequía, el 56.25% (1637 días) corresponde a días con condición D0, 32.34% (941 días) a D1 y 11.40% (332 días) a D2. A partir de los datos anuales se observa que los años con mayor número de días registrados con alguna condición de sequía (máximo) se encuentra del orden de 335 días, siendo 242 días el máximo de días registrados en la condición D0, 181 días en D1 y 180 días en D2. El número esperado de días con alguna condición de sequía (promedio) al año se espera del orden de 138 días, predominando la condición D0 con 78 días/año, la D1 con 45 días/año y la D2 con 16 días/año.

Tabla 6.1.5.2-1 Días de registro y probabilidad alguna condición de sequía en el MSM de CONAGUA.

CONDICIÓN SEQUÍA	DÍAS REGISTRO	PROBABILIDAD (%)
Anormalmente Seco, D0	1637	21.5
Sequía Moderada, D1	941	12.3
Sequía Severa, D2	332	4.4
Sequía Extrema, D3	0	0.0
Sequía Excepcional, D4	0	0.0
Sin Sequía	4714	61.8

Tabla 6.1.5.2-2 Días de registro por año con alguna condición de sequía en el MSM de CONAGUA.

AÑO	DÍAS REGISTRADOS					TOTAL
	D0	D1	D2	D3	D4	
2003	0	0	0	0	0	0
2004	62	122	0	0	0	184
2005	30	151	0	0	0	181
2006	60	31	0	0	0	91
2007	93	61	180	0	0	334
2008	31	91	91	0	0	213
2009	242	31	61	0	0	334
2010	154	181	0	0	0	335
2011	212	0	0	0	0	212
2012	0	0	0	0	0	0
2013	0	0	0	0	0	0
2014	92	0	0	0	0	92
2015	0	0	0	0	0	0
2016	123	76	0	0	0	199
2017	61	0	0	0	0	61
2018	62	30	0	0	0	92
2019	77	107	0	0	0	184
2020	46	30	0	0	0	76
2021	107	0	0	0	0	107
2022	123	0	0	0	0	123
2023	62	30	0	0	0	92
<b>SUMA</b>	1637	941	332	0	0	2910
<b>PROMEDIO</b>	78.0	44.8	15.8	0.0	0.0	138.6
<b>MÁXIMO</b>	242	181	180	0	0	335

Para tener un estimado de la distribución mensual de los registros con condición de sequía, se realiza la Tabla 6.1.5.2-3 y la 6.1.5.2-4, en donde se puede observar que los meses con más probabilidad de tener días en condición de sequía son octubre y julio con 341 días (4.47%) y 311 días (4.08%), respectivamente. Sin embargo, en los meses de mayo y febrero es más posible desarrollar condiciones más severas de sequía, hasta de D2, con una probabilidad de 0.81% (62 días) y 0.75% (57 días), respectivamente.

### 6.1.6. Incendio forestal

En el DOF (2023) se define a los incendios forestales como eventos que se generan por la intervención de una serie de fenómenos tanto antrópicos como naturales, pueden ser causados esporádicamente de forma natural como un proceso de regeneración para los bosques. Sin embargo, la mayoría de éstos se deben a la intervención de factores como la tala inmoderada, el turismo no ecológico, la cercanía de terrenos de cultivo a los bosques, cambio de uso de suelo y la cercanía a caminos.

Tabla 6.1.5.2-3 Días de registro por mes con alguna condición de sequía en el MSM de CONAGUA.

MES	DÍAS REGISTRADOS					TOTAL
	D0	D1	D2	D3	D4	
Enero	93	31	31	0	0	155
Febrero	56	56	57	0	0	169
Marzo	93	93	0	0	0	186
Abril	105	120	30	0	0	255
Mayo	124	62	62	0	0	248
Junio	180	60	30	0	0	270
Julio	218	93	0	0	0	311
Agosto	201	62	0	0	0	263
Septiembre	90	135	30	0	0	255
Octubre	172	138	31	0	0	341
Noviembre	150	45	30	0	0	225
Diciembre	155	46	31	0	0	232

Tabla 6.1.5.2-4 Probabilidad por mes con alguna condición de sequía en el MSM de CONAGUA.

MES	PROBABILIDAD CONDICIÓN SECA (%)					SUMA
	D0	D1	D2	D3	D4	
Enero	1.22	0.41	0.41	0.00	0.00	2.03
Febrero	0.73	0.73	0.75	0.00	0.00	2.22
Marzo	1.22	1.22	0.00	0.00	0.00	2.44
Abril	1.38	1.57	0.39	0.00	0.00	3.34
Mayo	1.63	0.81	0.81	0.00	0.00	3.25
Junio	2.36	0.79	0.39	0.00	0.00	3.54
Julio	2.86	1.22	0.00	0.00	0.00	4.08
Agosto	2.64	0.81	0.00	0.00	0.00	3.45
Septiembre	1.18	1.77	0.39	0.00	0.00	3.34
Octubre	2.26	1.81	0.41	0.00	0.00	4.47
Noviembre	1.97	0.59	0.39	0.00	0.00	2.95
Diciembre	2.03	0.60	0.41	0.00	0.00	3.04

El territorio insular de Cozumel está cubierto en su mayoría por vegetación de tipo selva subperennifolia, la cual es sensible a incendios forestales en algunas temporadas del año: previo a las lluvias de verano y posterior a la temporada de ciclones tropicales, cuando la vegetación experimenta condiciones de sequía y estiaje, las cuales hacen que el material forestal, generalmente en el suelo, sea más sensible a agentes que puedan iniciar una combustión ya sea de manera natural o artificial.

El fuego es un proceso físico así como un proceso ecológico, ha sido y continúa siendo una fuerza evolutiva mayor que define el tipo de vida en la tierra; es una perturbación común en diferentes ecosistemas e influye significativamente en su estructura, composición de especies, dinámica sucesional y funcionamiento; es un evento súbito que tiene efectos (positivos y negativos) en los organismos de una comunidad, influye en la funcionalidad de los ecosistemas como fuentes y reservorios de carbono, tiene un papel clave en el origen y adaptación de las plantas y la distribución de los ecosistemas, determina los nutrientes y las propiedades de retención del agua de los suelos. Se reconoce, en diversos ámbitos del sector ambiental, la importancia del rol de los incendios en los ecosistemas forestales, como se constata en los regímenes pírnicos y con las diversas adaptaciones que ante esto exhiben las plantas. Los incendios contribuyen a los procesos de mineralización de la materia orgánica, participan en diversos ciclos de los nutrimentos y cuando el fuego es de baja intensidad puede promover el crecimiento de los árboles, gracias a la poda natural que propicia, y a la fertilización mediante cenizas (Nañez Jiménez, et al., 2020).

Los incendios forestales han sido estudiados como disturbios ecológicos que afectan a la vegetación. El interés por éstos como una fuerza evolutiva comenzó desde mediados del siglo XX (Pyne, Andrews y Laven, 1996; Krebs et al., 2010). Contemplando que los ecosistemas son conjuntos de organismos vegetales, animales y microorganismos que interactúan entre sí y su ambiente físico que consta de materiales orgánicos, agua, minerales, suelo, rocas y aire. Las perturbaciones hacen variar tanto los componentes vivos como la disponibilidad de recursos y las interacciones,

se puede considerar que el fuego es una perturbación natural que rompe el equilibrio de un ecosistema, los efectos pueden ser positivos o negativos, dependiendo el grado de la perturbación y la respuesta del ecosistema.

El término régimen de incendios surge ante la necesidad de clasificar las características de la ocurrencia de los mismos, las cuales varían de un ecosistema a otro, ya sea espacial o/ temporalmente. Para entender un régimen de incendios es necesario saber dónde, cuándo (frecuencia, estacionalidad) y cómo (tamaño, intensidad y tipo) ocurren los incendios (Gill, 1975; Souza, 1984). Estos parámetros son los más utilizados para definir un régimen de incendios y son diferentes entre tipos de vegetación. No obstante, existen otros factores que se deben considerar como las causas de ignición, la asociación con las sequías, las características de los materiales combustibles, la duración de la combustión, la mortalidad de árboles, etc. En la actualidad, el estudio de los regímenes de incendios es un tema interesante para la comunidad científica por sus efectos y repercusiones. De acuerdo con la FAO (2023), el incendio (fuego) es un fenómeno natural importante en la dinámica de la mayoría de los ecosistemas. También, es una herramienta esencial en el manejo humano de tales sistemas, ya que suele ser un instrumento necesario para mantener la diversidad y la productividad en el tiempo.

Los regímenes naturales de incendios son modificados por la presencia del ser humano, el cual en algún momento de la prehistoria dominó su uso para diversos fines como la caza, la agricultura y la cocción de alimentos (Pausas y Keeley, 2009b; Bowman et al., 2011). Distintos ecosistemas alrededor del mundo sufren los efectos de los incendios provocados. Los regímenes de incendios forestales son diferentes en los distintos biomas del planeta. En el caso de los bosques tropicales (entre ellos la selva mediana subperennifolia presente en este municipio insular), poseen una de las tasas de precipitación anual más altas, lo que les permite conservar cierto nivel de humedad bajo el dosel, incluso en la temporada seca del año (Bush, Silman y Urrego, 2004), lo cual permite que el material forestal no sea tan vulnerable al fuego o que este no se propague en áreas extensas.

Esto es importante, ya que la variación de la temperatura y la precipitación influyen sobre el nivel de humedad del combustible. De acuerdo con la CONABIO (2023), las comunidades vegetales de la selva mediana subperennifolia tienen una baja probabilidad de incendio con baja recuperabilidad; es decir, rara vez se quema, pero su recuperación es difícil.

Sin embargo, la intervención de las actividades antrópicas en estos ecosistemas, ya sea a través de la explotación y/o aprovechamiento de los recursos forestales, el cambio de uso de suelo (en la península de Yucatán, principalmente para uso agrícola o ganadero), así como las actividades turísticas (las cuales son la principal actividad económica del municipio), incrementan las condiciones de vulnerabilidad del ecosistema a incendios forestales. Mención aparte, el cambio de condiciones climáticas a nivel regional y global, puede ser importante a futuro para esta región y está amenaza, si es que esto se traduce en un incremento de las temperaturas o cambio en el régimen (o volumen) de la precipitación. Además, un incremento en frecuencia o intensidad de la actividad ciclónica, puede comprometer la resiliencia de la vegetación ante eventos que puedan causar la combustión del material forestal. La velocidad del viento durante un ciclón, daña los árboles, derribando la hojarasca, ramaje y tronco al suelo, que son un gran combustible para futuros incendios. El viento también abre el dosel, llevando más luz al sotobosque, lo que puede promover el crecimiento de hierbas o arbustos que también son un buen combustible. Además, cuando el dosel se abre, hace que el sotobosque sea más seco, porque el dosel suele dar sombra al sol y encierra la humedad.

De acuerdo con información de Protección Civil del municipio (2023), en territorio insular no se ha presentado un incendio forestal desde 2008, gracias a los programas de mitigación de conatos y a la estrecha colaboración que se tiene con ejidatarios para calendarizar las quemas y que estas se realicen de forma controlada en los pastizales presentes (apenas el 2.5% del territorio de la isla, de acuerdo con la Cartografía de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI Serie VII), las cuales a pesar de no tener una presencia significativa del terreno, se encuentran distribuidas a forma de enclaves en varios sitios de la isla, lo cual representa un riesgo ante los

incendios forestales, ya que están alejados del núcleo urbano y se carece de un sistema de vigilancia en tiempo real.

#### 6.1.6.1. Marco teórico

##### Riesgo por incendio forestal

Las características de un incendio forestal dependen del medio en el que se generan. La biomasa acumulada determina el tamaño e intensidad de los incendios forestales (Cochrane et al., 1999; Stephens y Moghaddas, 2005; Ottmar et al., 2007), mientras que la humedad de la vegetación en pie y de la materia orgánica acumulada en el suelo determinan en gran parte la probabilidad de ignición y la expansión de un incendio (Keane, Burgan y van Wagtendonk, 2001; Koetz et al., 2008). Cuando las condiciones del tiempo son de poca o nula precipitación durante más de dos semanas, las condiciones se vuelven ideales para que se genere un incendio que dure varios días y que afecte un área grande de bosque (Holdsworth y Uhl, 1997; Laurance y Williamson, 2001).

En el contexto de este trabajo la calidad de sitio se define como la suma de factores físicos y biológicos que caracterizan un sitio geográfico y que permiten clasificarlo como favorable o desfavorable para que ocurra un incendio forestal (Daniel, Helms y Baker, 1979; Skovsgaard y Vanclay, 2008). Por lo tanto, la calidad de un sitio favorable para la ocurrencia de un incendio está fuertemente ligada con la humedad de la biomasa en pie y muerta. La sequía es un estado meteorológico que modifica la calidad de sitio al favorecer que la biomasa se seque y con ello se incrementen las condiciones para un incendio forestal. Las sequías promueven la pérdida de humedad del combustible acumulado en el suelo, provocan estrés hídrico en las plantas y dependiendo de su severidad pueden disminuir la productividad primaria o provocar la muerte de los individuos (Miller y Urban, 2000; Dale et al., 2001), por lo que el índice de condiciones meteorológicas para la ocurrencia de incendios forestales canadiense (FWI por sus siglas en inglés) considera a la humedad del mantillo como un factor determinante para que ocurra un incendio (Flannigan, Stocks y Wotton, 2000). Asimismo, Flannigan et al. (2005) encontraron que los factores que predicen mejor el área que se quema en un incendio forestal son los niveles

bajos de humedad en el suelo y su temperatura. Los sitios con estas características favorecen la incidencia de incendios por lo que se puede inferir que sitios con material combustible húmedo son poco propicios para un incendio, mientras que sitios con un material combustible seco sí lo son. A pesar de que se reconoce que los niveles de humedad son relevantes para la generación de un incendio, el papel que tienen diferentes tipos de suelos para retener la humedad y la evaluación de la calidad del sitio como factores determinantes que contribuyen a generar condiciones favorables para que ocurra un incendio forestal han sido poco estudiadas.

El riesgo de incendios en los bosques tropicales húmedos se incrementa cuando existe un disturbio natural o antropogénico que impide que se conserven los niveles de humedad habituales (Yocom y Fulé, 2012). Los bosques tropicales perennifolios son muy vulnerables al fuego debido a que la mayor parte de sus especies no poseen adaptaciones para tolerar o evadir el efecto de los incendios (Cochrane, 2001). Una diferencia importante entre los bosques tropicales húmedos y los secos es que en estos últimos el grosor de la corteza de los árboles es mayor, lo que les proporciona una ventaja adaptativa para sobrevivir a este disturbio (Brando et al., 2012). Las consecuencias son mayores si los incendios son recurrentes, ya que impiden la regeneración de la vegetación nativa y promueven la proliferación de plantas exóticas pioneras, lo cual incrementa a su vez el riesgo de que el área se quemara con mayor frecuencia (Cochrane, 2001).

#### **Procesos asociados a incendios forestales**

Las áreas más susceptibles a quemarse son aquellas donde la vegetación ha sido alterada, como en bosques fragmentados o en bordes de bosque maduro (Tabarelli, Da Silva y Gascon, 2004). El efecto de borde determina el microclima y la estructura de la vegetación al interior del parche de vegetación. La vegetación conservada posee una temperatura ambiental 15°C más baja y una tasa de evaporación menor que en sitios deforestados (Vazquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1982). Mientras que la humedad en la hojarasca es considerablemente más alta en comparación con un bosque conservado (Didham y Lawton, 1999). Estos cambios se pueden apreciar desde 40 hasta 100 m al interior

del fragmento de bosque, Harper et al. (2005) sugieren que la magnitud de la influencia del borde está relacionada directamente con la estructura y composición del bosque entre las comunidades adyacentes al borde. Al interior de los fragmentos los árboles tienen una talla más baja y presentan un mayor número de claros que la de un bosque conservado (Cochrane y Laurance, 2002). Además, difícilmente la mayor parte de las especies nativas de los bosques tropicales húmedos sobreviven en ambientes perturbados (Tabarelli, Peres y Melo, 2012). Por ello, las especies que predominan en los bosques perturbados por fuego son generalistas con nichos ecológicos más amplios y adaptadas al disturbio (Tabarelli, Da Silva y Gascon, 2004; Tabarelli et al., 2010). Es común observar que los incendios inducidos en este tipo de ecosistemas comiencen en la colindancia entre bosques y campos agrícolas o pastizales (Cochrane, 2003a). Los incendios forestales modifican la estructura forestal de la vegetación y permiten la proliferación de especies exóticas pioneras (Chazdon, 2003). Además, una vez que se presenta una quema se pueden presentar ciclos de retroalimentación positiva que induzcan a que se vuelvan a presentar incendios.

#### **6.1.6.2. Metodología**

Se evalúa la ocurrencia de incendios forestales en el territorio insular de Cozumel, Quintana Roo, de acuerdo con la propuesta metodológica de la Comisión Nacional Forestal CONAFOR: "Estimación Simplificada de la Amenaza por Incendios", para la determinación de un índice de peligro que señala la posibilidad de ocurrencia de incendios en una región determinada; para el cual se consideran tres componentes que son: combustibles forestales, condiciones meteorológicas y factores antropogénicos, a los cuales se les asigna un factor ponderado según el nivel de peligro que representa cada uno. Los tres componentes del peligro por incendios forestales son el combustible forestal, los aspectos meteorológicos y las causas que provocan el evento, los cuales se describen brevemente a continuación:

1. *Componente Combustibles Forestales.*- Este componente se encuentra determinado por tres parámetros: carga de combustibles compuesta por ligeros (cl) y pesados

(cp), y su profundidad también llamada profundidad del mantillo (pcc).

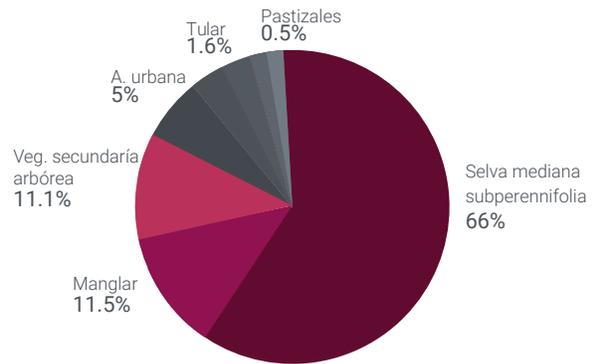
2. **Componente Meteorológico.**- Este componente tiene gran influencia en la determinación del índice de peligro, ya que de éste depende la humedad relativa y el contenido de humedad del material combustible y su recurrencia en los incendios forestales históricos.
3. **Componente de Causa.**- Es de gran importancia considerar los agentes causales de los incendios forestales para su integración en el presente modelo; sin embargo, se presenta una gran dificultad para representarlos espacialmente, por lo que se debe realizar un análisis de los rasgos geográficos asociados con actividades humanas; tales como distancia a vías de acceso al sitio de estudio, distancia a poblados, áreas sometidas a manejo forestal.

Una vez obtenidos los tres componentes que intervienen, se debe realizar un análisis espacial empleando SIG para que en forma de mapas se escenifique la zona de estudio y se vayan realizando las operaciones de los valores de cada componente para cada píxel con su valor de peligrosidad, y de esta forma obtener un mapa que indique la posibilidad de ocurrencia de un incendio forestal para una zona y un momento determinado.

### 6.1.6.3. Área de estudio

La isla de Cozumel tiene una superficie de 471.18 km<sup>2</sup>, de los cuales en su mayoría está ocupado por comunidades vegetales de selva mediana subperennifolia (310.84 km<sup>2</sup> de esta selva tropical en estado de conservación, 52.52 km<sup>2</sup> de vegetación secundaria arbórea y 5.72 de vegetación secundaria arbustiva), humedales (54.5 km<sup>2</sup> de manglar y 7.33 km<sup>2</sup> de popal), vegetación de dunas costeras (8.20 km<sup>2</sup>), pastizales con uso agropecuario (2.53 km<sup>2</sup>), áreas urbanas (23.68 km<sup>2</sup>) y áreas desprovistas de vegetación (6.20 km<sup>2</sup>), ver Figura 6.1.6.3-1, de acuerdo con la Cartografía de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI Serie VII.

Figura 6.1.6.3-1 Distribución porcentual del uso de suelo y vegetación en Cozumel, Q Roo.



A pesar de que la ocupación humana de la isla se puede rastrear al año 900 d.C por la cultura maya, los asentamientos modernos se remontan a la última mitad del siglo XIX, los cuales se concentran en el extremo noroeste de la isla, donde se asienta la mayor parte de la población y las actividades económicas. De acuerdo con INEGI (2023), para 2020 la isla tenía un total de 88,626 habitantes. Otros asentamientos humanos se encuentran distribuidos principalmente en la línea de costa occidental, aunque la ocupación de los mismos es variable, ya que tienen un uso turístico, por lo que la población es variable. En el sur y este de la isla, la ocupación humana es mínima y está limitada a unos cuantos caseríos. Al centro de la isla se realizan actividades ganaderas de baja escala (se tiene registro de ~30 ranchos con un inventario de al menos 300 cabezas de ganado).

### 6.1.6.4. Resultados

A continuación, se describen los tres componentes presentes en la isla de Cozumel:

1. **Componente Combustibles Forestales.** Corresponde al ecosistema de selva mediana subperennifolia, la cual se caracteriza porque sus elementos florísticos conservan su follaje todo el año, a excepción de algunas especies que tiran las hojas en la época seca del año, como *Bursera simaruba* (chaká, palo mulato), *Piscidia piscipula* (jabín), y *Lysiloma latisiliquum* (tzalam), entre otras. Este tipo de vegetación se distribuye ampliamente en todo el estado, principalmente en la parte sur, centro y litoral. Desarrolla diferentes estratos o niveles de vegetación, el arbóreo (que tiene

hasta tres rangos de altura), el arbustivo y el herbáceo; presenta además plantas epífitas.

El estrato arbóreo lo conforman árboles que presentan una altura media de 15 a 20 metros. Entre las especies arbóreas registradas destacan por su mayor frecuencia las siguientes: *Bursera simaruba*, *Piscidia piscipula*, *Lysiloma latisiliquum*, *Caesalpinia gaumeri*, *Pithecellobium albicans*, *Vitex gaumeri* y *Gymnopodium floribundum*.

En el Figura 6.1.6.4-1 se muestra la distribución de la selva media subperennifolia, la cual se encuentra preferentemente al centro de la isla, mientras que en los límites con el área urbana y el litoral, se encuentra el ecosistema fragmentado, predominando la vegetación arbórea. El único parche de vegetación arbustiva se encuentra colindante al pastizal cultivado. Como se mencionó líneas arriba, este ecosistema es catalogado por la CONABIO como de riesgo medio, pero alta vulnerabilidad por la gran cantidad de especies endémicas.

2. Componente Meteorológico.- El clima en la Isla de Cozumel es del tipo Am (f) temperatura media anual de 22 a 26° C, cálido húmedo con abundantes lluvias en verano según el sistema modificado de Köppen (García, 1973). De acuerdo con la información meteorológica disponible, las temperaturas más altas se presentan en los meses de julio y agosto (31.5° C.). De acuerdo con la vigilancia de CONABIO a través de su Sistema de Alerta Temprana de Incendios, en el periodo 2017-2023 se contabilizaron 30 “puntos calientes” de los cuales la mayoría coinciden con la vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia.
3. Componente de causa.- A través de la información obtenida del Directorio Nacional de Actividades Económicas de INEGI se identificó un total de 44 actividades económicas en áreas propensas a generar un conato de incendio.

A partir de la metodología aplicada, se concluye que la comunidad vegetal más propensa (peligro medio) a incendio forestal es la vegetación secundaria arbórea de selva mediana

subperennifolia, así como los pastizales, ver Figura 6.1.6.4-4. Aunque el municipio de Cozumel se ha distinguido en los últimos tres lustros por su exitoso programa para controlar incendios, se recomienda fortalecer el mismo a través de la integración de información cuasi en tiempo real, por ejemplo, del Sistema de Alerta Temprana de Incendios de CONABIO, para identificar patrones espaciales o tendencias temporales, principalmente en las áreas catalogadas por este trabajo como de peligro medio y bajo.

Si bien la agricultura y ganadería no son relevantes en la economía de la isla, se recomienda seguir trabajando de cerca con los ejidatarios, para calendarizar y monitorear prácticas de alto riesgo como la quema-roza-tumba, en los pastizales del centro y suroeste de la isla. Igualmente, se recomienda diseñar un programa para las actividades económicas que se realizan al interior de la selva, principalmente aquellas que tienen que ver con los servicios turísticos, para que cuenten con un programa de control de incendios, esto debido a los antecedentes en los últimos años de conatos o incendios en algunos hoteles de la zona.

### 6.1.7. Tsunami

El término tsunami es japonés (tsu: puerto, nami: ola); internacionalmente se usa para designar el fenómeno que en español se denomina maremoto y el cual es una ola o un conjunto de olas generado por el repentino desplazamiento vertical de una columna de agua (CENAPRED, 2005).

Son fenómenos naturales complejos que producen secuencias de olas por efecto, predominantemente, de terremotos que ocurren cerca o en el fondo marino. Estas olas pueden alcanzar grandes alturas que provocan efectos destructivos, pérdida de vidas y daños a la infraestructura; la mayoría de estos eventos se generan en la costa del Pacífico debido a los movimientos de subducción entre las placas tectónicas.

Un tsunami, es una serie de ondas de período largo que se producen por una perturbación a gran escala en un tiempo muy corto, generadas en el fondo del océano. Puede arribar a las costas cercanas con gran altura y provocar

Figura 6.1.6.4-1 Comunidades vegetales sensibles a incendio forestal en el área de estudio

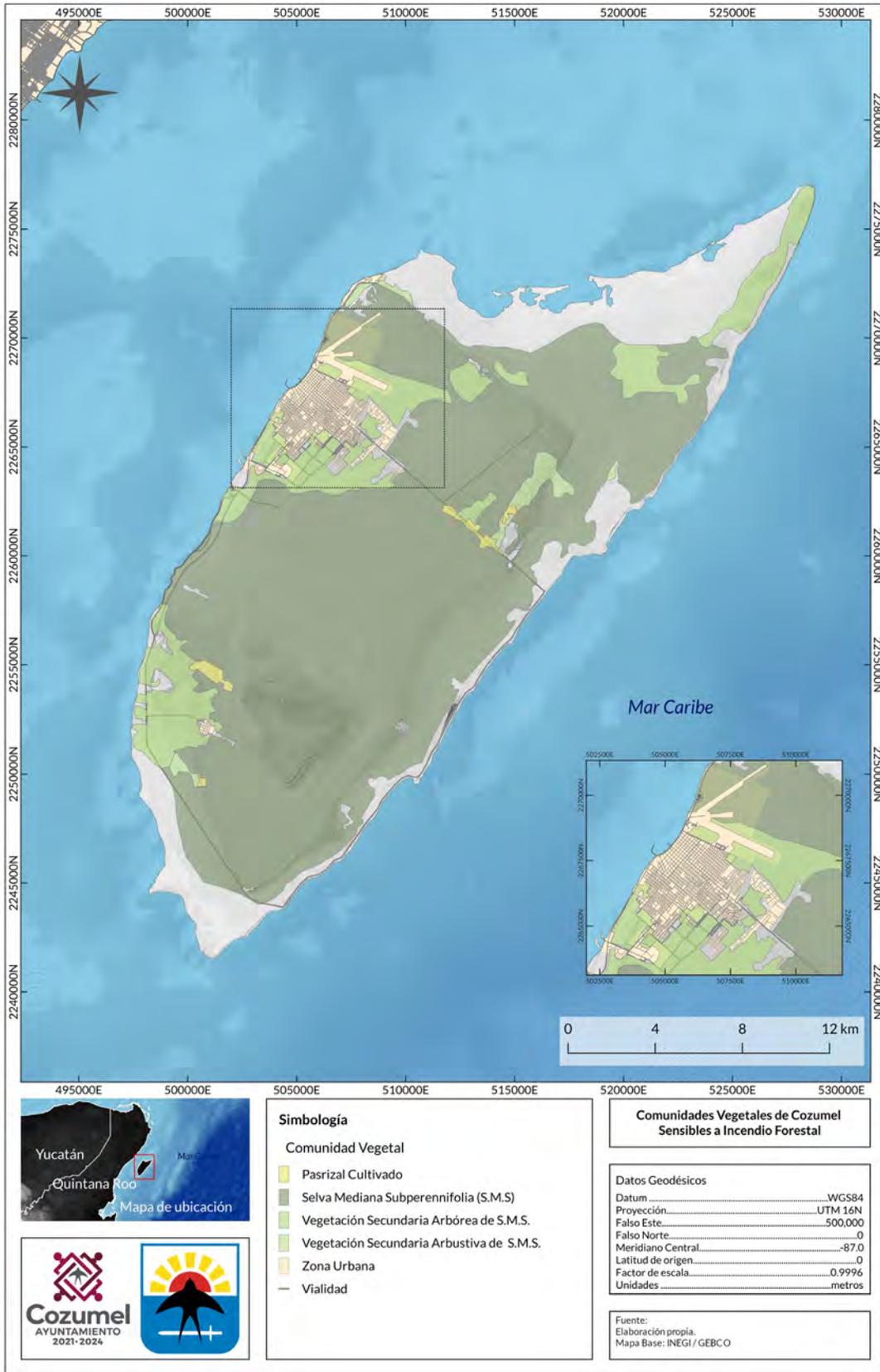


Figura 6.1.6.4-2 Puntos de calor detectados a través de monitoreo satelital por el Sistema de Alerta Temprana de Incendios de CONABIO

Atlas de riesgos por fenómenos naturales y vulnerabilidad ante el cambio climático en Cozumel, Quintana Roo | Capítulo 6: Identificación de amenazas, peligros, vulnerabilidad y riesgos ante fenómenos perturbadores

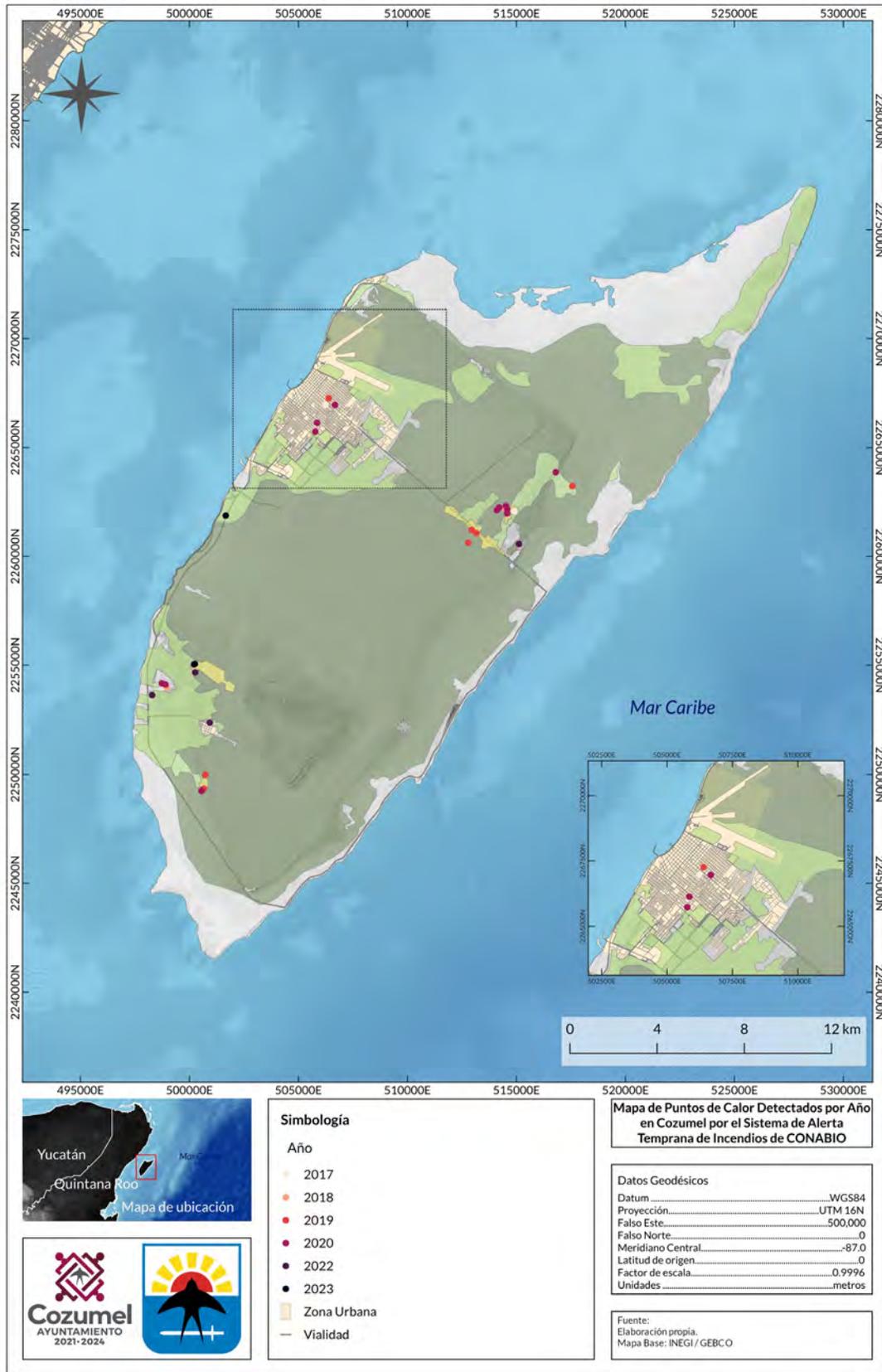


Figura 6.1.6.4-3 Actividades económicas identificadas como posibles fuentes de conato de incendio

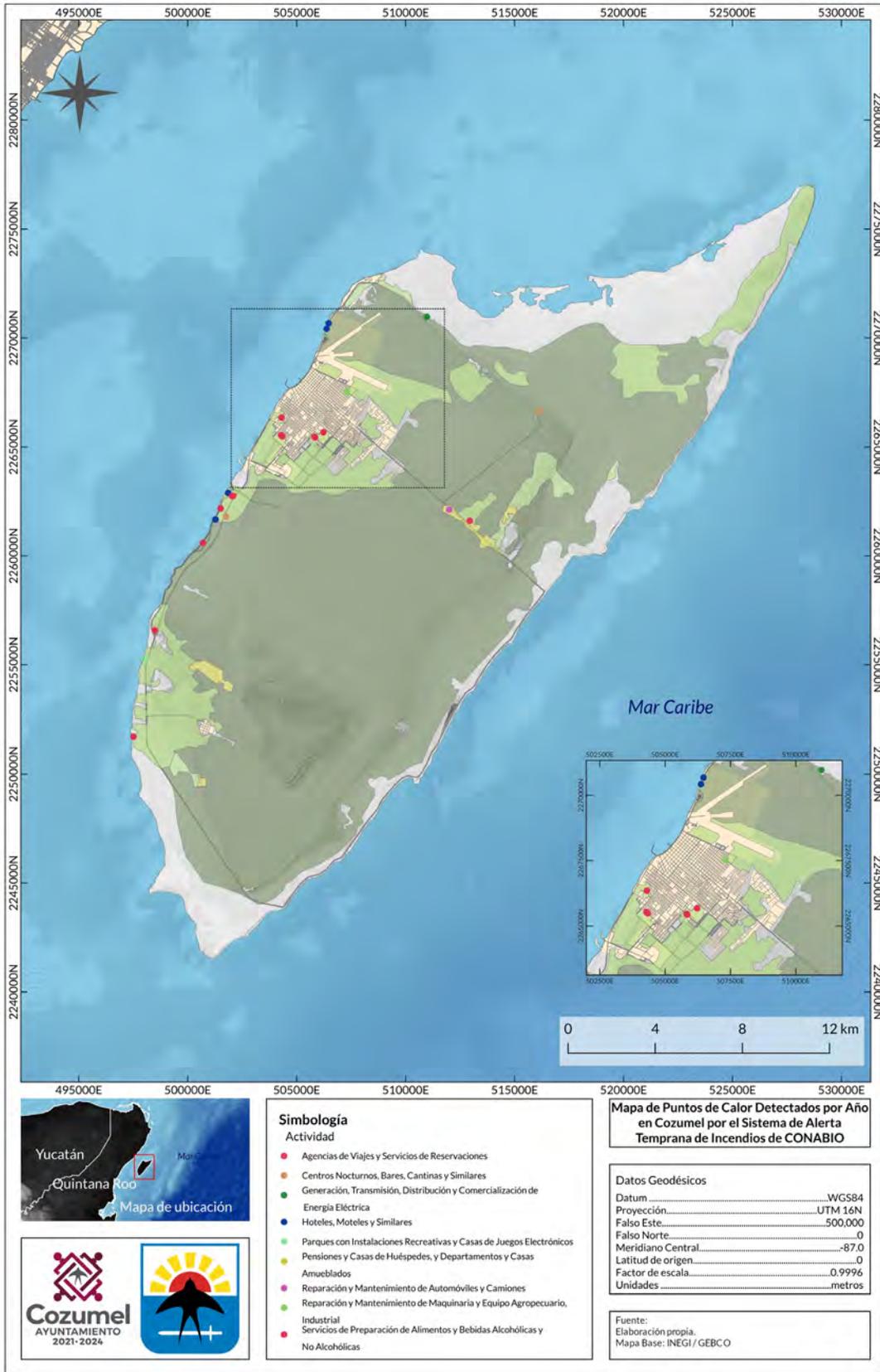
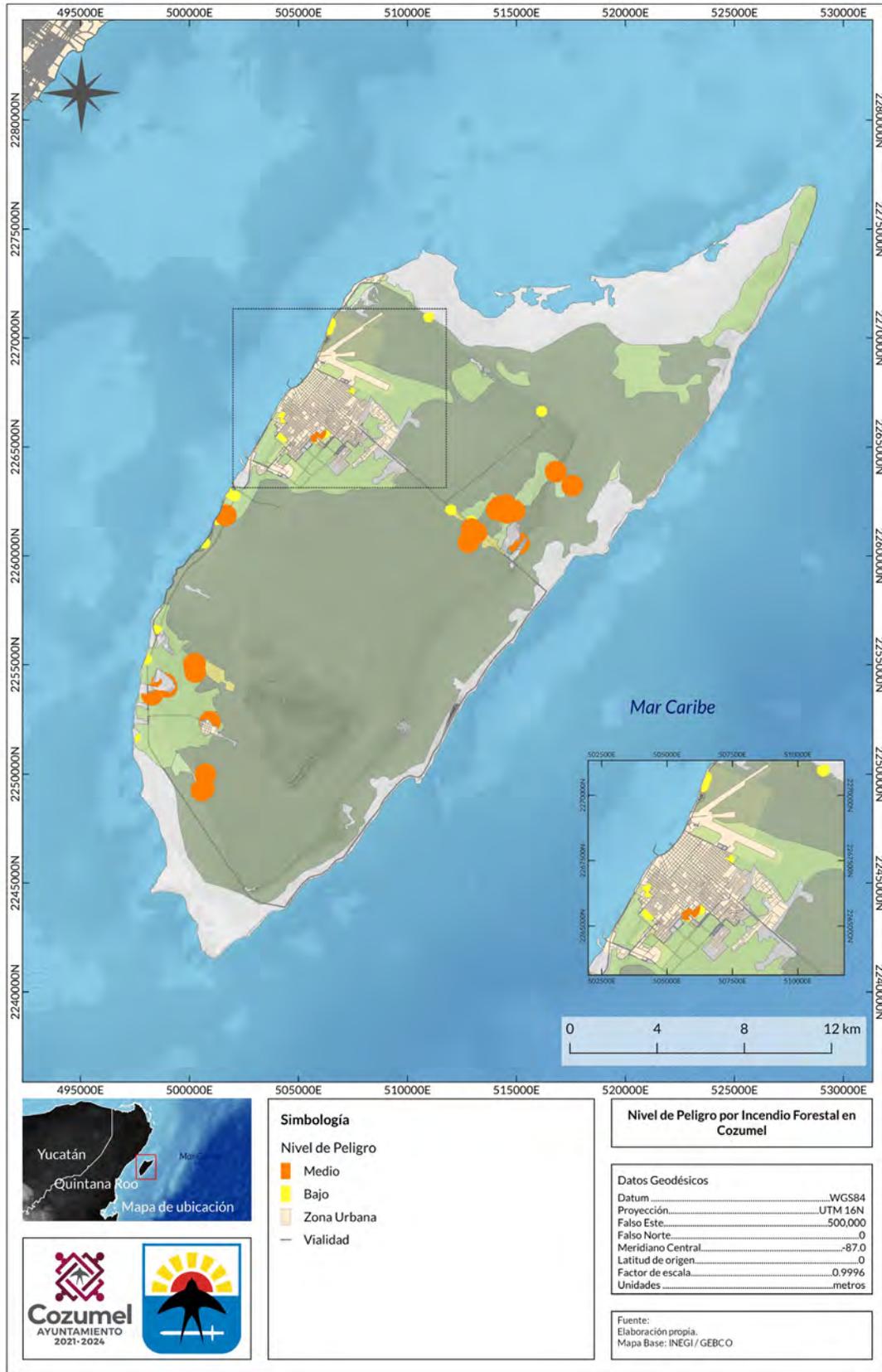


Figura 6.1.6.4-4 Clasificación del peligro para incendio forestal en Cozumel, Q Roo.

Atlas de riesgos por fenómenos naturales y vulnerabilidad ante el cambio climático en Cozumel, Quintana Roo | Capítulo 6: Identificación de amenazas, peligros, vulnerabilidad y riesgos ante fenómenos perturbadores



efectos destructivos: pérdida de vidas y daños materiales, por lo tanto, el entendimiento de este tipo de fenómenos es de particular importancia. Estas series se desplazan a una velocidad de 700 km/h con longitudes de onda muy extensas, por lo tanto, pueden afectar costas muy alejadas del sitio de origen.

El modelado de tsunamis incluye, al menos, tres diferentes etapas:

- La generación.
- Propagación o tiempo de viaje de la ola.
- La altura máxima del impacto de la ola y máxima inundación (run up).

Los tsunamis son producidos por diferentes tipos de agentes perturbadores, entre los que destacan; los sismos en zonas de subducción, los procesos de remoción de masas, las erupciones volcánicas en el fondo del mar y la caída de meteoritos en el océano (CENAPRED, 2006).

Las erupciones en el fondo del mar son abundantes y frecuentes, particularmente en las dorsales oceánicas. Sus efectos dependen del tamaño de la erupción y no son frecuentes generadores de tsunamis. La mayoría de los volcanes activos en el fondo oceánico se localizan en el océano Pacífico, y aunque también existen algunos en el Atlántico y en el mar Caribe, se estima que su peligrosidad es muy relativa como para generar tsunamis (UNESCO, 2005).

La principal causa de tsunamis son sismos fuertes producto de la ruptura de la corteza a lo largo de las zonas de subducción y donde se desplazan las placas tectónicas en el fondo marino, las cuales ocasionan una deformación del fondo marino producen que el agua del océano pierda su dinámica habitual y es impulsado fuera del borde costero. Es importante señalar que no todos los sismos generan tsunamis, sino sólo aquellos que ocurren bajo el fondo marino y son capaces de deformarlo (UNESCO, 2005).

Los tsunamis son un fenómeno natural poco frecuente. En los últimos 100 años, 58 de ellos han cobrado más de 260,000 vidas o un promedio de 4,600 por desastre, superando a cualquier otro riesgo natural.

El tsunami más mortífero de la historia ocurrió en diciembre de 2004 en el Océano Índico consecuencia de un sismo Mw 9.0 frente a las costas de Sumatra, se estima que este causo el deceso de 227000 personas, en 14 países. En marzo de 2011 en frente a las costas de Japón se registró un sismo Mw 8.9, el cual causo el deceso de unas 19000 personas (Pesaresi et al., 2017).

La interacción de las olas de los tsunamis con la costa es muy compleja, depende de la altura de las olas en mar abierto, la batimetría, la pendiente del fondo marino, la refracción, la reflexión, la configuración del contorno de la costa y el atrapamiento de las olas en ese contorno. Todos estos factores influyen para que sea difícil hacer una evaluación del comportamiento del arribo de las olas de un tsunami, ya que esto puede variar en distancias cortas (CENAPRED, 2005).

Por su origen, los tsunamis se clasifican, de la siguiente manera:

- Tsunamis locales. El lugar de arribo a la costa está muy cercano o dentro de la zona de generación del maremoto; por tiempo de desplazamiento: a menos de una hora.
- Tsunamis regionales. El litoral afectado está a menos de 1,000 km, o a pocas horas de viaje de la zona de generación.
- Tsunamis lejanos (Remotos, transpacíficos o teletsunamis). El sitio de arribo está muy alejado, a más de 1,000 km de distancia de la zona de generación, a aproximadamente medio día o más de viaje.

La gran mayoría de los tsunamis son una consecuencia de los sismos que ocurren en el contorno costero, siendo el Océano Pacífico donde se han presentado en mayor número de veces, esto debido a las condiciones tectónicas que se presentan en este lugar, algunos ejemplos son tsunamis originados en Chile, Alaska, México y otros países en la región que han impactado en las costas del Pacífico.

El territorio nacional se localiza en el Cinturón Circumpacífico, considerada como la región con mayor sismicidad de todo el mundo (Ramírez, 2020). En nuestro país, el choque de las placas oceánicas de Cocos y Rivera contra la placa

continental norteamericana genera sismos de gran magnitud con tiempos de recurrencia relativamente cortos y con alto potencial tsunamigénico (ver Figura 6.1.7-1).

Si bien los tsunamis son un peligro natural relativamente menor en el Caribe, el potencial que tienen de perturbar la vida pública y privada y destruir propiedades en el área puede mitigarse si se llevan a cabo preparativos apropiados basados en la historia disponible de este peligro en la región (Lander et al., 2002).

En la región del Caribe la actividad tectónica si bien es dinámica, no es muy importante, pero para los fines del presente estudio, consideraremos la posibilidad de la generación de un tsunami. De acuerdo con registros históricos, evidencias geológicas y otros datos obtenidos para el periodo de 1492 a 2000, existen registros de 91 tsunamis, de los cuales 27 se han considerado efectivamente asociados a ese tipo de eventos, nueve de ellos son posibles y 53 muestran registros dudosos o incompletos que permiten creer que tal vez los daños pudieron ser causados por otros fenómenos, aunque no se pudo descartar la posibilidad de un tsunami (Lander et al., 2002).

En una colaboración de la COI de la UNESCO con la NOAA, los Centros Nacionales de Información Ambiental (NCEI) de la NOAA junto con el Sistema Mundial de Datos (WDS) Geofísicos y el Centro Internacional de Información sobre los Tsunamis (ITIC), han diseñado un mapa que muestra los tsunamis históricos y sus alturas observadas para las zonas del Caribe, Centroamérica, México y regiones adyacentes. La información que contiene el mapa, proviene del NCEI y de la base de datos de tsunamis históricos del WDS que incluye las fuentes de tsunamis de todo el mundo desde 1610 a.C. hasta marzo UNESCO, ICO-NOAA, 2023

En el mar del Caribe y en el océano Atlántico, se muestran un total de 58 eventos de tsunami confirmados: 42 de ellos generados por terremotos, 7 por deslizamientos de tierras provocados por terremotos, 5 por volcanes, 2 por volcanes que generaron deslizamientos de tierras, 1 por volcán de lodo, y 1 por deslizamiento de tierra submarino. Se recogen aproximadamente 400 registros de runup para el mar Caribe, océano Atlántico y golfo de México (ver Figura 6.1.7-2).

Figura 6.1.7-1 Mapa de peligro por tsunami (Ramírez, 2020).

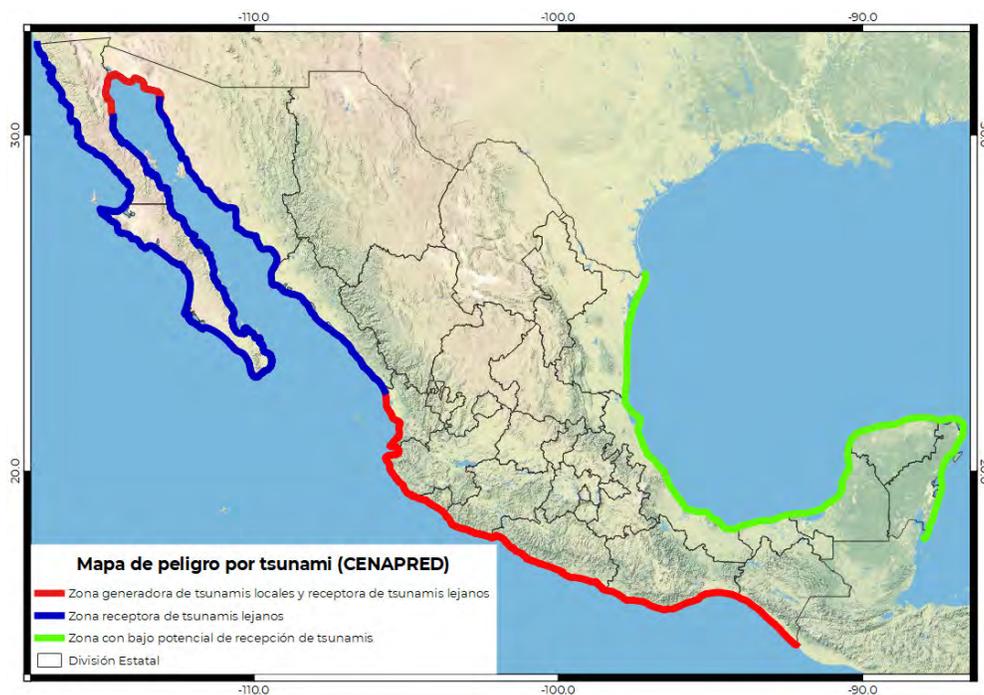
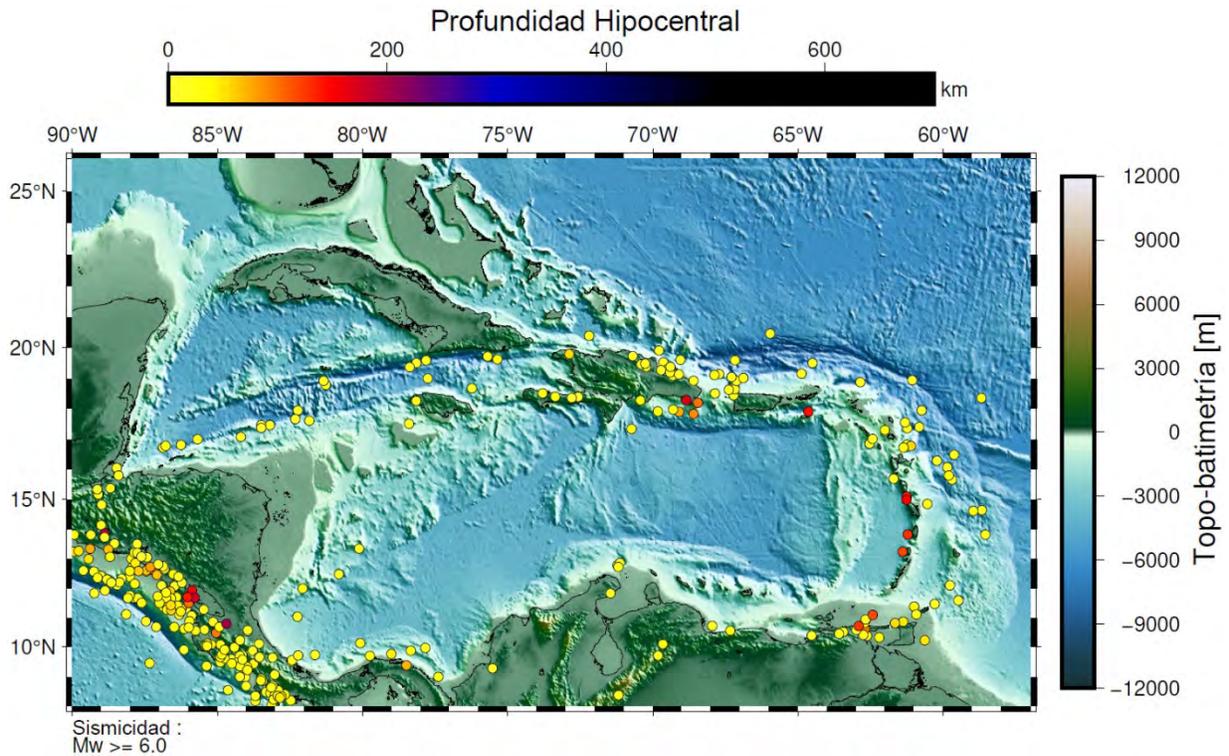


Figura 6.1.7-2. Tsunamis Históricos (desde 1610 hasta el año 2023) Caribe, Centroamérica, México y Regiones Adyacentes (UNESCO, ICO-NOAA, 2023).



Figura 6.1.7.2-1. Principales sismos con  $M > 6$  en el Caribe de 1900 a 2023 (Lallemand & Heuret, 2017).



Atlas de riesgos por fenómenos naturales y vulnerabilidad ante el cambio climático en Cozumel, Quintana Roo | Capítulo 6: Identificación de amenazas, peligros, vulnerabilidad y riesgos ante fenómenos perturbadores

### 6.1.7.1. Metodología

En la práctica existen dos métodos para caracterizar el peligro por tsunamis, el primero de ellos es el cálculo de la amenaza usando el método determinista en el cual se considera el evento máximo creíble (MCE) que puede afectar a una área o zona de interés, y el enfoque probabilista para distintos periodos de retorno.

Este tipo de evaluaciones determinísticas consideran los catálogos de tsunami en una región de estudio para aproximarse de forma certera al evento máximo más probable (MCE), la altura de ola en los puntos de interés, modelos de fuente e hidrodinámicos complejos acorde a los recursos computacionales disponibles. Modelar el escenario máximo creíble es útil para evaluar áreas de inundación y planificar rutas de evacuación (DTHA, por sus siglas en inglés).

La Evaluación Probabilística de Peligro de Tsunami (PTHA, por sus siglas en inglés) modela la frecuencia con la que ocurren tsunamis de cualquier tamaño. La PTHA también proporciona datos de tsunamis modelados para un gran número de escenarios de terremotos generadores de tsunamis (Aránguiz et al., 2016), para nuestra zona de interés en el mar Caribe, para lo cual se realizó el siguiente análisis:

- La recopilación de información topográfica y batimétrica para el municipio de Cozumel.
- Se recabo información de relaciones Gutenberg-Richter (G-R), para cada fuente seleccionada con posibilidad de generación de tsunami en el Caribe.
- Se elaboraron mapas probabilidades de exceder umbrales de altura de ola para distintos periodos de retorno (5, 10, 25, 50, 100, 250, 750 y 1000 años).

### 6.1.7.2. Distribución de la ocurrencia

Los análisis probabilísticos de eventos naturales en una región son altamente demandantes debido a la recolección y generación de parámetros que se requieren para caracterizar las amenazas, pero son un componente clave de cualquier evaluación integral de peligros. Los terremotos o sismos fuertes en las zonas de subducción, son

la causa principal de los tsunamis más grandes. Si bien, no todos los sismos producen tsunamis, en el Caribe los principales tsunamis registrados tienen su origen en el fenómeno geológico sísmico, en la Figura 6.1.7.2-1 (Lallemant & Heuret, 2017), se muestran los sismos fuertes con Magnitud > 6.0.

Los análisis probabilísticos de peligro por tsunamis están estrechamente relacionados con el análisis sísmico probabilista (Esteve, 1968), (Cornell, 1968), y se están convirtiendo en una herramienta que se usa con mayor frecuencia, no obstante, también involucra retos como, la clasificación de los eventos, los periodos de retorno seleccionados, las fuentes con potencial generador de tsunamis, así como los relacionados con los análisis probabilísticos y las incertidumbres que estos ostentan.

El Análisis Probabilísticos de Peligro por Tsunami PTHA (por sus siglas en inglés) tiene como objetivo evaluar la probabilidad de que una determinada “medida de intensidad” de peligro de tsunami sea superado en un determinado periodo de retorno, las medidas estas medidas pueden ser la altura de ola en la línea de costa o las zonas de inundación.

El PTHA se basa en simulaciones numéricas de tsunamis a partir de un modelo de fuente sísmica probabilística. Debido a las incertidumbres para predecir la ocurrencia de un sismo son muy elevadas se hace uso del análisis probabilístico de peligro sísmico para tomar en cuenta las distintas incertidumbres involucradas.

### 6.1.7.3. Caracterización de las fuentes

Un paso fundamental en el estudio del análisis de peligro sísmico probabilista PSHA, es conocer la frecuencia y severidad con la que se podrían presentar los eventos sísmicos dentro de una misma fuente. Para esto, se puede considerar que los sismos tienen la misma probabilidad de ocurrencia dentro de la geometría de la fuente, y si la recurrencia (magnitud vs. frecuencia), observada en los catálogos sísmicos, es suficiente para predecir los eventos en cualquier lapso de tiempo o se empleara un catálogo sintético (Leonardo, 2013).

Figura 6.1.7.3-1. Clasificación de zonas sísmicas con potencial tsunamigénico (UNESCO et al., 2017).



Como primer paso se requiere contar con información de las fuentes sísmicas que contribuyen al peligro sísmico con potencial generador de tsunamis para las zonas de estudio, en términos de su geometría y sismicidad.

Los criterios para determinar los límites de las fuentes sísmicas incluyen revisiones detalladas de información sobre la configuración tectónica, fallas activas, características focales y/o patrones de fallamiento y catálogos de sismos históricos e instrumentales que permitan conocer las características de los eventos que rigen la sismicidad en la zona de estudio (Zuñiga, 1997).

En este estudio se utilizó la información del Caribbean and Adjacent Regions Tsunami Sources and Models (CATSAM). Los escenarios presentados en CATSAM fueron definidos por varios grupos de expertos en sismología, tsunamis y modelización de tsunamis. Los escenarios se basaron en eventos históricos y/o datos tectónicos y geodésicos (ver Figura 6.1.7.3-1). Aunque algunos escenarios tienen una baja probabilidad de ocurrencia, deben tenerse en cuenta a efectos de preparación. Los escenarios que muestran la magnitud del momento ( $M_w$ ) en cada plano corresponden a ese plano, no al escenario compuesto

Con la definición de las geometrías de cada fuente, se evaluó el tamaño de los sismos que

la fuente puede generar y su ocurrencia con el paso del tiempo. Para determinar su sismicidad se hace uso de catálogos de registros sísmicos (actuales e históricos) de eventos ocurridos sobre la geometría de las fuentes definidas (UNESCO et al., 2017). Una hipótesis importante de la cual parten los estudios para definir la sismicidad de una fuente es que la relación de recurrencia sísmica (magnitud vs frecuencia) obtenida a partir de datos observados en el pasado, es correcta para predecir la sismicidad futura de la fuente (Leonardo, 2013).

Uno de los modelos de recurrencia sísmica más comúnmente usados, es el modelo propuesto por Gutenberg – Richter (1944), quienes estudiaron datos de sismos ocurridos en el sur de California durante un periodo de tiempo. Ellos organizaron los datos de acuerdo con el número de sismos que excedían diferentes magnitudes presentadas durante un determinado intervalo de tiempo y dividieron el número de excedencias de cada magnitud con respecto a dicho intervalo, obteniendo de esta manera una tasa media anual de excedencia, de un sismo de magnitud. Cuando graficaron el logaritmo de la tasa anual de excedencia de los sismos ocurridos en el sur de California, observaron una relación lineal. El resultado del modelo de recurrencia sísmica de Gutenberg – Richter se expresa como:

$$\log \lambda_m = a - bm$$

Donde  $\log \lambda_m$  es la tasa anual de excedencia de la magnitud  $m$ , el coeficiente representa el logaritmo del número total de sismos que tienen magnitud mayor o igual a cero, el coeficiente  $b$  es un parámetro que describe la probabilidad relativa de ocurrencia de sismos de magnitudes altas y bajas. Los coeficientes  $\alpha$  y  $b$  se obtienen generalmente mediante la regresión de la base de datos correspondientes a la sismicidad de la fuente de interés.

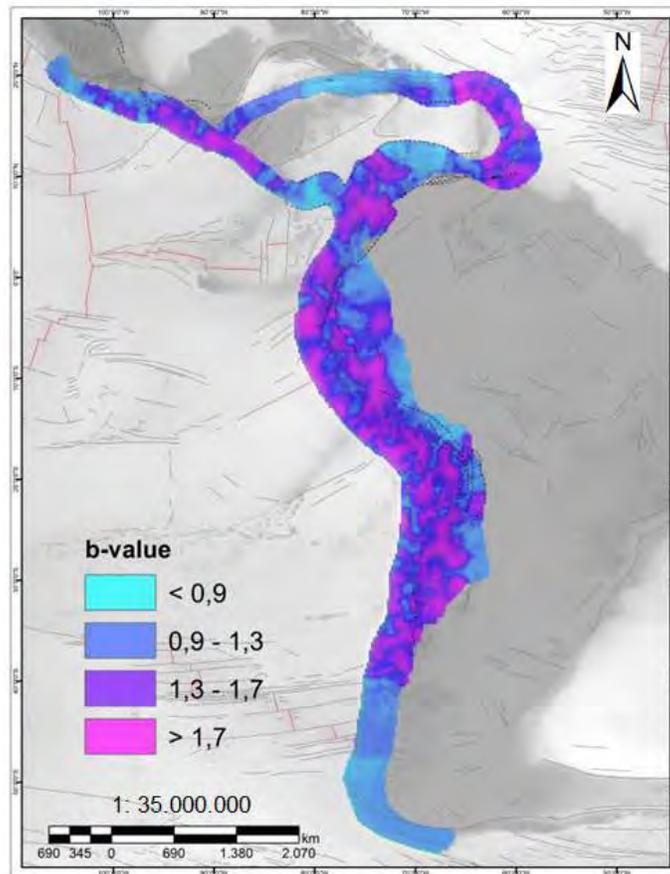
En este análisis, se tomaron los resultados de la evaluación sismotectónica y la función de Distribución Frecuencia – Magnitud (DFM) según la relación empírica de Gutenberg-Richter, del trabajo de Treviño, 2017, donde se realiza la estimación de la amenaza sísmica causada por el proceso de subducción y su impacto sobre los asentamientos humanos para la región de América Latina y el Caribe (ver Figura 6.1.7.3-2).

#### 6.1.7.4. Modelo de propagación de tsunamis

La simulación matemática puede modelar las características más importantes del desarrollo del tsunami y eventualmente los escenarios de inundación plausibles para el caso de poblaciones costeras. Utilizando la información de la sección anterior se generan modelos computacionales de tsunamis de los sismos propuestos con diferentes magnitudes  $> M_0$ .

Además, se necesitó los modelos de elevación digital de la zona de estudio en coordenadas geográficas (Latitud, Longitud), del mapa ETOPO-1 del sitio web WorldWide Data, estos modelos permitieron realizar la malla en el área de influencia y así poder asignar las condiciones iniciales del tsunami, finalmente con estos resultados se pueden seguir planteando proyectos en otras áreas de interés en costas mexicanas, ya que pueden ser una herramienta importante en la investigación de los tsunamis y sus comportamientos en zonas costeras.

Figura 6.1.7.3-2. Mapa de distribución espacial del parámetro  $b$  (Treviño, 2017).



### 6.1.7.5. Generación y modelado de tsunamis

El modelado de tsunami incluye, al menos, tres diferentes etapas:

- La generación de la dislocación cosísmica.
- Tiempo de viaje de la ola generada por la deformación del fondo oceánico.
- La altura máxima de ola, en la línea de costa de las ciudades seleccionadas, el modelado de la inundación con esta información se revisará en otro proyecto.

De acuerdo con lo anterior la selección de un método numérico para resolver el sistema de ecuaciones de gobierno, debe realizarse teniendo en cuenta que éste pueda representar esas características.

La **magnitud de un tsunami** se puede medir de varias maneras: por la altura del runup, por la profundidad de la inundación o por la altura del tsunami en la costa. Para conocer dichos parámetros se debe considerar la condición inicial del evento sísmico que genera un desplazamiento de la superficie marina seguida del desplazamiento vertical.

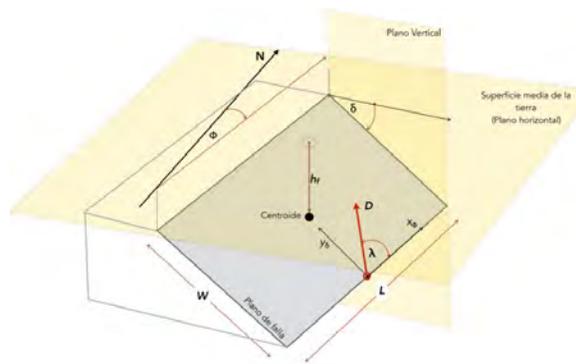
Para determinar el desplazamiento vertical cosísmico, se usa un modelo de deformación elástica de la fuente generadora, que asume la ruptura de un simple plano de falla rectangular (Okada, 1985). En la Figura 6.1.7.5-1 se muestra un modelo esquemático del plano de falla y los parámetros que los componen.

Dónde:

- El **área de ruptura (en azul)** se mide en el plano de falla, y se define la longitud  $L$  y ancho  $W$  de ruptura, generalmente en metros o kilómetros.
- El **hipocentro o foco** es la zona en el interior de la Tierra donde inicia la ruptura usualmente al centro del plano de falla.
- **Epicentro**, es el punto situado directamente encima del hipocentro proyectado en la superficie media de la tierra.

