

ACTUALIZACIÓN DEL ATLAS DE RIESGO DE PROTECCIÓN CIVIL DEL MUNICIPIO DE **SOLIDARIDAD, QUINTANA ROO**

2023



RENOVAMOS PARA CRECER
SOLIDARIDAD
GOBIERNO MUNICIPAL · 2021 - 2024



CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	3
1.3 Objetivos	9
CAPÍTULO II. DETERMINACIÓN DE NIVELES DE ANÁLISIS Y ESCALAS DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA.....	10
2.1 Determinación de niveles de análisis.....	10
2.2 Escalas de representación cartográfica	11
CAPÍTULO III. CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL MEDIO NATURAL	14
3.1 Provincias fisiográficas.....	14
3.2 Subprovincias fisiográficas.....	16
3.3 Geomorfología: Principales formas del relieve (sistema de topoformas).....	17
3.4 Geología: Litología, secciones geológicas, minas y rasgos estructurales (INEGI)	19
3.5 Geología: Litología, secciones geológicas, minas y rasgos estructurales (SGM)	20
3.6 Edafología.....	21
3.7 Hidrografía.....	24
3.8 Cuencas y subcuencas.....	26
3.9 Climas	27
3.10 Uso de suelo y vegetación.....	29
3.11 Áreas naturales protegidas	31
3.11.1 Programa de ordenamiento ecológico del municipio de Solidaridad.....	33
CAPÍTULO IV. INVENTARIO DE SISTEMAS EXPUESTOS	35
4.1 Elementos demográficos.....	35
4.1.1 Dinámica demográfica	35
4.1.2 Proyección al 2030	38
4.1.3 Distribución de la población	39
4.1.4 Densidad de población	41
4.1.5 Pirámide poblacional.....	44
4.1.6 Crecimiento de las localidades urbanas	44

4.1.7 Mortalidad	47
4.2 Características sociales	48
4.2.1 Escolaridad	48
4.2.2 Discapacidad	50
4.2.3. Características de la vivienda	52
4.2.4 Hacinamiento	54
4.2.5 Lengua indígena	55
4.2.6 Pobreza	57
4.2.7 Marginación	59
4.3 Principales actividades económicas	60
4.4 Equipamiento e infraestructura estratégica	62
4.5 Reserva territorial y conurbaciones principales	65
CAPÍTULO V. IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS, PELIGROS, VULNERABILIDAD Y RIESGOS ANTE FENÓMENOS PERTURBADORES DE ORIGEN NATURAL	67
5.1 Descripción de peligros en el municipio	67
5.1.1 Peligros geológicos	70
5.1.1.1 Erosión kárstica	70
5.1.1.2 Hundimiento - subsidencia	74
5.1.1.3 Erosión marina	80
5.1.1.4 Vulcanismo	87
5.1.1.5 Sismos	87
5.1.1.6 Tsunamis	89
5.1.1.7 Procesos de remoción en masa (deslizamiento, flujos y caídos o derrumbes)	91
5.1.1.8 Licuación de suelos	92
5.1.2 Peligros hidrometeorológicos	99
5.1.2.1 Ciclones tropicales	99
5.1.2.2 Inundaciones	104
5.1.2.3 Temperaturas máximas extremas	112
5.1.2.4 Sequías	113
5.1.2.5 Tornados	114
5.1.2.6 Tormentas eléctricas	115

5.1.3 Peligros químico-tecnológicos	117
5.1.3.1 Peligro por almacenamiento de sustancias peligrosas	117
5.1.3.2 Peligro por transporte terrestre de sustancias peligrosas	123
5.1.3.3 Peligro por gasoducto	124
5.1.3.4 Incendios forestales	125
5.1.4 Peligros sanitario-ecológicos.....	130
5.1.4.1 Contaminación del agua	131
5.1.4.2 Contaminación del suelo	138
5.1.4.3 Plagas y epidemias.....	142
5.1.5 Peligros socio-organizativos	147
5.1.5.1 Concentración masiva de población	147
5.1.5.2 Amenaza de bomba	149
5.1.5.3 Accidentes terrestres, aéreos y marítimos	151
5.2 Vulnerabilidad	157
5.2.1 Vulnerabilidad social.....	157
5.2.2 Vulnerabilidad física	162
5.3 Determinación de riesgo	169
5.3.1 Riesgo por erosión kárstica	174
5.3.2 Riesgo por subsidencia.....	177
5.3.3 Riesgo por erosión marina	180
5.3.4 Riesgo por viento durante ciclones tropicales.....	182
5.3.5 Riesgo por inundaciones	184
5.3.6 Riesgos químico-tecnológicos.....	188
5.4 Obras y acciones preventivas.....	191
5.4.1 Riesgos geológicos.....	192
5.4.2 Riesgos hidrometeorológicos	194
5.4.2.1 Ciclones tropicales.....	194
5.4.2.2 Inundaciones	195
5.4.2.3 Temperaturas máximas extremas	196
5.4.2.4 Sequías.....	196
5.4.3 Riesgos químicos tecnológicos	196

5.4.3.1 Recomendaciones para los establecimientos que manejan gas	196
5.4.3.2 Recomendaciones para los establecimientos que manejan gasolina	197
5.4.3.3 Recomendaciones generales para los establecimientos que manejan sustancias peligrosas	198
5.4.3.4 Recomendaciones generales para el combate de incendios forestales	200
5.4.4 Riesgos sanitario ecológicos	201
5.4.5 Riesgos socio-organizativos	202
5.4.6 Recomendaciones generales.....	203
REFERENCIAS	205
Anexo Fotográfico	221



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

1.1 Introducción

De acuerdo con lo enunciado en la Ley General de Protección civil (LGPC), 2021, los atlas de riesgos son instrumentos que constituyen el marco de referencia para la elaboración de las políticas y programas en todas las etapas de la Gestión Integral del Riesgo. Consiste en un sistema integral de información sobre los agentes perturbadores y daños esperados, resultado de un análisis espacial y temporal sobre la interacción entre los peligros, vulnerabilidad y el grado de exposición de los agentes afectables. Debido a la naturaleza dinámica del riesgo, el atlas deberá mantenerse como un instrumento de actualización permanente.

En el atlas se establecen los diferentes niveles de peligro y riesgo, para todos los fenómenos que influyen en el territorio. Dichos instrumentos deberán ser tomados en consideración por las autoridades competentes, para la autorización o no de cualquier tipo de construcciones, obras de infraestructura o asentamientos humanos (LGPC, 2021).

La actualización del Atlas de Riesgos del municipio de Solidaridad, Quintana Roo está fundamentada en la identificación de agentes perturbadores tanto de origen natural (geológicos e hidrometeorológicos) y de origen antropogénico (químico-tecnológicos, sanitario-ecológicos y socio-organizativos).

En este sentido, la finalidad de este estudio es identificar y cuantificar técnica y científicamente los agentes perturbadores que inciden en el territorio, así como la vulnerabilidad de la población y los bienes expuestos para estimar el riesgo, lo que permite tomar decisiones y acciones en el corto, mediano y largo plazo.

El presente documento se conforma de cinco capítulos, en el primero se realiza una breve reseña histórica del municipio de Solidaridad y se describen los antecedentes de los fenómenos perturbadores que se han presentado, para esto, se consultaron las declaratorias de emergencias emitidas por el CENAPRED, la información histórica de ciclones tropicales de CONAGUA, el Atlas de Riesgos del municipio de Solidaridad 2016 y 2021, así como información bibliográfica respecto factores socioeconómicos que potencializan el impacto de fenómenos perturbadores en Solidaridad.

El segundo capítulo aborda los niveles de análisis de peligro y las escalas de representación cartográfica para elaborar el cálculo y análisis correspondientes, según se establece en la guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED, 2016) y en las Bases para la Estandarización de Atlas de Riesgos (SEDATU, 2014).

En el tercer capítulo se realiza la caracterización biofísica de Solidaridad, tomando los datos e información oficial disponible del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Servicio Geológico Mexicano (SGM), Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

El cuarto capítulo contiene el inventario de sistemas expuestos, que consiste en la caracterización de los elementos demográficos, sociales y económicos, donde se describen las variables que explican la dinámica poblacional, escolaridad, población con discapacidad, características de la vivienda, lengua indígena, marginación, principales actividades económicas, equipamiento, infraestructura, así como la reserva territorial.

Por último, en el capítulo cinco, se tiene la identificación de peligros, amenazas, vulnerabilidad y riesgo a escala municipal y para las localidades urbanas principales, Playa del Carmen y Puerto Aventuras. Para este fin, se realizaron recorridos con la Secretaría de Protección Civil, Prevención de Riesgos y Bomberos de Solidaridad, con el objetivo de identificar de manera puntual los sitios con afectaciones por peligros de origen natural y antropogénico.

En la elaboración de la cartografía de peligros y vulnerabilidad, se utilizaron las metodologías establecidas por CENAPRED, elaboración de mapas de riesgo por inundaciones en zonas urbanas, la Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos Fenómenos Hidrometeorológicos, y modelos de subsidencia mediante álgebra de mapas. Con relación a los peligros de origen químico-tecnológico, se utilizó la Guía Práctica sobre Riesgos Químicos de CENAPRED y el modelo ALOHA[®] para realizar las modelaciones de los escenarios de peligro. En cuanto a los peligros Ecológicos Sanitarios, se consultaron fuentes oficiales para describir la problemática de la contaminación y epidemias. Mientras que para describir los peligros Socio-Organizativos, se identificaron los principales centros de concentración masiva, amenazas de comba y accidentes por transporte frecuentes en el municipio.

El análisis de vulnerabilidad social y física de las localidades de Playa del Carmen y Puerto Aventuras, se realizó con las metodologías de CENAPRED, Guía Básica para la elaboración de Atlas estatales y municipales de peligros y riesgos, Evaluación de vulnerabilidad física y social, y la metodología desarrollada por Thomas (2013), Evaluación de la vulnerabilidad social ante amenazas naturales en Manzanillo: Un aporte de método. Además, se realizaron encuestas a los habitantes de diversas colonias, vigilantes de las escuelas y operativos de la Secretaría de Protección Civil, Prevención de Riesgos y Bomberos del municipio de Solidaridad, para identificar la percepción local del riesgo y la capacidad de respuesta de las autoridades ante la presencia de fenómenos perturbadores, la existencia de planes de prevención.

Una vez que se obtienen las variables mencionadas, se determina el riesgo mediante la función de tres factores: el peligro, la vulnerabilidad y el valor de los bienes expuestos con apoyo de la metodología de CENAPRED, Guía Básica para la elaboración de Atlas estatales y municipales de peligros y riesgos.

Finalmente, se realizan propuestas de obras y acciones tanto del tipo estructurales como no estructurales de manera integral con la finalidad de prevenir, disminuir o mitigar los riesgos identificados en el municipio de Solidaridad.

1.2 Antecedentes

La Península de Yucatán es un territorio marcado por la gran diversidad biológica y cultural que alberga, especies como el jaguar, el tapir, la tortuga carey o el manatí, son la evidencia; aunado a ello, la existencia de centros ceremoniales de larga data nos hace recordar la presencia y desarrollo de una de las civilizaciones antiguas más notorias de América Latina: los mayas, quienes con sus avances arquitectónicos y astronómicos, la prevalencia de la familia lingüística maya, conformada por 31 lenguas, entre muchos otros, denotan la majestuosidad de dicha civilización, que imprime el sello distintivo de un territorio emblemático (Pérez Suárez, 2004).

La conformación política-administrativa territorial de la península es una muestra clara de los procesos históricos-culturales acaecidos en territorio peninsular, desde el asentamiento de los primeros grupos de cazadores-recolectores hace aproximadamente 10 mil años (Pérez Suárez, 2004), hasta las constantes reestructuraciones del territorio peninsular durante el siglo XX (Commons, 2018).

El territorio federal de Quintana Roo se reconoce como Estado libre y soberano desde el 8 de octubre de 1974 y se conformaba por 7 municipios, actualmente su división política consiste en 11 municipios ya que hubo ciertas reestructuraciones, como es el caso de Solidaridad, que formó parte de la jurisdicción de Cozumel hasta el 28 de julio de 1993, cuando se emite un decreto en el que se reconoce a Solidaridad como municipio libre (INEGI, 1997), posteriormente, la conformación territorial actual se define el 19 de mayo de 2008, ya que se decreta la creación del municipio de Tulum, territorio adscrito política y administrativamente a Solidaridad durante 15 años (Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo (POEQROO), 2008).

La relevancia turística que posee en la actualidad Solidaridad y la Riviera Maya en su totalidad, inicia en la década de los 70 con la creación de Cancún por el estado mexicano, debido al estancamiento de la economía peninsular y el bajo crecimiento poblacional, <2 habitantes/km² en la década de 1960 a 1970 (INFRATUR, 2019). El impacto de la creación de la ciudad de Cancún fue tal que, para la década de 1990, la actividad turística trascendió a nuevos destinos costeros como Playa del Carmen, lo que estimuló la expansión de los centros poblacionales y la intensificación de procesos migratorios. Se estima que la superficie urbana de la Riviera Maya incrementó de 36 km² a 407 km² en 20 años (De Fuentes, Jouault, & Romero, 2019).

La región ha cobrado especial relevancia por el desarrollo de las actividades ligadas a la industria del turismo, colocándose como una referencia nacional e internacional, por ello, conocer el comportamiento de fenómenos naturales que pudiese incidir en la zona, resultan de fundamental importancia. El impacto de fenómenos naturales, la amenaza que representan para la población y la vulnerabilidad asociada a los grupos humanos tienen registros históricos en diversas latitudes (Alcántara-Ayala, 2019). Los fenómenos de origen natural

han ocasionado cuantiosas pérdidas humanas y económicas, según estimaciones publicadas por EM-DAT (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) & (WHO), 2023).

En lo que respecta a la ocurrencia de fenómenos perturbadores, se destaca que, en el país, el número de personas afectadas directa e indirectamente por fenómenos naturales asciende a 14 millones de habitantes durante el periodo 2000-2022, así mismo las pérdidas económicas, superan los 40 millones de dólares durante el mismo periodo (CENAPRED, 2023).

Aunado a ello, en México se emitieron 34,372 declaratorias durante el periodo 2000-2023 (CENAPRED, 2023), el 50% corresponden a emergencia, el 34% a desastre y el 15% a contingencia climatológica. Del total de declaratorias emitidas el 90% corresponde a fenómenos de tipo hidrometeorológico, distribuidas en lluvias, ciclones tropicales y sequías con el 34%, 24% y 16% respectivamente; le siguen en ocurrencia los fenómenos de tipo geológico con el 9%; mientras que los fenómenos químicos, concretamente incendios, y los fenómenos de tipo sanitario representan menos del 2% de las declaratorias emitidas durante el periodo referido (Tabla 1).

Tabla 1. Declaratorias emitidas a nivel nacional en el periodo 2000-2023

Fenómeno	Total	%
Hidrometeorológico	31,020	90.2
Geológico	2,933	8.53
Químico	379	1.1
Sanitario	40	0.12
Total	34,372	

Fuente: Elaboración propia con datos oficiales (CENAPRED, 2023).

A nivel regional, en la Península de Yucatán predominan los fenómenos de tipo hidrometeorológico con 98% de las declaratorias emitidas, los fenómenos químicos con 1.1% de eventos registrados y los fenómenos sanitarios que representan menos del 1% del total de las declaratorias emitidas (Tabla 2).

En el estado de Quintana Roo se han emitido 237 declaratorias de las cuales 236 corresponden a fenómenos hidrometeorológicos, principalmente lluvias severas, así como ciclones tropicales (Tabla 3).

Tabla 2. Declaratorias emitidas para la Península de Yucatán en el periodo 2000-2023

Fenómeno/Tipo	Declaratorias emitidas	%
Hidrometeorológico	1,509	98.37
Ciclón Tropical	664	44.00
Lluvias	382	25.32
Temperatura Extrema	230	15.24
Inundación	45	2.98
Sequía	177	11.73
Fuertes Vientos	11	0.73
Químico	18	1.17
Incendio Forestal	18	100
Sanitario	7	0.46
Marea Roja	7	100
Total	1,534	100

Fuente: Elaboración propia con datos oficiales (CENAPRED, 2023).

Como se observa en la Tabla 3, las declaratorias con mayor frecuencia son las de lluvias, ya que abarca casi de la mitad de los registros en el periodo señalado. También destaca la presencia de hidrometeoros a lo largo del territorio quintanarroense como el huracán *Keith* en el año 2000, el huracán *Isidore* en el año 2002, el huracán *Iván* categoría V, con un cuantioso número de pérdidas humanas y materiales tras su paso, los huracanes *Emily* y *Wilma* en el año 2005, ambos categoría IV, el huracán *Dean* en 2007 que impactó como categoría V en las costas de Chetumal, el huracán *Ernesto* en 2012 y el huracán *Delta* en 2020 que impactó como categoría II en las costas de Puerto Morelos (CONAGUA, 2023). Asimismo, se observan declaratorias en este territorio por temperaturas extremas, fuertes vientos, sequía e inundación.

Tabla 3. Declaratorias emitidas para el estado de Quintana Roo en el periodo 2000-2023

Fenómeno	Declaratorias emitidas	%
Hidrometeorológico	236	99.6
Lluvias	105	44.49
Ciclón Tropical	88	37.29
Temperatura Extrema	16	6.78
Fuertes Vientos	11	4.66
Sequía	11	4.66
Inundación	5	2.12
Químico	1	0.42
Incendio Forestal	1	100
Total	237	

Fuente: Elaboración propia con datos oficiales (CENAPRED, 2023).

En lo que respecta al municipio de Solidaridad, se caracteriza por la incidencia y afectación de hidrometeoros, muestra de ello es que durante el periodo 2000-2023 se emitieron 29 declaratorias por fenómenos hidrometeorológicos, de las cuales 16 corresponden a emergencias y 13 a desastre.

A continuación, en la Tabla 4, se tienen el registro del número de declaratorias emitidas de acuerdo con cada tipo de fenómeno hidrometeorológico por cada año durante el periodo mencionado para el municipio de Solidaridad.

Tabla 4. Declaratorias emitidas por tipo de fenómeno hidrometeorológico para el municipio de Solidaridad en el periodo 2000-2023

Año	Ciclón tropical	Vientos fuertes	Lluvias	Sequía	Temperatura extrema
2003	1				
2004	2				
2005	4				
2007	2				
2013			2		
2014			4		
2015			4		
2016		3			
2018					2
2019				1	
2020	2		2		
Total	11	3	12	1	2

Fuente: Elaboración propia con datos oficiales (CENAPRED, 2023).

Respecto a fenómenos de tipo geológico, químico-tecnológico y ecológicos-sanitarios no se identificaron declaratorias para el municipio.

Las cifras descritas, representan la necesidad de adaptar las acciones y actividades a realizar en materia de protección civil, consolidar la relación reactivo-preventivo en aras de lograr la Gestión Integral del Riesgo de Desastres (GIRD) como herramienta y eje rector en la toma de decisiones. Para ello resulta fundamental disminuir los efectos causados por eventos de origen natural y antropogénico con normativa, cooperación interinstitucional e infraestructura adecuada, y sobre todo, incidir en la percepción y la prevención de riesgos del municipio y sus habitantes, así como redefinir las acciones que de manera indirecta se encuentran ligadas a los riesgos, como la deforestación o el cambio climático, es decir, promover acciones que coadyuven a incrementar la resiliencia de la población ante los posibles eventos que se presenten (Alcántara-Ayala, 2019; Alcántara-Ayala et al., 2019).

A continuación se describen los hallazgos encontrados por cada tipo de fenómeno perturbador para el municipio de Solidaridad, Quintana Roo.

Fenómenos hidrometeorológicos

Los fenómenos hidrometeorológicos que generaron mayor número de declaratorias en el municipio de Solidaridad en el periodo 2000-2023 fueron las lluvias con el 41%, seguida de ciclones tropicales con el 38%, vientos fuertes con 10%, temperaturas extremas (ondas de calor) con 7% y sequías con 3%.

En la Tabla 4 se observa que se tiene el registro 12 declaratorias, que corresponden a 5 de emergencia y 7 de desastre, por lluvias severas (≥ 75 mm) en el municipio de Solidaridad. En los años 2013 y 2014 se registró una precipitación total mensual de 232 y 129 mm, respectivamente. Mientras que para los ciclones tropicales se tiene el registro de 11 declaratorias, la mayoría comprendidas en el periodo de 2003 a 2007.

Fenómenos geológicos

No se identificaron declaratorias relacionadas a fenómenos geológicos en el municipio de Solidaridad, sin embargo, dadas las características del entorno biofísico, específicamente geología y los procesos de disolución, propias de ambientes calcáreos y característicos de la Península de Yucatán, resulta necesario identificar y cuantificar los fenómenos que pueden ocurrir en el territorio como karstificación y subsidencia, también es de importancia el estudio de erosión marina.

Fenómenos químicos-tecnológicos

A pesar de no emitirse declaratorias relacionadas a la incidencia de fenómenos perturbadores de esta índole, cabe señalar que dado el crecimiento urbano exponencial que ha enfrentado el territorio de Solidaridad en la última década, se ha incrementado la infraestructura de servicios, como gasolineras, plantas de distribución de gas LP y gasoductos, por lo cual resulta conveniente identificar y cuantificar los elementos que representen algún riesgo para la población.

Aunado a ello, los incendios forestales representan un reto para la secretaría municipal de Protección Civil, Prevención de Riesgos y Bomberos, ya que que los ecosistemas presentes en el territorio solidarense son sensibles al fuego y por ello se debe prestar atención a dicho fenómeno.

Fenómenos sanitario-ecológicos

No se emitieron declaratorias de emergencia en el periodo 2000-2023 para el municipio de Solidaridad, derivadas de este agente perturbador, sin embargo, en el municipio sólo existen seis Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), una de ellas gestionada por la iniciativa privada (Aguakan) y un Relleno Sanitario concesionado a privados (PASA Promotora Ambiental), a los que se debe prestar la atención oportuna para evitar en la medida de lo posible la contaminación de mantos acuíferos, suelo y aire.

Fenómenos socio-organizativos

Respecto a los fenómenos socio-organizativos, tampoco se emitieron declaratorias debido a estos fenómenos, sin embargo, cabe destacar la importancia turística del municipio a nivel nacional e internacional, por lo cual resulta significativo identificar las posibles

eventualidades producto del flujo turístico intenso a lo largo del año. Aunado a ello, cabe resaltar el establecimiento de nuevos asentamientos irregulares en la periferia de la ciudad de Playa del Carmen principalmente, ya que requieren atención oportuna por parte de las autoridades municipales.

1.3 Objetivos

Objetivo general

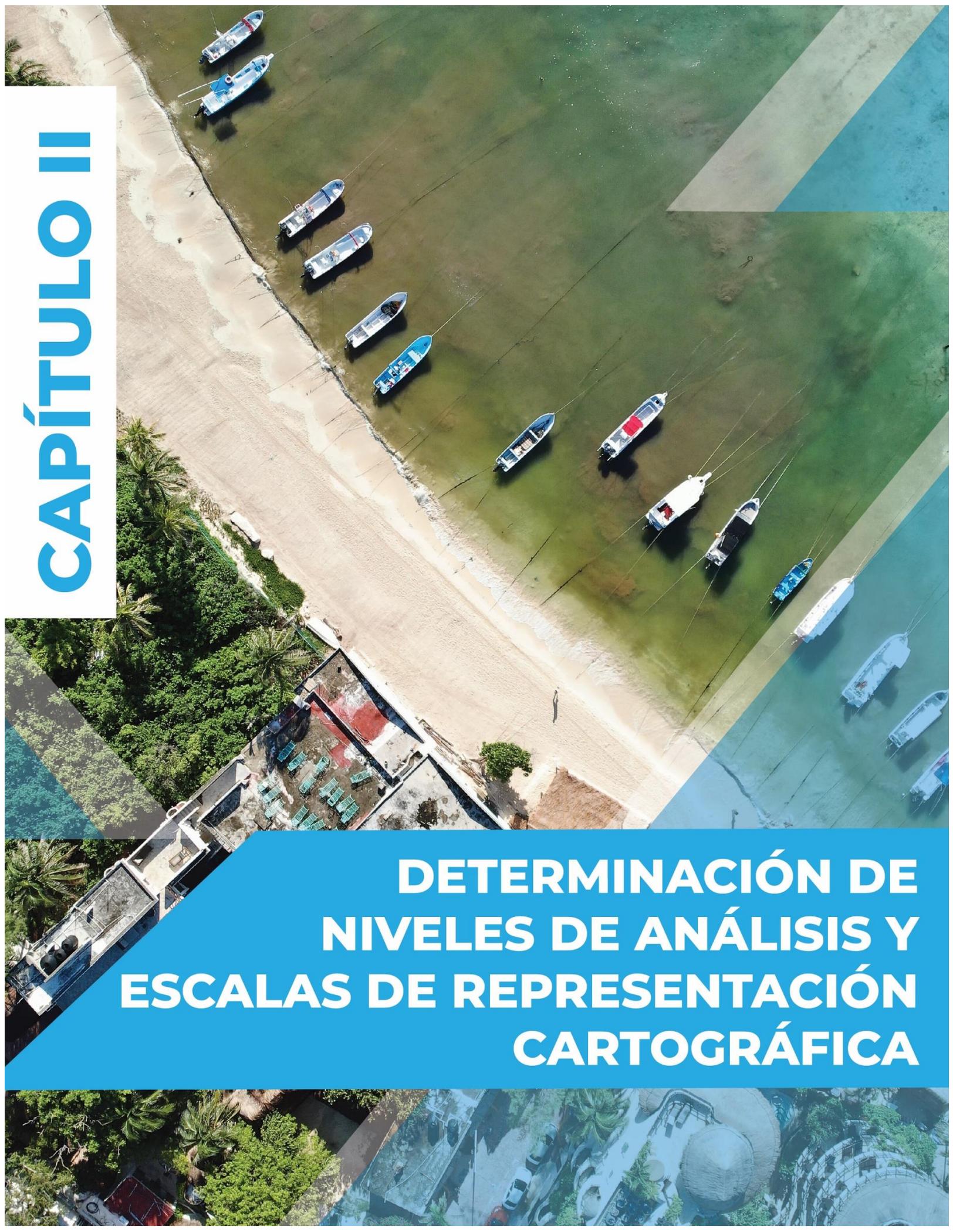
Actualizar el Atlas de Riesgos del municipio de Solidaridad, Quintana Roo, que permita gestionar y alinear las acciones y actividades a realizar en materia de protección civil en el corto, mediano y largo plazo, con información confiable y relevante que coadyuve en la toma de decisiones bajo un esquema de Gestión Integral del Riesgo.

Objetivos específicos

- Identificar los agentes perturbadores de mayor incidencia en el municipio.
- Analizar el peligro.
- Identificar los sistemas expuestos.
- Determinar la vulnerabilidad social y física.
- Estimar el riesgo
- Recomendar obras y acciones de prevención.

CAPÍTULO II

DETERMINACIÓN DE NIVELES DE ANÁLISIS Y ESCALAS DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA



CAPÍTULO II. DETERMINACIÓN DE NIVELES DE ANÁLISIS Y ESCALAS DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA

2.1 Determinación de niveles de análisis

En la Tabla 5, se establece el nivel de análisis de cada uno de los fenómenos naturales y antropogénicos que impactan el municipio de Solidaridad, con la finalidad de describir el detalle en la que fue elaborado cada uno de los temas.

Tabla 5. Nivel de análisis de peligros en el atlas de riesgos 2023

Origen	Fenómeno	Nivel de análisis
Geológico	1. Vulcanismo	1
	2. Sismos	1
	3. Tsunamis	1
	4. Inestabilidad de laderas	1
	5. Flujos	1
	6. Erosión marina	4
	7. Hundimientos	3
	8. Subsistencia	2
	9. Erosión karstica	3
Hidrometeorológico	10. Ondas cálidas y gélidas	2
	11. Sequías	2
	12. Heladas	1
	13. Tormentas de granizo	1
	14. Tormentas de nieve	1
	15. Ciclones tropicales	1
	16. Tornados	1
	17. Tormentas de polvo	1
	18. Tormentas eléctricas	1
	19. Lluvias extremas	2
	20. Inundaciones pluviales	2

Fuente: SEDATU, 2017.

Para el caso de los peligros de origen antropogénico, que se refieren a los químico-tecnológicos, ecológico-sanitarios y socio-organizativos, no se cuenta con una guía metodológica del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), sin embargo, en este estudio se proponen los análisis necesarios para conocer la incidencia de este tipo de peligros en el municipio.

2.2 Escalas de representación cartográfica

El municipio de Solidaridad se localiza en el norte del estado de Quintana Roo entre las coordenadas 20°48'43.50", 20°26'48.35" norte y 86°55'14.65", 87°57'45.31" oeste y cuenta con una superficie de 2,014.9 km², lo cual representa el 4.5% del total estatal.

Colinda con los municipios de Puerto Morelos y Lázaro Cárdenas al norte, con el mar caribe y el municipio de Cozumel al este, con el municipio de Tulum al sur y al oeste con los municipios de Chemax y Valladolid, ambos pertenecientes al estado de Yucatán (Figura 1).

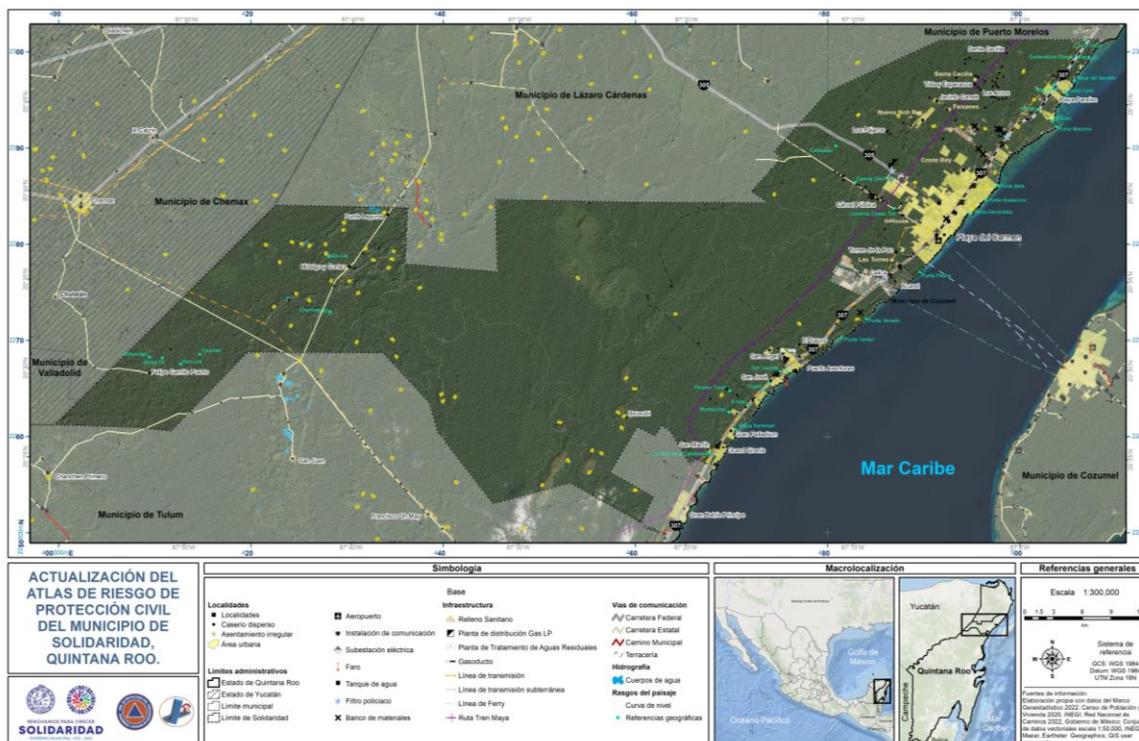


Figura 1. Mapa base del municipio de Solidaridad, Quintana Roo.

El municipio tiene una población total de 333,800 habitantes y se conforma por 136 localidades, de las cuales 2 son urbanas y 134 son rurales (INEGI, 2020a). Para la actualización del Atlas de Riesgo del municipio se determinaron dos escalas de análisis, la primera a escala municipal (Figura 1) y la segunda a escala de localidad urbana, en este caso, corresponde a las localidades de Playa del Carmen y Puerto Aventuras (Figuras 2 y 3).

Los análisis a escala municipal muestran la distribución general de los peligros geológicos e hidrometeorológicos dentro de los límites administrativos del municipio de Solidaridad, mientras que el análisis a nivel localidad urbana muestra a mayor detalle la distribución de dichos peligros, así como los peligros químicos-tecnológicos, sanitario-ecológicos y socio-organizativos y los análisis de vulnerabilidad. Esto debido a que la presencia de los elementos que pueden presentar alguna eventualidad o representar algún riesgo, se localizan en su mayoría dentro y en las periferias de las localidades urbanas, principalmente en las

localidades de Playa del Carmen y Puerto Aventuras, ya que albergan la mayoría de la población municipal.

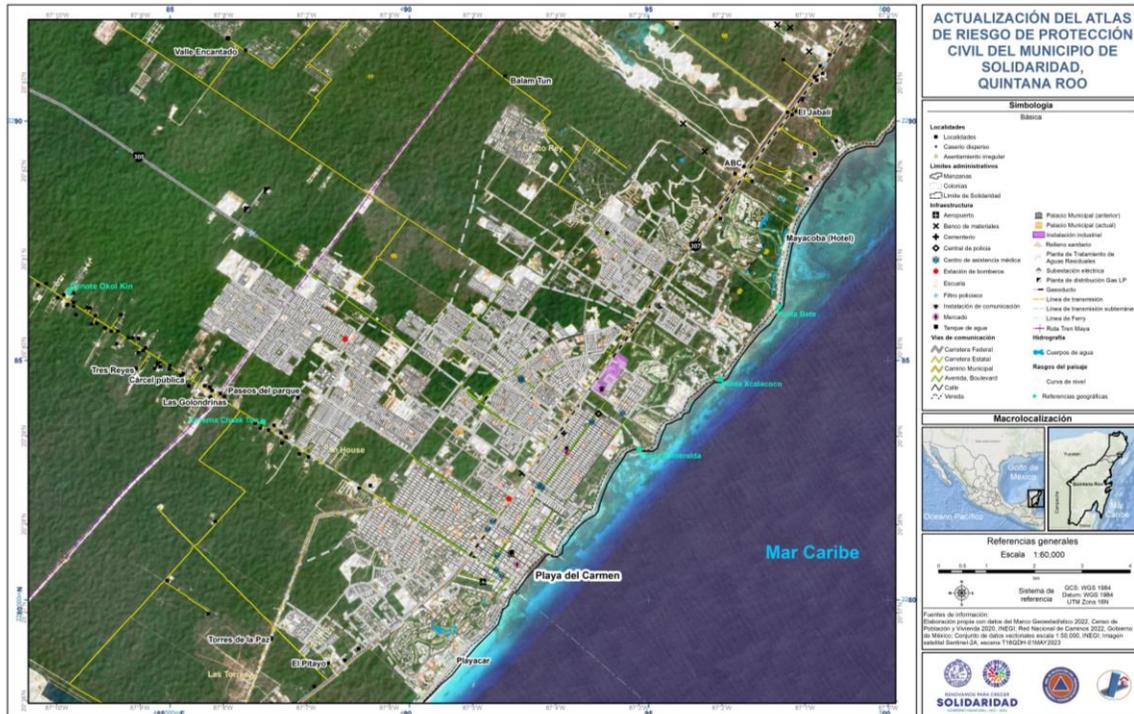


Figura 2. Mapa base de la localidad urbana de Playa del Carmen, municipio de Solidaridad.

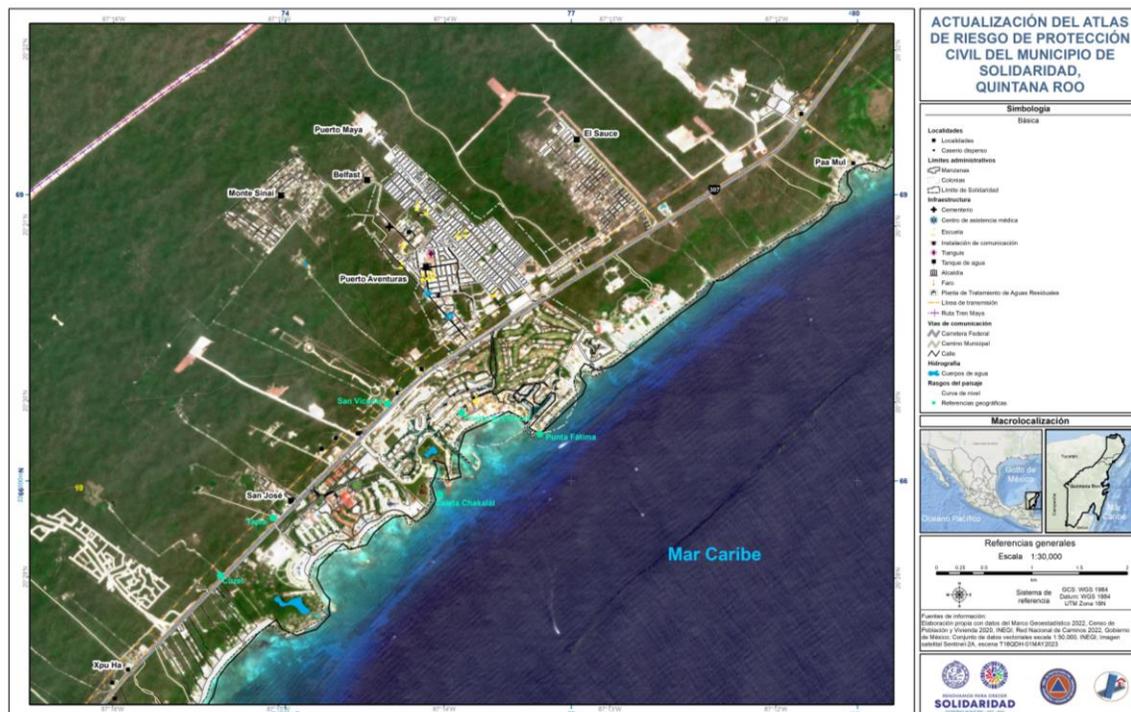


Figura 3. Mapa base de la localidad urbana de Puerto Aventuras, municipio de Solidaridad.

Para la elaboración de la cartografía base se utilizaron las cartas topográficas escala 1:50,000 publicadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2022b), el Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2020a), la Red Nacional de Caminos publicada por el Instituto Mexicano del Transporte en colaboración con INEGI (Instituto Mexicano del Transporte, 2022) y la Red Hidrográfica edición 2.0 RH32 (INEGI, 2010a).

Aunado a ello, para la elaboración de la cartografía urbana se incluyeron datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) (INEGI, 2022a), así como información recabada en trabajo de campo (septiembre de 2023).



CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL MEDIO NATURAL

CAPÍTULO III. CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL MEDIO NATURAL

En este capítulo se describen los elementos físico-ambientales del municipio de Solidaridad a través de la caracterización de diversos componentes como la fisiografía, sistema de topoformas, geología, edafología, hidrografía, cuencas, subcuencas, climatología, uso de suelo y vegetación y áreas naturales protegidas. Cada uno de estos componentes se representa mediante diferentes mapas temáticos detallando sus clasificaciones o tipos, así como su distribución dentro del territorio municipal.

El presente documento retoma detalles de los elementos físico-naturales previamente descritos en versiones anteriores de este Atlas Municipal realizados en 2016 y 2021. No obstante, se consideran las actualizaciones de capas de información geográfica que hayan sido publicadas desde el 2016.

La detallada caracterización de estos elementos permitirá entender la situación físico ambiental actual del municipio de Solidaridad. Además, el análisis en conjunto de estos elementos facilitará entender los procesos que desencadenan los distintos fenómenos perturbadores, su distribución espacial y tendencias, lo que contribuye también en mejorar los modelos de desarrollo en el municipio.

El municipio de Solidaridad se localiza dentro de la región de la Península de Yucatán, en la cual predominan características físicas asociadas a climas cálido-húmedos, con paisajes principalmente de planos y costeros conformados por rocas sedimentarias, predominando las de origen calcáreo. Estas características favorecen la presencia de múltiples formaciones kársticas, así como la consolidación de suelos ricos en minerales que, en conjunto con las características climáticas de la región intertropical, favorecen la conformación de diversos ecosistemas y usos del suelo dentro del municipio. En los siguientes apartados se desarrollan a detalle cada uno de esos elementos físico-ambientales.

3.1 Provincias fisiográficas

El estudio de la fisiografía de una región comprende la caracterización de los principales rasgos físicos del relieve, su conformación u origen geológico, así como los procesos que moldean las diferentes formaciones del terreno. La regionalización de provincias o subprovincias fisiográficas permite reconocer y delimitar de manera general los rasgos físico-ambientales de grandes áreas. De acuerdo con datos oficiales (INEGI, 2008), en México se reconocen 15 provincias fisiográficas (Tabla 6), el municipio de Solidaridad se encuentra en su totalidad dentro de la provincia Península de Yucatán, que comprende los Estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo (Figura 4).

Tabla 6. Provincias fisiográficas en México

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Península de Baja California. | 9. Mesa del Centro. |
| 2. Llanura Sonorense. | 10. Eje Neovolcánico. |
| 3. Sierra Madre Occidental. | 11. Península de Yucatán. |
| 4. Sierras y Llanuras del Norte. | 12. Sierra Madre del Sur. |
| 5. Sierra Madre Oriental. | 13. Llanura Costera del Golfo Sur. |
| 6. Grandes Llanuras de Norteamérica. | 14. Sierras de Chiapas y Guatemala. |
| 7. Llanura Costera del Pacífico. | 15. Cordillera Centroamericana. |
| 8. Llanura Costera del Golfo Norte. | |

Fuente: INEGI, 2008

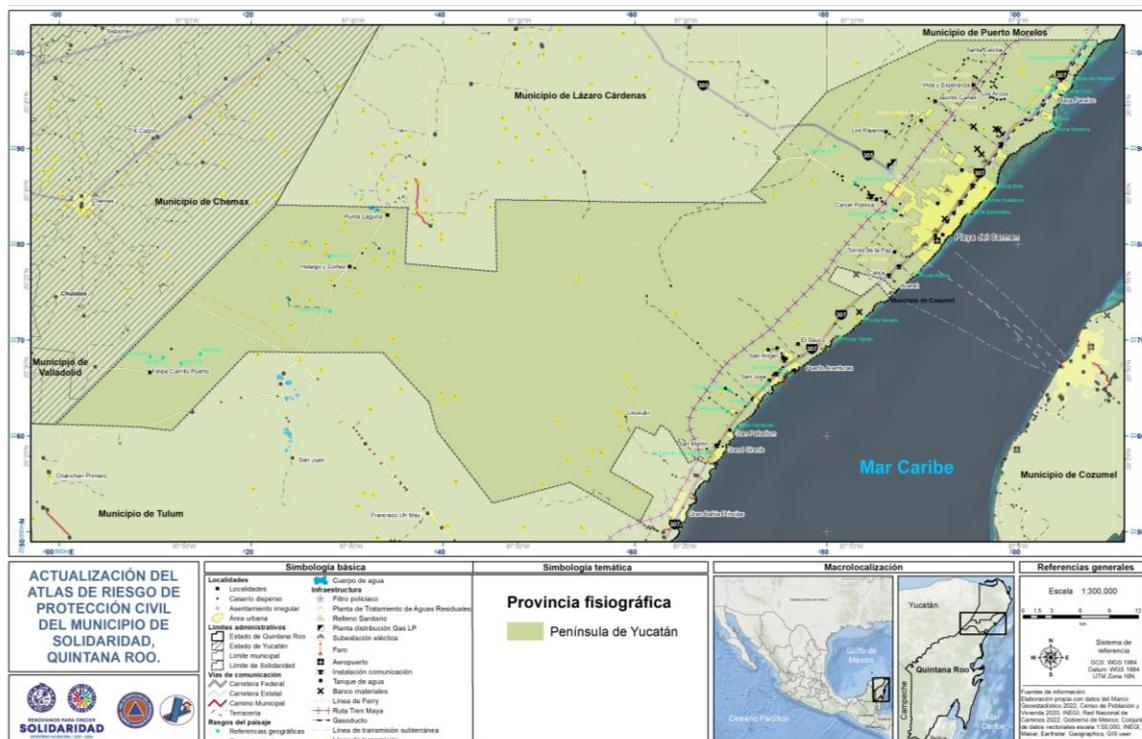


Figura 4. Provincias fisiográficas del municipio de Solidaridad.

Esta provincia se caracteriza principalmente por relieves planos de origen calcáreo marino, con altitudes promedios menores a los 50 metros sobre el nivel del mar. Únicamente hacia la zona centro-sur esta provincia, principalmente hacia el territorio del Estado de Campeche, se identifican lomeríos con elevaciones de hasta 350 metros, es la provincia fisiográfica más joven de México (INEGI, 2008).

3.2 Subprovincias fisiográficas

La provincia Península de Yucatán, está dividida en tres subprovincias:

1. Carso y Lomeríos de Campeche;
2. Costa Baja de Quintana Roo, y;
3. Carso Yucateco.

El municipio de Solidaridad se encuentra dentro de la subprovincia del Carso Yucateco (Figura 5), siendo esta la de mayor extensión de las tres. Su nombre hace referencia a ambientes de origen kárstico, ya que esta subprovincia está conformada principalmente por planicies de depósitos marinos de rocas calizas del Terciario Superior que posteriormente emergieron. No obstante, la composición química de este tipo de rocas favorece su disolución al contacto con el agua, facilitando la infiltración de la precipitación pluvial a través de la roca hasta el subsuelo.