- **Profundidad focal  $pf$**  es la distancia entre el hipocentro y el epicentro.
- **Strike o Rumbo  $\Phi$**  es el ángulo de orientación de la falla medido desde el borde superior en un plano horizontal con sentido de las manecillas del reloj y origen en el Norte geográfico, los valores del ángulo se suelen establecer entre  $0-360^\circ$ .
- **Dip o buzamiento  $\delta$** , es el ángulo de inclinación al cual el plano cae hacia abajo desde el borde superior. Angulo positivo entre  $0$  y  $90$  grados.
- **Slip o desplazamiento promedio  $D$** : distancia en el que el bloque superior se mueve con relación al bloque inferior, en la dirección especificada por el ángulo rake.
- **Rake o ángulo de deslizamiento  $\lambda$** , y que describe la dirección del movimiento o desplazamiento (slip) relativo del bloque superior, respecto del bloque inferior de la falla, considerado este último como quieto.

Figura 6.1.7.5-1. Modelo esquemático del plano de falla de una fuente sísmica y los parámetros que los componen (Aránguiz et al., 2016).



El modelo de Okada genera una geometría de deformación del suelo marino, obteniendo un desplazamiento uniforme del sólido sobre una superficie finita con los parámetros mencionados anteriormente. Esta deformación es utilizada solo como una aproximación, ya que raramente el suelo marino es plano y muchos de estos parámetros son promedios o datos obtenidos desde observaciones externas (Aránguiz et al., 2016).

El desplazamiento medio de los bloques (dislocación) se calcula mediante la expresión propuesta por (Allen & Hayes, 2017), y que son similares a las de (Kanamori, 1972). Dicha expresión relaciona la magnitud  $M_w$  con el largo  $L$ , el ancho  $W$ , la dislocación  $d$  y el módulo de rigidez al cortante  $\mu$ , utilizando un coeficiente de ajuste  $A$ . Se determinó las dimensiones de ruptura  $L$  y  $W$  de los sismos utilizados en cada una de las simulaciones realizadas en este proyecto.

Utilizando la caracterización geométrica y parámetros de las fuentes de subducción (Zúñiga et al., 2017) y las tasas de excedencia de magnitudes obtenidas de forma estocástica para considerar tiempos de cientos a miles de años con potencial generado de tsunamis, a cada evento se le asignan coordenadas aleatorias, y se verifican que dicha coordenada pueda contener las características de ruptura  $L$  y  $W$  del sismo asignado.

Por otra parte, para la generación del modelado de propagación del tsunami originado por una dislocación sísmica en el fondo marino

anteriormente descrito, se utilizó la herramienta, denominada EasyWave, la cual fundamenta el modelado a través de los parámetros de la falla sísmica, donde se asume un desplazamiento instantáneo de la superficie del mar. Dicho desplazamiento cosísmico se modela de acuerdo con el modelo clásico de Okada, 1985, para la ruptura rectangular de deslizamientos uniformes en un medio espacio homogéneo. Para lo cual se deberá considerar una regla general fundamental: la falla (de subducción) debe estar suficientemente definida. Por ejemplo, uno puede literalmente especificar todo el conjunto de parámetros de Okada: ubicación ( $x$  e  $y$ ), profundidad (depth), longitud de ruptura  $L$ , ancho de ruptura  $W$ , deslizamiento (slip), dirección (strike), ángulo de inclinación o buzamiento (dip) y ángulo de desplazamiento (rake) y la magnitud del momento ( $M_w$ ) del sismo. Para obtener la longitud de ruptura  $L$ , ancho de ruptura  $W$ .

De los eventos ya mencionados, se seleccionarán algunos para realizar las simulaciones de propagación de la ola, con el cual se obtiene la altura y tiempo de arribo de la ola en sensores distribuidos en Cozumel (ver Figura 6.1.7.5-2).

Figura 6.1.7.5-2. Sensores hipotéticos distribuidos en Cozumel.



Para reducir aún más la lista de eventos, primero, se seleccionaron los eventos más significativos, es decir, los de mayor magnitud y que a su vez, estuviesen distribuidos a lo largo de la zona del Caribe (Lallemant & Heuret, 2017), de tal manera que se pudiese abarcar lo más que se pueda de la misma; lo anterior debido a que facilitará la realización de las simulaciones faltantes.

### 6.1.7.6. Resultados

Las simulaciones como las observadas en la Figura 6.1.7.6-1, para cada evento hipotético con capacidad para generar tsunamis, se llevaron a cabo para conocer la altura de ola para después correlacionar esos parámetros con una tasa de excedencia de altura de ola  $h$  de los eventos con potencial de generación de tsunamis.

El propósito de un Análisis Probabilístico de Peligro por Tsunami PTHA es encontrar la probabilidad de que se exceda un nivel de inundación  $I$  o altura de ola  $h$  y se usan para conocer el de peligro de tsunami, expresada como una curva de peligro, que muestra como la intensidad de excedencia del peligro en función de la probabilidad, con la probabilidad a menudo

expresada como una tasa de excedencia por año (Jaimes et al., 2016).

Finalmente, se presentan los escenarios de peligro por tsunami, asociado a sismos con epicentro en la región del Caribe para el municipio de Cozumel y con períodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100, 250, 750 y 1000 años (ver mapas 6.1.7.6.-2 a 6.1.7.6-9).

Los resultados demuestran que las costas de Quintana Roo, debido a su ubicación y a la ausencia de sismos de gran magnitud cercanos a la región, no tienen un nivel de riesgo por tsunami importante. Esto es debido a que la máxima altura modelada es de 1.57 m para los períodos de 250, 750, y 1000 años.

## 6.1.8. Origen antropogénico

### 6.1.8.1. Químico-tecnológico

De acuerdo con el artículo 2 de la LEY GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL se define a los Fenómeno Químico-Tecnológico como Agente perturbador que se genera por la acción violenta de diferentes

Figura 6.1.7.6-1. Ejemplos de resultados obtenidos de simulaciones de sismos hipotéticos en la zona del Caribe.

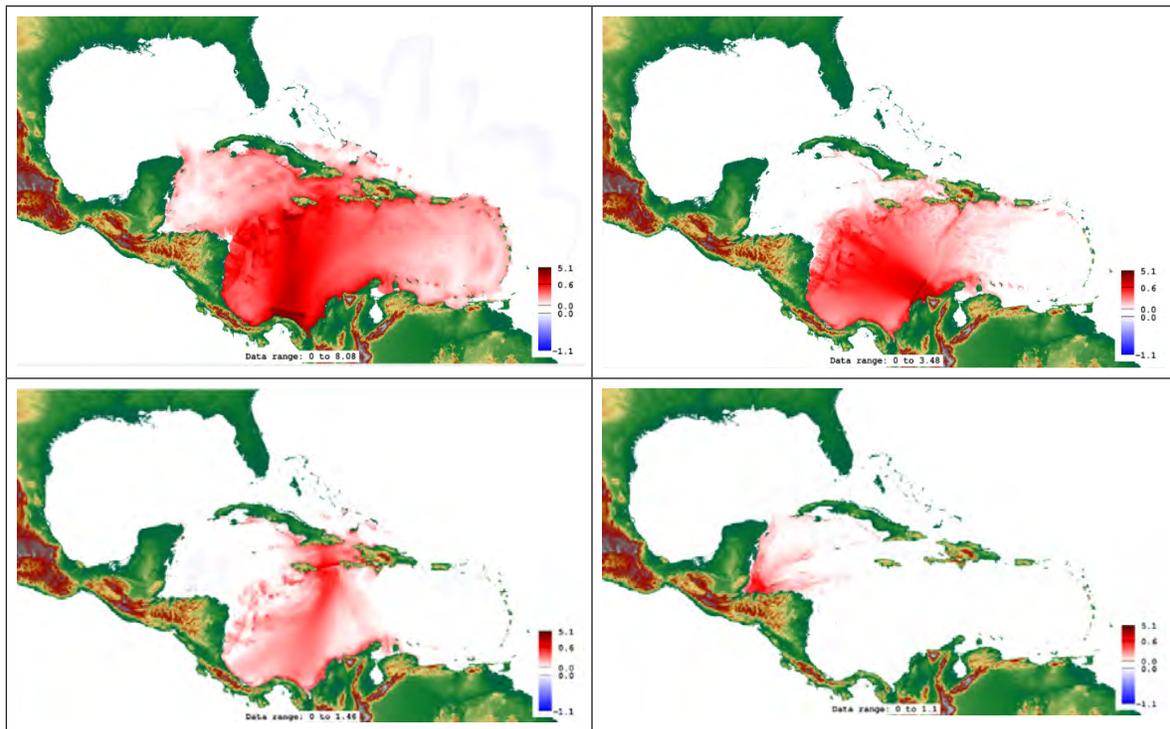


Figura 6.1.7.6-2. Altura de las olas para el municipio de Cozumel, Q. Roo para un periodo de retorno de 5 años.

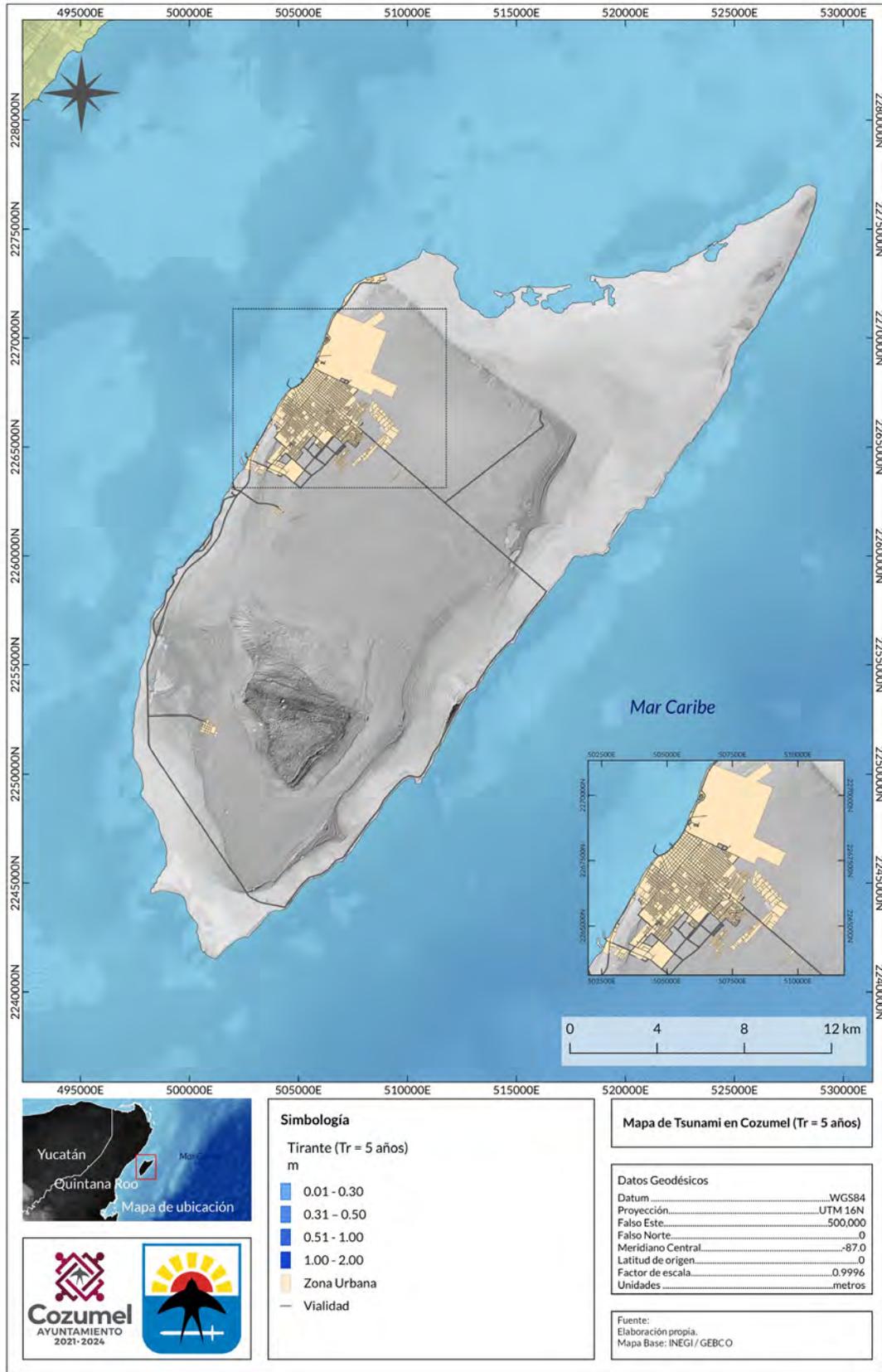


Figura 6.1.7.6-3. Altura de las olas para el municipio de Cozumel, Q. Roo para un periodo de retorno de 10 años.

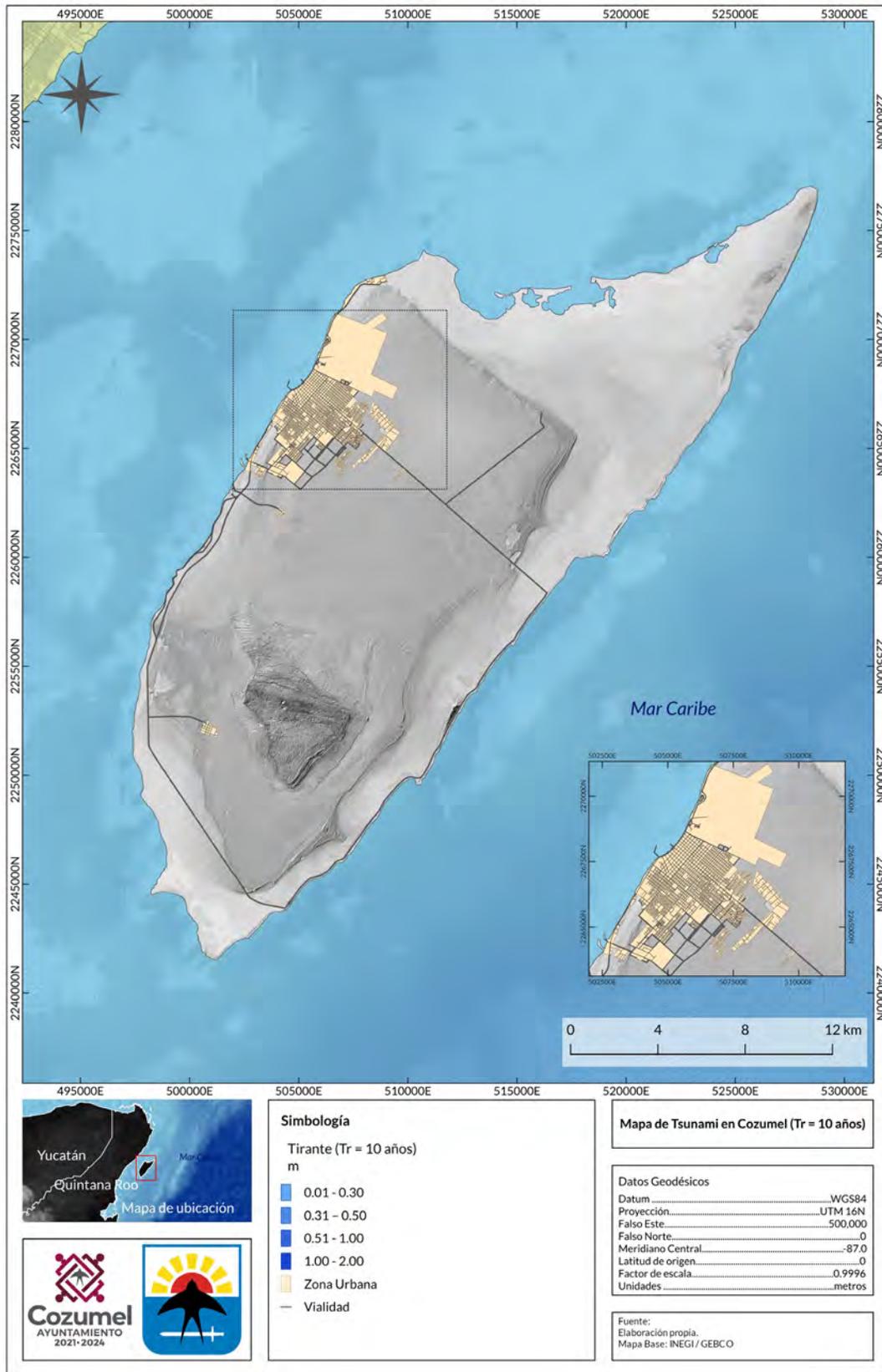


Figura 6.1.7.6-4. Altura de las olas para el municipio de Cozumel, Q. Roo para un periodo de retorno de 25 años.

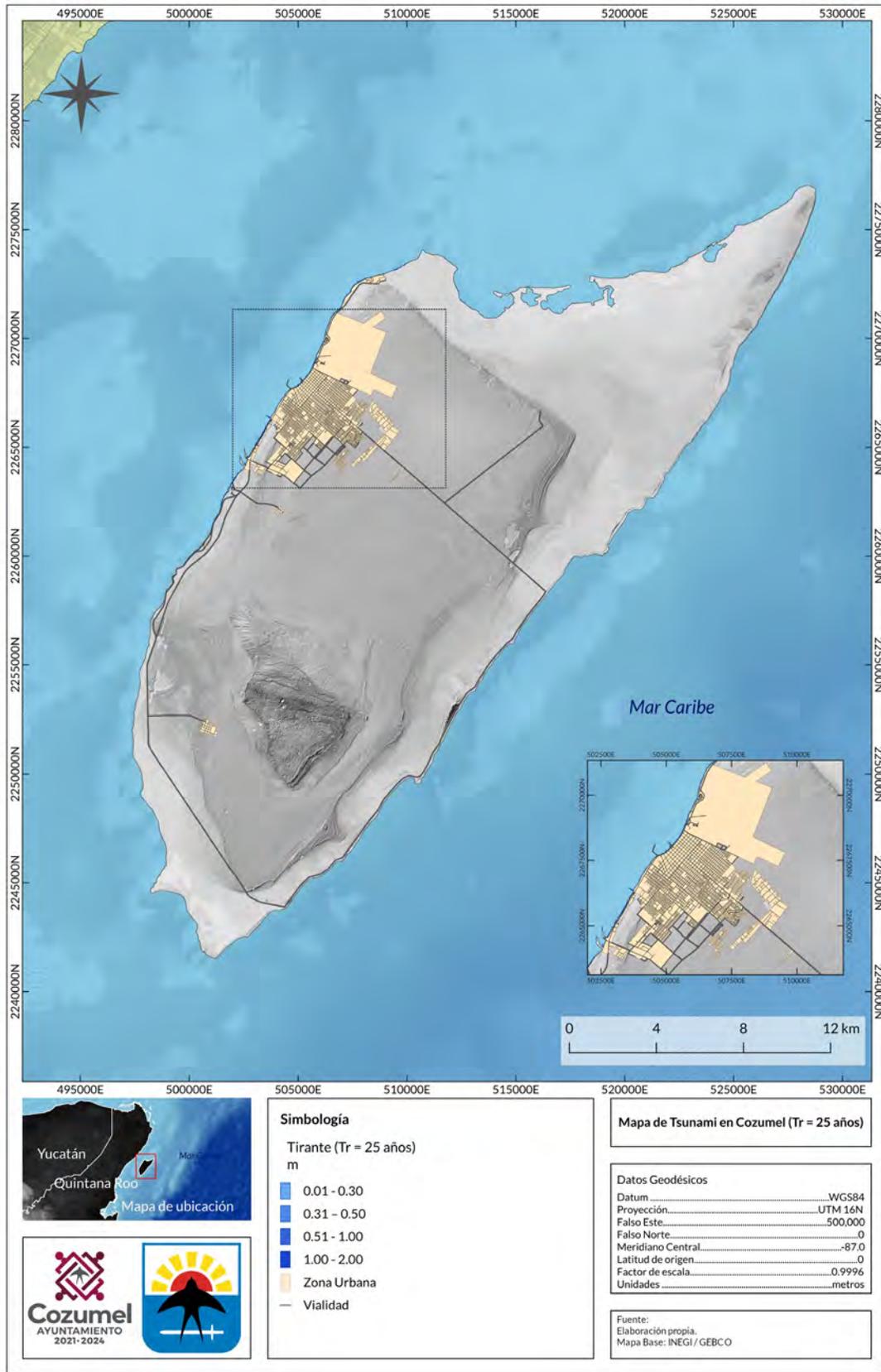


Figura 6.1.7.6-5. Altura de las olas para el municipio de Cozumel, Q. Roo para un periodo de retorno de 50 años.

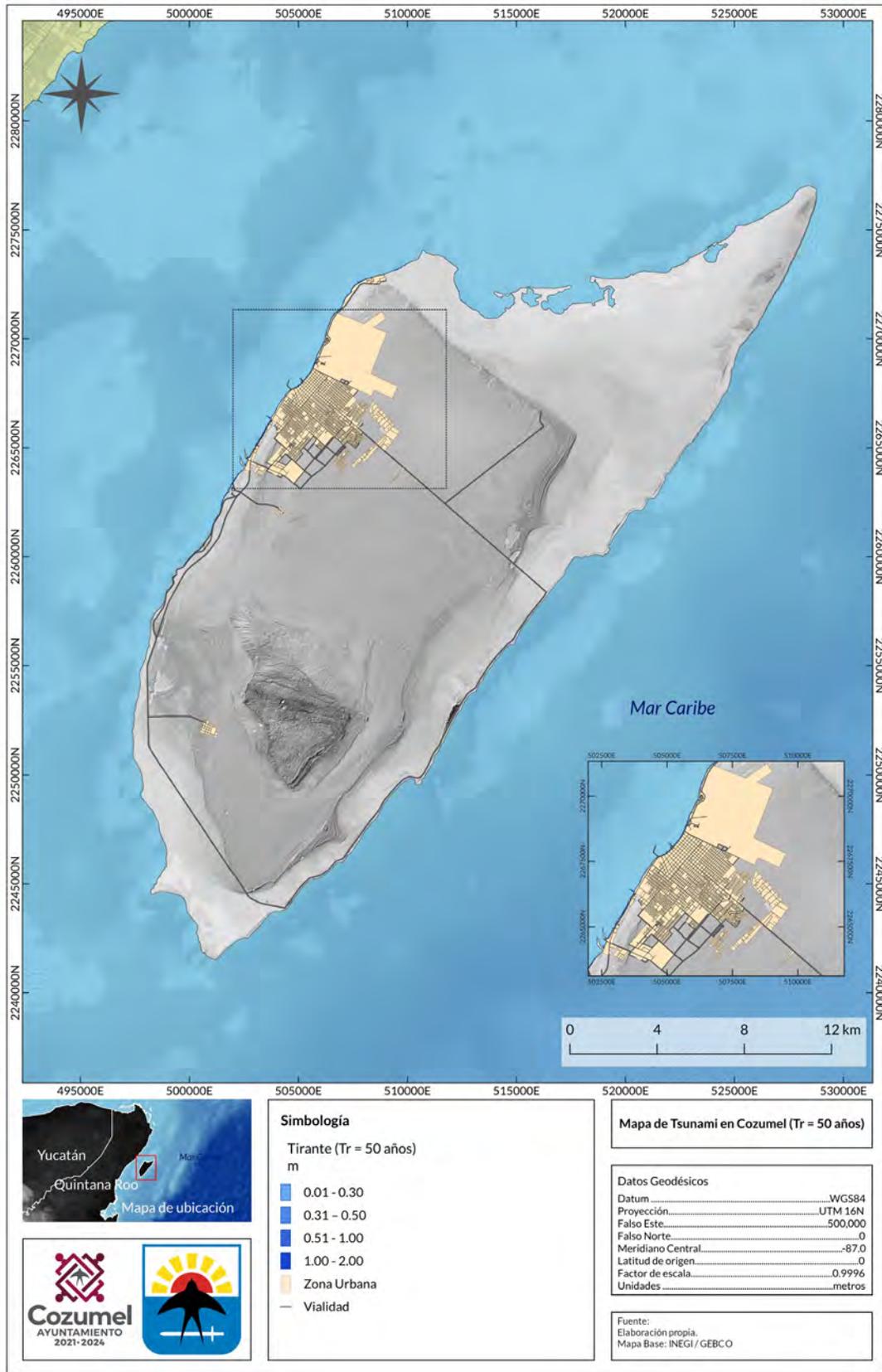


Figura 6.1.7.6-6. Altura de las olas para el municipio de Cozumel, Q. Roo para un periodo de retorno de 100 años.

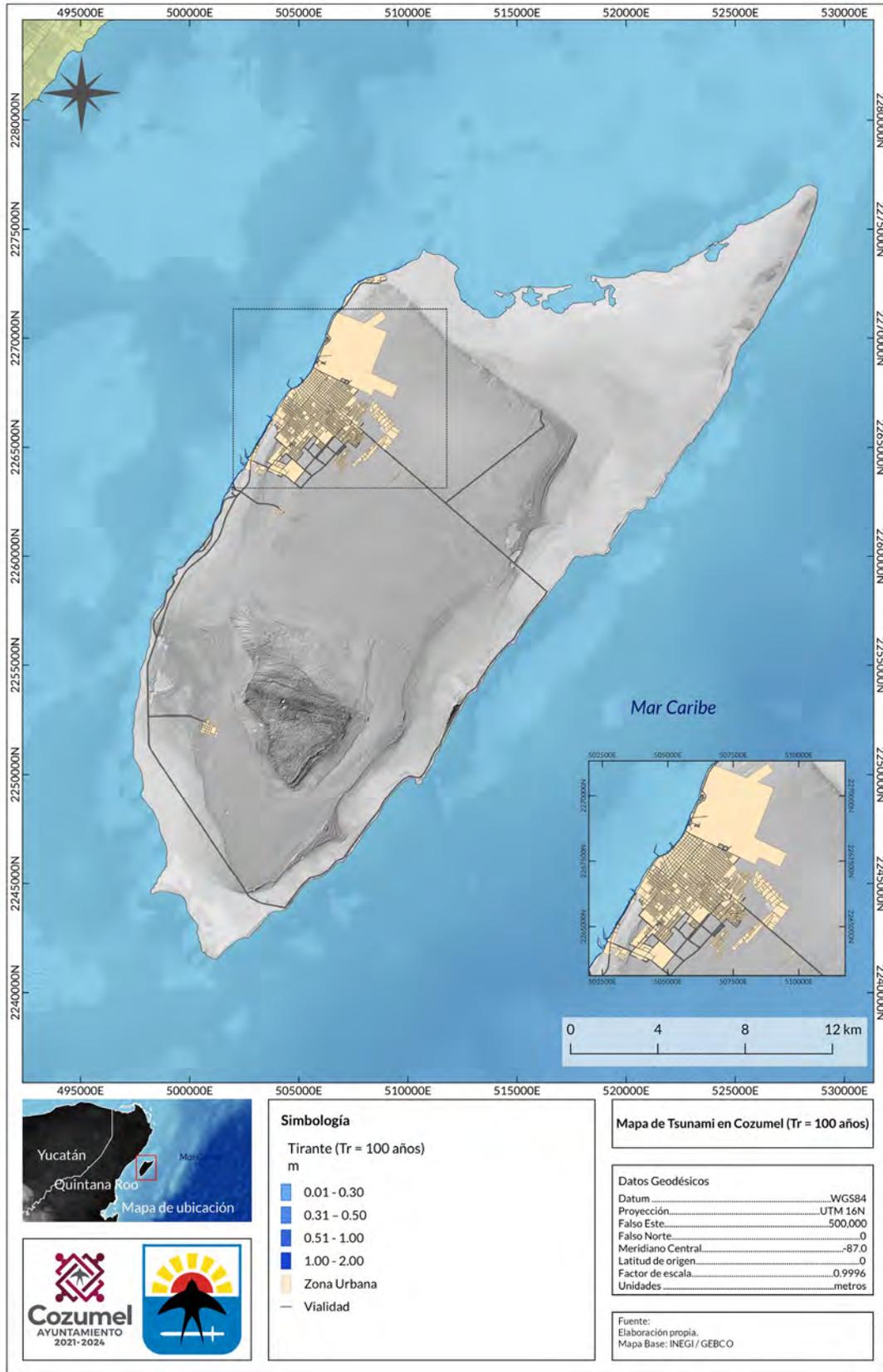


Figura 6.1.7.6-7. Altura de las olas para el municipio de Cozumel, Q. Roo para un periodo de retorno de 250 años.

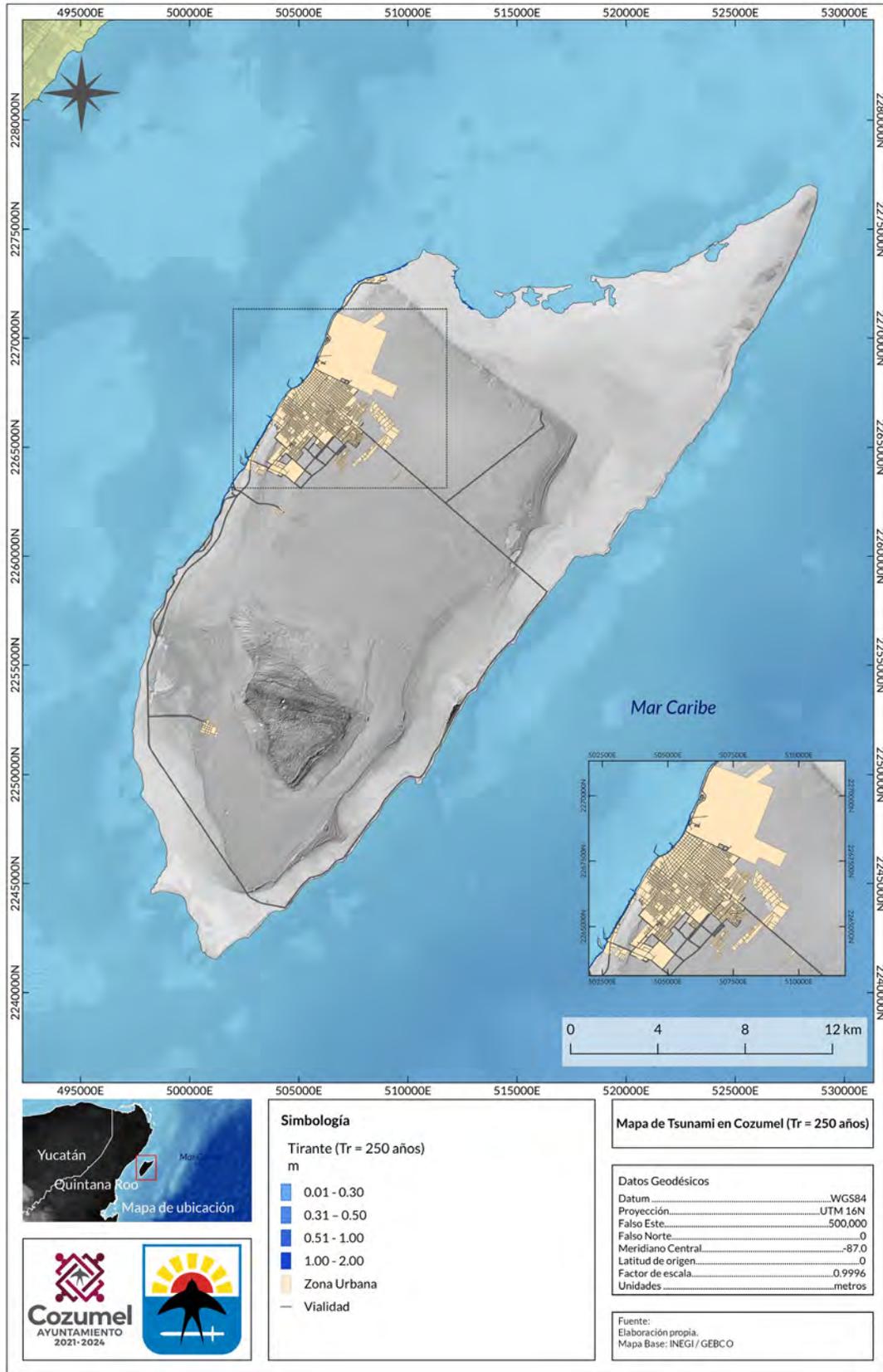


Figura 6.1.7.6-8. Altura de las olas para el municipio de Cozumel, Q. Roo para un periodo de retorno de 750 años.

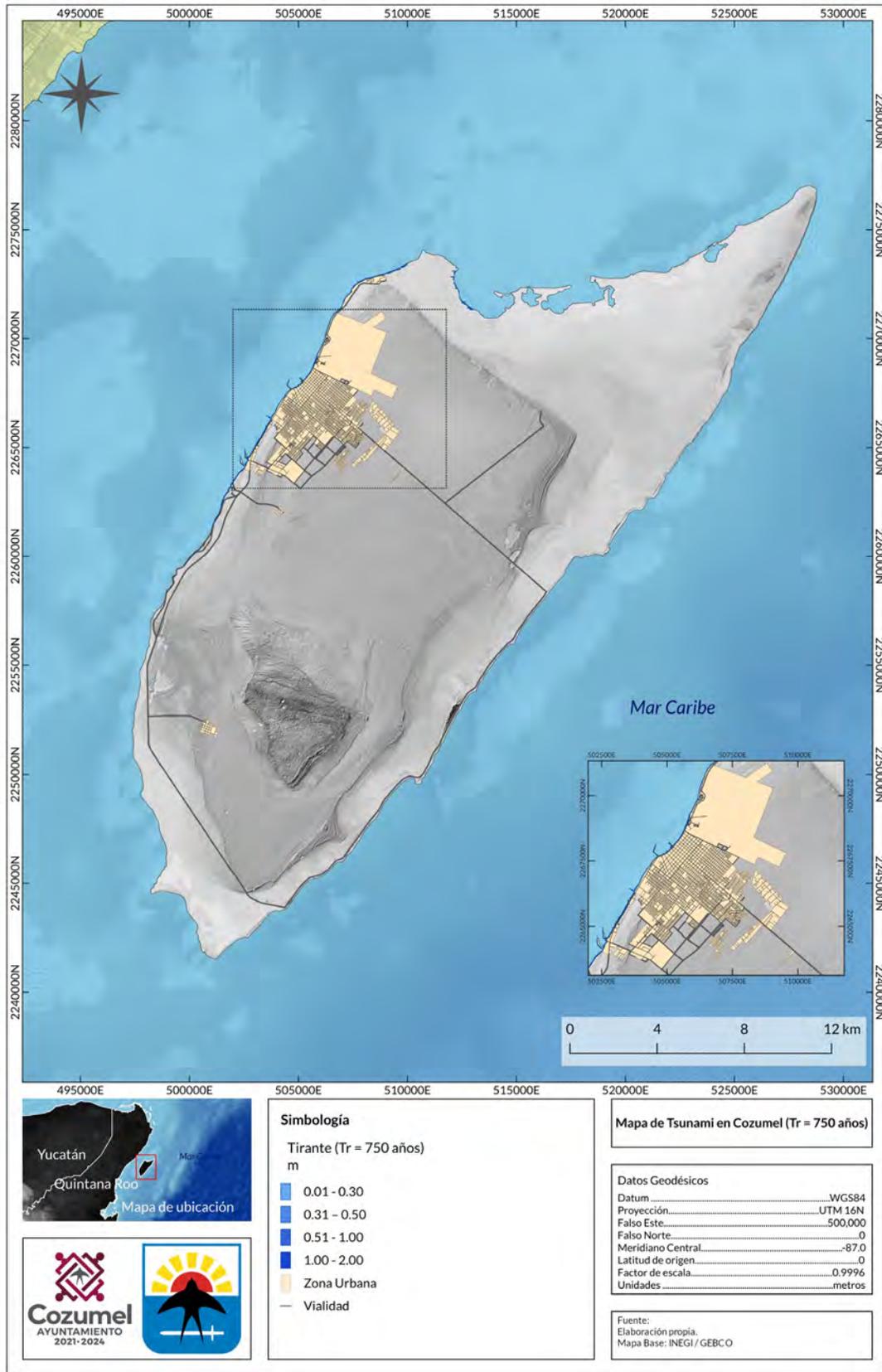
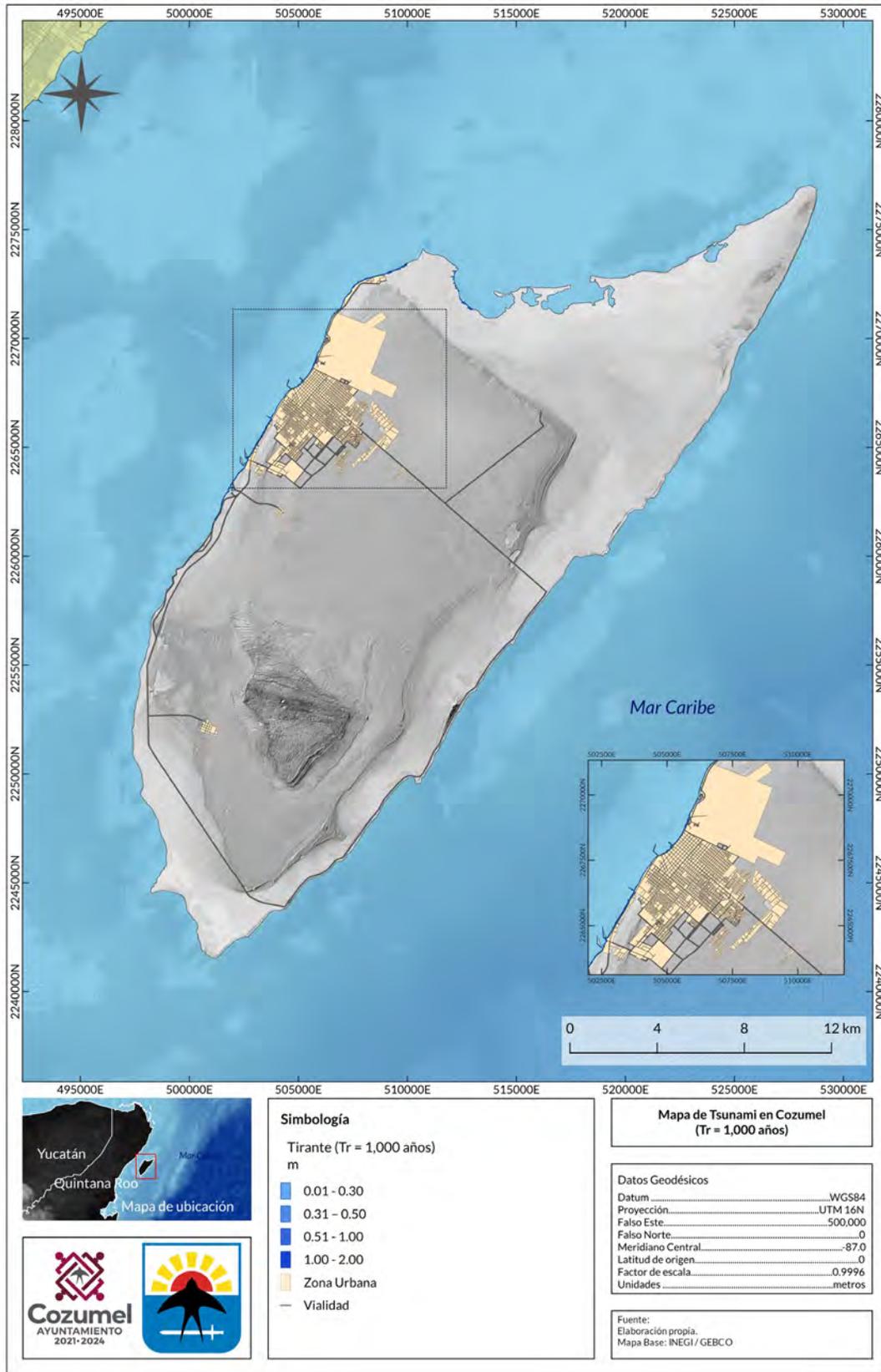


Figura 6.1.7.6-9. Altura de las olas para el municipio de Cozumel, Q. Roo para un periodo de retorno de 1000 años.



sustancias derivadas de su interacción molecular o nuclear. Comprende fenómenos destructivos tales como: incendios de todo tipo, explosiones, fugas tóxicas, radiaciones y derrames.

Se debe de considerar estos fenómenos Químico-Tecnológico dentro de las actividades industriales, comerciales y de servicio involucran diferentes procesos tales como la producción, almacenamiento y transporte de materiales y/o sustancias peligrosas. Derivado de lo anterior se debe de considerar el riesgo de un accidente en cada uno de los procesos mencionados. Sin embargo, no son los únicos disparadores de posibles accidentes, dado que también puedes ser ocasionados por eventos naturales, Conflictos o Terrorismo.

En México, los fenómenos químico – tecnológicos (actividades altamente riesgosas) están regulado por leyes reglamentos y normas (Consortio Ambiental y de Servicios S.A. de C.V., 2009). Las principales son:

- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
- Ley General de Salud
- Ley General de Protección Civil
- Ley Federal del Trabajo
- Ley General de Aduanas
- Ley de Comercio Exterior
- Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos
- Ley Federal para el Control de Precursores Químicos, Productos Esenciales y Maquinas para Elaborar Capsulas, Tabletas y/o Comprimidos.
- Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos.
- Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos.
- Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo.
- Normas Oficiales Mexicanas
  - ◆ NOM-002/SCT2-1994 Listado de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados.
  - ◆ NOM-003-SCT/2000 Características de las etiquetas de envases y embalajes destinadas al transporte de materiales y residuos peligrosos.
  - ◆ NOM-004-SCT/2000 Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
  - ◆ NOM-005-SCT/2000 Información de emergencia para el transporte terrestre de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
  - ◆ NOM-006/SCT2-1994 Aspectos básicos para la revisión ocular diaria de la unidad destinada al autotransporte de materiales y residuos peligrosos.
  - ◆ NOM-007SCT2-1994 Mercado de envases y embalajes destinados al transporte de sustancias y residuos peligrosos.
  - ◆ NOM-009/SCT2-1994 Compatibilidad para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos de la clase 1 (explosivos).
  - ◆ NOM-010/SCT2-1994 Disposiciones de compatibilidad y segregación para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
  - ◆ NOM-011/SCT2-1994 NOM-EM-011/SCT2- 1999 Condiciones para el transporte de las sustancias, materiales o residuos peligrosos en cantidades limitadas.
  - ◆ NOM-017/SCT2-1994 Lineamientos generales para el cargado, distribución y sujeción en las unidades de autotransporte de los materiales y residuos peligrosos.
  - ◆ NOM-019/SCT2-1994 Disposiciones

generales para la limpieza y control de remanentes para las unidades de autotransporte de materiales y residuos peligrosos.

- ◆ NOM-020/SCT2-1994 Requerimientos generales para el diseño, construcción de autotanques destinados al transporte de materiales y residuos peligrosos, especificaciones SCT 306, SCT 307 y SCT 312.
- ◆ NOM-023/SCT2-1994 Información técnica que debe contener la placa que portarán los autotanques, recipientes metálicos intermedios para granel y envases de capacidad mayor a 450 litros que transportan materiales y residuos peligrosos.
- ◆ NOM-024/SCT2-1994 Especificaciones para la construcción y reconstrucción, así como métodos de prueba de los envases y embalajes de las sustancias, materiales y residuos peligrosos.
- ◆ NOM-025/SCT2-1994 Disposiciones especiales para las sustancias, materiales y residuos peligrosos de la clase 1 explosivos.
- ◆ NOM-027/SCT2-1994 Disposiciones generales para el envase, embalaje y transporte de las sustancias, materiales y residuos peligrosos de la división 5.2 (peróxidos orgánicos).
- ◆ NOM-028/SCT2-1994 Disposiciones especiales para los materiales y residuos peligrosos de la clase 3 líquidos inflamables
- ◆ NOM-043/SCT2-1994 Documento de embarque de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
- ◆ NOM-052-ECOL-1993 Características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
- ◆ NOM-053-ECOL-1993 Determinación de residuos peligrosos por su toxicidad al ambiente.

◆ NOM-054-ECOL-1993 Incompatibilidad entre dos o más residuos peligrosos según la NOM-052-ECOL-1993.

◆ NOM-087-ECOL-1995 Separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos biológicos infecciosos que se generan en establecimientos que presten atención médica.

◆ NOM-10-SEDG-2000 Valoración de las condiciones de seguridad de los vehículos que transportan, suministran y distribuyen gas LP y medidas mínimas de seguridad que se deben observar durante su operación.

◆ NOM-021/5-SCFI-1993 Recipientes sujetos a presión no expuestos a calentamiento por medios artificiales para contener gas LP tipo portátil para transporte de gas LP.

◆ NOM-018-STPS-1994 Identificación y comunicación de riesgos por sustancias químicas en los centros de trabajo.

#### *6.1.8.1.1. Características de las sustancias químicas peligrosas*

El (CENAPRED, 2008) define las siguientes características de las sustancias químicas peligrosas:

##### **a) Inflamabilidad.**

Es la medida de la facilidad que presenta un gas, líquido o sólido para encenderse y de la rapidez con que, una vez encendido, se diseminan sus llamas. Cuanto más rápida sea la ignición, más inflamable será el material. Los líquidos inflamables no lo son por sí mismos, sino que lo son debido a que su vapor es combustible. Hay dos propiedades físicas de los materiales que indican su inflamabilidad: el punto de inflamación y la volatilidad

##### **b) Corrosividad**

Las sustancias químicas corrosivas pueden quemar, irritar o destruir los tejidos vivos y material inorgánico. Cuando se inhala o ingiere una sustancia corrosiva, se ven afectados los tejidos del pulmón y estómago.

- Gases corrosivos: Causan daño en el cuerpo debido al contacto con la piel y por inhalación.
- Líquidos corrosivos: Se utilizan frecuentemente en el laboratorio y son, en gran medida, causa de lesiones corporales externas.
- Sólidos corrosivos: Producen lesiones retardadas. Debido a que los sólidos se disuelven fácilmente en la humedad de la piel y del aparato respiratorio, los efectos de los sólidos corrosivos dependen en gran medida de la duración del contacto.

### c) Reactividad

Es la capacidad de las sustancias para por sí mismas detonar, tener una descomposición explosiva o producir un rápido y violento cambio químico.

### d) Toxicidad

La toxicidad se define como la capacidad de una sustancia para producir daños en los tejidos vivos, lesiones, enfermedad grave o en casos extremos la muerte, cuando se ingiere, inhala o se absorbe a través de la piel.

### e) Explosividad

Capacidad de las sustancias químicas que provocan una liberación instantánea de presión, gas y calor, ocasionado por un choque repentino, presión o alta temperatura.

#### a. Materiales peligrosos

De acuerdo con la ONU (ONU, 2011), las sustancias (mezclas y soluciones) y los objetos pertenecen a nueve clases según el riesgo o el más importante de los riesgos que representen:

#### Clase 1 Explosivos

- División 1.1 Sustancias y objetos que presentan un riesgo de explosión en masa.
- División 1.2 Sustancias y objetos que presentan un riesgo de proyección sin riesgo de explosión en masa.
- División 1.3 Sustancias y objetos que se

presentan un riesgo de incendio y un riesgo menor de explosión o un riesgo menor de proyección o ambos, pero no un riesgo de explosión en masa.

División 1.4 Sustancias y objetos que no presentan riesgo apreciable.

División 1.5 Sustancias muy insensibles que presentan un riesgo de explosión en masa.

División 1.6 Objetos sumamente insensibles que no presentan riesgo de explosión en masa.

#### Clase 2 Gases

División 2.1 Gases inflamables.

División 2.2 Gases no inflamables no tóxicos.

División 2.3 Gases tóxicos.

#### Clase 3 Líquidos inflamables.

Clase 4 Sólidos inflamables; sustancias que pueden experimentar combustión espontánea sustancias que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables.

División 4.1 Sólidos inflamables, sustancias de reacción espontánea y sólidos explosivos insensibilizados.

División 4.2 Sustancias que pueden experimentar combustión espontánea.

División 4.3 Sustancias que en contacto con el agua desprenden gases inflamables.

Clase 5 Sustancias comburentes y peróxidos orgánicos.

Clase 6 Sustancias tóxicas y sustancias infecciosas.

Clase 7 Material radioactivo.

Clase 8 Sustancias corrosivas.

Clase 9 Sustancias y objetos peligrosos varios, incluidos las sustancias peligrosas para el medio ambiente.

El orden numérico de las clases de división no corresponde a su grado de peligro.

*b. Sustancias peligrosas para su almacenamiento*

Por otro lado, de acuerdo con las características de peligrosidad de las sustancias químicas, su distribución en la República Mexicana y las cantidades de almacenamiento, las 14 sustancias que representan mayor peligro en México son (CENAPRED, 2016):

- Gas L.P
- Amoniaco
- Ácido sulfúrico
- Cloro
- Hexano
- Gasolina
- Nitrógeno
- Acetona
- Alcohol metílico
- Alcohol propílico e isopropílico
- Propano
- Acetato de etilo
- Óxido de etileno
- Ácido fluorhídrico

**6.1.8.1.2. Consecuencias**

Las consecuencias que pueden ocasionar a personas, medio ambiente, así como a inmuebles se menciona a continuación.

Los riesgos químicos pueden causar a las personas:

- Inhibición de la absorción de nutrientes,
- Destrucción de nutrientes
- Carcinogenicidad
- Mutagenicidad
- Teratogenicidad
- Enfermedad severa
- Muerte

Respecto a las consecuencias en el medio ambiente son:

- Liberación a la atmósfera de gases tóxicos o corrosivos, aerosoles o partículas, los cuales pueden dañar los ambientes aéreo, terrestre o acuático.
- Liberación de líquidos o sólidos los cuales afectan adversamente el suelo, corrientes y cuerpos de agua, y la biota (flora y fauna).
- Incendios o explosiones que causan daño a las construcciones y al ambiente.

Finalmente, las consecuencias materiales son pérdidas económicas por daños en la industria, instalaciones, así como afectaciones a casas o comercios entre otros.

*a. Accidentes que han ocasionado más muertes.*

En la tabla 6.1.8.1-1 se presentan los accidentes industriales con mayor número de fallecidos a nivel mundial.

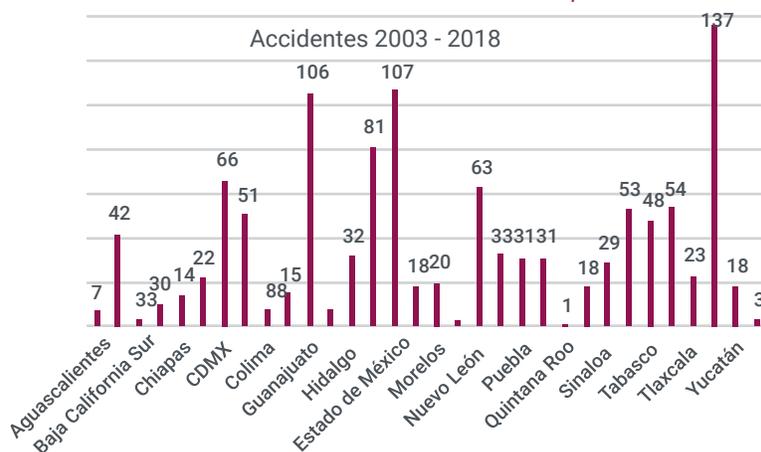
**Tabla 6.1.8.1-1. Accidentes por riesgos químicos con mayor número de fallecidos.**

Fecha	Lugar	Accidente	Causa	No. de Muertos
18-may-18	Oakdale, Pennsylvania	Explosión de TNT en fábrica de químicos, EE.UU.	Explosión de TNT	210
22-may-92	Guadalajara, Jalisco	Explosiones en el drenaje	Gasolina	230
10-jul-00	Adeje, Nigeria	Explosión de oleoducto	Perforación de un oleoducto	250
02-nov-94	Dronka, Egipto	Incendio de depósito de combustible	Derrame	500
25-feb-74	Cubatão, Brasil	Explosión de oleoducto y esfera	Explosión	508
19-nov-84	San Juan Ixhuatepec, Estado de México	Cadena de explosiones en planta de gas LP	Explosión	540
16-abr-47	Texas, EEUU	Explosión por amoniaco	Explosión	550

Fecha	Lugar	Accidente	Causa	No. de Muertos
21-sep-21	Oppau, Alemania	Explosión de planta química	sulfato de amonio	561
17-oct-98	Jesse, Nigeria	Explosión de tuberías de combustible	Incendio	1,000
10-mar-06	Paso de Calais, Francia	Explosión Carbón	Explosión	1,099
26-abr-42	Liaoning, China	Explosión Gas y polvo de carbón	Explosión	1,149
03-dic-84	Bhopal, India	Fuga de gas isocianato de metilo	Isocianato de metilo	Mas de 7,000

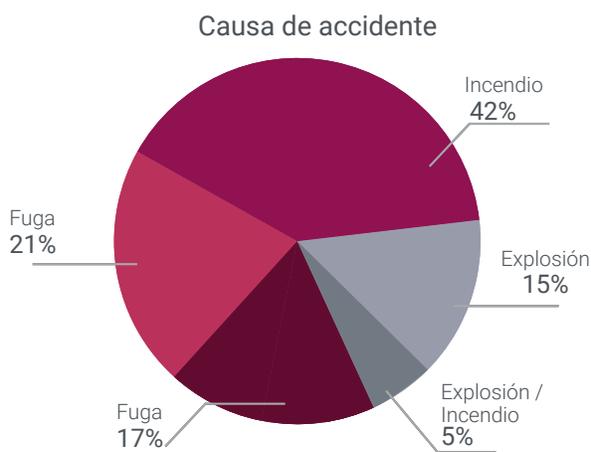
Fuente:(Prevencionar, 2016) y (HySLA - Prevención de riesgos, 2021)

Gráfica 6.1.8.1-1. Distribución de número de accidentes por entidad federativa



Fuente: (Izcapa Treviño, Mora Fonseca y Salazar Gutiérrez. et al., 2021)

Gráfica 6.1.8.1-2. Distribución de accidentes por la causa que lo provoca



Fuente: (Izcapa Treviño, Mora Fonseca y Salazar Gutiérrez. et al., 2021)

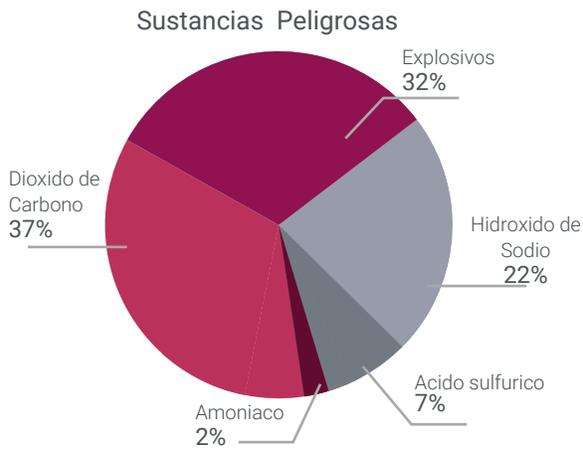
En México para el periodo de 2003 a 2018 se ocurrieron 1,155 accidentes en el sector industrial (Izcapa Treviño et al., 2021). Los 10 estados donde hubo el mayor número de accidentes acumulan el 66.5%, mientras que el estado de Quintana Roo representa el 0.1%.

Del total de accidentes, el más importante son los incendios, seguido de las fugas (ver Figura 6.8.1-2).

Quintana Roo es un estado en el cual no está de manera significativa el sector industrial químico, se estima que menos del 2% corresponden a industrias químicas sobre el total de industrias manufactureras del estado.

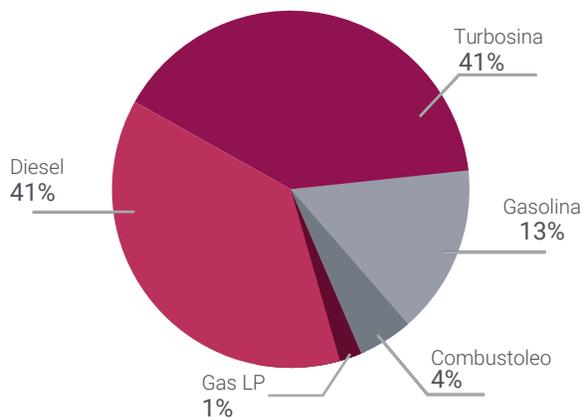
A continuación, en la figura 6.1.8.1-3 se muestra la distribución sustancias químicas peligrosas (Arcos Serrano & Izcapa Treviño, 2003) que se han presentado en del estado de Quintana Roo.

Gráfica 6.1.8.1-3. Distribución de sustancias peligrosas en Quintana Roo.



Fuente: (Arcos Serrano & Izcapa Treviño, 2003)

Gráfica 6.1.8.1-4. Distribución de combustibles almacenados en Quintana Roo



Fuente: (Arcos Serrano & Izcapa Treviño, 2003)

Por otro lado, en cuanto a almacenamiento de combustible en el estado de Quintana Roo, se puede observar la siguiente gráfica. Es importante mencionar que el estado almacena menos del 1% a nivel nacional de cada uno de dichos combustibles (ver figura 6.1.8.1-4).

El municipio de Cozumel las sustancias químicas peligrosas almacenadas son: Turbosina, Diesel, Combustóleo y Cloro, sin embargo, existen sustancias catalogadas con mayor peligro como son Gas LP, Ácido sulfúrico y Amoniaco, las cuales NO se almacenan en Cozumel.

Por lo anterior y la probabilidad de ocurrencia de un evento químico – tecnológico en el municipio de Cozumel es muy bajo.

### 6.1.8.2. Sanitario-Ecológico

Un fenómeno Sanitario-Ecológicos es un “agente perturbador que se genera por la acción patógena de agentes biológicos que afectan a la población, a los animales y a las cosechas, causando su muerte o la alteración de su salud. Las epidemias o plagas constituyen un desastre sanitario en el sentido estricto del término. En esta clasificación también se ubica la contaminación del aire, agua, suelo y alimentos” (Ley General de Protección Civil, 2021).

Los fenómenos Sanitario-Ecológicos se presentan cuando se producen cambios drásticos en el equilibrio de los ecosistemas, los organismos no son capaces de adaptarse con la rapidez que exige el cambio, entonces se ven afectadas las especies más vulnerables y se presentan cambios drásticos en las relaciones de todo el ecosistema (DOF, 2016).

Se pueden presentar los siguientes tipos de fenómenos sanitarios:

- Las epidemias se pueden definir como la elevación considerable de la frecuencia de los casos de una enfermedad infecto-contagiosa que alcanza a una zona considerable o a un país completo. Existen dos mecanismos principales para generar una epidemia 1) por contagio (cuando el virus o la bacteria se transmiten por aire, agua, alimentos o persona a persona), 2) por inoculación a través de vectores como los mosquitos y otros insectos. Los efectos

negativos de una epidemia es la afectación a la población por enfermedad y muerte masivas, la economía debido a los costos de tratamiento e incapacidades de trabajadores.

- La contaminación es básicamente un cambio indeseable en las características físicas, químicas o biológicas del ambiente natural, producido sobre todo por la actividad humana. La ineficiencia de los procesos desarrollados por el hombre, ya que la extracción de materias primas, la fabricación de un producto, la energía necesaria para el proceso de fabricación, la distribución de productos, comercialización y el producto mismo generan una considerable cantidad de desperdicios teniendo como consecuencia: contaminación del agua, aire y suelo.

Respecto a las epidemias y considerando la reciente pandemia por Sars-CoV2 (COVID-19) que se vivió a nivel mundial y que causó la muerte millones de personas, una crisis económica sin precedentes, la pérdida de trabajos y/o medios de sustento, el cierre de escuelas, el aislamiento, trabajo en casa, miedo e incertidumbre (OPS, 2023); toma relevancia su análisis dentro del presente Atlas de Riesgos. Adicionalmente, otra enfermedad que se presenta en el municipio por sus características climatológicas que propician su contagio es el Dengue.

Respecto a la contaminación, se realiza un análisis de esta en el agua, aire y suelo del municipio. Particularmente la contaminación del agua<sup>10</sup> en cenotes y en el acuífero es un tema de relevancia en el municipio, los primeros por su importancia sociocultural, y el segundo debido al incremento de la contaminación, ya que por su característica de roca caliza permite el transporte de contaminantes, así como por el desarrollo urbano, turístico y de infraestructura, y por el deteriorado y falta de cobertura de la red de drenaje hidrosanitario municipal (CCC, 2023).

#### 6.1.8.2.1. Epidemias

Una epidemia es el aumento inusual del número de casos de una enfermedad en una población

<sup>10</sup> La contaminación del agua es un cambio indeseable en sus características físicas y químicas, producido sobre todo por la actividad humana (ACUERDO Por El Que Se Emite La Guía de Contenido Mínimo Para La Elaboración Del Atlas Nacional de Riesgos., 2016).

específica, en un período determinado. Una epidemia puede ser considerada como la presencia simultánea de múltiples brotes en una amplia zona geográfica y, generalmente, implica la ocurrencia de un gran número de casos en poco tiempo, mayor al número esperado. Mientras que la pandemia es una epidemia que se ha extendido por varios países, continentes o todo el mundo y que, generalmente, afecta a un gran número de personas (OPS & OMS, n.d.).

#### a. Sars-CoV2 (COVID-19)

El COVID-19 es una enfermedad emergente causada por un Betacoronavirus identificado por primera vez en República Popular China. La pandemia de COVID-19 fue declarada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) el 11 de marzo de 2020, mientras que, en México el 30 de marzo la Secretaría de Salud a través del Comité Nacional de Seguridad en Salud (CNSS) decretó la "emergencia sanitaria", que obligó a suspender actividades no esenciales del sector público y privado, con el fin de disminuir transmisión del virus COVID-19 (Gobierno de México, 2023a).

Debido a la disminución de casos y la baja carga de gravedad prolongada, la OMS el 5 de mayo del 2023 declaró el término de la emergencia de salud pública provocada por el virus COVID-19. En México el 9 de mayo del 2023 se publicó el decreto presidencial que declaraba el término de las acciones extraordinarias establecidas en materia de salubridad que tuvieron por objeto prevenir, controlar y mitigar la enfermedad causada por el COVID-19. Sin embargo, esta pandemia causó una crisis de salud pública que afectó a todas las personas del mundo, aumentando sus condiciones de vulnerabilidad y marginación.

Hasta finales de junio de 2023 se habían presentado en el país 334,336 defunciones por COVID-19, sin embargo, la tendencia de estas ha ido a la baja; el 91% de las defunciones se presentaron entre el 2020 y 2021 (Gobierno de México, 2023a) (Gobierno de México, 2023b)

A continuación, se presentan las cifras de los contagios confirmados y defunciones por COVID-19 en el municipio de Cozumel.

i. Confirmaciones de COVID-19

Desde finales de marzo de 2020 hasta inicios de junio de 2023 en Cozumel se confirmaron 6,122 casos de COVID 19, de los cuales el 52% fueron mujeres, y el 48% hombres (Gobierno de México, 2023b).

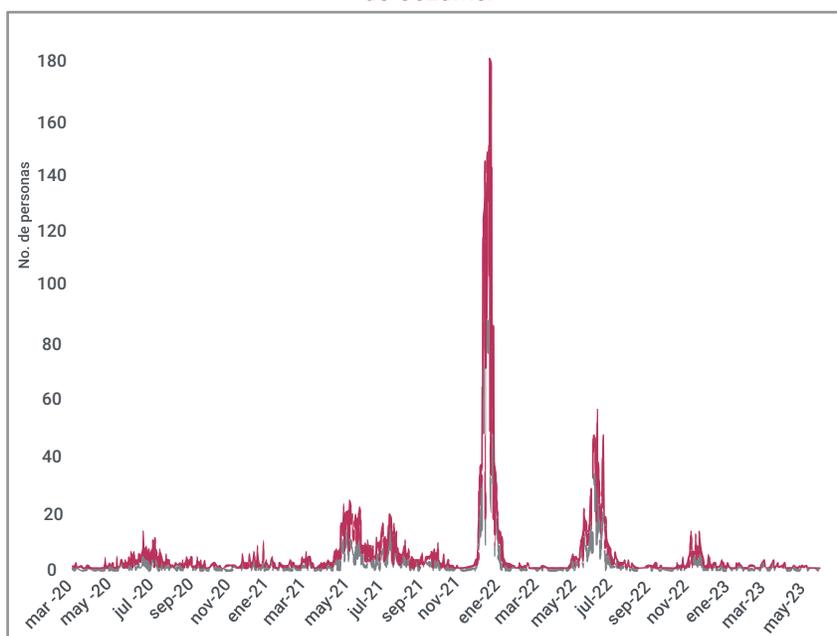
En la tabla 6.1.8.2-1 y gráfica 6.1.8.2-1 se presenta el número de casos confirmaciones por COVID-19 distribuidos por año, desde 2020 hasta 2023, y por género, donde se observa que, entre 2020 y 2021 el mayor número contagios fue en hombres, sin embargo, durante 2022 y 2023 se invirtió la proporción.

Tabla 6.1.8.2-1. Distribución por año y por género de casos confirmaciones por COVID-19 en el municipio de Cozumel (2020 – junio 2023)

Año	Mujer	Hombre	Total
2020	252	284	536
2021	847	910	1757
2022	2016	1687	3703
2023	68	58	126
Total	3183	2939	6122

Fuente: (Gobierno de México, 2023b).

Gráfica 6.1.8.2-1. Distribución por género de los casos diarios confirmados de COVID-19 en el municipio de Cozumel



Fuente: (Gobierno de México, 2023b).