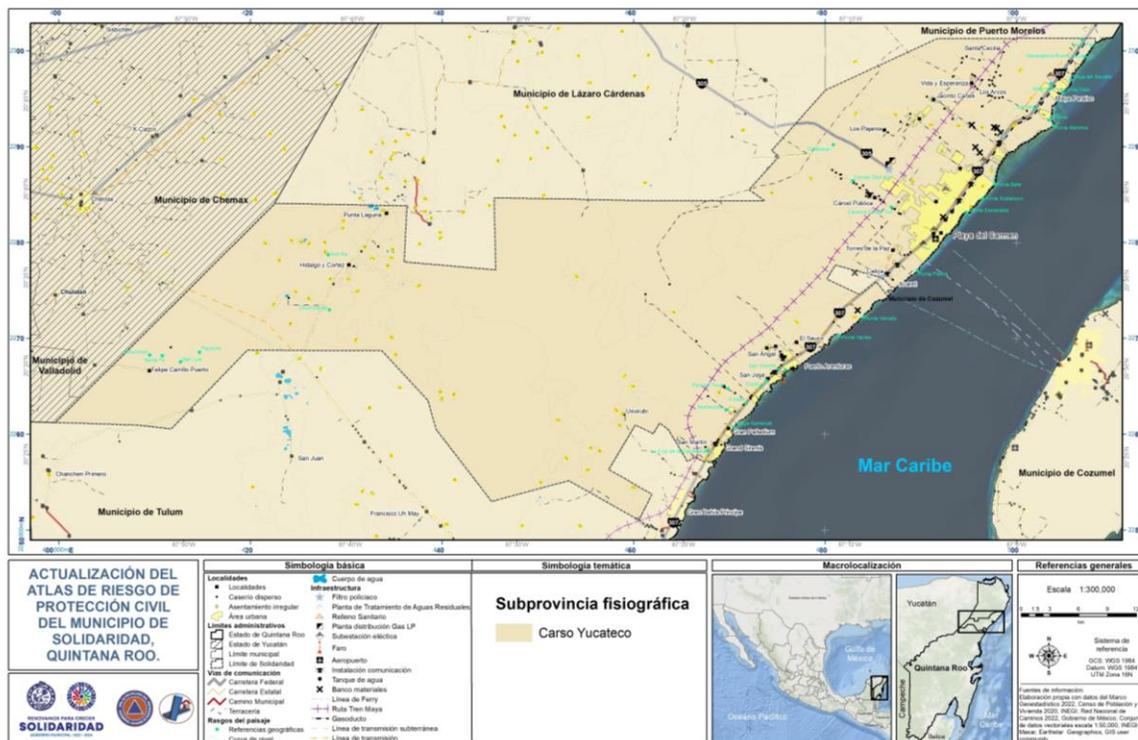


Figura 5. Subprovincias fisiográficas del municipio de Solidaridad.

Debido a estas características la red fluvial superficial es nula, predominando los escurrimientos subterráneos, los cuales dan origen a un complejo sistema de formaciones kársticas caracterizadas principalmente por cavernas, dolinas, también conocidas localmente como “aguadas” y cenotes (INEGI, 2016). Sin embargo, esta condición está asociada a procesos de subsidencia y hundimientos o socavones, los cuales pueden ser potenciados por la extracción de agua subterránea o el aumento de vibraciones sobre el suelo, ya sea por uso de maquinaria o por el paso de vehículos pesados.

3.3 Geomorfología: Principales formas del relieve (sistema de topoformas)

La geomorfología es una ciencia geológico-geográfica que estudia las formas de la superficie terrestre, su desarrollo y evolución, así como las interacciones que tienen los procesos que ocurren en el interior del planeta (endógenos) así como aquellos que ocurren sobre la superficie de la Tierra (exógenos) y que están relacionados con la atmósfera, la hidrosfera, la biosfera y otras esferas geográficas que intervengan en procesos erosivos del relieve.

Como ya se mencionó anteriormente, el municipio de Solidaridad se ubica dentro de la subprovincia Carso Yucateco, la cual se caracteriza principalmente por llanuras de origen cálcico y depósitos sedimentarios. Particularmente, según el conjunto de datos vectoriales de sistema de topoformas (INEGI, 2001) el municipio presenta cuatro tipos de topoformas (Figura 6):

1. Llanura rocosa con hondonadas someras de piso rocoso o cementado.
2. Llanura rocosa de transición de piso rocoso o cementado.
3. Llanura rocosa de piso rocoso o cementado.
4. Playa o barra de piso rocoso o cementado.

La topoforma de llanura se caracteriza por tener un origen cálcico, conformada principalmente por rocas calizas con diferentes niveles de erosión.

En la porción oriental del municipio, hacia los límites con el Estado de Yucatán, se localizan llanuras con hondonadas o depresiones las cuales han sido formadas por hundimientos de cavernas subterráneas que dan origen a cenotes y dolinas.

Para el caso de la topoforma de llanura de transición, se ubica en la porción oriental del municipio hacia la región de las localidades de Punta Laguna e Hidalgo y Cortez. Esta topoforma también se caracteriza por hondonadas, pero con menor densidad que la anterior topoforma mencionada.

Por su parte, la llanura rocosa es la que ocupa mayor superficie dentro del municipio, siendo la topoforma sobre la que se ubican las localidades urbanas de Playa del Carmen y Puerto Aventuras. Esta unidad se caracteriza por presentar altitudes entre 0 y 10 metros sobre el nivel del mar y pendientes predominantemente suaves, menores a 3 grados de inclinación. Si bien, esta topoforma es mayormente plana, también se identifican estructuras como cenotes, dolinas y cavernas kársticas.

Finalmente, la topoforma de playa o barra se localiza en la porción sur de la costa del municipio. Esta topoforma se caracteriza por estar conformada por depósitos litorales sobre roca caliza. No obstante, las características de esta topoforma se pueden distinguir en toda la margen costera del municipio, teniendo depósitos litorales, eólicos y lacustres, que presentan condiciones de inundación debido a la poca pendiente y altitud (Tabla 7).

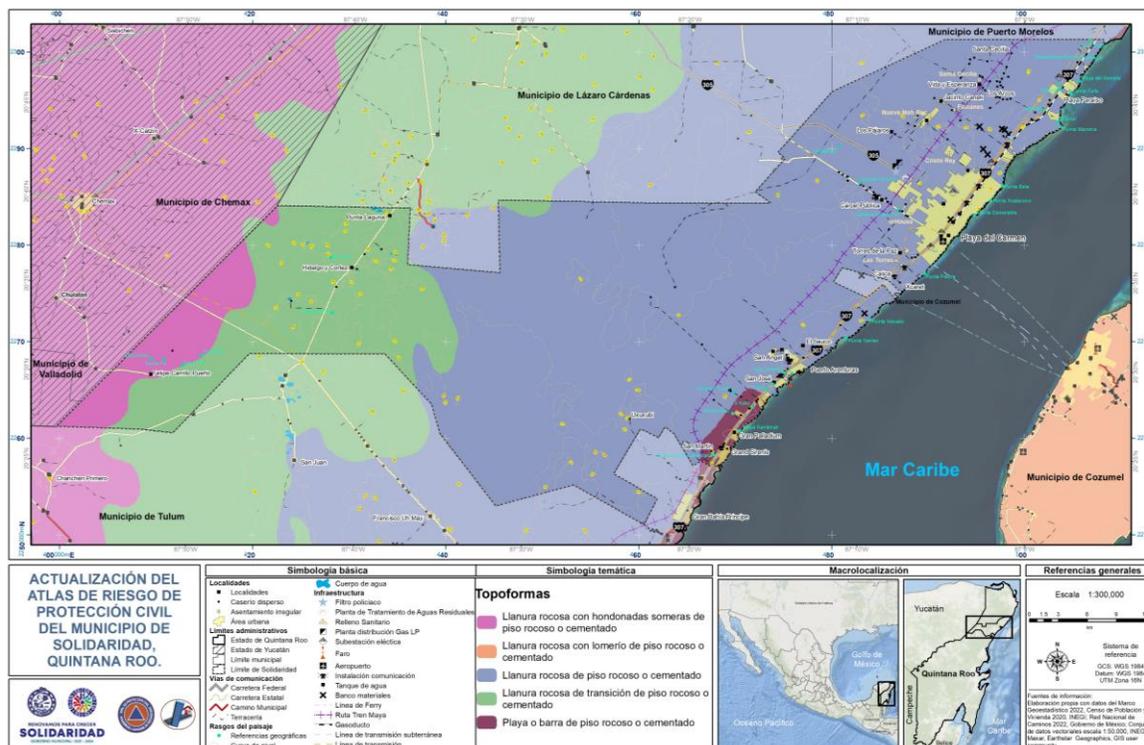


Figura 6. Topoformas presentes en el municipio de Solidaridad.

Tabla 7. Sistema de topoformas presentes en el municipio de Solidaridad

Topoforma	Forma del relieve	Superficie (km ²)	%
Llanura	Llanura rocosa de piso rocoso o cementado	1,515.04	75.24
Llanura	Llanura rocosa de transición piso rocoso cementado	365.55	18.16
Llanura	Llanura rocosa con hondonadas someras de piso	109.01	5.41
Playa o Barra	Playa o barra de piso rocoso o cementado	23.66	1.18
Cuerpo de agua	Agua	0.28	0.01
Total		2,013.53	100

Fuente: Elaboración propia con datos oficiales (INEGI, 2001).

Por otro lado, de acuerdo a la clasificación de Bautista *et al.* (2005), la geomorfología del municipio de Solidaridad se encuentra conformada principalmente por planicies estructurales bajas fitoestables, las cuales se caracterizan por ser una unidad geomorfológica en etapa de pedogénesis y fitoestabilidad, debido a las condiciones climáticas de la región y al desarrollo de la vegetación, particularmente de selva mediana subperennifolia (Bautista, Sampedro, Aponte, Pérez, & González, 2005). Esta unidad geomorfológica ocupa la mayor parte del territorio municipal, y sobre esta se localizan las localidades de Playa del Carmen y Puerto Aventuras.

En menor proporción, se encuentran también planicies estructurales onduladas con disolución y denudación, que se caracterizan por presentar mayor densidad de fracturas y alta concentración de formas cársticas como cenotes profundos y disgregación de dolinas en diferentes etapas de desarrollo. Esta unidad geomorfológica se encuentra hacia los límites del municipio con el Estado de Yucatán, teniendo que también en esta región se encuentran dolinas agrupadas o cenotes inundados en proceso de formación de uvalas, que son depresiones mayores formadas por la unión de dos o más dolinas y conformadas por depósitos.

Finalmente, a lo largo de la línea costera se localizan planicies de cordones litorales residuales acumulativos y palustres susceptibles a inundación. Los cordones litorales se forman en ambientes costeros acumulativos de sedimentos terrígenos o carbonatados, principalmente. La porción sur costera del municipio se caracteriza por este tipo de litoral compuesto por materiales líticos y arenosos, mientras que hacia el norte de la zona costera se localizan áreas con planicies palustres susceptibles a inundación, particularmente al norte de la localidad de Playa del Carmen.

3.4 Geología: Litología, secciones geológicas, minas y rasgos estructurales (INEGI)

De manera complementaria con el estudio de las características geomorfológicas se debe integrar el estudio geológico del municipio para entender el origen y evolución de los materiales rocoso o sustratos del suelo y subsuelo que conforman las diferentes formas del relieve, así como las estructuras geológicas que influyen en la dinámica del relieve y del paisaje. Como ya se mencionó, el municipio de Solidaridad se encuentra sobre llanuras rocosas carbonatadas.

De acuerdo con la carta geológica de INEGI (INEGI, 1983) el municipio se encuentra principalmente sobre rocas sedimentarias de tipo caliza del terciario superior (Ts-cz) con una antigüedad de 8-3 millones de años. Esta unidad geológica se caracteriza por calizas microcristalinas de diferentes texturas, con colores café claro, blanco y rojizo que originan arcillas como residuos de su disolución. Asociado a esta unidad se observan también múltiples fracturas geológicas distribuidas a lo largo del territorio municipal y otras estructuras como dolinas. Como referencia, la localidad de Puerto Aventuras se encuentra casi completamente dentro de esta unidad geológica, mientras que la zona urbana de Playa del Carmen se encuentra parcialmente dentro de esta unidad, ya que funge como una zona de contacto entre unidades geológicas.

En menor proporción se identifican zonas con rocas calizas más recientes (Tpl-cz), correspondientes a la época del plioceno, con una antigüedad de 5-2 millones de años. No obstante, sobre esta unidad geológica se localiza la porción costera de la zona urbana de Playa del Carmen. Estas dos unidades geológicas corresponden a la formación geológica neógena denominada “Carrillo Puerto”, que se caracteriza por rocas calizas rojizas a amarillentas, arcillosas y duras, así como calizas coquinoideas, margas y otras calizas superficiales blancas, duras y masivas del mioceno y plioceno (Pujol Pizá, 2022).

Finalmente, se identifican otras unidades recientes del cuaternario que corresponden con depósitos lacustres (Q-la) y litorales (Q-li) que se distribuyen principalmente sobre la zona costera. Los depósitos litorales corresponden a suelos arenosos originados por el arrastre del oleaje o del viento que forman barras paralelas a la línea costera. Por otra parte, los depósitos lacustres son materiales de textura fina, ricos en materia orgánica que están depositados sobre zonas inundables relacionadas con cuerpos de agua (Figura 7).

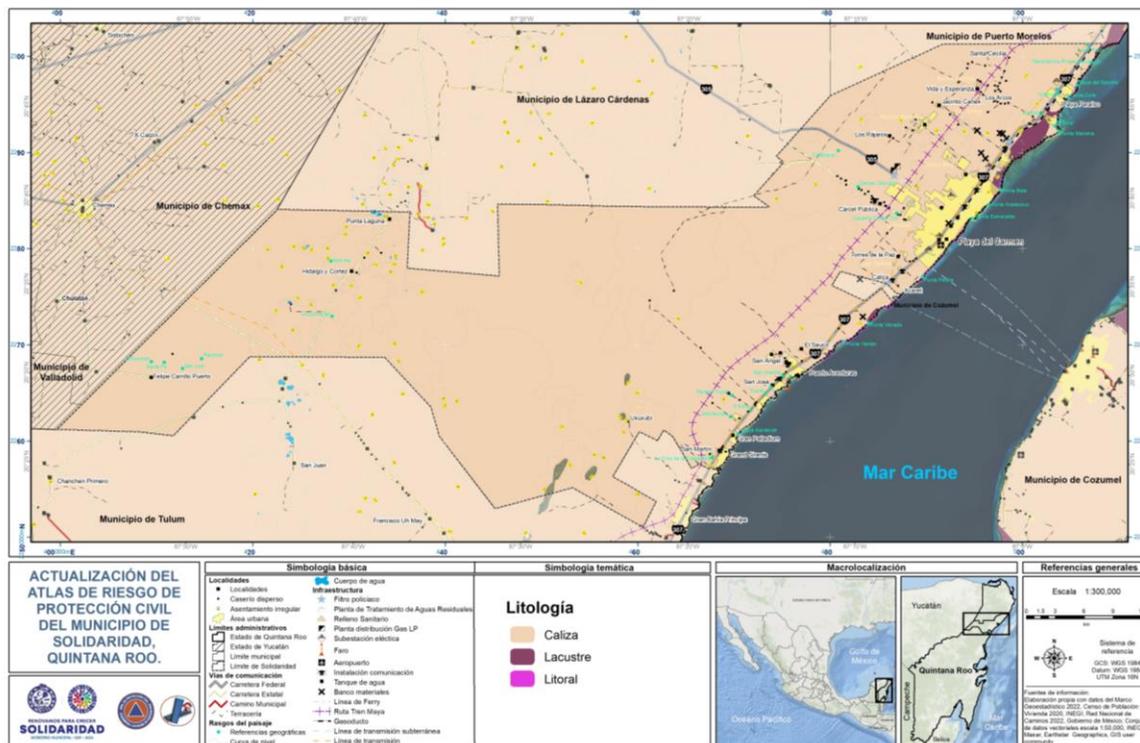


Figura 7. Litología y elementos estructurales en el municipio de Solidaridad

3.5 Geología: Litología, secciones geológicas, minas y rasgos estructurales (SGM)

El Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2006) coincide con que el municipio de Solidaridad se compone principalmente por una secuencia de rocas caliza y coquina de edad Mioceno – Plioceno que corresponden con la Formación Geológica Carrillo Puerto. Sin embargo, a diferencia de las unidades geológicas definidas anteriormente por el INEGI, el SGM indica que la porción costera del municipio, particularmente en el área urbana de Playa del Carmen,

se tienen depósitos cuaternarios de arenisca poco consolidados constituidos principalmente por fragmentos de gasterópodos, pelecípodos, ostras y calcita del Pleistoceno.

Finalmente, se tienen algunas zonas con depósitos lacustres del cuaternario constituidos por arcillas, lodo calcáreo, área y limo de color negro con alto contenido de materia orgánica que se distribuyen alrededor de pequeñas lagunas en la zona costera. Cabe resaltar que esta carta Geológica-Minera indica que existen conjuntos de estructuras geológicas conocidos como lineamientos, entre los que sobresale el lineamiento de Tulum, que puede estar relacionados con eventos de inestabilidad de laderas, subsidencia y hundimientos (Figura 8).

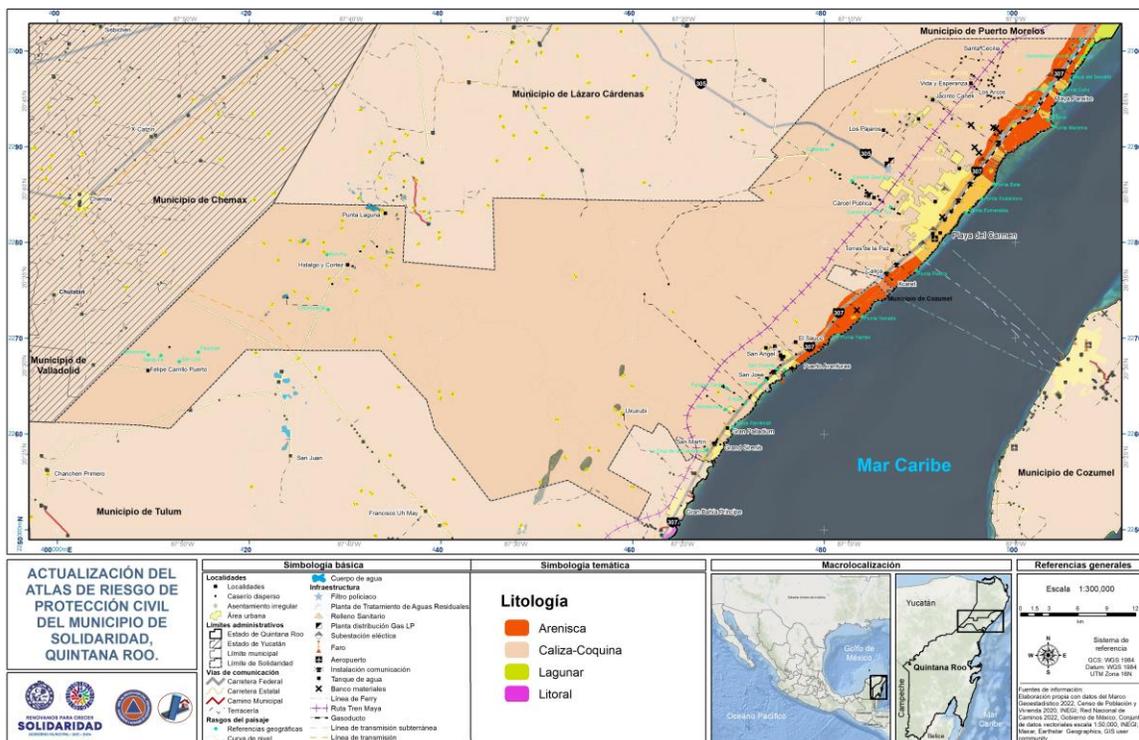


Figura 8. Litología y elementos estructurales en el municipio de Solidaridad

3.6 Edafología

En el conjunto de datos vectoriales edafológicos escala 1: 250,000 serie II (INEGI, 2007), se representan las unidades edafológicas mediante polígonos en los que se asocian hasta tres grupos de suelos. Su nomenclatura fue homologada con la base mundial de referencia para el suelo (WRB, por sus siglas en inglés) (IUSS Working Group WRB, 2015). Derivado de esto, en el territorio en estudio, se pueden encontrar diferentes asociaciones, en orden de mayor a menor cobertura se encuentra el Leptosol, Phaeozem, Solonchak, Histosol, Arenosol y Cambisol (Figura 9).

El grupo Leptosol (LP), son suelos muy someros, tienen una limitación de profundidad por roca continua dentro de los primeros 25 cm, se encuentran sobre afloramientos rocosos, por eso son extremadamente pedregosos (IUSS Working Group WRB, 2015). Los Leptosoles son

suelos azonales, es decir que no están condicionados por el clima, sino por la topografía local, estos suelos generalmente se encuentran en las laderas y montañas escarpadas, por eso la erosión es la mayor amenaza de este grupo. Con un manejo sostenible, algunos agroecosistemas de vegetación arbustiva podrían desarrollarse en Leptosoles.

El grupo Phaeozem (PH), es un suelo zonal, es decir que está condicionado por un clima estepario, tienen un horizonte superficial rico en humus dentro de los primeros 25 cm de la superficie del suelo, debido a eso presenta un horizonte superficial oscuro. Son muy parecidos a Chernozems y Kastanozems pero presentan un proceso más intenso de lixiviación, por lo tanto, son menos ricos en bases intercambiables. El arado y el uso de maquinaria pesada pueden ocasionar problemas de compactación a este grupo (IUSS Working Group WRB, 2015). Por lo tanto, los cultivos que se desarrollen en este tipo de suelos, idealmente deberían adoptar estrategias que minimicen las labores de labranza.

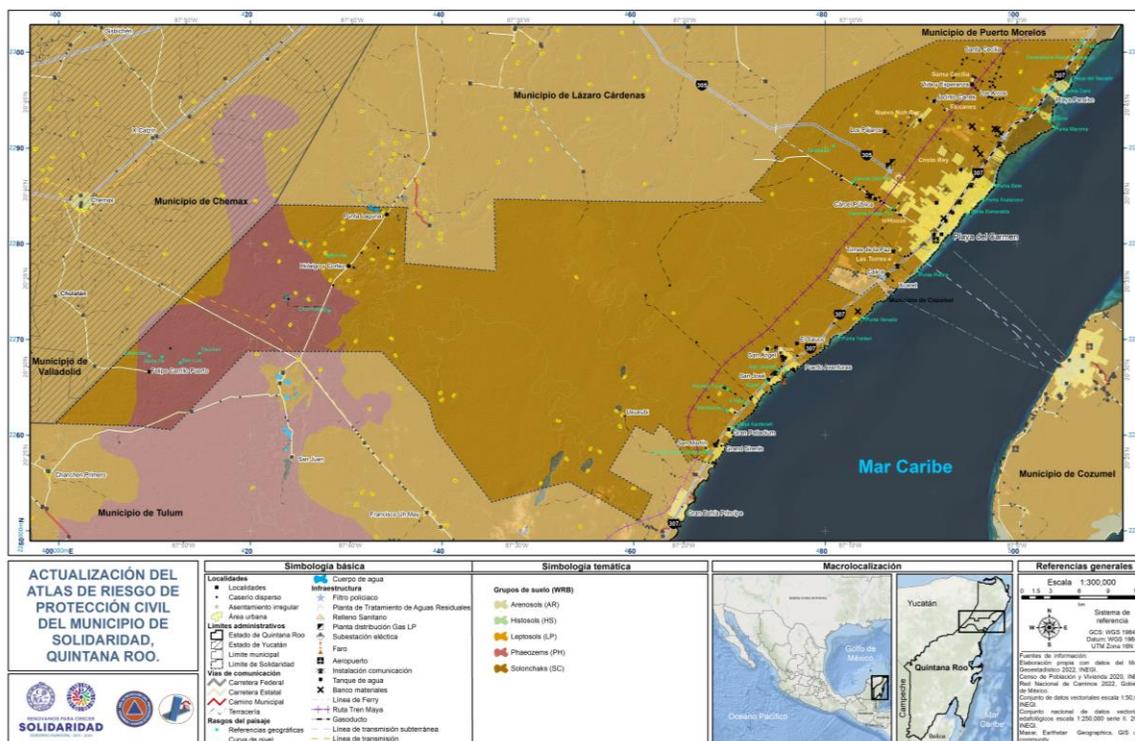


Figura 9. Edafología en el municipio de Solidaridad.

El grupo Solonchak (SC) es un grupo zonal y está ampliamente confinado a zonas climáticas áridas y semiáridas, además de regiones costeras. Su característica principal es contener un horizonte sálico que se desarrolla por la intensa evaporación dentro de los primeros 50 cm de la superficie del suelo. Las sales se precipitan en la superficie formando una costra (IUSS Working Group WRB, 2015). Por lo tanto, este grupo tiene un bajo valor agrícola, sin embargo, si se adoptan las medidas de manejo adecuadas, como una buena gestión del riego y un buen drenaje es posible producir cultivos en este tipo de suelos.

El grupo Histosol (HS), es un grupo zonal ya que están influenciados por el clima y la vegetación, ya que presentan una capa orgánica de espesor mayor a 10 cm. Se localizan en

zonas bajas de llanuras costeras inundables, son desarrollados predominantemente en musgo de turba, especialmente bajo vegetación hidrófila de petén. Se caracterizan por tener altas cantidades de hojarasca, fibras, madera o humus, también presentan acumulación de salitre, (IUSS Working Group WRB, 2015), por lo tanto, es un grupo poco atractivo para la agricultura, ya que demandan una mayor cantidad de recursos.

El grupo Arenosol (AR) se refiere a suelos relativamente jóvenes con muy poco o ningún grado de desarrollo de procesos pedogenéticos. Son producto de arenas residuales después de la meteorización in situ de sedimentos o rocas ricos en cuarzo recién depositadas, tales como dunas y playas. Debido a su textura, no tienen buenas propiedades de almacenamiento de agua y nutrientes, pero ofrecen facilidad para la labranza y el enraizamiento de las plantas, (IUSS Working Group WRB, 2015).

El grupo Cambisol (CM) Se refiere a suelos moderadamente desarrollados, presentan un horizonte cámbico que comienza dentro de los primeros 50 cm de la superficie del suelo. Los Cambisoles combinan suelos con formación de por lo menos un horizonte subsuperficial incipiente, pueden ser zonales y azonales, esto significa que los Cambisoles no están limitados exclusivamente a un tipo específico de zona climática, sino que pueden formarse en una variedad de condiciones. Su formación y características dependen de factores como el clima local, la vegetación, la topografía y la geología del área (IUSS Working Group WRB, 2015).

Como se mencionó anteriormente, dentro de la porción continental, el municipio de Solidaridad se encuentra dominado por asociaciones de Leptosol, en especial la asociación LPhurz + LPhuli/2 se distribuye en la zona oeste del municipio, además de cinco asociaciones mezcladas entre dos tipos del grupo Leptosol. Los grupos Phaeozem, Luvisol y Cambisol predominan en el centro y norte. La Tabla 8 muestra las asociaciones edáficas mencionadas anteriormente, así como la superficie de cada una de ellas.

Tabla 8. Superficie de las asociaciones de suelo en el municipio de Solidaridad

Asociación	Superficie (ha)	%
LPhuli + LPhurz + PHlep/2R	81,853	40.83
PHhulep + LPhuli + LPhurz/2	24,034	11.99
LPhurz + LPhuli + PHchlep/2	55,520	27.7
LPhuli/2	15,315	7.64
LPhurz + LPhuli/2	9,471	4.72
LPhuli + LVhulep + LPhurz/2	9,149	4.56
LPhurz+CMhulep+LPhuli/2	2,174	1.08
LPhurz + LPhuli/2	66	0.03
SCglsol + GLhum+LPhuli/2	1,528	0.76
ARcaso/1	575	0.29
HSeuhfo + GLhum+LPhuli/3R	533	0.27
SCarso + GLszwso + LPhurz/1	143	0.07
ARcaso + SCarso/1	107	0.06

Calificadores primarios LP=Leptosol, PH=Phaeozem, LV=Luvisol, CM=Cambisol

Calificadores secundarios huli= húmico lítico, hurz= húmico réndzico, hulep= húmico léptico, lep= léptico.

Calificadores primarios AR=Arenosol, SC=Solonchak, GL=Gleysol, HS=Histosol, LP=Leptosol

Calificadores secundarios caso=calcárico sódico, arso= arénico sódico , ehfo= eútrico fólico , hum= húmico, szwso= sálico hipo sódico, huli= húmico lítico, hurz= húmico réndzico

Fuente: Elaboración propia con datos oficiales (INEGI, 2007, 2009)

La suma de las asociaciones de Leptosol, Phaeozem, Luvisol y Cambisol constituye el 98% del territorio del municipio de Solidaridad. El 2% restante corresponde a la región este de la franja costera, los grupos de suelos cambian en esta zona, y se pueden encontrar hasta 4 asociaciones que incluyen los grupos Arenosol, Solonchak, Gleysol, Histosol y Leptosol.

3.7 Hidrografía

El municipio de Solidaridad está asentado sobre el manto acuífero Península de Yucatán, que está ubicado en la porción este de los Estados Unidos Mexicanos, y comprende todo el estado de Yucatán, y casi la totalidad de los estados de Campeche y Quintana Roo, con excepción de la porción sur de la Península, donde se encuentran los acuíferos Cerros y Valles del Estado de Quintana Roo y Xpujil del estado de Campeche (INEGI, 2022c).

Debido a la naturaleza geológica del material que conforma la Península de Yucatán y su elevada permeabilidad, toda el agua que precipita sobre ella, se infiltra al subsuelo, por lo que no existen corrientes de agua superficial y consecuentemente, la fuente de abastecimiento para todos los usos de agua en la Península es el agua subterránea (SEMARNAT, 2010).

Al no desarrollarse corrientes superficiales, el agua de precipitación que resta a la evaporación es absorbida por las plantas y suelos, el resto satura al terreno por las características del relieve y se infiltra en el subsuelo, lo que da origen a aguas subterráneas, este fenómeno además es favorecido por el delgado espesor de los suelos, y la espesa cobertura vegetal, de manera que todos los sitios que captan el agua de lluvia constituyen zonas de recarga del acuífero (INEGI, 2002).

No obstante, por tratarse de un acuífero costero con un reducido espesor de agua dulce apta para consumo humano, es indispensable utilizar el recurso de manera eficiente para evitar que el agua salina ascienda y salinice el agua subterránea (Bocanegra & Custodio, 1994).

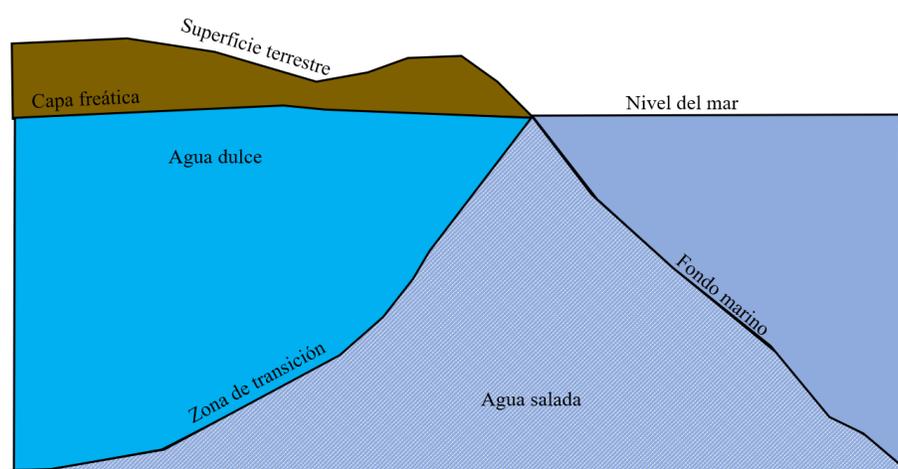


Imagen 1. Manto acuífero costero

Adicionalmente, en la superficie del acuífero existen diversas fuentes de contaminación que amenazan la calidad del agua subterránea, como granjas, viveros, descargas de agua residual, poblados sin sistema de drenaje, zonas agrícolas en las que se emplean intensivamente agroquímicos, basureros, panteones, gasolineras, gaseras, entre otras (SEMARNAT, 2010).

En este sentido, el gobierno de México ha decretado zonas de veda en el acuífero de Yucatán con la finalidad de regular la explotación del mismo, a continuación, se describen los decretos y en la Figura 10, se observan las poligonales donde el acuífero está en veda.

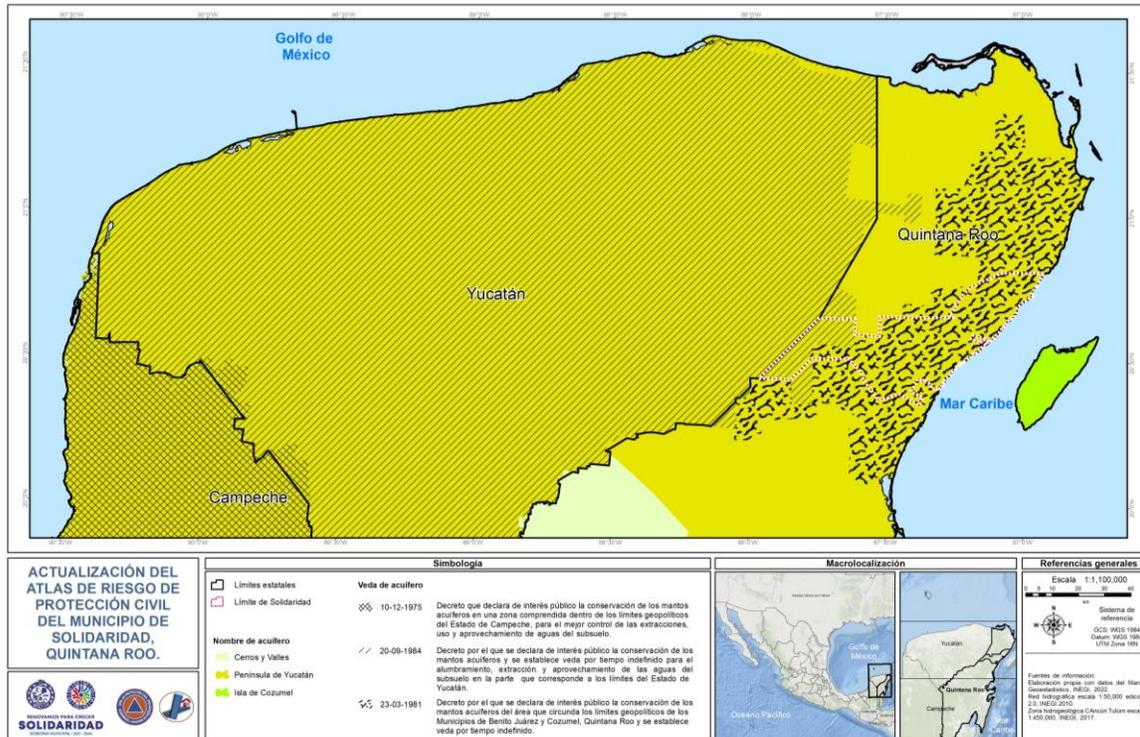


Figura 10. Hidrografía en el municipio de Solidaridad.

10 de diciembre de 1975: Decreto que declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en una zona comprendida dentro de los límites geopolíticos del Estado de Campeche, para el mejor control de las extracciones, uso y aprovechamiento de aguas del subsuelo en dicha zona, publicado en el Diario Oficial de la Federación, que comprende el Estado de Campeche, que corresponde a la porción oeste del acuífero Península de Yucatán.

20 de septiembre de 1984: Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en la parte que corresponde a los límites geopolíticos del Estado de Yucatán, publicado en el Diario Oficial de la Federación, comprende la totalidad del Estado de Yucatán, que corresponde a la porción norte del acuífero Península de Yucatán.

23 de marzo de 1981: Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos del área que circunda los límites geopolíticos de los municipios de Benito

Juárez y Cozumel, Quintana Roo y se establece veda por tiempo indefinido para la extracción, alumbramiento y aprovechamiento de las aguas del subsuelo, publicado en el Diario Oficial de la Federación. Comprende los municipios de Benito Juárez, Cozumel y Solidaridad, del Estado de Quintana Roo, que corresponde a la porción noreste del acuífero Península de Yucatán.

También se destaca el acuerdo general por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento en las porciones no vedadas, no reglamentadas o no sujetas a reserva de los 175 acuíferos que se indican, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 5 de abril de 2013, a través del cual en el acuífero Península de Yucatán, se prohíbe la perforación de pozos, la construcción de obras de infraestructura y la instalación de cualquier otro mecanismo que tenga por objeto el alumbramiento o extracción de las aguas nacionales del subsuelo, así como el incremento de volúmenes de extracción autorizados o registrados, sin contar con concesión, asignación o autorización emitidos por la Comisión Nacional del Agua, hasta en tanto se emita el instrumento jurídico que permita realizar la administración y uso sustentable de las aguas nacionales del subsuelo (SEMARNAT, 2010).

3.8 Cuencas y subcuencas

Las cuencas hidrográficas son territorios definidos naturalmente donde existe una interrelación e interdependencia espacial y temporal entre el medio físico (suelo, ecosistemas acuáticos y terrestres, cultivos, agua, biodiversidad, estructura geomorfológica y geológica), los modos de apropiación (tecnología y/o mercados) y las instituciones (organización social, cultura, reglas y/o leyes) (Ríos, Cotler, González-Mora, Pineda, & Alcántar, 2013).

El municipio de Solidaridad se encuentra asentado en la cuenca denominada Quintana Roo con el mismo nombre de subcuenca, esta unidad tiene la particularidad de no contar con escurrimientos superficiales relevantes, como se explicó en el apartado 3.6, debido a la naturaleza calcárea del terreno y a su relieve que consta de planicies principalmente.

Esta cuenca pertenece a la región hidrológica RH32 Yucatán Norte, que abarca el estado de Quintana Roo, parte de Yucatán y Campeche con una superficie total de 55,443 km², sus límites son al norte con el Golfo de México, al este el Mar Caribe, al sur la Región Hidrológica 33. Presenta dos cuencas denominadas 32A Quintana Roo y 32B Yucatán (INEGI, 2002) (Figura 11).

La cuenca 32A Quintana Roo se ubica al norte del estado y ocupa el 31% de la superficie estatal, esta cuenca incluye las islas de Cozumel, Mujeres y Contoy, y es donde se encuentra asentado el municipio de Solidaridad. Tiene como límites al norte al Golfo de México, al este al Mar Caribe, al sur la división con la región hidrológica RH33 y al oeste con los límites de Yucatán (INEGI, 2002).

La temperatura media anual es de 26°C, con una precipitación que va de los 800 mm en la porción norte hasta los 1500 mm en la porción sureste de la cuenca. Tiene una extensión de 14,372 km², tiene un coeficiente de escurrimiento de 0 a 0.05%, es de tipo exorreica, y su elevación máxima es de 60 msnm. Las principales zonas urbanas asentadas en esta cuenca son Cancún, Playa del Carmen y Tulum (INEGI, 2010b).

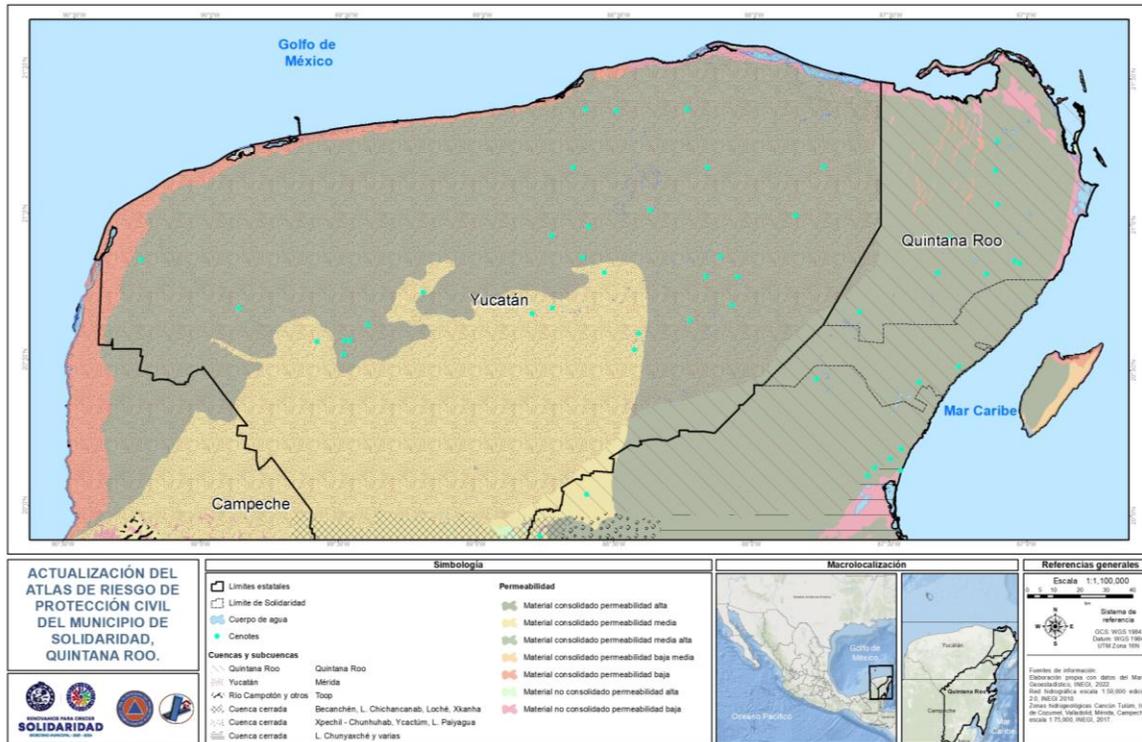


Figura 11. Cuencas y subcuencas en el municipio de Solidaridad.

No cuenta con cuerpos de agua de gran importancia, solo pequeñas lagunas como la de Cobá, Punta Laguna, La Unión; lagunas que se forman junto al litoral como Conil, Chakmochuk y Nichupté (INEGI, 2002).

3.9 Climas

La identificación del tipo de clima en el municipio de Solidaridad, se realizó con base en la carta climática de INEGI (INEGI, 2020b) en el que se caracteriza de acuerdo al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (1936), modificado por Enriqueta García (1964) y por INEGI (1980).

La distribución de los diferentes tipos de climas en México clasificados en grupos, subgrupos, tipos y subtipos, así como el comportamiento de 16 variables derivadas del cálculo de la fórmula climática, que son de gran valor climático y ambiental (temperatura media anual, temperatura del mes más frío, mes más frío, temperatura del mes más cálido, mes más cálido, precipitación total anual, precipitación del mes más seco, mes más seco, precipitación mes más lluvioso, mes más lluvioso, porcentaje de lluvia invernal, época de lluvias, cociente p/t, oscilación térmica anual, marcha Ganges y canícula), para un periodo de tiempo de 1902 a 2011 (INEGI, 2020b) (Figura 12).

El clima que predomina en el municipio como en el resto de la Península de Yucatán es el Cálido Subhúmedo, las características de este tipo de clima son que la temperatura media anual es mayor a los 22°C, la temperatura del mes más frío es mayor a los 18°C, el porcentaje

de lluvia invernal es menor a 18. También se puede describir como cálido subhúmedo intermedio con lluvias uniformemente distribuidas y tendencia a que sean de verano, con alto porcentaje de lluvia invernal y canícula (CCPY, 2021) (Tabla 9).

A pesar de que el clima predominante en el municipio de Solidaridad es cálido, cabe señalar que en la última década se han emitido declaratorias de emergencia por ondas cálidas con temperaturas mayores a 35°C, por lo cual se requiere atención especial de las autoridades de Protección Civil al enfrentar dichas eventualidades.

Tabla 9. Climas predominantes en el municipio de Solidaridad

Formación climática	Ax'(w1)	Ax'(w0)
Clave del grupo	A	A
Grupo	Cálido	Cálido
Clave subgrupo	A	A
Subgrupo	Cálido de los cálidos	Cálido de los cálidos
Clave tipo	x'(w)	x'(w)
Tipo	Subhúmedo	Subhúmedo
Clave subtipo	1	0
Subtipo	Humedad media	Menos húmedo
Régimen de lluvia	Intermedio	Intermedio
Porcentaje de lluvia invernal	<18	<18
Temperatura media anual	>22°C	>22°C
Temperatura del mes más frío	>18°C	>18°C
Temperatura del mes más cálido	Sin límite	Sin límite

Fuente: Elaboración propia con datos oficiales (INEGI, 2020b).

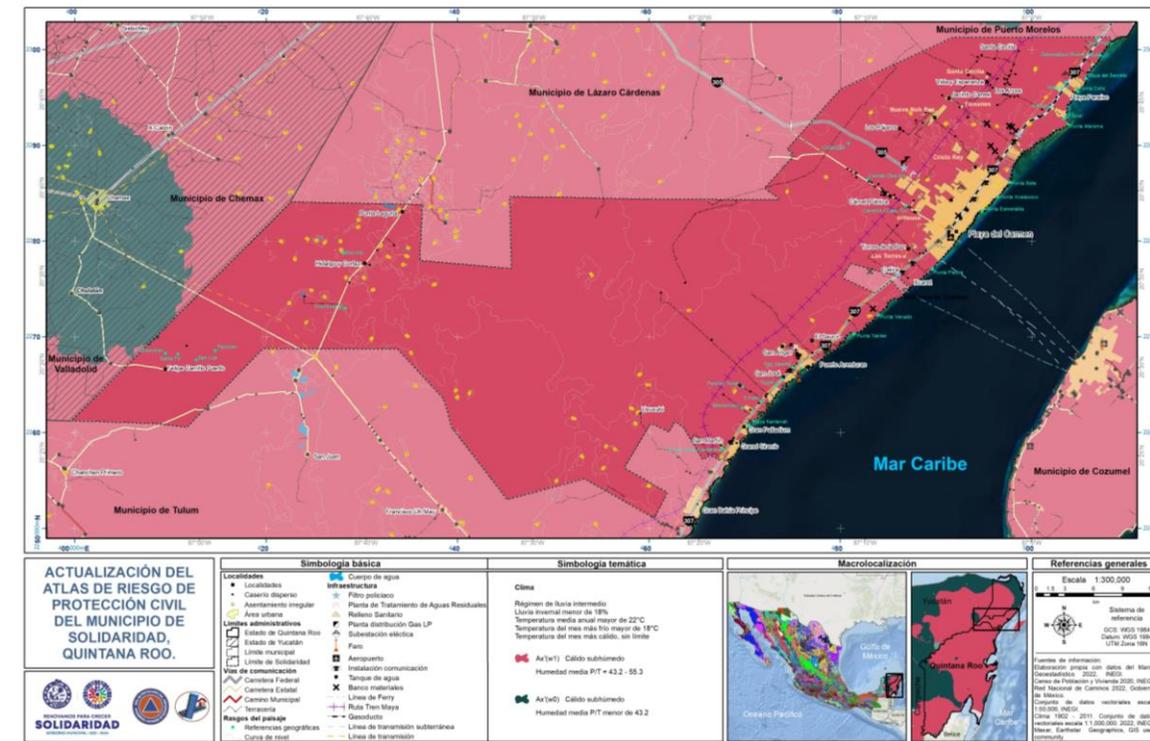


Figura 12. Climas en el municipio de Solidaridad.

3.10 Uso de suelo y vegetación

La elaboración de la cartografía de coberturas vegetales y uso de suelo, se realizó de acuerdo a la carta de Uso de suelo y Vegetación Serie VII publicada por INEGI (2018). En la zona de estudio se identifican comunidades de selva mediana subperennifolia, manglar, selva baja subcaducifolia y tular, así como asentamientos humanos, agricultura de temporal y pastizal cultivado. El 33% de la superficie total pertenece a comunidades de selvas primarias, el 52% corresponde a selvas en algún estado de sucesión (arbórea, arbustiva o herbácea) y el 14% está relacionada a actividades humanas y zonas sin vegetación aparente (Figura 13).

En el municipio de Solidaridad se identifican comunidades de selva mediana subperennifolia, manglar y tular, las cuales representan el 48% de la superficie total, seguido por la vegetación secundaria en diversos estados de sucesión (46%), finalmente las actividades productivas y asentamientos humanos se distribuyen sobre el 6% del territorio municipal (Tabla 10).

De acuerdo a datos del INFyS, en el municipio de Solidaridad, se identifican 41 familias de flora en la comunidad de selva mediana subperennifolia, predominan las familias *Fabaceae* (22%), *Sapotaceae* (12%), *Burseraceae* (10%) y *Polygonaceae* (9%), específicamente las especies *Lysiloma latisiliquum* (tzalam, dzalam, tzukté, bo'ox o salam), *Pouteria reticulata* (ch'iich'ya, ts'um ya' o zapotillo), *Manilkara zapota* (zaya, sak-yá, itzaj-ya, chak ya', chico zapote, zapote, zapote blanco, sapotillo, zapote colorado o chicle), *Bursera simaruba*

(*chakah, huk'up, palo mulato, indio desnudo, palo chino*), *Gymnopodium floribundum* (*Dzidzilché*) y *Coccoloba cozumelensis* (*boob, boob ch'iich'*) predominan a lo largo del territorio (CICY, 2010; CONAFOR, 2020; Ortíz, Tun, Sandoval, & Torres, 2019; Peña-Chocarro & Knapp, 2011), especies características en la región por los bienes y servicios que proveen como melíferas, mejoradoras de suelo, cortinas rompe-vientos y para alimento, forraje, materiales, usos medicinales, combustibles y control de la erosión (Peña-Chocarro & Knapp, 2011).

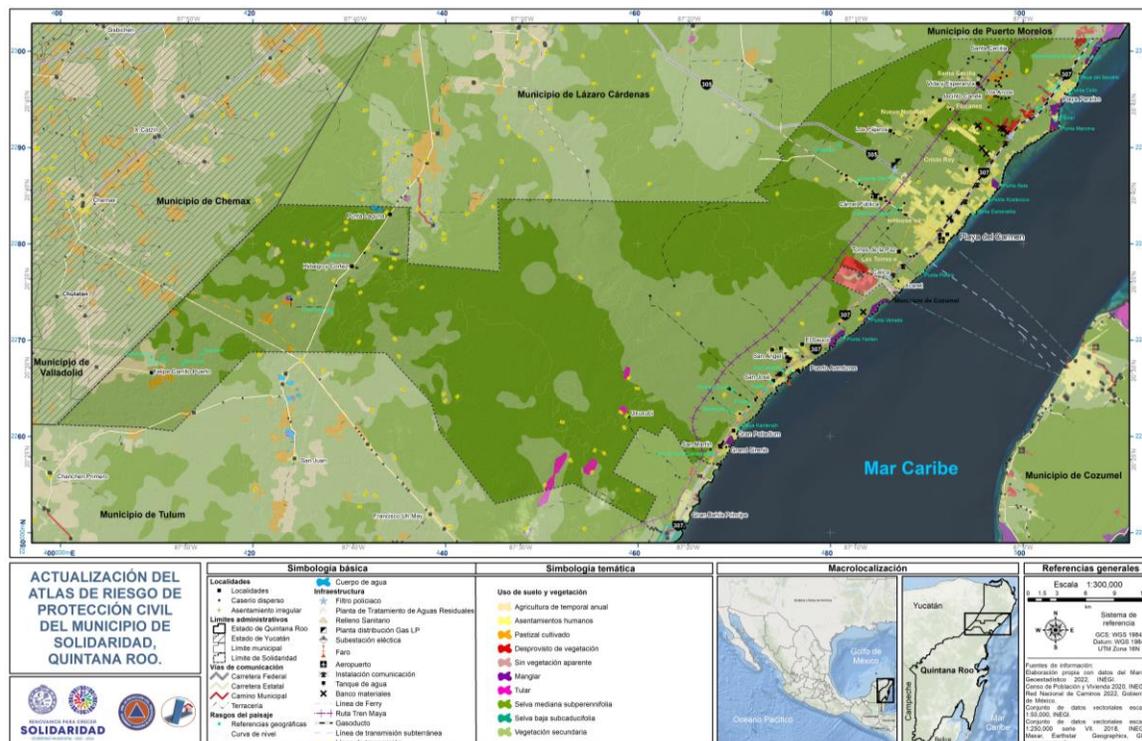


Figura 13. Uso de suelo y vegetación del municipio de Solidaridad.

Resalta la importancia ecológica y social que representan los ecosistemas, primero por los servicios ambientales que proveen, seguido por la relevancia de los mismos como elementos fundamentales para la captura y reserva de carbono, la mitigación del cambio climático y en la disminución del riesgo y vulnerabilidad social ante diversos agentes perturbadores. Se estima que las selvas tropicales almacenan más de 90 MgC ha^{-1} (Hernández, 2021), mientras los manglares almacenan entre 37 y $2,477 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (Alvarado-Barrientos, López-Adame, Lazcano-Hernández, Arellano-Verdejo, & Hernández-Arana, 2021). Asimismo, se ha documentado la importancia de los manglares como elementos fundamentales para la protección costera, el control de inundaciones en asentamientos humanos costeros y como reductor de la energía emitida por hidrometeoros como los huracanes, lo que a su vez minimiza el impacto económico y principalmente las pérdidas humanas (Alvarado-Barrientos et al., 2021; Soanes et al., 2021).

Tabla 10. Superficie de los tipos de vegetación y usos del suelo en el municipio de Solidaridad

Grupo	Tipo	Hectáreas	%
Vegetación primaria	Selva mediana subperennifolia	96,231	47.83
	Manglar	679	0.34
	Tular	613	0.30
Vegetación secundaria arbórea	Selva mediana subperennifolia	69,371	34.48
	Manglar	1,174	0.58
	Selva baja espinosa subperennifolia	939	0.47
Vegetación secundaria arbustiva	Selva mediana subperennifolia	20,897	10.39
	Manglar	127	0.06
Actividades humanas	Asentamientos humanos	8,066	4.01
	Agricultura de temporal anual	1,243	0.62
	Desprovisto de vegetación	1,017	0.51
	Pastizal cultivado	792	0.39
Otros	Sin vegetación aparente	53	0.03
Total		201,202	

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (INEGI, 2018).

3.11 Áreas naturales protegidas

En México, la conservación de recursos naturales inicia a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, debido al auge en las relaciones internacionales entre México, Estados Unidos y Canadá y cuando se identifica la relevancia de la vegetación para evitar la degradación de suelos, para mantener los recursos hídricos y para minimizar el impacto de fenómenos hidrometeorológicos en zonas urbanas. Se estima que durante el mandato de Lázaro Cárdenas (1934-1940) se delimitaron 108 reservas forestales bajo distintas categorías de manejo, sin embargo, es hasta la década de 1970 cuando se establece la Secretaría de Salubridad, así como el decreto oficial de Área Natural Protegida y Reserva de la Biósfera (RB) (List, Rodríguez, Pelz-Serrano, Benítez-Malvido, & Lobato, 2017; Urquiza García, 2019).

En el municipio de Solidaridad se identifican dos áreas naturales de suma relevancia, al noroeste del municipio se localiza el Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) Otoch

Ma'ax Yetel Koooh y al este, a lo largo de la línea de costa del territorio, la Reserva de la Biósfera Caribe Mexicano (Figura 14).

Otoch Ma'ax Yetel Koooh cuenta con 5,367 ha y se consolida como Área de Protección de Flora y Fauna mediante Decreto el 05 de junio de 2022, predomina la selva baja subperennifolia y se registran especies de *Manilkara zapota* y *Bursera simaruba*, entre otras, así mismo destaca la presencia de fauna como el Cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*), Puma (*Puma concolor*), Jaguar (*Panthera onca*), Tigrillo ocelote (*Leopardus wiedii*), Mono araña (*Ateles geoffroyi*), Saraguato de manto (*Alouatta pigra*), Venado cabrito (*Mazama americana*) y Viejo de monte (*Eira barbara*) (CONANP, 2022b).

La Reserva de la Biósfera Caribe Mexicano comprende una superficie de 5,754,055 ha (28,590 ha de superficie terrestre y 5,725,465 ha de superficie marina). Debido a la extensión esta Reserva de la Biosfera, se identifican diversidad de ecosistemas y especies de flora y fauna como el emblemático Tiburón ballena (*Rhincodon typus*), Tiburón sarda (*Carcharhinus leucas*), Pavo ocelado (*Meleagris ocellata*), Loro yucateco (*Amazona xantholora*), Carpintero Yucateco (*Melanerpes pygmaeus*) especie endémica de la región, Manati (*Trichechus manatus*), Tortuga carey (*Eretmochelys imbricata squamata*), Tortuga caguama (*Caretta caretta*), Tortuga verde o prieta (*Chelonia mydas*) y la Tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*) (CONANP, 2022a).

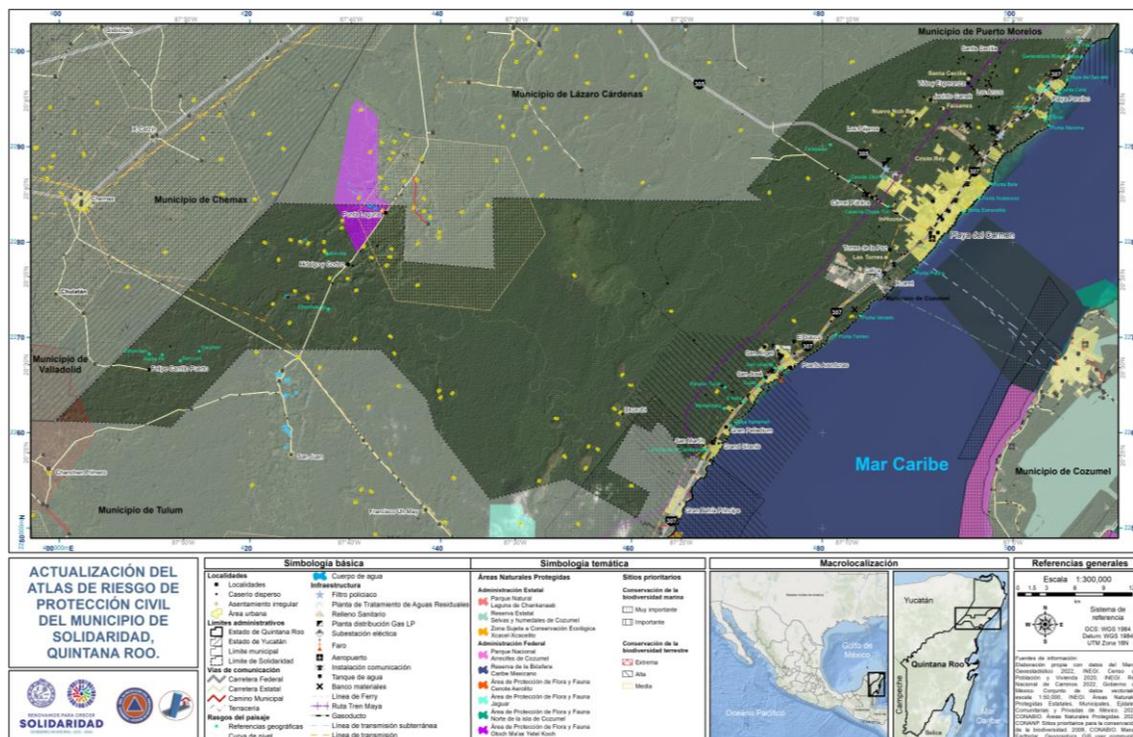


Figura 14. Áreas naturales protegidas en el municipio de Solidaridad.

3.11.1 Programa de ordenamiento ecológico del municipio de Solidaridad

El Programa de Ordenamiento Ecológico del municipio de Solidaridad se decretó el 25 de mayo de 2009 mediante su publicación en el Periódico Oficial de la Federación, en el mismo se establecen 5 políticas ambientales y 19 Unidades de Gestión Ambiental (Figura 15).

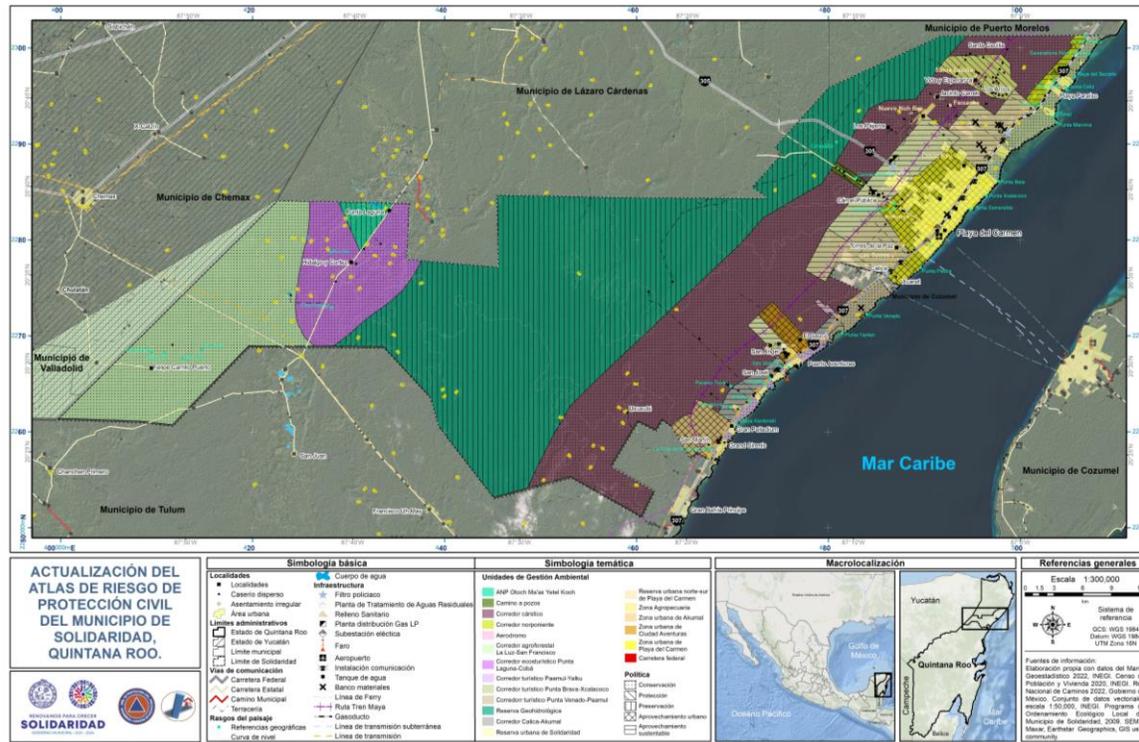


Figura 15. Mapa de las Unidades de Gestión Ambiental (UGA's) del Programa de Ordenamiento Ecológico del municipio de Solidaridad, Quintana Roo.

Las políticas de Conservación y Preservación del equilibrio ecológico son las unidades con mayor representatividad dentro del municipio, sin embargo, existen diferencias entre ellas. La Conservación es una política que permite los usos productivos como aprovechamiento forestal, agroforestal o turismo siempre y cuando estas actividades no interfieran con la continuidad de los procesos ecológicos y los servicios ambientales que los mismos proporcionan. Mientras que la política de Preservación del equilibrio ecológico, busca mantener y asegurar la continuidad de los ecosistemas y procesos ecológicos, por lo cual se limitan las actividades productivas y solo se permiten actividades con fines recreativos, científicos y en algunos casos aprovechamiento forestal (SEMA, 2009) (Tabla 11).

Existen dos UGAS's bajo la política de Preservación del equilibrio ecológico, el Área Natural Protegida Otoch Ma'ax Yetel Kooh (OMYK) y la Reserva Geohidrológica, en ambas unidades la vocación del uso de suelo es Área Natural, por lo cual se limitan las actividades productivas, en el caso de la ANP OMYK, se prohíbe la apertura de caminos, el aprovechamiento forestal y de materiales, la construcción de infraestructura pública y privada incluidos los centros de población, la extracción de flora y fauna, el uso de agroquímicos,

pesticidas y explosivos y la descarga de contaminantes de cualquier índole en suelo y agua (CONANP, 2006);

Tabla 11. Unidades de Gestión Ambiental decretadas por política ambiental en el municipio de Solidaridad

Política ambiental	Unidades de Gestión Ambiental (UGA's)	Superficie decretada (ha)	Porcentaje respecto a la superficie total
Preservación del equilibrio ecológico	2	78,433.48	36.85
Conservación	6	103,763.46	48.76
Protección de los recursos naturales	2	2,819.67	1.32
Aprovechamiento sustentable	6	14,919.35	7.01
Aprovechamiento urbano	3	12,887.92	6.06
Total	19	212,823.88	100

Fuente: Programa de Ordenamiento Ecológico Local del municipio de Solidaridad (SEMA, 2009)

Por su parte, en la Reserva Geohidrológica se permiten de manera condicionada las actividades ecoturísticas, el establecimiento Unidades de manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA's), reservas naturales y equipamiento, siempre y cuando sigan los criterios de regulación ecológica establecidos.

Entre estos criterios destacan el tratamiento de aguas residuales, la retención de sedimentos y contaminantes que evite la contaminación de suelos y mantos acuíferos, se asegure la calidad ambiental mediante estudios técnicos de impacto ambiental, de calidad del agua y mecánica de suelos, se evite el uso de vehículos motorizados, se cuente con planes y acciones preventivas ante incendios forestales, asegurar la reforestación con especies nativas en áreas con escasa vegetación, erradicar y evitar la introducción de especies exóticas, utilizar materiales permeables para la construcción de caminos y viviendas de tipo rural y favorecer el uso de productos orgánicos y control biológico para prevenir y controlar plagas o enfermedades, entre otros (SEMA, 2009).

Destaca la relevancia que estas áreas representan tanto para la continuidad de los ecosistemas como para la preservación de los servicios ambientales y la fauna que ahí se desarrolla, al ser puntos clave en materia de conectividad ecológica y corredores biológicos regionales.



CAPÍTULO IV

INVENTARIO DE SISTEMAS EXPUESTOS

CAPÍTULO IV. INVENTARIO DE SISTEMAS EXPUESTOS

En este capítulo se integra una caracterización general de la situación demográfica, social y económica de la zona de estudio con indicadores básicos que revelan las condiciones generales del municipio de Solidaridad y sus localidades.

Los datos presentados son de acuerdo a la información oficial del último Censo Nacional de Población y Vivienda, realizado en el 2020 por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y del Consejo Nacional de Población (CONAPO).

El objetivo es contar con un inventario de los agentes afectables como pueden ser cantidad de personas, bienes, valores, infraestructura estratégica y sistemas que son susceptibles a ser dañados o perdidos y se puede cuantificar por el número de vidas o pérdidas económicas (CENAPRED, 2022).

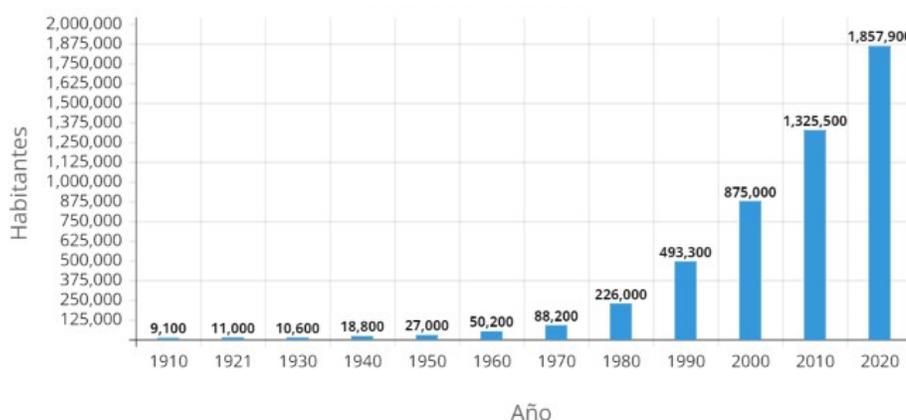
4.1 Elementos demográficos

4.1.1 Dinámica demográfica

La dinámica de la población consiste en entender el crecimiento y composición de la población en todas sus variables, como son natalidad, mortalidad, densidad de población, sexo, escolaridad, etc.

La población del estado de Quintana Roo, ha sido la de mayor crecimiento en el país, especialmente después de la década de los setentas. Antes de 1970 la población del estado se encontraba alrededor de los 88,200 habitantes, posterior a esta década, el estado tuvo una etapa de crecimiento acelerado al punto de duplicar su población cada 10 años (ver Gráfico 1).

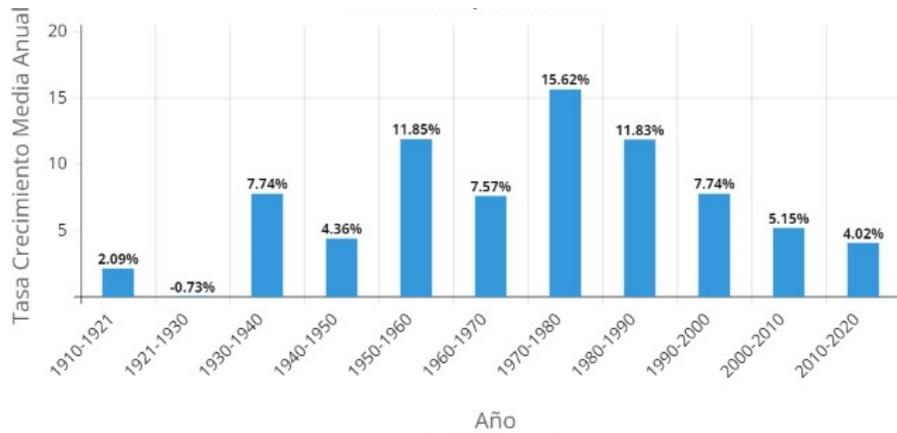
Gráfico 1. Evolución poblacional 1910-2020 del estado de Quintana Roo.



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI 1910-2020.

Fue así que para el año 2000 la población estatal era 10 veces mayor, llegando a los 875,000 habitantes. Posteriormente, el crecimiento desaceleró, sin embargo, la tasa de crecimiento poblacional sigue siendo la más alta del país, de acuerdo al Censo de Población Vivienda 2020. La población actual del estado es de 1,857,985 habitantes, en el Gráfico 2 se puede observar la tendencia de la tasa de crecimiento para el estado de Quintana Roo.

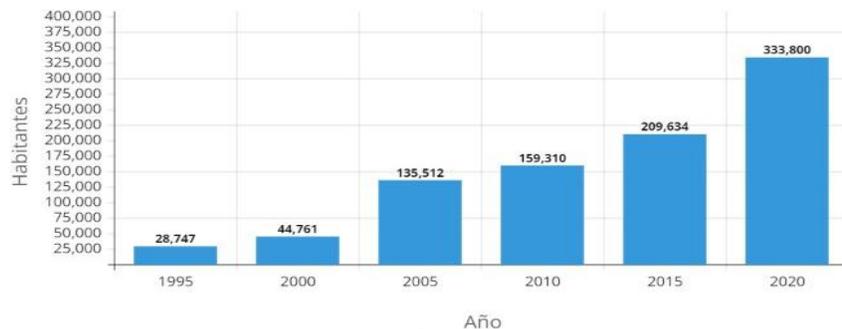
Gráfico 2. Tasa de crecimiento media anual estado de Quintana Roo.



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI 1910-2020.

Para Solidaridad, Quintana Roo la situación es similar, anteriormente formaba parte del municipio de Cozumel, del que se segregó el 28 de julio de 1993, es decir, el municipio apenas cuenta con 30 años de existencia. Al momento de su separación el municipio contaba con una población de 28,747 habitantes, partir de su independencia inició un crecimiento acelerado, actualmente tiene una población de 333,800 habitantes, casi 12 veces mas población que hace 30 años.

Gráfico 3. Evolución poblacional 1995-2020 de Solidaridad, Quintana Roo

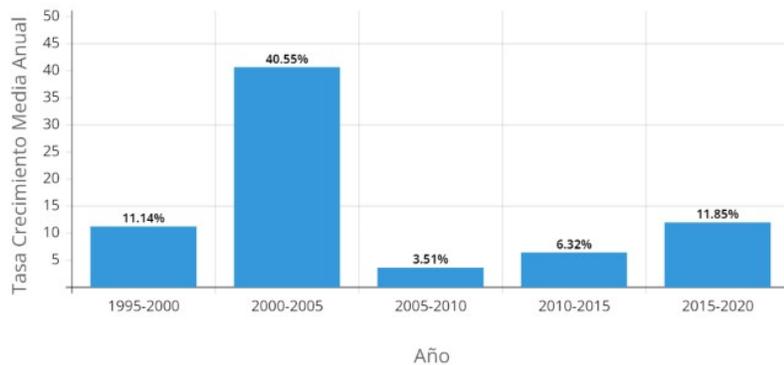


Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI 1995-2020.

En el Gráfico 3 se muestra la evolución población del municipio, desde su creación hasta el último censo realizado en 2020, cabe destacar que el municipio de Solidaridad presentó la segregación de Tulum en el año 2008, por lo que los datos del año 1995, 2000 y 2005, incluyen a la población de dicha demarcación.

También es importante analizar la tasa de crecimiento media anual del municipio de Solidaridad, ya que de acuerdo a los datos del INEGI (2020), fue el que presentó la mayor tasa de crecimiento, en el Gráfico 4, se tiene la tasa de crecimiento anual desde 1995 hasta 2020.

Gráfico 4. Tasa de crecimiento en el municipio de Solidaridad



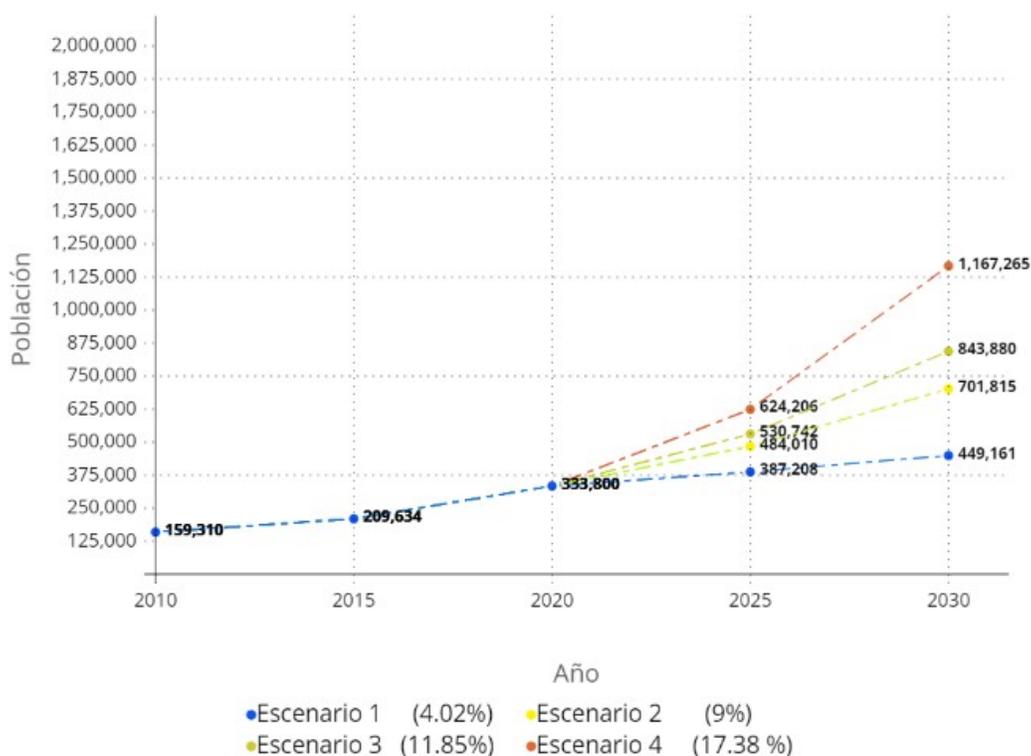
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI 1995-2020.

En el Gráfico 4 se constata lo descrito con anterioridad, ya que se observa que en el lustro de 2000 a 2005 la tasa de crecimiento de población fue de 40.55%. Para el año 2020 el municipio registró una población de 333,800 habitantes y una tasa de crecimiento anual de 11.85%.

4.1.2 Proyección al 2030

Para estimar el tamaño de la población para el año 2030, se presentan cuatro posibles escenarios, en los que se consideran las tendencias de las tasas de crecimiento estatales y municipales (ver Gráfico 5).

Gráfico 5. Proyección de la población municipal para el año 2030



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI 2010-2020.

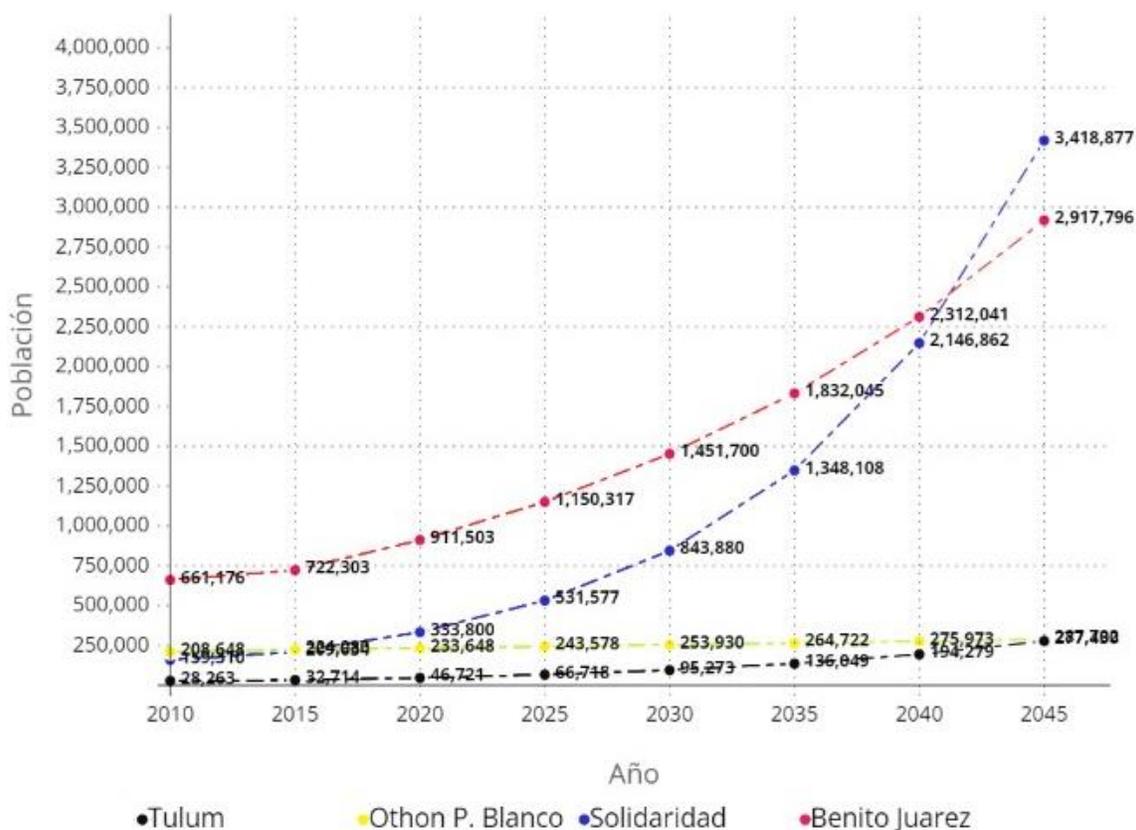
El primer escenario se realizó con una tasa de crecimiento media anual igual que el estado de Quintana Roo que corresponde al 4.02%.

El segundo, muestra un crecimiento con tendencia a la desaceleración, en este caso similar al del estado de Quintana Roo, en donde paso de tener una tasa de crecimiento media anual de 5.15 % (Periodo 2010 a 2015) al 4.02% (Periodo 2015-2020); en este caso se calculó la proyección de la población con una tasa de crecimiento media anual del 9%, en lugar de los 11.85% que presenta actualmente.

El tercer escenario presenta una tasa de crecimiento media anual con el mismo valor que el periodo 2015-2020 que corresponde a 11.85%.

Por último, el cuarto escenario presenta un crecimiento acelerado, se consideró la tasa de crecimiento media anual de manera proporcional a la que se ha presentado en los periodos, 2005, 2010, del 2010 al 2015 y del 2015 al 2020, es decir una tasa de 17.38%.

Gráfico 6. Proyección de población para los municipios más poblados de Quintana Roo.



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI 2010-2020.

También se realizó una comparativa del municipio con los municipios de mayor población en el estado de Quintana Roo (ver Gráfico 6), se determinó que si la tasa de crecimiento actual se mantiene (11.85%), es probable que entre el año 2040 y 2050, Solidaridad se convierta en el municipio más poblado del estado.

4.1.3 Distribución de la población

De acuerdo con los datos del INEGI (2020), la población en el municipio de Solidaridad es mayoritariamente dispersa, más del 90% de la población municipal habita en la localidad de Playa del Carmen y el resto de la población está distribuida en Puerto Aventuras y otras con una población menor a 200 habitantes. A continuación, se muestran las localidades del municipio de Solidaridad y su porcentaje, respecto a la población total del municipio.

Tabla 12. Tamaño de población en las localidades del municipio de Solidaridad, Quintana Roo

Estado	Municipio	Clave de la localidad	Nombre de la localidad	Población total	Porcentaje
Quintana Roo	Solidaridad	0001	Playa del Carmen	304,942	91.35
Quintana Roo	Solidaridad	0308	Puerto Aventuras	22,878	6.85
Quintana Roo	Solidaridad	0829	Nuevo Noh-Bec	1,774	0.53
Quintana Roo	Solidaridad	0572	El Sauce	523	0.16
Quintana Roo	Solidaridad	0950	Monte Sinahí	443	0.13
Quintana Roo	Solidaridad	0389	Cárcel Pública	429	0.13
Quintana Roo	Solidaridad	0928	Torres de la Paz	172	0.05
Quintana Roo	Solidaridad	0716	Punta Laguna	159	0.05
Quintana Roo	Solidaridad	0285	Gran Palladium	157	0.05
Quintana Roo	Solidaridad	0709	Felipe Carrillo Puerto	147	0.04
Quintana Roo	Solidaridad	0949	Belfast	145	0.04
Quintana Roo	Solidaridad	0927	Jacinto Canek (Campesinos Unidos)	143	0.04
Quintana Roo	Solidaridad	0265	San José	116	0.03
Quintana Roo	Solidaridad	0924	Los Pájaros	109	0.03
Quintana Roo	Solidaridad	0711	Hidalgo y Cortéz	106	0.03
Quintana Roo	Solidaridad		Vida y Esperanza	101	0.03
Quintana Roo	Solidaridad		24 localidades de 10 a 100 habitantes	1,097	0.33
Quintana Roo	Solidaridad		95 localidades de menos de 10 habitantes	359	0.11
Total municipal				333,800	100

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2020.

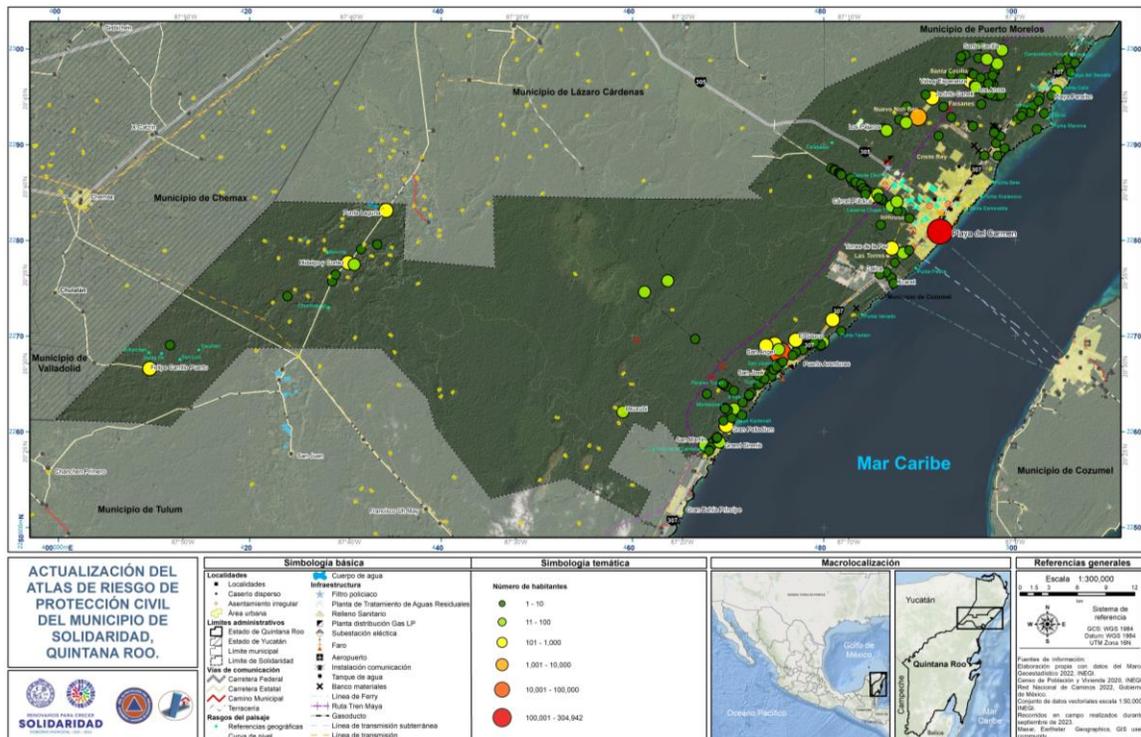


Figura 16. Mapa de distribución de la población por tamaño de localidad

Con la finalidad de enriquecer gráficamente lo expuesto en la Tabla 12, se tiene el mapa de distribución de la población a nivel municipal (ver Figura 16), donde se observan la ubicación geográfica de las localidades de acuerdo al tamaño de su población.

4.1.4 Densidad de población

De acuerdo con el apartado anterior, la población en el municipio se encuentra dispersa, ya que casi la totalidad de la población (99.15%) se encuentra establecida en la zona costera, mientras que al interior del municipio predominan localidades de menos de 10 habitantes.

Tabla 13. Densidad de población por localidad

Estado	Municipio	Clave de la localidad	Nombre de la localidad	Población total	Extensión (km ²)	Densidad de Población Hab/km ²
Quintana Roo	Solidaridad	0001	Playa del Carmen	304,942	50.69	6016
Quintana Roo	Solidaridad	0308	Puerto Aventuras	22,878	3.38	6769
Quintana Roo	Solidaridad	0829	Nuevo Noh-Bec	1,774	2.37	749
Quintana Roo	Solidaridad	0572	El Sauce	523	0.68	769
Quintana Roo	Solidaridad	0950	Monte Sinahí	443	0.51	869
Quintana Roo	Solidaridad	0389	Cárcel Pública	429	0.51	841
Quintana Roo	Solidaridad	0928	Torres de la Paz	172	0.45	382
Quintana Roo	Solidaridad	0716	Punta Laguna	159	0.45	353
Quintana Roo	Solidaridad	0285	Gran Palladium	157	0.84	187
Quintana Roo	Solidaridad	0709	Felipe Carrillo Puerto	147	0.06	2450
Quintana Roo	Solidaridad	0949	Belfast	145	0.07	2071
Quintana Roo	Solidaridad	0927	Jacinto Canek	143	0.34	421
Quintana Roo	Solidaridad	0265	San José	116	0.34	341
Quintana Roo	Solidaridad	0924	Los Pájaros	109	0.35	311
Quintana Roo	Solidaridad	0711	Hidalgo y Cortez	106	0.02	6625
Quintana Roo	Solidaridad	0640	Vida y Esperanza	101	0.41	246
Quintana Roo	Solidaridad		24 localidades de 10 a 100 habitantes	1,097		
Quintana Roo	Solidaridad		95 localidades de menos de 10 habitantes	359		
Total municipal				333,800	2014.9	166

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2020.

Las únicas ciudades urbanas son Playa del Carmen, cuya extensión alcanza los 50.7 km y una población de 304,942, lo que da como resultado una densidad de población de 6,016 hab/km² y en Puerto Aventuras, que tiene una densidad de 6,769 hab/km².

En la Tabla 13 se tiene el desglose de la densidad de población por localidad, el municipio de Solidaridad en general, tiene una densidad de población de 166 hab/km².

También se tiene el mapa de la densidad de población a nivel localidad. En la Figura 17, se observa gráficamente que la mayor densidad de población está concentrada en las localidades de Playa del Carmen y Puerto Aventuras.

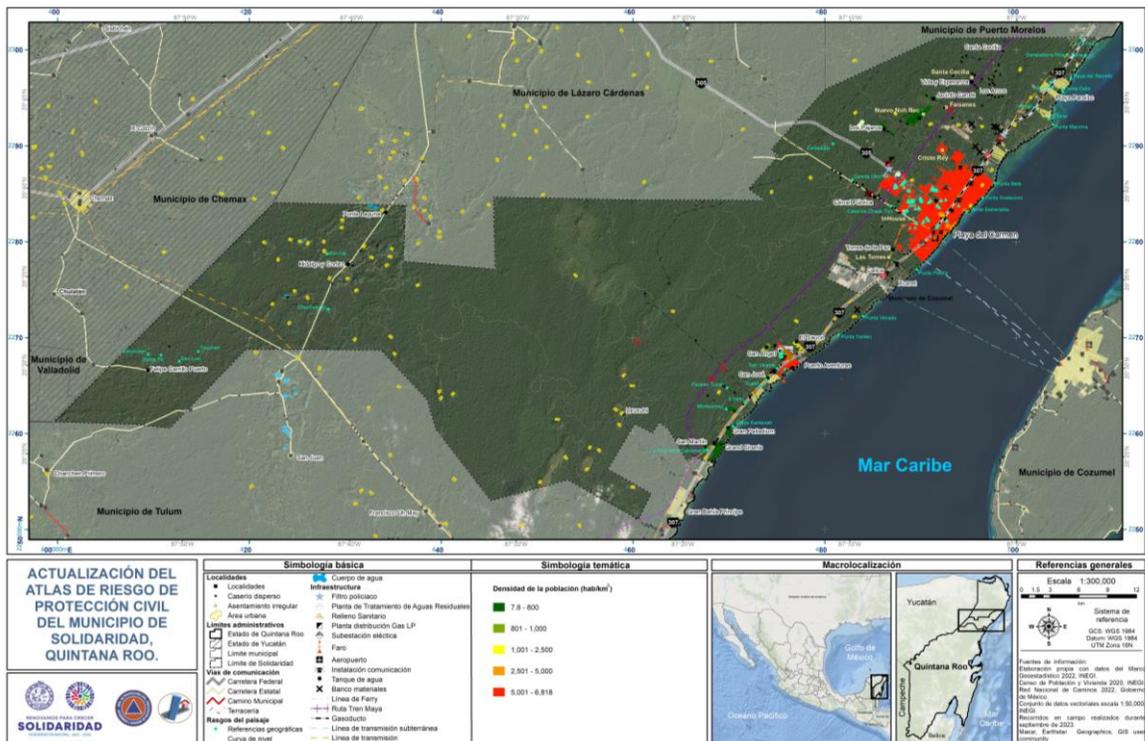


Figura 17. Mapa densidad de población nivel localidad

También se realizó el análisis de la densidad de población a nivel manzana para las dos localidades urbanas, Playa del Carmen y Puerto Aventuras. Cabe señalar que para representar la densidad de población a nivel manzana, se calculó el número de habitantes por hectárea, ya que al hacer el cálculo por km^2 , los resultados no son adecuados para su representación e interpretación.

En la Figura 18 se tiene el mapa de densidad de población para la localidad de Playa del Carmen.

Como se puede observar en la Figura 18, las zonas más densamente pobladas, son la Colonia Luis Donaldo Colosio, Misión de las Flores y Villas del Sol, en estas zonas la densidad de población es mayor a los 15,000 habitantes por km^2 , en contraste, en las zonas hoteleras, la densidad de población es menor.

En la Figura 19, se tiene el mapa de densidad de población a nivel manzana en la localidad de Puerto Aventuras.

Como se observa en la Figura 19, en las colonias de Puerto Aventuras predominan las manzanas donde la densidad de población es de 200 a 400 habitantes por hectárea y las zonas menos densamente pobladas se ubican en la zona hotelera.