En la Gráfica 6.1.3.2-1 se observan 5 olas en el comportamiento de las confirmaciones de contagio por COVID -19 en el municipio:

- La primera se presentó de junio a septiembre de 2020, y corresponde a uno de los periodos más prolongados, donde en promedio se confirmaron 3.5 casos diarios, y el 15 de junio fue el día con más confirmaciones, en total 14, 7 mujeres y 7 hombres.
- La segunda inició a mediados de mayo de 2021 y se prolongó hasta la primera semana de septiembre de 2021, siendo el periodo más largo, donde en promedio se registraron 10.4 confirmaciones diarias, y el 7 de junio fue el día con más confirmaciones, en total 25, de las cuales 10 fueron en mujeres y 15 en hombres.
- La tercera fue de finales de diciembre de 2021 a principios de febrero de 2022, si bien este es el periodo más corto, en este se presentó el mayor número de contagios diarios en el municipio, en promedio 59.7, registrándose el 14 de enero de 2022 182 casos, 103 fueron mujeres y 79 hombres.
- La cuarta inició a finales de mayo de 2022 y finalizó a finales de julio del mismo año,

en promedio se confirmaron 15.6 contagios diarios, y el 4 de julio se reportaron 57 casos, 37 mujeres y 20 hombres.

- La quinta se presentó de finales de noviembre a diciembre de 2022, donde se observa una disminución importante de los contagios, en promedio hubo 5.7 confirmaciones diarias, y en los días 29 de noviembre y 12 de diciembre se reportaron 14 contagios.

Después de este último periodo, las confirmaciones de contagios de COVID-19 en la población del municipio han disminuido, en promedio se presentan 1.6 casos diarios, y se observa que la tendencia se mantiene constante en un nivel bajo.

En la gráfica 6.1.8.2-2 se presenta la distribución por género y rangos de edad de las confirmaciones de contagio por COVID-19 en el municipio. Se observa que el 87.2% de la población que se contagió tenía entre 20 y 59 años, y particularmente entre la población con edad de 25 a 29 años se registraron 938 contagios, de los cuales 500 fueron en mujeres y 498 hombres.

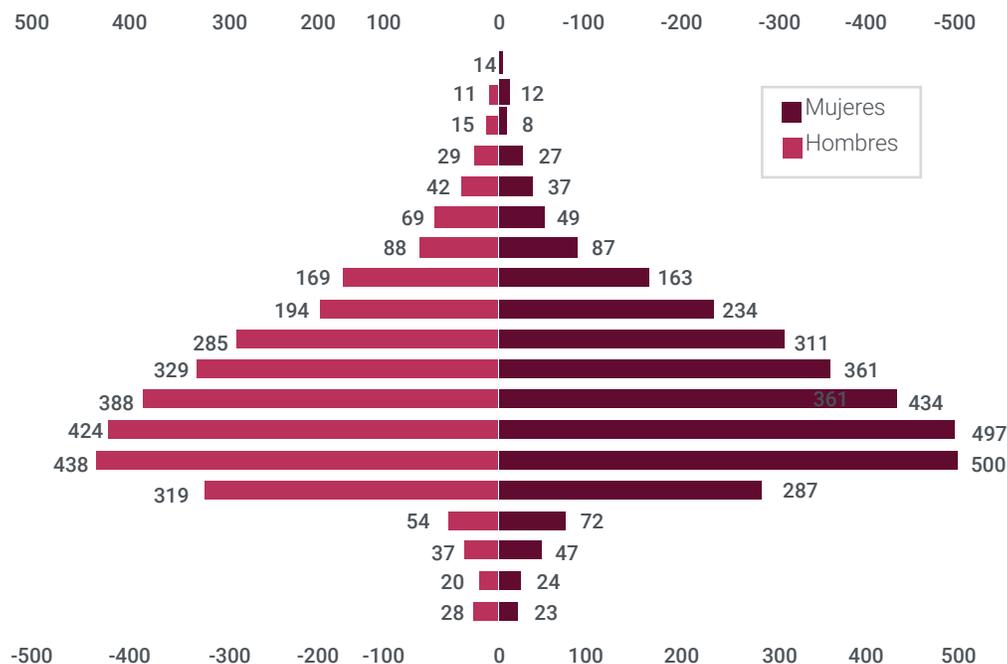
Considerando lo anterior, se estima que la población del municipio que tiene entre 20 y 59 años tiene un nivel mayor de susceptibilidad de contagiarse de COVID-19. De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, las localidades que cuentan con mayor número de habitantes en este rango de edad son Buenavista, Huerto Familiar, Santa Teresa, Palmar Primero, Pueblo Nuevo, Varadero, San Isidro, Carlos Eduardo Gómez, La Selva, Los Pinos, Mariposas y San Carlos.

#### ii. Defunciones por COVID-19

Respecto a la mortalidad por COVID-19 en el municipio de Cozumel, desde el 2020 hasta finales de junio de 2023, se reportaron 190 defunciones, el 38.4% fueron mujeres y el 61.58% hombres.

En la tabla 6.1.8.2-2 y gráfica 6.1.8.2-3 se presenta la distribución por año y género del número de defunciones por COVID-19 en el municipio, se observa que en el 2020 ocurrieron el 56.3% de las muertes del periodo analizado, y que fueron disminuyendo cada año (en el 2023 no se han presentado defunciones por COVID-19 en el municipio).

Gráfica 6.1.8.2-2. Distribución por género y rangos de edad de casos confirmados de COVID-19 en el municipio de Cozumel (2020-2023)



Fuente: (Gobierno de México, 2023b)

Tabla 6.1.8.2-2. Distribución por año y género del número de defunciones por COVID-19 en el municipio de Cozumel (2020 – junio 2023)

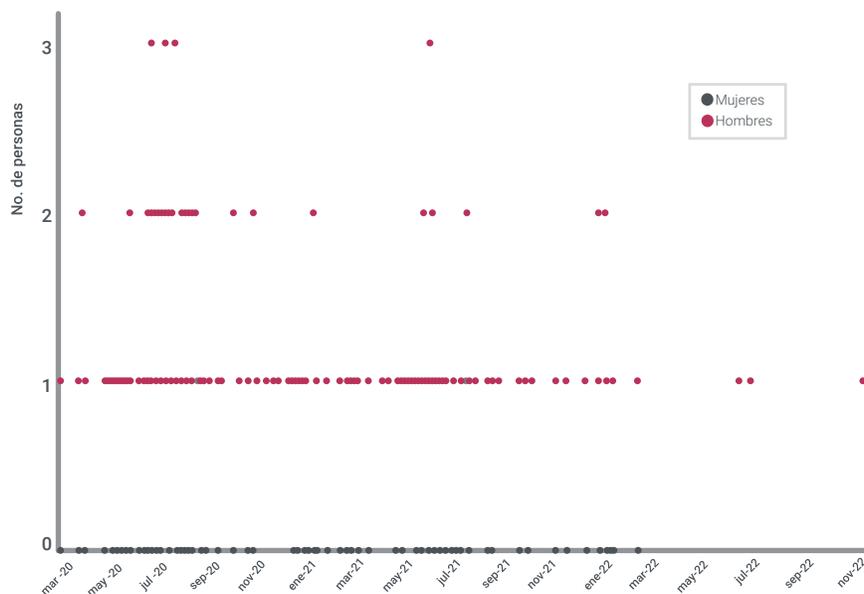
Año	Mujer	Hombre	Total
2020	43	64	107
2021	25	43	68
2022	5	10	15
Total	73	117	190

Fuente: (Gobierno de México, 2023b).

En la gráfica 6.1.8.2-3 se observa que el máximo de muertes diarias en el municipio fueron 3, con mayor frecuencia desde el 2020 hasta mediados de 2021, sin embargo, desde el 2022 la tendencia ha disminuido.

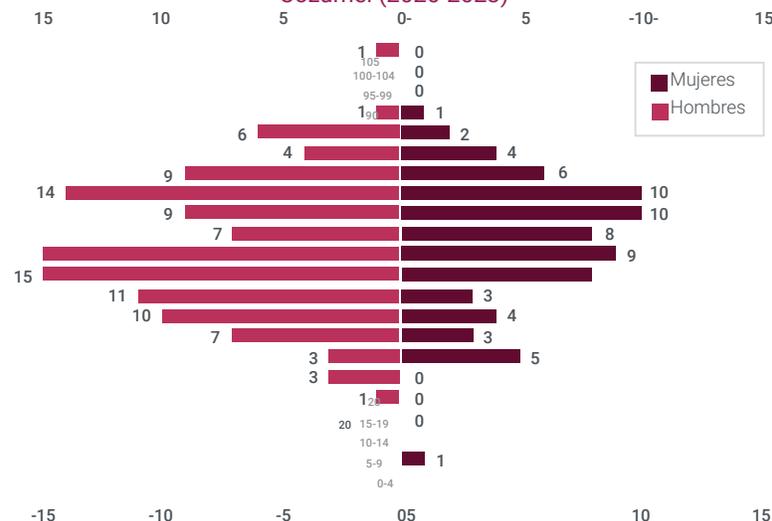
En la gráfica 6.1.8.2-4 se presenta la distribución por género y rangos de edad de las defunciones por COVID-19 en el municipio. Se observa que el 77.9% de la población que murió tenía entre 40 y 79 años: Particularmente, la entre la población de 55 y 59 años registraron 25 muertes, 9 mujeres y 16 hombres.

Gráfica 6.1.8.2-3. Distribución del número de defunciones diarias por COVID-19 y por género en el municipio de Cozumel (2020-2022)



Fuente: (Gobierno de México, 2023b).

Gráfica 6.1.8.2-4. Distribución por género y rangos de edad de las defunciones COVID-19 en el municipio de Cozumel (2020-2023)



Fuente: (Gobierno de México, 2023b)

Considerando lo anterior, se estima que la población del municipio que tiene entre 40 y 79 años tiene un nivel mayor de susceptibilidad de morir por COVID-19. De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, las localidades que cuentan con mayor número de habitantes en este rango de edad son Pueblo Nuevo y Mariposas.

#### b. Dengue

El dengue es una enfermedad vírica transmitida al ser humano por la picadura de la hembra del mosquito *Aedes aegypti*, y puede presentar diferentes cuadros clínicos en la población, desde un malestar general hasta un cuadro grave, como el dengue hemorrágico (Sánchez Piña, 2023). La Organización Mundial de la Salud (OMS) la considera una enfermedad emergente susceptible de provocar epidemias en muchas regiones del mundo. En el último medio siglo el número de casos se ha multiplicado por 30 y se estima que en la actualidad amenaza a la mitad de la población mundial, ya que la enfermedad es endémica en más de 100 países de las regiones de África, las Américas, Asia Sudoriental, el Mediterráneo Oriental y el Pacífico Occidental (OMS, 2023).

LA OMS considera que las cifras oficiales de contagio y de defunciones son inferiores a las reales, ya que muchos casos no se registran; según las estimaciones actuales, 3,900 millones de personas viven en zonas donde hay riesgo de infección, y cada año se presentan 390 millones de infecciones y mueren 20,000 personas (OMS, 2023).

El dengue es un padecimiento infeccioso de reciente aparición en México, a finales de la década de los setenta en la frontera sur se reportan los primeros casos, y a partir de 1980 ha tenido una tasa de incidencia moderada, aunque existe el riesgo potencial de que pueda aumentar considerablemente su participación en la mortalidad del país (Narro-Robles & Gómez-Dantés, 1995), ya que la presencia de casos de dengue considera las condiciones sociales y económicas, como el crecimiento de zonas urbanas y costeras; el desarrollo de puertos industriales, con el consecuente aumento de los grupos poblacionales en zonas propicias de desarrollo del vector; el incremento de la

manufacturación de artículos, en su mayoría desechables: botellas, frascos, llantas, latas, etcétera, donde se dan las condiciones para la reproducción del mosquito (Sánchez Piña, 2023).

En lo que va del 2023, en México se han registrado tres veces más casos de dengue que los detectados en estas mismas fechas, pero en 2022; hasta el 7 de octubre se habían confirmado 30,320 casos de dengue, mientras que, en la misma semana del año pasado, eran 6,942, lo que significa un incremento de 336.76%. El 71% de los casos se concentran en Yucatán, Veracruz, Quintana Roo, Morelos y Puebla. Particularmente, el estado de Quintana Roo, ocupa el segundo lugar de contagios, después del estado de Yucatán, con una tasa de incidencia total de 183.52 casos por cada 100,000 habitantes (Badillo, 2023).

A fin de controlar la transmisión, el gobierno del municipio de Cozumel realiza campañas de descacharrización<sup>11</sup> y programas de nebulización para combatir los criaderos de moscos. Particularmente, las campañas de descacharrización ayudan a que la población no acumule cacharros en sus domicilios o los disponga incorrectamente en lotes baldíos que aumentan la fauna nociva en zonas urbanas y permiten el aumento de casos de dengue. Desde 2021 hasta agosto de 2023 el Centro de Acopio de Materiales Reciclables (CAMAR) ha recolectado más de 783 toneladas de cacharros (Ayuntamiento de Cozumel, 2021), (Ayuntamiento de Cozumel, 2023).

A continuación, se presentan las cifras de los contagios y defunciones de dengue en el municipio de Cozumel.

#### i. Confirmaciones de contagio de Dengue

Desde enero de 2020 hasta octubre de 2023 en Cozumel se han reportado 421 casos de dengue, de los cuales se confirmaron 106, 56% en mujeres, y 44% en hombres (DGE, 2023).

En la tabla 6.1.8.2-3 y gráfica 6.1.8.2-5 se presenta la distribución por año, desde 2020 a octubre 2023, y por género del número de confirmaciones de contagio por dengue en el municipio, donde se observa que, en el 2020 solo se presentó un

<sup>11</sup> Se recolectan muebles, llantas y cualquier objeto que pudiera convertirse en proyectil en caso de que un ciclón tropical afecte a la isla (Ayuntamiento de Cozumel, 2023).

Tabla 6.1.8.2-3. Distribución por año y género de las confirmaciones de contagio por dengue en el municipio de Cozumel (2020 – octubre 2023)

Año	Mujer	Hombre	Total
2020	1	0	1
2021	0	0	0
2022	4	5	9
2023	54	42	96
<b>Total</b>	<b>59</b>	<b>47</b>	<b>106</b>

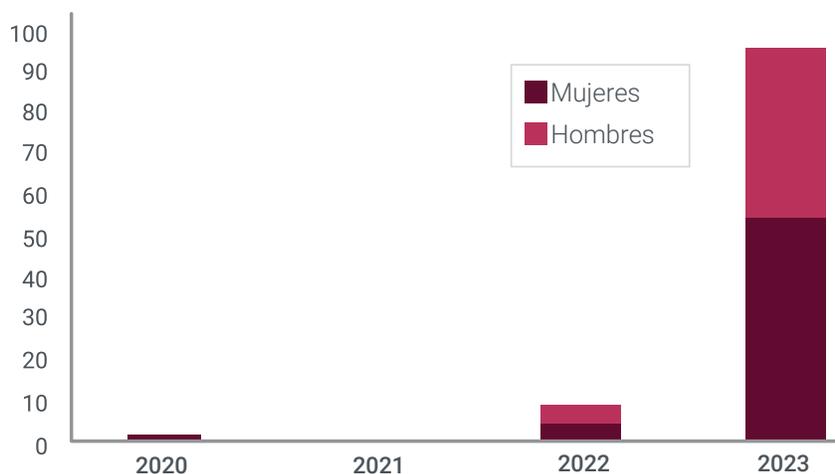
Fuente: (DGE, 2023)

Tabla 6.1.8.2-4. Distribución por año y género de las defunciones por dengue en el municipio de Cozumel (2020 – octubre 2023)

Año	Mujer	Hombre	Total
2020	0	1	1
2021	0	0	0
2022	0	1	1
2023	1	1	2
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>

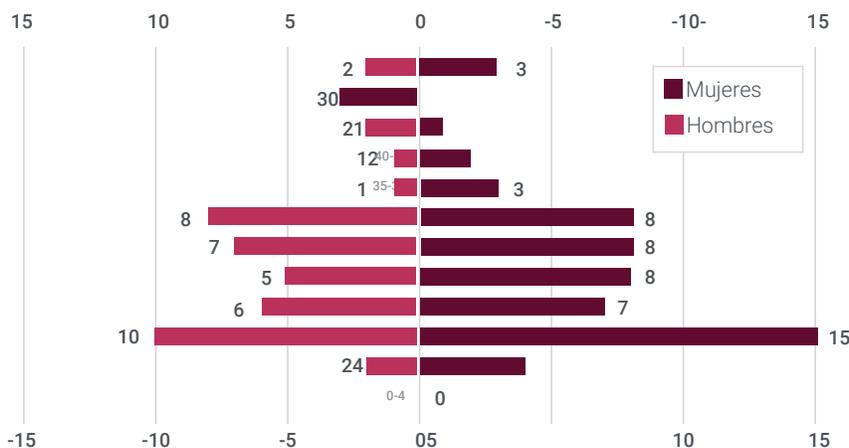
Fuente: (DGE, 2023)

Gráfica 6.1.8.2-5. Distribución por año y género de las confirmaciones de contagio de dengue en el municipio de Cozumel (2020 – octubre 2023)



Fuente: (DGE, 2023)

Gráfica 6.1.8.2-6. Distribución por género y rangos de edad de casos confirmados de dengue en el municipio de Cozumel (2020-octubre 2023)



Fuente: (DGE, 2023)

contagio, en el 2021 ninguno, y en el 2023 se han registrado el 90.5% de los contagios totales en el periodo analizado.

En la gráfica 6.1.8.2-6 se presenta la distribución por género y rangos de edad de las confirmaciones de contagio de dengue en el municipio, de 2020 a octubre 2023. Se observa que el 77.4% de la población que se contagió de dengue tenía entre 10 y 34 años. Particularmente, entre la población de 10 a 14 años se registraron 25 casos, 15 mujeres y 10 hombres.

Considerando lo anterior, se estima que la población del municipio que tiene entre 10 y 34 años tiene un nivel mayor de susceptibilidad de contagio de dengue. De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, las localidades que cuentan con mayor número de habitantes en este rango de edad son Buenavista, Varadero, San Isidro y El Refugio.

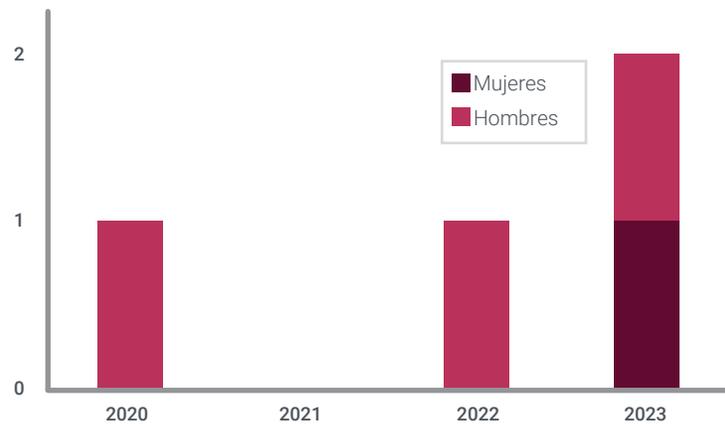
## ii. Defunciones por Dengue

Respecto a la mortalidad en el municipio de Cozumel por dengue, desde enero de 2020 hasta octubre de 2023, se han registrado 4 defunciones, 25% mujeres y el 75% hombres.

En la tabla 6.1.8.2-4 y gráfica 6.1.8.2-7 se presenta la distribución por año y género del número de defunciones por dengue en el municipio, donde se observa que el número de muertes es bajo, sin embargo, en el 2023 se duplico, pero el número no representativo respecto a la población total del municipio.

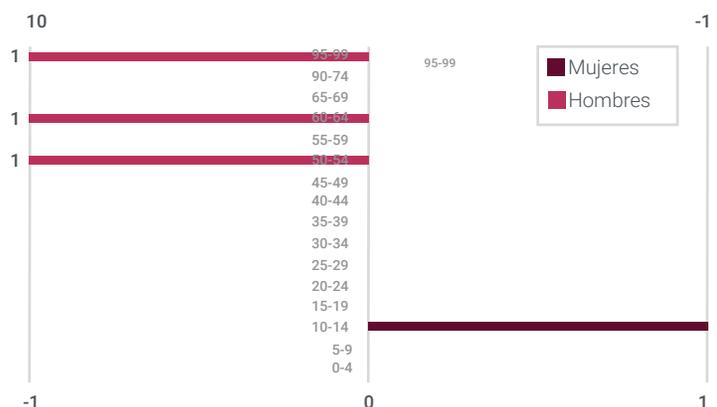
En la gráfica 6.1.8.2-8 se presenta la distribución por género y rangos de edad de las defunciones por dengue en el municipio. Se observa que el 50% de la población que murió tenía más de 60 años.

Gráfica 6.1.8.2-7. Distribución por año y género de las defunciones por dengue en el municipio de Cozumel



Fuente: (DGE, 2023)

Gráfica 6.1.8.2-8. Distribución por género y rangos de edad de las defunciones COVID-19 en el municipio de Cozumel (2020-2023)



Fuente: (DGE, 2023)

Considerando lo anterior, se estima que la población del municipio que tiene más de 60 años tiene un nivel mayor de susceptibilidad de morir por dengue. Sin embargo, la frecuencia es baja.

#### 6.1.8.2.2. Contaminación

Los efectos negativos de la contaminación se ven reflejado en la salud de la población como la intoxicación por sustancias peligrosas, así como escasez de los recursos naturales como el agua, el aire y el suelo (ACUERDO Por El Que Se Emite La Guía de Contenido Mínimo Para La Elaboración Del Atlas Nacional de Riesgos., 2016b). En ese sentido, a continuación, se presenta un análisis de la contaminación del agua, aire y suelo en el municipio.

##### a. Contaminación del agua de cenotes y del acuífero

El agua es uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta, ya que los seres humanos dependemos de su disponibilidad para el consumo doméstico, así como para el funcionamiento y la continuidad de las actividades agrícolas e industriales. En las últimas décadas, la demanda por el líquido ha crecido significativamente, y se ha agravado el problema de escases, debido a su contaminación. Entre los factores que reducen la calidad del agua destacan las descargas directas de agua o residuos sólidos provenientes de actividades domésticas, agropecuarias o industriales; y la disposición inadecuada en el suelo de residuos sólidos urbanos o peligrosos, que indirectamente pueden ocasionar escurrimientos superficiales y lixiviados<sup>12</sup> que contaminan los cuerpos de agua y los acuíferos (Agua.org.mx, n.d.).

Los estándares de calidad del agua son establecidos y regulados por una serie de Leyes y Normas Oficiales Mexicanas:

- La (Ley General de Equilibrio Ecológico y La Protección al Ambiente, 1988) dicta en los artículos:

<sup>12</sup> Líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contiene en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua, provocando su deterioro y representar un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos (Ley General Para La Prevención y Gestión Integral de Los Residuos, 2003).

- ◆ 117, que la prevención y control de la contaminación del agua es fundamental para evitar que se reduzca su disponibilidad y para proteger los ecosistemas del país, que las aguas residuales de origen urbano deben recibir tratamiento previo a su descarga en ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo, así como que la participación y corresponsabilidad de la sociedad es condición indispensable para evitar la contaminación del agua.
- ◆ 118 fracciones I y II, que los criterios referidos en la Ley serán considerados en la expedición de normas oficiales mexicanas para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales, para evitar riesgos y daños a la salud pública.
- ◆ 123, que todas las descargas en las redes colectoras, ríos, acuíferos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua y los derrames de aguas residuales en los suelos o su infiltración en terrenos, deberán satisfacer las normas oficiales mexicanas que para tal efecto se expidan, y en su caso, las condiciones particulares de descarga que determine la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales o las autoridades locales.
- La (Ley de Aguas Nacionales, 1992), prevé en los artículos que:
  - ◆ 85, que quienes exploten, usen o aprovechen aguas nacionales, serán responsables de realizar las medidas necesarias para prevenir su contaminación y en su caso, para reintegrar las aguas referidas en condiciones adecuadas, a fin de permitir su explotación, uso o aprovechamiento.
  - ◆ 88 BIS fracción II, que quienes exploten, usen o aprovechen aguas nacionales, deben tratar las aguas residuales previamente a su vertido a los cuerpos receptores, cuando sea necesario para cumplir con lo dispuesto en el permiso de descarga correspondiente y en las normas oficiales mexicanas.

- NOM-001-SEMARNAT-2021, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores, con el fin de proteger, conservar y mejorar la calidad de las aguas y bienes nacionales (NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que Establece Los Límites Permisibles de Contaminantes En Las Descargas de Aguas Residuales En Cuerpos Receptores Propiedad de La Nación., 2022).
- NOM-002-Semarnat-1996, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, n.d.).
- NOM-003-Semarnat-1997, establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúnen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, n.d.).

Entre los principales indicadores de calidad del agua de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) están la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO5), la demanda química de oxígeno (DQO) y la concentración de sólidos suspendidos totales (SST). También se registran las concentraciones de nitratos y fosfatos, su dureza, oxígeno disuelto y pH (Agua.org.mx, n.d.), así como, se evalúa si el agua es adecuada para uso recreativo<sup>13</sup> a partir de la cuantificación de los microorganismos patógenos, es decir, los que están asociados a los aportes de aguas residuales, cuya relevancia se debe a los riesgos que representan para la

<sup>13</sup> EL uso recreativo se clasifica en: a) aguas de contacto directo en las que una persona se mantiene sumergida, e implica un riesgo de ingestión de agua y b) aguas de contacto indirecto, relacionadas con actividades acuáticas en las cuales sólo se tiene contacto accidental con el agua (SEMARNAT, n.d.).

salud por causar enfermedades infecciosas. Entre las pruebas más utilizadas está la medición de coliformes fecales y los enterococos, que se emplean principalmente en el análisis de aguas marinas o salobres (SEMARNAT, n.d.).

El consumo de agua no potable puede ocasionar diversas enfermedades gastrointestinales como el cólera y la tifoidea, además de irritación en la piel, infecciones en ojos y oídos, entre otras. (SEMARNAT, n.d.).

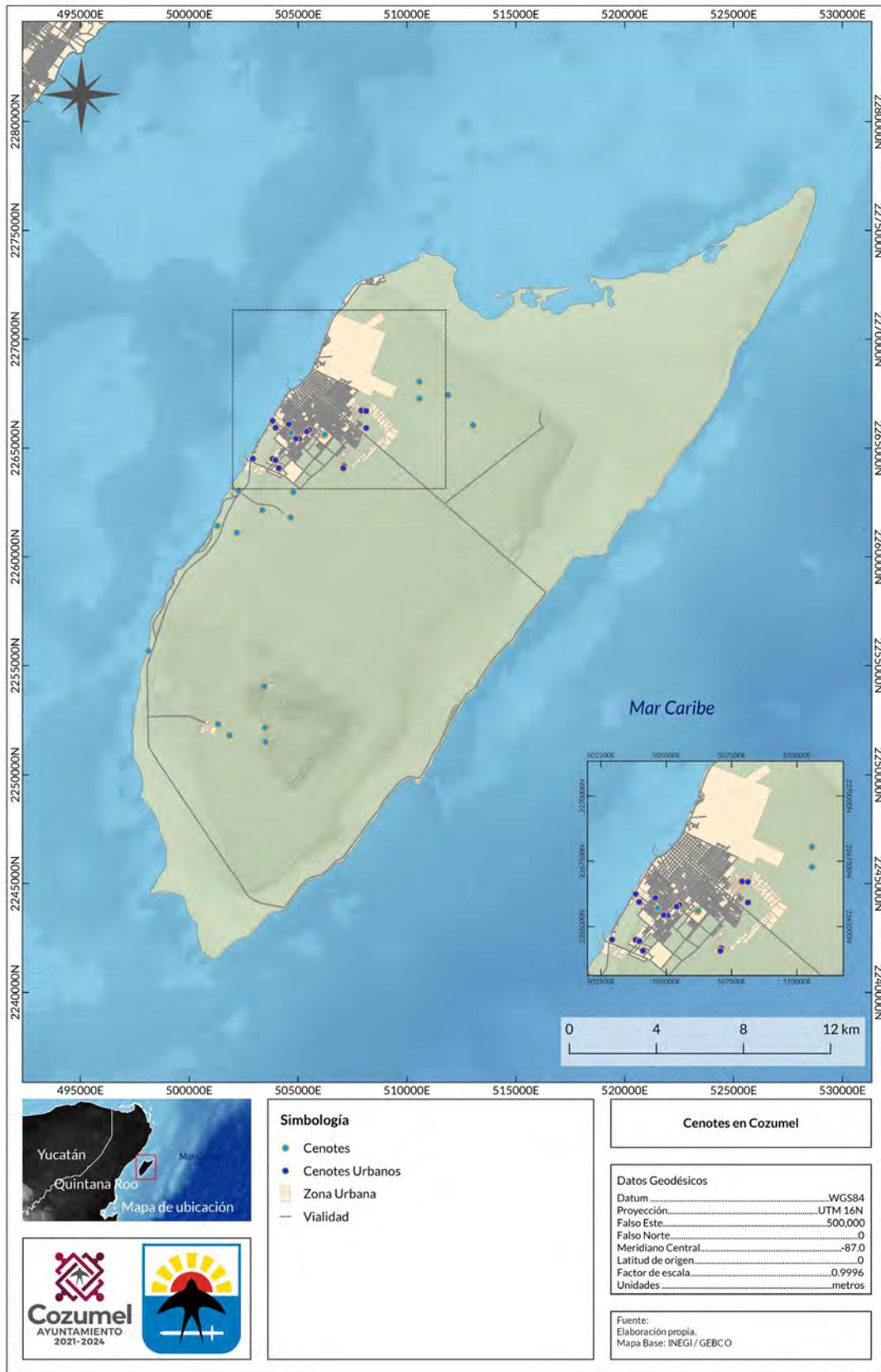
Considerando lo anterior, y la importancia de los cenotes y acuífero en el municipio, a continuación, se realiza un análisis de la contaminación del agua en estos sistemas.

Las cuevas anquialinas o cenotes están conectadas hidrológicamente tanto con el mar como con las aguas subterráneas salobres, y contienen una fauna dominada por crustáceos que está adaptada a condiciones extremas, como oscuridad, áreas de disoxia<sup>14</sup> y alto contenido de azufre (Watson et al., 1997).

En el municipio de Cozumel se han detectado alrededor de 36 cenotes, el agua dulce de algunos de estos, junto con los conductos de agua subterráneos, son utilizados por la población local para satisfacer sus necesidades básicas (La Jornada Maya, 2023) (Mejía Ortíz et al., 2007).

<sup>14</sup> Oxigenación insuficiente de los tejidos cuando las concentraciones de oxígeno son tan bajas que impiden la respiración mitocondrial, resultado del desequilibrio entre el aporte o disponibilidad (delivery) de oxígeno (DO2) y la demanda de este elemento.

Figura 6.1.8.2-1. Ubicación de cenotes en el municipio de Cozumel



Fuente: Mejía Ortíz et al., 2007

Aunque estas cuevas exhiben valores relativamente estables de temperatura, pH, salinidad y oxígeno disuelto a través de capas de agua estratificadas, pueden ocurrir variaciones por las diferencias estacionales en las precipitaciones, la afluencia de agua dulce debido a la permeabilidad del suelo kárstico (Watson et al., 1997), y por la contaminación.

Particularmente, en el área urbana del municipio se han identificado 19 cenotes, de los cuales, debido a las condiciones de su agua, se ha determinado que 10 requieren un proceso de saneamiento. Además, en el cenote el Aerolito, donde por el momento el sistema subterráneo no ha tenido graves impactos directos y sus condiciones ambientales se mantienen estables, se presentan problemáticas socioambientales, como el aumento y expansión de la infraestructura turística, el cambio de uso de suelo en terrenos forestales, el turismo no regulado y malas prácticas, la introducción de especies exóticas, y la contaminación por hidrocarburos y aguas residuales, lo que ha provocado que desde hace algunos años se hayan registrado variaciones en algunos parámetros fisicoquímicos en el cenote y en una de las zonas clave para el ecosistema subterráneo, la marina La Caleta<sup>15</sup> (CONANP, 2023) (DOF, 2023).

Por su parte, el acuífero del municipio de Cozumel abarca la totalidad del territorio de la isla y comprende la porción insular de este ("ACUERDO" Por El Que Se Da a Conocer La Ubicación Geográfica de 371 Acuíferos Del Territorio Nacional, Se Actualiza La Disponibilidad Media Anual de Agua Subterránea de 282 Acuíferos, y Se Modifica, Para Su Mejor Precisión, La Descripción Geográfica de 202 Acuíferos, 2009).

Los límites del acuífero están definidos por los vértices de la poligonal de la Tabla 6.1.8.2-5.

<sup>15</sup> En las playas cercanas a La Caleta la concentración de bacterias coliformes tiene valores elevados y es mayor que en el margen occidental del municipio, estos aportes de materia orgánica probablemente provienen de aguas residuales y/o lixiviados de la infraestructura aledaña (hoteles y marina para embarcaciones). También se han registrado concentraciones de amonio con máximos valores en sitios próximos a desarrollos turísticos y parámetros altos de turbiedad, que en conjunto han hecho que la calidad del agua de La Caleta se considere contaminada (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2023).

Tabla 6.1.8.2-5. Coordenadas del polígono del acuífero del municipio de Cozumel.

Vértice	Longitud Oeste	Latitud Norte
1	87°01'18.2"	20°24'55.9"
2	86°55'53.1"	20°33'3.7"
3	86°53'57.1"	20°33'56.9"
4	86°51'59.2"	20°32'21.6"
5	86°51'42.6"	20°33'1.1"
6	86°48'18.6"	20°33'22.1"
7	86°43'54.6"	20°35'54"
8	86°45'52.9"	20°30'51.3"
9	86°53'55.8"	20°20'40.8"
10	86°59'37.2"	20°15'55.9"
11	87°01'20.1"	20°17'44.9"
12	87°01'52.4"	20°21'49.7"

Fuente: ("ACUERDO" Por El Que Se Da a Conocer La Ubicación Geográfica de 371 Acuíferos Del Territorio Nacional, Se Actualiza La Disponibilidad Media Anual de Agua Subterránea de 282 Acuíferos, y Se Modifica, Para Su Mejor Precisión, La Descripción Geográfica de 202 Acuíferos, 2009)

Toda el agua que se consume en el estado de Quintana Roo proviene casi exclusivamente de los acuíferos cársticos de la región, los cuales son vulnerables intrínsecamente debido a la alta permeabilidad de la roca caliza que posibilita el transporte de contaminantes, lo cual se acentúa en el acuífero de la isla de Cozumel, principalmente por sus dimensiones territoriales que limitan su volumen de captación, así como por las actividades asociadas al desarrollo urbano, turístico y de infraestructura, que pueden tener efectos negativos en la calidad del agua subterránea. Adicionalmente, el acuífero del municipio es altamente vulnerable al deterioro de la calidad del agua por el incremento de la intrusión salina (CCC, 2023).

Diversos estudios han identificado en cenotes y en el acuífero sustancias disueltas en concentraciones potencialmente nocivas o incluso tóxicas para la salud de las personas y de los ecosistemas como los metales pesados, plaguicidas, herbicidas, fármacos, grasas y aceites, microplásticos, etc. (CCC, 2023):

- (Gutiérrez-Aguirre et al., 2008) reporto elevadas concentraciones de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en los cenotes de la isla, principalmente en los cenotes cercanos al litoral.

- (Koch et al., 2017) encontró zinc en un pozo residencial y cadmio en el cenote El Arco, además de la presencia de más de 60 sustancias entre fármacos, herbicidas y pesticidas en aguas provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de CAPA.
- (Contreras-Tax et al., 2021) detectó elevadas concentraciones de coliformes en pozos domésticos del asentamiento irregular Ranchitos.
- El Programa de monitoreo de la calidad del agua para la gestión hidrológica de la Isla de Cozumel realizado por el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) en conjunto con el ayuntamiento, evidenció que los cenotes urbanos del municipio se encuentran en un estado promedio entre bueno y regular, sin embargo, los 10 cenotes estudiados necesitan saneamiento urgente, por la alta presencia de indicadores de origen fecal, lo cual muestra el alto grado de contaminación por aguas residuales, además de encontrarse zinc, bario litio en los sedimentos de todos los cenotes analizados. (La Jornada Maya, 2023) (CCC, 2023).

El problema de la contaminación del acuífero por aguas residuales parece haberse incrementado en los últimos años debido al deteriorado estado de gran parte de la red de drenaje hidrosanitario municipal en la zona urbana, así como a la falta de cobertura de este en los asentamientos irregulares y en la zona hotelera al sur de la isla, lo que ha fomentado la proliferación de fosas sépticas (muchas de ellas mal diseñadas), así como de vertimientos clandestinos de aguas residuales en el acuífero. Lo anterior, refleja una deficiente planificación territorial y el rezago en la capacidad operativa de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “San Miguelito” (CCC, 2023).

La contaminación del acuífero también se ha incrementado por el manejo inadecuado de los residuos sólidos (CCC, 2023), ya que estos son acumulados y depositados en tiraderos clandestinos, y al contener material soluble, este es lixiviado por el agua de lluvia, filtrándose hasta la zona saturada e incorporándose al flujo subterráneo pudiendo llegar, eventualmente, a las captaciones de aguas subterráneas (Porrás Martín et al., 1985). En el municipio

se han identificado alrededor de 30 tiraderos clandestinos (Subdirección del Centro de Acopio de Materiales Reciclables (CAMAR)), que incrementan la contaminación de los acuíferos.

Otro problema es la intrusión salina<sup>16</sup>, ya que en la mayoría de los cenotes hay registros de agua salada en sus niveles más profundos (Mejía Ortíz et al., 2007) y el acuífero de Cozumel tiene un espesor del agua dulce entre 14 y 28 metros, encontrándose el máximo valor hacia el interior de la isla (Lesser et al., 1978).

La intrusión salina también es relevante en la zona costera, en la franja litoral, el lente de agua dulce es muy delgado y la capa que se mezcla con el agua salada es la de mayor espesor, por lo que con el aumento global de la temperatura, el nivel del agua marina se eleva y, por lo tanto, la intrusión de la cuña de agua salada se incrementa hacia el interior de la isla, lo que ocasiona la mezcla con el agua dulce en el interior, y, por tanto, disminuye la cantidad de agua apta para consumo humano (CCC, 2023).

También se debe considerar que, en el municipio cuenta con 270 pozos, de los cuales solo 130 se encuentran en operación, ya que muchos fueron cerrados a causa de la intrusión salina o por abatimiento (Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPA)). Además, la precipitación en el municipio ha presentado una tendencia a la baja, lo que ocasiona una menor captación de agua, mientras que la evapotranspiración y temperatura media ambiental tienen una tendencia a incrementar (Hernández-Flores et al., 2021) (CCC, 2023).

En ese sentido, la preservación de los cenotes y del acuífero es una condición prioritaria para sostener el desarrollo social y económico del municipio, por lo que se ha conformado un Comité de Cuenca de Cozumel, con la facultad de realizar diagnósticos y planes de manejo, así como gestiones para la operación y cuidado responsable del agua (CCC, 2023).

<sup>16</sup> Este fenómeno se produce cuando el agua dulce que se extrae de los pozos se reemplaza por el agua salobre que yace por debajo. Esto también genera mezcla de aguas que resulta en un aumento de la salinidad y dejan de ser útiles para satisfacer las necesidades de consumo de la población. (CCC, 2023)

b. Contaminación del aire

La contaminación del aire es uno de los problemas más graves que afecta la salud de las personas. De continuar sin cambios que permitan disminuir la emisión de sustancias tóxicas a la atmósfera, se prevé que para 2050, la contaminación del aire será la principal causa ambiental de mortalidad prematura en el mundo (OCDE, 2012).

Las principales sustancias que deterioran la calidad del aire es el material particulado (PM), en el cual sus principales componentes son los sulfatos, los nitratos, el amoníaco, el cloruro de sódico, el carbón, el polvo de minerales y el agua (Méndez, 2018).

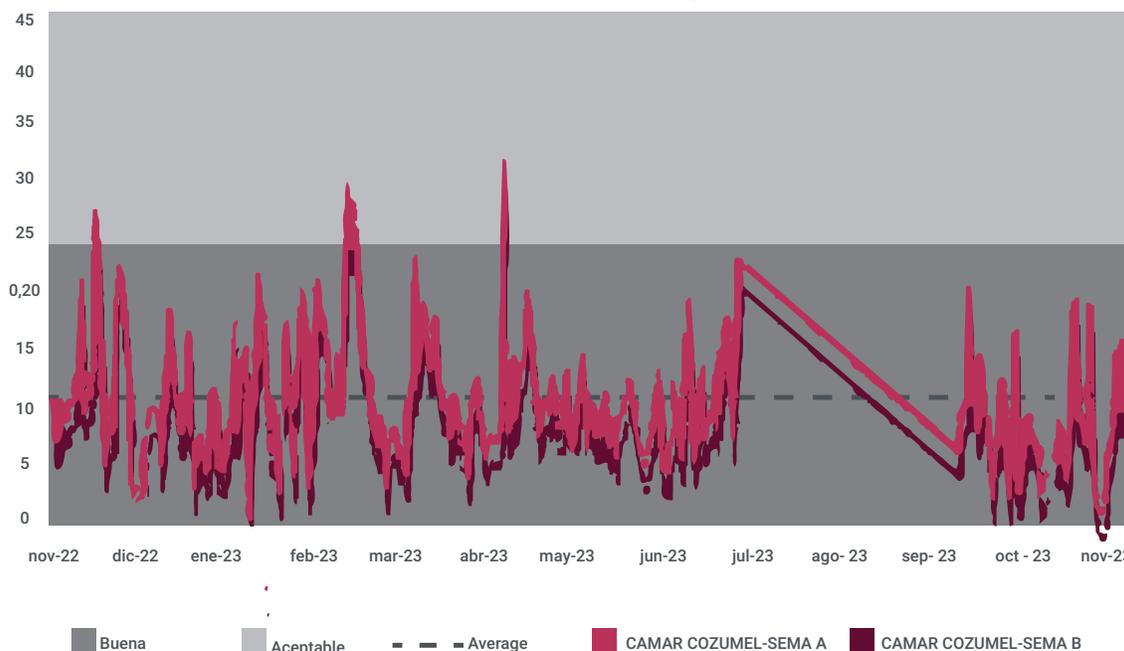
Tabla 6.1.8.2-6. Principales clases de contaminantes del aire

Tipo de Partículas	Definición	Fuentes	Efectos
PST y PM10	Son una mezcla de compuestos microscópicos o muy pequeños en forma de líquidos y sólidos suspendidos en el aire. Varía en tamaño, forma y composición, dependiendo de su origen. Están constituidas principalmente por metales, compuestos orgánicos, material de origen biológico, iones, gases reactivos y la estructura misma de las partículas, normalmente formada por carbón elemental.	<p><b>Naturales:</b> Incluyen tormentas de arena, actividad volcánica, incendios forestales, suelos erosionados, plantas y flores, microorganismos, desperdicios de animales</p> <p><b>Antropogénicas:</b> Partículas de automóviles, autobuses, camiones de carga y equipo de construcción, así como hornos, plantas generadoras de energía e industrias.</p>	Visibilidad disminuida, enfermedades crónicas del sistema respiratorio, asbestosis, envenenamiento con plomo, suciedad de la casa y ropa, destrucción de la vida vegetal y la agricultura, efectos sobre el clima.
Menores a 10 micrómetros (µm) (PM10)	Poseen un diámetro aerodinámico menor a 10 micrómetros, y se pueden dividir por su tamaño en: la fracción gruesa (diámetro aerodinámico entre 2.5 y 10 micrómetros, PM10-2.5, fracción fina que incluye a las partículas con diámetro aerodinámico menor a 2.5 micras (PM2.5) y la fracción ultrafina que se refiere a las partículas menores de 0.1 micras.	Proviene principalmente de materiales de la corteza terrestre y se originan en su mayoría por procesos de desintegración de partículas más grandes. También pueden contener material biológico como polen, esporas, virus o bacterias o provenir de la combustión incompleta de combustibles fósiles.	Pueden causar cáncer de pulmón, ya que se depositan en la región extratorácica del tracto respiratorio, nariz, boca, naso, oro y laringofaringe.
Menores a 2.5µm (PM2.5)	Llamadas partículas finas o fracción respiratoria son aquellas partículas con un diámetro igual o menor a 2.5µm	Los tres generadores principales son la industria metalúrgica, caminos no pavimentados y la generación de energía eléctrica, además existen otras fuentes como lo son las ladrilleras y la industria automotriz, entre otras.	Afectan al sistema cardiovascular y respiratorio. Pueden ser causa de la hospitalización de pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), cardiovasculares y de diabetes mellitus. Además, generan el aumento de la necesidad de terapia en asmáticos, el riesgo de infarto al miocardio, inflamación de los pulmones, inflamación sistémica, disfunción endotelial y vascular, el desarrollo de aterosclerosis, aumento en la incidencia de infecciones, y cáncer de pulmón.

Monóxido de carbono (CO)	Gas incoloro, inodoro e insípido, producto de una combustión incompleta de los motores de los vehículos que emplean gasolina como combustible	Se forma mediante la oxidación del Metano (CH <sub>4</sub> ), que es un gas común producido por la descomposición de la materia orgánica. Principalmente se genera en fuentes estacionarias o móviles que queman combustibles como motores de combustión interna y motores de gasolina.	Puede ser mortal en un tiempo de exposición corto en áreas cerradas. Reacciona con la hemoglobina en la sangre, evitando la transferencia de oxígeno.
Óxidos de Nitrógeno (NOx)	Los NOx que contribuyen a la contaminación del aire son el Óxido Nítrico (NO) y el Bióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> ), que son gases incoloros y sus concentraciones excesivas en el aire ocasionan un color pardusco debido a la absorción de la luz en el área azul-verde del espectro. El Bióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) y las partículas suspendidas causan la capa café-rojiza que se puede ver con frecuencia sobre muchas áreas urbanas.	Son emitidos principalmente por el sector industrial, representado por la generación de energía eléctrica y la metalúrgica. También por los vehículos automotores, como los mayores a 3 toneladas, tracto camiones, camionetas, pick up, autos particulares y taxis.	Visibilidad reducida, irritación en la nariz y los ojos, edema pulmonar, bronquitis y neumonía. Reaccionan con compuestos orgánicos volátiles bajo la influencia de la luz solar para formar el ozono, nitratos de peroxiacilo y smog.
Plomo (Pb)	Metal pesado con peso molecular de 207	Se produce por la combustión del plomo de combustibles (principalmente en los automóviles), pinturas basadas en plomo, tubería que contiene plomo, acumuladores almacenados. Debido a que el plomo no se consume en el proceso de combustión, se emite como material articulado	Ataca el sistema nervioso central con daño neurológico consecuente.
Hidrocarburos - Compuestos orgánicos volátiles (COV)	Cualquier compuesto de carbón, excluyendo el monóxido de carbono, el ácido carbónico, los carburos y carbonatos metálicos, el carbonato de amonio y la acetona, el cual precipita en reacciones atmosféricas fotoquímicas.	Fuentes móviles que circulan por carretera, como autos particulares, taxis y camionetas pick up. Así como la industria automotriz y el uso de solventes.	Son los contaminantes primarios en la formación del ozono y smog fotoquímico.
Hidrocarburos - Compuestos orgánicos no volátiles	Todos los compuestos de carbono e hidrógeno, en forma líquida o gaseosa.	Sistemas de acondicionamiento de aire, la limpieza y desengrasado con disolventes, el limpiado en seco y los fabricantes de productos en espuma.	Son agotadores del ozono estratosférico.
Ozono (O <sub>3</sub> )	Molécula compuesta por 3 átomos de oxígeno. A nivel del piso es un contaminante secundario que se forma en la atmósfera por la reacción que se lleva cabo entre los óxidos de nitrógeno y de los compuestos orgánicos volátiles en presencia de luz solar.	Emisiones de los vehículos automotores, la industria, evaporación de solventes, y la actividad biogénica.	Puede causar una variedad de efectos en el sistema respiratorio, incluyendo inflamación del revestimiento de los pulmones, reducción de la capacidad pulmonar, asma, enfisema, y bronquitis, así como tos, sibilancias, dolor y ardor en el pecho, y dificultad para respirar. También puede aumentar la susceptibilidad a padecer infecciones respiratorias y reducir la capacidad de realizar ejercicio.
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	Gas incoloro con un olor penetrante que se genera en la combustión de combustibles fósiles (Carbón y petróleo) y en la fundición de minerales que contienen Azufre.	Quema de combustibles fósiles que contienen azufre empleados para la generación de electricidad y en los vehículos de motor a diésel. El 97% de la emisión de SO <sub>2</sub> proviene del sector de generación de energía eléctrica.	Afecta a la función pulmonar, además de la irritación ocular. Causa inflamación del sistema respiratorio que provoca tos, secreción mucosa, agravamiento del asma y bronquitis crónica.

Fuente: elaboración propia con información de (SMA, 2017)

Gráfica 6.1.8.2-9. Promedio diario del Índice de Aire y Salud PM2.5 en el municipio de Cozumel (noviembre 2022 – noviembre 2023)



Fuente: Datos obtenidos mediante la medición del contaminante PM2.5 (Partículas menores a 2.5 micrómetros) con el empleo de sensores PurpleAir® y el índice de Aire y Salud (NOM-172- SEMARNAT-2019).

En ese sentido, el monitoreo de la calidad del aire toma una importancia fundamental para proveer la información necesaria a fin de evaluar la calidad del aire de cada región y sus tendencias, así como para desarrollar estrategias de prevención y control, y políticas ambientales integrales. (DOF, 2019).

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) elaboró la Norma Oficial Mexicana NOM-172-SEMARNAT-2019, con el objeto de establecer los lineamientos para la obtención del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud, a fin de que sea empleado de manera unificada en todo el territorio nacional para difundir de manera clara, oportuna y continua el estado de la calidad del aire, los riesgos asociados a la exposición a los contaminantes del aire y las medidas de protección que se recomienda tomar para reducir la exposición a los mismos (DOF, 2019).

La Norma Oficial Mexicana NOM-172-SEMARNAT-2019 define clasificaciones de bandas de calidad del aire y riesgo que componen el Índice AIRE Y SALUD y son construidas a partir de los intervalos de concentración de PM10, PM2.5,

ozono (O3), dióxido de nitrógeno (NO2), dióxido de azufre (SO2), monóxido de carbono (CO).

Los resultados históricos y en tiempo real del monitoreo de contaminantes atmosféricos particulados PM2.5 de Cozumel son presentados en la plataforma “Monitoreo de contaminantes atmosféricos particulados (pm10 y pm2.5) en el estado de Quintana Roo, mediante sensores Purpleair<sup>17</sup> (SEMA, 2023). En la gráfica 6.1.8.2-9 se muestra el registro del índice de las partículas PM2.5 del promedio diario desde noviembre de 2022 a noviembre de 2023.

<sup>17</sup> Los sensores PURPLEAIR utilizados en la plataforma fueron adquiridos en calidad de donación a través del proyecto trinacional denominado “Fomento del Monitoreo de Biodiversidad y Cambio Climático en la Región Selva Maya”, mismo que es impulsado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ, Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable), por encargo del Ministerio Federal Alemán de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU) de Alemania, implementada conjuntamente con la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), formando parte de la Iniciativa Internacional de Protección del Clima (IKI)”.

Tabla 6.1.8.2-7. Obtención del Índice AIRE Y SALUD para PM2.5

Calidad del aire	Nivel de riesgo asociado	Intervalo de PM2.5 promedio móvil ponderado de 12 horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Buena	Bajo	25
Aceptable	Moderado	>25 y 45
Mala	Alto	>45 y 79
Muy Mala	Muy Alto	>79 y 147
Extremadamente Mala	Extremadamente Alto	>147

Fuente: (DOF, 2019)

Considerando las mediciones realizadas en el municipio de Cozumel en la tabla 6.1.8.2-7 se presenta la obtención del Índice AIRE Y SALUD para PM2.5.

En ese sentido, en la gráfica 6.1.8.2-9 se observa que, en el periodo analizado, el valor promedio diario de PM2.5 en el municipio es de  $10.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , el valor máximo fue entre  $32.038 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $33.232 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y se presentó el 29 de abril de 2023, mientras que, el valor mínimo fue entre  $0.482 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $2.062 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el 16 de noviembre de 2023. Lo cual indica que, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-172-SEMARNAT-2019, la calidad de aire en el municipio es buena, y solo algunas veces llega a ser aceptable. Sin embargo, es importante precisar que si el análisis se realiza considerando las mediciones de PM2.5 cada 10 minutos (tiempo mínimo medido) en un periodo de 7 días, los índices superan el intervalo de calidad de aire aceptable (>25 y  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) situándose en los intervalos de calidad de aire mala y muy mala, principalmente en horarios posteriores a las 11 pm.

### c. Contaminación del suelo

El suelo es un recurso finito, por lo que su pérdida y degradación no es recuperable en el transcurso de una vida humana. Los suelos están relacionados con la producción de alimentos, la salud y la calidad del agua y del aire (FAO, 2018).

El término “contaminación del suelo” se refiere a la presencia de un químico o una sustancia fuera de sitio y/o presente en una concentración más alta de lo normal, que tiene efectos adversos sobre cualquier organismo al que no están destinados (Rodríguez-Eugenio et al., 2019).

Fenómenos como la erosión, la pérdida de carbono orgánico, la salinización, la compactación, la acidificación y la contaminación química son los principales responsables del deterioro actual del suelo (Iberdrola, n.d.). Adicionalmente, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) establece dos tipos de contaminación en el suelo:

- La puntual se debe a razones concretas, tiene lugar en áreas reducidas y sus causas son fáciles de identificar. Esta contaminación terrestre es habitual en las ciudades, los emplazamientos de antiguas fábricas, los alrededores de las carreteras, los vertederos ilegales y las depuradoras.
- La difusa abarca territorios muy amplios y sus causas son diversas o difíciles de identificar. Implica la dispersión de contaminantes a través de sistemas aire-suelo-agua y tiene un impacto importante sobre la salud humana y el medio ambiente.

Particularmente, las principales fuentes antropogénicas de contaminación del suelo son los químicos de actividades industriales, residuos domésticos, ganaderos y municipales (incluyendo aguas residuales), agroquímicos y productos derivados del petróleo. La contaminación del suelo también proviene de procesos de fundición, del transporte, de la pulverización de aplicaciones de plaguicidas y de la combustión incompleta de muchas sustancias. Han surgido contaminantes emergentes como son los productos farmacéuticos, interruptores endocrinos, hormonas y toxinas, entre otros, así como contaminantes biológicos como microcontaminantes que incluyen bacterias y virus. También algunos contaminantes pueden ocurrir

naturalmente como los componentes de minerales que pueden ser tóxicos en concentraciones altas, y las erupciones volcánicas o incendios forestales cuando liberan elementos tóxicos (Rodríguez-Engenio et al., 2019).

La contaminación del suelo provoca una reacción en cadena:

- Altera la biodiversidad del suelo, reduciendo la materia orgánica que contiene y su capacidad para actuar como filtro.
- Contamina el agua almacenada en el suelo y el agua subterránea, provocando un desequilibrio de sus nutrientes.
- Los contaminantes se acumulan en los tejidos de las plantas que pasan a los animales que pastan, así como a las aves que las consumen, y finalmente a los humanos que se alimentan de las plantas y los animales, causándoles diversas enfermedades y una excesiva mortalidad, desde efectos agudos a corto plazo, como intoxicaciones o diarrea, hasta otros padecimientos crónicos a largo plazo, como el cáncer.
- Tiene un elevado costo económico, debido a la reducción de los rendimientos y la calidad de los cultivos
- De 2015 a 2050, se estima que emitirán 69 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> como consecuencia del cambio del uso de la tierra y la degradación del suelo, lo que representa el 17% de las emisiones actuales de gases de efecto invernadero cada año.

Respecto a la normativa para la caracterización de los sitios contaminados, la evaluación de los riesgos al ambiente y la salud y el establecimiento de acciones de remediación que procedan, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Secretaría de Salud han emitido normas oficiales:

- La NOM147-SEMARNAT/SSA1-2004 dicta los criterios para la caracterización y determinación de concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo,

selenio, talio, vanadio y sus compuestos inorgánicos; así como los criterios de remediación (DOF, 2007).

- La NOM-138-SEMARNAT/SSA-1-2012 establece los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos, los lineamientos para el muestreo en la caracterización y las especificaciones para la remediación (DOF, 2013b).

Adicionalmente, la (Ley General de Equilibrio Ecológico y La Protección al Ambiente, 1988), tiene entre sus objetos el aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo. Así como, la prevención y el control de la contaminación del suelo. Y en la (Ley General Para La Prevención y Gestión Integral de Los Residuos, 2003) garantiza el derecho de toda persona al medio ambiente sano al propiciar el desarrollo sustentable, a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de residuos peligrosos, de residuos sólidos urbanos y los de manejo especial; además establece acciones para prevenir la contaminación por los residuos mencionados en sitios, y en su caso, realizar acciones para su remediación.

El municipio cuenta con un relleno sanitario, para evitar la contaminación del suelo, que cumple con la normatividad nacional en materia de rellenos sanitarios (NOM-083), así como la certificación Calidad Ambiental otorgada por PROFEPA en su centro de operaciones y en el propio relleno sanitario (Ruíz Piña & Hernández Martín, 2019). Además, existe un Centro de Acopio de Materiales Reciclables (CAMAR) encargado del reciclaje y donde se especializan en tratar los materiales que se desechan como llantas, colchones, chatarra, aceite vegetal quemado, PET, plástico duro, plástico de color, cartón, papel, pilas, electrónicos y electrodomésticos. Particularmente, los residuos que no son reciclables como llantas y pilas son sacados de la isla.

Sin embargo, la contaminación de los suelos en el municipio ha aumentado, principalmente por manejo inadecuado de residuos sólidos, como restos de televisores analógicos, muebles, llantas, pedacería de neveras, lavadoras entre otros tipos de contaminantes que se ubican en las orillas de las zonas selváticas de Cozumel a simple vista, y cuyos componentes son altamente contaminantes, y que llegan al subsuelo (Hernández, 2023), ya que la descomposición de los residuos en contacto con agua de lluvia puede generar lixiviados que se infiltran en los suelos o escurren en los sitios de depósito, ocasionando la contaminación de los suelos y del agua.

Se estimó que, en el 2019 se generaban 93,825.71 kg/día de residuos, es decir, una generación per cápita de 1.12Kg/habitante/día, y se espera que para el 2030 sean 121,670 kg/día (Ruíz Piña & Hernández Martín, 2019). Además, se han identificado 30 sitios en el municipio que son utilizados como de tiraderos clandestinos (Subdirección del Centro de Acopio de Materiales Reciclables (CAMAR)) (ver Figura 6.1.8.2-2)

### 6.1.8.3. Socio-organizativo

De acuerdo con la (Ley General de Protección Civil, 2021) es el agente perturbador que se genera con motivo de errores humanos o por acciones premeditadas, que se dan en el marco de grandes concentraciones o movimientos masivos de población, tales como: demostraciones de

inconformidad social, concentración masiva de población, terrorismo, sabotaje, vandalismo, accidentes aéreos, marítimos o terrestres, e interrupción o afectación de los servicios básicos y de infraestructura estratégica.

#### 6.1.8.3.1. Concentraciones masivas

El Artículo 81 del (REGLAMENTO DE PROTECCIÓN CIVIL DEL MUNICIPIO DE COZUMEL. TÍTULO PRIMERO De Las Disposiciones Generales., n.d.) define las áreas de concentración masivas de personas, a los edificios de espectáculos, centros de reunión y áreas de diversión, teatros cinematográficos, salas de conciertos, conferencias, salones de baile, pistas de patinaje, auditorios, boliches, gimnasios, bares, discotecas, terrazas, centros y clubes nocturnos, museos, iglesias, bibliotecas, y todos aquellos que desarrollen actividades similares. De igual forma, los edificios de espectáculos deportivos, aquellos que se destinen total o parcialmente a tales actividades, como el caso de las plazas de toros, lienzos charros, hipódromos, palenques, estadios, pistas para carreras de autos, y cualquier otra actividad similar. Ahora bien, en la guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos (ACUERDO Por El Que Se Emite La Guía de Contenido Mínimo Para La Elaboración Del Atlas Nacional de Riesgos., 2016) se indica, que la representación de este tipo de eventos puede realizarse por localidad, y/o municipio, lo cual dependerá de la

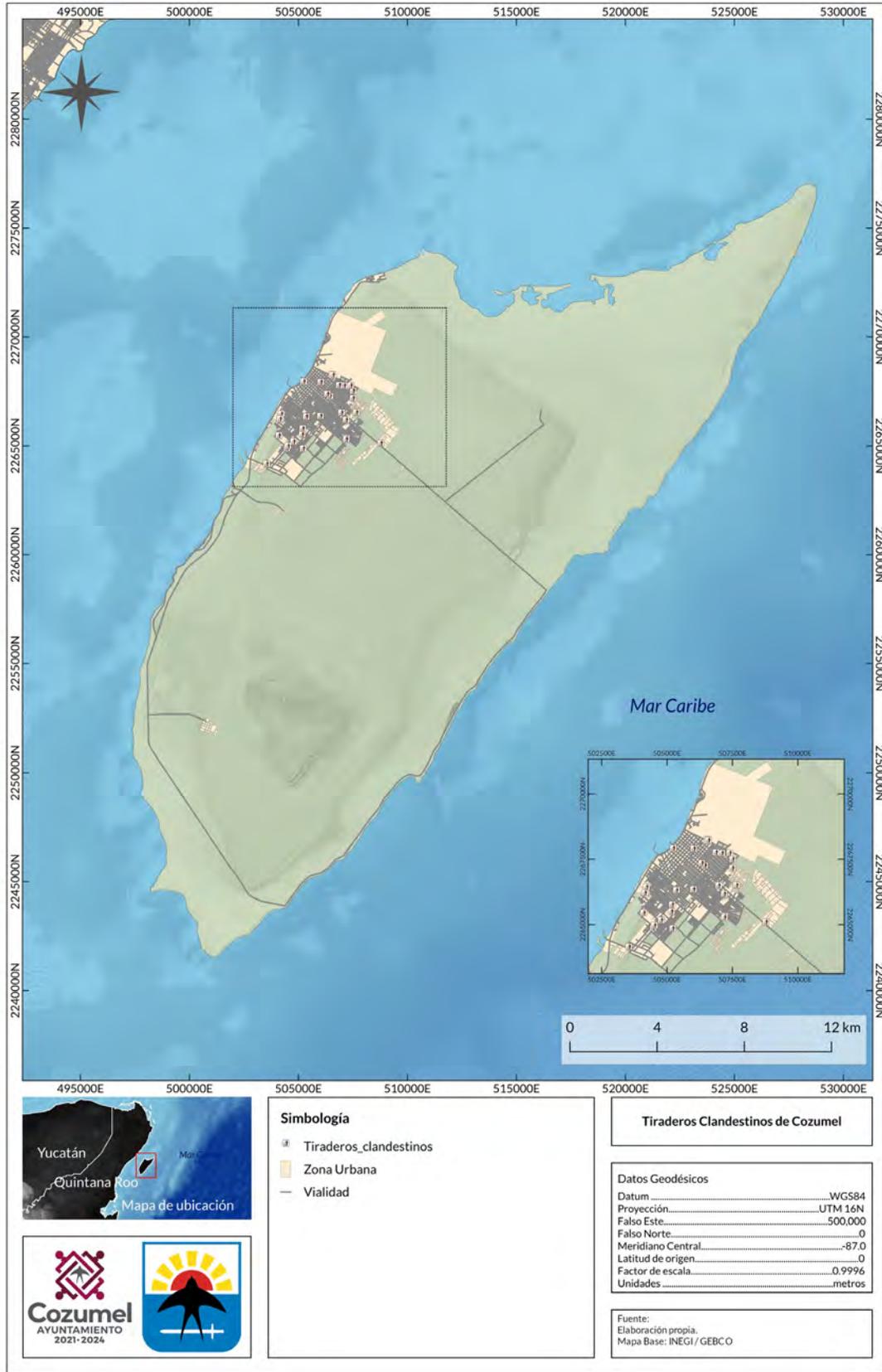
Tabla 6.1.8.2-8. Cantidad de residuos recibidos en CAMAR, octubre de 2021 a octubre de 2023

Tipo de residuo	Cantidad	Unidad
Vidrio	192,270	Kg
Neumáticos	213,140	Kg
Electrónicos	11,190	Kg
Colchones	2,123	Pz
Pilas	3,00	Kg
Cartón	47,540.5	Kg
PET	7,381	Kg
Chatarra	8,926.95	Kg
Papel	3,060	Kg
Plástico HDP	18,565	Kg
Aluminio	42.5	Kg
Emplaye <sup>18</sup>	1,951.5	Kg
Aceite vegetal	110,051	L
Aceite mineral	4,100	L

Fuente: elaboración propia con información del Centro de Acopio de Materiales Reciclables (CAMAR)

<sup>18</sup> Producto de plástico transparente, hecho con resina de polietileno de baja densidad lineal, que se utiliza para envolver y proteger todo tipo de materiales.

Figura 6.1.8.2-2. Ubicación de puntos críticos de tiraderos clandestinos en el municipio de Cozumel



Fuente: Subdirección del Centro de Acopio de Materiales Reciclables (CAMAR)

información con la que se cuente, identificando y recolectando información para la construcción de las estadísticas e indicadores con el fin de elaborar un catálogo de eventos en el que se incluyan las fechas y los lugares en los que se realizan festejos, que conlleven a grandes concentraciones de población por localidad y/o municipio, que pueden ser: religiosas, deportivas, culturales, tradicionales, oficiales, turísticas, entretenimiento o de otra naturaleza a los mencionados.