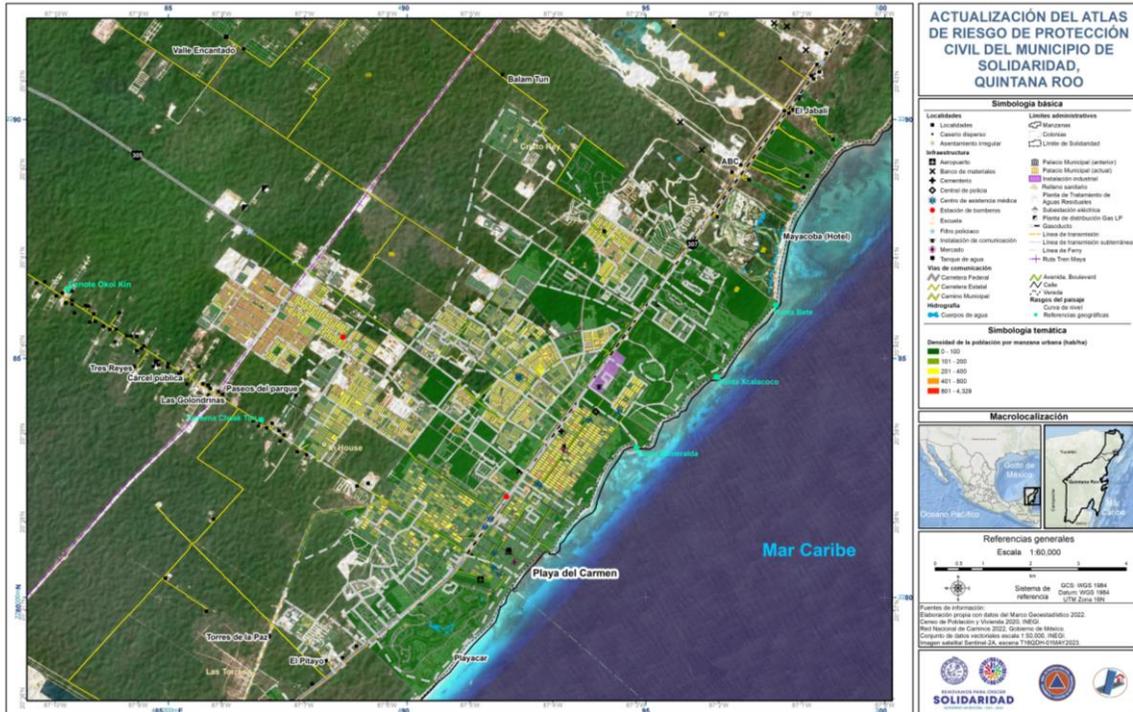


Figura 18. Mapa de densidad de población en Playa del Carmen

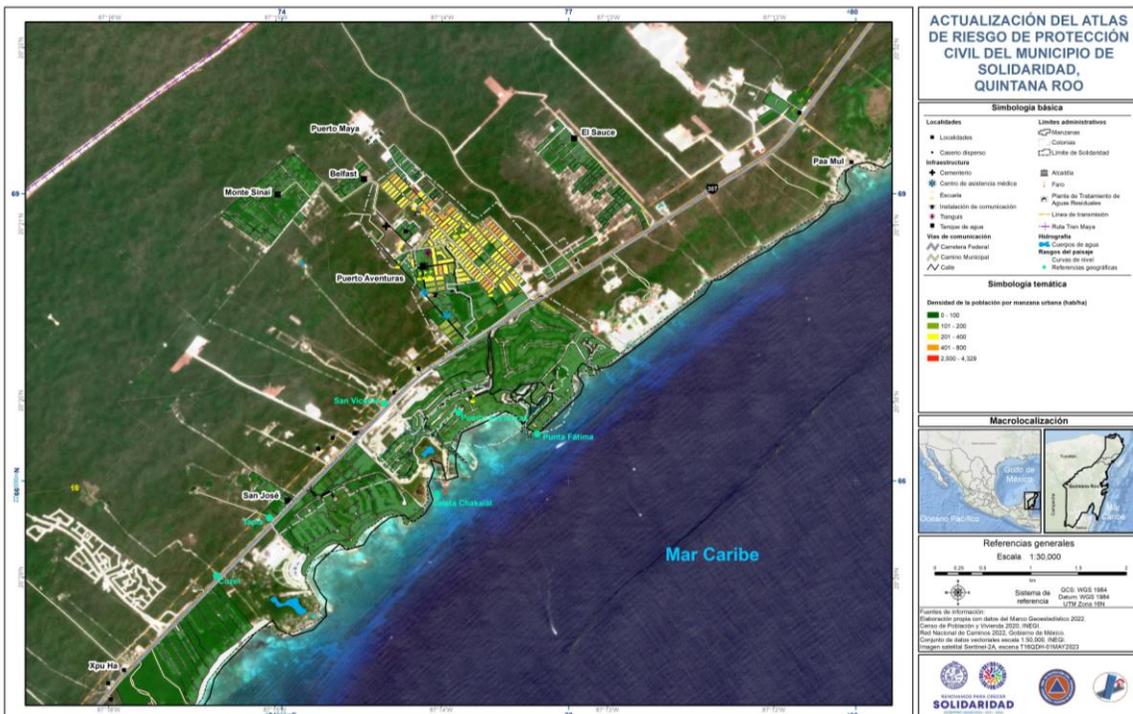
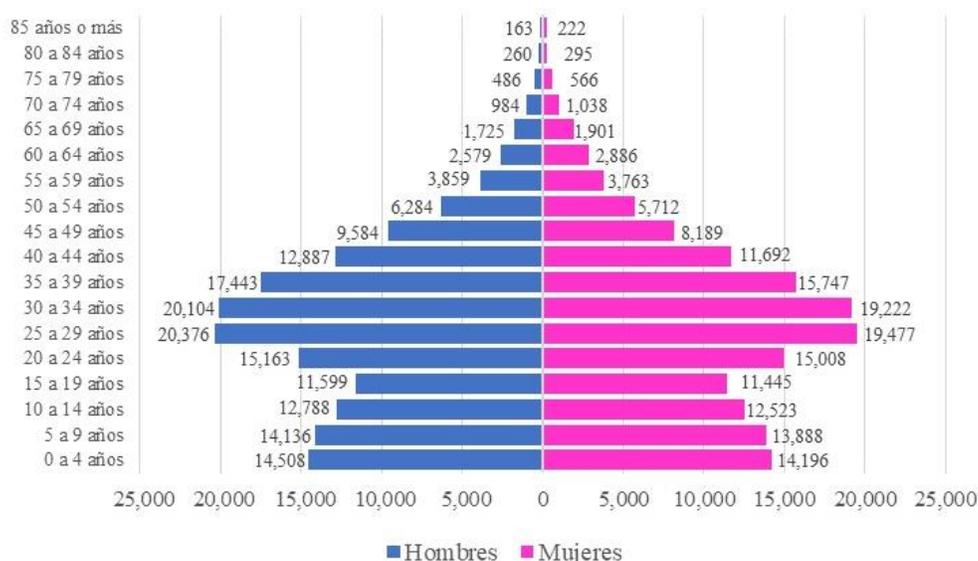


Figura 19. Mapa de densidad de población en Puerto Aventuras

4.1.5 Pirámide poblacional

El municipio de Solidaridad tiene una población de 333,800 habitantes de los cuales el 48.9% mujeres y 51.1% hombres, y en lo que respecta a la estructura de edades, se distribuye como se muestra en el gráfico 7.

Gráfico 7. Pirámide poblacional del municipio de Solidaridad



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI 2020.

Como se observa en el Gráfico 7, la mayor parte de población del municipio de Solidaridad tiene un rango de edad de los 25 a los 29 años (aproximadamente el 11.94%) y en general la mayor parte de la población menor a 60 años son hombres.

Los rangos de edad que concentraron mayor población son los de 25 a 29 años (39,853 habitantes), 30 a 34 años (39,326 habitantes) y 35 a 39 años (33,190 habitantes). Entre ellos se concentra el 34% de la población total.

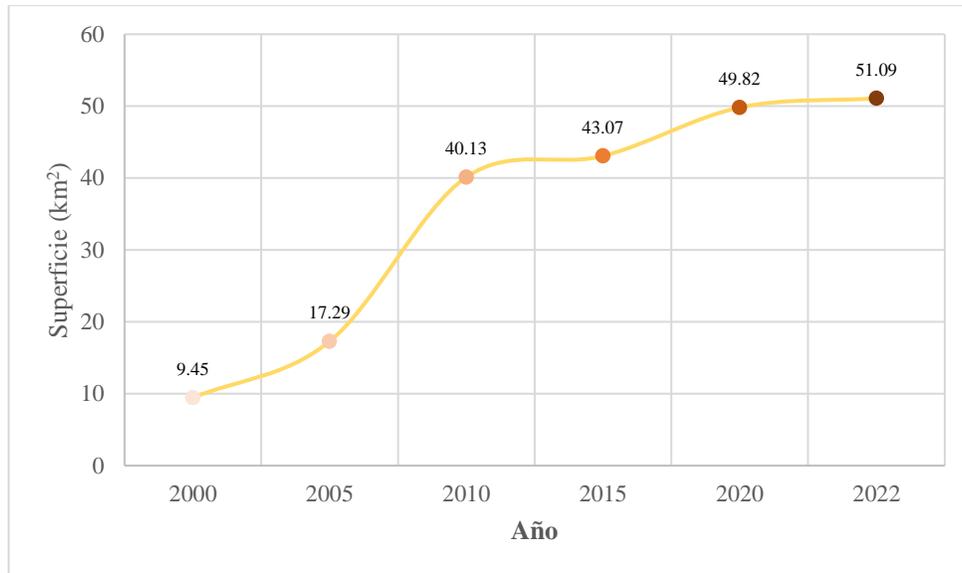
4.1.6 Crecimiento de las localidades urbanas

La urbanización es uno de los procesos sociales con mayor impacto en las últimas décadas, se estima que es uno de los principales agentes de cambio del paisaje físico-natural, así como de la dinámica poblacional y económica de determinado territorio (Ochoa, Camacho, Chávez, & Orozco, 2023).

Como se mencionó en la sección 4.1.1 del presente documento, el crecimiento poblacional en el municipio de Solidaridad, principalmente en el área urbana de Playa del Carmen, es de los más significativos a nivel nacional en las últimas décadas, superando el 11% anual.

Playa del Carmen albergaba 3,098 habitantes, mientras que en el 2020 se reportaron 304,942. En relación con la ocupación del territorio, para el año 2000 la localidad de Playa del Carmen se distribuía en 9.45 km² mientras que para el año 2022 el área urbana se distribuye sobre 51.09 km² (Gráfico 8), es decir, en un periodo de 22 años, la ciudad incrementó 41.64 km² (ver Figura 20) (INEGI, 2000a, 2022).

Gráfico 8. Incremento de la superficie urbana en Playa del Carmen del año 2000 al año 2022.



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI 2020-2022

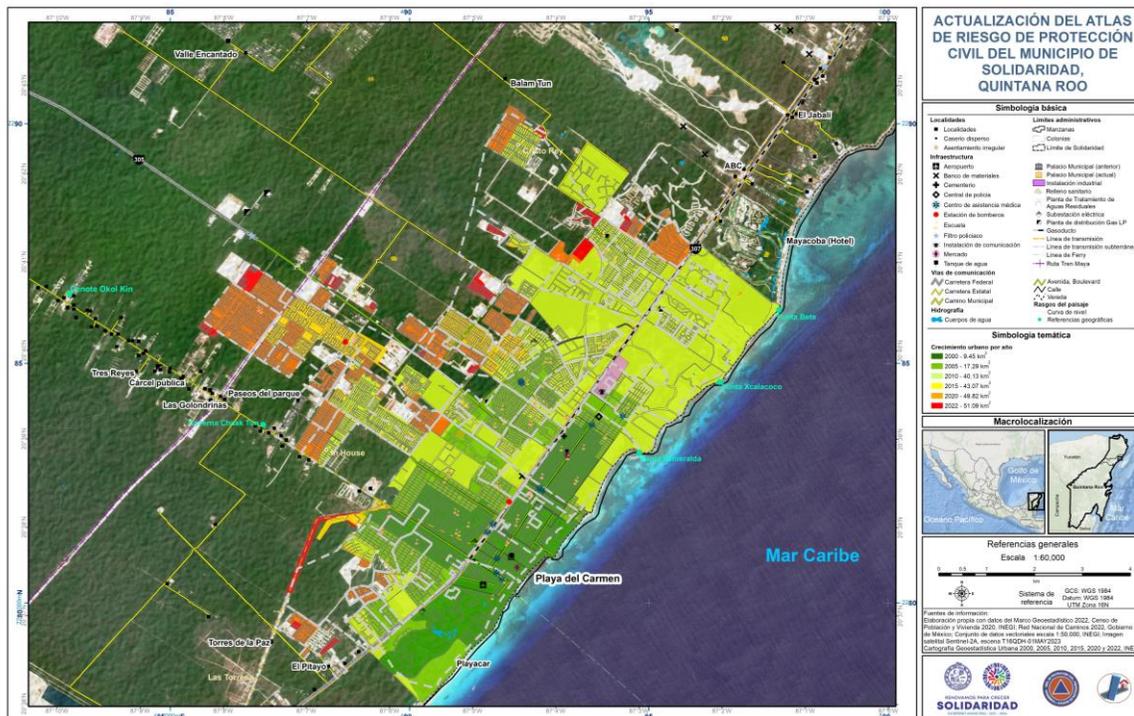


Figura 20. Crecimiento urbano en Playa del Carmen durante el periodo 2000 al 2022

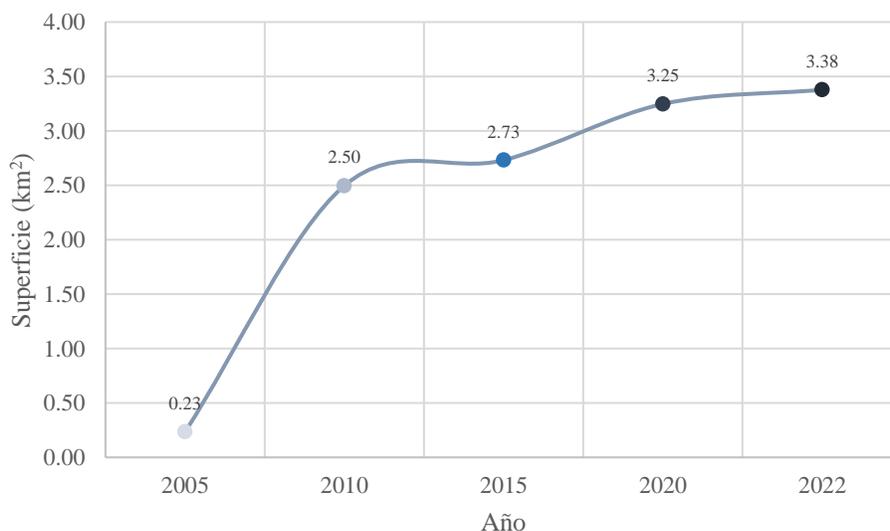
Del incremento total en este periodo de tiempo, 41.64 km², el lapso con mayor crecimiento del área urbana fue en la década 2000 al 2010, ya que para el año 2005 se registró un incremento de 7.8 km² (19%) y para el año 2010 de 22.8 km² (55%).

Es decir que, durante la década 2000-2010 el área urbana incrementó un 74%, mientras que en la década 2010 al 2022 se registró un incremento del 26% respecto al total, 2.9 km² (7%) en 2015, 6.8 km² (16%) en 2020 y 1.3 km² (3%) en 2022 (INEGI, 2000a, 2005a, 2005b, 2010, 2020b, 2022).

En lo que respecta a Puerto Aventuras, es una localidad donde se ha generado un crecimiento poblacional considerable en las últimas décadas, esto resulta evidente al consultar los datos de los censos de población de INEGI, en el año 1990 la actual alcaldía de Puerto Aventuras contaba con menos de 100 habitantes mientras que para el año 2020 contaba con más de 22,000 residentes.

El incremento poblacional se refleja en la expansión territorial del asentamiento urbano, que contaba con menos de 0.3 km² para el año 2005 y para el año 2022 cuenta con 3.38 km² (Gráfica 9), es decir incremento 3.14 km² en un periodo de 17 años (Figura 21), aunado a ello, el incremento más significativo del área urbana, 2.27 km² (72%), ocurrió durante el periodo 2005-2010.

Gráfica 9. Incremento de la superficie urbana en Puerto Aventuras del año 2005 al año 2022



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI 2005-2022



Figura 21. Crecimiento urbano en Puerto Aventuras durante el periodo 2005 al 2022

4.1.7 Mortalidad

En el año 2023 el INEGI publicó los resultados preliminares de las Estadísticas de Defunciones Registrados (EDR) del año 2022, para el caso específico del estado de Quintana Roo se muestran los resultados en la Tabla 14.

Tabla 14. Causas principales de muerte en el estado de Quintana Roo

CAUSAS DE MUERTE PRINCIPALES	TOTAL	HOMBRES	MUJERES
Enfermedades del corazón	1,416	825	589
Diabetes Mellitus	1,106	583	523
Tumores Malignos	946	473	473
Enfermedades del hígado	606	437	169
Agresiones (Homicidios)	556	501	55
Enfermedades Cardiovasculares	----	----	156

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2022

De acuerdo con esta información, el número total de defunciones fue de 8,562 personas, de las cuales 5,250 eran hombres y 3,308 eran mujeres, lo que da como resultado una tasa de 447 defunciones por cada 100,000 habitantes.

Se observa la diferencia de género en las defunciones causadas por agresiones (homicidios) ya que prácticamente los homicidios de hombres superan en 10 a los de mujeres.

Otro aspecto a destacar es que el estado de Quintana Roo tiene la tasa más baja de defunciones por cada 100,000 habitantes causadas por enfermedades del corazón.

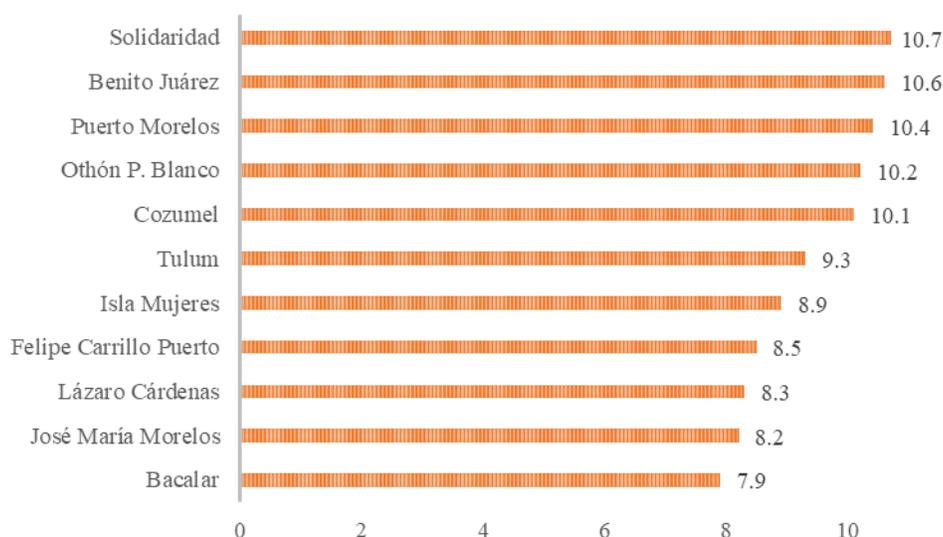
4.2 Características sociales

4.2.1 Escolaridad

De acuerdo con el INEGI (2020), el grado de escolaridad en el estado de Quintana Roo se encuentra por encima de la media nacional, ya que la población de 15 años o más tiene un grado de escolaridad de 10.2, lo que equivale a un poco más del primer año de bachillerato, mientras que, en el país, el promedio es de 9.7, lo que se interpreta en que la mayoría de la población tiene menos del primer año de bachillerato.

A nivel estatal, el municipio de Solidaridad es la demarcación con el mayor grado de escolaridad, seguido por Benito Juárez (ver Gráfico 10).

Gráfico 10. Grado de Escolaridad en el estado de Quintana Roo



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2020

Para complementar la información se agregan los mapas con el grado de escolaridad a nivel manzana para las localidades de Playa del Carmen y de Puerto Aventuras.

Para el caso de Playa del Carmen, se observa que en las colonias donde habita la mayoría de la gente, predomina la población con secundaria y bachillerato, mientras que en las colonias donde se desarrolla el turismo, cuenta con mayor población con grado de escolaridad de universidad (Figura 22).

En Puerto Aventuras se tiene con una tendencia similar, se observa que en las colonias donde habita la mayoría de la población cuentan principalmente con primaria (Figura 23).

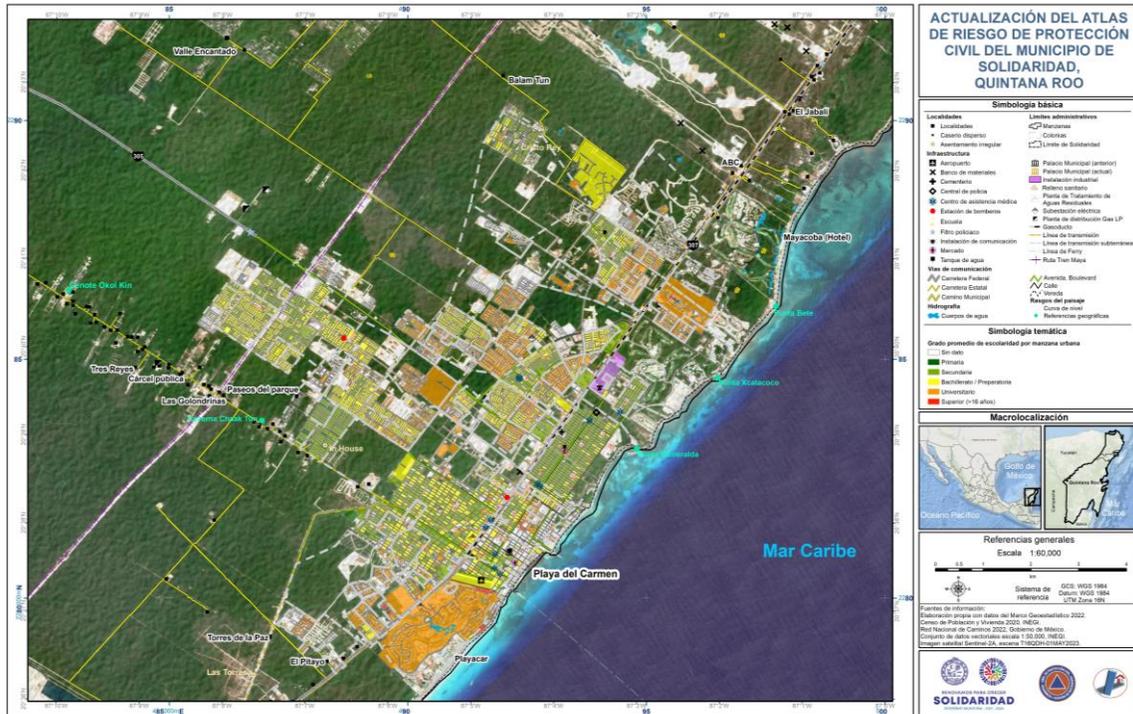


Figura 22. Mapa de grado de escolaridad en Playa del Carmen.

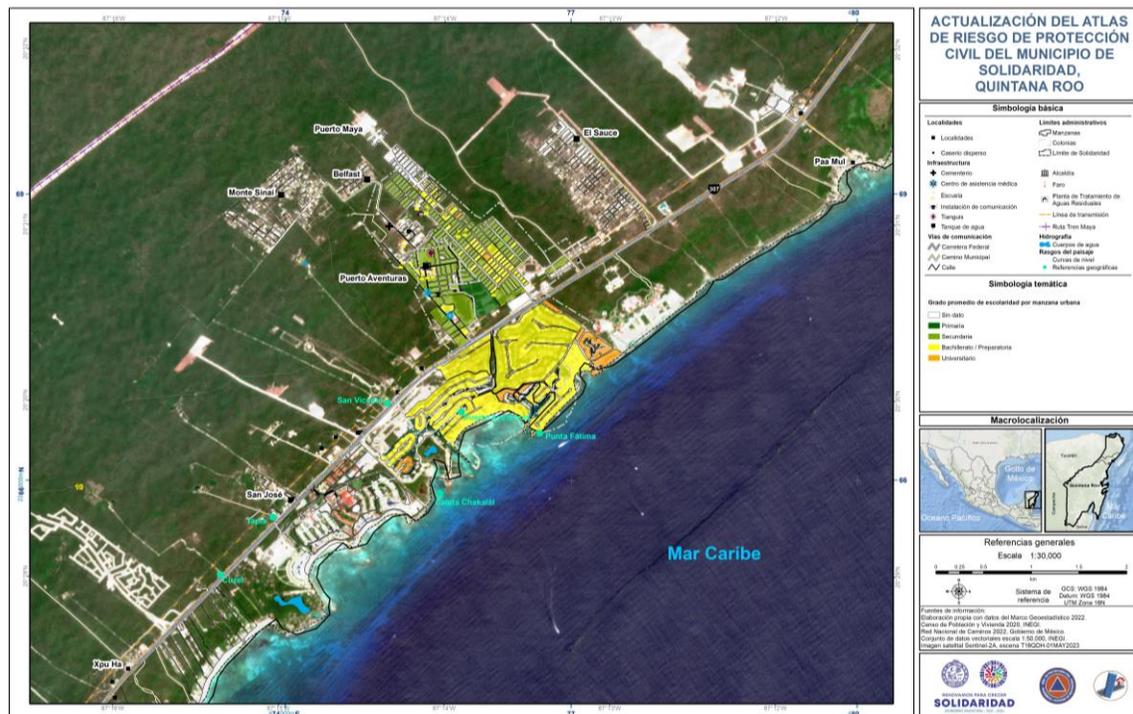
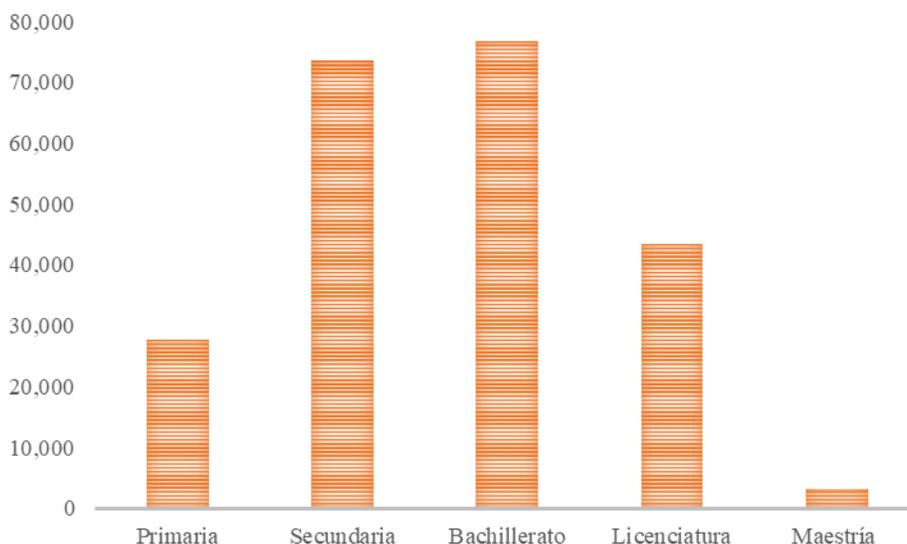


Figura 23. Mapa de grado de escolaridad en Puerto Aventuras

También se puntualiza sobre el grado académico de la población de quince años y más, que se distribuye como se muestra en el Gráfico 11.

Gráfico 11. Grado académico de la población de quince años y más



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2020

Se observa en el gráfico que existe una población considerable con el grado de licenciatura (19%). El resto de la población cuenta con grados académicos como bachillerato tecnológico o normal básica, estudios técnicos, normal nivel licenciatura, doctorado o kínder.

Solo el 1.65% de la población es analfabeta, de los cuales 60% son mujeres y el restante 40% son hombres.

Los datos de escolaridad muestran que es posible desarrollar programas de capacitación en materia de protección civil, con la finalidad de prevenir, disminuir y mitigar los riesgos que se presentan en este municipio.

4.2.2 Discapacidad

La discapacidad, de acuerdo a la Convención Internacional sobre los derechos de las personas con Discapacidad, se define como la situación de las personas que, por sus condiciones físicas o mentales duraderas, se enfrenta a barreras en su entorno que evitan su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con las demás.

En el caso del municipio de Solidaridad en total viven 13,820 personas con algún tipo de discapacidad, lo que representa un 4 % de la población total, en la Tabla 15 se muestra la población discapacitada agrupada en sus distintas categorías con su población y porcentaje que representa de la población total.

Tabla 15. Población con discapacidad

Tipo de discapacidad	Población	Porcentaje
Población con discapacidad para ver, aun usando lentes	4,280	1.28%
Población con discapacidad para caminar, subir y bajar	3,140	0.94%
Población con discapacidad para hablar o comunicarse	1,686	0.50%
Población con discapacidad para vestirse, bañarse y comer	1,643	0.49%
Población con discapacidad para recordar y concentrarse	1,571	0.47%
Población con discapacidad para oír, aun usando aparato auditivo	1,500	0.45%
Total	13,820	4.13%

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2020

Como puede verse en la tabla anterior, la discapacidad más frecuente es la discapacidad visual, presente en 4,280 personas que representan el 1.28 % de la población municipal.

A continuación, se muestran dos mapas de las zonas urbanas del municipio de Solidaridad, Playa del Carmen y Puerto Aventuras, en donde se muestra el porcentaje de población con algún tipo de discapacidad a nivel manzana.

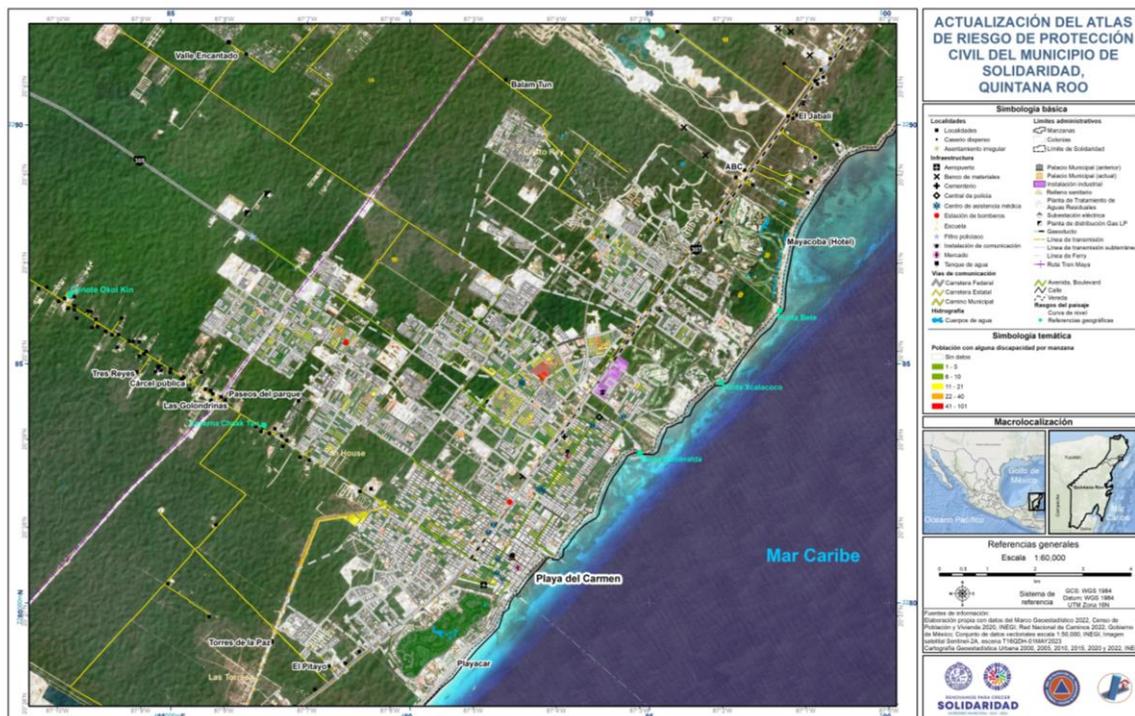


Figura 24. Población con discapacidad en Playa del Carmen.

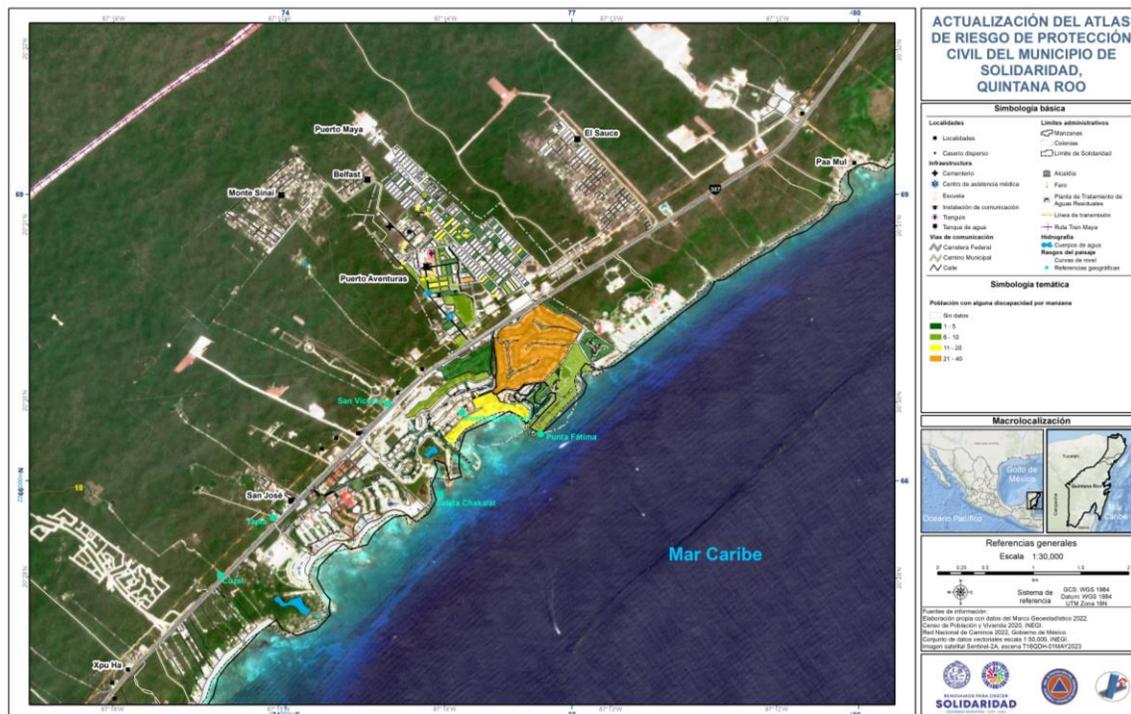


Figura 25. Población con discapacidad en Puerto Aventuras.

4.2.3. Características de la vivienda

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía maneja 54 variables para identificar las características de la vivienda, la Tabla 16 muestra las características de vivienda del municipio de Solidaridad.

Tabla 16. Características de la vivienda en el municipio de Solidaridad

Característica de la vivienda	Viviendas
Total de viviendas	144,680
Total de viviendas habitadas	110,776
Total de viviendas particulares	124,631
Viviendas particulares habitadas	90,727
Viviendas particulares habitadas con características	110,641
Viviendas particulares habitadas	110,763
Viviendas particulares deshabitadas	20,619
Viviendas particulares de uso temporal	13,385
Ocupantes en viviendas particulares habitadas	333,104
Promedio de ocupantes en viviendas particulares habitadas	3.01
Promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas	1.15
Viviendas particulares habitadas con piso de material diferente de tierra	105,294
Viviendas particulares habitadas con piso de tierra	1,652

Tabla 16. Características de la vivienda en el municipio de Solidaridad

Característica de la vivienda	Viviendas
Viviendas particulares habitadas con un dormitorio	50,087
Viviendas particulares habitadas con dos dormitorios y mas	56,908
Viviendas particulares habitadas con un solo cuarto	22,074
Viviendas particulares habitadas con dos cuartos	25,368
Viviendas particulares habitadas con 3 cuartos y mas	59,554
Viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica	106,124
Viviendas particulares habitadas que no disponen de energía eléctrica	875
Viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda	105,851
Viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada y se abastecen del servicio público de agua	101,349
Viviendas particulares habitadas que no disponen de aguada entubada en el ámbito de la vivienda	1,146
Viviendas particulares habitadas que disponen de tinaco	101,832
Viviendas particulares habitadas que disponen de cisterna o aljibe	26,127
Viviendas particulares habitadas que disponen de excusado o sanitario	106,356
Viviendas particulares habitadas que disponen letrina (pozo u hoyo)	243
Viviendas particulares habitadas que disponen de drenaje	106,256
Viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje	701
Viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica, agua entubada de la red pública y drenaje	104,981
Viviendas particulares habitadas que no disponen de energía eléctrica, agua entubada ni drenaje	130
Viviendas particulares que disponen de drenaje sanitario con admisión de agua	106,125
Viviendas particulares habitadas que no disponen de automóvil o camioneta, motocicleta o motoneta	57,683
Viviendas particulares habitadas sin ningún bien	795
Viviendas particulares habitadas que disponen de refrigerador	95,267
Viviendas particulares habitadas que disponen de lavadora	76,377
Viviendas particulares habitadas que disponen de horno de microondas	41,375
Viviendas particulares habitadas que disponen de automóvil o camioneta	38,023
Viviendas particulares habitadas que disponen de motocicleta o motoneta	18,727
Viviendas particulares habitadas que disponen de bicicleta como medio de transporte	27,978
Viviendas particulares habitadas que disponen de radio	53,394
Viviendas particulares habitadas que disponen de televisor	92,089
Viviendas particulares habitadas que disponen de computadora, laptop o tablet	39,208
Viviendas particulares habitadas que disponen de línea telefónica fija	23,806
Viviendas particulares habitadas que disponen de teléfono celular	102,120
Viviendas particulares habitadas que disponen de internet	58,137
Viviendas particulares habitadas que disponen de servicio de televisión de paga	46,379
Viviendas particulares habitadas que disponen de servicio de películas, música o videos de paga por internet	25,762
Viviendas particulares habitadas que disponen de consola de videojuegos	10,401
Viviendas particulares habitadas sin radio ni televisor	9,692
Viviendas particulares habitadas sin linea telefónica ni teléfono celular	4,307
Viviendas particulares habitadas sin computadora ni internet	42,965
Viviendas particulares sin tecnologías de la información y de la comunicación (TIC)	1,554

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2020

En síntesis, el municipio de Solidaridad cuenta con 144,680 viviendas, de las cuales el 76.57% están habitadas, mientras que el 86.14% son viviendas particulares.

De las viviendas particulares, solo el 1.33% tienen piso de tierra, el 84.23% dispone de energía eléctrica, agua entubada y drenaje, son pocas las viviendas que no cuentan con ningún servicio, en cuanto a los cuartos y dormitorios, el mayor porcentaje de las viviendas cuentan con 3 o más cuartos o dormitorios (alrededor del 45%), seguido por las viviendas con un solo dormitorio (alrededor del 40%); en promedio habitan 3 personas por vivienda y un habitante por cuarto o dormitorio.

4.2.4 Hacinamiento

El hacinamiento se refiere a que el número de personas por cuarto supera los 2.5 habitantes, lo que compromete la privacidad de las personas y genera espacios inadecuados para el estudio, esparcimiento y actividades íntimas para el desarrollo pleno (CONAPO, 2010). En el municipio de Solidaridad, se presenta en cuatro localidades: Paraíso (2.82), Los Arcos (2.9), Guadalupe (3.2) e Hidalgo y Cortez (3.21).

Por otra parte, el INEGI estableció la escala AGEB (área geoestadística básica) que son un conjunto de manzanas dentro de las zonas urbanas, para Playa del Carmen, el hacinamiento solo se presenta en la AGEB 1440, que corresponde a la zona hotelera que rodea Nicté-Ha y a nivel manzana, se presenta en 42 manzanas, de las cuales 22 se encuentran en la colonia Misión del Carmen (Figura 26).

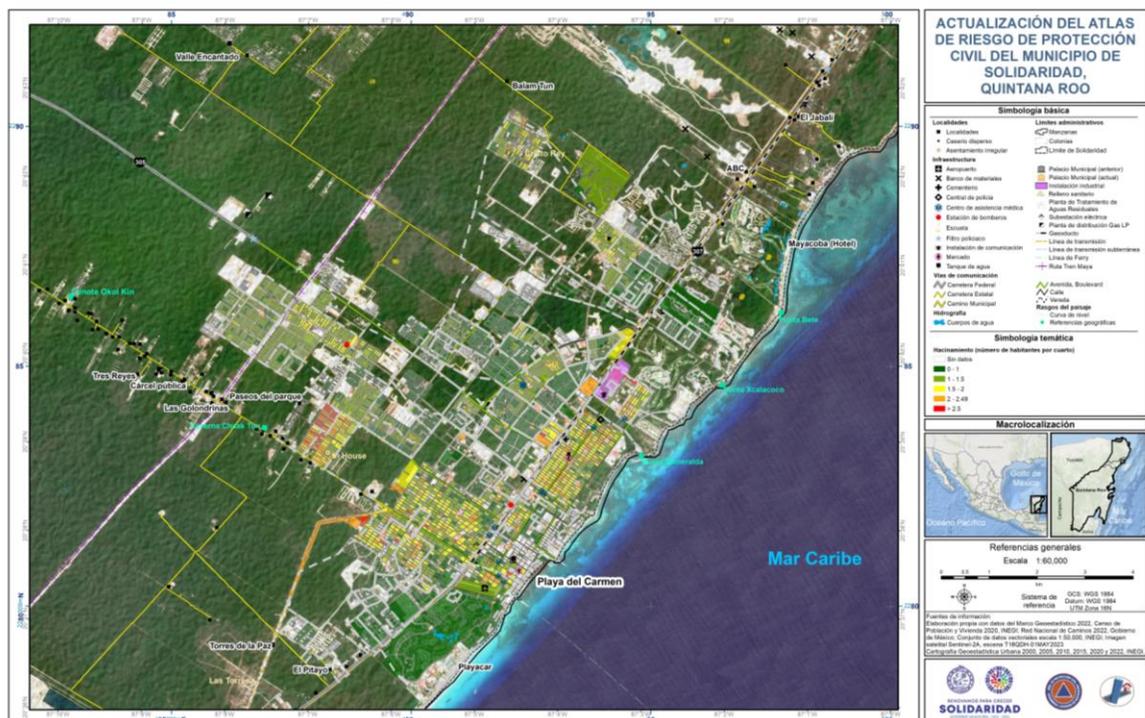


Figura 26. Hacinamiento en Playa del Carmen

Para el caso de Puerto Aventuras, se presenta en una manzana localizada cerca de la entrada principal de la localidad (Figura 27).



Figura 27. Hacinamiento en Puerto Aventuras

4.2.5 Lengua indígena

El porcentaje de población hablante de alguna lengua indígena en el estado de Quintana Roo (11.7%) es la quinta más numerosa en el país, detrás de los estados de Oaxaca (31.2%), Chiapas (28.2%), Yucatán (23.2%), Guerrero (15.5%), Hidalgo (12.3%). De esta población, el 85% habla Maya, otras lenguas en el estado son el tzeltal, ch'ol y tsotsil (INEGI, 2020).

En el caso particular del municipio de Solidaridad, la población mayor a 3 años que habla alguna lengua indígena es de 31,300 personas, lo que representa el 9.38% de la población total del municipio, esta población se distribuye como se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17. Población hablante de alguna lengua indígena

LENGUA INDÍGENA	POBLACIÓN	PORCENTAJE
Maya	22,198	70.92%
Tseltal	3,603	11.51%
Ch'ol	2,173	6.94%
Tsotsil	1,176	3.76%
Q'anjob'al	642	2.05%
Zoque	424	1.35%
Nahuatl	372	1.19%
No especificado	139	0.44%
Zapoteco	127	0.41%
Mam	117	0.37%

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2020

A continuación, en las Figuras 28 y 29 se muestra el porcentaje de población indígena a nivel manzana en las localidades urbanas del municipio.