Una característica de las grandes concentraciones es el fenómeno llamado “conducta colectiva” o “conducta de masas” la cual se define como toda conducta relativamente espontánea ejecutada por un grupo de personas ante un estímulo común en una situación indefinida o ambigua. Estos grupos de personas, generalmente transitorios y carentes de organización formal, reaccionan ante un conjunto inmediato de circunstancias de formas no convencionales y pueden clasificarse como (Fidalgo, 1995):

- a) Casuales: tienen poca vida y sentido de la unidad. Se dan por ejemplo en distritos comerciales
- b) Convencionales: son el resultado de una planificación deliberada. Se reúnen con propósitos especiales o un particular interés. Por ejemplo, una conferencia, un acontecimiento deportivo
- c) Expresivas: se forman en torno a sucesos que tienen un atractivo emocional para sus miembros. Por ejemplo: los asistentes a un concierto de rock
- d) Activas: incluyen la acción violenta y destructiva. Por ejemplo, manifestantes reunidos en un espacio público

En ese sentido es de suma importancia identificar en la isla de Cozumel, las áreas de concentración masiva y los establecimientos o giros que, por tener un aforo igual o mayor a las 50 personas, son considerados de alto riesgo (REGLAMENTO DE PROTECCIÓN CIVIL DEL MUNICIPIO DE COZUMEL. TÍTULO PRIMERO De Las Disposiciones Generales., n.d.) y por ende, las personas que se congregan en ellos presentan mayor vulnerabilidad en caso de una emergencia

o desastre. En la Tabla 6.1.8.3-1 se muestra por tipo las áreas y establecimientos mencionados para la localidad de Cozumel y en la Tabla 6.1.8.3-2 para el resto de las localidades identificadas.

Por otra parte, de acuerdo con el Plan municipal de desarrollo 2021-2024 (H. Ayuntamiento de Cozumel, 2021), en temas culturales, el municipio es referente en el estado, en cuanto a fiestas, celebraciones y tradiciones que son mayormente reconocidas dentro y fuera del país a diferencia de otros municipios. En la isla una de las celebraciones más distinguidas e importantes, es la de la fiesta del Cedral o Santa Cruz, la cual comienza los últimos días del mes de abril y finaliza el 3 de mayo, día de los albañiles. Otra fiesta importante es la de San Miguel de Cozumel la cual se celebra el día 29 de septiembre honrando al arcángel el cual se nombró su Santo Patrono. Sin duda la festividad más representativa de todo el caribe mexicano es el Carnaval de Cozumel cuyos orígenes se dan en 1874 y tiene una duración aproximada de un mes.

En temas deportivos, el municipio ha tomado relevancia, de acuerdo con, (Vivo Cozumel, 2023) al ser sede de varios eventos internacionales, como son:

- a) IRONAMAN y IRONMAN 70.3 COZUMEL: Estos eventos se llevan a cabo en los meses de septiembre y noviembre, respectivamente. En el 2009 se realizó por primera vez el IRONMAN COZUMEL, gracias a esto se dejó puerta abierta a que otros eventos internacionales tomaran en cuenta a esta isla del deporte.
- b) GFNY COZUMEL: El Gran Fondo New York Cozumel es un desafío de alto rendimiento personal en donde se compite con otros ciclistas. Este deporte es solo de ciclismo, se lleva a cabo en el mes de noviembre, se divide en dos categorías, la ruta larga y la ruta media. Este evento se celebra antes del IRONMAN.
- c) ASTRI COZUMEL: El evento se lleva a cabo en el mes de octubre, es una nueva edición del Circuito de Triatlón en donde se puede nadar en las aguas del mar caribe, recorrer en bicicleta y finalizar con una carrera pedestre las calles de la isla. Se divide en cinco categorías, que van dividiéndose en subcategorías por edad y sexo.

Tabla 6.1.8.3-1. Áreas de concentración masiva y establecimientos considerados de alto riesgo, localidad Cozumel.

Cozumel	
Tipo	Número
Aeropuerto	1
Agencia del Ministerio Publico	1
Asociación y organización religiosa	77
Bar	204
Bazar	45
Biblioteca	1
Bomberos	1
CAMAR	1
CAPA	2
Centro convenciones	1
Centro de desarrollo comunitario	1
Centro de rehabilitación integral	1
Centro nocturno	8
Centro recreativo privado	44
C.F.E.	1
Cruz Roja Mexicana	1
D.I.F.	1
Deportivo	4
Dirección general de desarrollo social	1
Escuelas de arte, deporte o idiomas	17
Estación de policía	1
Gimnasio	33
Hospital	1
Hotel	69
Iglesia	1
Mercado Municipal	1
Organización civil	16
Palacio municipal	1
Panteón	1
Parque	47
Plaza Comercial	1
Prisión	1
Registro civil	1
Restaurante	686
Subdirección de ecología	1
Subdirección de salud	1
Supermercado	7
Terminal de Cruceros	3
Terminal Marítima	1
<b>Total establecimientos</b>	<b>1286</b>

Fuente elaboración propia.

Tabla 6.1.8.3-2. Áreas de concentración masiva y establecimientos considerados de alto riesgo, otras localidades.

Nombre / Tipo	Asociación y organización religiosa	Bar	Centro recreativo privado	Hotel	Organización civil	Restaurante	Ruina
Allegro Resort Cozumel				1			
Buenavista		2	1				
Cerro Chumul				1		1	
Chankanaab [Parque]		1	6			3	
Costa Sur						1	
Ecoparque Cuzam			1				
El Cedral	1						2
Fiesta Americana				2			
Grand Occidental				1			
Huerto Familiar					1		
Iberostar				1			
Javier Escalante			1				
Las Fincas	3						
Las Palmitas						1	
Las Uvas						2	
Las Ventanas			1				
Mezcalitos						2	
Mister Sanchos						1	
Mundo Palancar						1	
Nachi Cocom			1				
Palancar			1				
Palmar Primero			1			1	
Paloma Negra	1						
Paradise Beach						1	
Playa Bosh		1				1	
Playa Corona						2	
Presidente Intercontinental			1	2		4	
Punta Celarain		1				1	
Punta Morena						1	
Ranchitos	1	1				2	
Residencias Reef				1	1		
San Fernando	2						
San Francisco			1			2	
San Gervasio		1					4
Sunscape		1				1	
The Money Bar Beach Club				1		1	
Villa Mafi						1	
La Cabaña del Pescador						3	
Isla de la Pasión						1	1
Playa Mía			2				
Playa San Martín						1	
Chen Río						2	
Discover México						1	
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>17</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>38</b>	<b>7</b>

Fuente elaboración propia.

Tabla 6.1.8.3-3. Incidentes de fenómenos socio-organizativo, Concentración de masas en el municipio de Cozumel

Fecha	Evento / Lugar de ocurrencia	Incidente	Daños	Fuente
mayo/22	Carnaval de Cozumel	Riña por venta de alcohol descontrolada	12 lesionados y 80 detenidos	<a href="https://integranoticias.com/rinas-en-carnaval-de-cozumel-dejan-saldo-de-80-detenidos-y-12-heridos/">https://integranoticias.com/rinas-en-carnaval-de-cozumel-dejan-saldo-de-80-detenidos-y-12-heridos/</a>
29/04/23	Feria del Cedral, El Cedral Cozumel	Un equino arrollo a un grupo de espectadores	Lesiones leves	<a href="https://diariocambio22.mx/panico-en-la-feria-de-el-cedral-caballo-arrolla-a-mujeres-y-ninos-video/">https://diariocambio22.mx/panico-en-la-feria-de-el-cedral-caballo-arrolla-a-mujeres-y-ninos-video/</a>

Fuente elaboración propia.

Estos tres eventos generan miradas de todo el mundo como destino haciendo que también haya sido sede de: El ITU, OCEANMAN y STRONGMAN

Para culminar con ese apartado, basta mencionar que no se encontraron registros en CENAPRED de eventos, daños o pérdidas por concentraciones masivas en el municipio de Cozumel, sin embargo, en los principales medios electrónicos del estado de Quintana Roo, se encontraron únicamente dos incidencias de este tipo de fenómeno socio-organizativo (ver tabla 6.1.8.3-3).

#### 6.1.8.3.2. Accidentes de Transporte

En la guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos (ACUERDO Por El Que Se Emite La Guía de Contenido Mínimo Para La Elaboración Del Atlas Nacional de Riesgos., 2016) se refiere, que de acuerdo con la SCT, un accidente es todo suceso directamente resultante de la utilización de un aeronave, barco o equipo rodante en el curso del cual, según el caso, una persona o varias, sufren lesiones graves o mueren a consecuencia de estar a bordo de la aeronave, barco o equipo rodante, o por entrar en contacto con un elemento de la aeronave, barco o equipo rodante, o de su contenido.

##### a. Accidentes terrestres

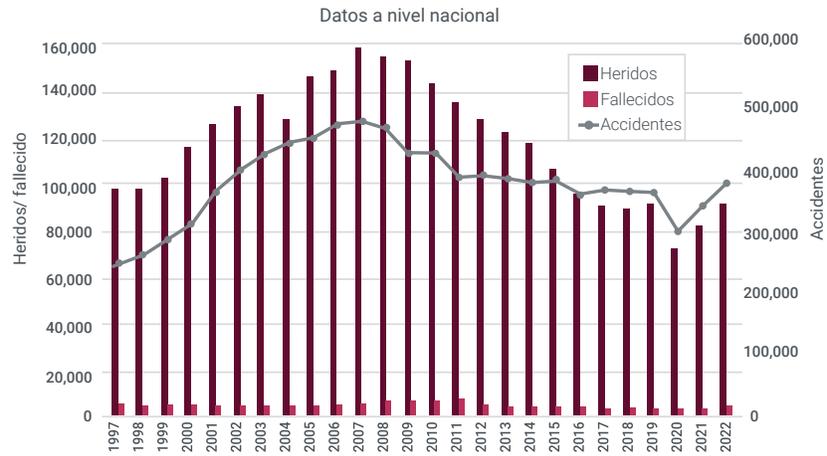
Al generar las estadísticas del periodo 1997-2022 en el Banco de Indicadores del Sistema de Consultas del (INEGI, 2020c), particularmente del programa: Accidentes de Tránsito Terrestre en Zonas Urbanas y Suburbanas para México (nacional), Quintana Roo (estatal) y Cozumel (municipal) se observa lo siguiente:

1. El valor promedio nacional, estatal y municipal de accidentes fue de 379,359; 7,562 y 902 respectivamente.

2. El mayor número de accidentes a nivel nacional se presentaron en el año 2007 (476,279) y el menor en 1997 (248,114). Para el caso estatal el mayor (12,014) y menor (4,143) número de accidentes se obtuvieron en los años 2007 y 1998 respectivamente; finalmente en el caso de Cozumel los años 2019 y 2018 fueron los años con el mayor (1,552) y menor (418) número de accidentes.
3. El valor promedio nacional, estatal y municipal de fallecidos fue de 5,389; 101 y 14 respectivamente.
4. El mayor número de fallecidos a nivel nacional se presentaron en el año 2011 (7,994) y el menor en 2020 (3,826). Para el caso estatal el mayor (260) y menor (38) número de fallecidos se obtuvieron en los años 2011 y 1997 respectivamente; finalmente en el caso de Cozumel los años 2011 y 2017 fueron los años con el mayor (101) y menor (2) número de fallecidos.
5. El valor promedio nacional, estatal y municipal de heridos fue de 118,606; 3,537 y 524 respectivamente.
6. El mayor número de heridos a nivel nacional se presentaron en el año 2007 (159,210) y el menor en 2020 (71,935). Para el caso estatal el mayor (5,372) y menor (2,055) número de heridos se obtuvieron en los años 2009 y 1997 respectivamente; finalmente en el caso de Cozumel los años 2009 y 1998 fueron los años con el mayor (1,058) y menor (178) número de heridos.

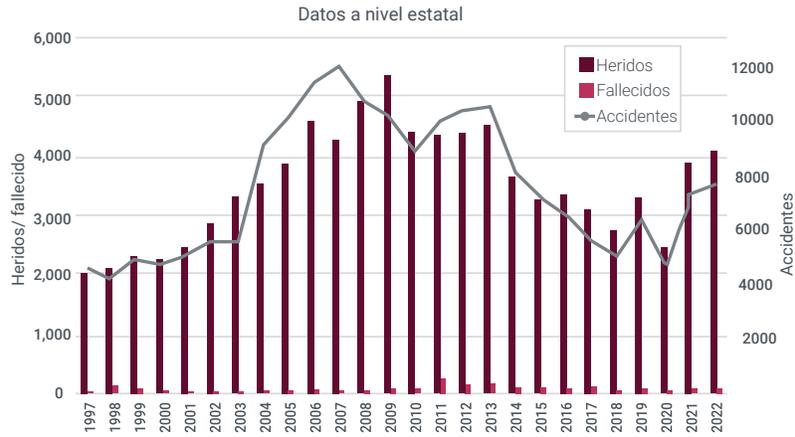
En las Gráficas 6.1.8.3-1, 6.1.8.3-2 y 6.1.8.3-3 se presentan los datos de accidentes, fallecidos y heridos a nivel nacional, estatal y municipal.

Gráfica 6.1.3.3-1. Datos de accidentes, fallecidos y heridos a nivel nacional, periodo 1997-2022.



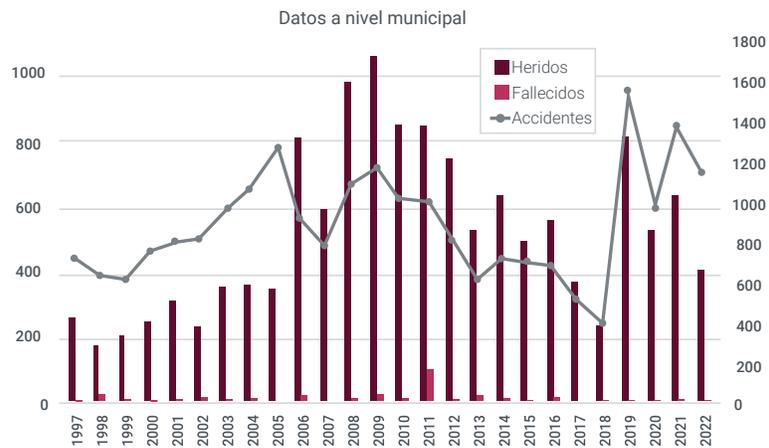
Fuente elaboración propia.

Gráfica 6.1.8.3-2. Datos de accidentes, fallecidos y heridos a nivel estatal, periodo 1997-2022



Fuente elaboración propia.

Gráfica 6.1.8.3-3. Datos de accidentes, fallecidos y heridos a nivel municipal, periodo 1997-2022.



Fuente elaboración propia.

b. Accidentes en barco

En lo que se refiere a los accidentes en barco, se identificaron registro de nueve incidentes ocurridos en el municipio entre el año 2017 y 2022 (Tabla 6.1.8.3-4).

c. Accidentes aéreos

Finalmente, de acuerdo con la información publicada por la SCT en el archivo 10b2\_LFTAIP\_69\_X\_b (SCT, 2020), se identificaron siete accidentes aéreos ocurridos en el aeropuerto de Cozumel, en el periodo 2015-2018 (Tabla 6.1.8.3-5). En ningún caso fue posible determinar si hubo daños.

Tabla 6.1.8.3-4. Accidentes de embarcaciones ocurridos en el municipio de Cozumel, 2017-2022. Fuente elaboración propia.

Fecha	Lugar	Tipo Accidente	Daños	Fuente
16/11/17	El Cantil	Un catamarán que transportaba a un centenar de turistas sufrió una falla mecánica esta mañana," lo que a la postre provocó que se hundiera, previo rescate de las personas	Sin daños	<a href="https://www.excelsior.com.mx/nacional/2017/11/16/1201461">https://www.excelsior.com.mx/nacional/2017/11/16/1201461</a>
03/01/18	Frente a playa Corona	Una embarcación que transportaba a 8 turistas, presuntamente buzos expertos, y a 2 tripulantes presentó fallas en uno de los bujes, lo que ocasionó que entrara agua en la embarcación, superando la capacidad de respuesta por parte de las bombas de achique	Sin daños	<a href="https://laverdadnoticias.com/quintanaroo/Embarcacion-sufre-falla-con-tripulantes-a-bordo-en-Cozumel-20180103-0028.html">https://laverdadnoticias.com/quintanaroo/Embarcacion-sufre-falla-con-tripulantes-a-bordo-en-Cozumel-20180103-0028.html</a>
16/12/19	Muelle de San Miguel	Dos embarcaciones, una de Ultramar y la otra de Winjet, se impactaron cuando realizaban una maniobra de atraque en el embarcadero	ambas embarcaciones sufrieron abolladuras en el casco y se les torció el barandal	<a href="http://venoticia.com/2019/12/19/accidente-nautico-deja-2-embarcaciones-abolladas-en-el-muelle-san-miguel-en-cozumel/">http://venoticia.com/2019/12/19/accidente-nautico-deja-2-embarcaciones-abolladas-en-el-muelle-san-miguel-en-cozumel/</a>
20/12/19	Puerto de Cozumel	alisión (un barco en movimiento choca con uno atracado) entre dos cruceros del grupo Carnival Cruises aparentemente los vientos fuertes pudieron ser un factor	6 pasajeros con heridas leves Daños en la cubierta de uno de los cruceros	<a href="https://cnnespanol.cnn.com/2019/12/20/dos-cruceros-se-chocan-en-cozumel-mexico-hay-una-persona-herida/">https://cnnespanol.cnn.com/2019/12/20/dos-cruceros-se-chocan-en-cozumel-mexico-hay-una-persona-herida/</a>
17/10/20	A la altura de la capitanía de puerto	La primera rotulada con el nombre "Zitlali" se encontraba fondeada frente al Museo de la Isla haciendo maniobras de descarga de la pesca con varias personas a bordo, cuando una embarcación no identificada la embistió por su costado derecho a alta velocidad.	Una persona perdió la vida	<a href="https://elquintanaroo.mx/accidente-de-lanchas-deja-un-pescador-muerto-en-cozumel/">https://elquintanaroo.mx/accidente-de-lanchas-deja-un-pescador-muerto-en-cozumel/</a>
02/03/21	El Cielo	El capitán de la embarcación no se percató de la cercanía del visitante a la lancha con matrícula 23041808148 y al poner en movimiento el motor, con las propelas lo hirió.	Heridas en el cráneo y rostro	<a href="https://sipse.com/novedades/turista-propelado-lucha-vida-muerte-hospital-cancun-cozumel-barco-pirata-393286.html">https://sipse.com/novedades/turista-propelado-lucha-vida-muerte-hospital-cancun-cozumel-barco-pirata-393286.html</a>

07/06/21	Resguardo marítimo "marina Cozumel"	La deflagración en una embarcación dedicada a los tours de buceo causó pánico entre su tripulación al registrarse en ella una violenta explosión mientras se encontraba en el muelle	El capitán de la embarcación bautizada como "Let it be" de la empresa "Scuba do" tras la explosión salió volando aproximadamente diez metros cayendo al m, sufriendo quemaduras que no ponen en riesgo su vida.	<a href="https://www.poderycritica.com/explosion-en-embarcacion-de-buceo-causa-terror-en-cozumel/">https://www.poderycritica.com/explosion-en-embarcacion-de-buceo-causa-terror-en-cozumel/</a>
12/02/22	Aguas del canal de Cozumel	La tripulación de un barco de pasajeros rescató este sábado a dos menores de edad y a dos adultos que flotaban a la deriva en una pequeña embarcación, a unas tres millas náuticas de Cozumel, unos cinco kilómetros y medio en el canal de la isla.	Sin daños	<a href="https://sipse.com/novedades/rescatan-a-cuatro-extranjeros-estaban-a-la-deriva-en-el-canal-de-cozumel-418629.html">https://sipse.com/novedades/rescatan-a-cuatro-extranjeros-estaban-a-la-deriva-en-el-canal-de-cozumel-418629.html</a>
08/02/22	Sur de la isla	Una embarcación que regresaba de un día de paseo por el sur de la insula con 12 personas a bordo, seis niños entre ellos, naufragó	Un adulto perdió la vida	
10/12/23	500 metros del atracadero del malecón	Debido al fuerte oleaje provocado por el frente frío que entró al estado, una lancha que salió de la playa "El cielo" se volcó tirando a su tripulación en medio del mar.	Las 11 personas fueron rescatadas y puestas a salvo sin mayor problema	<a href="https://solquintanaroo.mx/embarcacion-de-cozumel-se-vuelca-con-11-turistas-a-bordo/">https://solquintanaroo.mx/embarcacion-de-cozumel-se-vuelca-con-11-turistas-a-bordo/</a>
10/12/23	Zona "El Cielo" en dirección al muelle de Cozumel	La embarcación, que llevaba a 14 personas a bordo, se hundió debido a los fuertes vientos y la lluvia causados por el frente frío número 16.	12 turistas fueron rescatados y atendidos por paramédicos; lamentablemente el capitán y un marinero se negaron a abandonar la nave y perdieron la vida	<a href="https://animalpolitico.com/estados/capitan-marinero-embarcacion-muertos-naufragio-cozumel-quintana-roo">https://animalpolitico.com/estados/capitan-marinero-embarcacion-muertos-naufragio-cozumel-quintana-roo</a>

Tabla 6.1.8.3-5. Accidentes aéreos ocurridos en el municipio de Cozumel, 2015-2019.

Fecha	Nombre de la calle del lugar del accidente	Causas probables del accidente	Daños
31/08/15	En ruta MID-CZM a 11 mn del aeropuerto de Cozumel	Aterrizaje de emergencia por falla del generador	Sin información
22/10/15	Pista 11/29 del aeropuerto de Cozumel, quintana roo	Al rodar la aeronave hacia la pista, se ponchó la llanta del tren de aterrizaje principal izquierdo	Sin información
13/01/16	En el primer cajón de plataforma general del aeropuerto de Cozumel, quintana roo	Aeronave impactada cuando estaba estacionada, con un tractor de la compañía "Mayair que estaba remolcando a otra aeronave	Sin información
04/02/16	Plataforma general del aeropuerto de Cozumel, quintana roo	La aeronave al estar rodando hacia la plataforma después de haber realizado un vuelo de prueba, impacto contra la aeronave N155LG que se encontraba estacionada	Sin información
05/06/16	En el aeropuerto de Cozumel	Aeronave dañada en la hélice y en el fuselaje por razones desconocidas	Sin información
19/08/18	En el aeródromo "cap. Eduardo Toledo", Cozumel, Quintana Roo	Impacto de hélice con la pista durante el aterrizaje, en una aproximación no estabilizada	Sin información
21/09/18	En el aeropuerto de Cozumel	Regreso a la estación de origen debido a que durante el ascenso la cubierta del motor 2 se abrió al no estar asegurado	Sin información

Fuente SCT.

### 6.1.8.3.3. Afectaciones en instalaciones estratégicas por errores humanos o por acciones premeditadas

Conforme a I (Ley General de Protección Civil, 2021) fracción XXXII la infraestructura estratégica es aquella que es indispensable para la provisión de bienes y servicios públicos, y cuya destrucción o inhabilitación es una amenaza en contra de la seguridad nacional y ocasionaría una afectación a la población, sus bienes o entorno. La unidad mínima de dicha infraestructura estratégica es la instalación vital y en este caso de acuerdo con la guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos (ACUERDO Por El Que Se Emite La Guía de Contenido Mínimo Para La Elaboración Del Atlas Nacional de Riesgos., 2016) la suspensión o disminución de este tipo de servicios en este caso será producto del error humano (desconocimiento de los procesos, distracción y cansancio entre otros).

En el caso de Cozumel se tienen registros de incidencias en fallas de servicios de electricidad y

de agua para el periodo 2018-2023, sin embargo, se desconoce si la causa probable se relaciona con errores humanos o acciones premeditadas, por lo cual no se toman en cuenta para los fines de identificación de este fenómeno socio-organizativo.

### 6.1.8.3.4. Inconformidad Social

De acuerdo con la guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos (ACUERDO Por El Que Se Emite La Guía de Contenido Mínimo Para La Elaboración Del Atlas Nacional de Riesgos., 2016) la inconformidad social se refiere al disenso de un grupo de personas a lo establecido en el orden político, social, económico, moral, etc. Al igual que en el caso de las concentraciones masivas de población este fenómeno per se no es un peligro, solamente si sale de control y afecta a personas o bienes. En el caso de Cozumel se encontraron diecinueve eventos de este tipo, sin embargo, en ninguno se presentaron lesiones o afectaciones de otra índole (Tabla 6.1.8.3-6).

Tabla 6.1.8.3-6. Incidentes de fenómenos socio-organizativo, Inconformidad Social.

Fecha	Protesta / Manifestación	Lugar	Fuente
10/06/22	En contra del sindicato de la CTM y su líder sindical Genny Canto	Hotel Grand Park Royal Cozumel	<a href="https://centroinformativo.mx/noticias/manifestacion-de-trabajadores-de-hotel-en-cozumel/">https://centroinformativo.mx/noticias/manifestacion-de-trabajadores-de-hotel-en-cozumel/</a>
05/09/21	Contra cuarto muelle de cruceros en Cozumel	Sin información	<a href="https://www.eleconomista.com.mx/estados/Activistas-protestan-contra-cuarto-muelle-de-cruceros-en-Cozumel-20210905-0042.html">https://www.eleconomista.com.mx/estados/Activistas-protestan-contra-cuarto-muelle-de-cruceros-en-Cozumel-20210905-0042.html</a>
29/03/21	Protestan en Quintana Roo por feminicidios de Victoria, Karla y "tantas otras que nos hacen falta"	En las calles en Tulum, Cancún, Chetumal, Playa del Carmen, Cozumel y Felipe Carrillo Puerto	<a href="https://www.proceso.com.mx/nacional/estados/2021/3/29/protestan-en-quintana-roo-por-feminicidios-de-victoria-karla-tantas-otras-que-nos-hacen-falta-260998.html">https://www.proceso.com.mx/nacional/estados/2021/3/29/protestan-en-quintana-roo-por-feminicidios-de-victoria-karla-tantas-otras-que-nos-hacen-falta-260998.html</a>
03/08/18	Contra delfinarios en Cozumel	Muelle San Miguel	<a href="https://radioturquesa.fm/protesta-grupo-ambientalista-delfinarios-cozumel/">https://radioturquesa.fm/protesta-grupo-ambientalista-delfinarios-cozumel/</a>
24/02/13	En contra del devastador parque eólico	Parque Quintana Roo	<a href="https://tierrayterritorio.wordpress.com/2013/02/25/manifestacion-pacifica-en-contra-del-devastador-parque-eolico-en-cozumel-quintana-roo/">https://tierrayterritorio.wordpress.com/2013/02/25/manifestacion-pacifica-en-contra-del-devastador-parque-eolico-en-cozumel-quintana-roo/</a>
17/11/12	Contra el nuevo proyecto de parque eólico	Explanada de la bandera	<a href="https://noticaribe.com.mx/2012/11/17/protestan-en-cozumel-contra-el-nuevo-proyecto-de-parque-eolico/">https://noticaribe.com.mx/2012/11/17/protestan-en-cozumel-contra-el-nuevo-proyecto-de-parque-eolico/</a>
05/10/23	Contra el Instituto de Movilidad de Quintana Roo	Av. Juárez con av. 65	<a href="https://www.porest.net/quintana-roo/2023/10/5/mototaxistas-de-cozumel-se-manifiestan-contra-el-instituto-de-movilidad-de-quintana-roo-402660.html">https://www.porest.net/quintana-roo/2023/10/5/mototaxistas-de-cozumel-se-manifiestan-contra-el-instituto-de-movilidad-de-quintana-roo-402660.html</a>

26/02/23	A favor del INE	Explanada de la bandera	<a href="https://quintanaroo.quadratin.com.mx/manifestacion-a-favor-del-ine-apeenas-alcanzo-150-personas-en-cozumel/">https://quintanaroo.quadratin.com.mx/manifestacion-a-favor-del-ine-apeenas-alcanzo-150-personas-en-cozumel/</a>
01/08/23	Contra inseguridad en Cozumel	Explanada de la bandera	<a href="https://noticaribe.com.mx/2023/08/01/participan-50-personas-en-manifestacion-contra-inseguridad-en-cozumel/">https://noticaribe.com.mx/2023/08/01/participan-50-personas-en-manifestacion-contra-inseguridad-en-cozumel/</a>
23/09/23	Por cierre de acceso a playa ubicada junto a casa presidencial	Frente a dicho acceso	<a href="https://lapancartadequintanaroo.com.mx/manifestacion-en-cozumel-por-cierre-de-acceso-a-playa-ubicada-junto-a-casa-presidencial/">https://lapancartadequintanaroo.com.mx/manifestacion-en-cozumel-por-cierre-de-acceso-a-playa-ubicada-junto-a-casa-presidencial/</a>
26/09/23	Contra placas federales en Cozumel	Instituto de Movilidad de Quintana Roo	<a href="https://www.clicnoticias.com.mx/manifestacion-placas-federales-en-cozumel/">https://www.clicnoticias.com.mx/manifestacion-placas-federales-en-cozumel/</a>
02/06/23	Contra empresas hoteleras de Quintana Roo por falta de pago del reparto de utilidades	Hoteles Meliá y B Unique	<a href="https://www.palcoquintanarroense.com.mx/aumentan-quejas-contra-empresas-hoteleras-de-quintana-roo-por-no-compartir-su-prosperidad-con-sus-empleados/">https://www.palcoquintanarroense.com.mx/aumentan-quejas-contra-empresas-hoteleras-de-quintana-roo-por-no-compartir-su-prosperidad-con-sus-empleados/</a>
05/03/21	Por un programa de vivienda	Palacio Municipal de Cozumel	<a href="https://solquintanaroo.mx/manifestaciones-por-un-programa-de-vivienda-en-cozumel/">https://solquintanaroo.mx/manifestaciones-por-un-programa-de-vivienda-en-cozumel/</a>
28/05/22	Exigen la destitución de la administradora del ISSSTE	Oficinas de ISSSTE	<a href="https://elmachete.mx/index.php/2022/05/28/trabajadores-del-issste-en-la-isla-de-cozumel-exigen-la-destitucion-de-la-administradora/">https://elmachete.mx/index.php/2022/05/28/trabajadores-del-issste-en-la-isla-de-cozumel-exigen-la-destitucion-de-la-administradora/</a>
17/05/22	Contra del director de la policía municipal	Sin información	<a href="https://noticias.canal10.tv/nota/municipios/director-de-la-policia-municipal-de-cozumel-seguira-en-su-puesto-a-pesar-de-manifestaciones-2022-05-17">https://noticias.canal10.tv/nota/municipios/director-de-la-policia-municipal-de-cozumel-seguira-en-su-puesto-a-pesar-de-manifestaciones-2022-05-17</a>
26/07/23	Por operación de vehículos turísticos de la Unidad de Permisionarios (Uniper) para realizar viajes turísticos.	Instituto de Movilidad de Quintana Roo	<a href="https://yaesnoticia.mx/protesta-de-taxistas-en-cozumel-por-operacion-de-vehiculos-turisticos-imeveqroo-bajo-la-lupa/">https://yaesnoticia.mx/protesta-de-taxistas-en-cozumel-por-operacion-de-vehiculos-turisticos-imeveqroo-bajo-la-lupa/</a>
25/09/21	Policías exigen bono digno	Frente al palacio Municipal de Cozumel	<a href="https://revistavozdemujer.com/manifestacion-de-policias-en-cozumel-exigen-bono-digno/">https://revistavozdemujer.com/manifestacion-de-policias-en-cozumel-exigen-bono-digno/</a>

Fuente elaboración propia.

### 6.1.8.3.5. Terrorismo y Sabotaje

La guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos (ACUERDO Por El Que Se Emite La Guía de Contenido Mínimo Para La Elaboración Del Atlas Nacional de Riesgos., 2016) toma como referencia la Resolución 1566 del Consejo de Seguridad de la Organización de las Naciones Unidas (2004), en donde se define el terrorismo como: “Actos criminales, inclusive contra civiles, cometidos con la intención de causar la muerte o lesiones corporales graves o de tomar rehenes con el propósito de provocar un estado de terror en la población en general, en un grupo de personas o en determinada persona, intimidar a una población u obligar a un gobierno o a una organización internacional a realizar un acto, o a abstenerse de realizarlo”. En el caso del sabotaje es un término de origen francés “sabotage” y la Real Academia de

la Lengua lo define como “daño o deterioro que, en las instalaciones, productos, etc., se hace como procedimiento de lucha contra los patronos, contra el Estado o contra las fuerzas de ocupación en conflictos sociales o políticos”.

Conforme al reporte (Institute for Economics & Peace. Global Terrorism Index 2022, 2022) el impacto del Terrorismo en México es “Bajo” logrando una mejora general en el puntaje GTI pasando del puesto 56 en 2020 al 61 en 2021; siendo esta la mayor mejora que ha visto México desde 2015. Adicional, se menciona que el terrorismo en México tiene motivaciones predominantemente políticas como lo es un grupo radical ambientalista “tendiendo a lo salvaje” quien se atribuyó la responsabilidad de una serie de datos explosivos colocados en un centro comercial en 2018 y 2019.

Finalmente, se observa que dada la muy baja ocurrencia de este tipo de fenómenos en nuestro país la susceptibilidad del municipio de Cozumel ante este fenómeno socio-organizativo es muy baja, pero con un impacto muy alto si es que ocurriera.

#### 6.1.8.3.6. Vandalismo (Índices delictivos)

De acuerdo con la guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos (ACUERDO Por El Que Se Emite La Guía de Contenido Mínimo Para La Elaboración Del Atlas Nacional de Riesgos., 2016), el vandalismo se define comúnmente como un fenómeno urbano, que se traduce en actos violentos, generalmente por un grupo de personas, con la finalidad de producir de forma voluntaria y gratuita daños materiales en propiedades tanto públicas como privadas, derivado de alguna inconformidad de tipo social, económica y política. Cuando se habla de comportamiento antisocial, se hace referencia al conjunto de conductas que infringen las normas o leyes establecidas que después derivan en vandalismo. La violencia afecta a la población, incrementa los costos de salud y asistencia social, reduce la productividad, disminuye el valor de la propiedad, desorganiza una serie de servicios esenciales y en general deteriora las estructuras de una sociedad.

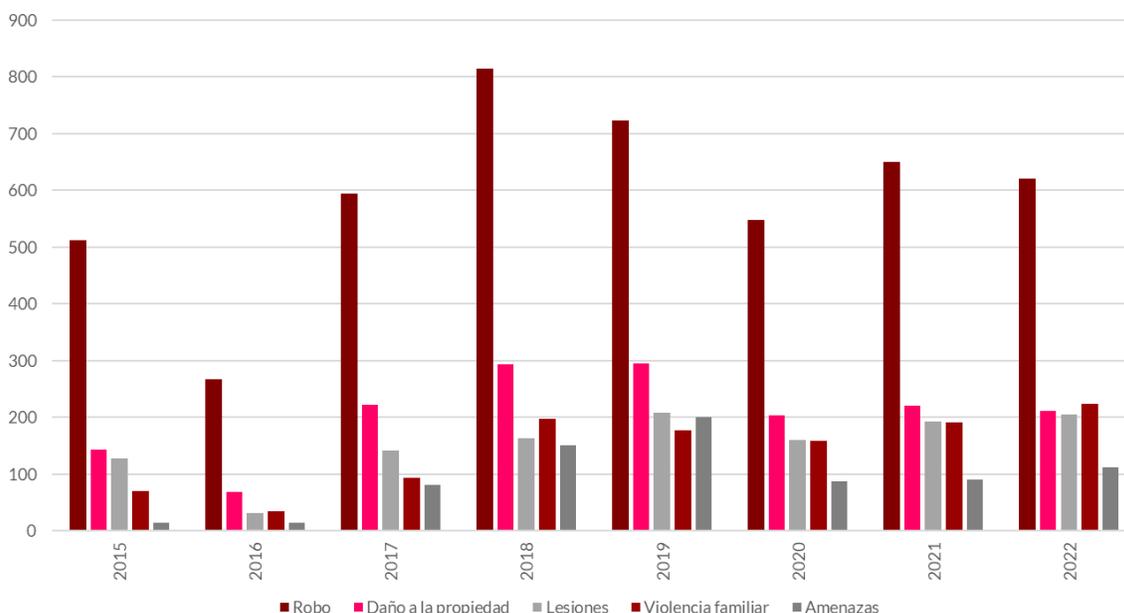
Debido a que no se encontró información sobre eventos y lugares donde se haya presentado vandalismo en el municipio de Cozumel, se utilizará información referente a robos, asaltos, entre otras acciones delictivas, así como sus consecuencias (decesos, población e inmuebles afectados, etc.) y dado que Cozumel se encuentra dentro de los primeros cinco municipios con mayores casos de violencia contra mujeres en Quintana Roo (Ayuntamiento de Cozumel, 2021), se considera relevante incorporar la susceptibilidad de este fenómeno.

#### a. Índices delictivos

Conforme al reporte “Cifras de incidencia delictiva Municipal 2015-octubre 2023” extraído de la información del Sistema Nacional de Seguridad Pública de la (SESNP, 2023), en el periodo 2015-2022 se registraron 12, 783 delitos clasificados en cuarenta tipos; concentrándose el 89.06% en los diez tipos con mayor incidencia.

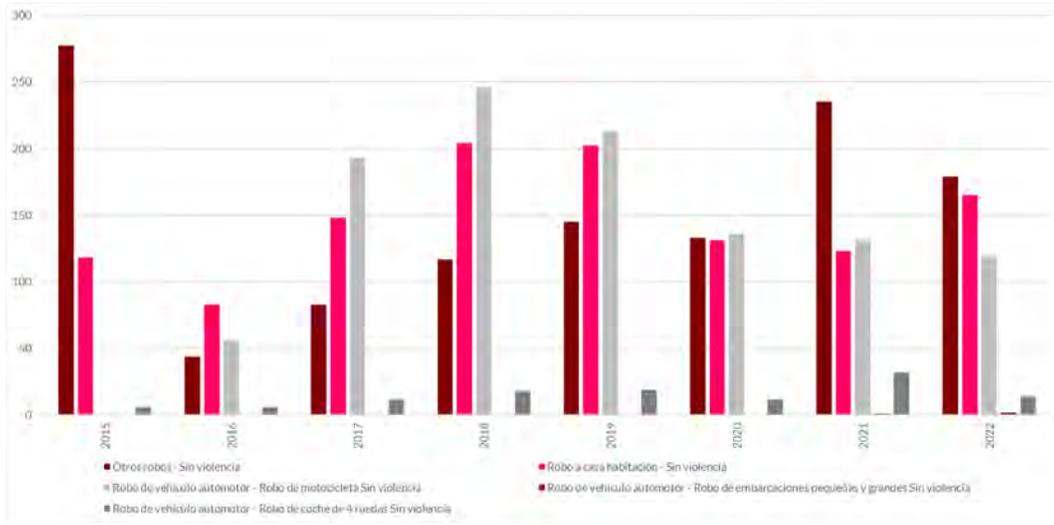
En la Gráfica 6.1.8.3-4 se presentan los principales cinco tipos de delito en el periodo: Robo (4,730), Daños a la propiedad (1,659), Lesiones (1,232), Violencia familiar (1,148) y Amenazas (753) con un total de 9,522 incidencias.

Gráfica 6.1.8.3-4. Principales 5 tipos de delito en Cozumel, periodo 2015-2022.



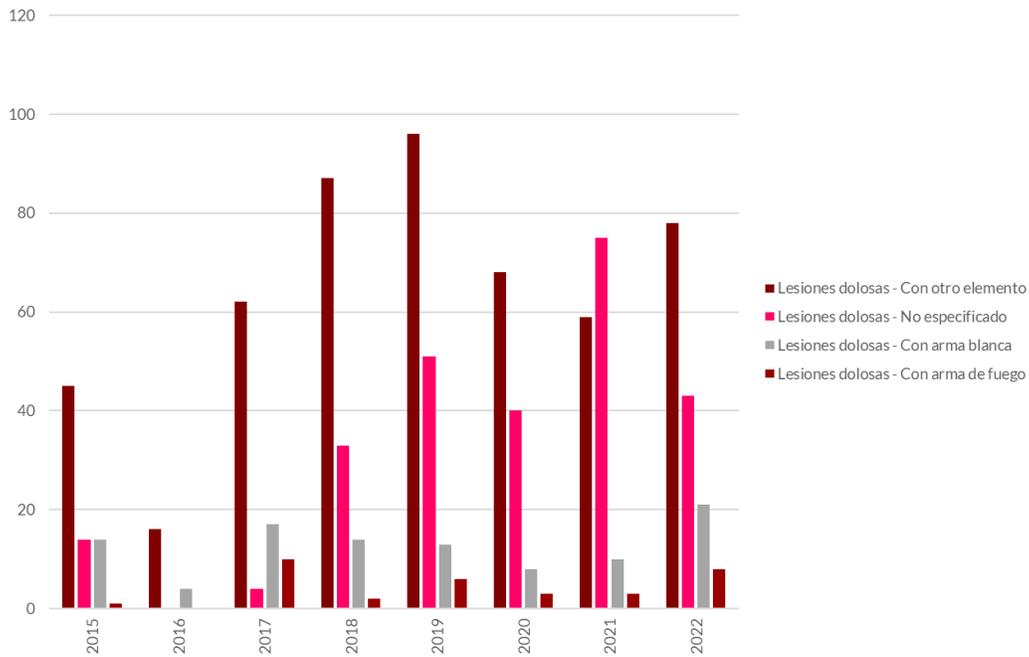
Fuente elaboración propia.

Gráfica 6.1.8.3-5. Incidencias del Tipo Robo, Subtipos: otros robos, casa habitación, de vehículo automotor Modalidad: Sin Violencia en Cozumel, periodo 2015-2022.



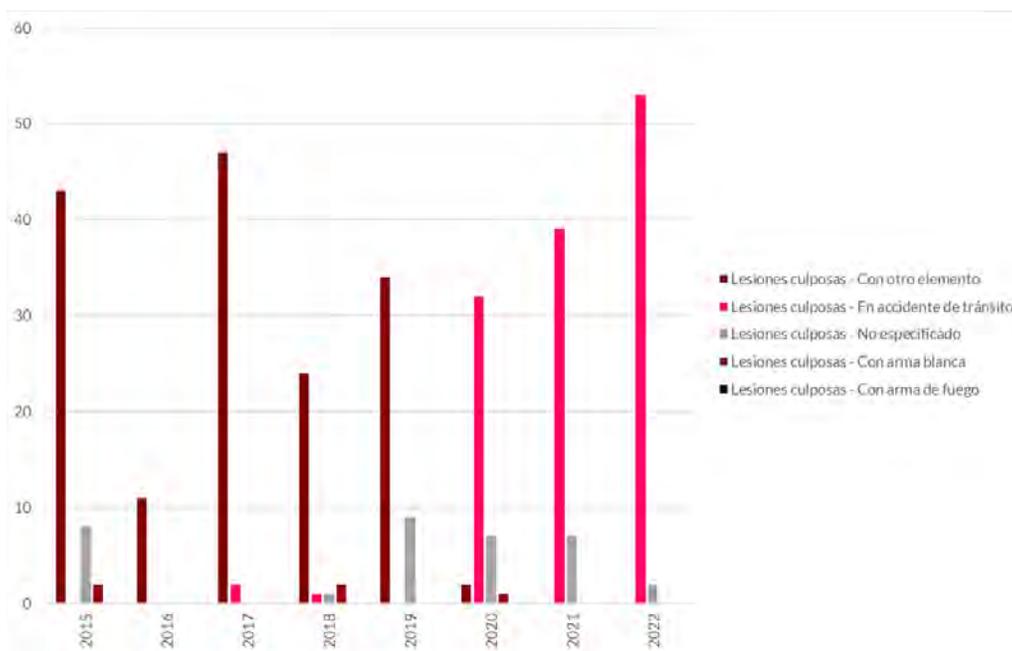
Fuente elaboración propia.

Gráfica 6.1.8.3-6. Incidencias del Tipo Lesiones, Subtipos: dolosas por Modalidad en Cozumel, periodo 2015-2022.



Fuente elaboración propia.

Gráfica 6.1.8.3-7. Incidencias del Tipo Lesiones, Subtipos: culposas por Modalidad en Cozumel, periodo 2015-2022.



Fuente elaboración propia.

Dentro del tipo “Robo”, los tres subtipos con mayor número de incidencias fueron: Otros<sup>19</sup> (1,225), Robo de vehículo automotor (1,224) y Robo a casa habitación (1,204) acumulando 3,683 incidencias lo que representa el 77.86% de su tipo; de los cuales 3,603 fueron sin violencia. En la Gráfica 6.1.8.3-5 se presentan las incidencias por modalidad “sin violencia”.

Para el caso del tipo “Lesiones”, se divide en los dos subtipos: dolosas y culposas con 905 y 327 incidencias respectivamente. En las Gráficas 6.1.8.3-6 y 6.1.8.3-7 se presentan las incidencias para los dos subtipos incluyendo el tipo de modalidad.

Finalmente, al contabilizar el número de delitos en cada uno de los municipios de Quintana Roo durante el periodo 2018-2022, se observa que el mayor (113,480) y menor (1,710) número de delitos se registraron en los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres respectivamente; por lo

<sup>19</sup> Este subtipo agrupa todo lo que es distinto de robo: de autopartes, a transportista, a transeúnte, en transporte, a institución bancaria, a negocio, de ganado, de maquinaria.

que al categorizarlos en 5 categorías<sup>20</sup> (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto) se obtiene que el municipio de Cozumel presenta una susceptibilidad “alta” al fenómeno de índices delictivos.

#### b. Violencia de género

De acuerdo con la ONU Mujeres<sup>21</sup>, la violencia de género se refiere a los actos dañinos dirigidos contra una persona o un grupo de personas debido a su género. Tiene su origen en la desigualdad de género, el abuso de poder y la existencia de normas dañinas. El término se utiliza principalmente para subrayar el hecho de que las diferencias estructurales de poder basadas en el género colocan a las mujeres y niñas en situación de riesgo frente a múltiples formas de violencia. Si bien las mujeres y niñas sufren violencia de género de manera desproporcionada, los hombres y los niños también pueden ser blanco

<sup>20</sup> Se obtienen al orden los datos y calcular los percentiles de 0.20, 0.4, 0.6 y 0.8 obteniendo cinco categorías: (0 al percentil del 0.20 “muy bajo”), (percentil 0.20 al percentil del 0.40 “bajo”), (percentil 0.40 al percentil del 0.60 “medio”), (percentil 0.60 al percentil del 0.80 “alto”) y (percentil 0.8 en adelante “muy alto”).

<sup>21</sup> <https://www.unwomen.org/es/what-we-do/ending-violence-against-women/faqs/types-of-violence>

de ella. En ocasiones se emplea este término para describir la violencia dirigida contra las poblaciones LGBTQI+, al referirse a la violencia relacionada con las normas de masculinidad/feminidad o a las normas de género.

Para el caso de la isla de Cozumel, se consideraron los informes del periodo 2016-2022 elaborados por la Secretaría de Seguridad Pública de Quintana Roo con los casos atendidos cada año mediante el servicio de emergencia 911. Cabe mencionar que en cumplimiento al artículo 42 de la Ley de Acceso de las Mujeres a una vida libre de violencia del estado de Quintana Roo, la Secretaría de Seguridad Pública realizó durante dicho periodo, las acciones necesarias para la

integración del Banco Estatal de Datos e Información sobre casos de Violencia contra las Mujeres (BAESVIM), en el cual se crean expedientes electrónicos únicos para cada mujer en situación de violencia, salvaguardando la información personal recopilada por las instancias involucradas; además genera un registro de datos sobre las Órdenes de Protección e identifica situaciones que requieran medidas gubernamentales de urgente aplicación en función de los intereses superiores de las mujeres en situación de violencia, que les permitan romper el silencio, alzar la voz, mirarse nuevamente y reconstruir su vida.

Dado que no es del todo homogénea la información presentada en los informes, se presentará por año las estadísticas de incidencias por violencia de género del periodo 2020-2022.

En el año 2022 la violencia familiar ocupó el 94.68% (1,938 incidencias) de las incidencias totales (2,047) en el municipio; seguida por la violencia en la comunidad con un 3.57% (73) y la digital/cibernética en tercer lugar con un 0.93% (19). Al desglosar las incidencias por grupo de edad de la violencia familiar, se tiene que 690 (35.60%) se ubican en el rango de 30-39 años; 516 (26.36%) en el rango de 20-29 años y 283 (14.60%) en el rango de 40-49 años. Otro dato desalentador es el hecho de que el 37% de las mujeres registradas en la plataforma sufrió más de un tipo de violencia. El desglose de incidencias por tipo de violencia se muestra en la Tabla 6.1.8.3-7.

Tabla 6.1.8.3-7. Incidencias por tipo de violencia en Cozumel, 2022.

Tipo de Violencia	Incidencias
Psicológica	1,898
Física	497
Sexual	114
Económica	91
Obstétrica y Cibernética	59
Patrimonial	24
<b>Total</b>	<b>2,683</b>

Fuente elaboración propia.

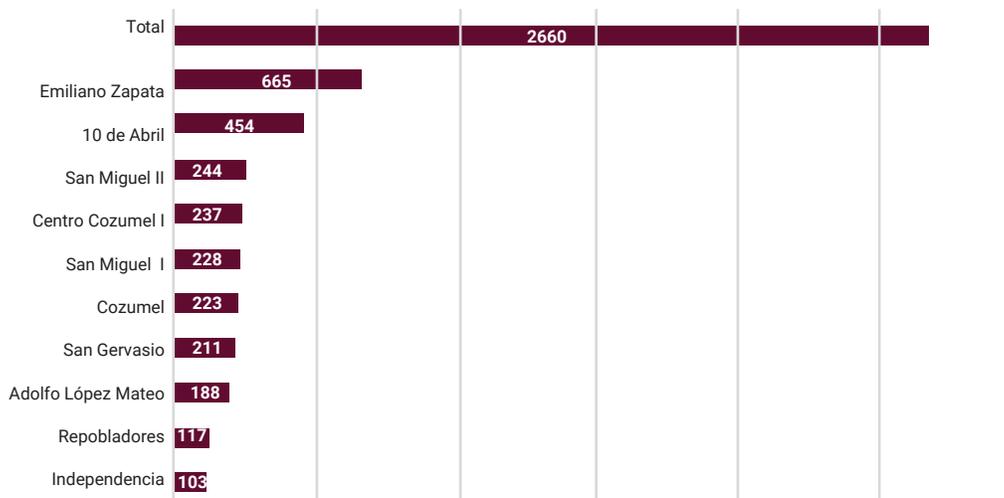
En cuanto al comportamiento de incidencias por colonia, en la Gráfica 6.1.8.3-8 se muestran las 10 colonias con mayor incidencia.

En el año 2021 se registraron 31,345 incidencias en toda la entidad de Quintana Roo; de las cuales la violencia familiar ocupó el 64% (20,061 incidencias) y el 27% de las víctimas manifestó ser la primera vez que se acercaba a una institución a solicitar apoyo, asesoría o para interponer una denuncia. Por otro lado, en el municipio se registraron 3,610 incidencias totales (11.52% de la entidad). En cuanto al comportamiento de incidencias por colonia, en la Gráfica 6.1.8.3-9 se muestran las 10 colonias con mayor incidencia.

En el año 2020 se registraron 3,415 incidencias totales en el municipio que, al desglosarlas por grupo de edad, se observa que 2,760 (80.82%) no mencionaron su edad; 206 (6.03%) en el rango de 20-29 años; 159 (4.66%) se ubican en el rango de 30-39 años y 115 (3.37%) en el rango de 10-19 años. En la Tabla 6.1.8.3-8 se presenta el total de las incidencias por tipo de violencia, resaltando que una misma víctima de acuerdo con el caso registrado puede incidir en varios tipos de violencia, por lo que las incidencias ascienden a 4,355.

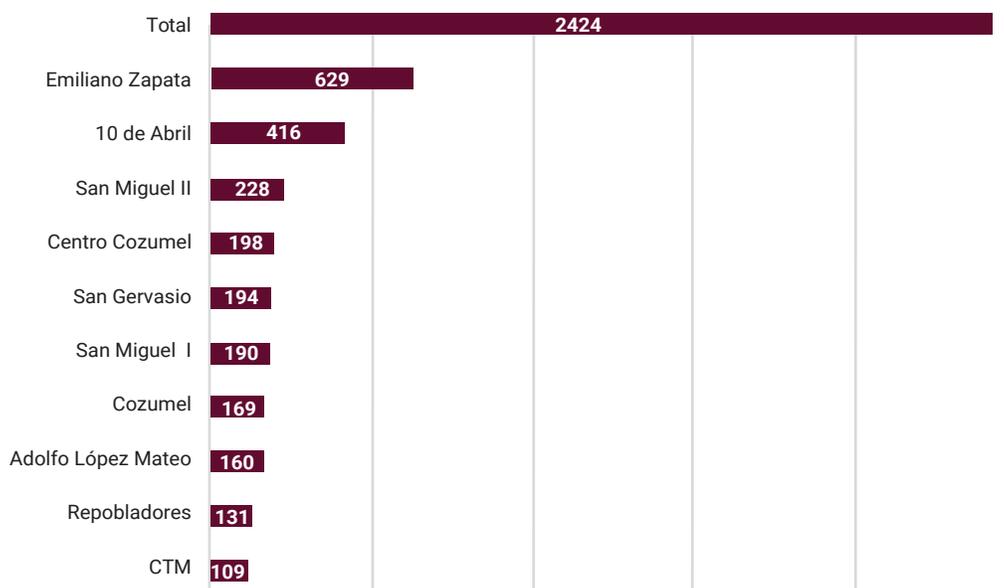
En cuanto al comportamiento de incidencias por colonia, en la Gráfica 6.1.8.3-10 se muestran las 10 colonias con mayor incidencia.

Gráfica 6.1.8.3-8. Incidencias de las 10 colonias con mayor incidencia en Cozumel, 2022.



Fuente elaboración propia

Gráfica 6.1.8.3-9. Incidencias de las 10 colonias con mayor incidencia en Cozumel, 2021.



Fuente elaboración propia

Finalmente, al contabilizar el número de incidencias en cada uno de los municipios de Quintana Roo durante el periodo 2018-2022, se observa que el mayor (82,608) y menor (932) número de delitos se registraron en los municipios de Benito Juárez y Lázaro Cárdenas respectivamente; por lo que al categorizarlos en 5 categorías<sup>22</sup> (muy bajo, bajo, medio, alto y muy

<sup>22</sup> Se obtienen al orden los datos y calcular los percentiles de 0.20, 0.4, 0.6 y 0.8 obteniendo cinco categorías: (0 al percentil

alto) se obtiene que el municipio de Cozumel presenta una susceptibilidad “alta” al fenómeno de violencia de género.

del 0.20 “muy bajo”), (percentil 0.20 al percentil del 0.40 “bajo”), (percentil 0.40 al percentil del 0.60 “medio”), (percentil 0.60 al percentil del 0.80 “alto”) y (percentil 0.8 en adelante “muy alto”).

### 6.1.8.3.7. Impacto del turismo de cruceros en el Municipio de Cozumel

#### a. Antecedentes

Otro fenómeno antropogénico que es de interés para el municipio tener identificado, es el arribo de millones de pasajeros que llegan en crucero a la isla cada año. Conforme a lo mencionado en la sección 6.2 Impacto de Cambio Climático, la isla de Cozumel se encuentra expuesto a potenciales impactos, entre ellos a la pérdida de Biodiversidades y Hábitats Naturales y por ende dichos impactos se traduzcan en eventos climáticos extremos y consecuencias

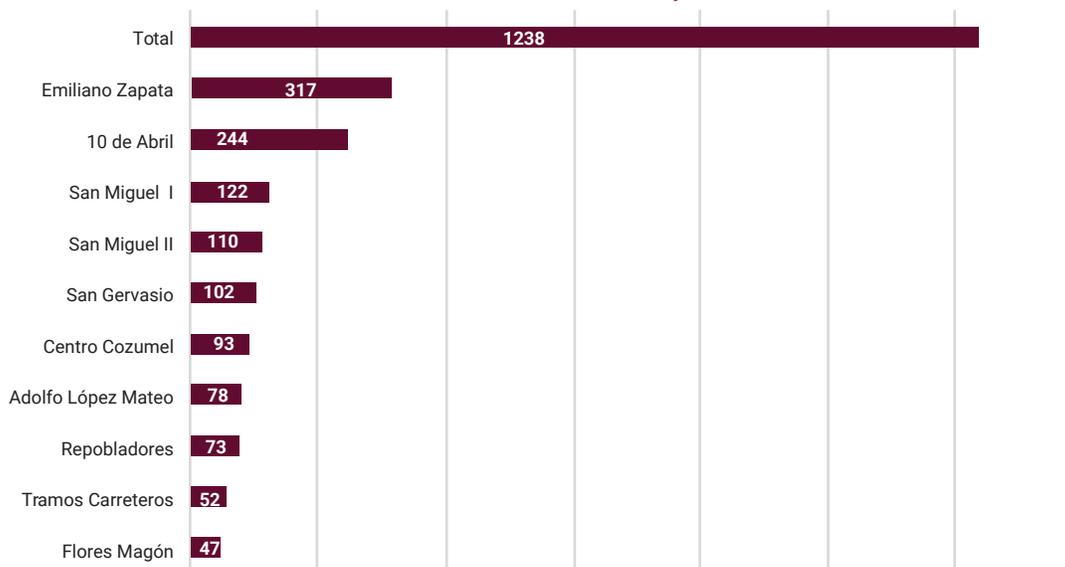
Tabla 6.1.8.3-8. Incidencias por tipo de violencia en el municipio de Cozumel, 2020.

Tipo de Violencia	Incidencias
Psicológica	3,166
Física	844
Económica	173
Patrimonial	86
Sexual	60
Otra modalidad	26
<b>Total</b>	<b>4,355</b>

Fuente elaboración propia.

socioeconómicas. Aunado a lo anterior, el estudio “Turismo y vulnerabilidad social. Reflexiones para algunos casos latinoamericanos” (Vianchá-Sánchez et al., 2021a) menciona que, a pesar de que el turismo es considerado tanto una salida a la pobreza como un generador de contextos de vulnerabilidad social, al desarrollarse en condiciones territoriales diversas. En Latinoamérica, las estructuras sociales e inequidades elevan la vulnerabilidad de las comunidades anfitrionas, razón por la cual los impactos del turismo no siempre son beneficiosos. Asimismo, dicho estudio permitió identificar que los impactos más referenciados en las investigaciones son negativos, particularmente relacionados con la destrucción y pérdida de resiliencia de los ecosistemas, el aumento de la vulnerabilidad social de los medios de vida de las comunidades locales, el aumento de conflictos por el acceso y uso de recursos naturales y la desigualdad en la distribución de los costos y beneficios del turismo. Dicho de otra forma, el estudio aborda el análisis desde las relaciones entre el auge del turismo y la vulnerabilidad social incluyendo “El caso de Quintana Roo, México, un enclave que no logró los vínculos esperados y en cambio favoreció condiciones de vulnerabilidad social” en el cual se narra la creación del gran proyecto Cancún, evidenciando que el proyecto logró crear puestos de trabajo, generar divisas y propició el crecimiento de una

Gráfica 6.1.8.3-10. Incidencias de las 10 colonias con mayor incidencia en Cozumel, 2020.



Fuente elaboración propia.

urbe en un punto prácticamente deshabitado del territorio mexicano. Sin embargo, no se alcanzó la integración económica de la región, resaltando el análisis de la evolución de la pobreza y la vulnerabilidad en Quintana Roo en el periodo 2010-2016 (Rojas & Angel, 2020) en el cual se observó que en el municipio de Benito Juárez (donde está Cancún) tanto la pobreza como la pobreza moderada reportaron incrementos en sus cifras absolutas. Además, como Cancún fue intenso e intensivo en mano de obra —especialmente rural— que se ocupó en la construcción de hoteles y de la propia ciudad, se generó la idea de «un Cancún lleno de oportunidades de trabajo» (Alavez San Pedro Minerva, 2017), lo que propició una migración masiva tanto de la población maya como de la proveniente de otros estados de la república y extranjeros, principalmente centroamericanos. Esto generó un crecimiento desordenado en la periferia y se dieron brotes de asentamientos irregulares, con distorsión de precios de la vivienda y del suelo. Lo anterior también ocurrió en la Riviera Maya, Playa del Carmen y Cozumel, que registraron incrementos en las tasas de carencia de vivienda de calidad y proliferación de asentamientos irregulares (Vianchá-Sánchez et al., 2021a).

#### b. Situación actual del Turismo de Cruceros

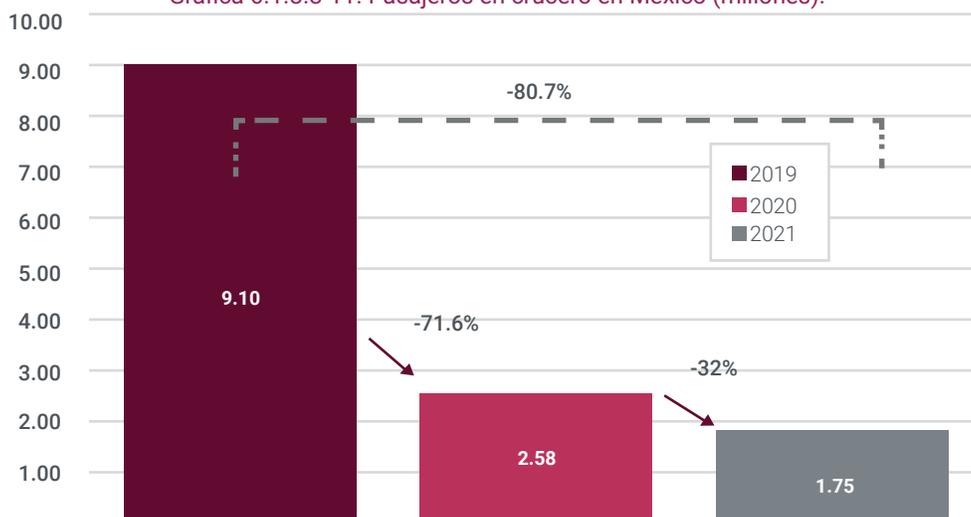
Conforme al análisis del arribo de cruceros 2018-2021 y expectativas 2022 (Secretaría de Turismo, 2022) en 2018 el número de pasajeros en cruceros que llegaron a México fue de 8 millones 271 mil

pasajeros y para 2019 el número ascendió a 9 millones 95 mil pasajeros. Durante los meses de abril de 2020 a mayo de 2021 la actividad de cruceros se suspendió a nivel mundial debido a la pandemia por covid-19; registrando únicamente 2 millones 580 mil cruceristas de enero a abril de 2020 y de junio a diciembre de 2021 se registraron un millón 754 mil pasajeros, (-32.0%) menos respecto a lo registrado en 2020 y estando a 80.7% de alcanzar los pasajeros captados en 2019 (Gráfica 6.1.8.3-11).

El puerto de Cozumel ocupó la primera posición durante 2018 y 2019 en la llegada de pasajeros en crucero a nivel nacional con una participación del 54.7% y 43.9% del total. Finalmente, el estudio estimó que para el año 2022 Cozumel seguiría en la primera posición con un 41.6% del total, con un total de 962 arribos.

Ahora bien, de acuerdo con cifras oficiales de la Dirección de Turismo y Desarrollo Económico del municipio de Cozumel (Dirección de turismo Cozumel), en 2022 el puerto recibió 1,117 cruceros y un total de 2,943,760 pasajeros, cifra que superó en un 22.35% la estimación realizada por (Secretaría de Turismo, 2022). En relación con el año 2023, en el periodo enero- noviembre se registraron 1,024 arribos y 3,624,209 pasajeros, cifra que esta tan solo a 124 cruceros y 340,134 pasajeros de las cifras estimadas para el cierre de año por la Administración Portuaria Integral de Quintana Roo (APIQROO) (API QROO, 2023).

Gráfica 6.1.8.3-11. Pasajeros en crucero en México (millones).



Fuente elaboración propia.

c. Grado de Rezago Social actual del municipio de Cozumel

De acuerdo con la determinación del “Grado de Rezago Social por localidad (GRS)” realizado por el CONEVAL (CONEVAL, n.d.) para medir la pobreza a nivel nacional, municipal y localidad, se observa que, de las veintinueve localidades evaluadas del municipio de Cozumel (representan el 99.61% de la población total en el municipio), veintiséis localidades presentan un GRS “Bajo” y solo tres (Buenavista, Pueblo Nuevo y La Selva) cuentan con un GRS “Medio; obteniendo a nivel municipal, un GRS “Bajo”.

d. Plan Maestro de Turismo Sustentable 2030, Quintana Roo (PMTS 2030)

Alineado con la agenda 2030 del estado de Quintana Roo la cual incluye generación de políticas públicas con enfoque a largo plazo alineadas e integradas a los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS), es la razón por la cual, en el año 2020, surgió el (Plan Maestro-2030, 2020). También el PMTS 2030, se alinea, a través de sus objetivos a instrumentos nacionales y estatales como son: Plan Nacional de Desarrollo (2019-2024), Programa Sectorial de Turismo de México (PROSECTUR) 2020-2024, Estrategia de Integración para la conservación y el uso sustentable de Biodiversidad Sector Turístico (EIBTUR) 2016-2020, Marco Estratégico de Turismo Sustentable en Áreas Naturales Protegidas de México, CONANP (METSANP) y con el Programa Sectorial de Diversificación y Desarrollo del Turismo en Quintana Roo (PSDDTQROO) 2016-2022. Como muestra de la continuidad en el desarrollo del PMT 2030, el 09 de mayo de 2022 se llevó a cabo el (Taller Para La Implementación Del Plan Maestro de Turismo Sustentable 2030 2, 2022) contando con la participación del sector público, privado y académico, con el objetivo de posicionar el PMTS 2030 como el instrumento rector de la actividad turística en Quintana Roo; al mismo tiempo que se identifican e impulsan acciones, desde el ámbito de cada destino, en favor de la competitividad y sustentabilidad turística de los mismos.