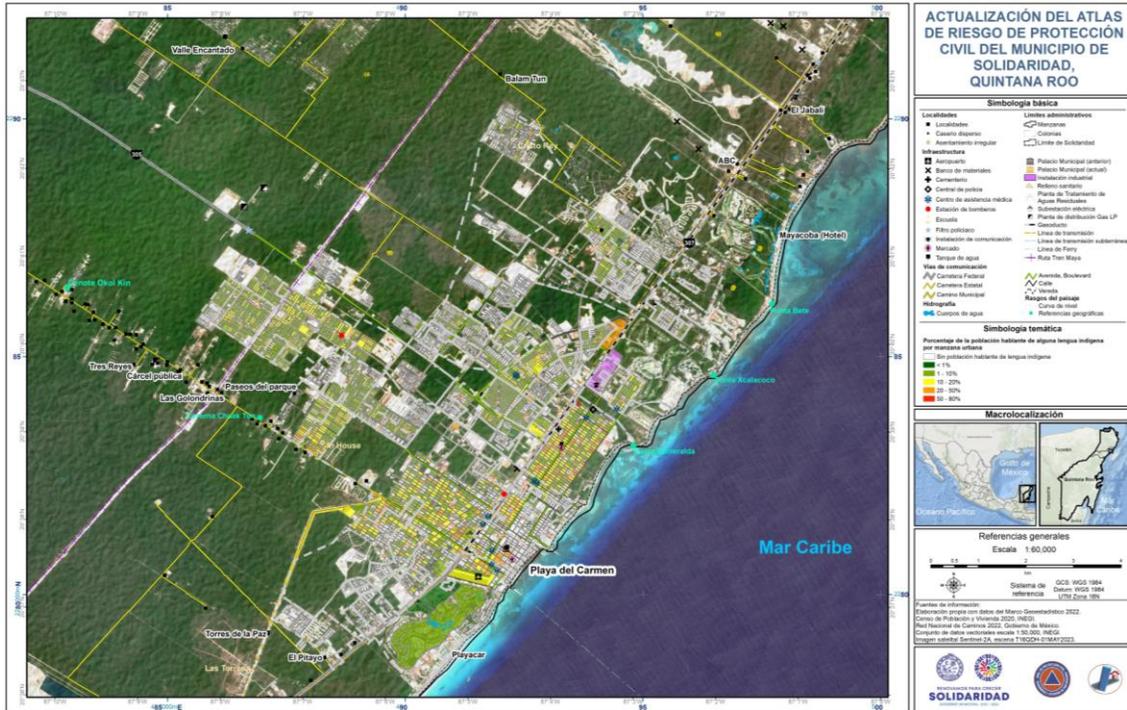


Figura 28. Porcentaje de hablantes de alguna lengua indígena Playa del Carmen

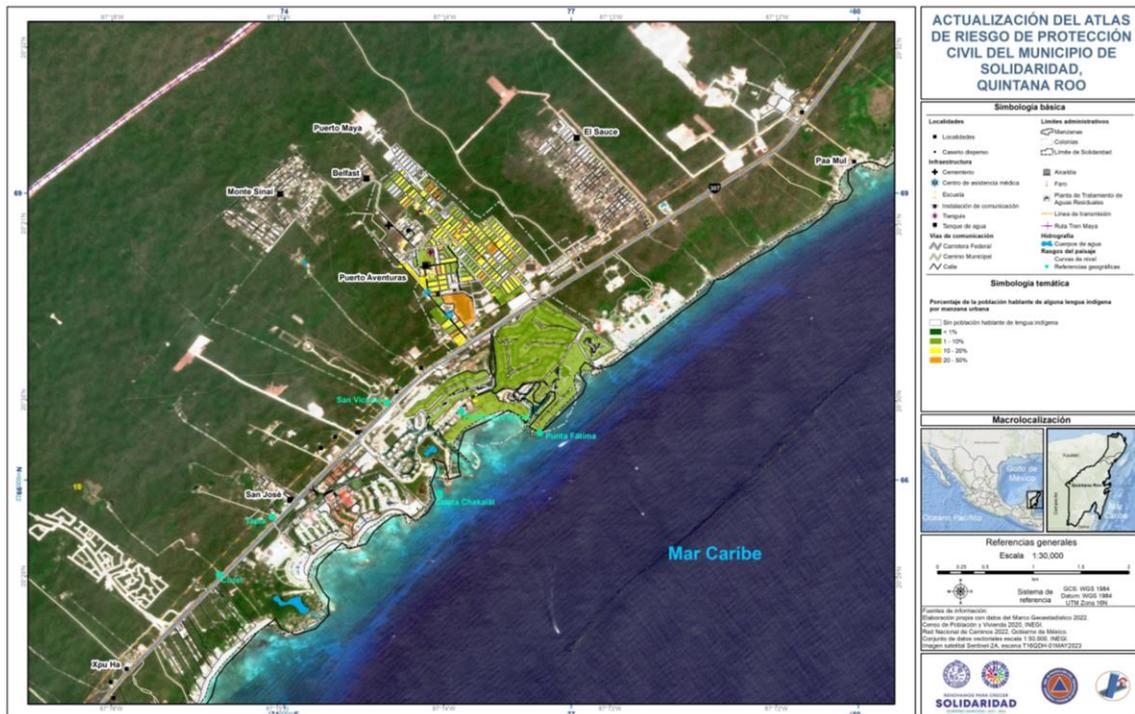


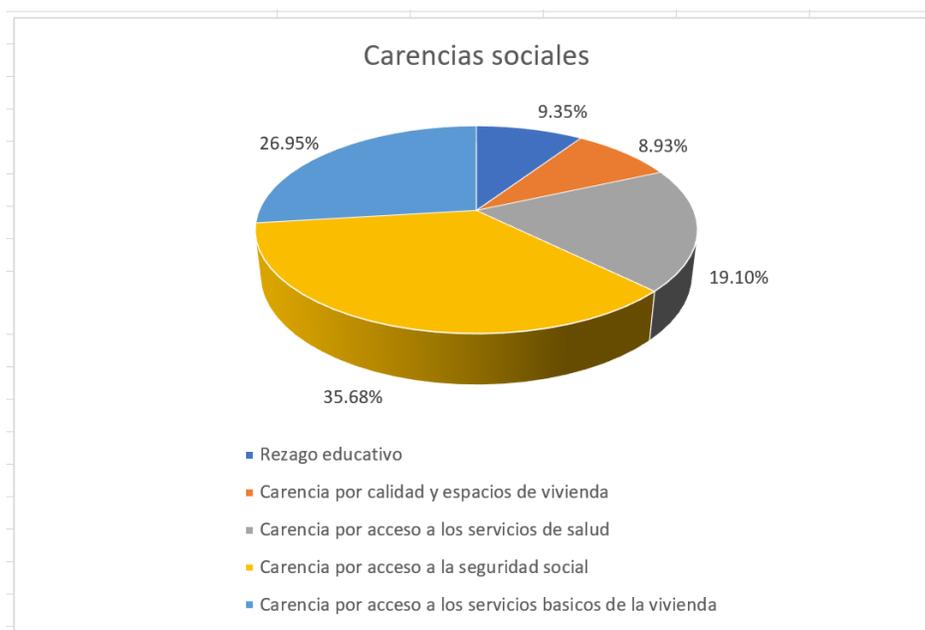
Figura 29. Porcentaje de hablantes de alguna lengua indígena Puerto Aventuras

4.2.6 Pobreza

De acuerdo al Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), la pobreza se presenta cuando una persona tiene al menos una carencia social y no cuenta con un ingreso suficiente para satisfacer sus necesidades. Las carencias sociales que define CONEVAL son: rezago educativo, acceso a los servicios de salud, acceso a la seguridad social, calidad y espacios de la vivienda, acceso a los servicios básicos de la vivienda y acceso a la alimentación (CONEVAL, 2010).

De acuerdo a la metodología propuesta se concluyó que, en el municipio de Solidaridad, las carencias sociales predominantes son acceso a la seguridad social, carencia por acceso a la alimentación y carencia por acceso a los servicios de salud, en el Gráfico 12 se tiene la distribución porcentual de las carencias sociales en el municipio.

Gráfico 12. Carencias sociales en el municipio de Solidaridad



Fuente: Elaboración propia con datos de CONEVAL (2020).

La CONEVAL, también distingue entre distintos niveles de pobreza, en el municipio de Solidaridad, la población que vive en un grado de pobreza moderada es de 102,000 habitantes (33%), es decir, prácticamente la tercera parte de la población del municipio presenta algún grado de pobreza; la población en pobreza extrema es de 13,200 personas (4%); el 28% es vulnerable por carencias sociales; el 9 % son vulnerables por ingresos y una cuarta parte de la población (26%) son no vulnerables.

Para representar geográficamente la pobreza a menor escala, se utilizó el Índice de Rezago Social (CONEVAL). Este índice proporciona el resumen de cuatro carencias sociales que se utilizan para medir la pobreza (rezago educativo, acceso a los servicios de salud, acceso a los

4.2.7 Marginación

El Consejo Nacional de Población (CONAPO), describe el índice de marginación como una medida que resume nueve indicadores socioeconómicos que representan distintas formas de exclusión y rezago (CONAPO, 2010), a continuación, se enlistan dichos indicadores.

- | | |
|--|--|
| 1.- Analfabetismo | 6.- Viviendas particulares sin energía eléctrica |
| 2.- Población sin primaria | 7.- Viviendas particulares con piso de tierra |
| 3.- Viviendas particulares sin agua entubada | 8.- Localidades con menos de 5,000 habitantes |
| 4.- Viviendas particulares sin drenaje ni servicio sanitario | 9.- Población ocupada que percibe hasta dos salarios mínimos |
| 5.- Viviendas particulares con algún nivel de hacinamiento | |

En la Figura 32 se tiene el mapa de marginación a nivel colonia, de acuerdo a la metodología desarrollada por la CONAPO, de acuerdo a sus resultados del año 2020.

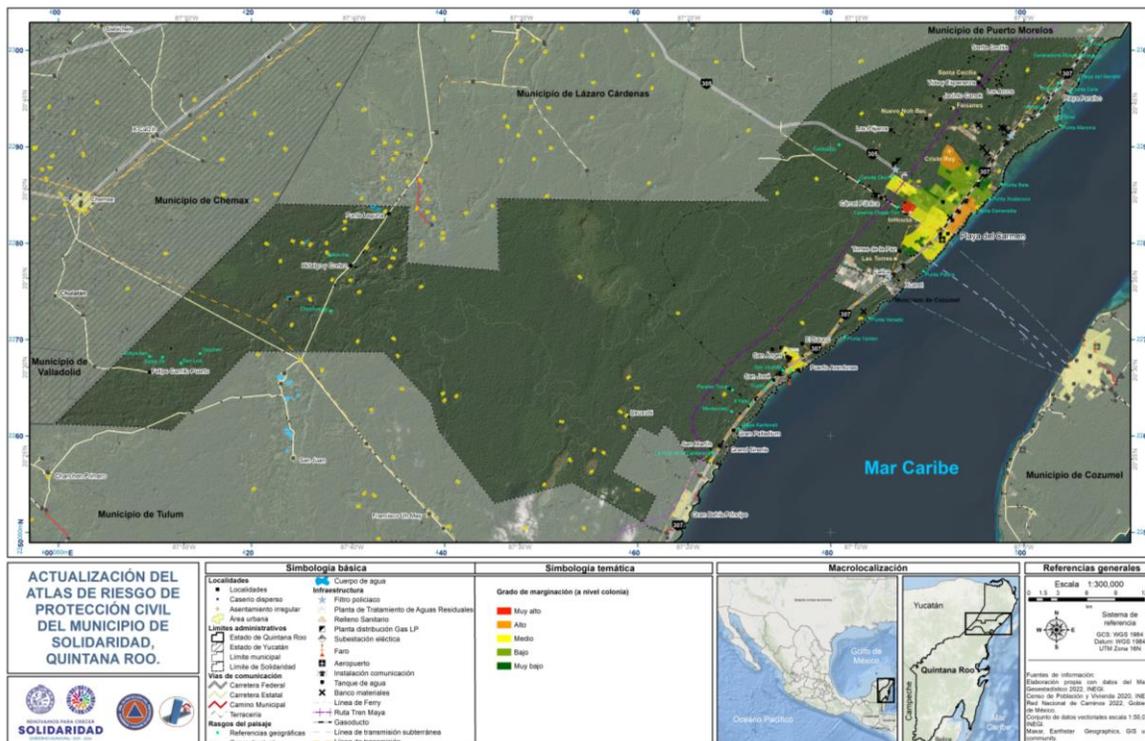


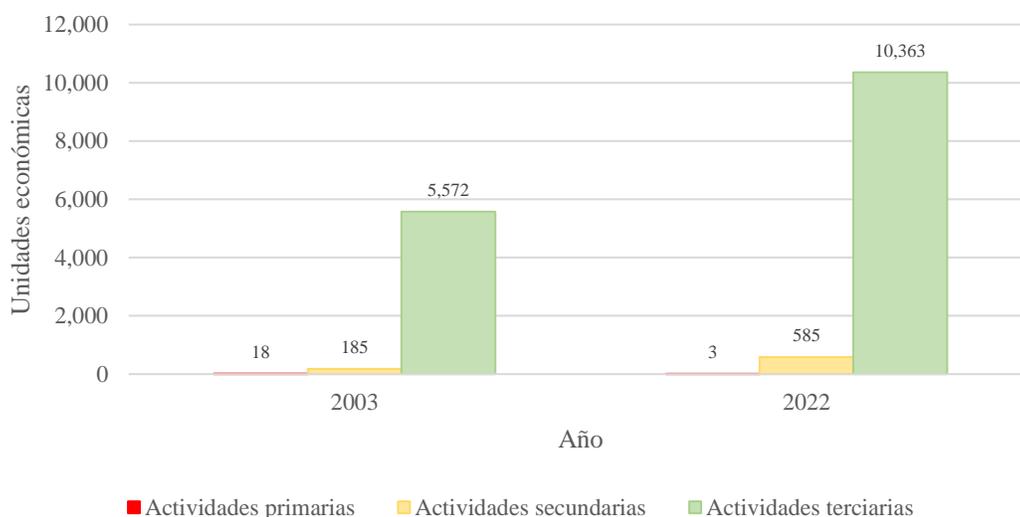
Figura 32. Grado de marginación a nivel colonia en el municipio de Solidaridad

4.3 Principales actividades económicas

El municipio de Solidaridad posee reconocimiento nacional e internacional como destino turístico, principalmente los centros urbanos de Playa del Carmen y Puerto Aventuras, lo que, como se ha mencionado previamente a lo largo del presente documento, ha ocasionado la migración interna de población proveniente de otros estados de la República Mexicana, así como del extranjero en busca de mejores oportunidades laborales y económicas (Gordillo & Plassot, 2017; Guillén & Carballo, 2012).

El auge inmobiliario y turístico en el estado de Quintana Roo y principalmente en el municipio solidarense es notorio, al observar los datos de población total, el establecimiento de unidades económicas e infraestructura hotelera a lo largo del territorio, así como la expansión de los centros urbanos en las últimas décadas. Para el año 2000, Solidaridad contaba con 63,752 habitantes mientras que para el año 2022 se contabilizaron 333,800 habitantes en el municipio, asimismo el área urbana de las ciudades de Playa del Carmen y Puerto Aventuras incrementó más de 44 km² (41.64 km² en Playa del Carmen y 3.14 km² en Puerto Aventuras. Aunado a ello, en el año 2022 la localidad de Playa del Carmen registró una afluencia de 1,177,713 turistas, 57,563 del interior de la República y 1,120,150 del extranjero, así como 4,081,631 habitaciones disponibles. Durante el año 2007 se registró el arribo de 573,971 turistas, de los cuales 51,266 eran de procedencia nacional y 522,705 provenientes del extranjero, asimismo el número de habitaciones disponibles durante el mismo periodo fue de 1,952,324 (Secretaría de Turismo, 2023).

Gráfico 13. Unidades económicas registradas en el año 2003 y 2022 por sector económico

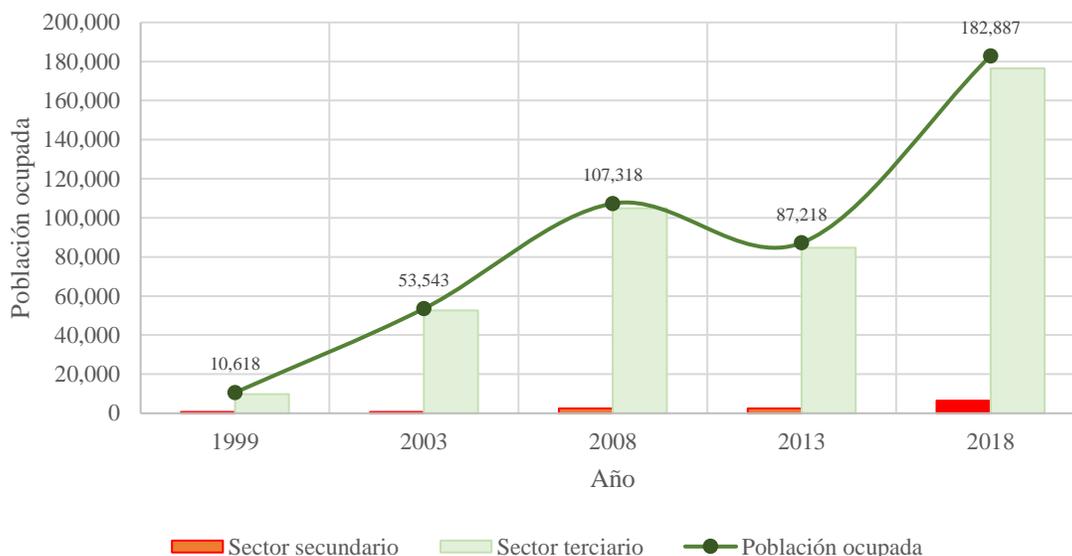


Fuente: Elaboración propia con datos oficiales (INEGI, 2022, 2023a).

Respecto a la actividad económica, las principales actividades económicas del municipio de Solidaridad se concentran en el sector terciario, servicios ligados en su mayoría a la prestación de productos turísticos y para los habitantes del municipio.

Por ejemplo, para el año 2003 se registraron 5,775 unidades económicas de las cuales el 96.5% se encontraban ligas al sector terciario, el 3.2% corresponde a actividades del sector secundario y el restante 0.3% a actividades relacionadas al sector primario (INEGI, 2023a); para el año 2022 el panorama no difiere significativamente, durante dicho periodo se registraron 10,951 unidades económicas de las cuales el 96.43% se dedican a la prestación de servicios, específicamente comercio al por menor y alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas, el 5.34% a actividades económicas del sector secundario y menos del 1% a actividades relacionadas al sector primario (INEGI, 2022) (Gráfica 13 y 14); el 96% de las unidades económicas se concentran en la localidad de Playa del Carmen y la alcaldía de Puerto Aventuras, el restante 4% se dispersa entre las localidades del municipio.

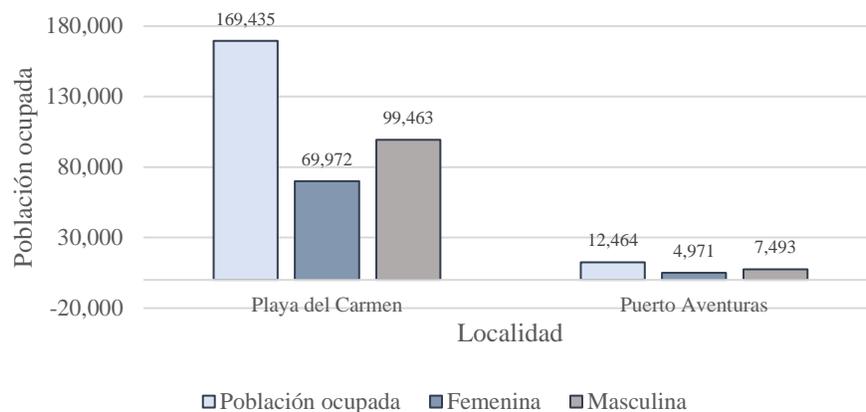
Gráfica 14. Población ocupada por sector económico secundario y terciario en el municipio de Solidaridad



Fuente: Elaboración propia con datos oficiales (INEGI, 2023b, 2023a).

Aunado a ello y considerando los datos del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2020), la Población Económicamente Activa en el municipio es de 187,849 personas, lo cual representa el 56% de la población total municipal, asimismo, el 98% de la Población Económicamente Activa se encuentra ocupada y se localiza en su mayoría en las localidades de Playa del Carmen (92%) y Puerto Aventuras (7%) (Gráfica 15).

Gráfica 15. Población Económicamente Activa ocupada en localidades urbanas.



Fuente: Elaboración propia con datos oficiales (INEGI, 2020).

4.4 Equipamiento e infraestructura estratégica

La infraestructura y equipamiento urbano resultan de vital importancia al momento de abordar la gestión integral del riesgo, ya que son elementos claves para la atención y prevención de desastres.

Resulta de suma importancia identificar los sitios que por una parte permitan asistir a la población en caso de eventualidades, así como para destinar recursos financieros a dichas instalaciones que aseguren su correcto funcionamiento y de este modo cumplir el objetivo de salvaguardar a la población en caso de alerta y emergencia.

Asimismo, el incremento de la población y de los centros urbanos ha llevado al establecimiento de asentamientos irregulares en zonas no aptas para desarrollo urbano dentro y en las periferias de las ciudades, lo cual representa un reto en materia de protección civil, atención oportuna y falta de equipamiento necesario para enfrentar las necesidades de la población creciente (Jaque, Lara, & Merino, 2017), por lo que asegurar el correcto funcionamiento de infraestructura permitirá avanzar hacia la gestión integral del riesgo en asentamientos humanos.

Se consideran los datos del Marco Geoestadístico así como la información obtenida del DENU (INEGI, 2023), el equipamiento del municipio de Solidaridad se localiza en su mayoría en la localidad de Playa del Carmen y Puerto Aventuras (98% del total).

Se identifican 107 centros de asistencia médica, de los que 15 corresponden al sector público y 92 al sector privado, de las unidades del sector público existen 3 hospitales, 7 consultorios de medicina general y 5 clínicas de consultorios médicos (Tabla 18 y 19).

Tabla 18. Centros de asistencia médica del sector público en el municipio de Solidaridad

Tipo	Nombre	Total
Hospitales de especialidades médicas	Instituto Mexicano del Seguro Social	1
Hospitales generales	Hospital General Playa del Carmen	2
	Secretaria de Salud	
	Centro de Salud	
Consultorios de medicina general	Centro de Salud Urbano #3 Colosio	7
	Consultorio de Atención Medica Deportiva	
	Dispensario Médico Linda Cachón	
	IMSS	
	Unidad de Medicina Familiar Playa del Carmen ISSTE	
Clínicas de consultorios médicos	Centro de Salud El Peten	5
	Centro de Salud Nichte Ha	
	Centro de Salud Puerto Aventuras	
	Centro de Salud Villas Del Sol Nassim Joaquin Ibarra	
Unidad de Medicina Familiar No. 11		15
Total general		15

Fuente: Elaboración propia con datos oficiales (INEGI, 2022, 2023).

Como se observa en ambas tablas, se destaca que los centros de asistencia médica del sector privado superan en número a los del sector público.

Cabe señalar que en el municipio existen 2 servicios de ambulancias (Cruz Roja y Life Ambulancia), así como servicios auxiliares para el tratamiento médico (banco de sangre y órganos).

Tabla 19. Centros de asistencia médica del sector privado en el municipio de Solidaridad

Tipo	Total
Hospitales de especialidades médicas	1
Hospitales generales	6
Consultorios de medicina general	54
Consultorios de medicina especializada	27
Clínicas de consultorios médicos	4
Total general	92

Fuente: Elaboración propia con datos oficiales (INEGI, 2022, 2023).

Respecto a las escuelas, el Marco geoestadístico municipal identifica 88 planteles educativos (Tabla 20), de los cuales 77 corresponden al nivel básico (preescolar, primaria y secundaria), 8 de nivel medio-superior y 3 de nivel superior, sin embargo, considerando los datos del DENUe para noviembre de 2023 se muestran 245 unidades económicas que se desempeñan como centros educativos, de los que 143 se encuentran bajo la gestión pública (Tabla 21) y 102 a privados.

Tabla 20. Planteles educativos identificados en el municipio de Solidaridad

Nivel educativo	Playa del Carmen	Puerto Aventuras	Rural	Total
Preescolar	23	3	0	26
Primaria	39	4	1	44
Secundaria	4	3	0	7
Medio Superior	7	1	0	8
Superior	3	0	0	3

Fuente: Elaboración propia con datos oficiales (INEGI, 2022).

Tabla 21. Unidades económicas que se desempeñan como centros educativos del sector público

Nivel educativo	Total
Preescolar	43
Primaria	63
Secundaria	18
Medio Superior	7
Superior	4
Educación para necesidades especiales	3
Enseñanza de oficios	1
Diversos niveles de educación	4
Total general	143

Fuente: Elaboración propia con datos oficiales, (INEGI, 2022, 2023).

Aunado a ello, el municipio cuenta con 80 refugios temporales a lo largo del territorio, el 85% se localiza en Playa del Carmen, 7% en la alcaldía de Puerto Aventuras y el restante 8% se distribuye en Xpuhá, Grand Palladium, Mayacoba, Ocean Maya Royale y Parque Xcaret.

Respecto a la infraestructura gubernamental que brinda atención inmediata ante eventualidades, el municipio cuenta con 2 centrales de bomberos, 3 filtros policiacos, 5 casetas de policía y 1 central de radio; también se encuentra 1 Estación Naval, 1 unidad de Capitanía de Puerto y Asuntos Marítimos y 1 Batallón de Infantería de la Secretaría de la Defensa Nacional, la mayoría de ellos distribuidos en la localidad de Playa del Carmen.

Es importante mencionar que la Secretaría Municipal de Protección Civil, Prevención de Riesgos y Bomberos, es una de las estructuras organizativas en la materia con una infraestructura que destaca a nivel nacional. Cuenta con cuatro direcciones que fortalecen el esquema de prevención y atención de desastres, consisten en la dirección técnica, dirección operativa, dirección administrativa y la dirección de bomberos. En total, son 154 personas entre operativas, administrativas y directores que operan en esta secretaría para salvaguardar a la población de Solidaridad.

Por otra parte, el municipio cuenta con 11 estadios, que en su mayoría son canchas y solo 1 unidad deportiva (Mario Villanueva), y con 40 parques distribuidos en su mayoría en la localidad de Playa del Carmen.

Referente a la infraestructura y considerando los datos del Sistema Nacional de Información del Agua (CONAGUA, 2023), en el municipio de Solidaridad el 96% de la población cuenta con acceso a agua potable, así como agua entubada en su vivienda o predio y acceso a la red pública de drenaje, asimismo existen 3,434 pozos de absorción distribuidos en su mayoría en los centros urbanos del municipio (Dirección de Mantenimiento e Higiene Urbana, 2023).

4.5 Reserva territorial y conurbaciones principales

Los desarrollos inmobiliarios de reciente creación como Villas del Sol, se localizan al norte de la ciudad de Playa del Carmen específicamente en la UGA-11 denominada Reserva Urbana de Solidaridad del Programa de Ordenamiento Ecológico Local de Solidaridad (POEL).

Se debe prestar especial atención a los asentamientos establecidos en la periferia del área urbana de Playa del Carmen, específicamente aquellos establecidos en la UGA-5 Corredor Cárstico, la UGA-7 Camino a Pozos y la UGA-17 Corredor Turístico Punta Brava-Xcalacoco (Tabla 22).

Tabla 22. Localidades establecidas en zonas de conservación, preservación y protección ecológica decretadas en el POEL del municipio de Solidaridad.

Unidad de Gestión Ambiental (UGA)	Política	Vocación	Localidad establecida dentro de la UGA
UGA-4. Reserva Geohidrológica	Preservación del Equilibrio Ecológico	Área Natural	Pacto Obrero, San Carlos
UGA-5. Corredor Cárstico	Conservación	Área Natural	Arbolada II, Boundan I, Jacinto Canek, La Selva, Los Faisanes, Los Hernández, Los Pájaros, Nuevo Noh-Bec, Noche Buena, Ozen Cocom, Paraíso, Paraíso Tucán, Rancho Escondido, San Benito, San Pedro, Santa Cecilia, Triple A, Tumben-Kah, Uxuxubi, Valle Encantando y Yaxikin.
UGA-7. Camino a Pozos	Protección de los Recursos Naturales	Área Natural	Carlos Quiam, El Engaño, El Tigre, Fernando Aguilar, Hat-Zuts, La Mocha, La Plumita, Las Gemelas y Mi Preciosa.
UGA-15. Corredor Turístico Paamul-Yalku	Conservación	Turística	Grand Palladium, Grand Sirenis, PaaMul, Puerto Chile, complejos hoteleros.
UGA-17. Corredor Turístico Punta Brava-Xcalacoco	Conservación	Turística	El Porvenir, Zazil-Ha, Playa Paraíso, Playa del Secreto, complejos hoteleros.

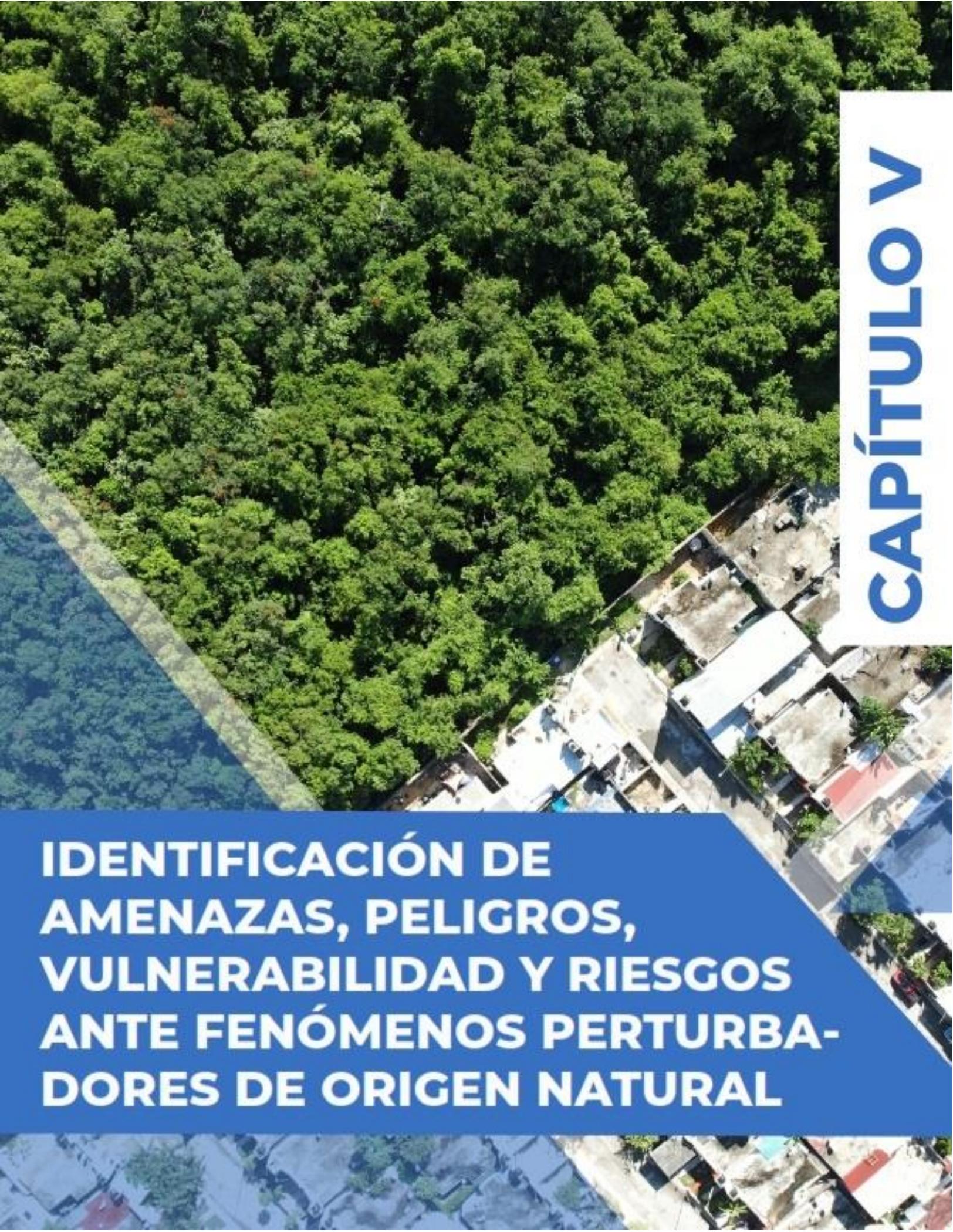
Fuente: Elaboración propia con datos oficiales (INEGI, 2020a; SEMA, 2009).

En el caso de las UGAs mencionadas, a pesar de que los asentamientos están catalogados como localidades rurales (< 2,500 habitantes) se deben seguir los criterios de regulación establecidos en el POEL para asegurar y salvaguardar los lineamientos ambientales y normativos, así como a la población asentada en dichas localidades.

Respecto a la alcaldía de Puerto Aventuras los desarrollos inmobiliarios recientes como Puerto Maya y Monte Sinaí, se dan sobre la UGA-9, Zona Urbana de Ciudad Aventuras y la UGA-11, Reserva Urbana de Solidaridad, sin embargo y como en el caso de Playa del Carmen, se recomienda prestar especial atención a los desarrollos turísticos y asentamientos humanos establecidos en la UGA-15 Corredor Turístico Paamul-Yalku y la UGA-5 Corredor Cárstico (Tabla 22).

Asimismo, es recomendable dar el seguimiento oportuno al asentamiento de habitantes en la UGA-4 Reserva Geohidrológica, ya que se tiene registro de colonización de asentamientos irregulares y de procesos de degradación ecológica por cambio de uso de suelo (desmonte) y disposición inadecuada de aguas residuales y residuos sólidos, contrario a lo establecido en los criterios de regulación del POEL (SEMA, 2009).

Resulta de vital importancia identificar las localidades que actualmente se distribuyen en el territorio con las Unidades de Gestión Ambiental establecidas en el POEL de Solidaridad, para asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas ambientales, pero primordialmente para regular los asentamientos humanos y evitar, en la medida de lo posible, el establecimiento de los mismos en sitios que pudieran vulnerar su integridad física al establecerse en sitios poco adecuados para su desarrollo, principalmente por la falta de infraestructura y servicios básicos regulados por los instrumentos de política ambiental vigentes.



CAPÍTULO V

IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS, PELIGROS, VULNERABILIDAD Y RIESGOS ANTE FENÓMENOS PERTURBA- DORES DE ORIGEN NATURAL

CAPÍTULO V. IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS, PELIGROS, VULNERABILIDAD Y RIESGOS ANTE FENÓMENOS PERTURBADORES DE ORIGEN NATURAL

5.1 Descripción de peligros en el municipio

Se realizaron recorridos en campo durante el mes de septiembre de 2023, con la finalidad de identificar peligros asociados a fenómenos geológicos principalmente subsidencia, fenómenos hidrometeorológicos asociados a inundaciones dentro de las zonas urbanas, fenómenos químico-tecnológicos relacionados a distribución de combustibles e incendios forestales, fenómenos sanitario-ecológicos representado por el relleno sanitario y la planta de tratamiento de aguas residuales, y fenómenos socio-organizativos relacionados en su mayoría a la afluencia de turistas en la línea de costa durante diversos periodos vacacionales (Figura 33).

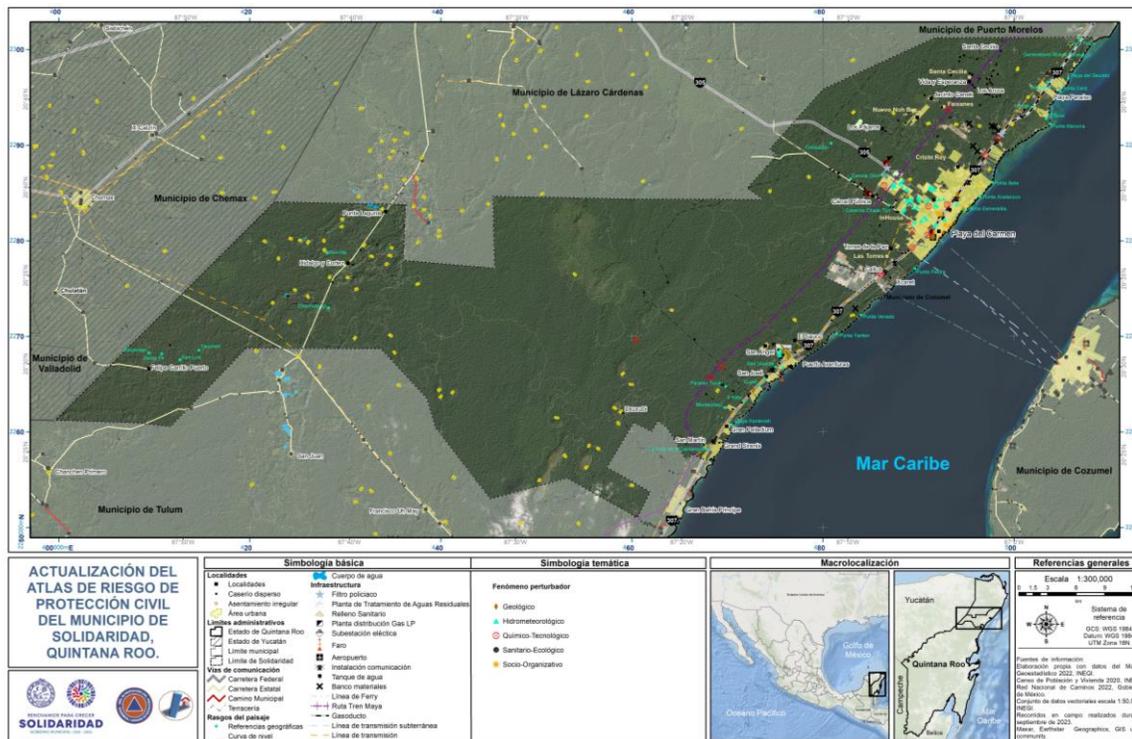


Figura 33. Fenómenos perturbadores identificados en el municipio de Solidaridad.

En la localidad de Playa del Carmen se identificaron las colonias donde ocurren anegamientos e inundaciones, así mismo se cuantificaron los tirantes de inundación. También se realizaron encuestas a los habitantes de la población, que resultan fundamentales para estimar la vulnerabilidad y el riesgo.

Asimismo, se identificaron los sitios donde han ocurrido hundimientos producto de la karstificación y sitios con erosión marina evidente en la línea de costa, ya que se ha reportado pérdida de la superficie de playas en diversos periodos de tiempo (Figura 34 y 35).

Respecto a los fenómenos químico-tecnológicos se localizaron las plantas de distribución de gas LP y la capacidad de almacenamiento de las mismas, así como los incendios forestales atendidos por la Secretaría de Protección Civil del municipio de Solidaridad y la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) de la temporada 2023. Referente a los fenómenos sanitario-ecológicos se visitó el Relleno Sanitario y la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Saastun-Ja, la operación de ambos sitios se encuentra concesionada a empresas privadas. Finalmente, para los fenómenos socio-organizativos se identificaron las playas con mayor afluencia de turistas en periodos vacacionales, así como lugares de aglomeración de personas a lo largo del año, destacan el recinto ferial, la unidad deportiva Mario Villanueva y una pista de motocross donde se celebran eventos anualmente (Figura 34 y 35).

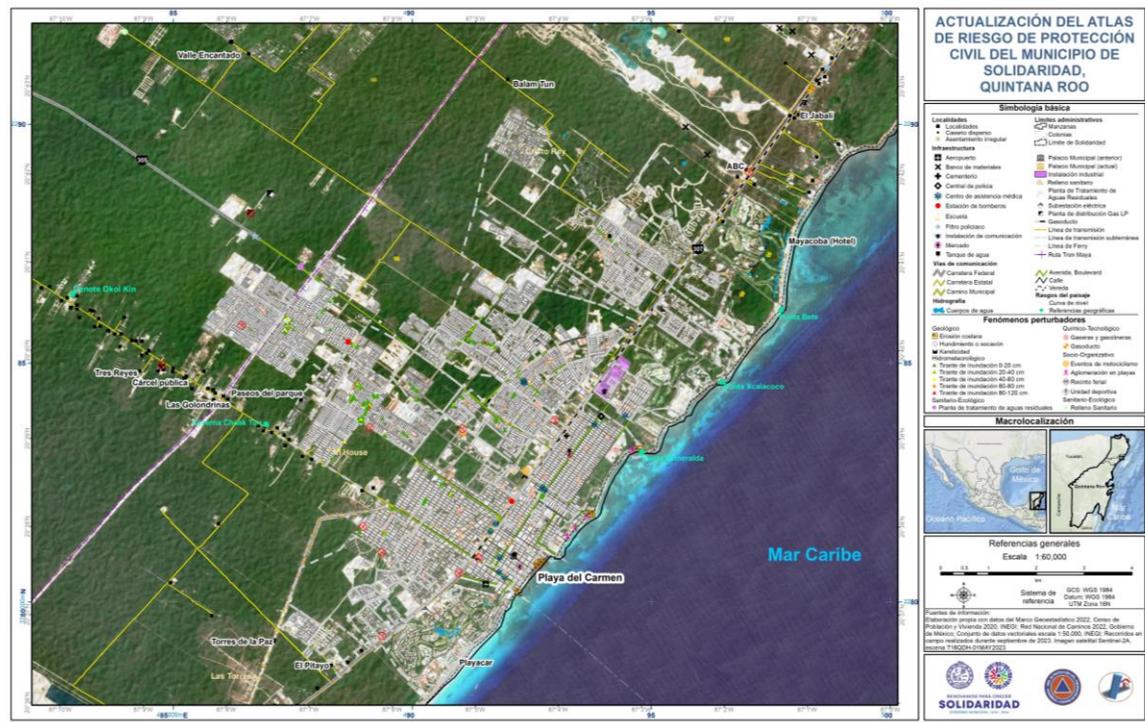


Figura 34. Fenómenos perturbadores identificados en la localidad de Playa del Carmen.

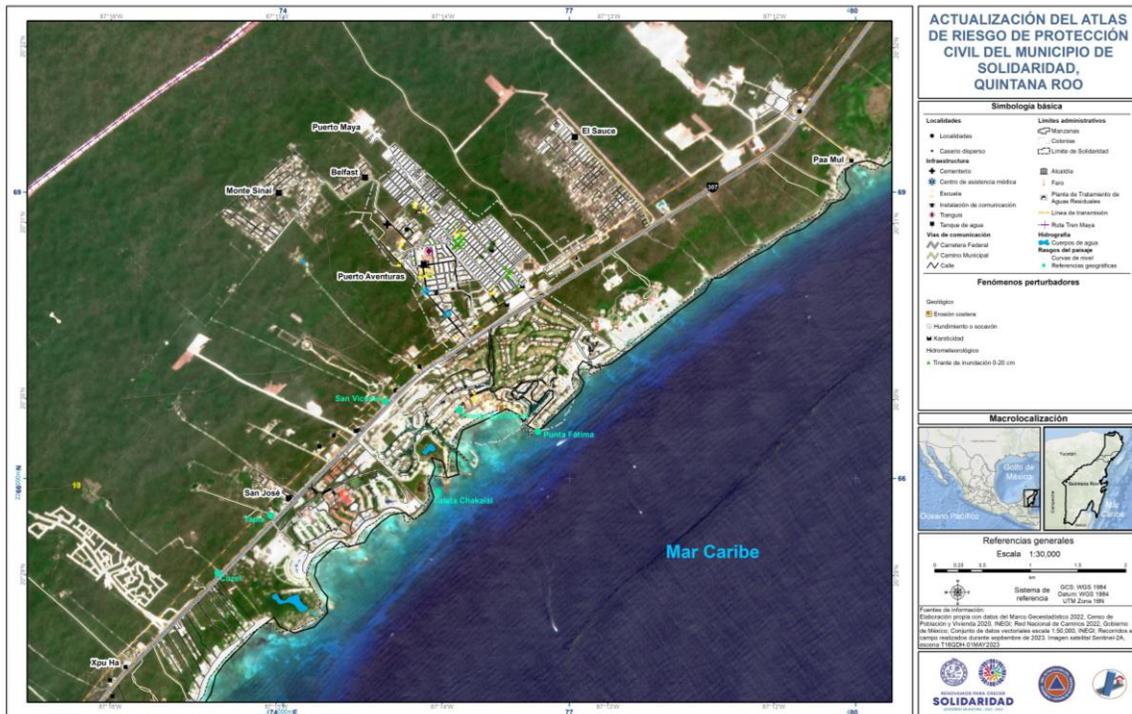
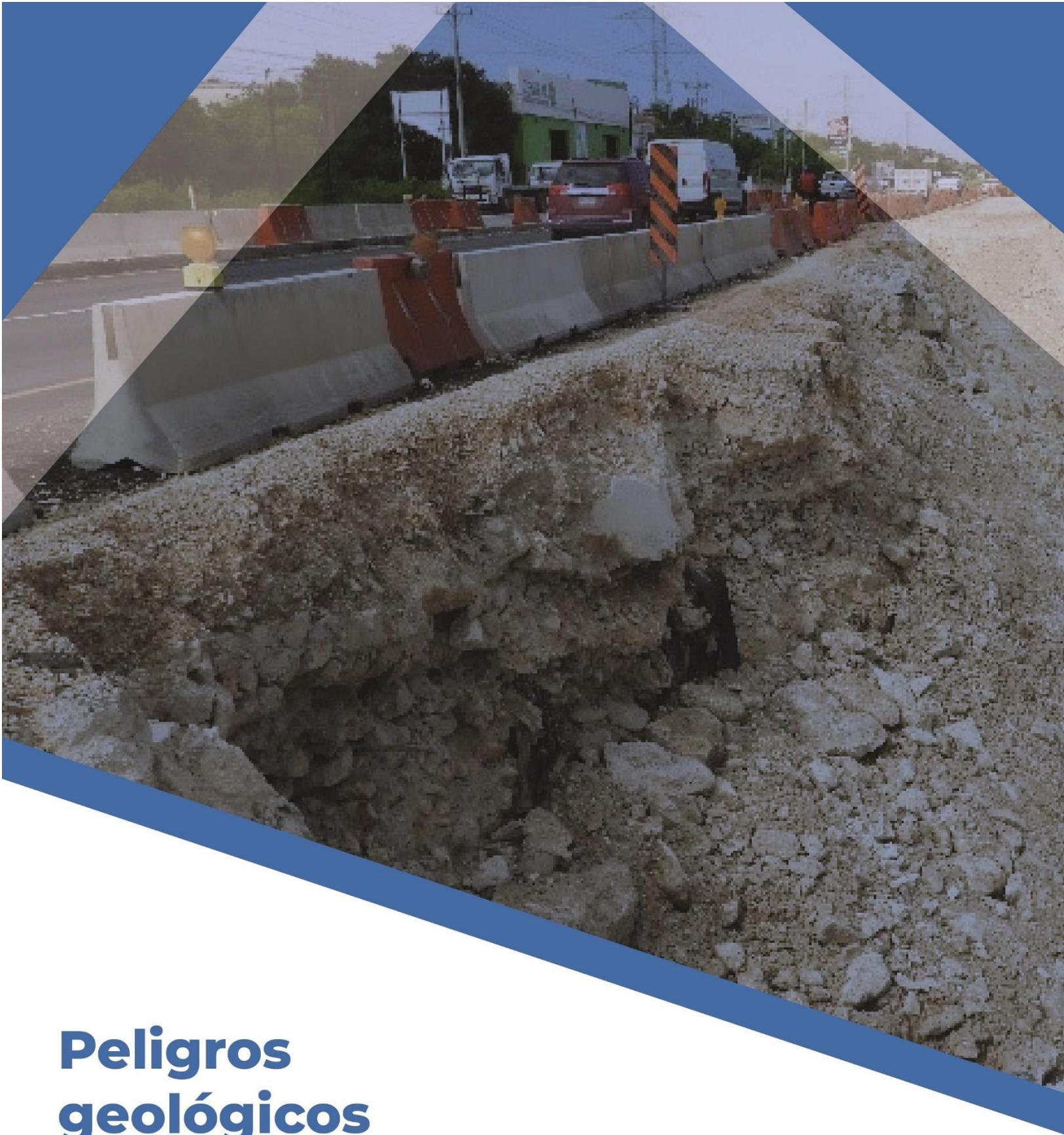


Figura 35. Fenómenos perturbadores identificados la localidad de Puerto Aventuras.



Peligros geológicos

5.1.1

5.1.1 Peligros geológicos

Los peligros naturales están asociados a los elementos del entorno físico que pueden ocasionar un perjuicio al ser humano y que pueden ser causados por eventos externos o ajenos asociados a fenómenos de origen natural o antrópico (Burton, Kates, & White, 1978). Adicionalmente, se utiliza el concepto de amenaza como sinónimo de peligro para indicar la probabilidad de ocurrencia de un evento de origen natural, socio natural o tecnológico, con la capacidad de ocasionar daños físicos, económicos o ambientales (CENAPRED, 2006). En términos generales, se considera que el producto de la amenaza (peligro) por la vulnerabilidad resulta en un primer cálculo del riesgo.

Considerando la Guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED, 2016), los fenómenos de origen geológico son inestabilidad de laderas (deslizamientos, flujos y caídos o derrumbes), licuación de suelos, karstificación, sismos, tsunamis, erupciones volcánicas, hundimientos (subsistencia) y agrietamiento del terreno, así como los fenómenos astronómicos.

A partir de la priorización de peligros realizada por el equipo técnico de Protección Civil y del H. Cuerpo de Bomberos del municipio de Solidaridad, los peligros geológicos de mayor prioridad son los hundimientos, subsistencia y erosión marina. Esta priorización se realiza considerando la posibilidad que tienen de originarse y causar daño en el municipio dado que existen condiciones naturales adecuadas, como lo es la presencia de ambientes kársticos.

Por otro lado, los peligros de menor prioridad en el municipio son el vulcanismo, los sismos, inestabilidad de laderas, derrumbes, flujos y tsunamis. Esto debido a que no existen condiciones que posibiliten o favorezcan la probabilidad de estos fenómenos. Por lo tanto, en este apartado también se realiza un análisis documental para mostrar la incidencia baja de las amenazas asociadas a estos peligros dentro del municipio.

5.1.1.1 Erosión kárstica

La erosión kárstica es un fenómeno que se ocasiona por la disolución de las rocas calcáreo-sedimentaria, como yeso, calizas y dolomitas, a través de su contacto con el agua de lluvia o escurrimientos superficiales. Este proceso puede ser potencializado por otras condiciones, como la presencia de fracturas geológicas, sismos, derrumbes de cavernas subterráneas, extracción de agua subterránea o incluso fallas en el sistema de drenaje y de agua potable que puedan provocar fugas de agua en el subsuelo y la disolución de las rocas (Crespo & Rodríguez, 2010). Este fenómeno puede presentarse de manera gradual a través del hundimiento lento del terreno o de forma súbita y violenta mediante socavones (Aguilar, 2019).

Como ya se mencionó anteriormente, la litología del municipio de Solidaridad está compuesta principalmente por rocas calcáreas (caliza-coquina) dispuesta en relieves planos y bajo la influencia de condiciones climáticas cálidas subhúmedas. Estas características,

junto con la recurrente influencia de eventos meteorológicos como ciclones tropicales, favorecen la erosión kárstica por medio de la infiltración del agua al subsuelo, principalmente en las zonas donde existen fracturamientos de la roca o presencia de pozos de extracción de agua subterránea (Aguilar & Montejo, Distribución espacial y valoración de la susceptibilidad de fenómenos kársticos al sur de Quintana Roo., 2021).

No obstante, el proceso de erosión kárstica se intensifica por la deforestación de la selva, el aumento de los asentamientos humanos y la sobre explotación de los mantos freáticos. Debido a esto, en el análisis del peligro por erosión kárstica se consideraron las siguientes variables

- Relieve.
- Formaciones kársticas (cenotes, dolinas, polje, uvalas, cavernas o ríos subterráneos).
- Litología y estructuras geológicas (fracturas).
- Pozos de extracción de agua subterránea.

Para el modelado de este fenómeno se generó un índice de diferencia topográfica a partir del modelo digital del terreno para identificar las zonas con mayor diferencia de altitud, las cuales están relacionadas con las formas del relieve kárstico característico del municipio. Adicionalmente, se generó un modelo de densidad de *kernel* para las capas de formaciones kársticas, fracturas (o estructuras geológicas) y pozos de extracción de agua subterránea. En esta última capa, se consideró el volumen de extracción, por lo que las zonas con mayor volumen de extracción tendrán valores más altos de densidad.

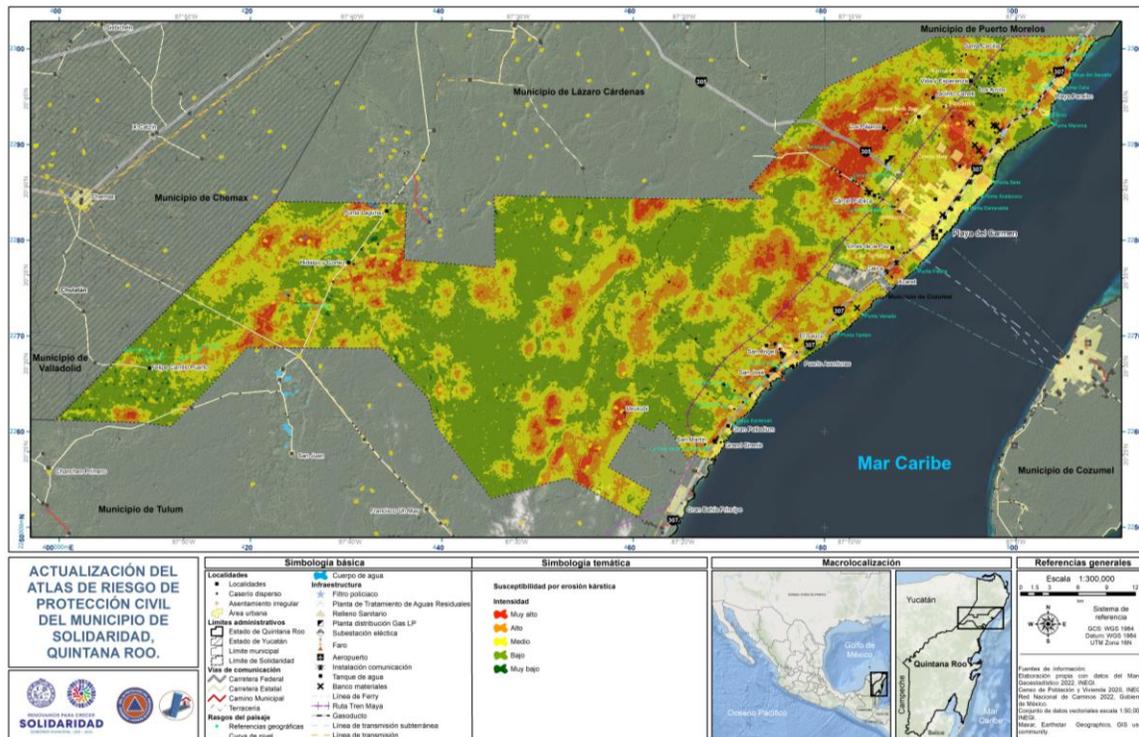


Figura 36. Susceptibilidad por erosión kárstica en el municipio de Solidaridad.

Posteriormente, se realizó un álgebra de mapas, con el que se procesaron las capas de las cuatro variables para identificar las zonas donde existen mayor susceptibilidad a erosión kárstica. Los resultados de la superposición de capas se clasificaron en cinco categorías, desde muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. En general, se observa muy poca superficie en peligro muy bajo, debido principalmente a que todo el municipio presenta condiciones de ambientes kársticos (Figura 36).

Debido a esto, la mayor distribución del área se concentra entre el peligro bajo y medio (74%), debido también a que todavía existen amplias áreas de vegetación natural dentro del municipio. Sin embargo, el 25% de la superficie del municipio resultó con peligro alto y muy alto, principalmente debido a la densidad de formaciones kársticas, fracturas y pozos de extracción (Tabla 23).

Tabla 23. Distribución del peligro por erosión kárstica en el municipio

Peligro	Área (km²)	%
Muy bajo	7.1	0.4
Bajo	748.0	37.1
Medio	744.0	36.9
Alto	397.9	19.8
Muy alto	116.7	5.8
Total	2013.7	100

Fuente: Elaboración propia

Las zonas de peligro alto y muy alto se identifican mayormente hacia la porción noreste del municipio, donde se localizan los asentamientos humanos de Cristo Rey, Fraccionamiento La Guadalupana, Jardines de Ciudad Mayakoba y Faisanes, así como Selvamar, hacia la porción costera. También, se identifica una amplia zona en peligro alto y muy alto al noroeste de la zona urbana de Playa del Carmen, sobre la carretera federal 305 de Playa del Carmen - El Tintal.

Estas zonas de peligro alto y muy alto se caracterizan por presentar mayor densidad de formaciones kársticas y fracturas geológicas. No obstante, existen áreas donde el peligro de erosión kárstica se intensifica por la presencia de pozos con grandes volúmenes de extracción de agua subterránea, como es el caso de la zona próxima al Hotel Iberostar, en donde ya se han presentado hundimientos y existe una gran densidad de pozos de extracción. Por otro lado, la zona urbana de Playa del Carmen presenta mayormente áreas en peligro alto por erosión kárstica, particularmente hacia las colonias Ejidal, Mundo Habitat, Fraccionamiento El Tigriillo, In-House, Paseo del Parque, Paseos de Xcacel y Villas Las Perlas.



Imagen 2. Hundimiento "Iberostar" sobre carretera federal. Hundimiento reparado, posiblemente provocado por el flujo de agua subterránea. Se encuentra sobre una zona de peligro muy alto, con alta densidad de formaciones kársticas y pozos de extracción de agua subterránea.



Imagen 3. Hundimiento sobre carretera federal. Posiblemente ocasionado por las obras del "Tren Maya". Se ubica en una zona de peligro medio y transición a peligro alto. Se observan pozos de extracción de agua subterránea cercanos al sitio

Por otro lado, se identifica también un área de peligro alto y muy alto hacia la zona de Xcaret Park y Xplor, particularmente por la densidad tanto de cenotes como de pozos de extracción de agua subterránea. Asimismo, la zona urbana de Puerto Aventuras se encuentra mayormente en peligro alto por erosión kárstica, principalmente por la presencia de cavernas

subterráneas. No obstante, la zona de Hotel Barceló Resort presenta peligro muy alto debido también a la presencia de múltiples pozos con grandes volúmenes de extracción de agua subterránea.

En general, se observa que la mayoría de los puntos recabados en campo sobre hundimientos y socavones coinciden con las zonas de peligro alto y muy alto por erosión kárstica, principalmente definidas por alta densidad de formaciones kársticas, fracturas, zonas de contacto geológico y grandes volúmenes de extracción de agua subterránea. Las zonas con peligro medio se identifican hacia zonas alejadas con formaciones kársticas aisladas, mientras que las zonas con peligro bajo y muy bajo se identifican hacia las zonas con mayor densidad de vegetación sin registros de formaciones kársticas y en algunas porciones de la franja costeras que corresponde a depósitos litorales o lacustres.



Imagen 4. Cavernas en la zona urbana de Puerto Aventuras. Zona con peligro alto por erosión kárstica

5.1.1.2 Hundimiento - subsidencia

La subsidencia es un fenómeno que implica el hundimiento de la corteza terrestre en respuesta a la eliminación o remoción de materiales gaseosos, líquidos o sólidos debajo de la superficie. Los hundimientos pueden ocurrir tanto en áreas continentales como submarinas (Baum, Galloway, & Harp, 2008; Bear & Bachmat, 1984; Lee & Abel, 1983; Tomás, Gerardo, José, & Fernando, 2010).

Existen dos clasificaciones para los procesos de subsidencia: La primera, propuesta por (Prokopovich, 1979), distingue entre procesos endógenos, relacionados con movimientos de la superficie terrestre asociados a procesos geológicos internos, y procesos exógenos, que se refieren a la compactación natural de suelos o actividades humanas (Ramírez & Tapia, 2000).

La segunda clasificación se basa en los mecanismos desencadenantes y fue propuesta por (Scott, 1979) (Tabla 24).

Tabla 24. Tipos de subsidencia. Tabla tomada de (Tomás et al., 2009), modificada según la clasificación de subsidencia de Scott (1979) y Prokopovich (1979)

Clasificación de Prokopovich en 1979	Clasificación de Scott en 1979	Detalles
Endógena	Por disolución subterránea	En sal En yeso En rocas carbonatadas
Exógena	Por construcción de obras	Subterráneas Galerías mineras
Exógena	Por erosión subterránea	Tubificación o piping
Exógena	Por flujo lateral	Rocas salinas Arcillas
Exógena	Por compactación	Por carga Por drenaje Por vibración Por extracción de fluidos Por hidrocompactación
Endógena	Tectónica	

Fuente: (Tomás et al., 2010).

A pesar de que la subsidencia rara vez causa pérdidas humanas, sus consecuencias pueden ser devastadoras en áreas urbanas, donde ocasiona graves daños a la infraestructura, servicios públicos, cambios en los niveles del agua en superficie y subsuelo, así como en todas las construcciones que se asientan en terrenos en proceso de deformación (Bear & Bachmat, 1984; Lee & Abel, 1983).

El análisis del peligro por subsidencia se basó en la utilización de técnicas de interferometría diferencial de radar de apertura sintética (DInSAR), que permiten cuantificar los desplazamientos del terreno con precisión milimétrica y elimina las limitaciones inherentes a los métodos directos como la medición de amplias superficies.

Para la elaboración del mapa de velocidades de subsidencia del municipio, se utilizó como información base un modelo digital del terreno y modelo digital de superficie del sensor satelital de radar SRTM3 (Shuttle Radar Topography Mission) y una escena SAR por año para el periodo 2015-2023. Las escenas SAR se obtuvieron del satélite Sentinel 1A, y se descargaron las correspondientes a la órbita relativa 128. En la Tabla 25 se enlistan las fechas de las escenas utilizadas, así como su órbita absoluta.

Tabla 25. Fecha de adquisición de las escenas Sentinel 1A utilizadas para generar el mapa de velocidades de subsidencias

Fecha de adquisición	Órbita absoluta
2015-01-06	4050
2016-07-11	12100
2017-01-19	1113
2018-01-02	1461
2019-01-09	1833
2020-01-04	2193
2021-01-10	2564
2022-01-05	2924
2023-01-12	3296

Fuente: Elaboración propia

La metodología para crear la serie de tiempo de interferogramas se desarrolló utilizando el sistema de procesamiento InSAR basado en GMT (Generic Mapping Tools). Para construir la red de interferogramas se seleccionó la imagen correspondiente a la fecha 2019-01-09 como la imagen primaria, ya que esta se encuentra en el centro de la red de interferogramas de cada año. Por último, con el propósito de evitar la inclusión de valores en el océano, se aplicó una máscara durante el proceso.

Adicionalmente, se generó un mapa de coherencia para cada par de interferogramas con el propósito de identificar las zonas donde la señal se mantiene estable, tanto en la fase como en la amplitud de la señal recibida. En este sentido, la coherencia hace referencia a la similitud que tienen dos escenas SAR dentro de un conjunto de imágenes compuestas. Su valor puede variar desde 0, que significa una completa falta de similitud (decorrelación total), hasta 1, que indica una correlación total entre las dos escenas. Con base en esto, se generó un mapa de coherencia en donde se puede observar que las zonas con alta coherencia corresponden principalmente a las zonas urbanas. Por el contrario, las zonas con vegetación densa son las que presentan menor coherencia. Por lo tanto, los resultados de este procedimiento solo se caracterizaron en las zonas urbanas.

Por último, se generó el desenvolvimiento de la fase para cada interferograma mediante el uso del algoritmo denominado '*Minimum Cost Flow Algorithms*', también conocido como SNAPHU. Como resultado final del procesamiento se obtuvo la serie de tiempo InSAR, la cual se analizó mediante la metodología SBAS (Short Baseline Subset), la cual se basa en la

selección de un conjunto de interferogramas con el objetivo de analizar cambios temporales. Así mismo, sólo se consideraron los valores de coherencia medio a alto, entre 0.41 y 0.92, y los cuales corresponden principalmente a zonas urbanas y se generó un área de influencia de 2 kilómetros para garantizar una cobertura adecuada de las principales localidades.

Los resultados de subsidencia se representan en milímetros (mm), los cuales se entienden como el promedio en milímetros de la velocidad de desplazamiento anual de la superficie terrestre en el periodo definido, siendo los valores negativos los correspondientes a subsidencia o hundimiento. Para complementar el análisis, se procesaron dos periodos, el correspondiente al periodo 2015 a 2023 y del 2021 a 2023, con el propósito de tener un periodo actual posterior a la elaboración del anterior atlas de riesgos. Los resultados se clasificaron en cinco categorías, de muy bajo a muy alto según el promedio de desplazamiento del periodo de estudio. Los rangos se establecieron de acuerdo a las Tablas 26 y 27.

Tabla 26. Clasificación de los valores de subsidencia para el periodo 2015-2023

Categoría de peligro	Desplazamiento medio anual (valores en mm)
Muy bajo	Mayor a 10 mm
Bajo	0 mm a 10 mm
Medio	0 mm a -2 mm
Alto	-2 mm a -10 mm
Muy alto	-10 mm a 65 mm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Clasificación de los valores de subsidencia para el periodo 2021-2023

Categoría de peligro	Desplazamiento medio anual (valores en mm)
Muy bajo	Mayor a 10 mm
Bajo	0 mm a 10 mm
Medio	0 mm a -14 mm
Alto	-14 mm a -30 mm
Muy alto	-30 mm a -310 mm

Fuente: Elaboración propia

Se observa que durante el periodo de 2015 a 2023 los valores de subsidencia media anual son relativamente menores en comparación con el periodo de análisis de 2021 a 2023. Esto debido a que el desplazamiento calculado se divide entre un mayor número de años. No obstante, se puede observar que, durante este periodo, la zona urbana de Playa del Carmen presentó un nivel medio de peligro, con desplazamientos entre 0 mm a -2 mm en promedio por año. Pero, cabe mencionar que algunas colonias presentaron valores de desplazamiento de -2 a -10 mm, como fueron el caso de Misión de las Flores, Villas del Sol, Villas del Sol II, Villas del Sol III, Pescadores, Pescadores Plus, Villas las Perlas, Las Palmas, In-House, Paseos del Parque, Ejidal. Hacia la zona norte de Playa del Carmen, resaltan en peligro alto y muy alto las colonias de Bosque de Cristo Rey, Country Club-Mayacoba y Velamar, principalmente (Figura 37).

Por otro lado, los resultados del segundo periodo muestran valores más altos de desplazamiento, debido a que el promedio se realiza entre menos cantidad de años. Para el caso de la zona urbana de Playa del Carmen se registran mayormente velocidades de desplazamiento de entre 0 a -14 mm de hundimiento por año. No obstante, cabe resaltar algunas zonas donde las velocidades de desplazamiento son mayores a -30 mm de hundimiento por año, particularmente en las colonias de Bosques de Cristo Rey, Paseos del Parque y algunas zonas aisladas en la colonia Ejidal. Además, se observa una amplia zona en peligro alto, con valores de desplazamiento de -14 mm a -30 mm en las colonias de Las Palmas, Misión de las Flores, Punta Estrella, 28 de Julio, Misión del Carmen, Bosque Real, Las Palmas II, Bellavista, El Fundador, Misión Villamar, In-House y Selvanova.

Para el caso de la localidad de Puerto Aventuras, se registran velocidades bajas de hundimiento con valores entre 0 a 10 mm por año. Sin embargo, se observa peligro alto y muy alto hacia el suroeste del municipio, en las localidades de Xpu Ha, Club Tulum Palace y San Martín (Figura 38).

Particularmente, para el periodo 2021-2023 se calcula que 5,089 ha se estiman en peligro muy alto por subsidencia con velocidades mayores a -30 mm de hundimiento del terreno en promedio por año. Adicionalmente, en peligro alto se calculan 9,161 ha, mientras que en peligro medio se tienen 12,350 ha. En la Tabla 28 se resumen las superficies y el porcentaje respecto al total para cada categoría de peligro.

En general, se estiman 26,600 hectáreas en peligro por subsidencia-hundimiento, lo cual representa el 13.2% de la superficie total del municipio. Lo anterior debido a que se calcula el área de subsidencia únicamente en la superficie con coherencia media y alta y con valores negativos de desplazamiento, que corresponden a las categorías de peligro medio, alto y muy alto.

Tabla 28. Área en peligro de subsidencia para el periodo 2021-2023

Peligro	Superficie (Ha)	%
Muy bajo	4,066	15.3
Bajo	5,114	19.2
Medio	12,350	46.4
Alto	9,161	34.4
Muy alto	5,089	19.1
Total	35,780	

Fuente: Elaboración propia

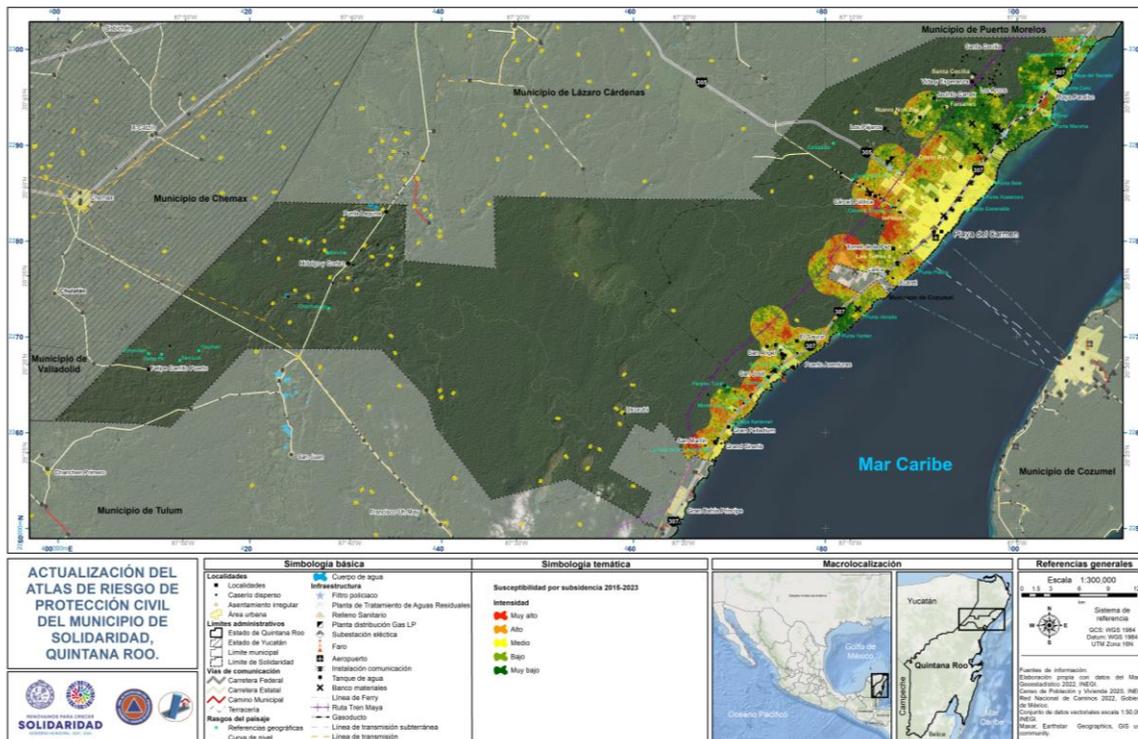


Figura 37. Susceptibilidad por subsidencia 2015-2023.

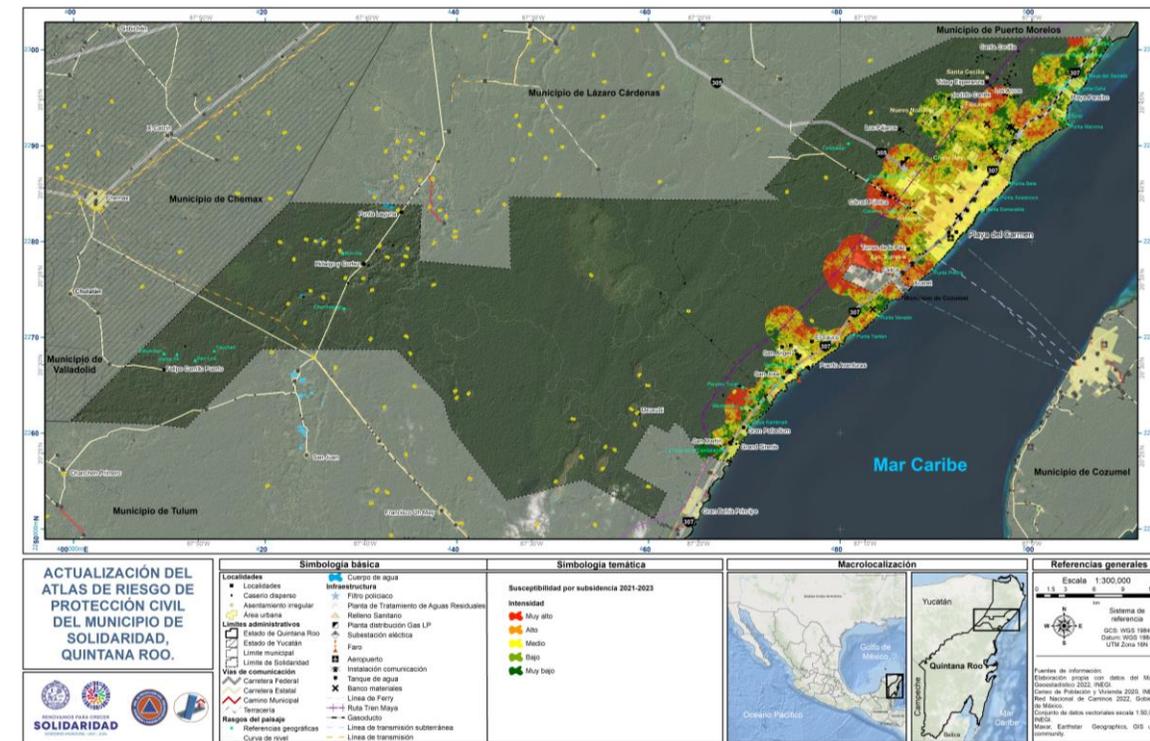


Figura 38. Peligro por subsidencia 2021-2023

5.1.1.3 Erosión marina

La erosión marina es un proceso geomorfológico inducido por orígenes naturales, antrópicos o por la combinación de ambos, que modifica el tamaño y la forma de una zona costera. Las costas, playas y litorales son zonas de material arenoso o rocoso en donde interactúan diversos factores que erosionan o modifican estas formas del relieve. Entre los principales factores erosivos se encuentran el viento, oleaje, las mareas y corrientes marinas, los cuales son favorecidos por eventos hidrometeorológicos como ciclones tropicales y frentes fríos, o por procesos oceánicos. Además, existen otros elementos que favorecen la erosión de las costas, como el relieve continental y marino (batimetría), la geomorfología y ecosistemas costeros, así como la presencia de infraestructuras como edificaciones, muelles, puertos, geotubos, escolleras o espigones (Ojeda, Appendini, & Mendoza, 2017).

Las playas de arena son formaciones costeras originadas por depósitos o acumulación de sedimentos no consolidados que se extienden desde la línea de bajamar hasta zonas con cambio de pendiente topográfico o con presencia de vegetación o infraestructura. Los sedimentos depositados son el principal elemento disipador de energía del oleaje o de reducción de la erosión.

La zona costera del municipio de Solidaridad está conformada principalmente por cordones litorales con playas de origen residual-acumulativo y palustres, asociados a ambientes de manglares o humedales.

Solo el litoral de la zona sur del municipio se caracteriza playas compuestas de materiales lítico-arenoso. Las playas de origen acumulativo se caracterizan por tener pendientes suaves y continuas, con pequeños cambios de pendiente que se adaptan al aporte de los depósitos de sedimentos, lo que mantiene el perfil de terreno en equilibrio. Por otra parte, las playas erosivas tienen pendientes abruptas, con escarpes bien definidos y barras sumergidas, que se desarrollan a partir de oleaje muy energético y de gran altura, por lo que se caracterizan también por material rocoso más grueso.

El estudio de la dinámica de las playas, o de su erosión, puede aproximarse a partir del análisis de la línea de costa, ya que los depósitos horizontales a lo largo de la línea de costa determinan el punto de equilibrio de las playas. Un estado de equilibrio estático se presenta en las playas cuyo balance neto de sedimentos a través de varios años permanece constante, por lo que los ciclos de deposición-erosión son equilibrados.

Por otra parte, una playa metaestable o hiperestática pueden presentar, en periodos de tiempo cortos, procesos de deposición-erosión que modifican el estado original de equilibrio, pero mantienen su nuevo estado por periodos largos. Finalmente, también pueden observarse líneas de costa inestables, caracterizadas por procesos intensos de erosión o acreción dados en cortos periodos de tiempo.

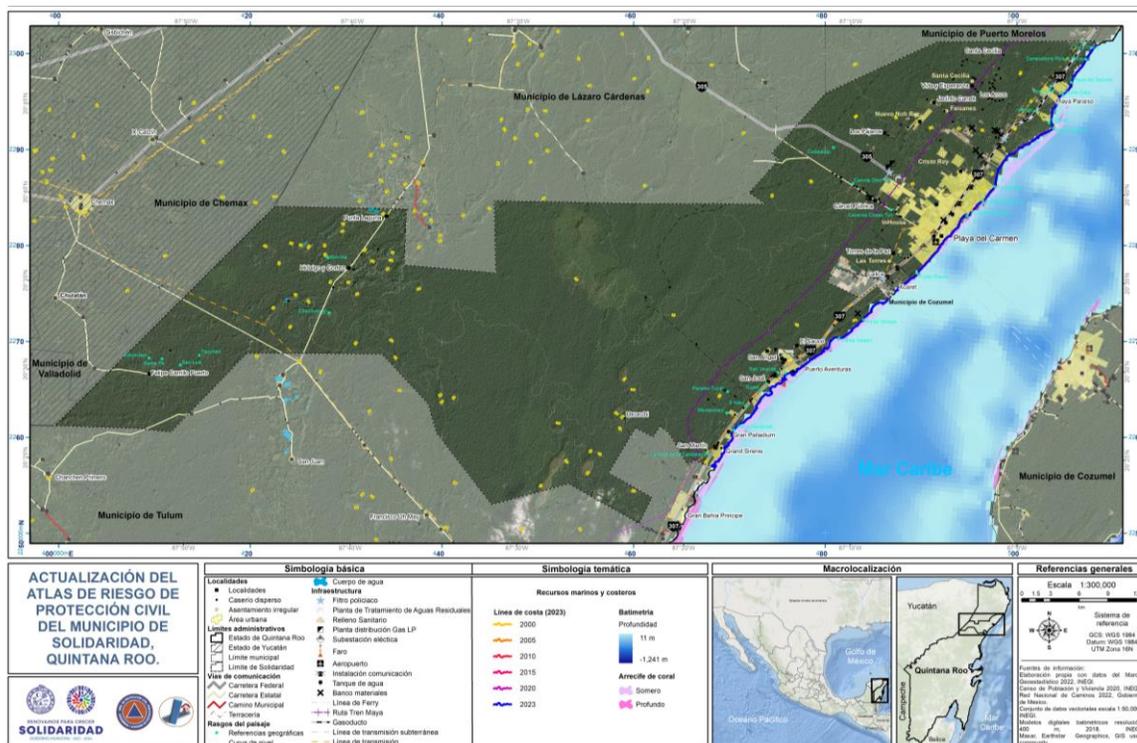


Figura 39. Recursos costeros

Considerando lo anterior, se realizó un análisis de la línea de costa del municipio de Solidaridad desde el año 2000 hasta el 2023. La línea de costa se extrajo a partir de imágenes satelitales de los sensores Sentinel 2a, Landsat 8 y Landsat 7. Para discriminar los límites entre el agua y la tierra, se utilizaron índices espectrales contruidos con las bandas del visible, infrarroja cercana e infrarroja de onda corta (1 y 2). Los resultados se vectorizaron a una resolución de 30 metros para obtener las líneas de costa de los años 2023, 2020, 2015, 2010, 2005 y 2000.

Con base en el resultado, se obtuvo que al año 2023 la línea de costa del municipio de Solidaridad mide en promedio 69.5 kilómetros. En general, se observa que la dinámica de la línea costera no muestra cambios abruptos de su longitud entre los diferentes años de análisis. Si bien, existen elementos que pueden reducir la erosión marina, como la presencia de arrecifes de coral y la poca profundidad o cambio de pendiente suave en la porción oceánica, sí existen zonas de la línea costera que han presentado cambios a través de los años (Figura 39).

Entre los principales años con cambios se encuentra el periodo de 2015 a 2020, en el cual se observa en promedio 13 metros de desplazamiento entre las líneas costeras. No obstante, cabe resaltar el cambio que hubo a partir del año 2005, ya que tan solo entre el periodo de 2005 a 2010 el desplazamiento máximo fue de 101 metros, y aumentó a 139 metros para el periodo de 2010 a 2015. Esto indica que hubo zonas de playa que tuvieron un gran cambio a partir del año 2005, lo cual puede estar relacionado con los eventos de huracanes del año 2005 como Emily y Wilma.

Tabla 29. Desplazamiento de línea de costa para el periodo 2000 a 2023

Periodo	Desplazamiento promedio (desviación estándar)	Desplazamiento máximo
2000-2005	8 metros (+/- 9)	79 metros
2005-2010	9 metros (+/- 11)	101 metros
2010-2015	8 metros (+/- 11)	139 metros
2015-2020	13 metros (+/- 10)	103 metros
2020-2023	12 metros (+/- 10)	131 metros

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, los resultados de cada línea de costa se integraron y procesaron considerando que la erosión marina es muy alta en zonas donde el cambio o desplazamiento entre la longitud y área aumenta en periodos más cortos de tiempo, mientras que la erosión marina es muy baja en zonas donde no se observan cambios en la línea de costa en todo el periodo de análisis. A partir de esto, se calcula que, del total del área de influencia de la playa en la

línea costera, el 38% se encuentra en categoría muy alta de peligro por erosión marina, mientras que el 44% está en peligro alto. Esto indica que al menos el 82% de la zona de influencia de la playa se encuentra en proceso de erosión (ver Tabla 30).

Tabla 30. Distribución de peligro por erosión marina

Peligro	Área (hectáreas)	Porcentaje
Muy alto	70.5373	38%
Alto	80.7090	44%
Medio	13.0025	7%
Bajo	13.2302	7%
Muy bajo	7.8177	4%
Total	185.2967	100

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, de la longitud total de la línea de costa (69.5 km), se estima que 26.8 km se encuentran en la zona de peligro muy alto por erosión marina, 36.2 km en categoría alta, 2.5 km en medio, 3.8 km en peligro bajo y sólo 0.2 en categoría muy baja.

Tabla 31. Peligro de erosión en la línea de costa

Peligro	Línea de costa (2023)	Porcentaje
Muy alto	26.8	38.6%
Alto	36.2	52.1%
Medio	2.5	3.6%
Bajo	3.8	5.5%
Muy bajo	0.2	0.3%
Total	69.5	100.0

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los datos de recogidos en campo y los análisis del anterior Atlas, existen 3 zonas de interés por erosión marina en la localidad de Playa del Carmen:

- Zona 1. Localizada en el área de playas de los hoteles BlueBay Grand Esmeralda, Tres Ríos y Ocean Maya Royale. En esta zona predomina el peligro alto y muy alto

de erosión marina. Esta zona se caracteriza por presentar deltas de escurrimientos superficiales y un cambio significativo en la profundidad del área marina. Aunque los arrecifes son someros, estos se encuentran en promedio a más de 500 metros de la línea de costa, por lo que existe un área amplia de contacto entre la costa y el oleaje. Si bien, la vegetación de manglar reduce el proceso erosivo, es importante mantenerla para asegurar la conservación de la línea de costa (Figura 40).

- Zona 2. En esta área se localiza el muelle Constituyentes y otras estructuras costeras las cuales se han asociado al aumento de los procesos erosivos en la costa. Adicionalmente, se realizaron dos vuelos fotogramétricos en esta zona, una sobre el muelle Constituyentes y otra sobre una porción de la playa Playacar. En esta zona se observa mayormente un peligro alto por erosión marina. No obstante, en el área de costa próxima a los muelles se observa peligro muy alto (Figura 41).
- Zona 3. Ésta abarca la porción sur de la zona costera del municipio, hacia los límites con el municipio de Tulum. En esta zona se observa más variabilidad en la erosión marina. No obstante, predominan las áreas con peligro alto y muy alto, particularmente en las pequeñas bahías formadas a la altura de Grand Sirenis (Figura 42).

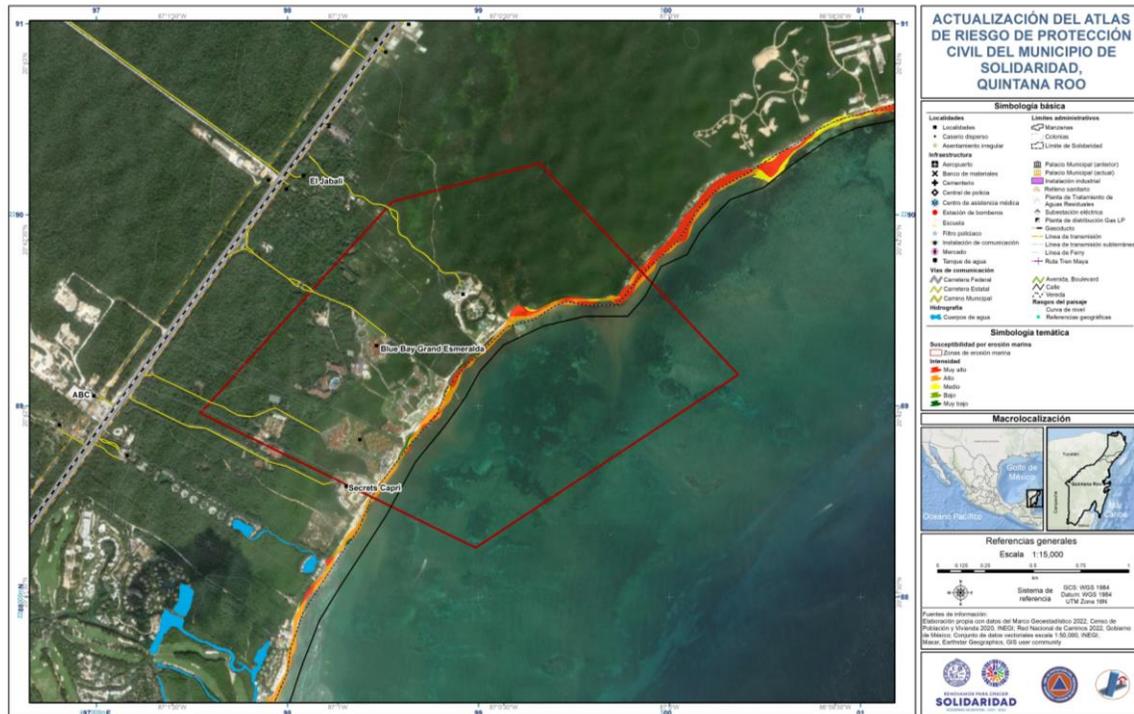


Figura 40. Susceptibilidad por erosión marina en la zona 1



Imagen 5. Línea de costa en septiembre de 2023 en la zona 1



Figura 41. Susceptibilidad por erosión marina en la zona 2



Imagen 5. Línea de costa en septiembre de 2023 en la zona 2

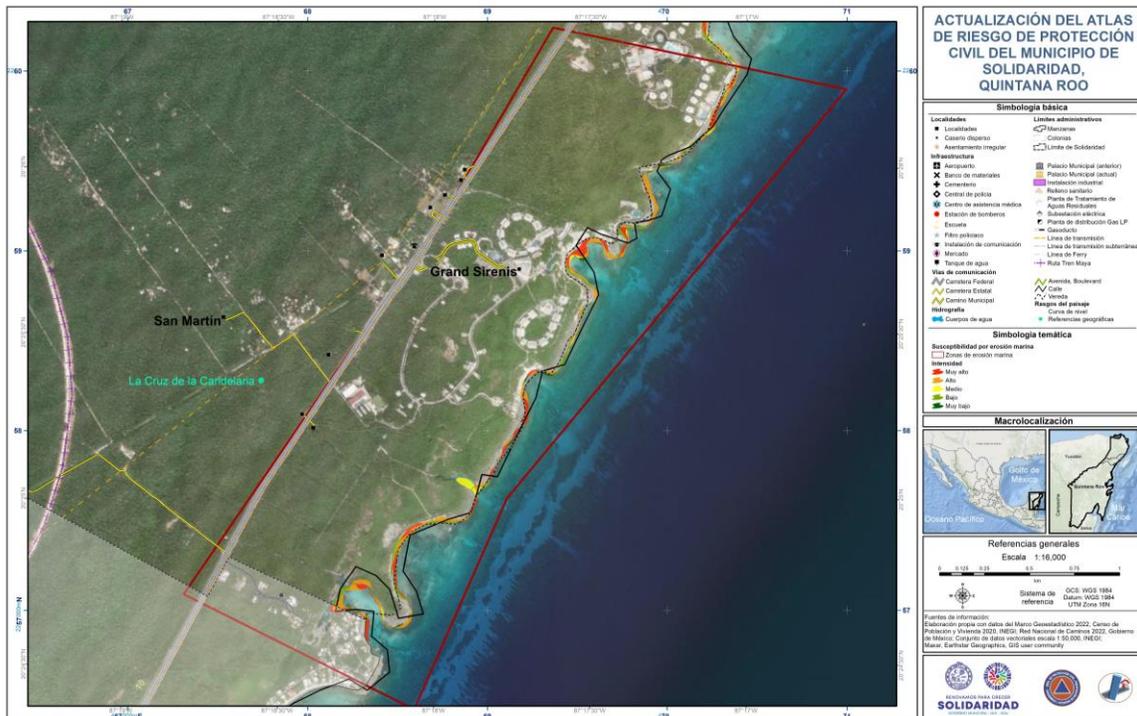


Figura 42. Peligro por erosión marina en la zona 3

5.1.1.4 Vulcanismo

El peligro por vulcanismo está asociado principalmente a erupciones volcánicas y a los eventos derivados de estas como coladas de lava, flujos piroclásticos y caídas de ceniza. De acuerdo con los Términos de Referencia para la elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos (SEDATU, 2016), el peligro por vulcanismo se define considerando los volcanes activos o con evidencia de actividad en los últimos 10,000 años que se encuentran dentro de un radio de 100 km desde el municipio en estudio. A partir de esto, se identifica que el municipio de Solidaridad no presenta volcanes activos o campos volcánicos dentro de un radio de 100 km, por lo que el peligro por vulcanismo es nulo. Los volcanes activos más cercanos al municipio Solidaridad son el volcán El Chichonal, a 700 km aproximadamente, y el Tacaná a 800 km aproximadamente de distancia del municipio de Solidaridad (Secretaría de Protección Civil de Chiapas, 2018).

Adicionalmente, y con base en lo enunciado en el documento previo de Atlas de Riesgos del municipio de Solidaridad, también existen volcanes activos en Centroamérica, principalmente en Guatemala, que eventualmente podrían afectar el municipio de Solidaridad. Sin embargo, estos se encuentran también a más de 700 km de distancia, como son el caso de los volcanes Santiaguito (807 km), Pacaya (787 km) y el volcán de Fuego (792 km) (CONRED, 2021).

Por otro lado, en el escenario extremo de caída de ceniza, el municipio de Solidaridad puede llegar a presentar eventos de dispersión, por lo que el peligro de caída de ceniza se considera como muy bajo. Esto debido a que existen registros de dispersión de ceniza detectada en la región por los VAACS (Volcano Ash Advisory Centers). Además, en el modelado computarizado realizados por investigadores se pronostica que la caída de ceniza con un espesor de 1 cm podría alcanzar hasta los 800 km de distancia desde el volcán Popocatepetl (Bonasia, y otros, 2014).

Sin embargo, cabe señalar que el municipio no se encuentra en la dirección predominante de la estadística de los vientos para ni uno de los volcanes cercanos. El mismo escenario se presenta para los peligros de flujos y escombros volcánicos, no existe evidencia alguna por distribución, localización, morfológica o estratigráfica que ponga de manifiesto la ocurrencia en tiempos geológicos de estos fenómenos.

En conclusión, el municipio de Solidaridad se ha tipificado con valor de peligro Muy Bajo por efectos de fenómenos de vulcanismo.

5.1.1.5 Sismos

Los sismos, temblores o terremotos, son eventos que se producen por el rompimiento de la roca presente en las placas tectónicas de la corteza terrestre. El contacto entre las placas tectónicas produce fricción que las mantiene en contacto hasta que la fuerza se acumula y se libera, ocasionando la

ruptura de la roca y propagación de la energía sísmica en forma de ondas que producen movimientos sobre la superficie terrestre (SGM, 2017). De acuerdo al Centro Nacional de Prevención de Desastres, los sismos son las vibraciones de la tierra ocasionadas por la propagación en el interior o en la superficie de ésta, de varios tipos de ondas y ocurren por movimientos de las placas tectónicas (CENAPRED, 2017).

El territorio mexicano se encuentra sobre cinco placas tectónicas: Placa del Pacífico, Placa de Rivera, Placa de Cocos, Placa del Caribe y Placa Norteamericana, siendo esta última la que ocupa mayor superficie del territorio nacional y sobre la cual se localiza el municipio de Solidaridad (SGM, 2017).

Históricamente, la mayoría de los eventos de sismos se alinean con la franja de contacto entre las placas tectónicas, principalmente en la zona de subducción que comprende toda la costa del Pacífico, desde Mazatlán, Sinaloa y hasta Tapachula, Chiapas, donde se localizan las placas de Rivera y de Cocos, que son principalmente placas oceánicas, y que interactúan con la placa de Norteamérica. La ruptura entre estas placas ha ocasionado la mayor frecuencia histórica de sismos en México (SSN, 2020).

Uno de los sismos de mayor magnitud registrado en este siglo ocurrió el 3 de junio de 1932 en las costas de Jalisco, con una magnitud de 8.2 y una longitud de ruptura de 280 km. Otro de los sismos de mayor importancia histórica en México fue el del 19 de septiembre de 1985, con una magnitud de 8.1 y que tuvo una ruptura que cubrió casi toda la costa del estado de Michoacán (una longitud de 180 km) (SSN, 2021).

De acuerdo con la zonificación sísmica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), el municipio de Solidaridad se encuentra dentro de la zona A, categorizada como zona de intensidad sísmica baja, y que se caracteriza por no registrar sismos de magnitud alta en los últimos 80 años, por lo que no se esperan aceleraciones de la gravedad del suelo mayores al 10% a causa de temblores. Esto es debido a que los eventos de magnitud significativa se presentan principalmente a una distancia aproximadamente a 990 km, en el borde donde se introduce la placa de Cocos por debajo de la placa norteamericana (CENAPRED, 2020).