Los participantes realizaron un diagnóstico participativo de la competitividad turística en el que se incluyeron temas relacionados con servicios básicos, residuos, seguridad, movilidad. Posteriormente reconocieron que

Cozumel tienen el potencial para el desarrollo de diez de las doce actividades descritas en el PMTS 2030, algunas actualmente consolidadas, y el aprovechamiento de nuevas tendencias turísticas. Las conclusiones del taller fueron las siguientes:

1. Es indispensable la colaboración entre las autoridades locales y los sectores privado, académico y social, en el diseño, implementación y evaluación de los instrumentos de planeación local, por lo que se deben establecer y/o fortalecer mecanismos de gobernanza participativa.
2. Se reconoce el potencial de Cozumel para el aprovechamiento de segmentos y nuevas tendencias que, permitan la diversificación turística en el destino.
3. Resulta imprescindible fortalecer y/o establecer nuevos mecanismos de uso sustentable de los recursos naturales y culturales, con lineamientos adecuados de protección, conservación y restauración, para el adecuado aprovechamiento turístico.
4. El desarrollo del turismo debe potenciar una mayor integración entre la zona urbana y turística, generando condiciones de bienestar social en todo el municipio.
5. Para aumentar la sustentabilidad y competitividad turística de Cozumel, se tiene que fortalecer la capacidad, calidad y eficiencia de los servicios básicos de saneamiento, agua potable, drenaje y residuos sólidos; y movilidad (marítima y terrestre).

En conclusión, al considerar los posibles impactos que el municipio puede tener por los temas de cambio climático, los impactos negativos que ciertos estudios han demostrado por el crecimiento desorganizado del turismo en los destinos turísticos y en el cada vez más deterioro o agotamiento de los bienes no renovables, resulta relevante e imperativo que los tres sectores (público, privado y académico) continúen comprometidos con el desarrollo del PMTS 2030 mediante la implementación de las áreas de oportunidad identificadas en las conclusiones del taller realizado en el 2022

y dar seguimiento continuo y puntual tanto al potencial detectado en el municipio para el aprovechamiento de segmentos y **nuevas tendencias que permitan la diversificación turística**, como a que el desarrollo del turismo **debe potenciar una mayor integración entre la zona urbana y turística**, generando condiciones de bienestar social en todo el municipio; y así disminuir la probabilidad de impactos negativos en el municipio, por el arribo de millones de pasajeros de cruceros al año.

## 6.2. Impacto del Cambio Climático

El cambio climático representa una amenaza significativa para las islas en el mundo, en el caso del Mar Caribe, cuyos ecosistemas y comunidades se ven expuestos a potenciales por fenómenos climáticos extremos y alteraciones medioambientales.

En el caso de Cozumel, de acuerdo con estudios en la región, el municipio se encuentra expuestos a potenciales impactos como son:

- Actividad ciclónica (huracanes)
- Impacto en los niveles de precipitación
- Pérdida de Biodiversidad y Hábitats Naturales

Por ende, se estima que los impactos actuales y potenciales se traduzcan en eventos climáticos extremos, cambios ambientales, pérdida de biodiversidad y consecuencias socioeconómicas.

### 6.2.1. Actividad ciclónica (huracanes)

El estudio del cambio climático en las diversas amenazas, en particular de los ciclones se ha realizado por la comunidad científica mediante el Proyecto de Inter comparación de Modelos Acoplados (CMIP)<sup>23</sup>, en sus distintas fases de desarrollo. El estudio de referencia buscó comprender los cambios climáticos pasados, presentes y futuros utilizando modelos CMIP. Los cuales proporcionan información valiosa

para la toma de decisiones en áreas como la conservación ambiental, la gestión de recursos naturales y la adaptación a condiciones climáticas cambiantes.

En el caso de la actividad ciclónica, de acuerdo con Emanuel (2022) analizó el impacto del cambio climático en la actividad de los ciclones tropicales utilizando seis modelos climáticos globales CMIP en su fase 5. El estudio descubrió que los ciclones tropicales de categoría 4 o mayor aumentaron hasta en 40% su frecuencia e intensidad a lo largo del siglo XXI en la mayoría de los lugares, con los incrementos más destacados en el Pacífico Norte occidental y el Océano Atlántico.

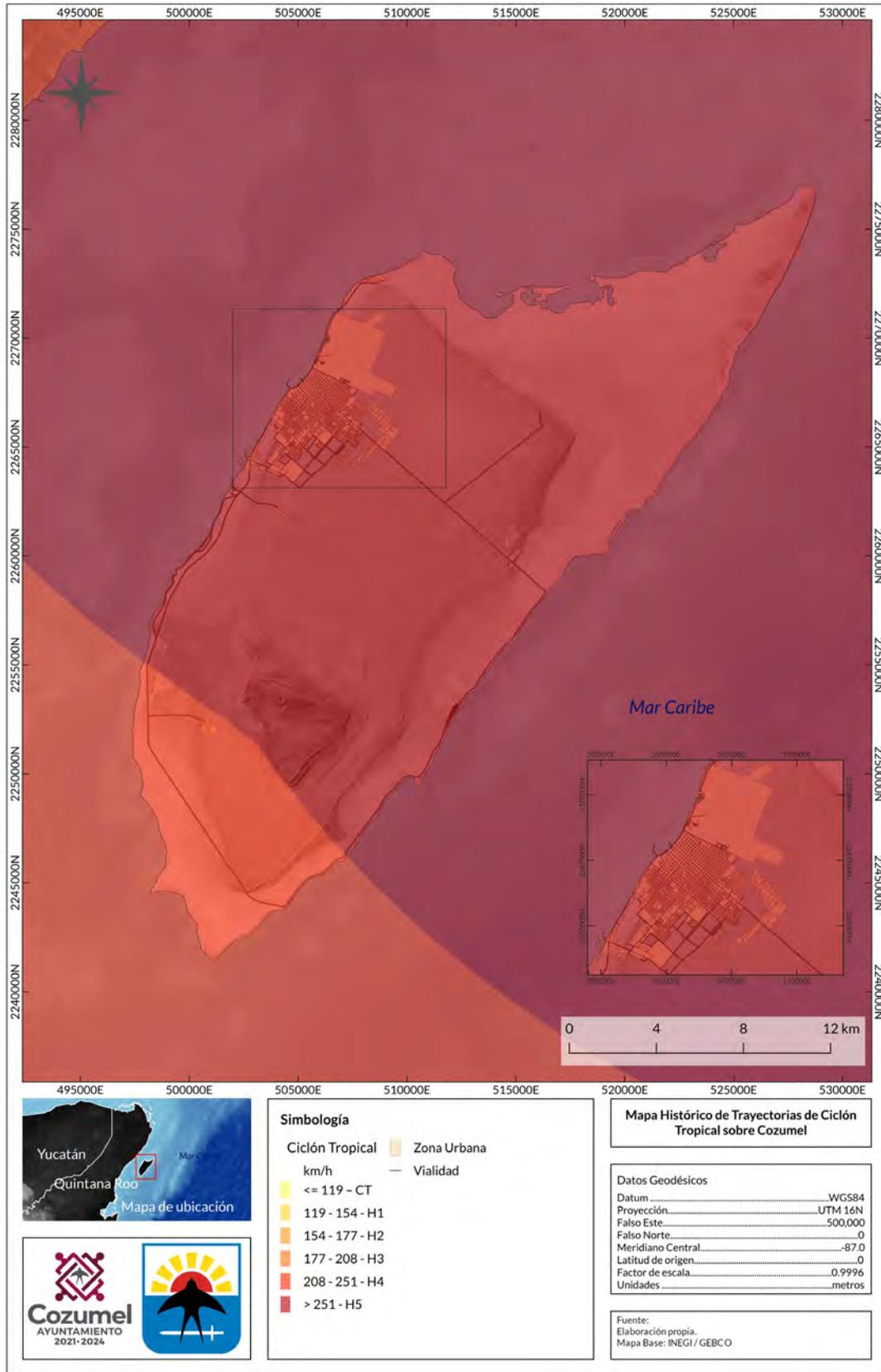
De acuerdo con Knutson et al (2015), en particular que se espera que hay un incremento global en la frecuencia de los ciclones tropicales de categoría 4 y 5. Se ha descubierto que las tendencias recientes y a largo plazo de la temperatura de la superficie del mar (TSM) y la cortante vertical del viento (VWS) influyen significativamente en la actividad de los ciclones tropicales (CT) en la principal región en desarrollo (MDR), el Caribe y las zonas circundantes. Se ha observado un calentamiento de la TSM y una disminución de la VWS, sobre todo en la temporada de lluvias tardías, y estas tendencias están relacionadas con un aumento de la frecuencia y la intensidad de las tormentas.

Basado en lo anterior, el análisis realizado para el municipio de Cozumel, considera como escenario base, el histórico de tormentas tropicales y ciclones tropicales en el periodo comprendido entre 1882-2022, véase el figura 6.2.1-1. En el mapa se observa que Cozumel ha sido altamente propenso a ciclones tropicales de categorías 4 y 5. Sin embargo, al considerar los escenarios climáticos Trayectoria de concentración representativa (o RCP en inglés) 6.0 (figura 6.2.1-2), y el escenario RCP 8.5 (6.2.1-3), el municipio se incrementa su énfasis hacia ciclones tropicales de categoría 5.

El análisis para la estimación de potenciales trayectorias de tormentas tropicales cuyas trayectorias afecten al municipio han sido desarrolladas basadas en los escenarios RCP, con datos de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) y sobre el modelo de código abierto CLIMADA.

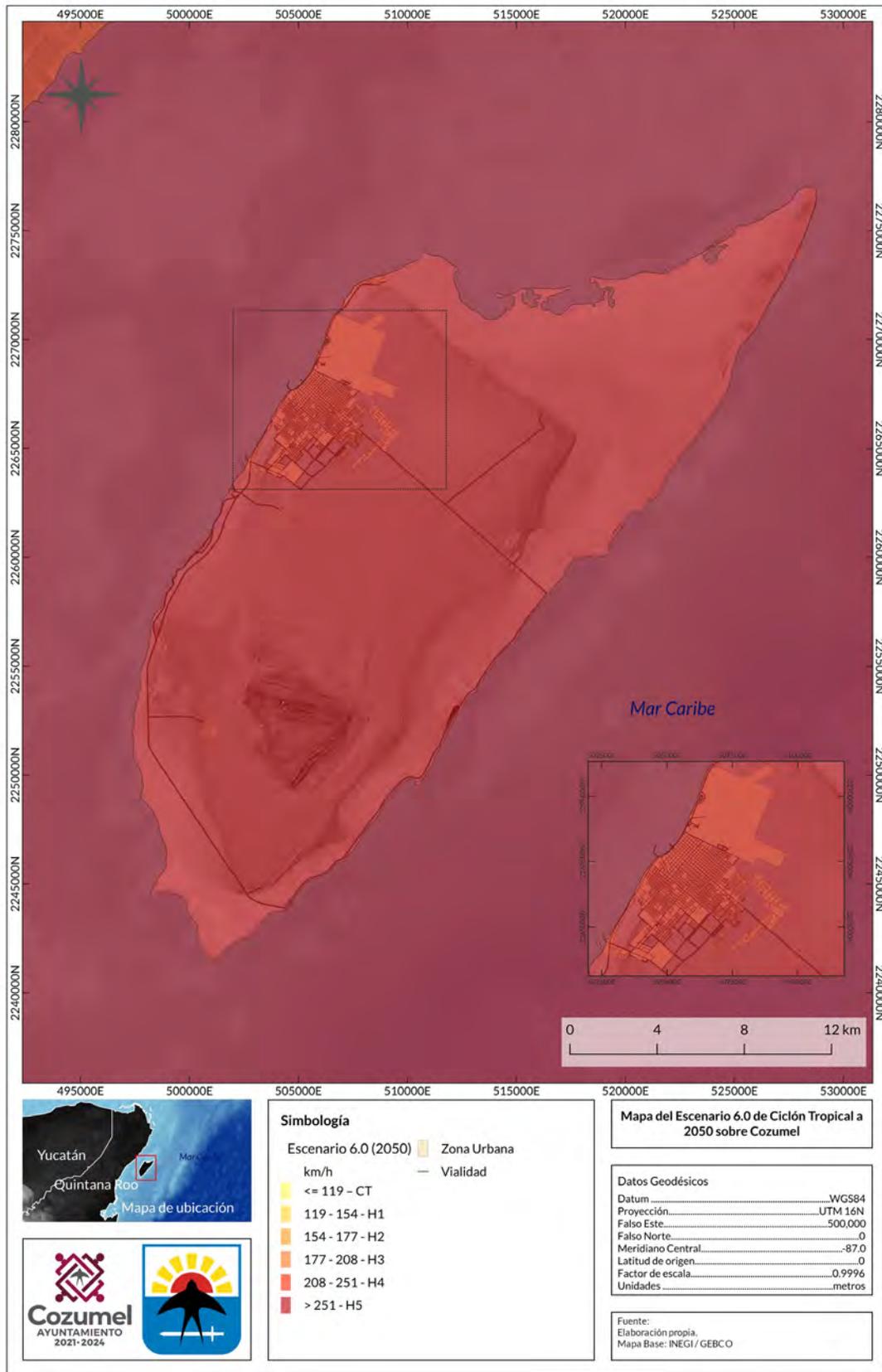
<sup>23</sup> <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip>

Figura 6.2.1-1. Vientos estimados en KM/H para actividad de ciclón tropical de acuerdo con el escenario histórico en el periodo



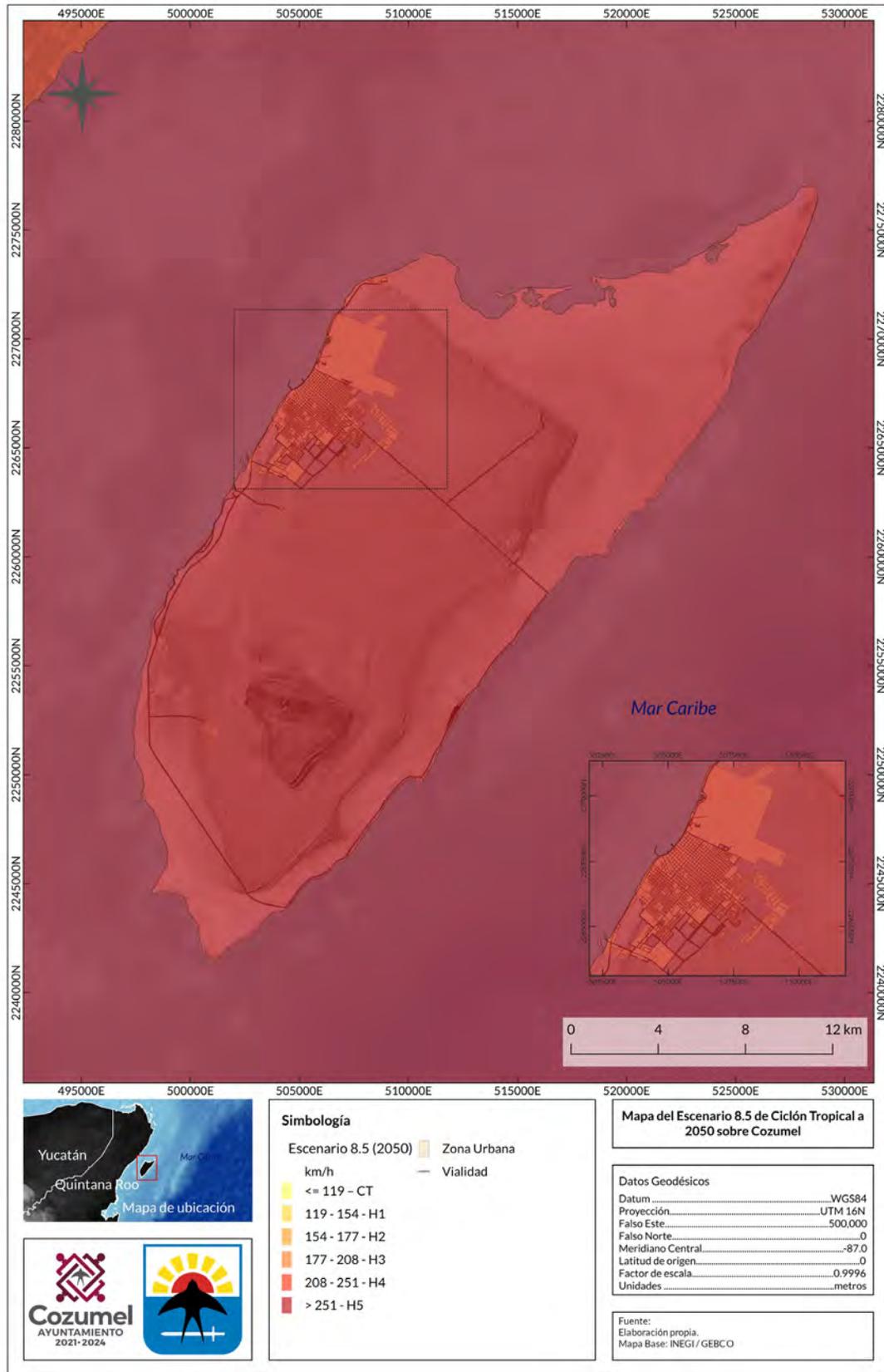
Fuente: NOAA

Figura 6.2.1-2. Vientos estimados en KM/H para actividad de ciclón tropical de acuerdo con el escenario RCP 6.0 en el año 2050



Fuente: datos de NOAA y basado en cálculos de CLIMADA

Figura 6.2.1-3. Vientos estimados en KM/H para actividad de ciclón tropical de acuerdo con el escenario RCP 8.5 en el año 2050



Fuente: datos de NOAA y basado en cálculos de CLIMADA

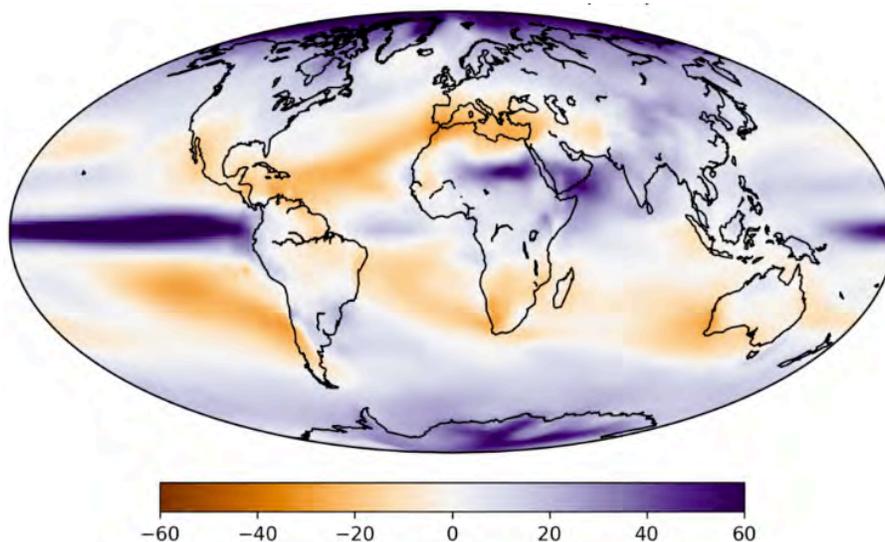
### 6.2.2. Impacto en los niveles de precipitación

En la literatura científica sobre cambio climático se ha dado un debate muy nutrido sobre la consistencia entre los resultados de diversos modelos de clima y cómo esta puede influir en la precipitación global. Para Fisher et al (2014) afirma que los modelos globales climáticos muestran sistemáticamente una intensificación de las fuertes precipitaciones en casi todas las regiones terrestres de Eurasia y Norteamérica en respuesta al calentamiento global. Estas regiones son especialmente propensas a experimentar un aumento de las fuertes precipitaciones. Sin embargo, en otras regiones puede suceder una caída en la precipitación. Como se observa en el mapa 4, al analizar el cambio porcentual medio multi-modelo del CMIP fase 5 con el RCP8.5 en las precipitaciones totales (lluvia y nieve) entre 1981-2000 y 2081-2100. Se observa que para el Mar Caribe se observará una caída en la precipitación de hasta el 20% en la media anual.

Las expectativas de los modelos referidos para el municipio de Cozumel es que se presente una disminución moderada a severa reducción en la precipitación. Considerando los escenarios climáticos de las trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP en inglés) en el escenario SSP2-4.5, cuya narrativa considera las emisiones de gases de efecto invernadero no tendrán cambios sustanciales a los ya registrados en el pasado, la población crece de forma moderada, hay cambios lentos hacia una economía sostenible. Por su parte para el escenario SSP5-8.5, es un escenario que anticipa economías que no sólo continúan sino incrementan el uso de combustibles fósiles, las economías crecen, los niveles de emisiones alcanzan máximos niveles pronosticados en todos los escenarios. El incremento de temperatura es el mayor registrado en la historia de la humanidad.

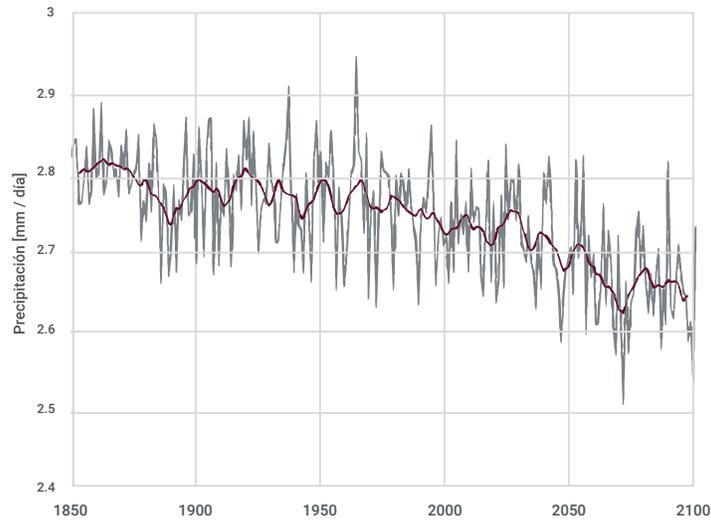
Basado sobre ambos escenarios, se estimaron las precipitaciones estimadas hasta el 20100, considerando los años de análisis 2030, 2040 y 2050. Se observa en las gráficas 6.2.2-1 y 6.2.2-2 que la precipitación tiene de moderadas a severas caídas en la precipitación para el municipio.

Figura 6.2.2-1. Cambio Porcentual en la precipitación Global (CMIP fase 5 con RCP 8.5 media multi-modelo de precipitación)



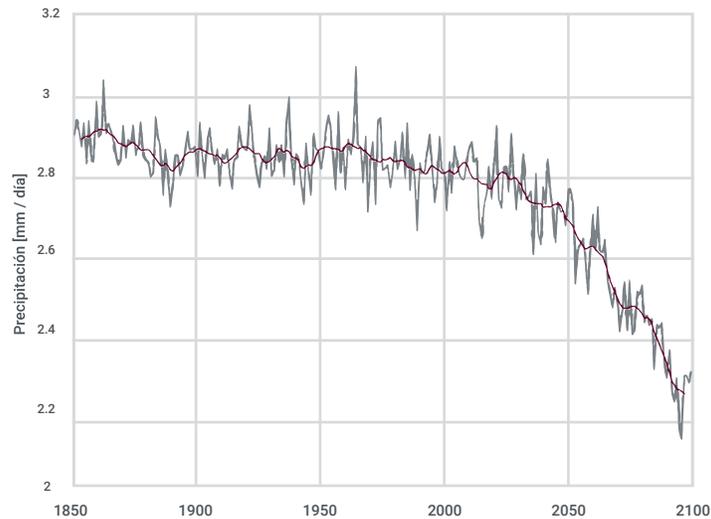
Fuente: con datos de KNMI Climate Explorer; mapa de Carbon Brief.

Gráfica 6.2.2-1. Precipitación anual diaria promedio Enero-Diciembre para el Municipio de Cozumel (Escenario Climático SSP2-4.5)



Fuente: KNMI climate explorer

Gráfica 6.2.2-2. Precipitación anual diaria promedio Enero-Diciembre para el Municipio de Cozumel (Escenario Climático SSP5-8.5)



Fuente: KNMI climate explorer

### 6.2.3. Pérdida de Biodiversidad y Hábitats Naturales

El cambio climático motivado por el incremento en la temperatura media global debido al incremento en los gases de efecto invernadero, tiene importantes implicaciones, para el Municipio de Cozumel, en los escenarios de

cambio climático analizados, se estiman un incremento en los huracanes que impactan al municipio, particularmente los de categoría 4 y 5. También se estima que se presente una caída de la precipitación esperada en el horizonte de análisis de los escenarios de estudio.

De acuerdo con Escudero (2021) las zonas costeras tienen una alta exposición al cambio

climático, no sólo por los ecosistemas costeros sino también por la alta densidad de la población que enfrentan diversas ciudades.

Por su parte, el incremento en la temperatura media del Mar Caribe puede ocasionar que las condiciones mínimas de sobrevivencia del arrecife de coral no sean presenten. En el caso del Caribe Mexicano, se estimada que represente cerca de 9.5 miles de millones de dólares en economías vinculadas al arrecife.

En relación con Reguero et al (2018), en el caso del arrecife del caribe mexicano, el estudio calcula los beneficios que los arrecifes de coral y las dunas aportan a los activos expuestos (comerciales y habitacionales). No sólo por el atractivo turístico, sino además por la defensa natural contra tormentas tropicales de severidad extrema. De acuerdo con los autores, las pérdidas anuales previstas para el acervo de activos casi se triplicarían si los arrecifes se degradan, aumentando de 9,2 a 25,5 millones de dólares. Las pérdidas durante una tormenta de 1 en 100 años casi se duplicarían, pasando de 136 a 237 millones de dólares. También se destacan los beneficios de reducción del riesgo que proporcionan las dunas, con un beneficio anual estimado de 16,7 millones de USD.

La pérdida de la biodiversidad y de hábitats naturales aún son un campo de estudio, sin embargo, diversos estudios IPCC (2019)<sup>24</sup> enfatizan que las pérdidas en los arrecifes de coral varían de especie a especie, sin embargo, las más adaptables podrían ser las de aguas frías, versus las de agua caliente donde se registra mayor vulnerabilidad. Existe evidencia de acuerdo con Mckee y Vervaeke (2018) en zonas como el sur de Florida, el Caribe y la región de manglares de la India-Pacífico (Lovelock et al., 2015), donde los manglares que no puedan superar las tasas actuales de incremento en el nivel del mar y ende, corren el riesgo de desaparecer.

Los ecosistemas también podrán ser afectados por el cambio en la frecuencia de ciclones tropicales, de acuerdo con Perdomo et al (2017), se estudió investigó los efectos de los huracanes en las aves del sotobosque de Cozumel. La investigación comparó las poblaciones de aves antes y después de dos huracanes consecutivos y descubrieron que había fuertes efectos negativos

<sup>24</sup> Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.

de los huracanes sobre la abundancia de aves y la riqueza de especies en la primera estación invernal tras las tormentas. Sin embargo, estos efectos no se observaron en las poblaciones de aves estivales. El estudio también descubrió que los conjuntos de aves de todos los periodos de muestreo podían distinguirse claramente, lo que indica que los huracanes tuvieron efectos a largo plazo en la composición y estructura de las comunidades de aves.

Existe una agenda pendiente para investigación específica del impacto del cambio climático en el municipio de Cozumel, sin embargo, estudios regionales o globales, indican que éste puede ser significativo. Particularmente en el caso de los sectores económicos de mayor presencia como el turismo. Precisamente porque el factor que estimula la oferta turística del municipio descansa en ecosistemas, que se explican por una enorme complejidad de variables que interactúan, sin embargo, la tendencia global es que variables como la temperatura, precipitación, viento, nivel del mar, de forma aislados pueden ser irrelevantes para el sector turístico, pero en su conjunto, pueden ser el preámbulo de impactos más severos o catastróficos.

### 6.3. Caracterización de vulnerabilidad social

Aunque es importante tener identificados los peligros a los que están expuestas las sociedades y sus bienes, también, se debe poner énfasis en la exposición y vulnerabilidad con la finalidad de disminuir los riesgos.

Es por lo que nos centraremos en entender la vulnerabilidad social que ha sido conceptualizada de diversas formas y desde diferentes disciplinas. No obstante, es posible enlistar algunos elementos comunes, tal como lo menciona (Ruiz Rivera, 2012):

- a) Se define en función de una amenaza, ya sea física, antropogénica, etc.
- b) Las sociedades o individuos se definen como vulnerables ante una amenaza o vulnerable a estar en una situación de pérdida.

- c) Antes de la amenaza, se analizan las condiciones que hacen propensos a los individuos o sociedades a una pérdida (susceptibilidad).
- d) Cómo enfrentan las situaciones de amenaza (una vez que ya ocurrieron) y que se relaciona con la capacidad de ajuste.

Tradicionalmente se ha concebido desde una visión donde las sociedades y el individuo son receptores pasivos de los embates de los fenómenos geofísicos donde se puede hacer poco para cambiar las circunstancias, ya sea para prevenir su aparición o sus consecuencias. Esta visión proporciona una comprensión limitada de las causas, consecuencias y las posibles soluciones a los desastres, además desconoce la naturaleza de la vulnerabilidad y la capacidad que tienen las personas y las comunidades para gestionar el riesgo (Fordham et al., 2013).

Por el contrario, otra visión de la vulnerabilidad social la concibe desde un contexto histórico, donde permean las desigualdades derivadas de las relaciones de poder (raza, clase, género, edad, etc.) por lo tanto busca comprender las raíces socioeconómicas y políticas de la vulnerabilidad. Para ello analiza cómo se perpetúan las disparidades sociales que provocan que las amenazas afecten más a determinados grupos sociales (Fordham et al., 2013; Ruiz Rivera, 2012).

Este enfoque plantea que cuando las personas se enfrentan a desastres pueden experimentar vulnerabilidad como resultado de las condiciones sociales, económicas y políticas del momento, sin embargo, no quiere decir que determinado grupo sea vulnerable per se, sino que es el resultado de una combinación de factores en el lugar y tiempo lo que determina que un grupo pueda resultar más afectado y con una menor capacidad para recuperarse, de ahí que el concepto de vulnerabilidad sea una categoría dinámica y no una etiqueta o una característica inherente al individuo (Fordham et al., 2013). Resalta que la vulnerabilidad social se da por múltiples condiciones y circunstancias, entre ellas salud, ingresos, discapacidad, edad, alfabetismo y estatus migratorio. Una vez identificada la naturaleza de la vulnerabilidad se pueden diseñar soluciones políticas y sociales (Fordham et al., 2013).

Otra perspectiva la considera desde el enfoque “realista” donde considera “los riesgos objetivos y las amenazas físicas, y las condiciones sociales que explican la desigualdad social, el acceso diferencial a recursos clave y la valoración que cada grupo social hace de las amenazas”. Propone como parámetro para determinar la vulnerabilidad las posibilidades de cumplir con las condiciones sociales, económicas y espaciales que se relacionan con el bienestar (Ruiz Rivera, 2012).

Por otra parte, en el artículo “Turismo y vulnerabilidad social. Reflexiones para algunos casos latinoamericanos” (Vianchá-Sánchez et al., 2021) se describe que la vulnerabilidad se ha analizado desde cuatro grandes categorías: (i) riesgo y amenaza, asociados a la exposición, peligro sensibilidad o susceptibilidad a una amenaza o daño, dada por la incapacidad interna, fragilidad o indefensión de reaccionar o resistir de forma adecuada cuando la amenaza se concreta; (ii) resiliencia, asociada a la imposibilidad para recuperar las condiciones normales de vida, o débil capacidad de adaptación, diversidad o transformación de los sistemas socioecológicos para absorber perturbaciones, mantener sus funciones, renovarse y reorganizarse; (iii) derecho, relacionada con los fallos asociados a las teorías del cambio social, la autonomía y la toma de decisiones; (iv) capacidades, centradas en el análisis de la disponibilidad y capacidad de movilización de activos y recursos que disponen los individuos, hogares o comunidades para su desempeño social (Adger, 2006; Busso, 2001; Chambers y Conway, 1991; Foschiatti, 2009; Kaztman y Filgueira, 1999; Lampis, 2009; Moser, 1998; Turner et al., 2003).

Finalmente, como se menciona en la Tesis doctoral “Vulnerabilidad de los destinos turísticos” (Gallego Galán Directores & Pilar Alarcón Urbistondo Francisco Ruiz de la Rúa, 2015) el concepto de vulnerabilidad se ha extendido y se ha utilizado desde diferentes ámbitos: físico, social, político, tecnológico, ideológico, cultural y educativo, ambiental e institucional (Foschiatti et al., 2009). La concepción de la vulnerabilidad y la terminología asociada (riesgo, amenaza, etc.) ha variado con el tiempo y también, ha variado desde la perspectiva disciplinar desde la que se ha abordado su noción. Esto significa que, pese a que es tratada desde diferentes ámbitos

del conocimiento, no ha existido en realidad una concepción que unifique las diferentes aproximaciones o que recoja de manera consistente y coherente los diferentes enfoques (Cardona, 2002).

### 6.3.1. Antecedentes de la vulnerabilidad social en Cozumel

En el Atlas de Riesgos de la Isla de Cozumel (2011), se construyó un índice de vulnerabilidad social asociado a inundaciones y huracanes. Utilizando el método de componentes principales, se establecieron las variables:

- a) viviendas con piso de tierra
- b) viviendas con hacinamiento
- c) nivel educativo,

como las principales para conformar dicho índice. La importancia de conocer las zonas con mayor índice de vulnerabilidad social radica en poder identificar aquellas manzanas que necesitarán especial atención ante los riesgos de desastre por inundaciones y huracanes. Los resultados de este Atlas (2011) indican que en las colonias Chen Tuk, San Miguel 1, San Miguel 2, 10 de Abril y Emiliano Zapata la mayoría de sus manzanas son en algún grado vulnerables, mientras que las colonias menos vulnerables son Andrés Quintana Roo, Flamings, Colonos Cuzamil, Inviqroo Cuzamil, Flores Magón 1 y Flores Magón 2 (Municipio de Cozumel, 2011).

Resultó importante durante la creación del Atlas de Riesgos de Cozumel (2011) el empleo del índice de marginación, el cual se utilizó como antecedente para la creación del índice de vulnerabilidad social. Para el índice de marginación se reunieron variables como salud, educación, fallecimiento de hijos y viviendas sin refrigerador, buscando demostrar de forma cuantificable los diferentes matices del bienestar en la ciudad.

Como se ha mencionado anteriormente, la resiliencia y la vulnerabilidad son dos términos que se han estudiado de manera conjunta. Un ejemplo es el estudio teórico sobre resiliencia y vulnerabilidad social ante los espacios

segmentados por el turismo, en la localidad de Tulum, en Quintana Roo (Cuza-Sorolla et al., 2022). En esta propuesta se indica que a consecuencia del turismo se generan segregación socioespacial, la segmentación del espacio urbano, la diferenciación entre grupos sociales en cuanto al acceso a servicios, a la oferta de empleo, a las condiciones estructurales de las viviendas y de las colonias habitacionales. Lo cual obliga a ciertos grupos demográficos a experimentar condiciones de hacinamiento, surgimiento de asentamientos humanos irregulares por migración étnica y a una complicada integración social a la actividad turística por periodos, de manera informal, por lo tanto, a un complejo acceso a las condiciones básicas para vivir dignamente. La resiliencia social de los grupos vulnerables en esta localidad se construye con procesos de respuesta y adaptación derivados de entender y definir su segregación socioespacial generada por el turismo, ya condiciona la forma de ocupación espacial y las diferencias de convivencia social.

Sobre esta misma temática, en el 2018 se realizó el Perfil de Resiliencia Urbana (PRU) de Cozumel (Frausto et al., 2018) a través de una encuesta en hogares, y en la cual se llevó a cabo una construcción de indicadores basados en la integración de los componentes propuestos por el perfil de resiliencia urbana de ONU-Hábitat-SEDATU y la encuesta a hogares de Cozumel (2018). Se obtuvieron los siguientes 10 ejes:

- Eje I. Organización para la resiliencia frente a los desastres.
- Eje II. Identificación, comprensión y utilización de escenarios de riesgo.
- Eje III. Capacidad financiera para la resiliencia.
- Eje IV. Diseño y desarrollo urbano.
- Eje V. Ambiental.
- Eje VI. Capacidad institucional para la resiliencia.
- Eje VII. Capacidad social para la resiliencia.
- Eje VIII. Infraestructura.

Eje IX. Respuesta adecuada y efectiva.

Eje X. Reconstrucción y recuperación.

El análisis de estos 10 ejes generó un PRU de la Isla de Cozumel, que la ubica en un nivel medio de resiliencia. Los ejes ambientales y de recuperación y construcción presentan mayores fortalezas mientras que las capacidades sociales, institucionales y organizativas se presentan como principales áreas de oportunidad.

Otro estudio sobre resiliencia en la zona urbana costera de Cozumel (Hafsi y Frausto, 2022), a través de un “Programa de Evaluación de la Resiliencia Comunitaria” que indica buenos vínculos dentro de la población y buena experiencia en concientización sobre riesgos, pero falta de conocimiento y participación en los planes y actividades de riesgo de desastres. Además, de emplear herramientas de riesgo centradas únicamente en el apoyo técnico con falta de inclusión y consideración de las minorías. Por otra parte, el nivel económico de la población está disminuyendo, mientras que las desigualdades étnicas y de género están aumentando. Finalmente, la comunidad estudiada demuestra buenos resultados económicos, creatividad y emprendimiento, pero especializado únicamente en servicios turísticos.

Como se puede observar, los estudios de resiliencia pueden en un inicio parecer opuestos a aquellos centrados en la vulnerabilidad social. Sin embargo, el estudio de la resiliencia implica también un conocimiento de las situaciones de vulnerabilidad y marginación de la población para poder determinar el potencial de resiliencia de la comunidad.

### **6.3.2. Estimación de la vulnerabilidad social asociada a desastres en el municipio de Cozumel – CENAPRED**

De acuerdo con la “Guía básica para elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos: evaluación de la vulnerabilidad física y social elaborada por CENAPRED” (Guía CENAPRED) (Flores Corona, 2006), el principal objetivo es identificar las características de la población susceptible de sufrir daño, en su persona o bienes

que posea, a consecuencia de algún fenómeno natural. Lo anterior va unido a la posibilidad de medir la capacidad de prevención y respuesta que se tenga en el municipio de Cozumel, es decir, el grado de organización y recursos para atender una emergencia. La metodología propuesta por la Guía CENAPRED para la caracterización de la vulnerabilidad social define a la vulnerabilidad social asociada a desastres naturales como: “el conjunto de características sociales y económicas de la población que limita la capacidad de desarrollo de la sociedad; en conjunto con la capacidad de prevención y respuesta de la misma frente a un fenómeno y la percepción local del riesgo de la población”.

Dicha metodología se divide en tres partes:

- La primera permitirá una aproximación al grado de vulnerabilidad de la población con base en sus condiciones sociales y económicas, la cual proporcionará un parámetro para medir las posibilidades de organización y recuperación después de un desastre.
- La segunda permitirá conocer la capacidad de prevención y respuesta de los órganos responsables de llevar a cabo las tareas de atención a la emergencia y rehabilitación.
- La tercera, se enfocará a la percepción local del riesgo que se tenga en el municipio, lo que permitirá planear estrategias y planes de prevención.

#### **6.3.2.1. Primera parte guía CENAPRED- indicadores socioeconómicos**

Los indicadores<sup>25</sup> socioeconómicos que se eligieron corresponden a los especificados en la Guía CENAPRED, mismos que se dividen en cinco grandes categorías: Salud, Educación, Vivienda, Empleo e Ingresos y Población, ya que éstos influyen directamente sobre las condiciones básicas de bienestar y de desarrollo de los individuos y de la sociedad en general. Se utilizó como fuente primordial, los Principales resultados por localidad (ITER) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2020a) y en el caso de que alguna variable no provenga de esta fuente, se indicara su origen:

<sup>25</sup> Todos los indicadores socioeconómicos se calculan para el municipio de Cozumel

## Salud

Uno de los principales indicadores de desarrollo se refleja en las condiciones de salud de la población, es por eso necesario conocer la accesibilidad que ésta tiene a los servicios básicos de salud, así como la capacidad de atención de los mismos. La insuficiencia de servicios de salud reflejará directamente parte de la vulnerabilidad de la población. Para esta categoría se incluyen tres indicadores (ver tabla 6.3.2.1-1):

## Educación

Las características educativas influirán directamente en la adopción de actitudes y conductas preventivas y de autoprotección de la población, asimismo, pueden mejorar sus conocimientos sobre fenómenos y riesgos. Es un derecho fundamental de todo individuo el tener acceso a la educación y es una herramienta que influirá en los niveles de bienestar del individuo. Para esta categoría se consideraron tres indicadores que proporcionarán un panorama general del nivel educativo en el municipio de Cozumel (ver tabla 6.3.2.1-2):

Tabla 6.3.2.1-1 Indicadores de Salud.

Indicador / Pregunta	1.1 ¿Cuántos Médicos existen por cada 1,000 habitantes?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 0.20 a 0.39 Médicos por cada 1,000 habitantes	Muy Alta	1.00
	De 0.4 a 0.59 Médicos por cada 1,000 habitantes	Alta	0.75
	De 0.6 a 0.79 Médicos por cada 1,000 habitantes	Media	0.50
	De 0.8 a 0.99 Médicos por cada 1,000 habitantes	Baja	0.25
	Uno o más Médicos por cada 1,000 habitantes	Muy Baja	0.00
Procedimiento	La proporción de médicos por 1,000 habitantes se obtiene de la multiplicación del número de médicos por mil y se divide entre el total de la población.		
Fórmula	$PM = \frac{NoM}{PT} * 1000 \quad (6.5.1-1)$ <p>Donde:                      PM = Proporción de Médicos                      NoM = Número de Médicos<sup>26</sup>                      PT = Población Total</p>		
Justificación	La Secretaría de Salud indica que es aceptable que exista un médico por cada 1,000 habitantes, por lo que el indicador reporta la disponibilidad de médicos para atender a la población por cada 1,000 habitantes en un periodo determinado. La baja proporción de médicos se reflejará en las condiciones de salud de la población, lo que agudiza las condiciones de vulnerabilidad, situación que se podría acentuar en caso de emergencia o desastre.		
Indicador / Pregunta	1.2 ¿Cuántas muertes se producen antes del primer año de vida?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 0.01 a 27.1	Muy Baja	0.00
	De 27.2 a 37.0	Baja	0.25
	De 37.1 a 47.0	Media	0.50
	De 47.1 a 56.9	Alta	0.75
	De 57.0 o más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	Este indicador se puede establecer para un periodo dado, en este caso el primer año de vida. El resultado se obtiene de dividir el número de defunciones de niños menores de un año en un periodo determinado, entre los nacidos vivos en el mismo periodo y el resultado se multiplica por cien.		
Fórmula	$TMI = \frac{DM1a}{NV} * 100 \quad (6.5.1-2)$ <p>Donde:                      TMI = Tasa de Mortalidad Infantil                      DM1a = Defunciones de Menores de 1 Año en un periodo determinado<sup>27</sup>                      NV = Nacidos Vivos en el mismo periodo<sup>28</sup></p>		

<sup>26</sup> (DATA MÉXICO, 2020)

<sup>27</sup> (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2020e)

<sup>28</sup> (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2020b)

Justificación	Este indicador se refiere a la posibilidad de un recién nacido de sobrevivir el primer año de vida. Tomando en cuenta que el riesgo de muerte es mayor en los primeros días, semanas y meses de vida, la mortalidad durante este periodo indicará en gran medida las condiciones de la atención a la salud de la población en el caso de la madre.		
	<b>1.3 ¿Qué porcentaje de la población no cuenta con derechohabencia a servicios de salud?</b>	<b>Condición de Vulnerabilidad</b>	<b>Valor asignado</b>
Rangos	De 17.63 a 34.1	Muy Baja	0.00
	De 34.11 a 50.57	Baja	0.25
	De 50.58 a 67.04	Media	0.50
	De 67.05 a 83.51	Alta	0.75
	De 83.52 o más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	El porcentaje de la población no derechohabiente se obtiene dividiendo el total de la población no derechohabiente entre el total de la población y el resultado se multiplica por cien.		
Fórmula	$\%PND = \frac{PND}{PT} * 100 \quad (6.5.1-3)$ <p>Donde:          %PND = Porcentaje de Población No Derechohabiente          PND = Población No Derechohabiente          PT = Población Total</p>		
Justificación	Este indicador muestra el porcentaje de la población no derechohabiente, la cual es la que menos acceso tiene a servicios de salud y en consecuencia es la que en menor medida acude a las instituciones de salud, esta situación incide directamente en la vulnerabilidad de la población.		

Fuente: *Elaboración propia tomando como referencia la Guía CENAPRED.*

**Tabla 6.3.2.1-2 Indicadores de Educación.**

	<b>2.1 ¿Cuál es el porcentaje de la población de 15 años y más que no sabe leer ni escribir un recado?</b>	<b>Condición de Vulnerabilidad</b>	<b>Valor asignado</b>
Rangos	De 1.07 a 15.85	Muy Baja	0.00
	De 15.86 a 30.63	Baja	0.25
	De 30.64 a 45.41	Media	0.50
	De 45.42 a 60.19	Alta	0.75
	De 60.20 o más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	Se obtiene dividiendo a la población analfabeta de 15 años y más entre el total de la población de ese mismo rango de edad. El resultado se multiplica por cien.		
Fórmula	$\%A = \frac{P15aA}{PT15a} * 100 \quad (6.5.1-4)$ <p>Donde:          %A = Porcentaje de Analfabetismo          P15aA = Población de 15 años y más Analfabeta          PT15a = Población Total de 15 años y más</p>		
Justificación	Además de las limitaciones directas que implica la carencia de habilidades para leer y escribir, es un indicador que muestra el retraso en el desarrollo educativo de la población, que refleja la desigualdad en el sistema educativo. La falta de educación es considerada como uno de los factores claves con respecto a la vulnerabilidad social.		
	<b>2.2 ¿Cuál es el porcentaje de la población de 6 a 14 años que asiste a la escuela?</b>	<b>Condición de Vulnerabilidad</b>	<b>Valor asignado</b>
Rangos	De 42.72 a 54.17	Muy Alta	1.00
	De 54.18 a 65.62	Alta	0.75
	De 65.63 a 77.07	Media	0.50
	De 77.08 a 88.52	Baja	0.25
	De 88.53 o más	Muy Baja	0.00
Procedimiento	En algunos casos para la obtención del porcentaje de la cobertura de la demanda de la educación básica, se toma en cuenta la educación preescolar (a partir de los 3 años), otras sólo toman en cuenta desde la educación primaria hasta la educación secundaria; lo cual se estima dividiendo la matrícula de educación primaria y secundaria entre la población de 6 a 14 años, que es el rango de edad de asistencia a tales niveles educativos.		

$$DEB = \frac{PT6\_14aAE}{PT6\_14a} * 100 \quad (6.5.1-5)$$

**Fórmula**

Donde:

DEB = Demanda de Educación Básica  
 PT6\_14aAE = Población Total de 6 a 14 años que Asiste a las Escuela  
 PT6\_14a = Población Total de 6 a 14 años

**Justificación**

El indicador muestra a la población que se encuentra en edad de demandar los servicios de educación básica, la cual es fundamental para continuar con capacitación posterior que proporcione las herramientas para acceder al mercado laboral.

Indicador / Pregunta	2.3 ¿Cuál es el nivel educativo de la población?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 1 a 3.2	Muy Alta	1.00
	De 3.3 a 5.4	Alta	0.75
	De 5.5 a 7.6	Media	0.50
	De 7.7 a 9.8	Baja	0.25
	De 9.9 o más	Muy Baja	0.00

**Procedimiento**

Este indicador lo proporciona el INEGI ya elaborado, lo obtiene de dividir la suma de los años aprobados desde el primero de primaria hasta el último año alcanzado de las personas de 15 años y más entre el total de la población de 15 años y más. Incluye a la población de 15 años y más, excluye a la población de 15 años y más con grados no especificados en algún nivel y a la población con nivel de escolaridad no especificado.

$$GPE = \frac{SAAP15a}{PT15a} \quad (6.5.1-6)$$

**Fórmula**

Donde:

GPE = Grado Promedio de Escolaridad  
 SAAP15a = Suma de Años Aprobados desde Primero de Primaria hasta el último año alcanzado de la población de 15 años y más.  
 PT15a = Población Total de 15 años y más

**Justificación**

Refleja a la población que cuenta con menos de nueve años de educación formal, la educación secundaria es obligatoria para la conclusión del nivel básico de educación. Se considerará a la población mayor de 15 años que no ha completado la educación secundaria como población con rezago educativo.

Fuente: Elaboración propia tomando como referencia la Guía CENAPRED.

## Vivienda

La accesibilidad y las características de la vivienda determinan en gran medida la calidad de vida de la población. En relación con los desastres de origen natural, la vivienda es uno de los sectores que recibe mayores afectaciones. Los daños a la vivienda resultan ser, en algunos casos, uno de los principales parámetros para medir la magnitud de los desastres. Cuando el estado de una vivienda es precario, el número y la intensidad de los factores de riesgo que se presentan por diversos fenómenos resultan elevados y las amenazas a la salud de sus habitantes se elevan de igual manera.

La vulnerabilidad de una vivienda, en una de sus tantas facetas, se reflejará tanto en los materiales de construcción, como en los servicios básicos con los que cuenta o de los que carece. Para efectos de esta categoría, se han tomado seis

indicadores que permitirán establecer el grado de vulnerabilidad de la población con respecto a la calidad de su vivienda. Aun cuando no es una regla, una gran cantidad del sector vivienda que no cuenta con servicios básicos pertenece al sector informal de la construcción, y se localiza en zonas altamente expuestas a peligros naturales, zonas de reserva ecológica o fuera de planes de desarrollo urbano, lo anterior las hace altamente vulnerables (ver tabla 6.3.2.1-3):

Tabla 6.3.2.1-3 Indicadores de Vivienda.

Indicador / Pregunta	3.1 ¿Qué porcentaje de viviendas no cuentan con agua entubada?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 0 a 19.96	Muy Baja	0.00
	De 19.97 a 39.92	Baja	0.25
	De 39.93 a 59.88	Media	0.50
	De 59.89 a 79.84	Alta	0.75
	De 79.85 o más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	Los datos para obtener este indicador se obtienen del Censo General de Población y Vivienda 2020 realizado por el INEGI. El porcentaje de viviendas sin servicio de agua entubada se obtiene de la diferencia del total de viviendas particulares habitadas y el total de viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada, el resultado se divide entre el total de viviendas y se multiplica por cien.		
Fórmula	$TVNDAE = TVPH - TVDAE \quad (6.5.1-7)$ <p>Donde:                      TVNDAE = Total de Viviendas Particulares Habitadas que no disponen de Agua Entubada                      TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas                      TVDAE = Total de Viviendas Particulares Habitadas que Disponen de Agua Entubada</p> $\%VND\text{AE} = \frac{TVNDAE}{TVPH} * 100 \quad (6.5.1-8)$ <p>Donde:                      %VND\text{AE} = Porcentaje de Viviendas que no Disponen de Agua Entubada                      TVNDAE = Total de Viviendas Particulares Habitadas que no disponen de Agua Entubada                      TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas</p>		
Justificación	La falta de agua entubada en caso de desastre puede llegar a retrasar algunas labores de atención, ya que el llevar al lugar agua que cumpla con las mínimas medidas de salubridad toma tiempo y regularmente la obtención y el almacenamiento de agua en viviendas que no cuentan con agua entubada se lleva a cabo de manera insalubre.		
Indicador / Pregunta	3.2 ¿Qué porcentaje de viviendas no cuentan con drenaje?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 1.21 a 20.96	Muy Baja	0.00
	De 20.97 a 40.71	Baja	0.25
	De 40.72 a 60.46	Media	0.50
	De 60.47 a 80.21	Alta	0.75
	De 80.22 o más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	Este indicador se obtiene de la diferencia del total de viviendas particulares habitadas y el total de viviendas particulares habitadas que disponen de drenaje. El resultado se divide entre el total de viviendas y se multiplica por cien. Los datos para obtener este indicador también se encuentran en el Censo General de Población y Vivienda 2020 realizado por INEGI.		
Fórmula	$TVND = TVPH - TVDD \quad (6.5.1-9)$ <p>Donde:                      TVND = Total de Viviendas Particulares Habitadas que no disponen de Drenaje                      TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas                      TVDD = Total de Viviendas Particulares Habitadas que Disponen de Drenaje</p> $\%VND = \frac{TVND}{TVPH} * 100 \quad (6.5.1-10)$ <p>Donde:                      %VND = Porcentaje de Viviendas que no Disponen de Drenaje                      TVND = Total de Viviendas Particulares Habitadas que no disponen de Drenaje                      TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas</p>		
Justificación	La carencia de drenaje en una vivienda puede llegar a aumentar su vulnerabilidad frente a enfermedades gastrointestinales, las cuales en situaciones de desastre aumentan considerablemente.		

Indicador / Pregunta	3.3 ¿Qué porcentaje de viviendas no cuentan con electricidad?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 0 a 19.76	Muy Baja	0.00
	De 19.77 a 39.52	Baja	0.25
	De 39.53 a 59.28	Media	0.50
	De 59.29 a 79.04	Alta	0.75
	De 79.05 o más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	Este indicador se obtiene de la diferencia del total de viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica, el resultado se divide entre el total de viviendas y se multiplica por cien.		

$$TVNDE = TVPH - TVDE \quad (6.5.1-11)$$

Donde:

TVNDE = Total de Viviendas Particulares Habitadas que no disponen de Energía Eléctrica

TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas

TVDE = Total de Viviendas Particulares Habitadas que Disponen de Energía Eléctrica

Fórmula

$$\%VNDE = \frac{TVNDE}{TVPH} * 100 \quad (6.5.1-12)$$

Donde:

%VNDE = Porcentaje de Viviendas que no Disponen de Energía Eléctrica

TVNDE = Total de Viviendas Particulares Habitadas que no disponen de Energía Eléctrica

TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas

Justificación

La falta de energía eléctrica aumenta la vulnerabilidad de las personas frente a los desastres naturales, ya que el no contar con este servicio excluye a la población de formas de comunicación, asimismo la capacidad de respuesta se puede retrasar.

Indicador / Pregunta	3.4 ¿Qué porcentaje de viviendas tienen paredes de material de desecho y láminas de cartón?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 0 a 3.84	Muy Baja	0.00
	De 3.85 a 7.68	Baja	0.25
	De 7.69 a 11.52	Media	0.50
	De 11.53 a 15.36	Alta	0.75
	De 15.37 o más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	Se obtiene dividiendo el total de viviendas con paredes de material de desecho y láminas de cartón entre el total de viviendas y multiplicando el resultado por cien.		

$$\%VPMD = \frac{TVPMD}{TVPH} * 100 \quad (6.5.1-13)$$

Donde:

%VPMD = Porcentaje de Viviendas con Paredes de Material de desecho y lámina de cartón

TVPMD = Total de Viviendas Particulares Habitadas con Paredes de Material de desecho y lámina de cartón<sup>29</sup>

TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas

Justificación

Este indicador mostrará el número de viviendas que por las características del material con que fue construida puede ser vulnerable frente a cierto tipo de fenómenos.

Indicador / Pregunta	3.5 ¿Qué porcentaje de viviendas tienen piso de tierra?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 1.52 a 20.82	Muy Baja	0.00
	De 20.83 a 40.12	Baja	0.25
	De 40.13 a 59.42	Media	0.50
	De 59.43 a 78.72	Alta	0.75
	De 78.73 o más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	Se obtiene dividiendo el total de viviendas con piso de tierra entre el total de viviendas y multiplicando el resultado por cien.		

$$\%VPT = \frac{TVPT}{TVPH} * 100 \quad (6.5.1-14)$$

Donde:

%VPT = Porcentaje de Viviendas con Piso de Tierra

TVPT = Total de Viviendas Particulares Habitadas con Piso de Tierra

TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas

Fórmula

<sup>29</sup> (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2020f)

<b>Justificación</b>	Las viviendas de piso de tierra aumentan la vulnerabilidad de sus habitantes frente a desastres naturales, ya que el riesgo de contraer enfermedades es mayor y su resistencia frente a ciertos fenómenos es menor que otro tipo de construcciones.		
<b>Indicador / Pregunta</b>	<b>3.6 ¿Cuál es el déficit de vivienda?</b>	<b>Condición de Vulnerabilidad</b>	<b>Valor asignado</b>
<b>Rangos</b>	De 1.63 a 13.72	Muy Baja	0.00
	De 13.73 a 25.81	Baja	0.25
	De 25.82 a 37.90	Media	0.50
	De 37.91 a 49.99	Alta	0.75
	De 50.00 o más	Muy Alta	1.00
<b>Procedimiento</b>	El déficit de vivienda se obtiene de la diferencia del total de hogares y el total de viviendas, este resultado representa el número de viviendas faltantes para satisfacer la demanda de hogares. A este resultado se le suman las viviendas construidas con material de desecho y lámina de cartón, así como las viviendas con piso de tierra. El resultado representa tanto las viviendas nuevas que se requieren, sumado a las viviendas que necesitan mejoramiento. Para efectos de esta metodología el resultado deberá ser un porcentaje.		
<b>Fórmula</b>	$DV = \frac{TH - TVPH + TVPMD^{30} + TVPT}{TVPH} * 100 \quad (6.5.1-15)$ <p>Donde:            DV = Déficit de Vivienda            TH = Total de Hogares            TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas            TVPMD = Total de Viviendas Particulares Habitadas con Paredes de Material de desecho y lámina de cartón            TVPT = Total de Viviendas Particulares Habitadas con Piso de Tierra</p>		
<b>Justificación</b>	El déficit de vivienda es el resultado de un explosivo crecimiento demográfico, la inequitativa distribución de la riqueza, la falta de financiamiento de algunos sectores de la población para poder adquirir una vivienda. Además, el problema no sólo se remite a la insuficiencia de la vivienda sino también a las condiciones de la misma.		

Fuente: Elaboración propia tomando como referencia Guía CENAPRED

## Empleo e ingresos

Estos indicadores son fundamentales en la metodología de la Guía CENAPRED ya que aportarán elementos acerca de la generación de recursos que posibilita el sustento de las personas. La importancia de este indicador no se puede dejar de lado, ya que las cifras en México demuestran la existencia de una gran desigualdad en la distribución de los ingresos.

Los indicadores de la condición de empleo e ingresos se refieren principalmente a una situación vulnerable tanto en el plazo inmediato, donde la condición de vida es precaria y las familias de bajos ingresos sólo pueden atender sus necesidades inmediatas, y en el largo plazo, se reflejaría en cuanto a la capacidad de prevención y respuesta que potenciaría la vulnerabilidad en caso de un desastre. En esta categoría se incluyen tres indicadores (ver tabla 6.3.2.1-4)

<sup>30</sup> (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2020f

## Población

Para efectos de esta categoría, se consideran principalmente tres aspectos sociales de la población: dos de ellos se refieren a la distribución y dispersión de los asentamientos humanos y el tercero a los grupos étnicos que cuyas condiciones de vida se asocian a diferencias culturales y sociales, y que a su vez representan uno de los grupos más marginados del municipio (ver tabla 6.3.2.1-5)

Tabla 6.3.2.1-4 Indicadores de empleo e ingresos.

Indicador / Pregunta	4.1 ¿Qué porcentaje de la PEA recibe menos de dos salarios mínimos?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 18.41 a 34.50	Muy Baja	0.00
	De 34.51 a 50.59	Baja	0.25
	De 50.60 a 66.68	Media	0.50
	De 66.69 a 82.77	Alta	0.75
	De 82.78 o más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	Se obtiene de dividir a la PEA que recibe hasta 2 salarios mínimos entre el total de la PEA y el resultado se multiplica por cien.		
Fórmula	$PPEAc = \frac{PEAc}{PEAq} * 100 \quad (6.5.1-16)$ <p>Donde:                      PPEAc = Proporción de PEA Cozumel respecto a la PEA del estado de Quintana Roo                      PEAc = PEA Cozumel                      PEAq = PEA Quintana Roo<sup>31</sup></p> $PH2SMc = PPEAc * PH2SMq \quad (6.5.1-17)$ <p>Donde:                      PH2SMc = Población de Cozumel que percibe hasta 2 Salarios Mínimos PPEAc = Proporción de PEA Cozumel respecto a la PEA del estado de Quintana Roo                      PH2SMq = Población que Percibe hasta 2 Salarios Mínimos en el estado de Quintana Roo<sup>32</sup></p> $\%PEA = \frac{PH2SMc}{PEA} * 100 \quad (6.5.1-18)$ <p>Donde:                      %PEA = Porcentaje de la Población Económicamente Activa en Cozumel                      PH2SMc = Población de Cozumel que Percibe hasta 2 Salarios Mínimos                      PEA = Población Económicamente Activa en Cozumel</p>		
Justificación	Aun cuando son diversos los factores que influyen en la determinación de los salarios, las remuneraciones guardan relación con la productividad en el trabajo, además este indicador proporcionará de manera aproximada el porcentaje de la población que no puede satisfacer sus necesidades básicas de alimentación, vivienda, salud, etc.		
Indicador / Pregunta	4.2 ¿Cuántas personas dependen de la PEA?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 37.72 a 57.69	Muy Baja	0.00
	De 57.70 a 77.66	Baja	0.25
	De 77.67 a 97.63	Media	0.50
	De 97.64 a 117.6	Alta	0.75
	De 117.61 o más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	La razón de dependencia se obtiene de la suma del total de las personas que por su edad se consideran como dependientes (menores de 15 años y mayores de 64 años) entre el total de personas que por su edad se identifican como económicamente productivas (mayores de 15 años y menores de 64 años).		
Fórmula	$RD = \frac{P0_{14a} + P65a}{P15_{64a}} * 100 \quad (6.5.1-19)$ <p>Donde:                      RD = Razón de Dependencia                      P0_14a = Población de 0 a 14 años                      P65a = Población de 65 años y más                      P15_64a = Población de 15 a 64 años</p>		
Justificación	Mientras mayor sea la razón de dependencia, más personas se verán en desventaja frente a un desastre de origen natural ya que su capacidad de respuesta y prevención prácticamente va a ser nula.		

<sup>31</sup> (SOCIAL Cuadro et al., 2022)

<sup>32</sup> (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2020d)

Indicador / Pregunta	4.3 ¿Cuántas personas desocupadas hay con respecto a la PEA?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 0 a 3.09	Muy Baja	0.00
	De 3.10 a 6.18	Baja	0.25
	De 6.19 a 9.27	Media	0.50
	De 9.28 a 12.36	Alta	0.75
	De 12.37 o más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	Para obtener la Tasa de Desempleo Abierto es necesario dividir el número de personas desocupadas entre la PEA y multiplicar el resultado por cien.		
Fórmula	$TDA = \frac{NoPD}{PEA} * 100 \quad (6.5.1-20)$ <p>Donde:  TDA = Tasa de Desempleo Abierto  NoPD = Número de Personas Desocupadas  PEA = Población Económicamente Activa</p>		
Justificación	Este indicador se refiere directamente a la situación de desempleo que influye sobre la capacidad de consumo de la población, así como en la capacidad de generar los recursos que posibiliten la adquisición de bienes satisfactorios.		

Fuente: Elaboración propia tomando como referencia Guía CENAPRED.

Tabla 6.3.2.1-5 Indicadores de población.