Debido a lo anterior, el territorio del municipio es muy poco propenso a la actividad sísmica, registrándose sismos de menor importancia no mayores a los 4.6 de magnitud. Esto se puede observar dentro del registro histórico de los sismos dentro de un radio de 300 km respecto al municipio, teniendo que desde el año de 1977 al 2022 se han presentado 78 eventos de sismos. Sin embargo, solo nueve tienen un cálculo de su magnitud, la cual se encuentra en un rango de 2.9 a 4.6 de magnitud (SSN, 2021).

De estos eventos, el más cercano al municipio de Solidaridad sucedió en enero del año 2015 cuando se registró un sismo de 4.2 de magnitud a una profundidad de 5 km, y que se ubicó a 56 km al suroeste de Playa del Carmen. Por otra parte, el sismo más reciente se presentó a 181 km de distancia de Playa del Carmen, en el municipio de Peto, Estado de Yucatán, en noviembre del 2022, con un registro de 3.8 de magnitud y 20 km de profundidad (SSN, 2021).

Entre otros sismos de interés dentro del área de influencia de 300 km, se encuentran el ocurrido en junio del 2002 en el municipio de Felipe Carrillo Puerto, a aproximadamente 206 km de Playa del Carmen, con un registro de 4.6 de magnitud a una profundidad de 12 km. Así mismo, en junio de 2004 en el municipio de Peto, Estado de Yucatán, a una distancia aproximada de 235 km de Playa del Carmen, con un registro de 4.1 de magnitud y 25 km de profundidad (SSN, 2021). En la Tabla 32 se enlistan los sismos con registro de magnitud dentro de un radio de 300 km respecto al municipio, tomando como referencia la cabecera municipal.

Tabla 32. Sismos registrados dentro de un radio de 300 km respecto al municipio de Solidaridad.

Fecha	Magnitud	Profundidad (km)	Referencia de localización	Distancia a Playa del Carmen
10/06/2002	4.6	12	60 km al sur de F. Carrillo Puerto, QROO.	206 km
23/06/2004	4.1	25	43 km al suroeste de Peto, YUC.	237 km
21/06/2005	4.5	20	76 km al sureste de Chetumal, QROO.	300 km
12/01/2015	4.2	5	56 km al suroeste de Playa del Carmen, QROO.	56 km
07/04/2016	2.9	10	16 km al oeste de Progreso, YUC.	291 km
07/11/2022	3.8	20	26 km al sureste de Peto, YUC.	181 km

Fuente: Elaboración propia a partir del Catálogo de Sismos Históricos del Servicio Sismológico Nacional

Debido a la poca frecuencia y baja magnitud de los sismos en la zona de influencia del municipio, se concluye que el peligro por sismos en el municipio de Solidaridad es muy bajo.

5.1.1.6 Tsunamis

Los tsunamis o maremotos consisten en un desplazamiento consecutivo de olas de gran volumen de agua que suelen originarse a consecuencia de eventos como sismos, erupciones volcánicas, deslizamientos de terrenos, ruptura de glaciares o impactos de meteoritos cercanos a la costa o en el fondo oceánico. A diferencia de las olas marinas, las olas originadas por los tsunamis son consideradas de gran magnitud ya que se originan desde la superficie hasta el fondo oceánico, en una extensión relativamente más amplia, por lo que suelen transportar mayor energía y el volumen desplazado es mucho mayor (CENAPRED, 2011).

El principal factor para la generación de este tipo de fenómenos es la actividad sísmica en el océano o las erupciones volcánicas. Sin embargo, como ya se mencionó antes, el municipio de Solidaridad no se encuentra cercano a volcanes activos que pudieran ocasionar un evento de tsunami. Además, aunque existe la probabilidad de que se originen sismos dentro de la Península de Yucatán, ya que la

región está sujeta a la intersección de tres placas tectónicas, la placa del Caribe, la de Cocos y la Norteamericana, la actividad sísmica es escasa (SSN, 2020).

Además, no existen condiciones que puedan aumentar el peligro de tsunami en la región incluso por eventos lejanos, ya que no existen condiciones batimétricas o geomorfológicas marinas que puedan favorecer el desarrollo de un tsunami. Esto debido a la ubicación geográfica del municipio, ya que se encuentra dentro de la cuenca del Caribe y del Océano Atlántico que, junto con la región del Golfo de México, son zonas en donde las costas presentan un bajo potencial de recepción de tsunamis (CENAPRED, 2019).

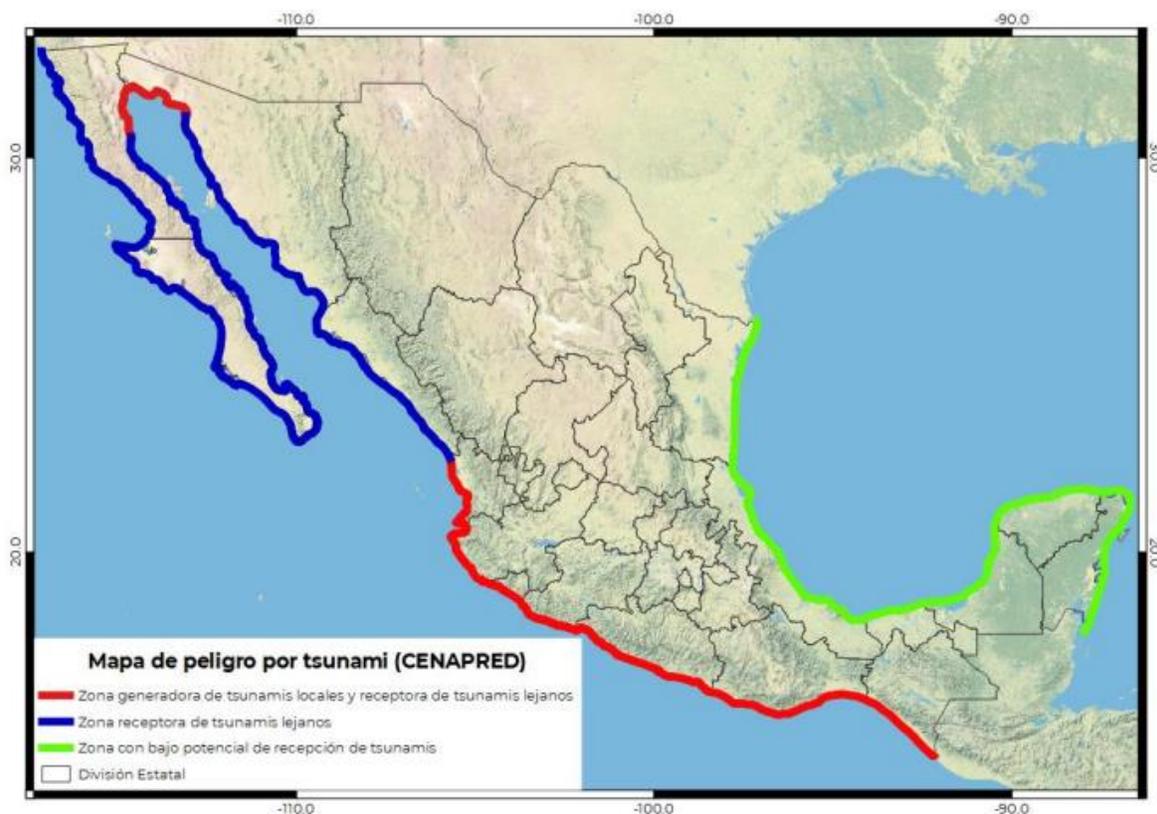


Imagen 7. Mapa nacional de peligro por tsunami (CENAPRED)

No hay eventos de tsunamis registrados para la costa de Quintana Roo, los sismos tsunamigénicos en la placa del Caribe están principalmente concentrados hacia el oeste (Antillas Menores), el Noroeste (Cinturón de los Muertos) y el suroeste (Cinturón deformado del sur del Caribe), que delimita la placa del Caribe (Lario, y otros, 2019).

Sin embargo, se tienen dos registros de sismos de magnitud considerable en la costa de Honduras (7.3 de magnitud en el 2009 y 7.6 de magnitud en el 2018) y un tercero en Guatemala (7.5 de magnitud en 1976) asociados con el sistema de fallas de la isla de los Cisnes, Montagua, lo que identifica a esta región como posible fuente de sismos que originan tsunamis (Lario, y otros, 2019).

También se han reportado dos sismos en el periodo de Holoceno tardío (10,000,000 años – actual) de magnitud de magnitud mayor a 7 asociados con sistema de fallas de la Isla de los Cisnes, Montagua. Los registros de terremotos indican que a pesar de que la tasa de deslizamiento del sistema de fallas de la Isla de los Cisnes es relativamente baja, el potencial sísmico y de tsunami puede ser significativo (Lario, y otros, 2019).

5.1.1.7 Procesos de remoción en masa (deslizamiento, flujos y caídos o derrumbes)

Los procesos de remoción en masa son fenómenos que implican la pérdida de la capacidad del terreno natural para autosustentarse, lo que ocasiona reacomodos o colapsos del suelo o material rocoso. Existen diversos factores desencadenantes de estos procesos, siendo los principales la lluvia, los sismos y la actividad volcánica. Sin embargo, existen otros factores que pueden desencadenar estos procesos, como por ejemplo la actividad humana (CENAPRED, 2020).

Así mismo, existen factores intrínsecos del terreno que favorecen estos procesos, tales como la geología, la geomorfología, el grado de intemperismo, la cobertura del suelo y la pendiente del terreno. Particularmente, la pendiente del terreno es el principal factor intrínseco para evaluar la probabilidad de ocurrencia de un proceso de remoción en masa, ya que en sitios con mayor pendiente se incrementan los procesos erosivos, sobre todo si existe poca cobertura de vegetación sobre el suelo u otros elementos intrínsecos del terreno como fallas y fracturas del material rocoso. Finalmente, dependiendo del contenido de humedad y la velocidad del proceso de remoción en masa, se pueden distinguir diferentes tipos (Alcántara & Murillo, 2008).

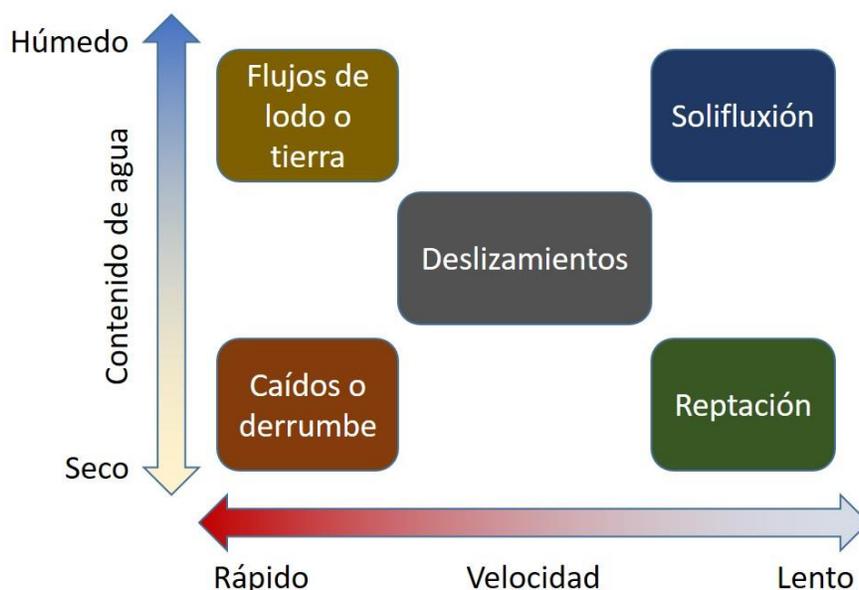


Imagen 8. Tipos de movimientos de remoción en masa según la velocidad y contenido de agua.

Los caídos o derrumbes son procesos rápidos y sin contenido de humedad, normalmente asociados al desprendimiento de material rocoso, pero también puede suceder con porciones de suelo, pero que se caracterizan por definir una trayectoria en caída libre, por lo que se presenta principalmente en taludes o sitios con pendientes mayores a 45 grados. Cuando existe un alto contenido de humedad, provocado por precipitaciones o fusión de glaciares, se originan flujos, los cuales son procesos de remoción en masa rápidos que pueden transportar suelo, lodo o derrubios, y fluyen pendiente abajo sobre el terreno principalmente a través de cañadas o cárcavas. El depósito de estos flujos termina en sitios donde la pendiente es plana y ya no existen condiciones del terreno para que continúe el flujo (CENAPRED, 2021).

Por otro lado, los deslizamientos son procesos de velocidad media, con cierto contenido de agua y que se presentan en sitios con condiciones geológicas y geomorfológicas bien definidas, con rocas poco consolidadas y con presencia de fracturas que favorecen el plano de deslizamiento o de cizalla a través de laderas con pendientes al menos mayores a 30 grados de inclinación (CENAPRED, 2021).

Finalmente, los procesos de remoción en masa de menor velocidad son la soliflucción y la reptación. En el caso de la soliflucción, se trata de un proceso en donde la saturación de agua en suelos de textura media o fina provoca cambios en la densidad, peso y volumen del suelo, ocasionando su desplazamiento a lo largo de la pendiente. Por otro lado, la reptación es proceso similar a la soliflucción, pero más común en suelos arcillosos, en donde el desplazamiento es ocasionado por la gravedad (CENAPRED, 2021).

Todos estos procesos de remoción en masa se presentan en condiciones con pendientes moderadas a fuertes. De acuerdo con las propuestas de clasificación de la pendiente para procesos geomorfológicos (MOPUT, 1991), las pendientes moderadas (entre 6 a 15 grados de inclinación) pueden presentar procesos de reptación y erosión laminar, principalmente. Particularmente, el municipio de Solidaridad presenta pendientes planas en la mayor parte de su superficie. De acuerdo con el modelo digital del terreno, la pendiente media dentro del municipio es de 1.6 grados de inclinación, con 1 grado de desviación estándar. La pendiente máxima es de 19 grados, las cuales se encuentran principalmente en las zonas de dolinas, poljes y cenotes, en donde se pueden encontrar incluso porciones con taludes rocosos asociados a estos tipos de formación geomorfológicas.

Sin embargo, menos del 1% de la superficie del municipio presenta pendientes moderadas mayores a 6 grados de inclinación, por lo que se considera que el peligro de movimientos de remoción en masa es muy bajo.

5.1.1.8 Licuación de suelos

La licuación es un fenómeno geotécnico que se origina en terrenos no cohesivos saturados (arena, grava, limo no plástico o la combinación de éstos) que al estar sujetos a la acción dinámica de los sismos (generalmente mayores a magnitud de 6), pierden su resistencia por presiones intersticiales (incremento de poro), y se comportan como líquido o semilíquido que provoca la expulsión de agua y el consecuente hundimiento. Las manifestaciones notorias

son arenas movedizas, volcanes de arena, sismitas (arenas cementadas), grietas y extensión o propagación lateral (CENAPRED, 2021).

Para determinar el grado de exposición del municipio de Solidaridad, Quintana Roo, a este fenómeno se utilizaron dos fuentes de información; información histórica y un análisis de factores condicionantes.

Información Histórica

James A. en el 2015 realizó una revisión exhaustiva de documentos históricos con el propósito de identificar áreas de la República Mexicana que experimentaron licuación. Se utilizaron registros cualitativos para el período comprendido entre 1455 y 1912 (Tabla 33), pero, debido a que en este periodo se carecía de instrumentación para medir dicho fenómeno, sólo se recopilaron registros de los lugares donde los eventos sísmicos generaron licuación visible posterior a un terremoto, tales como: (a) la formación de volcanes de arena en grietas y que ocasionalmente se presentan de forma aislada; (b) la expulsión de arena y agua en grietas y; (c) el desplazamiento lateral del terreno (Imagen 9).

Tabla 33. Registros de eventos de licuación para el período comprendido entre 1455 y 1912

Id	Fecha	Pueblos y estado afectado	Descripción
1	1593	Sinaloa	"Un terremoto espantoso e inusual, una colina de roca afilada llamada Mochicavi se rompió y se abrió, arrojando una gran cantidad de agua por su boca."
2	31/05/1818	Cuyutlán, Colima	"...en las minas de sal de Cuyutlán, el suelo se abrió en muchas partes, emergió agua y el suelo se cerró nuevamente."
3	25/05/1868	Acapulco Guerrero	"...los techos y paredes de las casas estaban muy deteriorados; en algunos lugares, el suelo se abrió y vertió agua..."
4	11/05/1870	Coyula, Zapotengo y Tonameca, Puerto Ángel, Oaxaca	"...las grietas que se abrieron en Coyula, Zapotengo y Tonameca emergieron una gran cantidad de agua fresca y turbia..." "...en Puerto Ángel, en el momento del terremoto, se observó cómo el agua y la arena del mar se agitaban, como si estuvieran hirviendo en una olla..."
5	22/04/1878	Loreto, Baja California Sur	"...En la sala de estar de una casa recién terminada, apareció una grieta de la cual emergió mucha agua, inundando toda la casa..."; "...En el suelo cerca de la playa, aparecieron enormes grietas, de las cuales emergió una gran cantidad de agua fresca a alta temperatura."
6	03/05/1887	Bavispe, Sonora	"...después del terremoto, se formaron grietas cerca de los ríos que rodeaban el lugar, expulsando agua..."

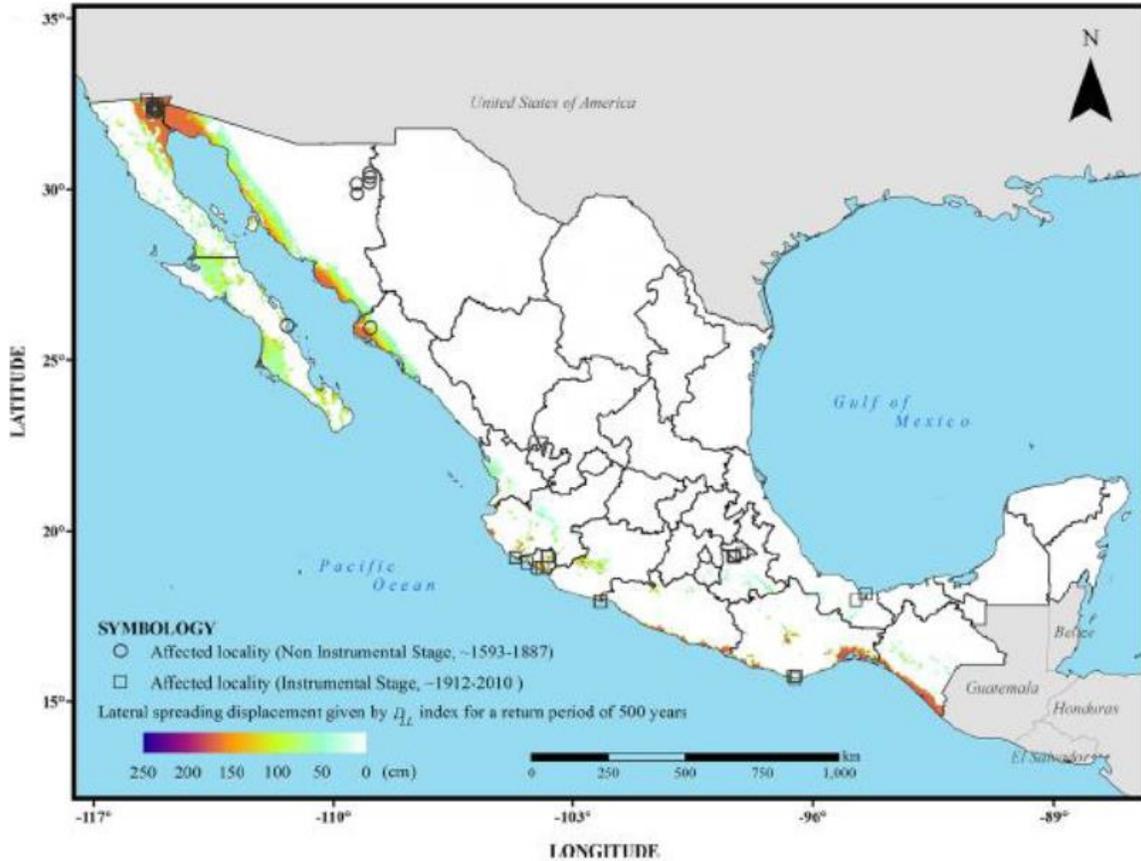


Imagen 9. Eventos y potencial de licuación para México.

Para el período de 1912 a 2010 (Tabla 34), se consideraron las investigaciones que describen con mayor detalle el fenómeno, en las que se tienen mediciones de la magnitud del sismo asociado al evento de licuación, así como la distancia y aceleración máxima registradas. Con base en lo anterior, se observa que el municipio Solidaridad, Quintana Roo, no ha presentado eventos de licuación.

Tabla 34. Registros de eventos de licuación para el período comprendido entre 1912 y 2010.

ID	Fecha	M	Lat	long	H (km)	R(km)	$a_{max}(g)$	Referencias
1	11/05/1870	7.0	16.13	-96.8	-	-	-	Figuroa (1975)
2	03/05/1887	7.3	30.81	-109.1	18	25	-	Aguilera-Serrano (1888), DuBois and Sbar (1981)
3	23/06/1915	5.6	32.08	-115	-	>40	-	Santoyo and Montañez (1976)
4	26/08/1959	6.5	18.45	-94.27	21	35	0.07-0.2	Marsal (1961)

Tabla 34. Registros de eventos de licuación para el período comprendido entre 1912 y 2010.

ID	Fecha	M	Lat	long	H (km)	R(km)	a _{max} (g)	Referencias
5	05/10/1975	4.8-5.6	16.70	-93.00	5	<10	0.15-0.3	Dawson et al. (1977)
6	14/03/1979	7.6	17.46	-101.46	20	<60	0.3	Jaime et al. (1979, 1981a, b)
7	08/06/1980	6.4	32.22	-114.99	12	<10	0.4	Anderson and Simons (1982)
8	24/10/1981	7.3	18.08	-102.06	21	>20	-	Rocha (1982)
9	19/09/1985	8.1	18.14	-102.71	17	<60	0.4	IG-II UNAM (1985)
10	09/10/1995	8.0	18.85	-104.53	27	<60	0.3	Juárez et al. (1995)
11	15/06/1999	6.9	18.13	-97.54	61	140	0.28	Pestana et al. (1999)
12	21/01/2003	7.5	18.62	-104.12	10	-	0.3	Alcocer et al. (2003)
13	04/04/2010	7.2	32.29	-115.28	10	<26	0.2-0.4	EERI (2010)

Factores que influyen en la licuación

Tipo de suelo

Se toma como referencia el estudio realizado por Armijo (1995), en el que se establecieron los criterios precisos al definir límites en las curvas granulométricas para discernir entre suelos licuables y no licuables (Imagen 10), se destaca que los suelos arenosos presentan un alto potencial de licuación, a diferencia de los suelos limosos o arcillosos. Se observa que la baja resistencia a las deformaciones en los suelos arenosos conduce a una rápida pérdida de cohesión entre las partículas. Por otro lado, los suelos con partículas más finas, como las arcillas, presentan una mayor dificultad en la liberación de las partículas de arena, lo que resulta en una estructura más compacta.

Además, se identificó una relación directa entre el tamaño de las partículas y la permeabilidad del suelo. Se encontró que un incremento en el tamaño de las partículas se traduce en el aumento de la permeabilidad, lo cual incrementa la capacidad de drenaje del suelo. Este fenómeno repercute en la velocidad con la que las presiones intersticiales pueden disiparse (National Research Council, 1985).

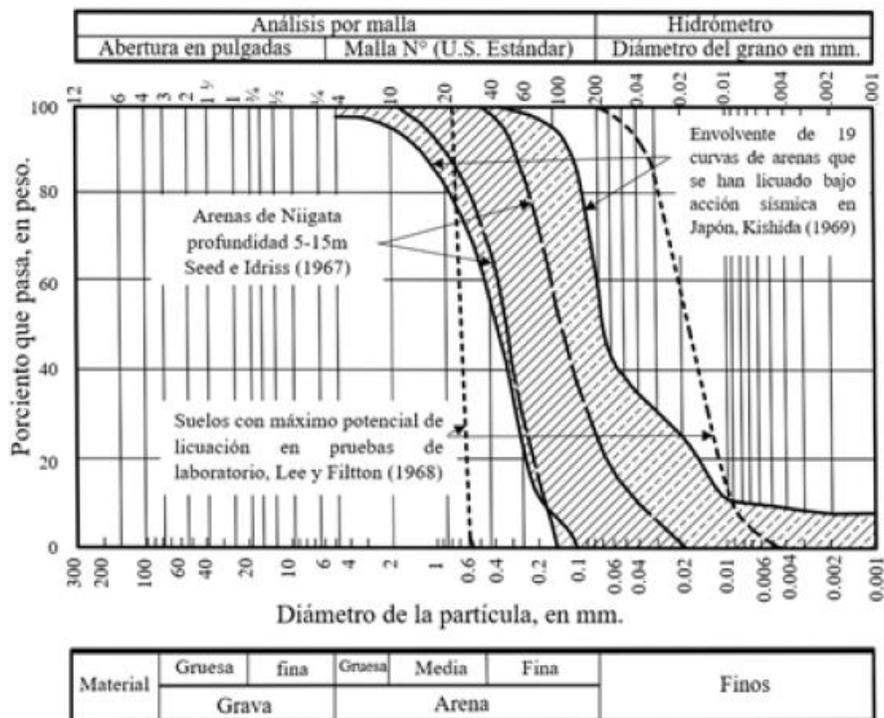


Imagen 10. Granulometría de algunos suelos que han sido afectados por licuación (Armijo ,1995).

La clasificación de suelos potencialmente licuables propuesta por Ishihara (1997) se basa en la composición y textura de éstos, a partir de la cual se establecieron las siguientes categorías para evaluar la susceptibilidad (Tabla 35).

Tabla 35. Clasificación de suelos potencialmente licuables o no licuables

Suelos potencialmente licuables	Arena fina
	Arenas Medias
	Arenas limosas
	Arenas con bajo porcentaje de arcillas
	Arenas con partículas de cuarzo
	Arenas con bajo porcentaje de material orgánico
Suelos no licuables	Arenas con partículas
	Rellenos compactos
	Arcilla limosa
	Limo con bajo porcentaje de arena fina
	Suelo orgánico
	Gravas

Fuente: Ishihara, 1997

Considerando la composición de los tipos de suelos o edafología presentes dentro del municipio de Solidaridad y, con base en la anterior clasificación, se asocia la susceptibilidad a la licuación con base en su composición (Tabla 36).

Tabla 36. Susceptibilidad por licuación según la composición del suelo.

Composición del suelo	Susceptibilidad
Rellenos compactos	Nula
Arcilla limosa	Nula
Limo con bajo porcentaje de arena fina	Nula
Suelos con alto contenido de materia orgánica	Nula
Gravas	Nula
Arena con partículas	Baja
Arena con bajo porcentaje de materia orgánica	Moderada
Arenas con partículas de cuarzo	Moderada
Arenas con bajo porcentaje de arcillas	Moderada
Arenas limosas	Alta
Arenas medias	Alta
Arenas finas	Alta

Finalmente, también se asoció el tipo de suelo presente en el municipio de Solidaridad a la susceptibilidad de licuación (Tabla 37).

Tabla 37. Susceptibilidad por licuación según los tipos de suelo del municipio de Solidaridad, Quintana Roo.

Tipo de suelo	Composición	Susceptibilidad
Cambisoles	Arcillosa	Nula
Solonchaks	Sales y arcillas pesadas	Nula
Histosol (HS)	Alto contenido en materia orgánica	Nula
Arenosol (AR)	Arenosa	Alta
Phaeozem (PH)	Arcillosa	Nula
Leptosol (LP)	Arcillosa	Nula

Con base en lo anterior, se observa que los tipos de suelo Arenosol con textura arenosa tienen una alta susceptibilidad a la licuación. Sin embargo, a esta condición debe asociarse los eventos sísmicos que son el factor detonante de la licuación de arenas.

Características sismológicas

A pesar de que un suelo cuente con las características edafológicas, la licuación dependerá también de las características sismológicas, como la magnitud, la duración, la distancia

epicentral y el número de ciclos equivalentes del sismo. Un suelo puede presentar características de un suelo poco licuable; sin embargo, si este suelo es sometido a una actividad sísmica de gran magnitud puede presentarse la licuación. Como se explicó en el apartado de peligro por sismicidad, debido a la poca frecuencia y baja magnitud de los sismos en la zona de influencia del municipio, se tiene como resultado la siguiente clasificación de susceptibilidad para el fenómeno de licuación (Tabla 38).

Tabla 38. Susceptibilidad a licuación para el municipio de Solidaridad, Quintana Roo.

Tipo de suelo	Composición	Susceptibilidad
Cambisoles	Arcillosa	Nula
Solonchaks	Sales y arcillas pesadas	Nula
Histosol (HS)	Alto contenido en materia orgánica.	Nula
Arenosol (AR)	Arenosa	Baja a nula
Phaeozem (PH)	Arcillosa	Nula
Leptosol (LP)	Arcillosa	Nula

En conclusión, se estima que el municipio de Solidaridad presenta una susceptibilidad de baja a nula a la licuación de arenas, esto debido a que el tipo de suelo Arenosol ocupa menos del 1% de la superficie del municipio y que la presencia de sismos es poco frecuente y de baja magnitud.



**Peligros
hidrometeorológicos**

5.1.2

5.1.2 Peligros hidrometeorológicos

De acuerdo con la Ley General de Protección Civil, en su artículo 2, inciso XXIII, se define a un fenómeno hidrometeorológico como un agente perturbador que se genera por la acción de ciertas condiciones atmosféricas que provocan ciclones tropicales, lluvias extremas, inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres, tormentas de nieve, granizo, polvo y eléctricas; ondas cálidas, gélidas, así como tornados (LGPC, 2021).

En México, los fenómenos hidrometeorológicos dejan un promedio de decesos al año de 171 personas debido a lluvias, ciclones tropicales, inundaciones, sequías y bajas temperaturas. Estos fenómenos también provocan pérdidas económicas de hasta 23,383 millones de pesos al año (CENAPRED, 2016). Como en el caso reciente del huracán Otis, que, a finales del mes de octubre del año presente, generó cientos de destrozos, edificios dañados, interrupción de comunicaciones, deslaves en carreteras, entre otras afectaciones (CENAPRED, 2023).

Para el caso de Solidaridad se estudian los fenómenos que han afectado al municipio, como ciclones tropicales, lluvias fuertes, temperaturas máximas, sequías, granizo y tormentas eléctricas. A continuación, se describen estos fenómenos de manera puntual con respecto a su distribución geográfica en el municipio en estudio.

5.1.2.1 Ciclones tropicales

Los ciclones tropicales son los fenómenos naturales que provocan mayores pérdidas económicas al año debido al incremento de los asentamientos humanos en zonas de riesgo y la degradación ambiental producida por efectos antrópicos (CENAPRED, 2007).

Para comprender correctamente el fenómeno, es necesario describir que existen principalmente tres factores que los generan. El viento a velocidades considerables, una masa húmeda de aire cálida y húmeda con una temperatura superior a 26°C. Su ocurrencia en el hemisferio norte es desde el mes de junio hasta el mes de noviembre en el Océano Atlántico (CENAPRED, 2007).

Es importante señalar que los ciclones tropicales se clasifican en tres etapas de acuerdo con la velocidad máxima del viento como se indica en la Tabla 39.

Tabla 39. Etapas de los ciclones tropicales

Etapas	Velocidad del viento
Depresión tropical	< 63 km/h
Tormenta tropical	De 63 a 118 km/h
Huracán	> 118 km/h

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CENAPRED, 2007

A su vez, para clasificar a los huracanes se utiliza la escala internacional Saffir-Simpson, de acuerdo con la velocidad del viento interno y las afectaciones que provoca (NOAA, 2023) (ver Tabla 40). En esta etapa es donde se generan efectos destructivos por la intensidad del viento, lluvias torrenciales, marea de tormenta y oleaje alto.

Tabla 40. Escala Saffir Simpsom de la velocidad del viento de los huracanes

Categoría	Velocidad del viento (km/h)	Daños materiales
1	119 a 153	Daños en el techo, tejas, canaletas, caída de ramas de los árboles, caída de árboles con raíces poco profundas, daños a líneas de conducción eléctrica que provocan cortes de energía.
2	154 a 177	Daños importantes en techo y revestimiento de casas, caída de numerosos árboles con raíz superficial, cortes de energía con duración de días hasta semanas.
3	178 a 208	Daños devastadores: importantes o eliminación de la plataforma del techo, muchos árboles arrancados de raíz, la electricidad y el agua no estarán disponibles durante varios días o semanas.
4	209 a 251	Daños catastróficos: pérdida de la mayor parte de la estructura del techo y/o algunas paredes exteriores de casas bien construidas. La mayoría de los árboles serán arrancados de raíz y postes eléctricos derribados. Los cortes de energía durarán semanas o posiblemente meses. La mayor parte del área quedará inhabitable durante semanas o meses.
5	Más de 252	Daños catastróficos: alto porcentaje de casas con estructuras serán destruidas con falla total del techo y colapso de las paredes. Derribo de árboles y postes eléctricos. Los cortes de energía durarán semanas o meses. La mayor parte del área quedará inhabilitada durante semanas o meses.

Fuente: Elaboración propia con información de la NOAA, 2023.

En México han impactado cinco huracanes de categoría 5 provenientes del Océano Atlántico, Janet en 1955, Beulah en 1967, Anita 1977, Gilbert 1988 y Dean en 2007. Para el Pacífico han sido dos, Patricia en 2015 y Otis en el año actual (CENAPRED, 2023). A continuación, se presenta una relatoría realizada por un cronista de la zona con respecto a las experiencias vividas durante el paso del huracán Beulah:

“No se tenían informes de la hora ni de la ruta del fenómeno y tampoco de la fuerza de los vientos. Cuando pega el huracán, la única escala que existía para medir su intensidad, era la escala “Beaufort de la fuerza de los vientos” y era más que nada una forma empírica de medir la intensidad de estos fenómenos tropicales.

Así fue como Beulah entró por Cozumel en los últimos momentos del día 16 y azotó con toda su intensidad a la isla y, posteriormente, pega en la costa, con entrada del ojo por Puerto Morelos, en las primeras horas del día 17 de septiembre, hoy hace 50 años.

Al seguir su curso, la tormenta afectó todas las poblaciones que se encontraban a la orilla de la carretera que va de la costa al vecino estado de Yucatán, en donde causó grandes pérdidas en las zonas agrícolas y ganaderas, así como la muerte de 11 personas, según reportes periodísticos.

Beulah con sus vientos equivalentes a un huracán categoría dos, fue lo suficientemente poderoso para afectar a los habitantes de Puerto Morelos, debido a que en ese tiempo la pobreza existente y los materiales con los que se construían las viviendas -que eran madera y guano y en algunos casos lámina de cartón-, las hacía débiles y vulnerables a las fuertes tormentas, por lo que fueron pocos los que pudieron contar con la posibilidad de rehacer un techo o reconstruir sus casas para protegerse de la intemperie en los siguientes días posteriores al paso del huracán. Sin embargo, el pueblo poco a poco logró rehacerse conforme sus pobladores pudieron recolectar en la selva los materiales necesarios para volver a levantar sus viviendas, se fue recuperando la vida normal." (Zetina Cuevas, 2019).

Para el caso específico del municipio de Solidaridad, se tiene registro de las siguientes afectaciones por ciclones tropicales.

16 de septiembre de 1967. El huracán Beulah con vientos equivalentes a un huracán de categoría 2, afectó a los habitantes de manera significativa debido a que, en ese tiempo, el material con que estaban construidas sus viviendas era de madera, guano y en algunos casos lámina de cartón, por lo que fueron pocos los que rehabilitaron su vivienda para protegerse de la intemperie los siguientes días al paso del huracán.

14 de septiembre de 1988. El huracán Gilbert está catalogado como el de mayor intensidad que ha tocado las costas mexicanas, con vientos sostenidos de 287 km/h. Las olas de 7 m de altura provocaron la erosión del 60% de las playas, derribó árboles, postes de luz y dejó a varias comunidades bajo el agua y sin los servicios básicos.

11 de julio de 2003. La tormenta tropical *Claudette* con vientos máximos sostenidos de 90 km/h, toca tierra en las costas de Quintana Roo, en las inmediaciones de la ciudad de Cancún y Playa del Carmen (CONAGUA, 2023).

09 de septiembre de 2004. El huracán *Iván* alcanza la categoría V la escala *Saffir-Simpson* sobre el centro del caribe y cruza el canal de Yucatán como categoría IV; el 14 de septiembre, se emiten dos declaratorias, una de desastre y otra de emergencia, del 11 al 13 de septiembre del mismo año (CONAGUA, 2023).

18 de julio de 2005. El huracán *Emily* toca tierra al norte de Tulum, en las inmediaciones con Puerto Aventuras, como huracán categoría IV con vientos máximos sostenidos de 215 km/h. Se identificaron más de 247 viviendas afectadas y daños a la infraestructura hotelera, principalmente en Playa de Carmen y Puerto Aventuras (CENAPRED, 2006; CONAGUA, 2023).

21 de octubre de 2005. *Wilma* impacta en la isla de Cozumel como huracán categoría IV con vientos máximos sostenidos de 230 km/h, por lo cual el índice de peligrosidad es severo. Es el hidrometeoro que ha originado las mayores pérdidas económicas en el territorio quintanarroense, calculadas en aproximadamente 18 mil millones de pesos, en el municipio de Solidaridad se registraron más de 4,000 viviendas afectadas así como cuantiosas pérdidas en la infraestructura hotelera (CENAPRED, 2006; CONAGUA, 2023).

07 de octubre de 2020. *Delta* toca tierra como huracán categoría II al suroeste de Puerto Morelos en Quintana Roo, se emiten dos declaratorias para el municipio de Solidaridad.

En la Figura 43 se tiene el mapa donde se muestra geográficamente las trayectorias de los ciclones tropicales que han tenido incidencia directa sobre el municipio de Solidaridad.

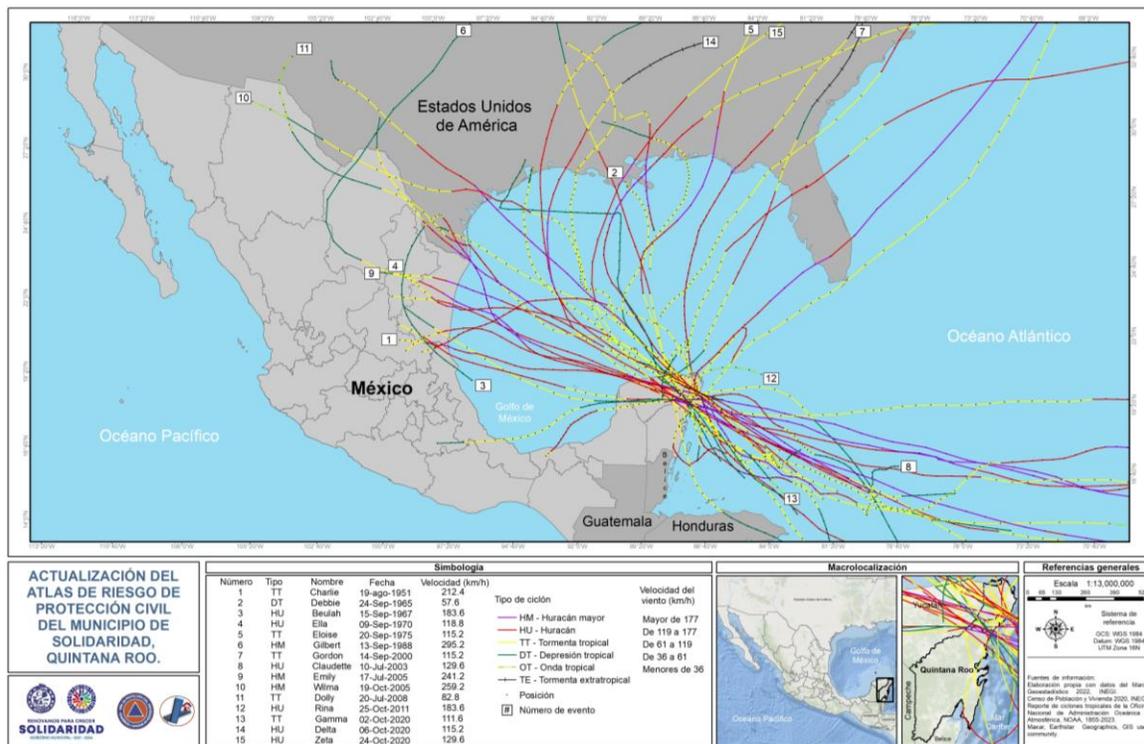


Figura 43. Mapa de trayectorias históricas de ciclones tropicales

De acuerdo con las bases de datos de la NOAA, en el periodo de 1855 a 2023, han impactado directamente 45 ciclones tropicales en diversa escala. Los daños puntuales han sido moderados debido a las características de la población en décadas anteriores. No obstante, es importante analizar los periodos de retorno de la ocurrencia de estos fenómenos, ya que como se ha explicado en el Capítulo IV, el municipio presenta una de las mayores tasas de crecimiento a nivel nacional, en la Tabla 41 se muestra el resultado del cálculo de los periodos de retorno para ciclones tropicales en el municipio.

Tabla 41. Periodos de retorno de ciclones tropicales

Periodo de retorno	Intensidad del viento (km/h)
2	104
5	159
10	200
25	255
50	296
100	337
250	392
500	433
1000	474
2000	515

Fuente: Elaboración propia con datos de NOAA, 2023

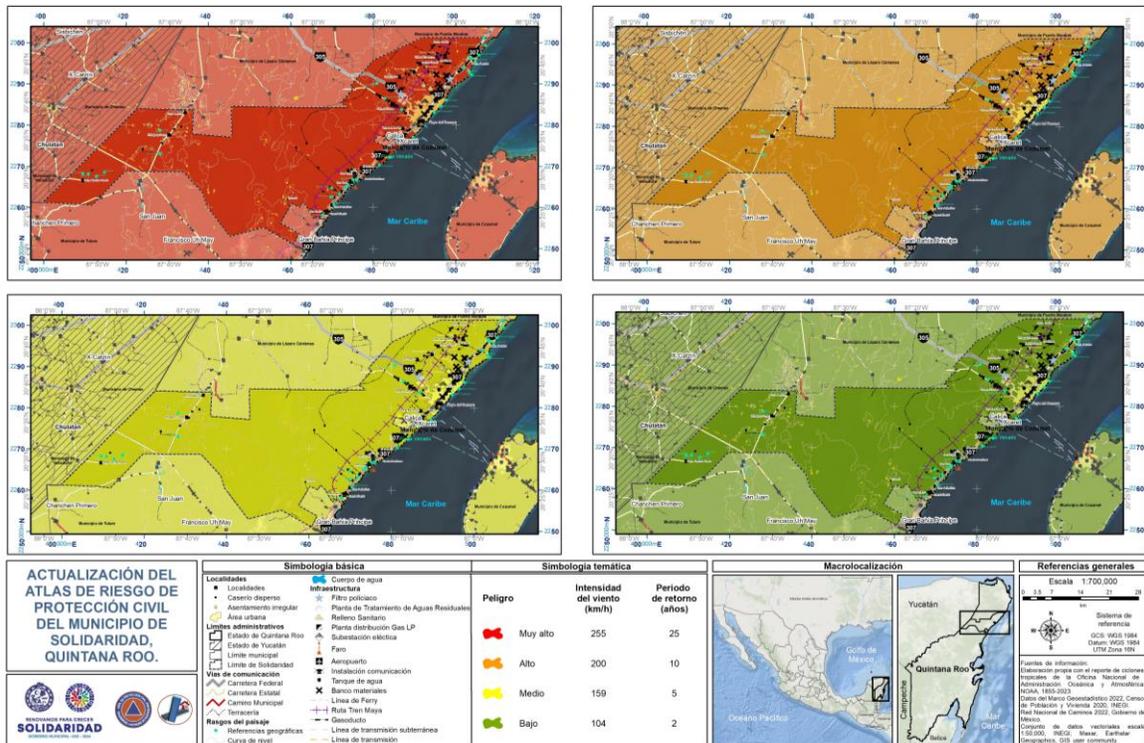


Figura 44. Peligro por viento durante ciclones tropicales

Como se puede observar la Figura 44, el municipio se encuentra en peligro muy alto por incidencia de vientos durante los ciclones tropicales con un periodo de retorno de 25 años y una intensidad de viento de 255 km/h.

Con la información expuesta, es importante considerar los efectos devastadores que puede dejar el paso de un huracán, sobre todo el reciente hecho ocurrido en las costas de Guerrero, ya que en menos de 12 horas, el Huracán Otis pasó de Tormenta Tropical a Huracán de categoría 5, es decir, la velocidad del viento incrementó de 64 a 270 kilómetros por hora, además, los modelos de los pronósticos internacionales no preveían que un huracán evolucionara como lo hizo, es así que se considera un evento atípico y un escenario poco probable (CENAPRED, 2023).



Imagen 11. Cableado eléctrico afectado por vientos fuertes en Playa del Carmen

Con este tipo de sucesos nos cuestionamos acerca de qué tan preparada está la población para afrontar un problema similar y cuáles serían los efectos sobre los elementos expuestos.

5.1.2.2 Inundaciones

Una inundación se entiende como aquel evento que, debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta o falla de alguna estructura hidráulica, provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua, lo que genera una invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y también genera daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura (CENAPRED, 2014).

En México, el fenómeno de inundaciones en las ciudades es recurrente, debido a la carencia de programas y acciones que permitan mitigar sus efectos (Rodríguez, Alcocer, Albornoz, Llaguno, & Maldonado, 2014).

El municipio de Solidaridad no está exento de esta problemática, a pesar de que no tienen corrientes superficiales de mayor importancia, los aqueja el fenómeno de inundación en las dos zonas urbanas más importantes, Playa del Carmen y Puerto Aventuras, esto debido a las fuertes precipitaciones que ocurren constantemente debido al impacto por ciclones tropicales, que dejan una cantidad de lluvia considerable. Tanto las precipitaciones severas, así como la topografía (su elevación máxima alcanza los 30 msnm y la mínima es a nivel del mar) del municipio, provocan en cada evento de lluvias encharcamientos en toda la mancha urbana y ciertas zonas de inundación.