Indicador / Pregunta	5.1 ¿Cuál es el grado de concentración de la población en el territorio?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 1 a 99 habitantes por km2	Muy Baja	0.00
	De 100 a 499 habitantes por km2	Baja	0.25
	De 500 a 999 habitantes por km2	Media	0.50
	De 1,000 a 4,999 habitantes por km2	Alta	0.75
	Más de 5,000 habitantes por km2	Muy Alta	1.00
Procedimiento	Se obtiene de dividir el total de la población de un territorio determinado entre la superficie de este. El resultado indica el número de habitantes por kilómetro cuadrado.		
Fórmula	$DP = \frac{PT}{ST} \quad (6.5.1-21)$ <p>Donde:  DP = Densidad de Población  PT = Población Total  ST = Superficie Territorial<sup>33</sup></p>		
Justificación	La densidad, más que un problema de sobrepoblación refleja un problema de mala distribución de la población, además de que la tasa de crecimiento es elevada, el problema se agudiza por la migración del medio rural a las ciudades. Cuando la gente se encuentra concentrada en un área limitada, una amenaza natural puede tener un impacto mayor.		
Indicador / Pregunta	5.2 ¿Qué porcentaje de la población habita en localidades pequeñas?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	Más del 40% de la población	Predominantemente indígena	1.00
	Menos del 40% de la población	Predominantemente no indígena	0.00
Procedimiento	Se obtiene de dividir a la población de 5 años y más que habla alguna lengua indígena entre el total de la población de 5 años y más, el resultado se multiplica por cien. El INEGI establece que para considerar a una población predominantemente indígena al menos el 40% de la población debe hablar alguna lengua indígena.		
Fórmula	$\%PI = \frac{P5HLI}{P5} * 100 \quad (6.5.1-22)$ <p>Donde:  %PI = Porcentaje de Población Indígena  P5HLI= Población de 5 años y más que Habla una Lengua Indígena  P5 = Población de 5 años y más</p>		

<sup>33</sup> (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2020c)

<b>Justificación</b>	La mayoría de los municipios donde se asienta la población indígena presenta una estructura de oportunidades muy precaria, lo cual se refleja en condiciones de vulnerabilidad de esta población.		
	<b>5.3 ¿Qué porcentaje de la población habita en localidades pequeñas?</b>	<b>Condición de Vulnerabilidad</b>	<b>Valor asignado</b>
	De 0 a 9.9	Muy Baja	0.00
	De 10 a 19.9	Baja	0.25
<b>Rangos</b>	De 20 a 29.9	Media	0.50
	De 30 a 39.9	Alta	0.75
	De 40 o más	Muy Alta	1.00
<b>Procedimiento</b>	Se consideran localidades pequeñas a las menores de 2,500 habitantes. Con lo cual se calcula el porcentaje de personas con respecto al total de la población de un territorio determinado.		
<b>Fórmula</b>	$DiPo = \frac{TPM2500hb}{PT} * 100 \quad (6.5.1-23)$ <p style="text-align: center;">Donde:                  DiPo = Dispersión Poblacional                  TPM2500hb = Total de la Población que Habita en Localidades Menores a 2,500 Habitantes <sup>34</sup>                  PT = Población Total</p>		
<b>Justificación</b>	La dispersión poblacional se manifiesta principalmente en localidades pequeñas cuyas condiciones de escasez y rezago en la disponibilidad de servicios públicos representan un problema. Estas localidades presentan las mayores tasas de fecundidad, mortalidad infantil y ausencia o deficiencia de servicios básicos: agua, drenaje, electricidad, telefonía y caminos de acceso.		

Fuente: Elaboración propia tomando como referencia Guía CENAPRED.

### 6.3.2.2. Segunda parte guía CENAPRED-capacidad de respuesta

La segunda parte de la metodología se enfoca a la capacidad de prevención y de respuesta, la cual se refiere a la preparación antes y después de un evento de las autoridades y de la población.

El principal objetivo en esta segunda parte es evaluar de forma general el grado en el que se encuentra capacitado el encargado de la protección civil en el municipio para incorporar conductas preventivas y ejecutar tareas para la atención de la emergencia, lo cual complementará el grado de vulnerabilidad social, según los indicadores descritos anteriormente.

Esta parte consta de un cuestionario cuya importancia radica en el conocimiento de los recursos, programas y planes con los que dispone la Unidad de Protección Civil Municipal (PC) en caso de una emergencia, por lo que está dirigido al responsable de ésta, así como a las distintas autoridades que se relacionan con la PC.

A continuación, se muestra el cuestionario con sus 22 preguntas, mismas que son explicadas mediante un razonamiento y una pequeña tabla de rangos de donde se obtendrá el puntaje para cada pregunta dependiendo de la respuesta. Al final se sumará el puntaje de cada una de las preguntas obteniendo un valor entre 0 y 22 (ver tabla 6.3.2.2-1):

<sup>34</sup> (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2020f)

Tabla 6.3.2.2-1 Cuestionario aplicado para la capacidad de prevención y respuesta.

Nombre del indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 1
Indicador / Pregunta	¿El municipio cuenta con una unidad de protección civil o con algún comité u organización comunitaria de gestión del riesgo que maneje la prevención, mitigación, preparación y la respuesta?	
Rangos	SÍ NO	0.00 1.00
Razonamiento	Es fundamental el conocimiento de la existencia de una unidad de protección civil o alguna organización de este tipo, ya que será la responsable de llevar a cabo un plan, así como la organización de la respuesta. En un futuro, lo ideal sería que además de la unidad de protección civil municipal se contara también con grupos locales de manejo de emergencias. Estos grupos tendrían la posibilidad de influir en las decisiones para ayudar a reducir la vulnerabilidad y el manejo de los riesgos.	
Nombre del indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 2
Indicador / Pregunta	¿Cuenta con algún plan de emergencia?	
Rangos	SÍ NO	0.00 1.00
Razonamiento	Otro aspecto fundamental es la existencia de planes de acción, de emergencia o de contingencia, lo cual determinará las normas y describirá los peligros, los actores y responsables en caso de algún evento adverso. El plan de emergencia será el instrumento para dar respuesta y para la recuperación en caso de una emergencia. Describirá las responsabilidades y el manejo de las estrategias y los recursos. El plan de emergencia dependerá de la particularidad de cada lugar y los detalles de los planes serán distintos para cada municipio.	
Nombre del indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 3
Indicador / Pregunta	¿Cuenta con un consejo municipal el cual podría estar integrado por autoridades municipales y representantes de la sociedad civil para que en caso de emergencia organice y dirija las acciones de atención a la emergencia?	
Rangos	SÍ NO	0.00 1.00
Razonamiento	Este consejo municipal es fundamental para el manejo de riesgos y desastres en una comunidad, ya que facilita la comunicación. Se requiere del compromiso de todos los actores relevantes para la respuesta y la atención de la emergencia. El Consejo puede estar conformado por autoridades municipales, regidores, síndicos, representantes de alguna organización, etc.	
Nombre del indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 4
Indicador / Pregunta	¿Existe una normatividad que regule las funciones de la unidad de Protección Civil (p. ej. manual de organización)?	
Rangos	SÍ NO	0.00 1.00
Razonamiento	Es fundamental el conocimiento de la normatividad la cuál delimita las funciones de la unidad de protección civil para poder determinar su capacidad de respuesta y el impacto que tiene para ayudar a disminuir la vulnerabilidad de la población.	
Nombre del indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 5
Indicador / Pregunta	¿Conoce algún programa de apoyo para la prevención, mitigación y/o atención de desastres?	
Rangos	SÍ NO	0.00 1.00
Razonamiento	Para asegurar que el daño sufrido durante un desastre pueda ser reparado de manera rápida, así como para darle la continuidad a las acciones, es de fundamental importancia que los encargados de la protección civil estén informados acerca de los programas de apoyo que pudiesen existir, ya sea provenientes del mismo gobierno, de la iniciativa privada, de organizaciones no gubernamentales, etc. Al ubicar las posibilidades de acceder a apoyos para enfrentar la emergencia permite reducir los tiempos para la vuelta a la normalidad. Existen diferentes instituciones y organismos que tienen programas de apoyo para prevenir y atender desastres. Por ejemplo, la repartición de cobertores en zonas afectadas por bajas temperaturas	

Nombre del indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 6
Indicador / Pregunta	¿Cuenta con algún mecanismo de alerta temprana?	
Rangos	SÍ	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	El sistema de alerta es una señal que indica que se puede producir o se ha producido un evento, este sistema puede emanar de la propia comunidad y ser administrado por un organismo identificado como el responsable de comunicar a la población. La alerta temprana es una de las bases para la reducción de desastres. Su fin principal es la prevención a individuos y comunidades expuestas a amenazas naturales, que permita reaccionar con anticipación y de manera apropiada para reducir la posibilidad de daños tanto humanos como materiales. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que en algunos casos aun teniendo las habilidades y procedimientos correctos las comunidades no pueden responder apropiadamente a estos sistemas, por presentar problemas relacionados con la planificación de recursos respecto a las opciones de protección disponibles que se pueden utilizar de forma temporal.	
Nombre del indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 7
Indicador / Pregunta	¿Cuenta con canales de comunicación (organización a través de los cuáles se pueda coordinar con otras instituciones, áreas o personas en caso de una emergencia)?	
Rangos	SÍ	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	La definición de canales de comunicación a través de los cuales se llevan a cabo los mecanismos de coordinación es de fundamental importancia, ya que en el caso de emergencia el responsable de la unidad u organización siempre deberá tener a la mano los teléfonos de los organismos o personas que puedan ayudar. Es importante tener en cuenta, que la comunicación debe mantenerse no sólo en situaciones de emergencia, sino constantemente con el fin de realizar acciones de prevención como simulacro	
Nombre del indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 8
Indicador / Pregunta	¿Las instituciones de salud municipales cuentan con programas de atención a la población (trabajo social, psicológico, vigilancia epidemiológica) en caso de desastre?	
Rangos	SÍ	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	El conocimiento de la vulnerabilidad del sector salud es esencial. Es uno de los principales elementos en la capacidad de respuesta ya que éste será el encargado de atender los daños a la salud en caso de desastre. En este caso, es de fundamental importancia contar con programas de promoción de salud, prevención y control de enfermedades. El desarrollo de medidas de reducción de desastres depende de la fuerza de las instituciones locales por lo que es importante el fortalecimiento de estas.	

Fuente: Elaboración propia tomando como referencia Guía CENAPRED.

*Tabla 6.3.2.2-2 Cuestionario aplicado para la capacidad de prevención y respuesta (Continuación).*

Nombre del indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 9
Indicador / Pregunta	¿Tiene establecidas las posibles rutas de evacuación y acceso (caminos y carreteras) en caso de una emergencia y/o desastre?	
Rangos	SÍ	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	El establecimiento de las rutas de acceso y evacuación en caso de un desastre es muy importante, principalmente en las comunidades más aisladas, ya que son éstas más vulnerables cuando se trata de evacuaciones, ayuda de recursos y servicios en una situación después del desastre. En este caso, sería también importante elaborar algún tipo de recuento que indique si en años anteriores la comunidad se ha quedado aislada por el bloqueo de acceso físico a causa de un desastre.	
Nombre del indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 10
Indicador / Pregunta	¿Tiene establecidos los sitios que pueden fungir como helipuertos?	
Rangos	SÍ	0.00
	NO	1.00

Razonamiento	Al igual que en el punto anterior, es importante establecer los sitios que pueden fungir como helipuertos en caso de un desastre, para que se facilite la ayuda en la emergencia y sea más fácil el flujo de recursos.	
<b>Nombre del indicador</b>	<b>Capacidad de prevención y respuesta</b>	<b>No. 11</b>
Indicador / Pregunta	¿Tiene ubicados los sitios que pueden funcionar como refugios temporales en caso de un desastre?	
Rangos	SÍ	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	Es importante elaborar con anterioridad refugios que queden establecidos en los planes de emergencia la previsión de la ubicación de lugares para la concentración de damnificados para lograr una mejor organización en caso de presentarse una emergencia.	
<b>Nombre del indicador</b>	<b>Capacidad de prevención y respuesta</b>	<b>No. 12</b>
Indicador / Pregunta	¿Tiene establecido un stock de alimentos, cobertores, colchonetas y pacas de lámina de cartón para casos de emergencia?	
Rangos	SÍ	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	La existencia de fondos o del stock, indica una concientización sobre los riesgos en caso de desastre por parte de la administración municipal. El fondo local puede movilizarse de manera más rápida que uno nacional, por lo que se considera como un instrumento de respuesta rápida. En este caso es importante también fijar los espacios posibles para el almacenamiento de ayuda (despensas, cobijas, etc.).	
<b>Nombre del indicador</b>	<b>Capacidad de prevención y respuesta</b>	<b>No. 13</b>
Indicador / Pregunta	¿Tiene establecido un vínculo con centros de asistencia social (DIF, DESARROLLO SOCIAL, etc.) para la operación de los albergues y distribución de alimentos, cobertores, etc.?	
Rangos	SÍ	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	En caso de desastre puede ser de gran utilidad la ayuda de centros de asistencia social (como el DIF, DESARROLLO SOCIAL, etc.) u otros organismos para la recepción, almacenamiento y distribución de apoyos, así como para la operación de los albergues para los damnificados, ayudando también en la atención médica, protección social y la capacitación y canalización de las donaciones que pudieran hacer el sector público y privado, así como garantizar que esta ayuda llegue de manera oportuna a los albergues. Entre los muchos apoyos que puede brindar, se encuentra la ubicación de nuevos albergues en caso de que se llegaran a necesitar, así como la difusión de estos.	
<b>Nombre del indicador</b>	<b>Capacidad de prevención y respuesta</b>	<b>No. 14</b>
Indicador / Pregunta	¿Se llevan a cabo simulacros en las distintas instituciones (escuelas, centros de salud, etc.) sobre qué hacer en caso de una emergencia y promueve un Plan Familiar de Protección Civil?	
Rangos	SÍ	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	Es importante el establecimiento de simulacros no sólo en las instituciones, sino que el involucramiento de la comunidad en los procesos de planificación ayudaría en gran medida a la mitigación de los desastres, en el proceso de hacer partícipe a la comunidad, la promoción de la creación de planes familiares de Protección Civil es de gran ayuda. En el caso de instituciones como hospitales, escuelas y edificios grandes es necesario ensayar lo que los ocupantes deben hacer en caso de una emergencia.	
<b>Nombre del indicador</b>	<b>Capacidad de prevención y respuesta</b>	<b>No. 15</b>
Indicador / Pregunta	¿Cuenta con un número de personal activo?	
Rangos	SÍ	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	Es importante contar con cierto número de elementos capacitados en materia de protección civil que pueda atender de manera inmediata tanto al recibimiento como a la difusión de información bajo esquemas de coordinación preestablecidos para la atención de un imprevisto de manera eficaz.	

Fuente: Elaboración propia tomando como referencia Guía CENAPRED.

Tabla 6.3.2.2-3 Cuestionario aplicado para la capacidad de prevención y respuesta (Continuación).

Nombre del indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 16
Indicador / Pregunta	¿El personal está capacitado para informar sobre qué hacer en caso de una emergencia?	
Rangos	SÍ NO	0.00 1.00
Razonamiento	La capacitación de los elementos de la unidad de protección civil es fundamental, ya que entre mayor sea ésta podrán brindar una mejor atención, tanto en materia de prevención como de atención de la emergencia	
Nombre del indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 17
Indicador / Pregunta	¿Cuenta con mapas o croquis de su localidad que tengan identificados puntos críticos o zonas de peligro?	
Rangos	SÍ NO	0.00 1.00
Razonamiento	El contar con mapas o con croquis de la localidad facilitará en gran medida las acciones a tomar en el municipio o localidad al contar con la ubicación de varios de los aspectos mencionados anteriormente, como la ubicación de rutas de evacuación, refugios temporales, la localización de un posible helipuerto, etc., así como zonas críticas y/o de peligro	
Nombre del indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 18
Indicador / Pregunta	¿Cuenta con el equipo necesario en su unidad para la comunicación tanto para recibir como para enviar información (computadora, internet, fax, teléfono, etc.)?	
Rangos	SÍ NO	0.00 1.00
Razonamiento	El equipamiento en una unidad de protección civil será completo en la medida en que cuente con los elementos básicos tanto para recibir información de manera rápida y oportuna, así como para enviar la misma de manera efectiva en el menor tiempo posible.	
Nombre del indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 19
Indicador / Pregunta	¿Cuenta con acervos de información históricos de desastres anteriores y las acciones que se llevaron a cabo para atenderlos?	
Rangos	SÍ NO	0.00 1.00
Razonamiento	El poseer acervos de información de sucesos anteriores proporciona una idea de los eventos más recurrentes en el lugar, lo que permitirá establecer medidas de acción específicas para la atención de un evento similar. Asimismo, a partir del conocimiento de las acciones de atención que se llevaron a cabo con anterioridad sentará las bases para nuevos planes de acción y en su caso para mejorar procedimientos de acción.	
Nombre del indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 20
Indicador / Pregunta	¿Cuenta con equipo para comunicación estatal y/o municipal (radios fijos, móviles y/o portátiles)?	
Rangos	SÍ NO	0.00 1.00
Razonamiento	La comunicación es de vital importancia, tanto con otras unidades de protección civil municipales como con la protección civil estatal, ya que esto agilizará las acciones en caso de la ocurrencia de una emergencia. Asimismo, en el caso de la comunicación municipal, el personal de la unidad debe contar con equipo que les permita comunicarse entre ellos para mantenerse siempre informados de los acontecimientos dentro de su localidad en el caso de una emergencia.	
Nombre del indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 21
Indicador / Pregunta	¿Cuenta con algún Sistema de Información Geográfica (SIG) para procesar y analizar información cartográfica y estadística con el fin de ubicar con coordenadas geográficas los puntos críticos en su localidad?	
Rangos	SÍ NO	0.00 1.00

<b>Razonamiento</b>	Estos sistemas ayudarán en gran medida a sistematizar y a ubicar con coordenadas geográficas (georeferenciar) la información de su municipio, lo que facilitaría en gran medida las acciones de prevención en el municipio, ya que puede establecer los sitios de mayores concentraciones de población, elaborar análisis espaciales de vulnerabilidad, peligro y riesgo, evaluación y prevención de riesgos, ordenamiento ecológico, planeación regional, etc.	
<b>Nombre del indicador</b>	<b>Capacidad de prevención y respuesta</b>	<b>No. 22</b>
<b>Indicador / Pregunta</b>	¿Cuenta con algún sistema de Geoposicionamiento Global (GPS) para georeferenciar puntos críticos en su localidad?	
<b>Rangos</b>	SÍ	0.00
	NO	1.00
<b>Razonamiento</b>	Estos sistemas facilitarán (al igual que los mapas y los SIG) la localización tanto de lugares estratégicos, así como del establecimiento de las rutas de acceso, de evacuación, los radios de afectaciones etc. que agilizará en gran medida las acciones en la atención de emergencias.	

Fuente: Elaboración propia tomando como referencia Guía CENAPRED.

### 6.3.2.3. Tercer parte guía CENAPRED-percepción local

La tercera parte también consta de un cuestionario el cual se refiere a la percepción local de riesgo, es decir, el imaginario colectivo que tiene la población acerca de las amenazas que existen en su comunidad y de su grado de exposición frente a las mismas. Esta parte se considera fundamental para conocer la vulnerabilidad social de la población frente a los desastres; con lo que se pueden elaborar procedimientos y medidas de prevención que sean aceptados y llevados a cabo por la población en conjunto con las dependencias responsables.

El cuestionario consta de 25 preguntas que buscarán de manera muy general dar un panorama de la percepción de la población acerca del riesgo. En este caso, la importancia de las preguntas se enfoca tanto a la percepción de los peligros en su entorno, así como a la manera en que consideran las acciones preventivas en su comunidad y la información o preparación que poseen acerca de cómo enfrentar una emergencia.

Las preguntas del cuestionario se diseñaron con el objetivo de que a cada respuesta se le pudiera asignar un valor entre 0 y 1. Los rangos en algunos casos son distintos según la naturaleza de la pregunta, sin embargo, el valor de las respuestas se situará entre los rangos establecidos para las dos etapas anteriores.

El valor 0 se le asignará a la respuesta que mayor percepción local del riesgo presente según las respuestas preestablecidas, lo que significa que su grado de vulnerabilidad será menor,

contrariamente se le aplicará el valor más alto (que en este caso es 1) a la respuesta que menor percepción posea, ya que entre menor sea ésta, el grado de vulnerabilidad será mayor.

De una manera muy general, el cuestionario es una primera aproximación para conocer la opinión de la población en esta materia. En este sentido, la información que se pueda obtener en esta tercera parte puede despertar el interés para producir información más particular según el municipio, la cual pudiera resultar útil en la toma de decisiones de los organismos de atención de emergencias en lo referente al comportamiento de la población.

A continuación, se presenta el cuestionario con sus 24 preguntas con una explicación de la razón por la que se incluye:

Tabla 6.3.2.3-1 Cuestionario aplicado para la percepción local del riesgo.

Nombre del indicador	Percepción local	No. 1
Indicador / Pregunta	¿Dentro de los tipos de peligro que existen (ver cuadro) cuántos tipos de fuentes de peligro identifica en su localidad?	
Geológicos: Sismos Maremotos Volcanes Flujos de lodo Deslizamientos de suelo (deslaves) Hundimientos y Agrietamientos	Hidrometeorológicos: Ciclones Inundaciones pluviales y fluviales Granizadas Nevadas y Heladas Lluvias torrenciales y trombas Tormentas eléctricas Vientos Temperaturas extremas Erosión Sequías	Químicos: Incendios forestales Incendios Urbanos Explosiones Fugas y derrames de sustancias peligrosas Fuentes móviles
Rangos	De 1 a 5 De 6 a 13 14 o más	1.00 0.50 0.00
Razonamiento	Si alguna de las amenazas anteriormente expuestas se ha presentado en el municipio, existe la posibilidad de que ésta se llegue a presentar otra vez. Se deben usar registros para verificar y complementar la información, dado que en muchos casos esta información es útil para crear las medidas preventivas adecuadas.	
Nombre del indicador	Percepción local	No. 2
Indicador / Pregunta	Respecto a los peligros mencionados en la pregunta no. 1 recuerda o ¿sabe si ha habido emergencias asociadas a estas amenazas en los últimos años?	
Rangos	SÍ NO NO SÉ	0.00 1.00 1.00
Razonamiento	Una situación de emergencia se refiere a un evento que haya causado la pérdida de vidas o bienes de la población, bajo esta óptica, será importante conocer la memoria colectiva acerca de estas situaciones en los municipios a estudiar	
Nombre del indicador	Percepción local	No. 3
Indicador / Pregunta	¿Considera que un fenómeno natural se puede convertir en desastre?	
Rangos	SÍ NO NO SÉ	0.00 1.00 1.00
Razonamiento	Es importante conocer que un fenómeno natural se puede convertir en un desastre y que afecta actividades de la población	
Nombre del indicador	Percepción local	No. 4
Indicador / Pregunta	¿Considera que su vivienda está localizada en un área susceptible de amenazas (que se encuentre en una ladera, en una zona sísmica, en una zona inundable, etc.)?	
Rangos	SÍ NO NO SÉ	0.00 1.00 1.00
Razonamiento	El conocer la geografía donde se encuentra ubicada la vivienda que se habita permite tomar precauciones y establecer planes de prevención a nivel individual o familiar en caso de enfrentar un fenómeno natural que por su intensidad represente un peligro.	
Nombre del indicador	Percepción local	No. 5
Indicador / Pregunta	¿Ha sufrido la pérdida de algún bien a causa de un desastre natural?	
Rangos	SÍ NO NO SÉ	0.00 1.00 1.00
Razonamiento	La pérdida de bienes ocasionada por un fenómeno natural llega a ser muy común y es un buen parámetro para detectar eventos que tal vez no fueron considerados como desastre, pero que sin duda influyen en la percepción del riesgo.	
Nombre del indicador	Percepción local	No. 6
Indicador / Pregunta	En caso de que recuerde algún desastre, los daños que se presentaron en su comunidad fueron:	

	Ninguna fatalidad, daños leves a viviendas e infraestructura (bajo)	0.00
Rangos	Personas fallecidas, algunas viviendas con daño total y daños a infraestructura (medio)	0.50
	Personas fallecidas, daño total en muchas viviendas y daños graves en infraestructura (alto)	1.00
Razonamiento	El hecho de que el entrevistado conteste que los daños ocasionados por un desastre de origen natural fueron de gran magnitud, nos remite a que la localidad se encuentra expuesta y es vulnerable en algún grado. Con esta pregunta se busca determinar qué tan vulnerable es la localidad según la perspectiva del entrevistado.	
<b>Nombre del indicador</b>	<b>Percepción local</b>	<b>No. 7</b>
Indicador / Pregunta	¿Alguna vez ha quedado aislado su comunidad a causa de la interrupción de vías de comunicación, por algunas horas, debido a algún tipo de fenómeno?	
Rangos	SÍ	0.00
	NO	1.00
	NO SÉ	1.00
Razonamiento	Al quedar una comunidad aislada, aumenta su vulnerabilidad cuando se trata de evacuaciones, ayuda de emergencia o flujo de recursos y servicios en una situación de desastre, por lo que es importante conocer si en ocasiones anteriores la comunidad ha presentado algún caso de bloqueos de vías de acceso	
<b>Nombre del indicador</b>	<b>Percepción local</b>	<b>No. 8</b>
Indicador / Pregunta	¿Cree que en su comunidad se identifican los peligros?	
Rangos	SÍ	0.00
	NO	1.00
	NO SÉ	1.00
Razonamiento	Es muy importante que la población identifique los peligros a los que están expuestos para poder tomar medidas en caso de emergencia.	

Fuente: Elaboración propia tomando como referencia Guía CENAPRED.

Tabla 6.3.2.3-2 Cuestionario aplicado para la percepción local del riesgo (Continuación).

<b>Nombre del indicador</b>	<b>Percepción local</b>	<b>No. 9</b>
Indicador / Pregunta	¿Conoce algún programa, obra o institución que ayuda a disminuir efectos de fenómenos naturales (construcción de bordos, presas, terrazas, sistema de drenaje, sistema de alertamientos, etc.)?	
Rangos	SÍ	0.00
	NO	1.00
	NO SÉ	1.00
Razonamiento	El estar al tanto de lo que se hace en materia de prevención es importante, ya que algunas de las acciones que se realizan deben de ser conocidas por la población en general, para que ésta pueda conocer los peligros a que se enfrenta y actuar correctamente en caso de algún evento.	
<b>Nombre del indicador</b>	<b>Percepción local</b>	<b>No. 10</b>
Indicador / Pregunta	¿En los centros educativos de su localidad o municipio se enseñan temas acerca de las consecuencias que trae consigo un fenómeno natural?	
Rangos	SÍ	0.00
	NO	1.00
	NO SÉ	1.00
Razonamiento	La educación en materia de prevención y mitigación de desastres es de gran utilidad para que la población conozca los peligros a lo que se puede enfrentar, asimismo por medio de este tipo de educación se crea conciencia a la población y se sientan las bases para consolidar una cultura de prevención.	
<b>Nombre del indicador</b>	<b>Percepción local</b>	<b>No. 11</b>
Indicador / Pregunta	¿Alguna vez en su comunidad se han llevado a cabo campañas de información acerca de los peligros existentes?	
Rangos	SÍ	0.00
	NO	1.00
	NO SÉ	1.00

<b>Razonamiento</b>	Al igual que la pregunta anterior, el conocer nuestro entorno y su comportamiento permite que la prevención sea mayor y que en caso de algún evento la población esté más preparada. Por lo que, si la información no llega a la población que puede ser afectada, ésta puede ser más vulnerable que la población bien informada.	
<b>Nombre del indicador</b>	<b>Percepción local</b>	<b>No. 12</b>
<b>Indicador / Pregunta</b>	En caso de haberse llevado campañas de información ¿cómo se enteró?	
<b>Rangos</b>	No se enteró/ no ha habido campañas	1.00
	A través de medios impresos	0.50
	A través de radio, televisión o redes sociales	0.00
<b>Razonamiento</b>	Es importante conocer los medios a través de los cuales la población se entera de las situaciones de emergencia, ya que ayudará de alguna manera a priorizar la difusión de la información en aquellos medios a través de los cuales la mayoría de la población tiene acceso.	
<b>Nombre del indicador</b>	<b>Percepción local</b>	<b>No. 13</b>
<b>Indicador / Pregunta</b>	¿Ha participado en algún simulacro en alguna ocasión?	
<b>Rangos</b>	SÍ	0.00
	NO	1.00
	NO SÉ	1.00
<b>Razonamiento</b>	Dentro de las acciones de prevención, los simulacros son de gran importancia, debido a que es un ejercicio que promueve la cultura de la prevención y al ser aplicado crea conciencia en los participantes.	
<b>Nombre del indicador</b>	<b>Percepción local</b>	<b>No. 14</b>
<b>Indicador / Pregunta</b>	¿Sabe a quién o a dónde acudir en caso de una emergencia?	
<b>Rangos</b>	SÍ	0.00
	NO	1.00
	NO SÉ	1.00
<b>Razonamiento</b>	Es importante que la población conozca los lugares a los que puede acudir en caso de una situación de emergencia, ya que aun cuando existan las posibilidades y los procedimientos para la atención de esta, si la comunidad no conoce los lugares ni a los responsables de la atención no responderá apropiadamente a los sistemas existentes, por más efectivos que éstos sean.	
<b>Nombre del indicador</b>	<b>Percepción local</b>	<b>No. 15</b>
<b>Indicador / Pregunta</b>	¿Sabe si existe en su comunidad un sistema de alertamiento para avisar a la población sobre alguna emergencia?	
<b>Rangos</b>	SÍ	0.00
	NO	1.00
	NO SÉ	1.00
<b>Razonamiento</b>	Los sistemas de alertamiento son un importante instrumento para la reducción de los desastres. La meta de los sistemas de alertamiento es que las comunidades expuestas a fenómenos naturales y similares reaccionen con antelación y de forma apropiada para reducir la posibilidad de daños personales, pérdida de vidas y daño a la propiedad.	
<b>Nombre del indicador</b>	<b>Percepción local</b>	<b>No. 16</b>
<b>Indicador / Pregunta</b>	En caso de haber sido afectado a causa de un fenómeno natural ¿se le brindó algún tipo de apoyo?	
<b>Rangos</b>	SÍ	0.00
	NO	1.00
	NO SÉ	1.00
<b>Razonamiento</b>	Es importante medir la capacidad de respuesta que tiene el gobierno tanto federal, estatal y municipal para poder brindar apoyo a las personas afectadas bajo la finalidad de disminuir el grado de vulnerabilidad de la población.	

Fuente: Elaboración propia tomando como referencia Guía CENAPRED.

Tabla 6.3.2.3-3 Cuestionario aplicado para la percepción local del riesgo (Continuación).

Nombre del indicador	Percepción local	No. 17
Indicador / Pregunta	¿Ha sido evacuado a causa de un fenómeno natural (inundación, huracán, lluvias torrenciales)?	
	SÍ	0.00
Rangos	NO	1.00
	NO SÉ	1.00
Razonamiento	Es importante la aplicación de medidas preventivas que ayude a disminuir las pérdidas humanas y salvaguardar su integridad de la población que resulte afectada por los fenómenos naturales	
Nombre del indicador	Percepción local	No. 18
Indicador / Pregunta	De acuerdo con experiencias anteriores, ¿Considera que su comunidad está lista para afrontar una situación de desastre tomando en cuenta las labores de prevención?	
	SÍ	0.00
Rangos	NO	1.00
	NO SÉ	1.00
Razonamiento	A través de experiencias anteriores y según la percepción de la localidad se podrá conocer si las acciones que se han llevado a cabo para la mitigación del desastre han sido percibidas de una manera exitosa o a consideración de la población aún hay cosas que mejorar.	
Nombre del indicador	Percepción local	No. 19
Indicador / Pregunta	¿Existe en su comunidad localidad/municipio alguna organización que trabaje en la atención de desastre?	
	SÍ	0.00
Rangos	NO	1.00
	NO SÉ	1.00
Razonamiento	Es importante la presencia de grupos de organizaciones que trabajen en la atención de desastres y que informen a la población acerca de los peligros existentes.	
Nombre del indicador	Percepción local	No. 20
Indicador / Pregunta	¿Conoce la existencia de la unidad de protección civil?	
	SÍ	0.00
Rangos	NO	1.00
	NO SÉ	1.00
Razonamiento	Es necesario saber que existe una unidad de protección civil en la localidad, cuya función principal es la de informar y prevenir a la población acerca de los peligros asociados a la ocurrencia de fenómenos naturales.	
Nombre del indicador	Percepción local	No. 21
Indicador / Pregunta	¿Sabe dónde está ubicada y qué función desempeña la unidad de protección civil?	
	Sé dónde se encuentra y sé sus funciones	0.00
Rangos	No sé dónde se encuentra y no sé qué hace	1.00
	Sé qué hace, pero no sé dónde se encuentra	0.50
Razonamiento	Es importante conocer las labores que desempeña la unidad de protección civil, ya que al conocer su función es más fácil que la población tenga presente que las recomendaciones y la información que salga de ésta será para la prevención y coordinación en caso de una emergencia	
Nombre del indicador	Percepción local	No. 22
Indicador / Pregunta	¿Estaría preparado para enfrentar otro desastre como el que enfrentó?	
	SÍ	0.00
Rangos	NO	1.00
	NO SÉ	1.00
Razonamiento	Es necesario tomar en cuenta la capacidad de respuesta que tiene la población y qué tan preparada se encuentra ante la ocurrencia de un fenómeno natural.	
Nombre del indicador	Percepción local	No. 23
Indicador / Pregunta	¿Considera que su comunidad puede afrontar una situación de desastre y tiene la información necesaria?	
	SÍ	0.00
Rangos	NO	1.00
	NO SÉ	1.00

<b>Razonamiento</b>	Es importante conocer si las personas consideran que la información que reciben es suficiente para afrontar una situación de desastre, en el caso contrario es importante tomarlo en consideración y fomentar una cultura de prevención entre la población, lo que facilitaría las acciones de prevención al contar con una población más preparada.	
<b>Nombre del indicador</b>	<b>Percepción local</b>	<b>No. 24</b>
<b>Indicador / Pregunta</b>	¿Qué tanto puede ayudar la unidad de protección civil? ¿Puede afrontar una situación de desastre y tiene la información necesaria?	
<b>Rangos</b>	Mucho	0.00
	Suficiente	0.25
	Poco	0.50
	Nada	1.00
<b>Razonamiento</b>	La unidad de protección civil puede ayudar a la población a afrontar un desastre natural proporcionando herramientas para poder hacerle frente a la ocurrencia.	
<b>Nombre del indicador</b>	<b>Percepción local</b>	<b>No. 25</b>
<b>Indicador / Pregunta</b>	¿Si usted tuviera la certeza de que su vivienda se encuentra en peligro estaría dispuesto a reubicarse?	
<b>Rangos</b>	SÍ	0.00
	NO	1.00
<b>Razonamiento</b>	Es importante conocer la disposición de las personas para reubicarse si fuera necesario. En caso de ser negativa su respuesta, es importante conocer las motivaciones por las cuales las personas no estarían en disposición de reubicarse, para poder establecer líneas de acción con el fin de procurar el bienestar de la población.	

Fuente: Elaboración propia tomando como referencia Guía CENAPRED.

#### 6.3.2.4. Determinación del grado de vulnerabilidad social asociada a desastres

##### Primera parte

Como ya se mencionó en la sección 6.5.1, la metodología incluye el cálculo de 18 indicadores socioeconómicos (tres referentes a la salud, tres referentes a educación, seis para vivienda, tres para empleo e ingresos y tres para población) mismos que incluyen una tabla de rangos de medición (entre 0 y 1), donde 1 corresponde al nivel más alto de vulnerabilidad y 0 al más bajo.

Así, una vez establecidos los valores de cada indicador, se obtendrá el promedio para cada categoría por lo que existirá un promedio para salud, uno para vivienda, etc. Se calcula el promedio simple de los indicadores para dar el mismo peso a cada indicador. Una vez obtenido, se sumarán los resultados de cada categoría (educación, salud, vivienda, etc.) y se dividirá entre 5 para obtener el promedio total. Finalmente, este promedio total será el valor final para la primera parte de esta metodología:

*Indicadores socioeconómicos = Promedio Total Final de las 5 categorías (6.3.2.4-1)*

##### Segunda parte

De acuerdo con lo descrito en la sección 6.5.2, la metodología incluye un cuestionario con 24 preguntas con respuestas cerradas, dando un valor para 0 a "SÍ" (ya que este representará una mayor capacidad de prevención y respuesta) y 1 para "NO".

Para el caso del Atlas de riesgos de Cozumel, se aplicaron 13 cuestionarios a distintas autoridades municipales incluyendo a PC; por lo que, para obtener la calificación final de la capacidad de respuesta, se debe realizar los siguientes pasos:

1. Calcular la puntuación total de cada uno de los cuestionarios, sumando cada uno de los valores obtenidos de cada pregunta.
2. Sumar el puntaje total de cada cuestionario obtenido en el paso 1, para obtener el puntaje total de los 13 cuestionarios.
3. El puntaje total obtenido en el paso 2, se divide entre el total de cuestionarios (13) obteniendo la puntuación global que será ubicada en el rango con respecto a la suma de todas las respuestas de la Tabla 6.3.2.4-1 y así obtener el valor asignado según la condición de vulnerabilidad.

Tabla 6.3.2.4-1 Resultado de capacidad de respuesta.

Rangos con respecto a la suma de las respuestas	Capacidad de prevención y respuesta	Valor asignado según condición de vulnerabilidad
De 0 a 4	Muy Alta	0
De 4.1 a 8.0	Alta	0.25
De 8.1 a 12.0	Media	0.50
De 12.1 a 16.0	Baja	0.75
De 16.1 o más	Muy Baja	1

Fuente: Elaboración CENAPRED.

Tabla 6.3.2.4-2 Tabla de rangos (percepción local).

Rangos	Percepción local	Valor asignado según condición de vulnerabilidad
De 0 a 5	Muy Alta	0
De 5.1 a 10.0	Alta	0.25
De 10.1 a 15.0	Media	0.50
De 15.1 a 20.0	Baja	0.75
Más de 20	Muy Baja	1

Fuente: Elaboración CENAPRED.

### Tercera parte

Mediante un muestreo aleatorio simple con un error del 10%, se definió el número de cuestionarios (65) que se aplicaron en el municipio de Cozumel. Es importante mencionar que el cuestionario será aplicado únicamente a personas mayores de 18 años.

De acuerdo con lo definido en la sección 6.5.3, el valor obtenido de cada una de las 25 preguntas se deberá sumar al final de cada cuestionario. Una vez aplicados todos los cuestionarios se sumará el número final de todos los cuestionarios y se dividirá entre el total de cuestionarios que fueron aplicados para obtener un promedio, este número deberá situarse en alguno de los rangos de la Tabla 6.3.2.4-2, y así obtener el valor asignado según condición de vulnerabilidad.

### Obtención del Grado de Vulnerabilidad Social

A la primera parte de la metodología se le dará un peso del 50%, ya que las condiciones de vida de la población determinarán en gran medida el grado de vulnerabilidad. A la capacidad de prevención y respuesta se le dará un peso del 25% y, por último, a la percepción local de riesgo de la población se

le dará un valor del 25%. El número final para la medición de la vulnerabilidad social se obtiene de la siguiente manera:

$$GVS=(R1*0.50)+(R2*0.25)+(R3*0.25) \quad (6.3.2.4-2)$$

Donde:

GVS = Es el grado de vulnerabilidad social asociado a desastres

R1 = Resultado de los indicadores socioeconómicos

R2 = Resultado del cuestionario de capacidad de prevención y respuesta

R3 = Resultado del cuestionario de percepción local de riesgo

Finalmente, el número que se obtiene de la operación anterior representa el grado de vulnerabilidad social de una población, el cual incluye tanto a las condiciones socioeconómicas, como a la capacidad de prevención y respuesta de esta ante un desastre y la percepción local del riesgo. Los rangos para la medición de la vulnerabilidad social van de 0 a 1, donde 0 representa el grado más bajo de vulnerabilidad social y 1 representa el valor más alto de la misma, conforme a la Tabla 6.3.2.4-3.

Tabla 6.3.2.4-3 Rangos de Vulnerabilidad social.

Valor Final	Grado de vulnerabilidad Social Asociado a Desastres
De 0 a 0.20	Muy Bajo
De 0.21 a 0.40	Bajo
De 0.41 a 0.60	Medio
De 0.61 a 0.80	Alto
Más de 0.80	Muy Alto

Fuente: Elaboración CENAPRED.

### 6.3.2.5. Grado de vulnerabilidad social asociada a desastres naturales a nivel localidad como complemento al panorama municipal

#### Primera parte

Como consecuencia de que varios de los indicadores socioeconómicos que se utilizan en la calculan a nivel municipal y a la omisión intencional para la protección de información de algunas localidades contenida en el (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2020a), se propone complementar el análisis

de la vulnerabilidad social asociada a desastres, en el atlas de riesgos, considerando las 29 localidades a las que se les asignó un grado de rezago social a través de 3 categorías y un total de 11 indicadores de rezago social (Educación: 3 indicadores, Salud: 1 indicador, Vivienda: 7 indicadores) utilizados por el (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), 2020).

Para cada una de las 29 localidades se calcularán los siguientes indicadores socioeconómicos:

Tabla 6.3.2.5-1 Indicadores CONEVAL.

Indicador / Educación	E1.1 ¿Cuál es el porcentaje de la población de 15 años y más analfabeta?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos <sup>35</sup>	De 0 a 0.20	Muy Baja	0.00
	De 0.21 a 0.40	Baja	0.25
	De 0.41 a 0.60	Media	0.50
	De 0.61 a 0.80	Alta	0.75
	De 0.81 a 1	Muy Alta	1.00
Procedimiento <sup>36</sup>	Se obtiene el valor para cada localidad directamente de (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), 2020).		
Indicador / Educación	E1.2 ¿Cuál es el porcentaje de la población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 0 a 0.20	Muy Baja	0.00
	De 0.21 a 0.40	Baja	0.25
	De 0.41 a 0.60	Media	0.50
	De 0.61 a 0.80	Alta	0.75
	De 0.81 a 1	Muy Alta	1.00
Indicador / Educación	E1.3 ¿Cuál es el porcentaje de 15 años y más con educación básica incompleta?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 0 a 0.20	Muy Baja	0.00
	De 0.21 a 0.40	Baja	0.25
	De 0.41 a 0.60	Media	0.50
	De 0.61 a 0.80	Alta	0.75
	De 0.81 a 1	Muy Alta	1.00

<sup>35</sup> Los Rangos de todos los indicadores CONEVAL se calcularon con los percentiles del 0.20 (Muy Bajo), 0.40 (Bajo), 0.60 (Medio), 0.80 (Alto) y 1 (Muy Alto).

<sup>36</sup> Todos los valores de los indicadores CONEVAL para cada localidad se obtienen directamente de (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), 2020)

Indicador / Salud	S2.1 ¿Cuál es el porcentaje de Población sin derechohabencia a servicios de salud?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 0 a 0.20	Muy Baja	0.00
	De 0.21 a 0.40	Baja	0.25
	De 0.41 a 0.60	Media	0.50
	De 0.61 a 0.80	Alta	0.75
	De 0.81 a 1	Muy Alta	1.00
Indicador / Vivienda	V3.1 ¿Cuál es el porcentaje de viviendas con piso de tierra?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 0 a 0.20	Muy Baja	0.00
	De 0.21 a 0.40	Baja	0.25
	De 0.41 a 0.60	Media	0.50
	De 0.61 a 0.80	Alta	0.75
	De 0.81 a 1	Muy Alta	1.00
Indicador / Vivienda	V3.2 ¿Cuál es el porcentaje de viviendas que no disponen de excusado o sanitario?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 0 a 0.20	Muy Baja	0.00
	De 0.21 a 0.40	Baja	0.25
	De 0.41 a 0.60	Media	0.50
	De 0.61 a 0.80	Alta	0.75
	De 0.81 a 1	Muy Alta	1.00
Indicador / Vivienda	V3.3 ¿Cuál es el porcentaje de viviendas que no disponen de agua entubada de la red pública?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 0 a 0.20	Muy Baja	0.00
	De 0.21 a 0.40	Baja	0.25
	De 0.41 a 0.60	Media	0.50
	De 0.61 a 0.80	Alta	0.75
	De 0.81 a 1	Muy Alta	1.00
Indicador / Vivienda	V3.4 ¿Cuál es el porcentaje de viviendas que no disponen de drenaje?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 0 a 0.20	Muy Baja	0.00
	De 0.21 a 0.40	Baja	0.25
	De 0.41 a 0.60	Media	0.50
	De 0.61 a 0.80	Alta	0.75
	De 0.81 a 1	Muy Alta	1.00
Indicador / Vivienda	V3.5 ¿Cuál es el porcentaje de viviendas que no disponen de energía eléctrica?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 0 a 0.20	Muy Baja	0.00
	De 0.21 a 0.40	Baja	0.25
	De 0.41 a 0.60	Media	0.50
	De 0.61 a 0.80	Alta	0.75
	De 0.81 a 1	Muy Alta	1.00
Indicador / Vivienda	V3.6 ¿Cuál es el porcentaje de viviendas que no disponen de lavadora?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 0 a 0.20	Muy Baja	0.00
	De 0.21 a 0.40	Baja	0.25
	De 0.41 a 0.60	Media	0.50
	De 0.61 a 0.80	Alta	0.75
	De 0.81 a 1	Muy Alta	1.00
Indicador / Vivienda	V3.7 ¿Cuál es el porcentaje de viviendas que no disponen de refrigerador?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 0 a 0.20	Muy Baja	0.00
	De 0.21 a 0.40	Baja	0.25
	De 0.41 a 0.60	Media	0.50
	De 0.61 a 0.80	Alta	0.75
	De 0.81 a 1	Muy Alta	1.00

Fuente: Elaboración propia tomando como referencia Guía CENAPRED y los indicadores de rezago social CONEVAL.

Así, una vez establecidos los valores de cada indicador, se obtendrá el promedio para cada categoría por lo que existirá un promedio para educación, uno para salud y uno para vivienda. Se calcula el promedio simple de los indicadores para dar el mismo peso a cada indicador. Una vez obtenido, se sumarán los resultados de cada categoría (educación, salud, vivienda) y se dividirá entre 3 para obtener el promedio total. Finalmente, este promedio total será el valor final para la primera parte del análisis de cada una de las 29 localidades:

$$\text{Indicadores CONEVAL localidad} = \text{Promedio Total Final de las 3 categorías} \quad (6.3.2.5-1)$$

### Segunda parte

Se tomará el resultado del cuestionario de capacidad de prevención y respuesta de acuerdo con lo descrito en la sección 6.5.4/segunda parte, asignando dicho valor por igual a cada una de las 29 localidades.

### Tercera parte

Se tomará el resultado del cuestionario de percepción local de riesgo de acuerdo con lo descrito en la sección 6.5.4/tercer parte, asignando dicho valor por igual a cada una de las 29 localidades.

### Obtención del Grado de Vulnerabilidad Social a nivel localidad

Se medirá el grado de vulnerabilidad social para cada una de las 29 localidades mediante la siguiente expresión:

$$GVS_L = (R1_L * 0.50) + (R2 * 0.25) + (R3 * 0.25) \quad (6.3.2.5-2)$$

Donde:

$GVS_L$  = Es el grado de vulnerabilidad social asociado a desastres

$R1_L$  = Resultado de los indicadores socioeconómicos de cada localidad

$R2$  = Resultado del cuestionario de capacidad de prevención y respuesta

$R3$  = Resultado del cuestionario de percepción local de riesgo

Finalmente, el número que se obtiene de la operación anterior representa el grado de vulnerabilidad social de la población de cada una de las 29 localidades, el cual incluye tanto a las condiciones socioeconómicas, como a la capacidad de prevención y respuesta de esta ante un desastre y la percepción local del riesgo. Los rangos para la medición de la vulnerabilidad social van de 0 a 1, donde 0 representa el grado más bajo de vulnerabilidad social y 1 representa el valor más alto de la misma, conforme a la Tabla 6.3.2.5-2.

Tabla 6.3.2.5-2 Rangos de Vulnerabilidad social.

Valor Final	Grado de vulnerabilidad Social Asociado a Desastres
De 0 a 0.20	Muy Bajo
De 0.21 a 0.40	Bajo
De 0.41 a 0.60	Medio
De 0.61 a 0.80	Alto
Más de 0.80	Muy Alto

Fuente: Elaboración CENAPRED.

### 6.3.2.6. Resultados

#### 6.3.2.6.1. Primera parte

A partir de lo descrito en la sección 6.3.2.4/ Primera parte, se calcularon los 18 indicadores socioeconómicos, así como el valor promedio de cada categoría:

Tabla 6.3.2.6-1 Indicadores de Salud.

Indicador / Pregunta	Fórmula	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
1.1 ¿Cuántos Médicos existen por cada 1,000 habitantes?	$PM = \frac{74}{88626} * 1000 = 0.83$	Baja	0.25
1.2 ¿Cuántas muertes se producen antes del primer año de vida?	$TMI = \frac{11}{727} * 100 = 1.51$	Muy Baja	0.00
1.3 ¿Qué porcentaje de la población no cuenta con derechohabencia a servicios de salud?	$\%PND = \frac{19274}{88626} * 100 = 21.75$	Muy Baja	0.00
<b>Total Salud:</b>			<b>0.25</b>
$Promedio\ Salud = \frac{0.25}{3} = 0.083$			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.3.2.6-2 Indicadores de Educación.

Indicador / Pregunta	Fórmula	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
2.1 ¿Cuál es el porcentaje de la población de 15 años y más que no sabe leer ni escribir un recado?	$\%A = \frac{1761}{66851} * 100 = 2.63$	Muy Baja	0.00
2.2 ¿Cuál es el porcentaje de la población de 6 a 14 años que asiste a la escuela?	$DEB = \frac{18298}{19099} * 100 = 95.81$	Muy Baja	0.00
2.3 ¿Cuál es el nivel educativo de la población?	$GPE = 10.15$	Muy Baja	0.00
<b>Total Educación:</b>			<b>0.00</b>
$Promedio\ educación = \frac{0.00}{3} = 0.00$			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.3.2.6-3 Indicadores de Vivienda.

Indicador / Pregunta	Fórmula	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
3.1 ¿Qué porcentaje de viviendas no cuentan con agua entubada?	$\%VNDAE = \frac{225}{26413} * 100 = 0.85$	Muy Baja	0.00
3.2 ¿Qué porcentaje de viviendas no cuentan con drenaje?	$\%VND = \frac{208}{26413} * 100 = 0.79$	Muy Baja	0.00

3.3 ¿Qué porcentaje de viviendas no cuentan con electricidad?	$\%VNDE = \frac{224}{26413} * 100 = 0.85$	Muy Baja	0.00
3.4 ¿Qué porcentaje de viviendas tienen paredes de material de desecho y láminas de cartón?	$\%VPMD = \frac{14}{26413} * 100 = 0.05$	Muy Baja	0.00
3.5 ¿Qué porcentaje de viviendas tienen piso de tierra?	$\%VPT = \frac{221}{26413} * 100 = 0.84$	Muy Baja	0.00
3.6 ¿Cuál es el déficit de vivienda?	$DV = \frac{235}{26413} * 100 = 0.89$	Muy Baja	0.00
<b>Total Vivienda:</b>			<b>0.00</b>
$Promedio Vivienda \frac{0.00}{6} = 0.00$			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.3.2.6-4 Empleo e ingresos.

Indicador / Pregunta	Fórmula	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
4.1 ¿Qué porcentaje de la PEA recibe menos de dos salarios mínimos?	$\%PEA = \frac{16925}{48447} * 100 = 34.93$	Baja	0.25
4.2 ¿Cuántas personas dependen de la PEA?	$RD = \frac{21748 + 4873}{61978} * 100 = 42.95$	Muy Baja	0.00
4.3 ¿Cuántas personas desocupadas hay con respecto a la PEA?	$TDA = \frac{757}{48447} * 100 = 1.56$	Muy Baja	0.00
<b>Total Empleo e ingresos:</b>			<b>0.25</b>
$Promedio Empleo e ingresos \frac{0.25}{3} = 0.083$			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.3.2.6-5 Población.

Indicador / Pregunta	Fórmula	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
5.1 ¿Cuál es el grado de concentración de la población en el territorio?	$DP = \frac{88626}{488} = 181.61$	Baja	0.25
5.2 ¿Qué porcentaje de la población habita en localidades pequeñas?	$\%PI = \frac{6483}{81608} * 100 = 7.94$	Predominantemente no indígena	0.00
5.3 ¿Qué porcentaje de la población habita en localidades pequeñas?	$DiPo = \frac{1352}{88626} * 100 = 1.53$	Muy Baja	0.00
<b>Total Población:</b>			<b>0.25</b>
$Promedio Población \frac{0.25}{3} = 0.083$			

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se calcula el valor promedio de las 5 categorías (**ecuación 6.3.2.4-1**). El resultado será la calificación final de los indicadores socioeconómicos del municipio de Cozumel y el primer resultado (**R1 de la ecuación 6.3.2.4-2**) para la obtención del grado de vulnerabilidad social:

Indicadores socioeconómicos=

$$\frac{0.083 + 0.00 + 0.00 + 0.083 + 0.083}{5} = 0.05$$

### 6.3.2.6.2. Segunda parte

Para obtener el segundo resultado (**R2 de la ecuación 6.3.2.4-2**), se siguieron los tres pasos definidos en la sección 6.3.2.4/Segunda parte obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 6.3.2.6-6 Puntuación total capacidad de respuesta.

No. Cuestionario	Puntuación
1	2
2	3
3	7
4	2
5	2
6	8
7	0
8	1
9	3
10	2
11	2
12	5
13	0
<b>Total</b>	<b>37</b>
<b>Promedio</b>	<b>2.85</b>

Fuente: Elaboración propia.

Al situar el promedio (**2.85**) de los 13 cuestionarios en los rangos de la Tabla 6.3.2.4-1, se obtuvo una capacidad de prevención y respuesta **Muy alta** y por lo tanto una condición de vulnerabilidad igual a **ceros**, valor que será asignado a **R2** para la obtención del grado de vulnerabilidad social.

### 6.3.2.6.3. Tercera parte

Para la obtención del tercer y último valor requerido (**R3 de la ecuación 6.3.2.4-2**) para el cálculo del grado de vulnerabilidad social, se procesaron y analizaron los resultados obtenidos de los 65 cuestionarios aplicados a la población local de Cozumel; y de acuerdo con lo señalado en la sección 6.5.4/Tercer parte se obtuvieron los siguientes resultados (ver tabla 6.3.2.6-7).

Al buscar el valor promedio (**9.59**) de los 65 cuestionarios en los rangos de la Tabla 6.5.4-2, se obtuvo una percepción local **Alta** y por lo tanto una condición de vulnerabilidad igual a **0.25**, valor que será asignado a **R3** para la obtención del grado de vulnerabilidad social.

Tabla 6.3.2.6-7 Puntuación total percepción local.

No. Cuestionario	Puntuación	No. Cuestionario	Puntuación	No. Cuestionario	Puntuación
1	7	23	10.25	45	11.5
2	10.75	24	8	46	6.75
3	4	25	6.25	47	16.75
4	3.75	26	11.25	48	7.25
5	4.75	27	12.25	49	11.25
6	10.5	28	4.5	50	13
7	7.75	29	5	51	16
8	10.75	30	10	52	16.75
9	8.75	31	6.25	53	3.25

10	13.5	32	9.75	54	7
11	5.5	33	12.25	55	5.5
12	8.5	34	11.25	56	7
13	15.5	35	4.25	57	13.25
14	10.5	36	12	58	8.5
15	7.25	37	10.75	59	11.75
16	10.75	38	9.25	60	8.25
17	6.25	39	4.75	61	13.5
18	9.25	40	8.5	62	17
19	8.25	41	10.25	63	15.75
20	4.75	42	9.25	64	9.5
21	11	43	10	65	16.75
22	15.25	44	7		
<b>SUMA DE CUESTIONARIOS</b>					<b>623.5</b>
<b>PROMEDIO CUESTIONARIOS</b>					<b>9.59</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 6.3.2.6.4. Obtención del grado de vulnerabilidad social

Finalmente, al sustituir los valores R1, R2 y R3 en la **ecuación 6.3.2.4-2** se obtiene el siguiente resultado:

$$GVS=(0.05*0.50)+(0*0.25)+(0.25*0.25)=0.25+0+0.0625=0.3125$$

Por lo cual, al situar el **GVS = 0.3125** en la Tabla 6.3.2.4-3 se identifica que el **Grado de vulnerabilidad social asociado a desastres** del municipio de Cozumel, es **Bajo**.

#### 6.3.2.6.5. Obtención del grado de vulnerabilidad asociada a desastres naturales a nivel localidad como complemento al panorama municipal

##### Primera parte

De acuerdo con las 29 localidades evaluadas por el CONEVAL, a continuación, se presenta el resultado de los indicadores socioeconómicos, así como su promedio por categoría y el promedio final de cada una de dichas localidades:

Tabla 6.3.2.6-8 Indicadores socioeconómicos por localidad.

Localidad	E1.1	E1.2	E1.3	S2.1	V3.1	V3.2	V3.3	V3.4	V3.5	V3.6	V3.7
0165-Buнависта	0.00	0.00	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00
1049-Carlos Eduardo Gómez	0.00	0.00	0.50	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00
0745-Chichihualco	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
0001-Cozumel	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00
1014-Cozumel	0.00	0.00	0.50	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.25
0067-El Cedral	0.00	0.00	0.25	0.75	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	1.00	0.00
0957-El Refugio	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.25	0.00	0.50	0.00	0.25	0.00
0754-Huerto Familiar	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00
0917-Juan Leyenda Trigo	0.00	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00
0854-La Esperanza	0.00	0.00	0.50	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.75	0.25
0999-La Esperanza	0.00	0.00	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25
0426-La Estrella	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00
0877-La Selva	0.00	0.00	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25
0932-Las Fincas	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.75	0.75
1037-Las Glorias	0.00	0.00	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00
0462-Los Pinos	0.00	0.00	0.25	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00
0987-Mariposas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0494-Nuestra Señora de Guadalupe	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00
0845-Nueva Esperanza	0.00	0.00	0.25	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.00
0498-Palmar Primero	0.00	0.00	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25
0800-Pueblo Nuevo	0.00	0.25	0.50	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25
0893-Quinta la Bonita	0.00	0.00	0.50	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.75
0891-Ranchitos	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.25	0.25	0.25	0.00	0.50	0.00
0976-San Carlos	0.00	0.00	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25
0858-San Fernando	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00
1032-San Isidro	0.00	0.00	0.50	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.25
1047-Santa Teresa	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0899-Varadero	0.00	0.75	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0928-Villas Pavo Real	0.25	0.00	0.75	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.3.2.6-9 Promedio de cada categoría y promedio de indicadores por localidad.

Localidad	Promedio Educación	Promedio Salud	Promedio Vivienda	Promedio Indicadores
0165-Buenavista	0.083	0.250	0.036	0.123
1049-Carlos Eduardo Gómez	0.167	0.250	0.071	0.163
0745-Chichihualco	0.167	0.000	0.286	0.151
0001-Cozumel	0.083	0.000	0.036	0.040
1014-Cozumel	0.167	0.250	0.143	0.187
0067-El Cedral	0.083	0.750	0.179	0.337
0957-El Refugio	0.083	0.000	0.143	0.075
0754-Huerto Familiar	0.000	0.500	0.036	0.179
0917-Juan Leyenda Trigo	0.167	0.250	0.036	0.151
0854-La Esperanza	0.167	0.750	0.214	0.377
0999-La Esperanza	0.083	0.250	0.071	0.135
0426-La Estrella	0.167	0.000	0.036	0.067
0877-La Selva	0.083	0.250	0.071	0.135
0932-Las Fincas	0.083	0.000	0.321	0.135
1037-Las Glorias	0.083	0.250	0.036	0.123
0462-Los Pinos	0.083	0.750	0.071	0.302
0987-Mariposas	0.000	0.000	0.000	0.000
0494-Nuestra Señora de Guadalupe	0.083	0.000	0.036	0.040
0845-Nueva Esperanza	0.083	0.000	0.143	0.075
0498-Palmar Primero	0.083	0.250	0.071	0.135
0800-Pueblo Nuevo	0.250	0.250	0.036	0.179
0893-Quinta la Bonita	0.167	0.250	0.214	0.210
0891-Ranchitos	0.000	0.250	0.179	0.143
0976-San Carlos	0.083	0.250	0.071	0.135
0858-San Fernando	0.000	0.250	0.071	0.107
1032-San Isidro	0.167	0.250	0.107	0.175
1047-Santa Teresa	0.083	0.000	0.000	0.028
0899-Varadero	0.333	0.250	0.000	0.194
0928-Villas Pavo Real	0.333	0.750	0.071	0.385

Fuente: Elaboración propia.

Para concluir esta primera parte, asignaremos a **R1** de cada localidad el valor de la columna "Promedio Indicadores".

### Segunda parte

El valor que usaremos para esta segunda parte será el mismo obtenido en la sección **6.3.2.4**, es decir, se considera para cada una de las localidades una capacidad de prevención y respuesta **Muy alta** y por lo tanto una condición de vulnerabilidad igual a **cero**, valor que será asignado a **R2 en la ecuación 6.3.2.5-2**.

### Tercera parte

Para la asignación de **R3** de cada una de las localidades, tomaremos el valor obtenido en

la sección 5.6.3 que corresponde a que cada localidad tiene una percepción local **Alta** y por lo tanto una condición de vulnerabilidad igual a **0.25**.

### Grado de vulnerabilidad social asociado a desastres por localidad

Finalmente, al sustituir los valores R1, R2 y R3 en la ecuación **6.3.2.5-2** se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 6.3.2.6-10 Grado de vulnerabilidad social asociado a desastres por localidad.

Localidad	Valor Final (ecuación 5.2.27)	Grado de vulnerabilidad social asociado a desastres
0165-Buenavista	0.1240	Muy Bajo
1049-Carlos Eduardo Gómez	0.1438	Muy Bajo
0745-Chichihualco	0.1379	Muy Bajo
0001-Cozumel	0.0823	Muy Bajo
1014-Cozumel	0.1558	Muy Bajo
0067-El Cedral	0.2312	Bajo
0957-El Refugio	0.1002	Muy Bajo
0754-Huerto Familiar	0.1518	Muy Bajo
0917-Juan Leyenda Trigo	0.1379	Muy Bajo
0854-La Esperanza	0.2510	Bajo
0999-La Esperanza	0.1300	Muy Bajo
0426-La Estrella	0.0962	Muy Bajo
0877-La Selva	0.1300	Muy Bajo
0932-Las Fincas	0.1300	Muy Bajo
1037-Las Glorias	0.1240	Muy Bajo
0462-Los Pinos	0.2133	Bajo
0987-Mariposas	0.0625	Muy Bajo
0494-Nuestra Señora de Guadalupe	0.0823	Muy Bajo
0845-Nueva Esperanza	0.1002	Muy Bajo
0498-Palmar Primero	0.1300	Muy Bajo
0800-Pueblo Nuevo	0.1518	Muy Bajo
0893-Quinta la Bonita	0.1677	Muy Bajo
0891-Ranchitos	0.1339	Muy Bajo
0976-San Carlos	0.1300	Muy Bajo
0858-San Fernando	0.1161	Muy Bajo
1032-San Isidro	0.1498	Muy Bajo
1047-Santa Teresa	0.0764	Muy Bajo
0899-Varadero	0.1597	Muy Bajo
0928-Villas Pavo Real	0.2550	Bajo

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan dos mapas con la distribución espacial de las localidades por Grado de vulnerabilidad social asociado a desastres; en el primero se identifican las localidades con grado "Muy Bajo" y en el segundo con grado "Bajo":

Figura 6.3.2.6-1. Localidades con grado de vulnerabilidad social asociado a desastres en Cozumel: Muy bajo

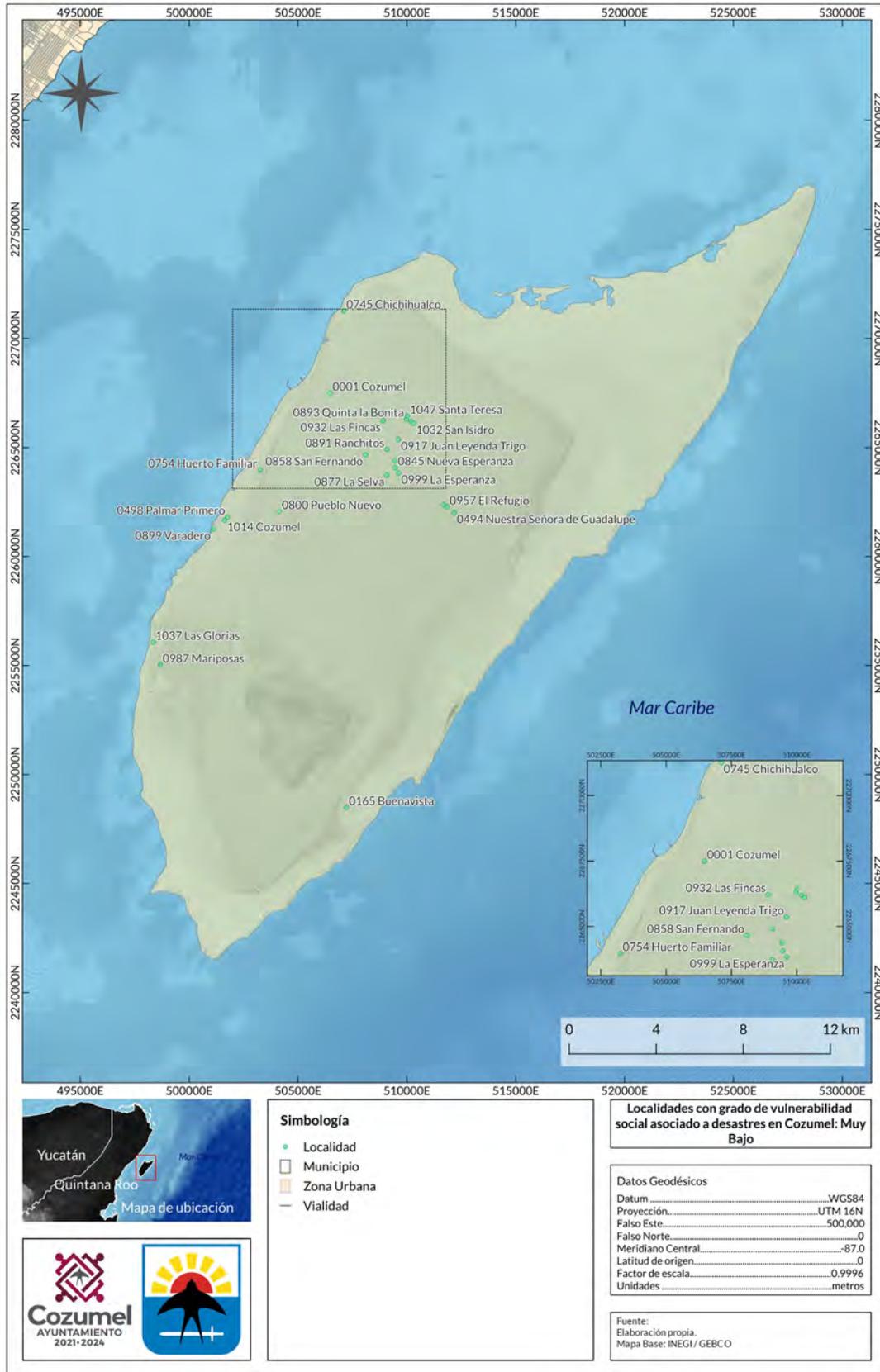
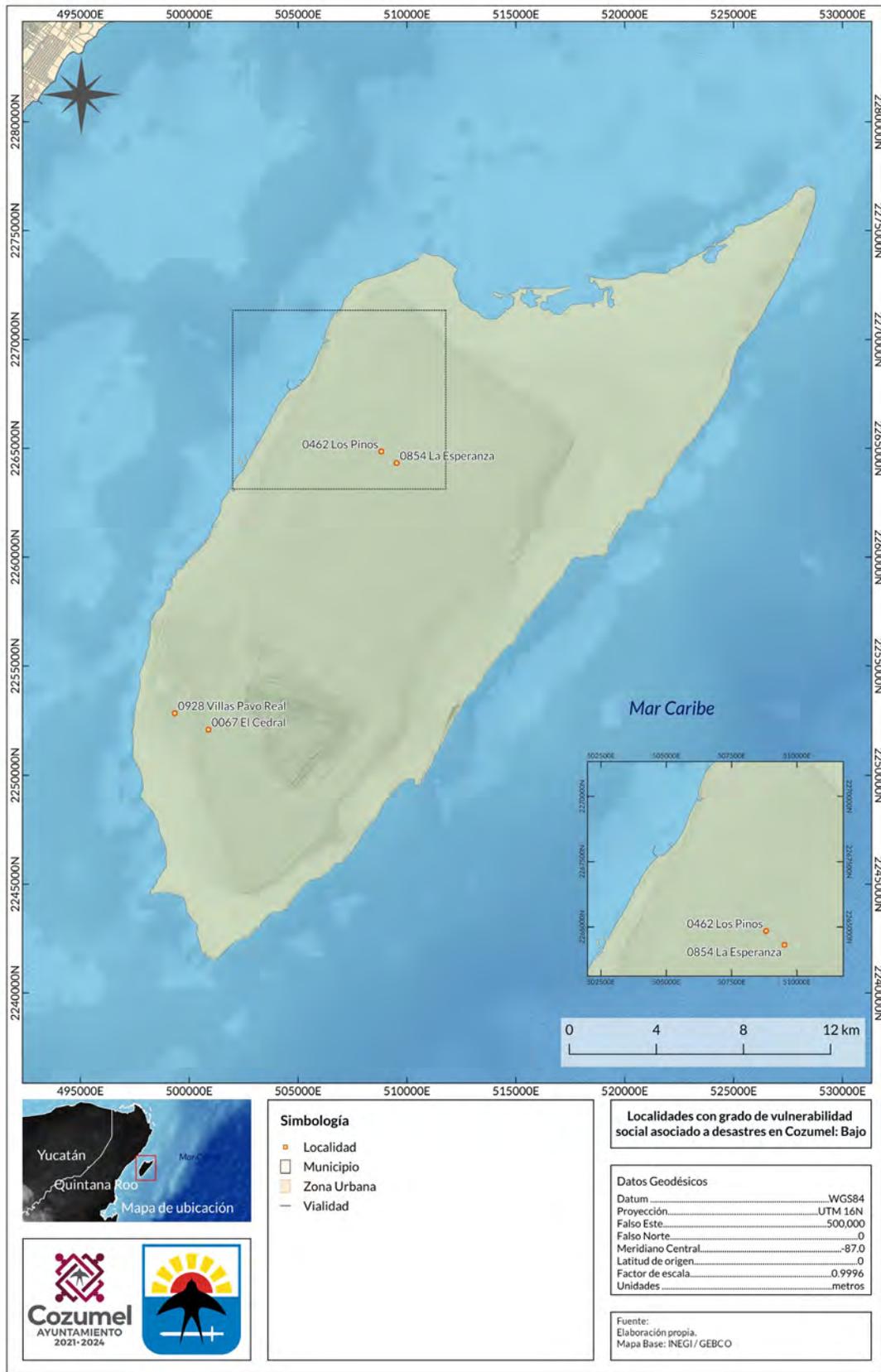


Figura 6.3.2.6-1. Localidades con grado de vulnerabilidad social asociado a desastres en Cozumel: Bajo



# 7

## ESTIMACIÓN DEL RIESGO



**Unidos** somos  
más **Grandes**

## CAPÍTULO 7: **ESTIMACIÓN DEL RIESGO**

El presente capítulo expone los resultados de la estimación del riesgo, para ello en la primera subsección (subsección 7.1) se expone las metodologías para análisis y estimación de la vulnerabilidad. En el capítulo 5 se abordó la construcción de una base de datos que describe la exposición del Municipio de Cozumel. Basado en dicha base de datos, en este capítulo se analizan los elementos de la misma, considerando los tipos de activos incluidos en la base de datos, basado en diversas funciones analíticas (funciones de vulnerabilidad) se describen la vulnerabilidad de los activos antes las perturbaciones. Posteriormente, en la subsección 7.2 de este capítulo se aborda las estimaciones realizadas para cuantificar el riesgo basado en las funciones de vulnerabilidad, considerando técnicas de modelación y simulación estadística. Finalmente, en la sección 7.3 se exponen el análisis de riesgo de la población.

### **7.1. Análisis de la exposición y estimación de la vulnerabilidad**

La caracterización de los activos de una zona expuesta a cierto tipo de amenaza es esencial para la estimación de riesgo por fenómenos naturales. Este modelo de exposición requiere establecer ciertos criterios, con el fin de obtener una muestra representativa adecuada. En el contexto de este estudio, este modelo tiene como principal objetivo establecer una clasificación estructural adecuada a lo que se conoce como taxonomía estructural.

Una taxonomía estructural está definida por tipologías de los activos expuestos, los cuales dependen de propiedades como el material utilizado, el año de construcción, la geometría, el sistema resistente de carga lateral, etc. Según Bertalanffy (1968), la taxonomía estructural se define como el conjunto de propiedades que categorizan de una manera específica a los objetos de análisis, estableciendo relaciones significativas con el fin de que el esfuerzo computacional para los análisis posteriores sea menor.

Dentro del trabajo realizado se ha analizado y clasificado la infraestructura crítica del municipio, compuesta principalmente por viviendas, infraestructura de salud, centros educativos, comercios, infraestructura gubernamental y vialidad.

La isla de Cozumel, presenta diversas zonas habitadas y urbanizadas que reflejan la complejidad y diversidad de su distribución espacial. Entre ellas se encuentra San Miguel de Cozumel, la capital del municipio, en donde se presenta la mayor concentración de residentes de la zona, como también una amplia gama de servicios turísticos, tales como tiendas, restaurantes y hoteles, siendo este el principal punto de acceso de la isla.

La zona hotelera, ubicada especialmente al oeste de la isla, exhibe una serie de hoteles y resorts de alta gama; esta zona se caracteriza por sus playas privadas, donde su enfoque principal es ser el atractivo turístico en la isla. También se pueden mencionar distintos asentamientos alejados del ajetreo turístico, tanto en la punta norte como en la sur.

En cuanto a la infraestructura más común de la zona, se puede mencionar que la mayoría de edificaciones tienen un uso de tipo residencial y se caracterizan por ser construcciones típicas de climas cálidos, exhibiéndose así la mampostería confinada como el principal sistema estructural utilizado en la isla.

Por otro lado, en lo que a infraestructura vial se refiere, según la Red Nacional de Caminos (2022), Cozumel cuenta con una vía perimetral que rodea el sur de la isla, conectando las vialidades y carreteras municipales y la ciudad de San Miguel de Cozumel, donde las capas de rodadura más utilizadas están conformadas principalmente por asfalto y material granular.

### 7.1.1. Asignación de funciones de vulnerabilidad para inundación

Mediante bases de datos de artículos y publicaciones de relevancia científica, fueron seleccionadas funciones de fragilidad en las que el modelo presentaba la mayor cantidad de características en común con las tipologías estructurales encontradas en el catastro y a las tipologías viales de predominancia. De esta manera se obtuvieron 6 funciones de fragilidad ante fenómenos de inundación para estructuras de diferentes características, 3 funciones para fenómenos relacionados al viento con referencia principal en los materiales y tipo de cubierta y

finalmente 2 funciones ante inundación para los casos de vías presentes en el sitio de estudio.

#### Inundación- Estructuras

1. **Concreto:** Se propone el uso de la función de fragilidad establecida por Gautam, et al. (2023). Se utiliza para las estructuras en las que el sistema predominante resistente a carga está conformado por pórticos de hormigón armado. En este sentido, se define una función de fragilidad que considera los efectos sobre los elementos estructurales y no estructurales de un sistema de concreto reforzado generados por los sedimentos que trae el agua, el empuje generado por la profundidad de la inundación y otras consecuencias que puede generar dicho fenómeno. De esta manera se tiene una curva lognormal de fragilidad graficada sobre los ejes de probabilidad de daño en el vertical y medida de intensidad, en este caso profundidad de la inundación, en el horizontal.

Figura 7.1.1-1 Función de fragilidad para infraestructuras de concreto ante inundación

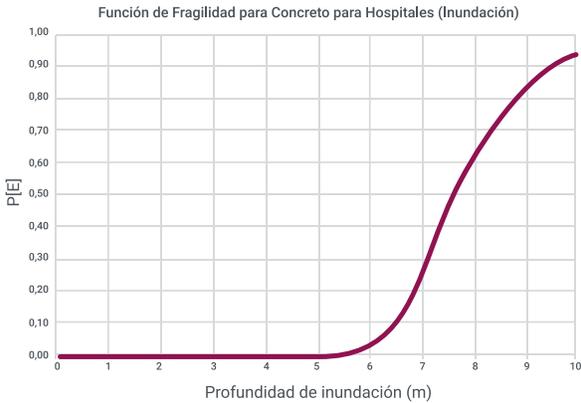


Fuente: Elaboración propia con información de Gautam et al., 2023

2. **Concreto Hospitales:** Se propone el uso de la función de fragilidad determinada por Nofal & Van de Lindt (2020), los cuales definen una función de fragilidad para estructuras en las que predomina el concreto armado como sistema resistente a las solicitaciones de fuerzas, es este caso, la función es utilizada para estructuras base de hospital de tamaño mediano de hasta dos plantas de elevación ante inundación. Para esta

función se siguen los mismos principios que en el punto 1 pero en este caso se le da un poco más de sensibilidad a la consideración de los elementos no estructurales, tomando en cuenta la existencia de indumentaria médica de especialidad.

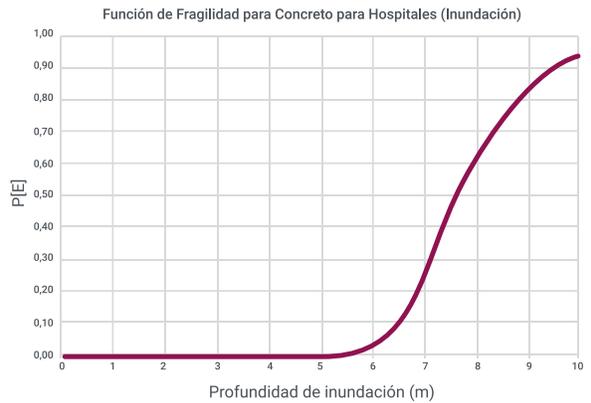
**Figura 7.1.1-2 Función de fragilidad para hospitales de concreto ante inundación**



Fuente: Elaboración propia con información de Nofal y Van de Lindt, 2020

**3. Mampostería Confinada:** Se propone el uso de la función de fragilidad establecida por Nofal & Van de Lindt (2020), la cual considera sistemas en los que predomina el uso estructural de la mampostería confinada, tomando en consideración el arquetipo 'F2', esta función será una de las más utilizadas en el análisis debido al uso extendido de este tipo de sistema para la construcción de las zonas residenciales de la isla. En este caso, la función planteada considera, para su creación, una vivienda tipo con losa de a nivel del suelo, un nivel de elevación, sistema estructural de mampostería confinada, algunos elementos no estructurales.

**Figura 7.1.1-3 Función de fragilidad para mampostería confinada ante inundación**



Fuente: Elaboración propia con información de Nofal y Van de Lindt, 2020

**4. Mampostería Confinada Comercio:** Se propone el uso de la función de fragilidad establecida por Nofal & Van de Lindt (2020) para sistemas en los que es predominante la mampostería confinada para un aspecto estructural. Para esta función de fragilidad, se consideran para su creación las estructuras de tipo tienda comercial de un nivel de altura y losa a nivel del suelo.

**Figura 7.1.1-4 Función de fragilidad para inmuebles comerciales de mampostería confinada ante inundación**



Fuente: Elaboración propia con información de Nofal y Van de Lindt, 2020

- 5. Mampostería Confinada Escuelas:** Se propone el uso de la función de fragilidad establecida por Nofal & Van de Lindt (2020), útil para sistemas estructurales cuyo elemento principal es la mampostería de carácter confinado, en esta ocasión, específicamente para escuelas. Para esta tipología, los autores proponen el arquetipo 'F10', el cual representa a un inmueble de mampostería no reforzada únicamente de un piso. En este caso, se consideró al estado de daño 4 equivalente al colapso y se utilizó una función de fragilidad que relaciona la probabilidad de excedencia del estado de daño, conjunto a la profundidad de inundación expresada en metros.

**Figura 7.1.1-5 Función de fragilidad para escuelas de mampostería confinada ante inundación**



Fuente: Elaboración propia con información de Nofal y Van de Lindt, 2020

- 6. Madera:** Se propone el uso de la función de fragilidad establecida por Rivas (2020). Esta función es utilizada para estructuras con miembros estructurales (vigas y columnas) hechos de madera. Este autor establece funciones de fragilidad para estos sistemas estructurales para varios estados de daño, sin embargo, se toma el último estado, el cual es el de colapso. Esta curva representa la profundidad de inundación debida a un tsunami, relacionada a una probabilidad de excedencia, en donde la profundidad se expresa en metros.

**Figura 7.1.1-6 Función de fragilidad para infraestructuras de madera ante inundación**

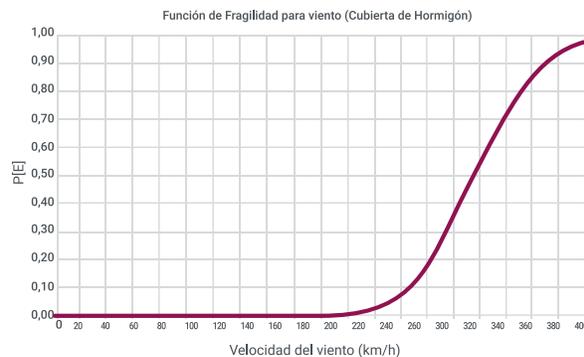


Fuente: Elaboración propia con información de Rivas, 2020

## 7.1.2. Funciones de vulnerabilidad para viento (estructuras)

**Cubierta de concreto:** Se propone el uso de la función de fragilidad establecida por el Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (2013), la cual se puede considerar para cubiertas que se han determinado como losas de concreto. Se establece la función de fragilidad para este tipo de estructuras posterior a la realización de una modelación probabilista de riesgos naturales a nivel global por parte del Centro Internacional de Métodos Numéricos e Ingeniería, entre otros. Esta función permite estimar la relación media de daño en función de la velocidad máxima del viento.

**Figura 7.1.2-1 Función de fragilidad para cubierta de concreto ante viento**



Fuente: Elaboración propia con información de Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction, 2013

Cubierta de madera: Se propone el uso de la función de fragilidad determinada por Chettri et al. (2013), la cual es válida para cubiertas donde su principal estructura está compuesta por miembros de madera. Se define la fragilidad para este tipo de estructuras en zonas donde se experimentan tormentas de viento como los huracanes. Esta función, de igual manera, estima la relación media de daño en función de la velocidad máxima del viento.

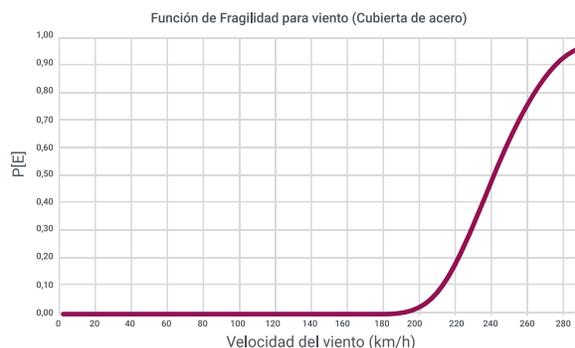
Figura 7.1.2-2 Función de fragilidad para cubierta de madera ante viento



Fuente: Elaboración propia con información de Chettri et al., 2013

Cubierta de acero: Se propone el uso de la función de fragilidad determinada por Sungsu Lee (2013), la cual representa este parámetro únicamente para cubiertas que se componen de láminas de acero. Dentro del estudio, se realiza un análisis del comportamiento de las edificaciones de acero y se desarrolla un modelo de fragilidad para las aberturas, paredes y sistemas de techo, relacionando las partes específicas de la edificación. De la misma manera, esta función de fragilidad estima la relación media de daño en función de la velocidad máxima del viento.

Figura 7.1.2-3 Función de fragilidad para cubierta de acero ante viento

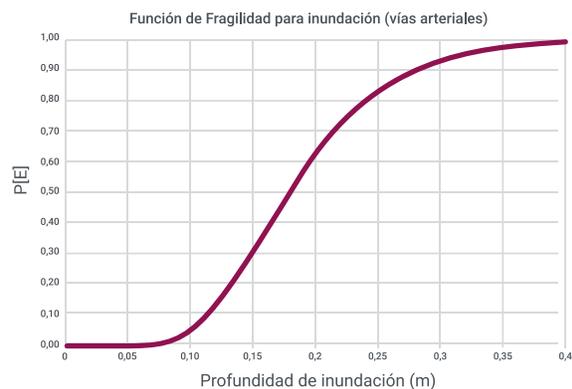


Fuente: Elaboración propia con información de Sungsu Lee, 2013

### 7.1.3. Funciones de vulnerabilidad para inundación (vías)

1. Arteriales: Se propone el uso de la función de fragilidad establecida por Donghui (2020), la cual hace se hizo referencia a las tipologías de vías que tienen un número de carriles mayor a 1, considerando que estas son las de mayor jerarquía dentro de la isla. Adicionalmente, se establece la curva de fragilidad con máximo daño para vías arteriales, en función de la profundidad de precipitación que se alcanza con base en la probabilidad de excedencia, donde la profundidad se da en milímetros.

Figura 7.1.3-1 Función de fragilidad para vías arteriales ante precipitaciones



Fuente: Elaboración propia con información de Donghui, 2020

2. Colectoras: Se propone el uso de la función de fragilidad establecida por Donghui (2020), en donde se asigna a aquellas categorías de carreteras que presenten únicamente un carril, considerando que estas representan las de menor importancia en Cozumel. Asimismo, se establece la curva de fragilidad con máximo daño para vías colectoras, en función de la profundidad de precipitación que se alcanza con base en la probabilidad de excedencia, donde la profundidad se da en milímetros.

**Figura 7.1.3-2 Función de fragilidad para vías colectoras ante precipitaciones**



Fuente: Elaboración propia con información de Donghui, 2020

### 7.1.4. Estimación de pérdidas humanas

Para estimar los fallecimientos probables esperados por la presencia de exceso de precipitación en el municipio de Cozumel se considera la tasa de fallecimiento sobre la población total expuesta.

La tasa de fallecimientos se calcula como una frecuencia para 18 eventos en México que se han presentado por esta amenaza en lugares similares al municipio, ya que en Cozumel se han presentado pocas fatalidades por exceso de precipitación (EM - DAT, 2023); mediante la siguiente fórmula:

**Fórmula 7.1.4-1. Tasa de fallecimiento**

$$tasa_f = \frac{ns_t}{ne_t}$$

Donde:

$ns_t$  : es el número de fallecimientos observados en el evento t

$ne_t$  : es el número de habitantes expuestos en el municipio en el evento t

Se precisa que, las tasas obtenidas quedan dentro del rango mostrado en la tabla 7.1.4-1.

**Tabla 7.1.4-1. Tasas de fallecimiento de eventos por inundación en México (2000 a 2020)**

Rango	Tasa
Max	0.402831%
Min	0.000086%

Fuente: elaboración propia

Adicionalmente, en el cálculo se considera la frecuencia anual estimada de esta amenaza en el municipio, con periodos de retorno desde 2 hasta 500 años.

**Tabla 7.1.4-2. Frecuencia de eventos por exceso de precipitación, con periodos de retorno de 2 a 500 años**

Tr (Años)	Frecuencia anual (1/año)
2	0.004973
5	0.003711
10	0.002725
25	0.002108
50	0.001799
100	0.001588
250	0.001428
500	0.001336

Fuente: elaboración propia

A partir de los los parámetros descritos en las tablas 7.1.4-1 y 7.1.4-2, y de acuerdo con la población total en el municipio de Cozumel reportada por el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, de 88,626 habitantes; se calcula el número de muertes esperadas a través de un modelo de procesos estocásticos, el cual se genera a partir de eventos probables de acuerdo la siguiente tabla:

**Tabla 7.1.4-3. Probabilidad de la tasa de fallecimiento por exceso de precipitación en el municipio de Cozumel**

Probabilidad	Tasa de fallecimiento
-	-
0.500	0.5000
0.800	0.2000
0.900	0.1000
0.960	0.0400
0.980	0.0200
0.990	0.0100
0.996	0.0040
0.998	0.0020

Fuente: elaboración propia

Donde la probabilidad se obtiene de los mismos periodos de retorno de exceso de precipitación como  $(1 - (1/\text{periodo de retorno}))$ , mientras que, las tasas de acuerdo con la experiencia de eventos históricos.

A partir de lo anterior, se modelan 1,000 escenarios, de los cuales cada uno tiene 100,000 simulaciones de eventos, y finalmente se elige el percentil 0.995, que significa que este dato tendrá el 99.5% de los casos con este valor o menor a él, obteniendo en un evento de magnitud grave que el número de fallecidos esperados, de acuerdo con la frecuencia de exceso de precipitación, sería de 34.8.

## 7.2. Estimación de pérdidas

En las secciones anteriores se abordaron los diferentes componentes del riesgo y sus limitaciones y/o suposiciones en función de la calidad y tipo de información disponible para la zona. Por lo que, considerando los productos derivados de estas, este capítulo enfoca sus esfuerzos en el cálculo de riesgo simplificado para las amenazas por viento e inundación, diseñado para ser congruente con los requerimientos normativos establecidos y, al mismo tiempo, capaz de abordar las particularidades geográficas y climáticas de Cozumel. Este método simplificado de evaluación de riesgos busca proporcionar una visión clara y accesible, crucial para la comprensión de los impactos potenciales de los fenómenos naturales y, por ende, facilitar la toma de decisiones fundamentadas.

El cálculo de riesgo simplificado adoptado en este atlas se basa en la premisa de que los eventos futuros pueden ser tratados de manera determinística, tomando los valores esperados para la precipitación y la velocidad máxima del viento en cada escenario. Este enfoque, si bien simplifica la complejidad inherente de la incertidumbre asociada con eventos extremos, permite una aproximación pragmática y práctica para la identificación de riesgos.

Los escenarios elegidos para tal fin de acuerdo con los términos de referencia establecidos en este Atlas son ocho para cada amenaza y corresponden a periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 250 y 500 años. Estos periodos de

retorno, seleccionados conforme a los requisitos normativos, no solo cumplen con los estándares establecidos, sino que también pretenden capturar la variabilidad completa de eventos climáticos extremos que podrían afectar la región de Cozumel. Este documento detalla el proceso y los resultados del cálculo de riesgo simplificado, proporcionando información esencial para comprender la vulnerabilidad de los inmuebles presentes en el municipio ante inundaciones y vientos extremos.

De esta manera, los resultados mostrados no solo pretenden ser un recurso técnico especializado, sino también una herramienta de empoderamiento para la municipalidad de Cozumel, brindando información tangible que puede ser utilizada para implementar medidas de mitigación y adaptación. La comprensión detallada de los riesgos asociados con inundaciones y vientos extremos es esencial para fortalecer la resiliencia de la comunidad y garantizar un desarrollo sostenible en el futuro.

## 7.3. Calculo Del Riesgo

Con base en los modelos probabilísticos de amenazas y en la evaluación de activos expuestos junto con sus respectivas funciones de vulnerabilidad, se crea un modelo de análisis de riesgo basado en probabilidades o una modelación de pérdidas probabilística para el municipio de Cozumel, Quintana Roo.

Para lograr esto, es esencial presentar la metodología específica para calcular las frecuencias de

ocurrencia de niveles específicos de pérdidas relacionadas con los activos expuestos durante intervalos determinados y frente a la presencia de amenazas naturales.

Para estimar las pérdidas vinculadas a un evento específico, se convierte la relación media de daño (RMD), obtenida a partir de la función de vulnerabilidad, en pérdida económica multiplicándola por el valor de reposición del componente correspondiente. Este procedimiento se repite para cada uno

de los activos o elementos registrados en el inventario de activos expuestos en relación con cada evento analizado. Luego, las pérdidas se suman utilizando una aritmética apropiada para funciones de densidad de probabilidad, de acuerdo con los requisitos específicos del análisis en cuestión (Cardona et al 2005).

La descripción del riesgo asociado con amenazas naturales suele hacerse mediante la conocida curva de excedencia de pérdidas (loss curve, en inglés), la cual detalla las frecuencias, generalmente anuales, con las que se esperan eventos que superen un valor predeterminado de pérdidas. Esta frecuencia anual de excedencia también se conoce como tasa de excedencia, y puede calcularse utilizando una de las múltiples formulaciones del teorema de la probabilidad total (Yamin et al. 2013). El análisis probabilista de riesgo típicamente se realiza para un conjunto completo de escenarios específicos en diversas amenazas. No obstante, es posible llevar a cabo el análisis para un solo escenario si así se prefiere.

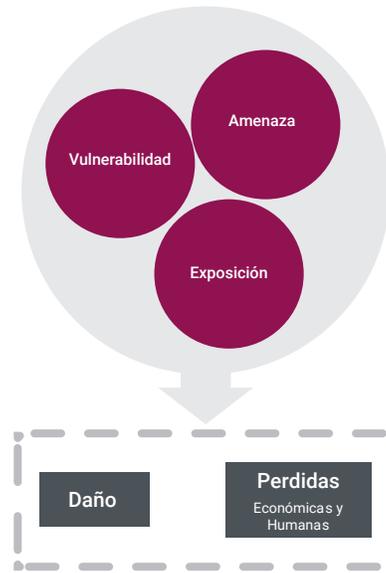
Por otro lado, la evaluación del riesgo con técnicas probabilistas (ERN-AL, 2008; Yamin, 2007) requiere de la identificación y valoración de las principales variables que determinan el impacto de las amenazas sobre los elementos expuestos. En el marco conceptual ya descrito, el modelo para el análisis se construye a partir de cuatro módulos principales: (a) evaluación de la amenaza, (b) identificación y caracterización de los elementos expuestos, (c) definición de la vulnerabilidad de cada uno de los elementos expuestos, y (d) cálculo del riesgo. La evaluación se lleva a cabo de acuerdo con la siguiente metodología:

1. Se estima el nivel de intensidad de la amenaza para cada uno de los componentes expuestos considerando su ubicación geográfica y la información de amenaza probabilista disponible.
2. La intensidad de amenaza para cada componente define el daño esperado en este mediante la utilización de funciones de vulnerabilidad adecuadas.
3. El grado de daño define a su vez la pérdida económica y las pérdidas humanas (en caso de tener información disponible) esperadas para cada uno de los componentes.

4. La integración de daños por componentes permite estimar pérdidas globales por tipos de componentes o por regiones, con lo cual se obtienen las estimaciones del riesgo.

La figura 7.3-1 presenta un esquema general del cálculo del riesgo y su estimación de daño y pérdidas tanto humanas como económicas.

Figura 7.3-1. Esquema general del cálculo de riesgo, daño y pérdidas (económicas y humanas).



Para calcular las pérdidas, se traduce el porcentaje de daño obtenido del módulo de vulnerabilidad a pérdidas económicas multiplicándolo por el valor de reposición del bien en riesgo. Este proceso se realiza de forma repetida para cada tipo de activo en cada ubicación, y luego se integran las pérdidas según sea necesario. El resultado proporciona una métrica de riesgo que suministra a las entidades responsables de la toma de decisiones información fundamental para la gestión de riesgos futuros (Cardona et al 2005). A continuación, se detallan las principales medidas del riesgo en términos económicos.

- **Pérdida Anual Esperada (PAE):** La PAE se determina mediante la suma de los productos entre las pérdidas esperadas para eventos específicos y la probabilidad de que dichos eventos ocurran en un lapso de un año. En términos probabilísticos, la PAE equivale a la esperanza matemática de las pérdidas anuales. Este cálculo es

esencial para comprender la magnitud potencial de las pérdidas en un escenario dado y proporciona una métrica clave en la evaluación de riesgos.

- **Prima Pura de Riesgo (PPR):** La PPR se obtiene al dividir el valor de la PAE entre el valor de reposición del activo. Esta prima indica el costo anual necesario para cubrir las pérdidas esperadas en un evento futuro. Suele expresarse en porcentaje o milésimas del valor de reposición. La PPR no solo ofrece una medida financiera crucial, sino que también sirve como guía para la asignación de recursos destinados a la gestión de riesgos, contribuyendo así a una planificación financiera más precisa y eficiente.
- **Curva de Excedencia de Pérdida (CEP):** La CEP representa la frecuencia promedio anual con la que una pérdida económica específica superará cierto umbral. Esta curva se erige como uno de los pilares fundamentales en el manejo de riesgos, proporcionando información esencial para la planificación estratégica y la asignación de recursos. La CEP se puede calcular a partir del mayor evento probable en un año, o de manera uniforme para todos los eventos posibles, en función de su periodo de retorno. Generalmente, el enfoque uniforme para considerar diversos eventos catastróficos a lo largo del año es el más usado, ofreciendo así una perspectiva más integral y realista de los posibles escenarios.
- **Pérdida Máxima Probable (Probable Maximum Loss - PML):** La PML refleja el valor máximo de pérdida en el portafolio para una tasa de excedencia específica. Esta métrica es crucial para evaluar hasta qué punto la entidad puede gestionar el riesgo y decide hasta qué punto mitigar pérdidas en un periodo de retorno determinado. La determinación de la PML es esencial para establecer límites prácticos y estratégicos en la gestión de riesgos, permitiendo una toma de decisiones informada y efectiva.

Asimismo, en complemento a la evaluación probabilística de las pérdidas económicas, resulta pertinente, en el contexto de una

gestión integral del riesgo y la reducción de vulnerabilidad, contemplar escenarios determinísticos de eventos naturales. Estos pueden incluir tanto eventos históricos como aquellos estocásticos generados a partir de la evaluación de la amenaza. Esta consideración adquiere especial relevancia en la formulación de planes de respuesta y atención de emergencias, así como en el análisis indicativo de las áreas con concentración de daños potenciales y personas afectadas (Cardona et al 2005).

## 7.4. Resultados

A continuación, se presentan los resultados claves derivados del análisis de riesgos asociados con eventos de viento e inundación. Para el caso particular de este Atlas y de acuerdo con los términos de referencia, solo se estiman la PAE, PPR y PML respectivamente.

### 7.4.1. Viento

La PAE total asociada a eventos de viento se estima en \$150,242,604 pesos mexicanos. Este valor representa la pérdida económica promedio anticipada anualmente debido a eventos de viento extremo en el área de estudio. La PPR total asociada a eventos de viento es del 0.5507%. Este porcentaje indica el costo anual, expresado como porcentaje del Valor Total de Reposición, necesario para cubrir las pérdidas esperadas debido a eventos de viento.

La tabla 7.4-1 ofrece una visión detallada de las pérdidas anuales esperadas, el valor total de reposición de los activos en riesgo y la prima pura de riesgo asociada con eventos de viento. De igual modo, se pueden apreciar los resultados desagregados por tipo de infraestructura donde es evidente que las mayores pérdidas se concentran en vivienda y comercio.

Tabla 7.4.1-1 Métricas de riesgo asociadas a eventos de viento.

Tipo	Viento		
	PAE (MXN)	Valor reposición (MXN)	PPR
Comercio	\$ 51,115,096	\$ 9,112,185,895	0.5610%
Escuela	\$ 4,149,997	\$ 762,138,558	0.5445%
Hospital	\$ 1,433,444	\$ 263,249,165	0.5445%
Puntos de interés	\$ 1,086,753	\$ 177,246,259	0.6131%
Vivienda	\$ 92,457,314	\$ 16,966,367,032	0.5449%
<b>Total</b>	<b>\$ 150,242,604</b>	<b>\$ 27,281,186,909</b>	<b>0.5507%</b>

Tabla 7.4.1-2 Métricas de riesgo asociadas a eventos de inundación.

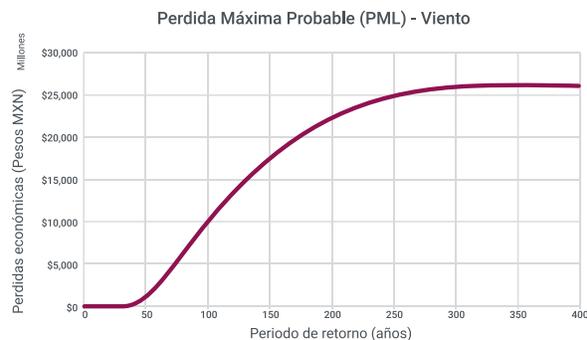
Tipo	Inundación		
	PAE (MXN)	Valor reposición (MXN)	PPR
Comercio	\$ 245	\$ 9,112,185,895	0%
Escuela	\$ -	\$ 762,138,558	0%
Hospital	\$ -	\$ 263,249,165	0%
Puntos de interés	\$ -	\$ 177,246,259	0%
Vía	\$ 179,478,653	\$ 12,262,345,342	1.4637%
Vivienda	\$ 4,529	\$ 16,966,367,032	0%
<b>Total</b>	<b>\$ 179,483,427</b>	<b>\$ 39,543,532,251</b>	<b>0.4539%</b>

La figura 7.4.1-1 presenta la curva de pérdida máxima probable (PML) asociada a eventos de viento. Esta curva es una herramienta esencial en la evaluación de riesgos, desempeñando un papel crítico en la planificación estratégica y la toma de decisiones relacionadas con la gestión de eventos extremos.

## 7.4.2. Inundación

La PAE total relacionada con eventos de inundación es de \$179,483,427. Este valor indica la pérdida económica esperada anualmente debido a eventos de inundación. La PPR total en relación con eventos de inundación es del 0.4539%. Este porcentaje representa el costo anual, expresado como porcentaje del Valor Total de Reposición, requerido para mitigar las pérdidas anticipadas por inundación.

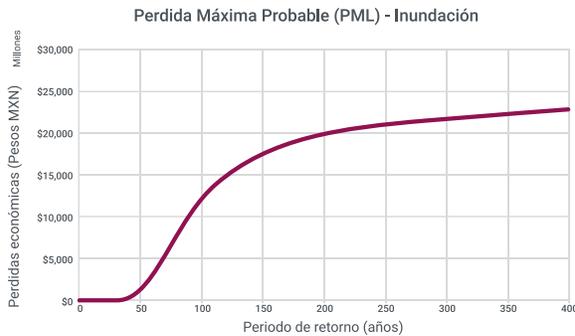
Figura 7.4.1-1 Curva de Pérdida Máxima Probable (PML) para viento



La tabla 7.4.1-2 ofrece una visión detallada de las pérdidas anuales esperadas, el valor total de reposición de los activos en riesgo y la prima pura de riesgo asociada con eventos de inundación. De igual modo, se pueden apreciar los resultados desagregados por tipo de infraestructura donde es evidente que las mayores pérdidas se concentran en vías.

De igual modo, la figura 6.3 contiene la curva de pérdida máxima probable (PML) asociada a eventos de inundación.

**Figura 7.4.1-2 Curva de Pérdida Máxima Probable (PML) para inundación**



La importancia de la curva de pérdida máxima probable (PML) radica en su capacidad para ofrecer una visión detallada y cuantificada de los escenarios extremos, permitiendo a las entidades entender las posibles magnitudes de pérdida en situaciones adversas. Además, la PML guía la asignación de recursos, la formulación de estrategias de mitigación y la determinación de límites prácticos en la gestión de riesgos. Al proporcionar una evaluación cuantitativa de la exposición financiera, la Curva de PML se convierte en una herramienta invaluable para la toma de decisiones informada, fortaleciendo la resiliencia y la preparación ante eventos catastróficos.

### 7.4.3. Mapas de distribución de pérdidas económicas

A continuación, se presentan los de distribución de pérdidas económicas para los fenómenos de viento e inundación para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 250 y 500 años. Por inspección visual, es posible identificar lo siguiente:

#### 7.4.3.1. Viento por huracán

1. A medida que el periodo de retorno crece, las pérdidas también lo hacen.
2. Si bien es cierto que gran parte de los sistemas estructurales tienen un sistema resistente de concreto, mampostería o un sistema dual, el municipio tiene una topografía prácticamente plana. Por lo que, es esperado que las ráfagas de viento

huracanado no disminuyan por la presencia de obstáculos previo al impacto con los inmuebles. Esto se ve representado en la distribución espacial de pérdidas ya que, inclusive en periodos de retorno bajos (<50 años), los inmuebles cercanos a la costa presentan algún tipo de daño.

La distribución espacial de pérdidas por viento ha mostrado ser congruente con la topografía de la zona y los sistemas estructurales presentes en el municipio. Sin embargo, es necesario considerar que, dadas experiencias recientes en nuestro país como es el caso del Huracán Otis, los sistemas estructurales no son los únicos que presentan daños. Es necesario considerar en trabajos futuros pérdidas en elementos no estructurales y contenidos. Esto sin mencionar la pérdida de operatividad y consecuencias de carácter social.

#### 7.4.3.2. Inundación

1. De la misma manera que en el caso de viento por huracán, la tendencia indica en inundación que a medida que el periodo de retorno crece, las pérdidas también lo hacen.
2. Si bien es cierto que los tirantes de inundación podrían alcanzar los 4 metros de altura en algunos casos (e.g.,  $T_r=500$  años), los sistemas estructurales no necesariamente tendrán un daño, por lo que es esperado que, en los diferentes portafolios de edificaciones, los valores de pérdidas sean prácticamente sean nulos. Sin embargo, en el caso particular de vías, los tirantes de inundación que impidan el tránsito en esencia son una pérdida completa. Por lo que, nuevamente, se prevé que las vías tengan valores de PAE altos.

En el caso particular de inundación, se debe recalcar que las pérdidas únicamente consideran los daños al sistema resistente. Sin embargo, se prevé que estos valores puedan cambiar de manera sustancial al considerar elementos no estructurales y contenidos. Esto aunado de la pérdida de operatividad, interrupción de negocios y problemas sociales.

Figura 7.4.3.1-1 Mapa de distribución pérdidas económicas por viento huracanado para un periodo de retorno de 2 años en Cozumel, México.

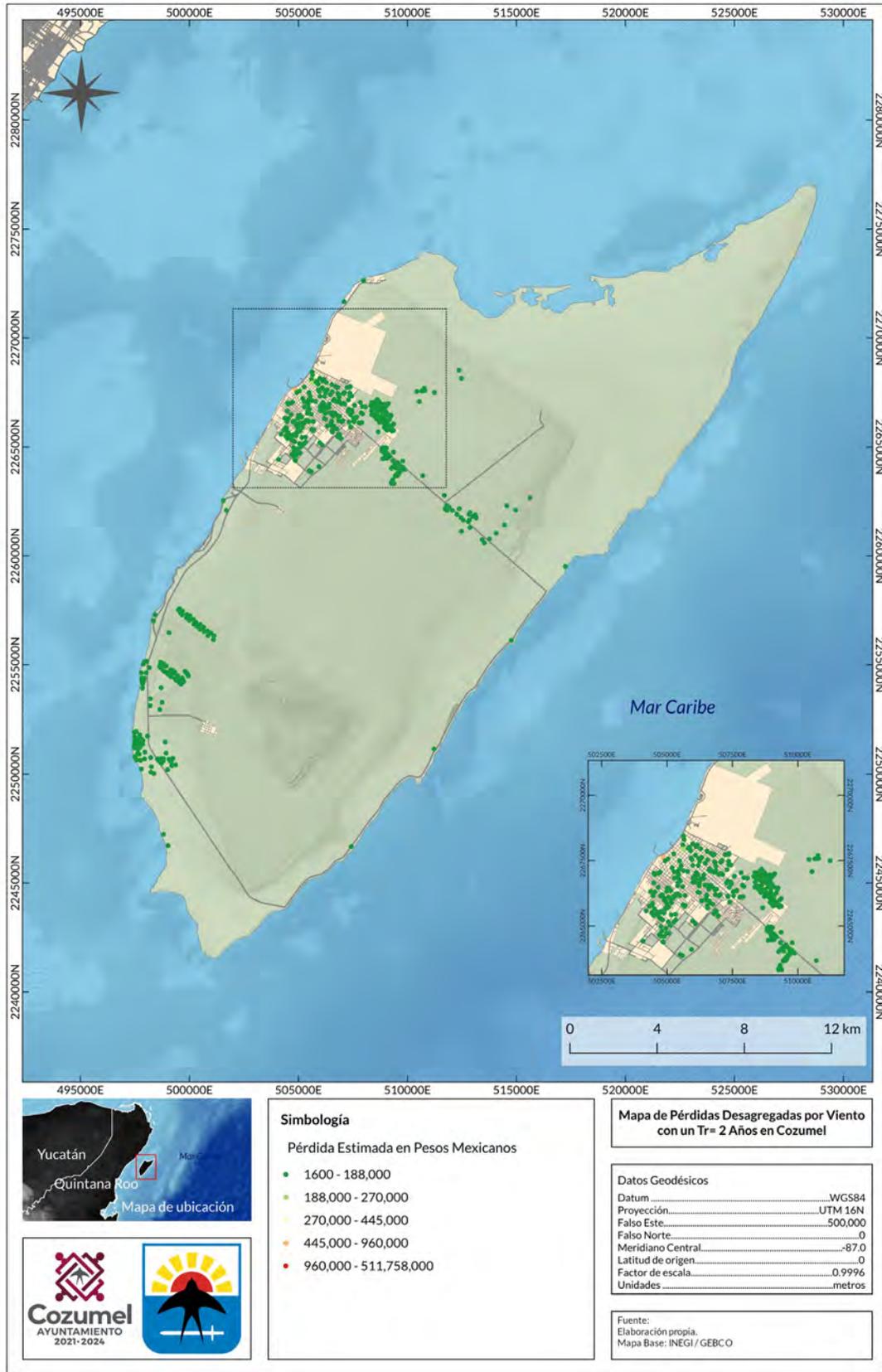


Figura 7.4.3.1-2 Mapa de distribución pérdidas económicas por viento huracanado para un periodo de retorno de 5 años en Cozumel, México.

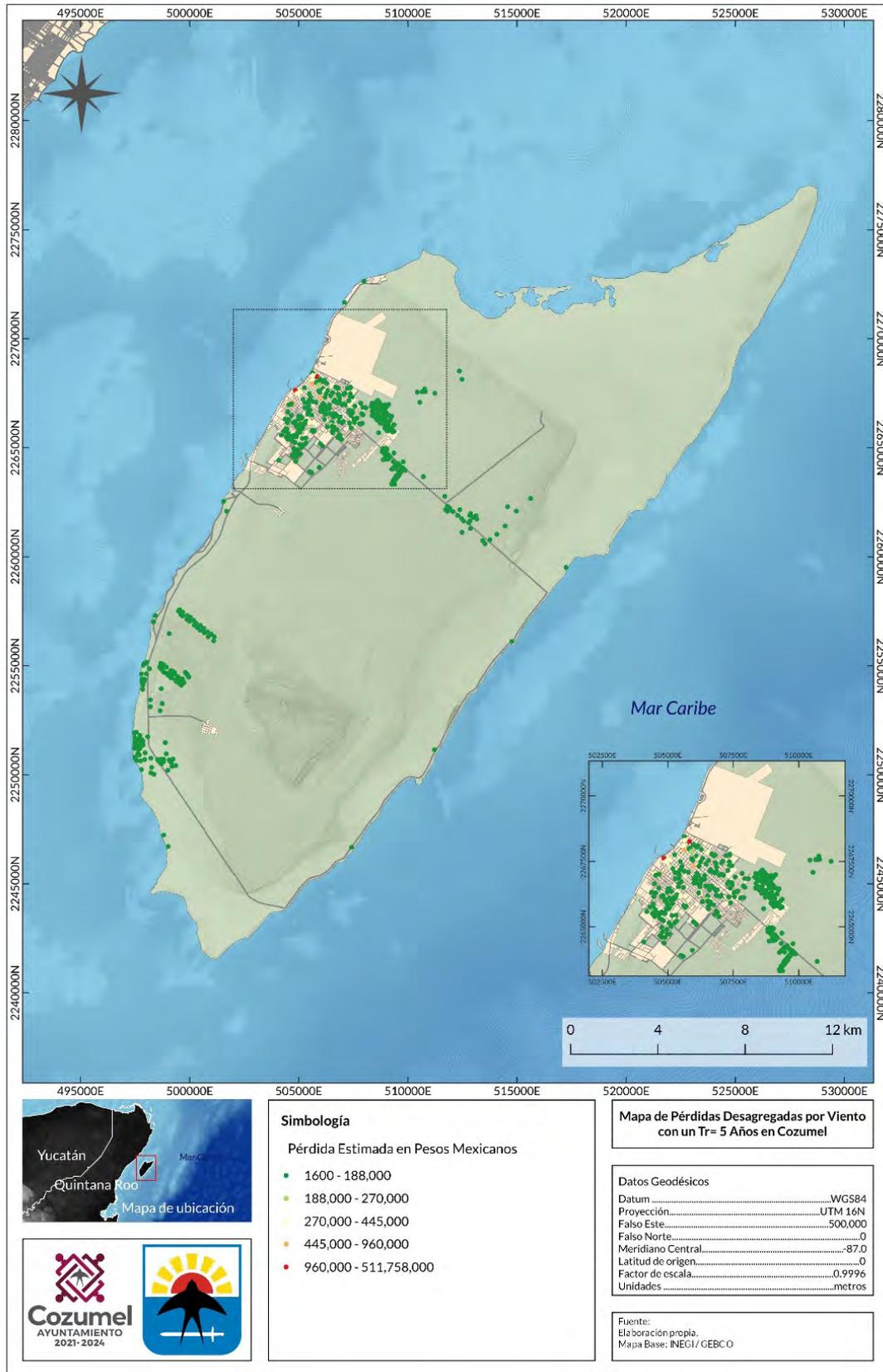


Figura 7.4.3.1-3 Mapa de distribución pérdidas económicas por viento huracanado para un periodo de retorno de 10 años en Cozumel, México.

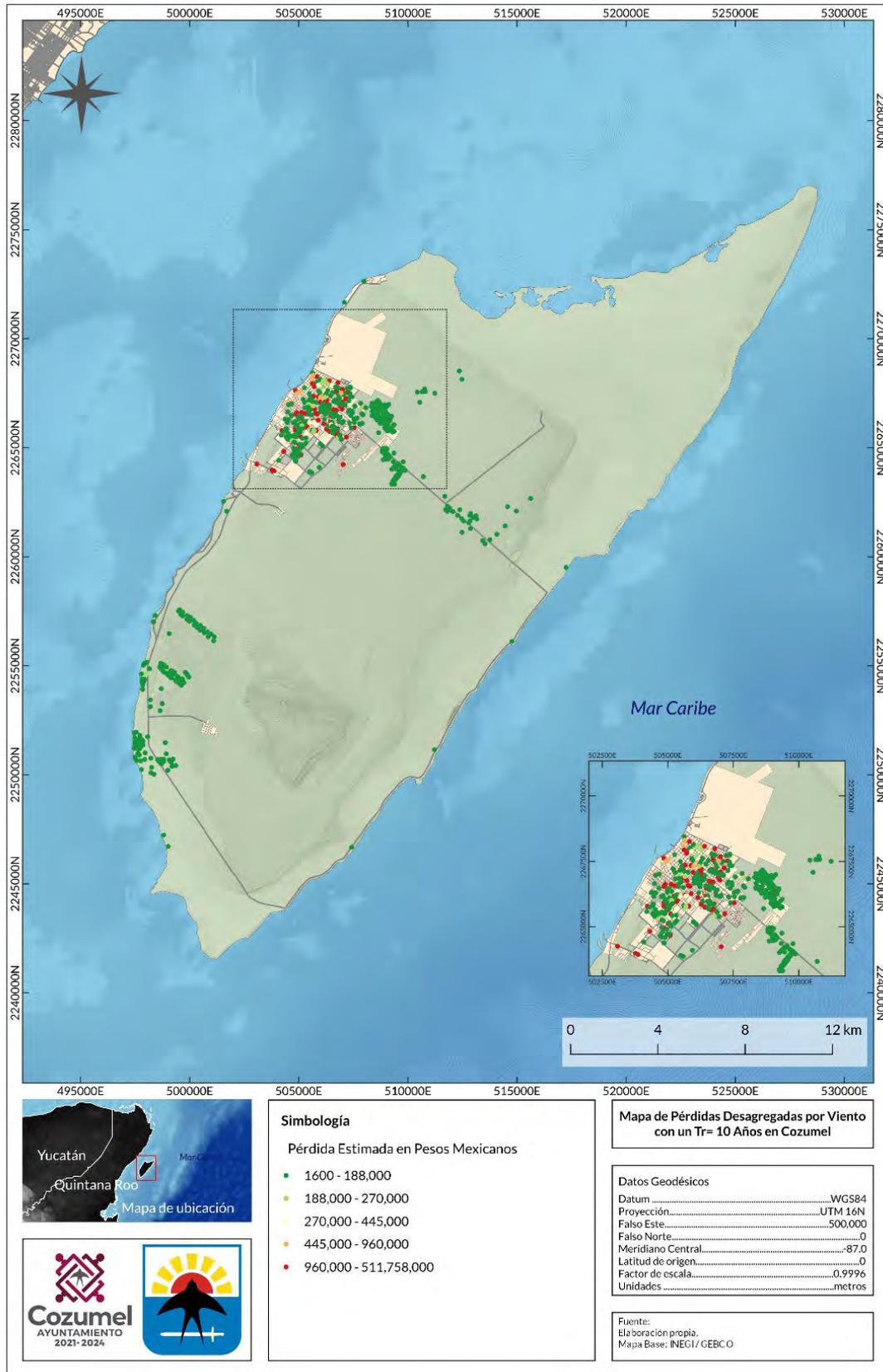


Figura 7.4.3.1-4 Mapa de distribución pérdidas económicas por viento huracanado para un periodo de retorno de 25 años en Cozumel, México.

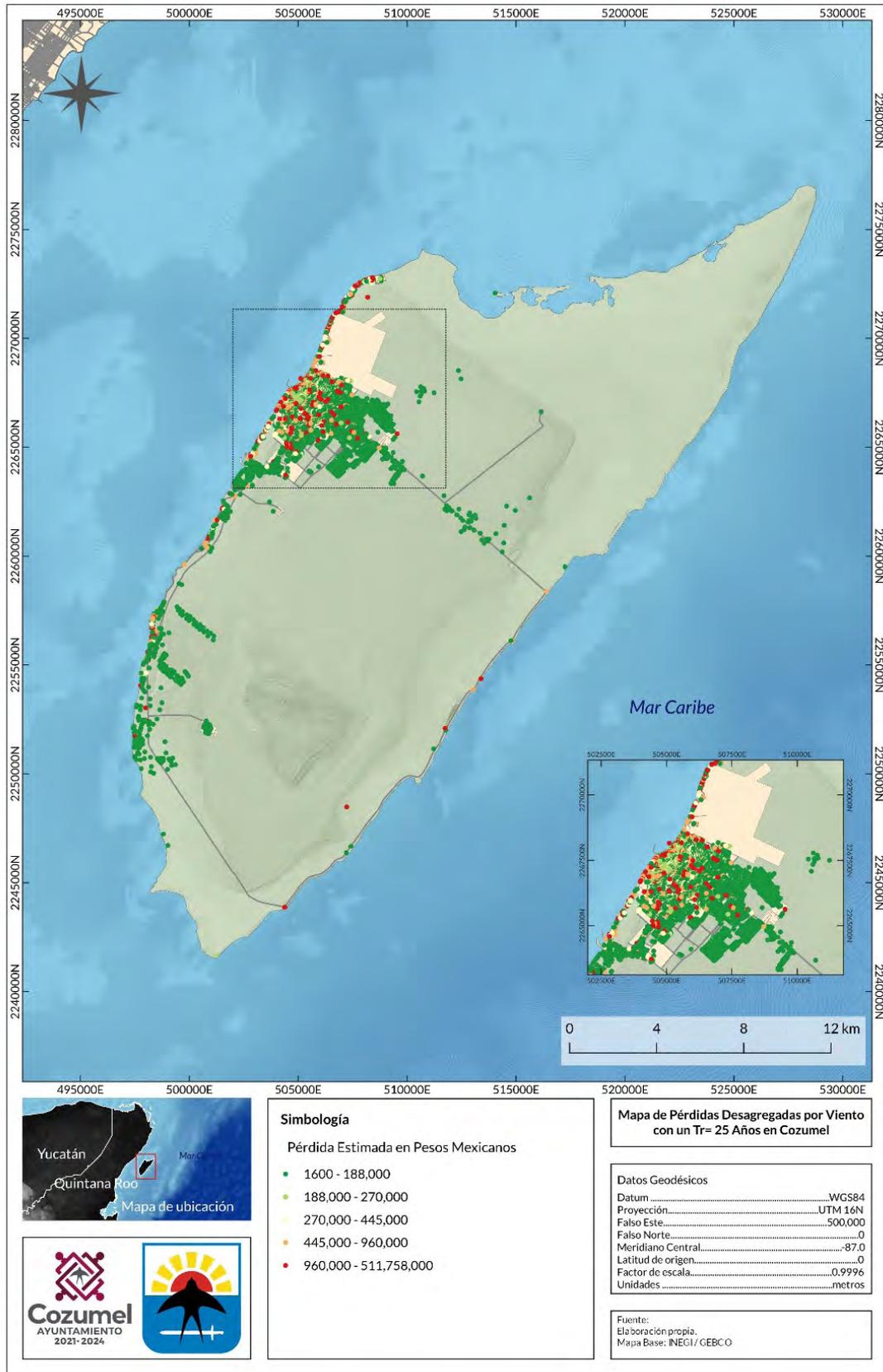


Figura 7.4.3.1-5 Mapa de distribución pérdidas económicas por viento huracanado para un periodo de retorno de 50 años en Cozumel, México.

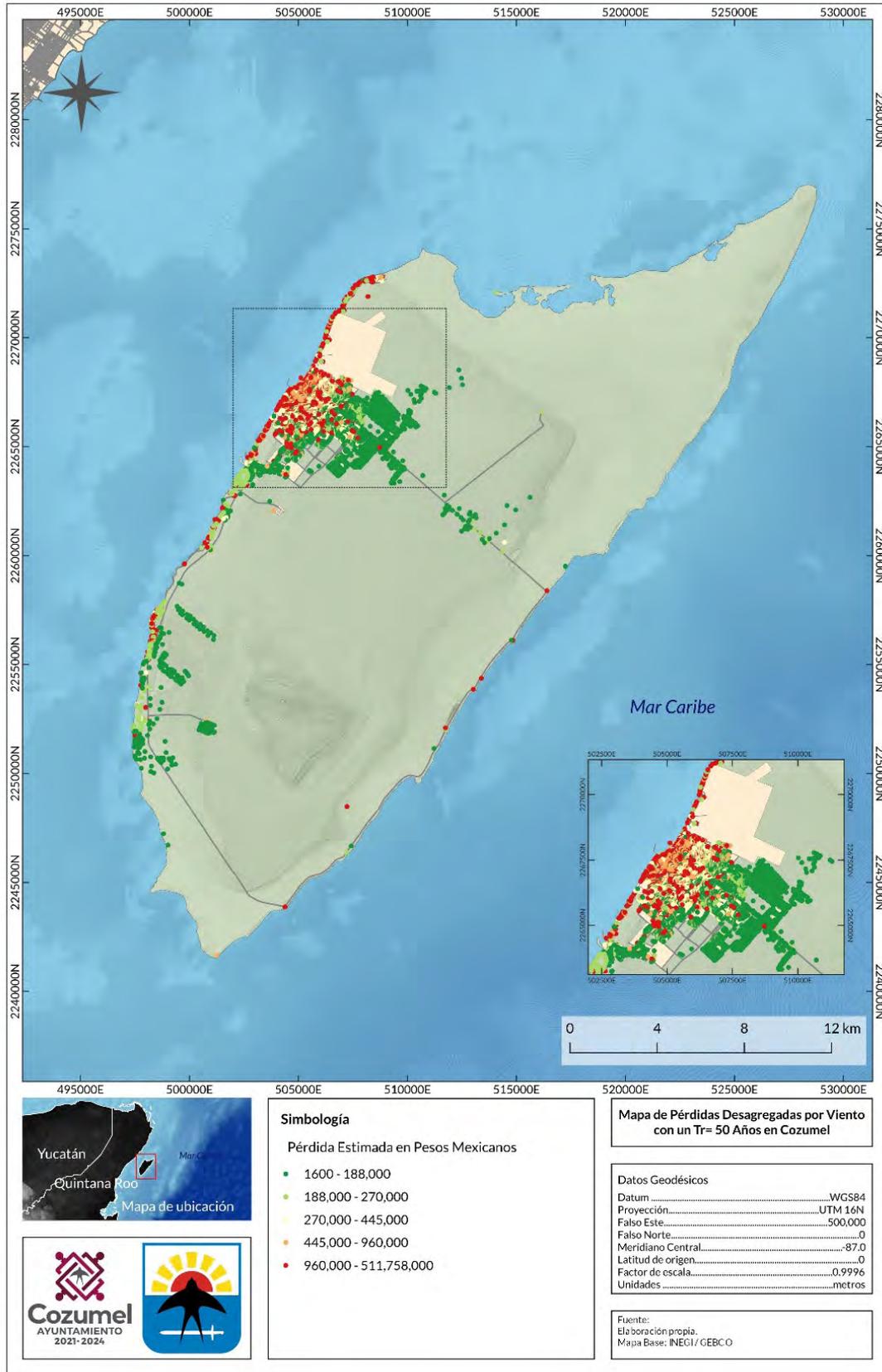


Figura 7.4.3.1-6 Mapa de distribución pérdidas económicas por viento huracanado para un periodo de retorno de 100 años en Cozumel, México.

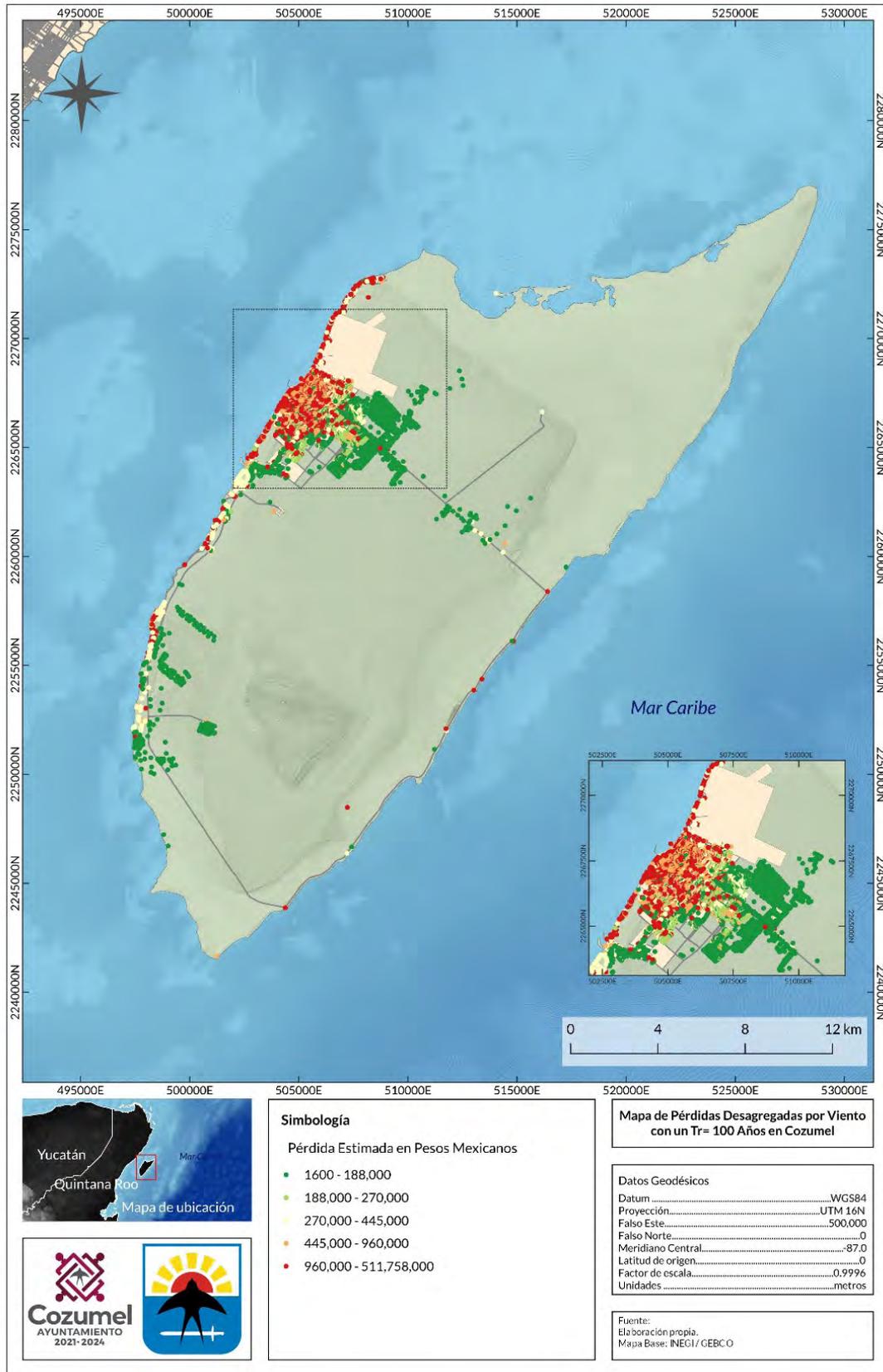


Figura 7.4.3.1-7 Mapa de distribución pérdidas económicas por viento huracanado para un periodo de retorno de 250 años en Cozumel, México.

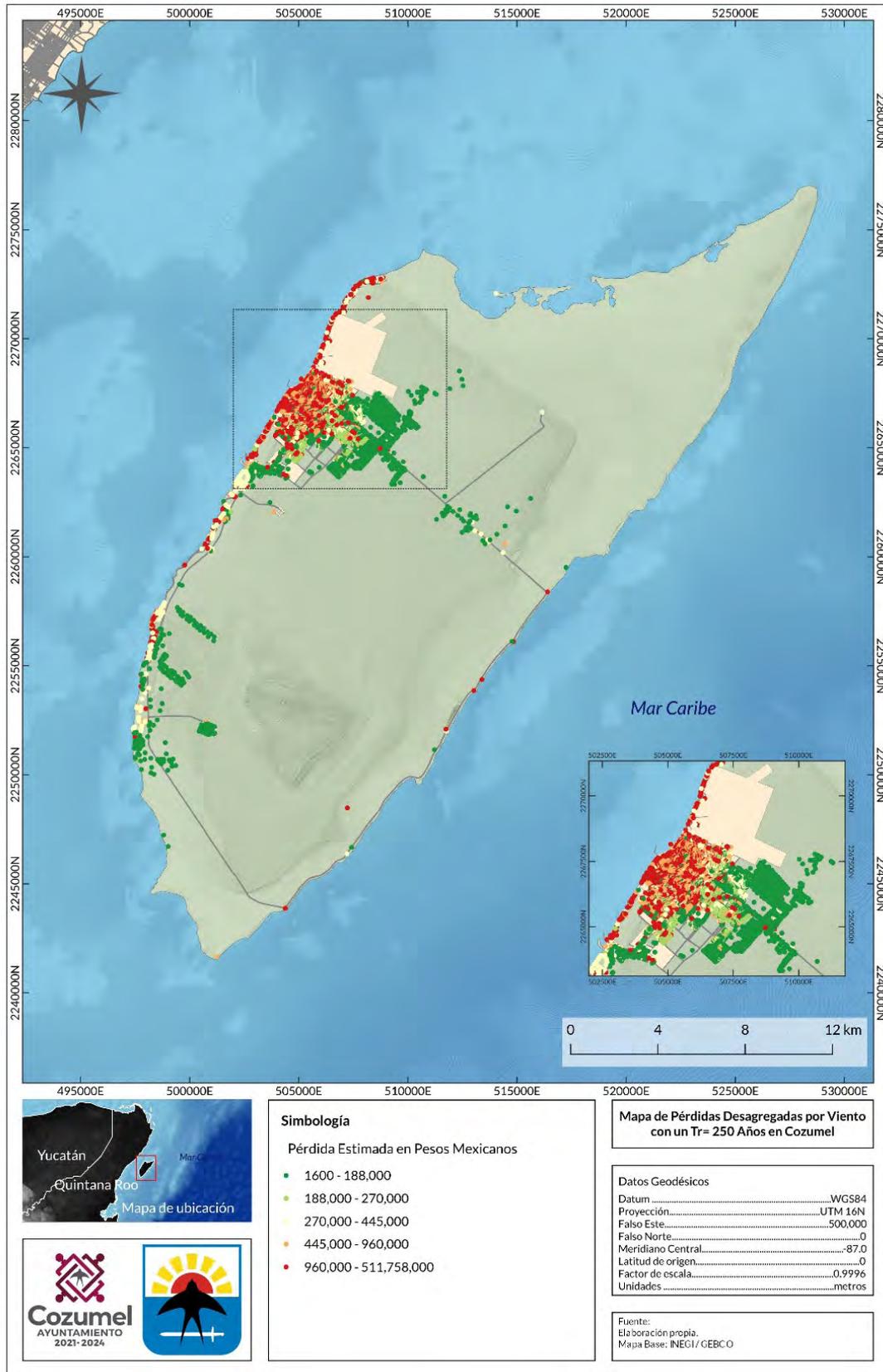


Figura 7.4.3.1-8 Mapa de distribución pérdidas económicas por viento huracanado para un periodo de retorno de 500 años en Cozumel, México.

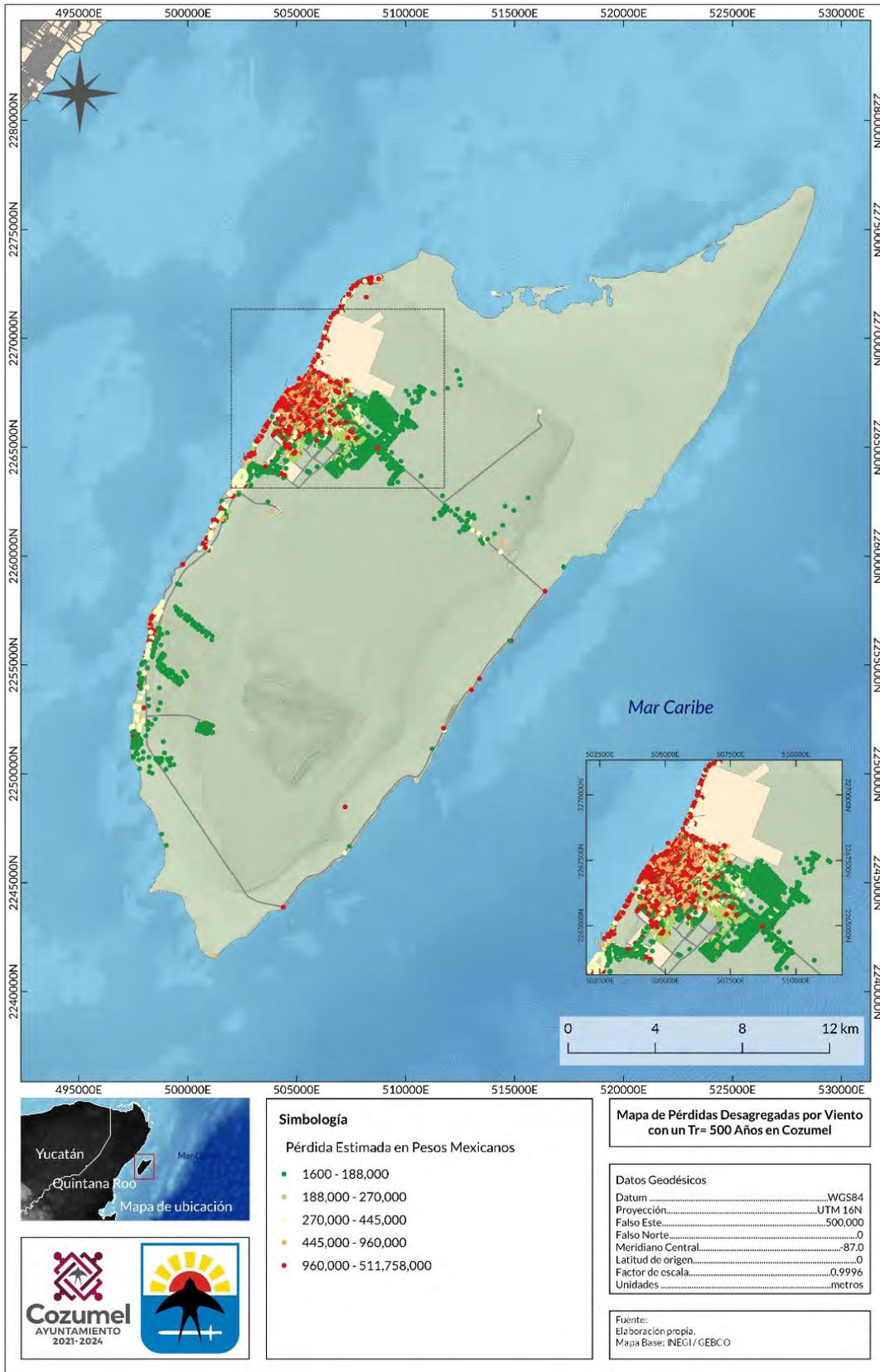


Figura 7.4.3.2-1 Mapa de distribución pérdidas económicas por inundación para un periodo de retorno de 2 años en Cozumel, México.

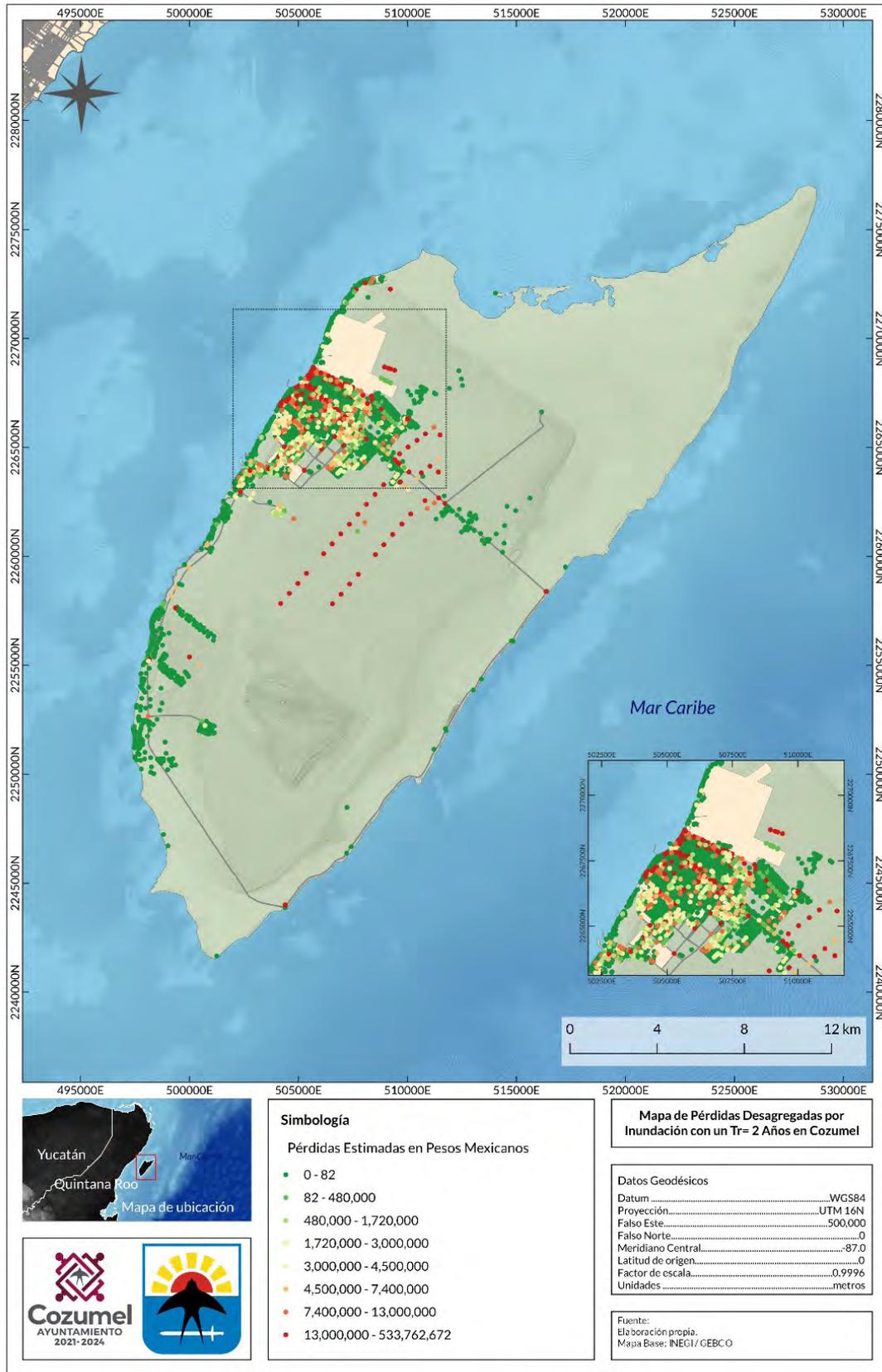


Figura 7.4.3.2-2 Mapa de distribución pérdidas económicas por inundación para un periodo de retorno de 5 años en Cozumel, México.

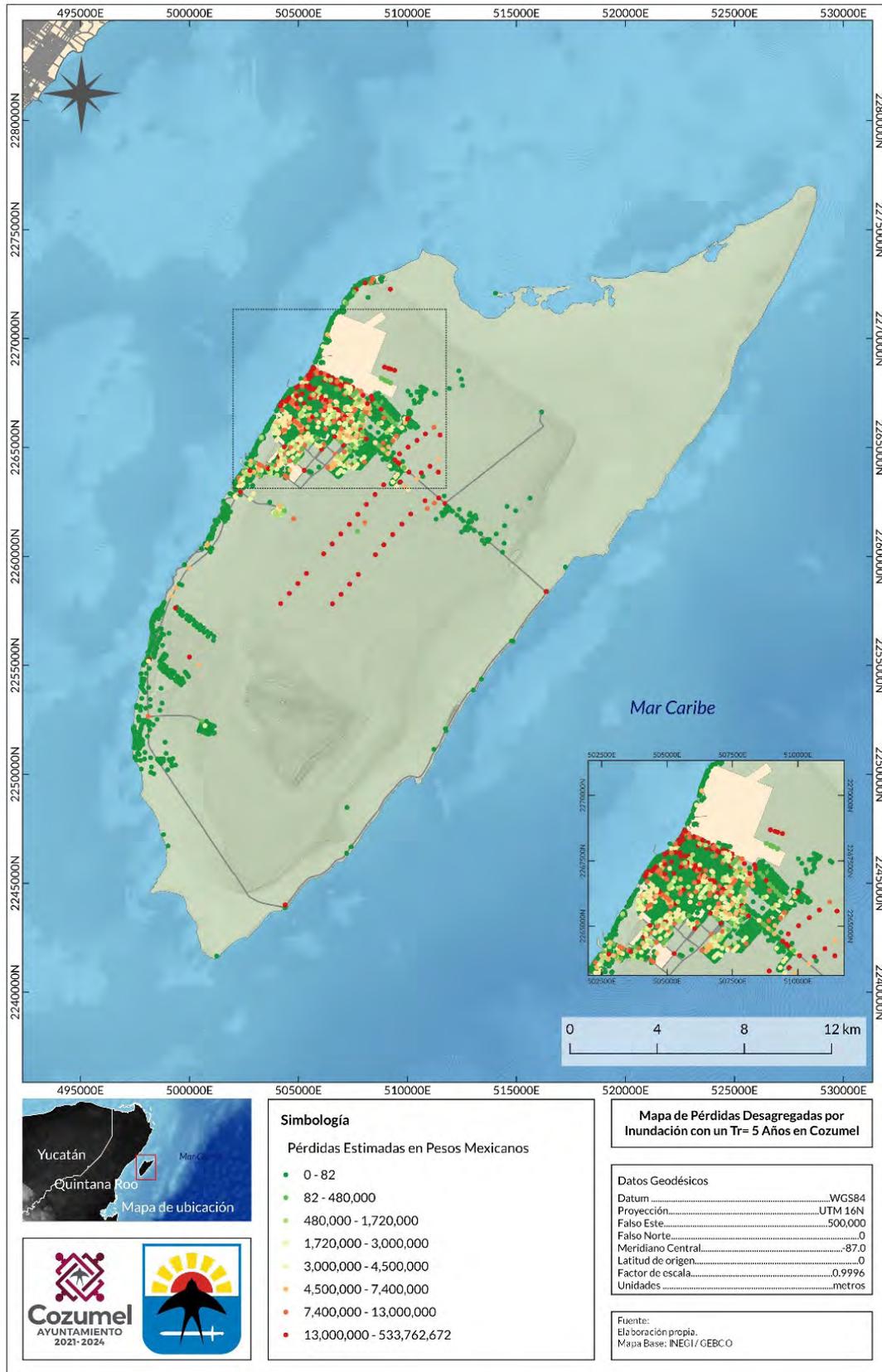


Figura 7.4.3.2-3 Mapa de distribución pérdidas económicas por inundación para un periodo de retorno de 10 años en Cozumel, México.

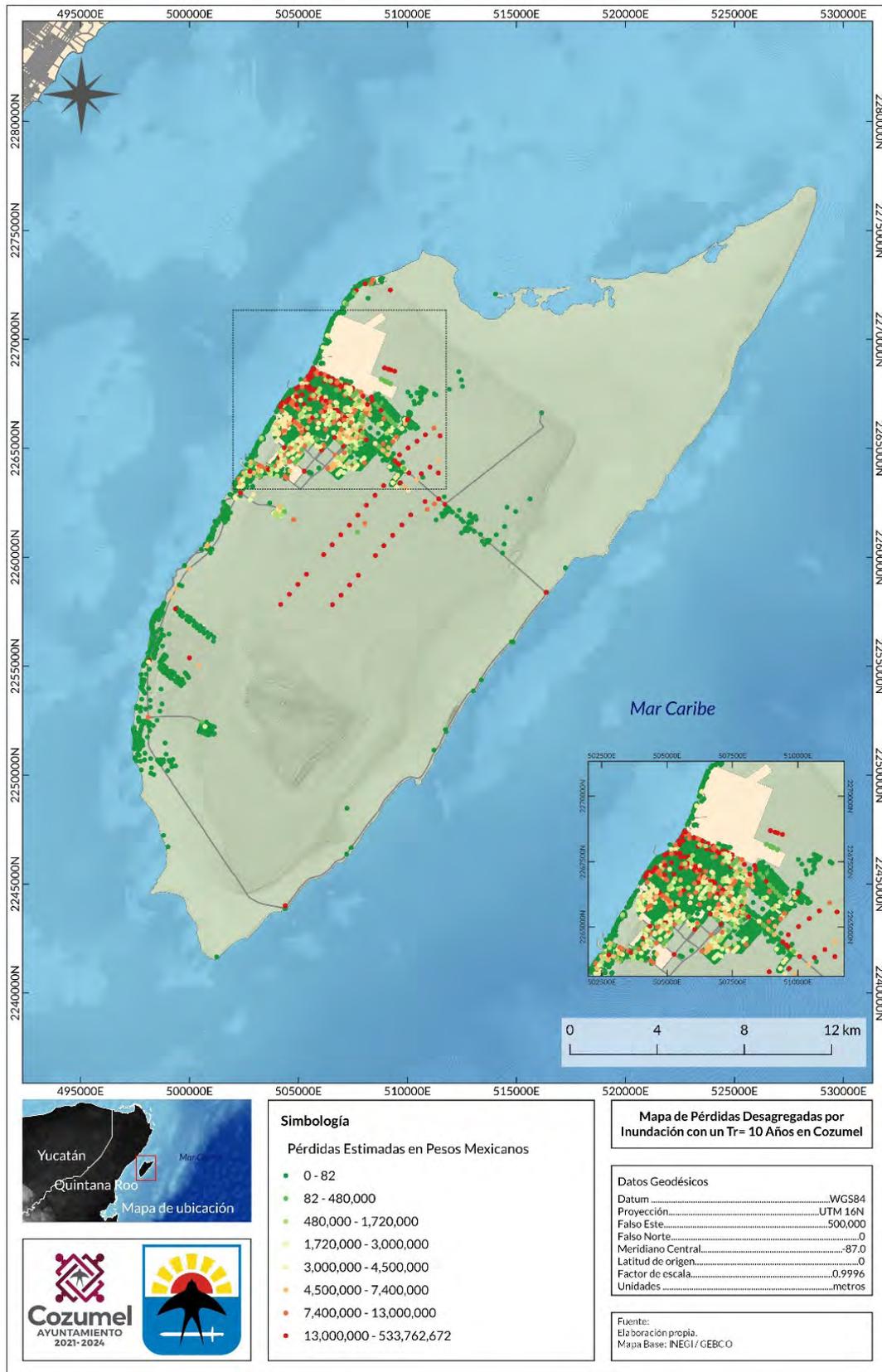


Figura 7.4.3.2-4 Mapa de distribución pérdidas económicas por inundación para un periodo de retorno de 25 años en Cozumel, México.

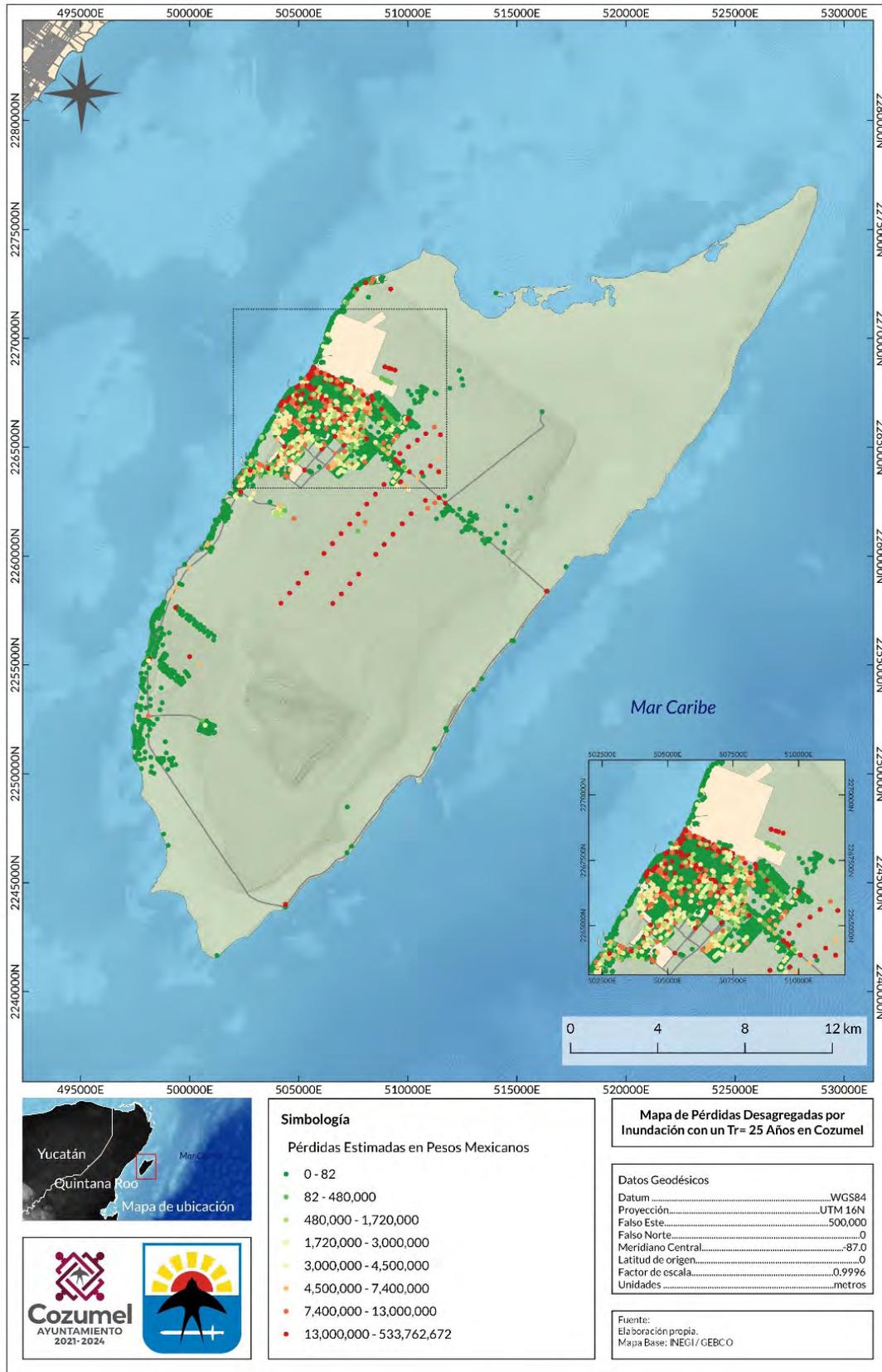


Figura 7.4.3.2-5 Mapa de distribución pérdidas económicas por inundación para un periodo de retorno de 50 años en Cozumel, México.

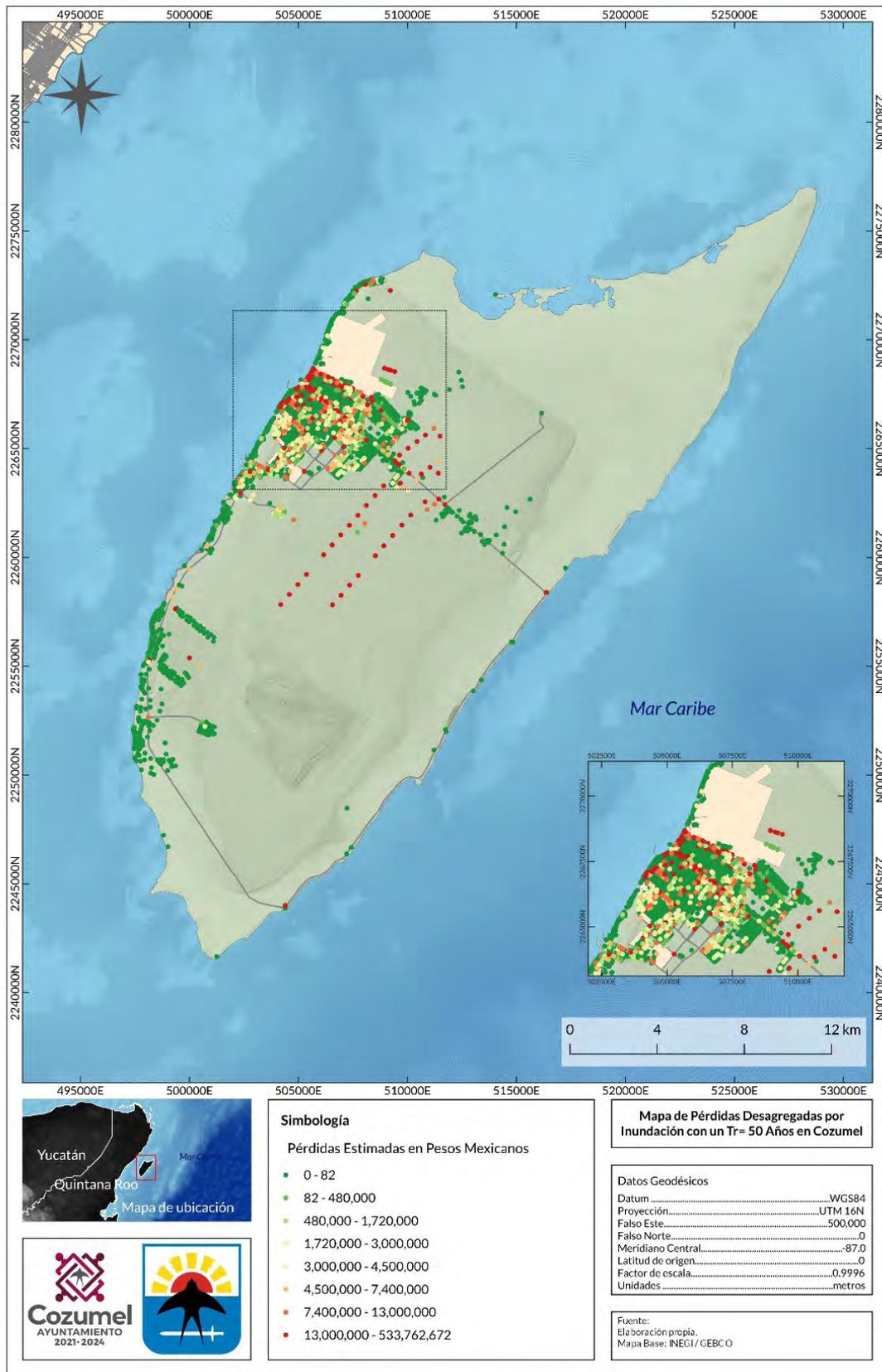


Figura 7.4.3.2-6 Mapa de distribución pérdidas económicas por inundación para un periodo de retorno de 100 años en Cozumel, México.

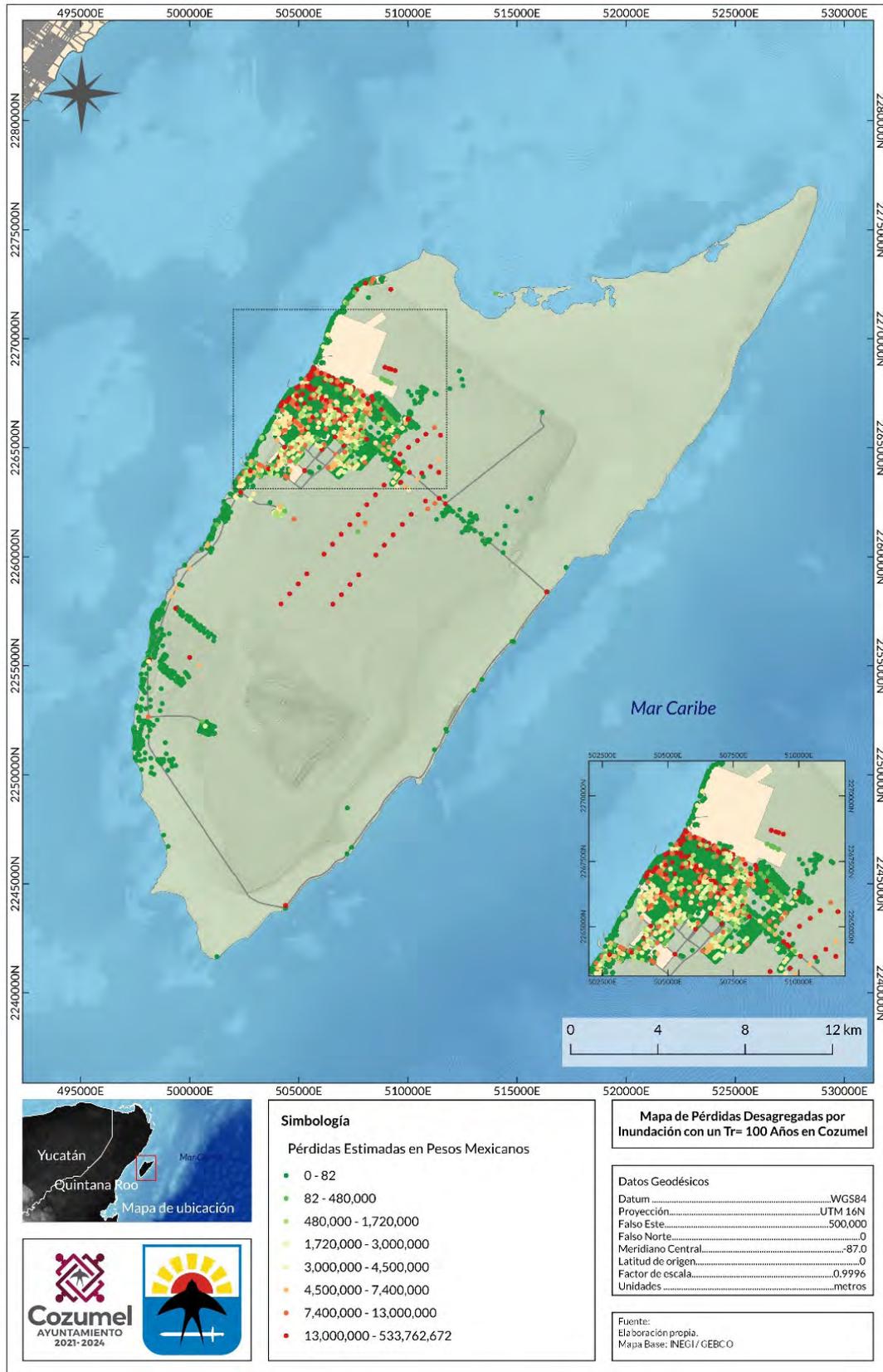


Figura 7.4.3.2-7 Mapa de distribución pérdidas económicas por inundación para un periodo de retorno de 250 años en Cozumel, México.

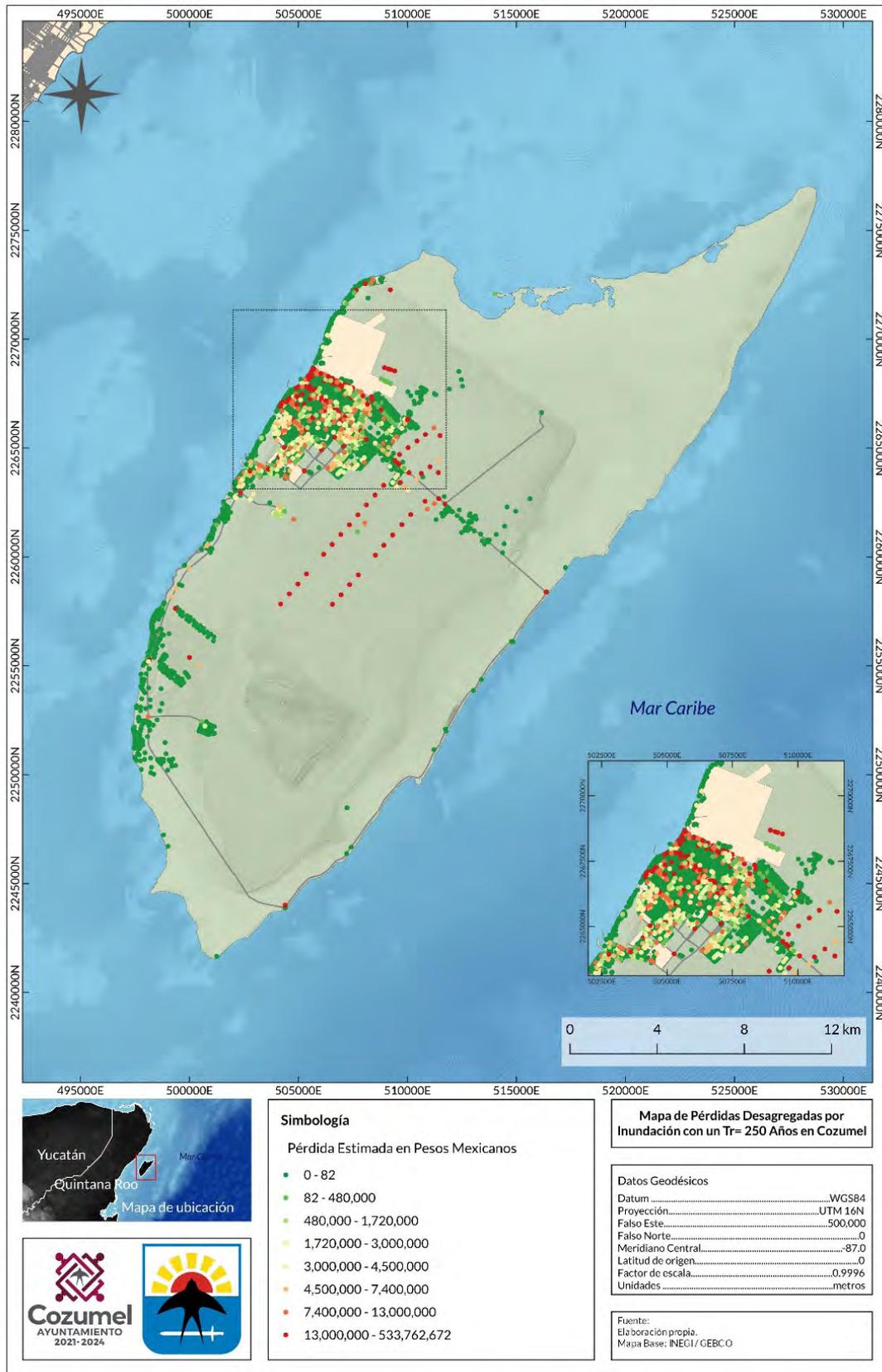
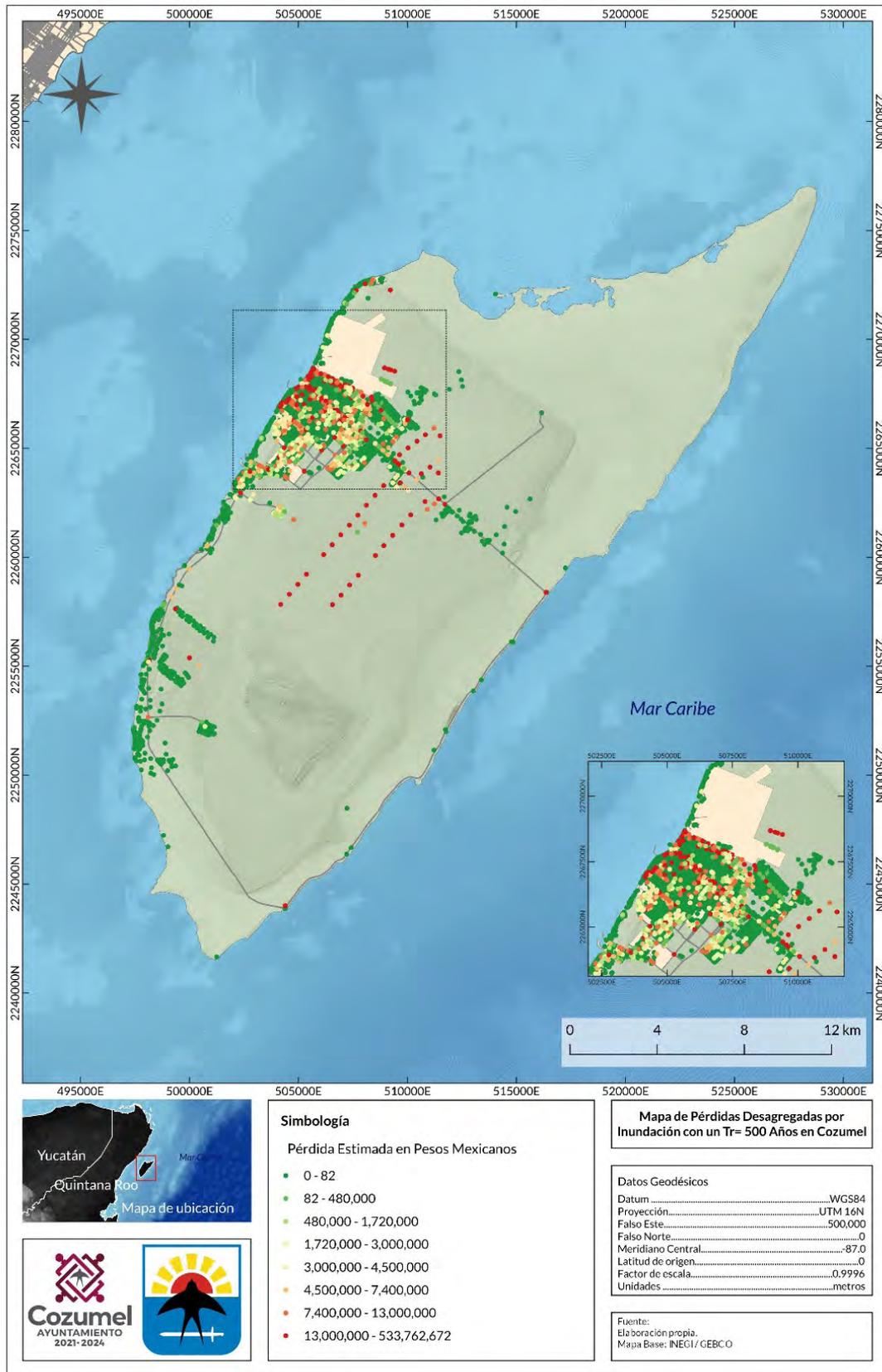


Figura 7.4.3.2-8 Mapa de distribución pérdidas económicas por inundación para un periodo de retorno de 500 años en Cozumel, México.



## BIBLIOGRAFÍA

- Agua.org.mx. (n.d.). Contaminación en México. Retrieved November 29, 2023, from <https://agua.org.mx/agua-contaminacion-en-mexico/>
- Allen, T. I., & Hayes, G. P. (2017). Alternative Rupture-Scaling Relationships for Subduction Interface and Other Offshore Environments. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107(3), 1240–1253. <https://doi.org/10.1785/0120160255>
- API QROO. (2023). *Cruceros\_API*. Septiembre.
- Aránguiz, R., CIGIDEN, C., JICA, J., ONEMI, C., Pontificia Universidad Católica, C., & Dirección de Obras Portuarias del Ministerio de Obras Públicas, C. (2016). *Guía para la Estimación de Peligro de Tsunami*.
- Arcos Serrano, M. E., & Izcapa Treviño, C. (2003). *Identificación de peligros por almacenamiento de sustancias químicas en industrias de alto riesgo en México (1a ed.)*. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). [http://centro.paot.org.mx/documentos/cenapred/sustancias\\_quimicas.pdf](http://centro.paot.org.mx/documentos/cenapred/sustancias_quimicas.pdf)
- Ayuntamiento de Cozumel. (2011). *Atlas de Riesgos del Municipio de Cozumel*.
- Ayuntamiento de Cozumel. (2021). *Plan Municipal de Desarrollo 2021-2024*.
- Ayuntamiento de Cozumel. (2023, August 1). *Continúa el programa de descacharrización permanente y se presenta el calendario para el mes de agosto*. <https://cozumel.gob.mx/prensa/continua-el-programa-de-descacharrizacion-permanente-y-se-presenta-el-calendario-para-el-mes-de-agosto/>
- Badillo, D. (2023). <https://www.gaceta.unam.mx/dengue-en-mexico-tema-de-salud-publica/>. *El Economista*. <https://www.economista.com.mx/estados/Dengue-en-Mexico-se-dispara-20231013-0096.html>
- Bezaury-Creel, J. E., Escobar-Briones, E., Schill, S., Torres, J. F., Molina-Islas, C., García-López, A. L., Pedrín Osuna, O., Jiménez-Hernández, M. A., Beck, M., & March-Misfut, I. (2011). *ESTUDIO PREVIO JUSTIFICATIVO PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL ÁREA NATURAL PROTEGIDA -Reserva de la Biosfera Submarina del Caribe Mexicano 2011*. <https://iefectividad.conanp.gob.mx/i-efectividad/PYyCM/RB%20Caribe%20Mexicano/1.%20CONTEXTO%20Y%20PLANEACI%C3%93N%20RBCM/9.%20RECURSOS%20NATURALES/1.%20TNC%20EPJ%20Caribe%20Mexicano.pdf>

- Cardona, O. D., Eduardo, Y. L., Bernal, G. A., Ordaz, M. G., Reinoso, E., Barbat, A., & Carreño, M. L. (2005). Metodología de Modelación Probabilista de riesgos naturales. Informe Técnico ERN-CAPRA-T1-7, Informe Técnico ERNCAPRA.
- CAT-SEMAR. (2020). Boletín Informativo Numero 001. <https://digaohm.semar.gob.mx/cat/Boletines.html>
- CCC. (2023). Programa de Gestión del Comité de Cuenca de Cozumel (CCC) 2023-2027.
- CENAPRED. (n.d.). Series especiales. Impacto Socioeconómico de Los Desastres En México 1999-2021. Retrieved November 15, 2023, from <https://www.cenapred.unam.mx/PublicacionesWebGobMX/buscaindex>
- CENAPRED. (2005). Fascículo "Tsunamis." In Fascículo "Tsunamis."
- CENAPRED. (2006). Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y riesgos, Fenómenos Geológicos.
- CENAPRED. (2008). Guía practica sobre Riesgos Químicos (2nd ed.). [http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/373/1/images/guiap\\_rq.pdf](http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/373/1/images/guiap_rq.pdf)
- CENAPRED. (2016). Guía Práctica sobre Riesgos Químicos. <https://www.gob.mx/cenapred/documentos/serie-de-fasciculos-riesgos-quimicos>
- CICY. (2023). Tarjeta de reporte de cenotes urbanos de Cozumel. <https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/sitios/Divulgacion/Articulos/2023/Tarjeta-de-reporte-cenotes-Cozumel.pdf>
- CONANP. (2023). Estudio previo justificativo para la Declaratoria del Área Natural Protegida Área de Protección de Flora y Fauna Cenote Aerolito. Cozumel, Quintana Roo, México. <https://www.conanp.gob.mx/pdf/separata/EPJ-APFF-CenoteAerolito.pdf>
- CONEVAL. (n.d.). Medición de la pobreza. Glosario. El Consejo Nacional de Evaluación de La Política de Desarrollo Social (CONEVAL). Retrieved October 29, 2023, from <https://www.coneval.org.mx/Medicion/paginas/glosario.aspx>
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2020). IRS\_loc\_interior\_entidades\_2020. [https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Indice\\_de\\_Rezago\\_Social\\_2020\\_anexos.aspx](https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Indice_de_Rezago_Social_2020_anexos.aspx)
- Consortio Ambiental y de Servicios S.A. de C.V. (2009). Atlas Municipal de Riesgos por Fenómenos Químicos del municipio de Zapopan, Jalisco. <https://www.iieg.gob.mx/contenido/GeografiaMedioAmbiente/ATLAS%20FENOMENOS%20QUIMICOS%20ZAPOPAN%202009.pdf>

- Contreras-Tax, A. F., Martínez, O. F., & Yam, W. D. U. (2021). Groundwater quality in a karstic zone of the island of Cozumel, Quintana Roo, MEXICO.
- Coordinación General de Comunicación, Q. R. (2020). Quintana Roo activó sus protocolos de seguridad ante sismo en el Caribe. <https://cgc.qroo.gob.mx/quintana-roo-activo-sus-protocolos-de-seguridad-ante-sismo-en-el-caribe-adrian-martinez-ortega/#:~:text=Chetumal.,la%20COEPROC%2C%20Adri%C3%A1n%20Mart%C3%ADnez%20Ortega>.
- Cornell, A. (1968). Engineering Seismic Risk Analysis . Bulletin of the Seismological Society of America, 58, 1583–1606.
- DATA MÉXICO. (2020). Cozumel Recursos de Salud por subcategoría (Médicos). [https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/cozumel?healthSubcategories=doctors&yearResourcesEsp=healthYear\\_2020](https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/cozumel?healthSubcategories=doctors&yearResourcesEsp=healthYear_2020)
- DGE. (2023). Datos Abiertos Dirección General de Epidemiología. <https://www.gob.mx/salud/documentos/datos-abiertos-152127>
- ACUERDO por el que se emite la guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos., (2016).
- DIGAOHM. (n.d.). San Miguel de Cozumel, Quintana Roo. Retrieved October 25, 2023, from <https://digaohm.semarnat.gob.mx/cuestionarios/cnarioCozumel.pdf>
- Dirección de Catastro del municipio de Cozumel. (2023). Información de Catastro del municipio de Cozumel (Issue Información de Catastro).
- Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, (1988). <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, (2003). [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/131748/23\\_LEY\\_GENERAL\\_PARA\\_LA\\_PREVENCION\\_Y\\_GESTION\\_INTEGRAL\\_DE\\_LOS\\_RESIDUOS.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/131748/23_LEY_GENERAL_PARA_LA_PREVENCION_Y_GESTION_INTEGRAL_DE_LOS_RESIDUOS.pdf)
- DOF. (2007). Norma Oficial Mexicana NOM147-SEMARNAT/SSA1-2004. Diario Oficial de la Federación (DOF). [https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1392/1/nom-147-semarnat\\_ssa1-2004.pdf](https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1392/1/nom-147-semarnat_ssa1-2004.pdf)
- DOF. (2009). Acuerdo por el que se da a conocer la ubicación geográfica de 371 acuíferos del territorio nacional, se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de 282 acuíferos, y se modifica, para su mejor precisión, la descripción geográfica de 202 acuíferos. Diario Oficial de la Federación, DOF.

- DOF. (2013a). Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales subterráneas del acuífero isla de Cozumel, clave 2305, Estado de Quintana Roo. In Diario Oficial de la Federación (DOF). [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5299571&fecha=21/05/2013#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5299571&fecha=21/05/2013#gsc.tab=0)
- DOF. (2013b). Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012. Diario Oficial de la Federación (DOF). <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6646/1/nom-138-semarnat.ssa1-2012.pdf>
- DOF. (2016). Acuerdo por el que se emite la guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos.
- DOF. (2019). Norma Oficial Mexicana NOM-172-SEMARNAT-2019, Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud. Diario Oficial de la Federación (DOF). [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5579387&fecha=20/11/2019#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5579387&fecha=20/11/2019#gsc.tab=0)
- DOF. (2023). Decreto por el que se declara área natural protegida Cenote Aerolito. In Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación (SIMEC). [https://simec.conanp.gob.mx/pdf\\_decretos/207\\_decreto.pdf](https://simec.conanp.gob.mx/pdf_decretos/207_decreto.pdf)
- EM - DAT. (2023). EM-DAT - The international disaster database. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED).
- Esteva, L. (1968). Criterios para la construcción de espectros de diseño sísmico. Serie Azul Del Instituto de Ingeniería, UNAM, 198.
- European Climate Assessment and Dataset. (2022). KNMI Climate Explorer. <https://climexp.knmi.nl/start.cgi?id=>
- Ezcurra, E., Chávez, E., Martínez, C., Rodríguez, A., González, A., & López-Portillo, J. (1985). Evaluación del impacto de un proyecto hotelero en el área de la Laguna de Colombia, Cozumel, Quintana Roo (Instituto de Ecología (no publicado), Ed.).
- FAO. (2018). La contaminación de los suelos está contaminando nuestro futuro. <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1126977/#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20del%20suelo%20provoca,un%20desequilibrio%20de%20sus%20nutrientes.>
- Fidalgo. (1995). NTP 395: La conducta humana ante situaciones de emergencia: la conducta colectiva.
- Flora, F. y C. de M. (2021). Cozumel, dunas costeras y manglares. Flora, Fauna y Cultura de México.
- Flores Corona, L. (2006). Guía básica para elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos : evaluación de la vulnerabilidad

física y social. Secretaría de Gobernación. [https://pcivil.michoacan.gob.mx/wp-content/uploads/2018/02/Guia\\_Basica\\_Atlas\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_Vulnerabilidad\\_Fisica\\_y\\_Social.pdf](https://pcivil.michoacan.gob.mx/wp-content/uploads/2018/02/Guia_Basica_Atlas_Evaluacion_de_la_Vulnerabilidad_Fisica_y_Social.pdf)

Frausto, O., Ihl Thomas, & Rojas Justo. (2016). Atlas de Riesgo de la Isla de Cozumel, México. In *Teoría y Praxis* (pp. 74–93). Universidad de Quintana Roo.

Gallego Galán Directores, I., & Pilar Alarcón Urbistondo Francisco Ruiz de la Rúa, D. (2015). Tesis doctoral Vulnerabilidad de los destinos turísticos Propuesta de un Sistema de indicadores para su gestión. <http://orcid.org/0000-0001-5899-8457>

Gobierno de México. (2023a). Plan de gestión a largo plazo para el control de la COVID-19. <https://coronavirus.gob.mx/wp-content/uploads/2023/06/2023.06.08-Plan-LP-COVID.pdf>

Gobierno de México. (2023b, June). Covid 19 México. <https://datos.covid-19.conacyt.mx/#DOView>

Gutiérrez-Aguirre, M. A., Cervantes-Martínez, A., & Coronado-Álvarez, L. (2008). Limnology of groundwater exposures with urban influence in Cozumel island, Mexico. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*

H. Ayuntamiento de Cozumel. (2021). Plan Municipal de Desarrollo 2021 - 2024. <https://cozumel.gob.mx/wp-content/uploads/2022/04/Plan-Municipal-de-Desarrollo-de-Cozumel-2021-2024.pdf>

Hernández, V. (2023). Contaminación avanzando en Cozumel. *Quadratin Quintana Roo*. <https://quintanaroo.quadratin.com.mx/contaminacion-avanzando-en-cozumel/>

Hernández-Flores, G., Gutiérrez-Aguirre, M. A., Cervantes-Martínez, A., & Marín-Celestino, A. (2021). Historical analysis of a karst aquifer: recharge, water extraction, and consumption dynamics on a tourist island (Cozumel, Mexico). In *EDP Sciences* (Ed.), In *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* (Vol. 57, p. 16).

HySLA - Prevención de riesgos. (2021). Los 10 peores accidentes industriales. <https://www.hysla.com/top-10-peores-accidentes-industriales/>

Iberdrola. (n.d.). Contaminación del suelo.

IMT. (2022). Red Nacional de Caminos 2022. <http://rnc.imt.mx/>

INEGI. (1983). Conjunto de datos Geológicos vectoriales escala 1:250 000 serie I.

INEGI. (2015). Principales resultados de la Encuesta Intercensal 2015 Quintana Roo. [https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/inter\\_censal/estados2015/702825080136.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/inter_censal/estados2015/702825080136.pdf)

- INEGI. (2020a). Censo de Población y Vivienda 2020/ Principales resultados por localidad (ITER). <https://www.inegi.org.mx/app/scitel/Default?ev=9>
- INEGI. (2020b). Panorama sociodemográfico de Quintana Roo : Censo de Población y Vivienda 2020. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/702825197964.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825197964.pdf)
- INEGI. (2020c). Banco de Indicadores. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/>
- INEGI. (2020d). Censo de población y vivienda 2020. [https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#datos\\_abiertos](https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#datos_abiertos)
- INEGI. (2021, November 19). Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII (continuo nacional). Comisión Nacional Para El Conocimiento y Uso de La Biodiversidad (CONABIO). [http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/usv250s7gw.html#\\_stdorder](http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/usv250s7gw.html#_stdorder)
- INEGI. (2022a). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas.
- INEGI. (2022b). Marco Geoestadístico. <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/#descargas>
- INEGI. (2022c). Red Nacional de Caminos RNC. 2022. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463770558>
- INEGI. (2022d, November). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>
- Institute for Economics & Peace. Global Terrorism Index 2022. (2022). Global Terrorism Index 2022. [www.economicsandpeace.org](http://www.economicsandpeace.org)
- Instituto Nacional de Ecología. (1998). Programa de Manejo Parque Marino Nacional Arrecifes de Cozumel, Quintana Roo. <https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/anp/AN23.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020a). Censo de Población y Vivienda 2020/ Principales resultados por localidad (ITER). <https://www.inegi.org.mx/app/scitel/Default?ev=9>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020b). Nacimientos por municipio. <https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/Proyectos/bd/continuas/natalidad/nacimientos.asp>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020c). Panorama Sociodemográfico de México 2020. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/702825197711.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825197711.pdf)

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020d). Poblacion\_Ocupada\_Nivel\_Ingresos. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/indicadores-estrategicos-poblacion-ocupada-por-nivel-de-ingresos>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020e). Defunciones infantiles por municipio.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020f). Viviendas Base de Datos Ampliada. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Microdatos>
- Izcapa Treviño, C., Mora Fonseca, J. L., & Salazar Gutiérrez, M. A. (2021). Accidentes por sustancias peligrosas en la industria. In *Ciencia* (Vol. 72, pp. 22–25). [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/72\\_4/PDF/06\\_72\\_4\\_1331\\_SustanciasPeligrosas.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/72_4/PDF/06_72_4_1331_SustanciasPeligrosas.pdf)
- Jaimés, M. A., Reinoso, E., Ordaz, M., Huerta, B., Silva, R., Mendoza, E., & Rodríguez, J. C. (2016). A new approach to probabilistic earthquake-induced tsunami risk assessment. *Ocean & Coastal Management*, 119, 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.10.007>
- Kanamori, H. (1972). Mechanism of tsunami earthquakes. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 6(5), 346–359. [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(72\)90058-1](https://doi.org/10.1016/0031-9201(72)90058-1)
- Kerry, A. E. (2013). Downscaling CMIP5 climate models shows increased tropical cyclone activity over the 21st century. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1301293110>
- Koch, C., Frausto, O., Giese, S., Shrimmer, M., Raabe, D., Geib, S., & Munch, U. (2017). Pharmaceuticals in the groundwater of the informal settlement “Las Fincas” on Cozumel Island, México. *Coastal Cities and Their Sustainable Future II; WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 173–202.
- La Jornada Maya. (2023). 10 cenotes de Cozumel requieren saneamiento urgente: CICY. *La Jornada Maya*. <https://www.lajornadamaya.mx/quintanaroo/215495/10-cenotes-de-cozumel-requieren-saneamiento-urgente-cicy-ecologia-agua-contaminacion-quintanaroo>
- Lallemand, S., & Heuret, A. (2017). Subduction Zones Parameters ¶. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09495-1>
- Lander, J. F., Whiteside, L. S., & Lockridge, P. A. (2002). A BRIEF HISTORY OF TSUNAMIS IN THE CARIBBEAN SEA. A BRIEF HISTORY OF TSUNAMIS IN THE CARIBBEAN SEA.
- Leonardo, M. (2013). PSM2012: aplicación web para la difusión y

consulta de datos de peligro sísmico. UNAM.

Lesser, H., Azpeitia, J., & Lesser, J. (1978). Geohidrología de la isla Cozumel, Quintana Roo. Recursos Hidráulico, 32–49.

Ley General de Protección Civil, (2021). [https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPC\\_200521.pdf](https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPC_200521.pdf)

Mejía Ortiz, L. M., Yáñez, G., López Mejía, M., & Zarza González, E. (2007). Cenotes (anchialine caves) on Cozumel Island, Quintana Roo, México. In *Journal of Cave and Karst Studies* (Vol. 2, pp. 250–255). *Journal of Cave and Karst Studies*,. <https://caves.org/wp-content/uploads/Publications/JCKS/v69/cave-69-02-250.pdf>

Méndez, E. (2018). Calidad del aire. Centro Mexicano de Derecho Ambiental, A.C. (CEMDA) .

Munguía, A. (2021). Cozumel, al borde de una crisis mayor. *El Financiero*. <https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/cozumel-al-borde-de-una-crisis-mayor/>

Narro-Robles, J., & Gómez-Dantés, H. (1995). El dengue en México: Un problema prioritario de salud pública. <https://www.saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/4560/5012>

OCDE. (2012). Perspectivas ambientales de la OCDE hacia 2050. <https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/49884278.pdf>

Okada, Y. (1985). Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75(4), 1135–1154. <https://doi.org/10.1785/BSSA0750041135>

OMS. (2023). Dengue y dengue grave. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/dengue-and-severe-dengue>

ONU. (2011). Clasificación (pp. 55–187). [https://unece.org/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev17/Spanish/02SP\\_Parte2.pdf](https://unece.org/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev17/Spanish/02SP_Parte2.pdf)

OPS. (2023). Boletín Desastres N.131.- Impacto de la pandemia COVID-19 en la salud mental de la población. <https://www.paho.org/es/boletin-desastres-n131-impacto-pandemia-covid-19-salud-mental-poblacion>

OPS, & OMS. (n.d.). COVID-19, Glosario sobre brotes y epidemias.

Ordaz, M., Torres, M., & Domínguez, R. (2013). Vulnerabilidad y riesgo por inundaciones. Colegio de Ingenieros Civiles de México, (November). Obtenido de: [https://doi.org/10.13140/RG.2\(3180.3769\)](https://doi.org/10.13140/RG.2(3180.3769)).

Orellana Lanza, R. (n.d.). Tipos de Climas. Retrieved November 26, 2023, from <http://www.ccpy.gob.mx/agenda-regional/escenarios-cambio-climatico/atlas/tipos-climas.php>

Pesaresi, Martino., Ehrlich, D., Kemper, T., Siragusa, A., Florczyk, , Aneta J, Freire, S., & Corbane, C. (2017). Atlas of the Human Planet 2017.

PLAN MUNICIPAL DE CONTINGENCIA POR CICLONES TROPICALES 2021-2024 2 Contenido. (n.d.).

PLAN MUNICIPAL DE INCENDIOS FORESTALES 2021- 2024. (n.d.).

Plan-Maestro-2030. (2020).

Porras Martín, J., Nieto López-Guerrero, P., Álvarez-Fernández, C., Fernández Uría, A., & Gimeno, M. V. (1985). 3. Contaminación de las aguas subterráneas. In Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en España. Instituto Geológico y Minero de España (IGME. [https://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/3\\_1.pdf](https://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/3_1.pdf)

Prevencionar. (2016, March 6). Top 10: Los peores desastres industriales. <https://prevencionar.com.mx/2016/03/06/top-10-los-peores-desastres-industriales/>

Protección Civil. (2023). Ayuntamiento de Cozumel 2021-2024. <https://cozumel.gob.mx/proteccion-civil/>

Ramírez, E. (2020). SIMULACIÓN NUMÉRICA DE TSUNAMIS EN COSTAS MEXICANAS COMO HERRAMIENTA PARA LA PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y PREPARACIÓN.

Reglamento de Protección Civil del Municipio de Cozumel. Título Primero de las Disposiciones Generales. (n.d.).

REGLAMENTO DE PROTECCIÓN CIVIL DEL MUNICIPIO DE COZUMEL. TÍTULO PRIMERO De las Disposiciones Generales. (n.d.).

Reyes Sainos, S. B. (2021). La Termodinámica y la Tectónica de Placas [UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM)]. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/RepoFi/17689/Material%20did%C3%A1ctico.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <https://www.fao.org/3/i9183es/i9183es.pdf>

Ruíz Piña, F. G., & Hernández Martín, G. del R. (2019). Programa Municipal de prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial de Isla Cozumel. <https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/07/240-Mexico-oral.pdf>

Sánchez Piña, S. del C. (2023). Dengue en México, tema de salud pública. <https://www.gaceta.unam.mx/dengue-en-mexico-tema-de-salud-publica/>

Santander, L. C., & Ramos Díaz, M. (2011, July). El nacimiento de un destino turístico en el Caribe Mexicano. Cozumel, de isla abandonada a puerto de cruceros. *El Periplo Sustentable*, 5–30. [www.psus.uaemex.mx](http://www.psus.uaemex.mx)

SCT. (2020). incidentes-10012020.

Secretaría de Economía. (2023). Data México - Cozumel, Quintana Roo. <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/cozumel#economy>

Secretaría de Salud, Q. R. (2023). Servicios Estatales de Salud. <https://qroo.gob.mx/sesa/>

Secretaría de Turismo. (2022). Analisis Turismo Cruceros. DATATUR.

Secretaría de Turismo, & CONACYT. (2019). Resumen Ejecutivo: “Estudio de Vulnerabilidad al Cambio Climático en Destinos Turísticos Seleccionados.” <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/752299/12.pdf>

Secretaría del Bienestar. (2023). INFORME ANUAL SOBRE LA SITUACIÓN DE POBREZA Y REZAGO SOCIAL 2023. Quintana Roo. Cozumel. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/795194/23001-Cozumel23.pdf>

SEMA, Q. R. (2023). Monitoreo de contaminantes atmosféricos particulados (pm10 y pm2.5) en el estado de Quintana Roo, mediante sensores Purpleair. [http://sema.qroo.gob.mx/sensores\\_purpleair/index.php](http://sema.qroo.gob.mx/sensores_purpleair/index.php)

SEMARNAT. (n.d.). Agua (Vol. 6). Retrieved November 29, 2023, from [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Cap6\\_Agua.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Cap6_Agua.pdf)

SEMARNAT. (2022). Manifestación del impacto ambiental, modalidad particular. Proyecto: “Las ceibas.” <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgiraDocs/documentos/qroo/estudios/2022/23QR2022TD040.pdf>

SESNSP. (2023, November 14). Datos Abiertos de Incidencia Delictiva. <https://www.gob.mx/sesnsp/acciones-y-programas/datos-abiertos-de-incidencia-delictiva?state=published>

Sistema de Información y Gestión Educativa, S. de E. P. (2023). Consulta de escuelas. <https://www.siged.sep.gob.mx/SIGED/escuelas.html>

SMA, C. (2017, November). Gestión Integral de la Calidad de Aire y RETC. Subsecretaría Gestión Ambiental. <https://sma.gob.mx/clases-de-contaminantes/>

- SOCIAL Cuadro, C., Más Por Condición De Actividad Económica, A. Y., & Ocupación, D. Y. (2022). COMUNICADO DE PRENSA NÚM. 111/22 17 DE FEBRERO DE 2022 PÁGINA 2/21.
- Solís-Marín, F. A., & Laguarda-Figueras, A. (2010, December). A new species of starfish (Echinodermata: Asteroidea) from an anchialine cave in the Mexican Caribbean. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 663–669. <https://www.researchgate.net/publication/288467306>
- SSN. (2015). Sismo\_QR\_11ene2015. [http://www.ssn.unam.mx/jsp/reportesEspeciales/Sismo\\_QR\\_11ene2015.pdf](http://www.ssn.unam.mx/jsp/reportesEspeciales/Sismo_QR_11ene2015.pdf)
- Taller para la Implementación del Plan Maestro de Turismo Sustentable 2030 2. (2022).
- ThinkHazard! (2020). Cozumel. Fondo Mundial Para La Reducción de Los Desastres y La Recuperación (GFDRR) . <https://www.thinkhazard.org/es/report/20811-mexico-quintana-roo-cozumel/TS>
- Torres Rodríguez, V., Bolongaro Crevena Recaséns A, Márquez García A.Z, Anglés Hernández M., Origel Gutiérrez G, & Márquez Hernández, A. C. (2018). Diagnóstico de vulnerabilidad ante el cambio climático del destino turístico de Cozumel, Quintana Roo. [https://www.academia.edu/96502506/Diagnostico\\_de\\_vulnerabilidad\\_ante\\_el\\_cambio\\_clim%C3%A1tico\\_del\\_destino\\_tur%C3%ADstico\\_de\\_Cozumel\\_Quintana\\_Roo](https://www.academia.edu/96502506/Diagnostico_de_vulnerabilidad_ante_el_cambio_clim%C3%A1tico_del_destino_tur%C3%ADstico_de_Cozumel_Quintana_Roo)
- Treviño, M. (2017). Estimación de la amenaza sísmica causada por el proceso de subducción y su impacto sobre los asentamientos humanos para la región de América Latina y el Caribe. Universidad Nacional de Colombia.
- UNESCO, 2005, & NOAA. (2005). Tsunamis: las grandes olas.
- Tsunamis Históricos (desde 1610 hasta el año 2023) Caribe, Centroamérica, México y Regiones Adyacentes, (2023).
- UNESCO, IOC, & NOAA. (2017). Caribbean and Adjacent Regions Tsunami Sources and Models (CATSAM). <https://www.Ncei.Noaa.Gov/Maps/CATSAM/>.
- Vargas López, M. R. (n.d.). Capítulo IV. Descripción del Sistema Ambiental y señalamiento de la problemática ambiental detectada en el área de influencia del proyecto (pp. 131–142). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales I, Manifestación de Impacto Ambiental . Retrieved October 25, 2023, from <https://mia.semarnat.gob.mx:8443/ManifestacionImpactoAmbiental/faces/modarchivos/downloadFile.xhtml?idArchivoProyecto=928126&tipo=general>
- Vianchá-Sánchez, Z., Rojas-Pinilla, H., & Barrera-Rojas, M. Á. (2021). Turismo y vulnerabilidad social. Reflexiones para algunos casos latinoamericanos. *Debates En Sociología*, 52, 7–30. <https://doi.org/10.18800/debatesensociologia.202101.001>

- Vivo Cozumel. (2023). Isla del Deporte. Vivo Cozumel. <https://vivocozumel.com/home/cozumel-isla-del-deporte/>
- Watson, E., Hamilton - Smith, E., Gillieson, D., & Kiernan, K. (1997). Guidelines for cave and karst protection. IUCN World Commission on Protected Areas (WCPA). Working Group on Cave and Karst Protection. (IUCN– The World Conservation Union, Gland).
- Weather Spark. (2023). El clima y el tiempo promedio en todo el año en Cozumel. <https://es.weatherspark.com/y/14482/Clima-promedio-en-Cozumel-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Yamin, L., Guesquiere, F., Cardona, O. D., & Ordaz, M. G. (2013). Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre. Banco Mundial, Universidad de los Andes.
- Zúñiga, F. R., Suárez, G., Figueroa-Soto, Á., & Mendoza, A. (2017). A first-order seismotectonic regionalization of Mexico for seismic hazard and risk estimation. *Journal of Seismology*, 21(6), 1295–1322. <https://doi.org/10.1007/s10950-017-9666-0>
- Zuñiga, R. (1997). Seismogenic Sources Zones in Mexico. Technical Report Project 89-0190 IPGH.