Durante el recorrido de trabajo de campo llevado a cabo en los primeros días de septiembre del año 2023, se identificaron dos zonas de inundación en la cabecera municipal y dos en la Alcaldía de Puerto Aventuras. También se identificaron zonas de encharcamiento en calles de dichas localidades, que provocan conflicto vial y averías en los automóviles. La metodología para determinar el peligro por inundación en el municipio consistió en tres fases, identificación de la problemática, análisis hidrológico e hidrográfico y generación de escenarios de peligro.

Identificación de la problemática

Durante el recorrido de campo se identificaron diversas causas que provocan la acumulación de agua en las zonas urbanas mencionadas, se describen a continuación:

- **Lluvias torrenciales:** Las zonas urbanas se encuentran en una región propensa a la ocurrencia de ciclones tropicales que generan fuertes precipitaciones, se tiene un registro histórico de una máxima acumulada en 24 horas de 283 mm en el mes de junio de 2004 (SMN, 2023b).
- **Pozos de absorción azolvados:** El arrastre de sedimentos desde las zonas más altas de la ciudad, debido a las precipitaciones, provoca la acumulación de sedimentos en los sistemas de drenaje pluvial, conocidos como pozos de absorción. En este sentido la falta de mantenimiento a los pozos provoca que, durante la ocurrencia de lluvias, se rebase su capacidad y el agua se acumule en las calles.
- **Pozos de absorción:** Aunado a la falta de mantenimiento, no existen los suficientes pozos de absorción para compensar la acumulación de agua durante precipitaciones fuertes.
- **Diseño de calles y rotondas que favorecen la acumulación del agua:** El diseño de las banquetas y rotondas en zonas puntuales dentro de la mancha urbana favorecen la acumulación de agua por desnivel.
- **Manejo de residuos sólidos urbanos:** La presencia de basura en las calles contribuye al taponamiento de los pozos de absorción, genera obstrucciones, con la consecuente disminución de su capacidad hidráulica.

Análisis hidrológico e hidrográfico

Se construyó un modelo de elevación digital a través del software ArcGis a partir de imágenes satelitales con la finalidad de identificar la acumulación de flujo y las microcuencas para determinar el coeficiente de escurrimiento y de esta manera estimar el gasto máximo de escurrimiento, los datos de precipitación máxima para realizar los cálculos fueron obtenidos de la base de datos de la estación meteorológica 23163 Playa del Carmen del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2023a).

Generación de escenarios de peligro

Para determinar los escenarios de peligro, se utilizó como base la metodología recomendada por CENAPRED (2021), en donde señala utilizar el programa HecRas. Para tal fin se obtuvieron los gastos de diseño, los periodos de retorno asociados a tirantes de inundación y se trazaron las calles que presentan problemas de inundación identificadas en el recorrido de campo (CENAPRED, 2021). El resultado de este análisis se presenta en los siguientes mapas.

Los mapas presentados representan un periodo de retorno de 2 años, es decir, la probabilidad de que ocurra nuevamente un suceso de esta magnitud es alto (arriba del 60%). En la Tabla 42 se muestran los tirantes de inundación estimados para diferentes periodos de retorno.

Tabla 42. Tirantes de inundación asociados a diferentes periodos de retorno

Pr (años)	2	5	10	25	50	100	250	500	1000
	0 – 34	0 – 55	0 – 73	0 – 96	0 – 113	0 – 130	0 – 165	0 – 171	0 – 188
	34 – 45	55 – 79	73 – 104	96 – 137	113 – 162	130 – 187	165 – 217	171 – 245	188 – 270
	45 – 60	79 – 103	104 – 135	137 – 178	162 – 211	187 – 243	217 – 285	245 – 319	270 – 351
	60 – 70	103 – 118	135 – 155	178 – 204	211 – 241	243 – 279	285 – 337	319 – 365	351 – 402
Tirante (cm)	70 – 81	118 – 139	155 – 182	204 – 240	241 – 284	279 – 328	337 – 390	365 – 430	402 – 474
	81 – 96	139 – 153	182 – 202	240 – 266	284 – 314	328 – 363	390 – 458	430 – 475	474 – 524
	96 – 107	153 – 177	202 – 233	266 – 307	314 – 363	363 – 420	458 – 510	475 – 550	524 – 606
	107 – 117	177 – 192	233 – 253	307 – 333	363 – 394	420 – 455	510 – 562	550 – 569	606 – 657
	117 – 128	192 – 207	253 – 272	333 – 359	394 – 424	455 – 490	562 – 614	596 – 642	657 – 707

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la estación meteorológica de Playa del Carmen, SMN, 2023.

En la Figura 45 se tiene el mapa de inundación en colonias que están ubicadas hacia el noreste del centro de la ciudad de Playa del Carmen. La colonia que presenta mayores afectaciones por este fenómeno es el Fraccionamiento Misión de Las Flores, donde el peligro por inundación es muy alto, ya que ha presentado tirantes de inundación hasta 1.2 metros.



Figura 45. Peligro por inundación en la colonia Misión de las Flores, Las Palmas II, Villas del Sol, In-House y Real Ibiza en Playa del Carmen.

Las calles que presentan una mayor afectación son calle Girasoles entre Flor de Romero y circuito calle Girasoles y la calle Geranios ubicada entre las calles Ave del Paraíso y circuito con calle Geranios. En ambos casos, cuando ocurren fuertes precipitaciones, el agua invade las viviendas, lo que ha provocado pérdida de los bienes muebles de sus habitantes. En la Imagen 10 se observa una de las viviendas afectadas por este fenómeno. Estas inundaciones ocurren debido al diseño de calles, en esta zona tienen rotondas que provocan un desnivel y se acumula el agua en las zonas de una costa menor.



Imagen 12. Rotonda ubicada en la Av. Olivos con Ave del Paraíso



Imagen 13. Estimación de tirante de inundación en vivienda afectada en la calle Girasoles

Por otra parte, en la misma colonia Fraccionamiento Misión de las Flores, así como en las colonias Villas del Sol, Real Ibiza, Las Palmas II, Las Palmas II, Bella Vista, Misión del Carmen y Galaxia del Carmen que se encuentran en zonas aledañas, en cada evento de lluvia se presentan problemas de encharcamiento, que provoca conflictos viales.

En la Imagen 14 se tienen dos fotografías, tomadas por habitantes de la colonia, en un evento de precipitación durante el mes de abril de 2023, donde se observa la afectación por encharcamientos en las calles, se han tenido pérdidas de automóviles o fallas eléctricas de los mismos, las autoridades de Protección Civil municipal han atendido estas problemáticas directamente.

En la Figura 46 se tiene la delimitación de la inundación en la colonia El Ejido, donde se encontraron 4 zonas de encharcamientos, que generan conflicto vial pero no causan afectación en las viviendas.

Por último, en la Figura 47 se tiene el mapa de inundación para Puerto Aventuras, Solidaridad, Quintana Roo. Se llevó a cabo la metodología descrita anteriormente, en el trabajo de campo se identificaron dos zonas afectadas por inundación y una zona de encharcamientos considerables que generan conflicto vial, ambas ubicadas dentro de la colonia Puerto Maya.



(a)



(b)

Imagen 14. Encharcamientos urbanos por precipitaciones fuertes (a) Av. Lilis con Flor de Romero, (b) Av. Lilis con Constituyentes en Fraccionamiento Misión de las Flores.



Figura 46. Peligro por inundación en las colonias El Ejido y Gonzalo Guerrero, localidad de Playa del Carmen.

La zona de inundación se encuentra en la calle Calzada del Sol y el agua tiende a acumularse principalmente en la esquina con calle cerrada Rubia, donde el tirante de inundación ha sido de hasta 100 cm de altura, por este motivo en la vivienda que se encuentra justo en la esquina, se han reportado pérdidas graves de sus muebles, por lo que sus habitantes tuvieron que cambiarse de domicilio y actualmente esa casa se encuentra deshabitada. En la vivienda contigua también se han reportado pérdidas de muebles, con un tirante de inundación de 60 cm. En total son 7 las viviendas afectadas por inundación en esta zona. En la imagen 15 se tiene una fotografía proporcionada por habitantes de la colonia, donde se observa un evento de inundación durante la ocurrencia de una lluvia fuerte.



Imagen 15. Evento de inundación en Av. Calzada del Sol, esquina con Calle Rubia, Puerto Aventuras

La otra zona de inundación identificada se encuentra en la calle cerrada Calzada Costa Linda, que se ubica entre las avenidas Calzada del Sol y Calzada Puerto Maya. Esta calle es afectada por el encharcamiento en el entronque de las avenidas mencionadas, donde el agua se acumula y fluye por desnivel hacia esta calle, afectando viviendas con un tirante de 80 cm, los habitantes reportan pérdidas de muebles y conflicto vial, que incluso se quedan aislados por algunas horas y han tenido que buscar maneras para que el agua acumulada baje el nivel. Esto lo lograron haciendo una faena comunitaria para hacer un orificio en la pared posterior de su calle cerrada.



Figura 47. Peligro por inundación en la localidad de Puerto Aventuras.



Imagen 16. Desazolve de alcantarilla por parte de habitantes de Puerto Aventuras

En el caso particular de la alcaldía de Puerto Aventuras, es necesario un sistema de drenaje pluvial y doméstico más eficiente, ya que son los propios habitantes de la comunidad, los que se encargan de llevar a cabo actividades de desazolve ante la ocurrencia de inundaciones o encharcamientos.

Otra problemática asociada a las fuertes lluvias, es que el sistema de drenaje se satura, y en algunas viviendas, se tiene el registro de que el agua sale de los inodoros lo que provoca peligros sanitarios.

5.1.2.3 Temperaturas máximas extremas

Las temperaturas elevadas están relacionadas con sistemas de estabilidad atmosférica principalmente en las estaciones de primavera y verano, así como de la ocurrencia de ondas de calor (SEDATU, 2014).

Las ondas de calor se definen como el calentamiento significativo del aire o invasión del aire muy cálido sobre una zona extensa, suele durar un par de días o incluso semanas y puede provocar insolaciones y golpes de calor en la población (CENAPRED, 2016).

Para describir este fenómeno en el municipio de Solidaridad, se analizaron las series de datos de temperaturas máximas registradas en 10 estaciones de la región con la finalidad de identificar la temperatura máxima histórica en cada una. Una vez analizados estos datos, se procedió a realizar una interpolación por el método de Kriging a través de sistemas de información geográfica, el resultado se muestra en la Figura 48.

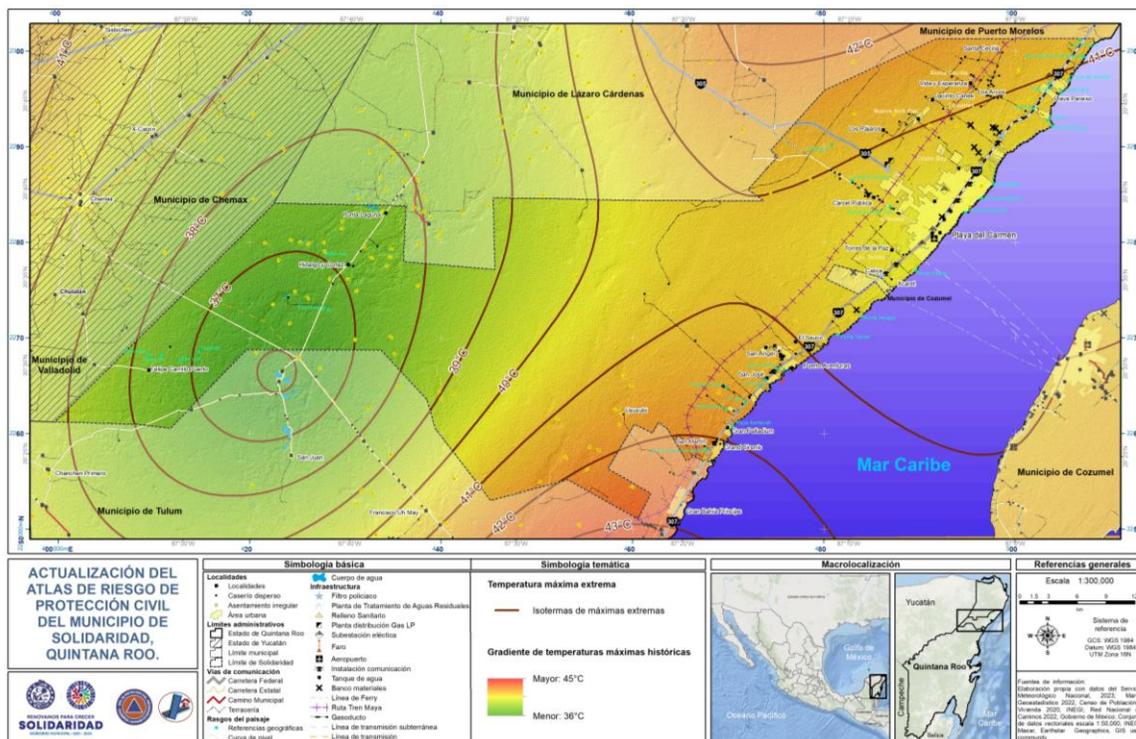


Figura 48. Temperatura máxima extrema en el municipio

Como se observa en el mapa de la Figura 48, la distribución espacial de la temperatura máxima extrema en el municipio se comporta de la siguiente manera. Se estima que las mayores temperaturas son en los extremos noreste y suroeste del municipio, es decir, hacia los municipios de Benito Juárez y Tulum, cerca de la costa.

La localidad urbana de Playa del Carmen se encuentra en un gradiente de temperatura que va de los 40°C a 41°C de oeste a este, mientras que para la localidad de Puerto Aventuras se encuentra en un gradiente de 41 a 42°C.

5.1.2.4 Sequías

La sequía es un fenómeno meteorológico que ocurre cuando la precipitación, en un lapso de tiempo es menor que el promedio, y cuando esta deficiencia es lo suficientemente grande y prolongada para afectar las actividades humanas (CENAPRED, 2014).

Los territorios que son afectados por este fenómeno tienen fuertes pérdidas económicas, afectan cultivos, disminuyen la disponibilidad de agua para consumo humano y para el desarrollo de actividades que activan la economía. Las sequías se presentan en forma lenta y es poco notoria, y su duración puede ser de meses o años (CENAPRED, 2014).

Para el municipio de Solidaridad, se tiene registro de una declaratoria de desastre natural por la presencia de sequía severa ocurrida del 01 de mayo al 30 de noviembre de 2019 (Diario Oficial de la Federación, 2019).

Para estimar la sequía en el municipio, se utilizó el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI, por sus siglas en inglés), desarrollado por el Centro Nacional de Mitigación de la Sequía de los Estados Unidos. Se tomaron como base las estaciones meteorológicas cercanas y para cada una se calculó el SPI para una sequía de 3 meses, el resultado se muestra en la Figura 49.

En la Figura 49, se puede observar que el municipio de Solidaridad tiene un índice de sequía moderada, es importante monitorear el registro de lluvias para evitar que los sistemas expuestos presenten estrés hídrico y lo que conlleva a una situación de sequía.

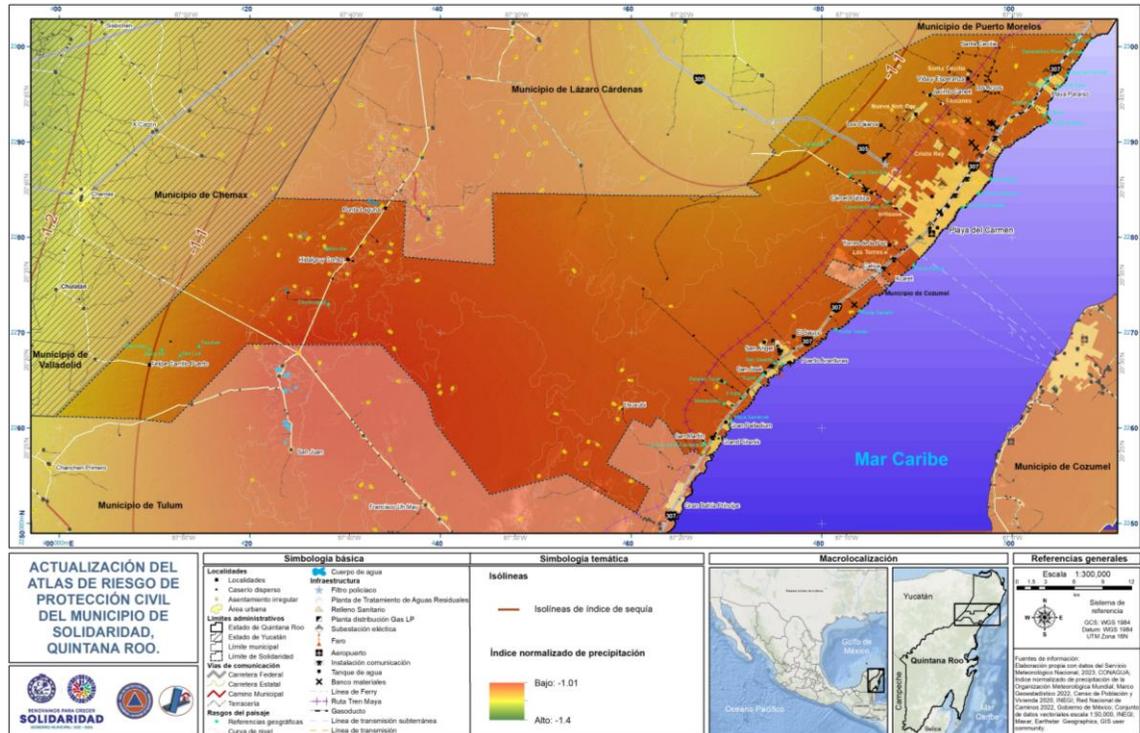


Figura 49. Índice de peligro por sequía

5.1.2.5 Tornados

Un tornado se define como una columna de aire que gira violentamente en contacto con el suelo desde una nube cumuliforme, visible como un embudo. El tiempo de vida de un tornado varía de entre unos segundos a cerca de una hora en casos extremos, se tiene el dato de que 10 minutos es el tiempo promedio de su duración (CENAPRED, 2021).

En México no se cuentan con registros puntuales históricos ni análisis de este tipo de fenómenos, sin embargo, es importante abordarlos debido a las características de desastre que pueden afectar a la población.

Para analizar la ocurrencia de este fenómeno en el municipio, se consultaron los registros del Atlas Nacional de Riesgos, los registros derivados del estudio de León Cruz (2015), así como fuentes hemerográficas de avistamiento de tornados. En la Figura 51 se tienen los registros encontrados (León-Cruz, 2015).

Si bien este fenómeno no es tan común y además no se cuenta con registros de desastres originados por tornados, se debe tomar en cuenta su presencia y el nivel de daños que pudiera ocasionar.

En la imagen 17 se tiene la evidencia fotográfica tomada por habitantes de Puerto Aventuras, del avistamiento de dos tornados registrados con la fecha de 12 de julio de 2022.

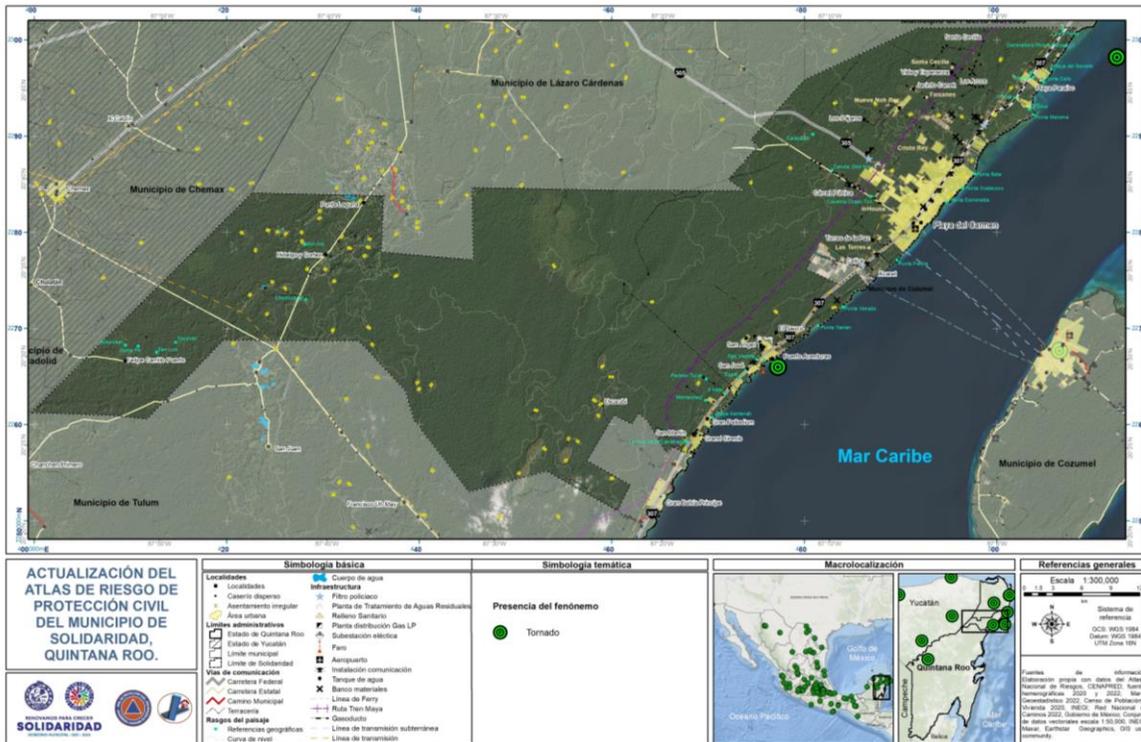


Figura 50. Índice de peligro por tornados



Imagen 17. Tornados avistados en Puerto Aventuras

5.1.2.6 Tormentas eléctricas

Las tormentas eléctricas son descargas bruscas de electricidad atmosférica que se manifiestan por un resplandor breve (rayo) y por un ruido seco o estruendo (trueno). Las tormentas se asocian a nubes convectivas (cumulonimbus) y pueden estar acompañadas de precipitación

en forma de chubascos. Son de carácter local y se reducen casi siempre a sólo unas decenas de kilómetros cuadrados (CENAPRED, 2021).

Los efectos de las tormentas eléctricas incluyen herir o causar el deceso de una persona de forma directa o indirecta, dañar la infraestructura de la población que provocaría la suspensión de energía eléctrica, retraso de aeronaves y accidentes aéreos (CENAPRED, 2021).

Para el caso de Solidaridad Quintana Roo, se realizó una revisión de las estaciones meteorológicas que se encuentran tanto en el municipio como en sus alrededores. Se encontró que, de las 10 estaciones analizadas, en promedio solo se tiene la ocurrencia de 1 tormenta eléctrica al año y para Solidaridad, no se tienen registros de este fenómeno que hayan afectado a la población ni a los sistemas en los que basan su desarrollo económico. En la Figura 51 se tiene la distribución espacial de las tormentas eléctricas en el municipio.

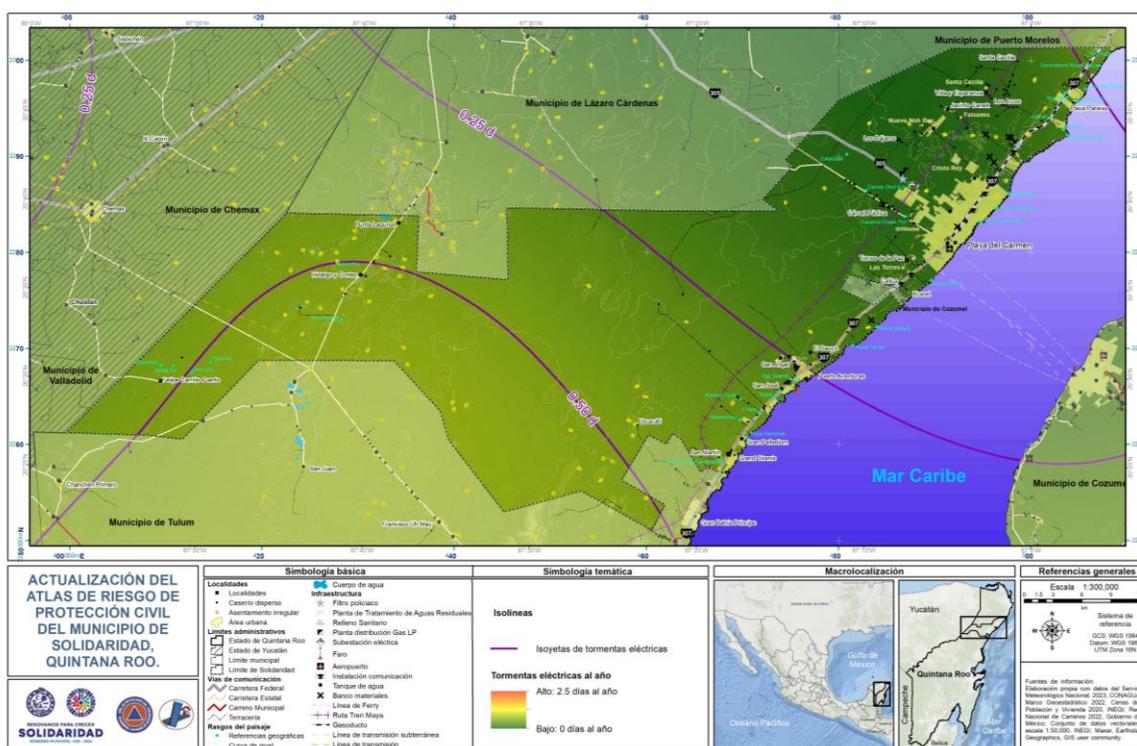
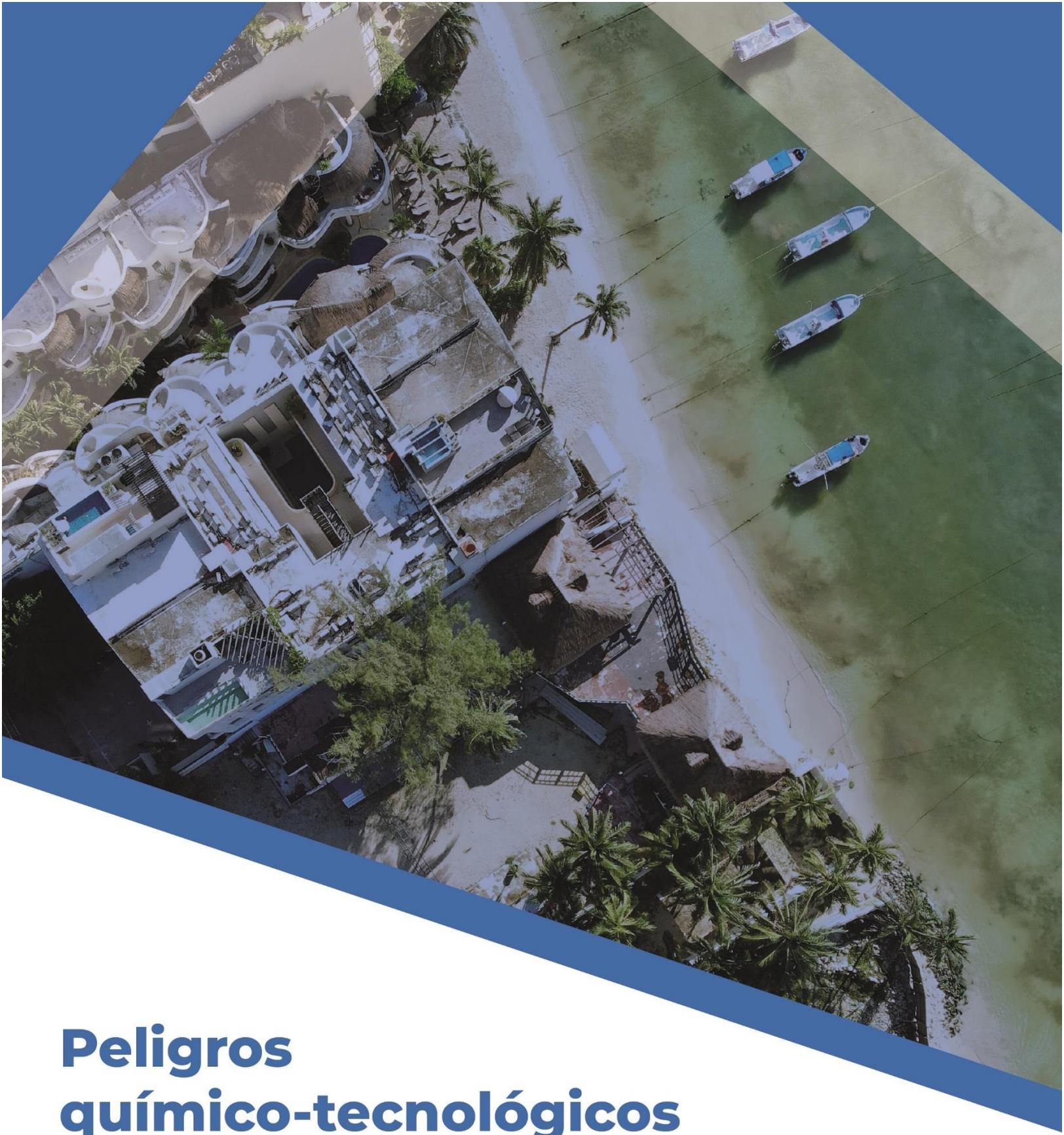


Figura 51. Índice de peligro por tormentas eléctricas

Como se observa en el mapa, la frecuencia de ocurrencia de este fenómeno es muy baja, sin embargo, es necesario aclarar que cuando se manifiestan este tipo de tormentas, se generan cortes de luz en las viviendas e instalaciones turísticas, lo que afecta a la población.

De la revisión hemerográfica, se identificó un caso aislado de ocurrencia de tormenta eléctrica que provocó el incendio en una de las palapas del parque eco-arqueológico Xcaret, no se registraron heridos (La Jornada Maya, 2021).



Peligros químico-tecnológicos

5.1.3

5.1.3 Peligros químico-tecnológicos

Las sustancias químicas peligrosas son aquéllas que, por sus propiedades físicas y químicas, al ser manejadas, transportadas, almacenadas o procesadas presentan la posibilidad de riesgos a la salud, de inflamabilidad, de reactividad o peligros especiales, y pueden afectar la salud de las personas expuestas o causar daños materiales a las instalaciones (Bernabé, Izcapa, Rivera, Arcos, & Bravo, 2006).

En la “Guía Práctica sobre Riesgos Químicos” (Bernabé et al., 2006) se mencionan las 14 sustancias químicas peligrosas de alto riesgo en México que son almacenadas y que representan la mayor importancia en el país debido a su volumen de almacenamiento, peligrosidad y presencia en varias entidades federativas, las sustancias son las siguientes: 1.- gas licuado de petróleo, 2.- amoniaco, 3.- ácido sulfúrico, 4.- cloro, 5.- hexano, 6.- gasolina, 7.- nitrógeno, 8.- acetona, 9.- alcohol metílico (metanol), 10.- alcohol isopropílico, 11.- propano, 12.- acetato de etilo, 13.- óxido de etileno y 14.- ácido fluorhídrico. En la Guía también se indican sus principales usos los cuales de manera general pueden ser: domésticos, comerciales, agrícolas y para las industrias automotriz, farmacéutica, electrónica, química, construcción entre otras.

Se recomienda que en las inspecciones a establecimientos que realiza la Secretaría de Protección Civil, Prevención de Riesgos y Bomberos del municipio de Solidaridad se registren las Sustancias Químicas Peligrosas que menciona la “Guía Práctica sobre Riesgos Químicos”, los volúmenes manejados, características del almacenamiento y el cumplimiento de la norma NOM-018-STPS-2000 “Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo”, la cual establece la forma de identificación y clasificación de las sustancias (Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2000).

Por lo anterior, los eventos de peligro pueden presentarse en el manejo de las sustancias químicas peligrosas tales como fugas, derrames, incendios y explosiones los cuales pueden provocar daños a la población y al ambiente en esta clasificación también se encuentran los incendios forestales. A continuación, se aborda el tema del almacenamiento y más adelante se presentan diversos escenarios de estos peligros, sin embargo, es importante mencionar que derivado de la escasa información disponible y verificable de los volúmenes de almacenamiento de las sustancias, se presentan diversos escenarios que consideran los rangos de volúmenes que puedan abarcar las cantidades reales de almacenamiento en los establecimientos.

5.1.3.1 Peligro por almacenamiento de sustancias peligrosas

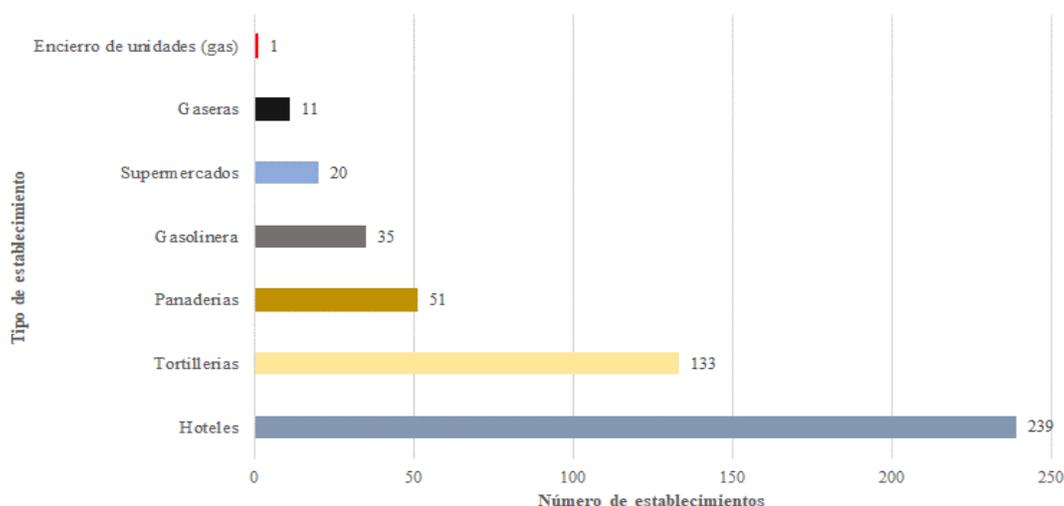
El municipio de Solidaridad se caracteriza por la fuerte actividad turística, lo que genera una alta demanda de uso de combustibles fósiles, tanto para los residentes de la misma ciudad, como por aquellos visitantes que tienen como destino Playa del Carmen, Puerto Aventuras o los parques ecoturísticos de la zona.

De acuerdo con datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) (INEGI, 2022a) existen en el municipio de Solidaridad alrededor de 490 establecimientos que emplean volúmenes considerables de gas LP y combustibles como la gasolina y diésel (ver Gráfico 14) y que por su tipo de actividad comercial y afluencia de clientes pueden llegar a representar un riesgo en su manejo y por lo cual son de interés en la protección civil.

De estos establecimientos, la mayoría son hoteles, con un total de 239 que representan el 50% los que, su volumen almacenado de gas puede variar de acuerdo a su capacidad de alojamiento y oferta al huésped, habiendo desde aquellos hoteles con tanques de 500, 1,000 y hasta los 5,000 litros. El caso de las gasolineras y gaseras que aunque solo representan el 7% (35 gasolineras) y un 2% (12 gaseras, puntos de carburación, plantas de distribución y un encierro de vehículos para distribución), son establecimientos que por su actividad comercial de venta al menudeo cuentan con los mayores volúmenes almacenados, llegando a acumular para el caso de una sola gasolinera hasta 300,000 litros de gasolina y diésel (40,000 y 260,000 respectivamente) y para el caso de una gasera hasta 1,257,000 litros de gas LP.

Otros establecimientos como los supermercados en plazas comerciales le siguen en volumen acumulado, ya que son establecimientos que pueden llegar a tener hasta seis tanques de 1000 litros de gas LP, finalmente el caso de negocios pequeños como tortillerías (133 establecimientos) que pueden llegar a contar con almacenamientos desde 200 a 500 litros de gas LP y panaderías (51 establecimientos) que pueden tener desde tanques de 55 litros (tanque convencional de 30 kilos) hasta estacionarios de 200 litros (ver Gráfico 19).

Gráfico 14. Principales establecimientos que manejan o comercializan gas LP o gasolina en el Municipio de Solidaridad



Fuente: INEGI, 2023

Las modelaciones de escenarios de peligro se realizaron con el programa informático ALOHA® versión 5.4.7 (United States Environmental Protection Agency (EPA), 2023), recomendado en la Guía Práctica sobre Riesgos Químicos del CENAPRED en su apartado de “Modelos de simulación de consecuencias de accidentes con sustancias peligrosas” este programa fue desarrollado por la Oficina de Manejo de Emergencias de la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) así como por la División de Respuesta de Emergencias de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) del gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica, el programa permite modelar escenarios de riesgos químicos reales o potenciales y generar estimaciones de la zona de amenaza para diversos tipos de peligros tales como: Nubes tóxicas de gas, nubes de gas inflamable, BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion*- Expansión Explosiva del Vapor de un Líquido en Ebullición), incendios, *jet fires* (dardo de fuego) y *pool fires* (fuego de piscina), además esta información puede ser exportada a formatos compatibles con programas de análisis espacial SIG como lo son *ArcMap* de *ESRI* y *QGIS*, así como en *Google Earth* y *Google Maps*.

Los diversos escenarios de peligro como las explosiones, incendios, fugas de gas o derrames de gasolina se presentan en los mapas como radios concéntricos donde pueden observarse las potenciales zonas de peligro indicadas en color rojo, naranja y amarillo, así como la información cuantitativa para las personas o inmuebles dependiendo de la zona en que se ubiquen.

Estos valores son presentados junto con los mapas y los datos de escenarios hipotéticos de establecimientos reales del municipio tales como hoteles, supermercados, gasolineras, gaseras y algunos negocios menores como tortillerías y panaderías.

Los establecimientos que almacenan sustancias peligrosas y sus escenarios de peligros se presentan en mapas para mostrar tanto en Playa del Carmen como en Puerto Aventuras escenarios de peligro modelados con el sistema informático ALOHA para establecimientos representativos que se explican a continuación.

Gaseras y gasolineras

Estos escenarios presentan análisis de establecimientos distintos, uno para gaseras y otro para gasolineras. Para las gaseras se modeló un escenario de explosión tipo BLEVE para un tanque de gas LP de 5000 l (cinco mil litros) al 75% de su capacidad, con las siguientes zonas de amenaza: Roja de 164 metros con $10,0 \text{ kW/m}^2$ que es potencialmente letal a los 60 segundos de exposición; Naranja de 231 metros con $5,0 \text{ kW/m}^2$ que causan quemaduras de segundo grado en 60 segundos de exposición y Amarillo de 360 metros con $2,0 \text{ kW/m}^2$ que causan dolor a los 60 segundos de exposición.

Los peligros potenciales asociados a una explosión tipo BLEVE incluyen la radiación térmica de la bola y del lago de fuego, el peligro por fragmentos proyectados por la fuerza explosiva y los efectos tóxicos a favor del viento (Bestratén, 1992).

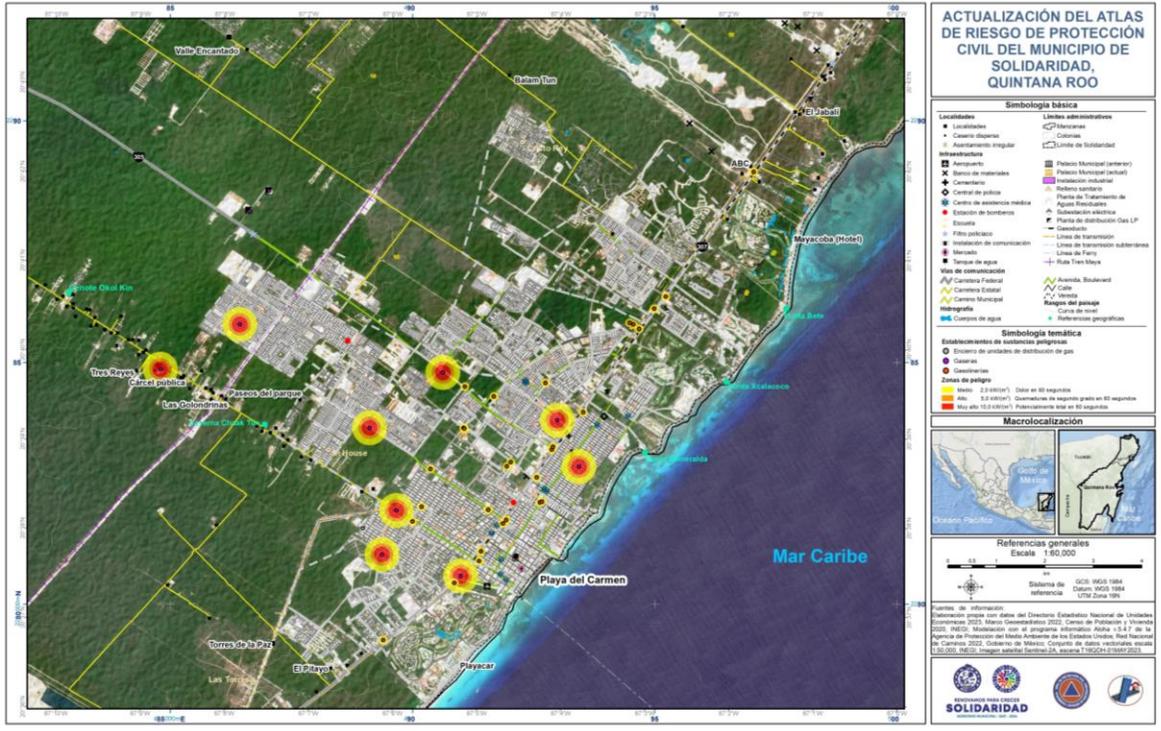


Figura 51. Peligro por almacenamiento de gas y gasolina en Playa del Carmen

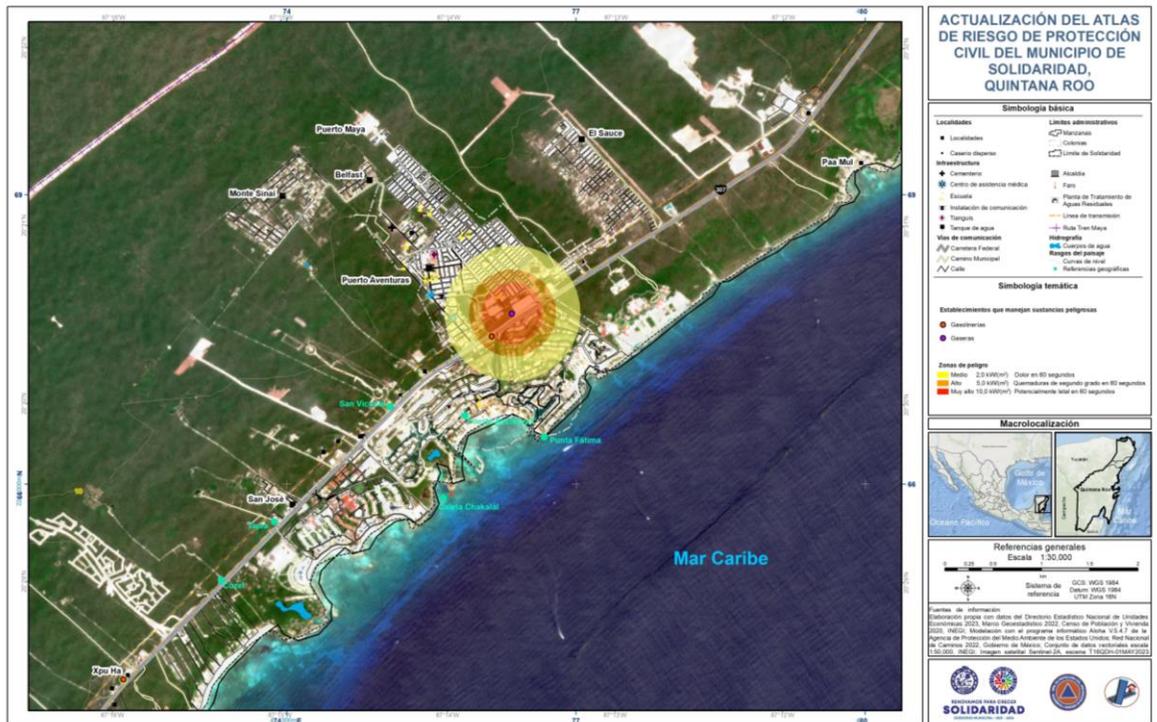


Figura 52. Peligro por almacenamiento de gas y gasolina en Puerto Aventuras

Para el caso de las gasolineras se modeló un escenario de derrame de 400 litros de gasolina en diez metros de diámetro e incendio tipo lago de fuego (*pool fire*) con los peligros potenciales de radiación térmica y efectos tóxicos a favor del viento y con zonas de peligro Roja de 28 metros con $10,0 \text{ kW/m}^2$ que es potencialmente letal a los 60 segundos de exposición, Naranja de 58 metros con $5,0 \text{ kW/m}^2$ que causa quemaduras de segundo grado en 60 segundos de exposición y Amarillo de 92 metros con $2,0 \text{ kW/m}^2$ que causa dolor en 60 segundos de exposición (Figura 51 y 52).

Para el caso de los hoteles, panaderías, tortillerías y supermercados, se utilizaron diversos datos para modelar las explosiones tipo BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion*), esto de acuerdo a la capacidad de tanques por cada tipo de establecimiento y con cierta capacidad de llenado (ver Tabla 43). Como se ha mencionado, los diámetros de afectación están en función a la cantidad de litros de gas con la que se modele. Los efectos se representan por colores diferentes como se señalan a continuación y se encuentran en las Figuras 53 y 54.

Rojo: 10 kW/m^2 potencialmente letal a los 60 seg. de exposición.

Naranja: $5,0 \text{ kW/m}^2$ se causan quemaduras de segundo grado en 60 seg. de exposición

Amarillo: $2,0 \text{ kW/m}^2$ se causa dolor a los 60 segundos de exposición.

Tabla 43. Datos de modelación para establecimientos que almacenan gas L.P.

Establecimiento	Capacidad de almacenamiento de gas L.P. (Litros)	Capacidad modelada (%)	Radio de afectación
Hoteles	500	80	Rojo 84 m Naranja 119 m Amarillo 185 m
Panaderías	300	75	Rojo 67 m Naranja 95 m Amarillo 148 m
Tortillerías	200	80	Rojo 58 m Naranja 82 m Amarillo 127 m
Supermercados	1,000	75	Rojo 101 m Naranja 142 m Amarillo 222 m

Fuente: de elaboración propia con datos de modelación en Aloha

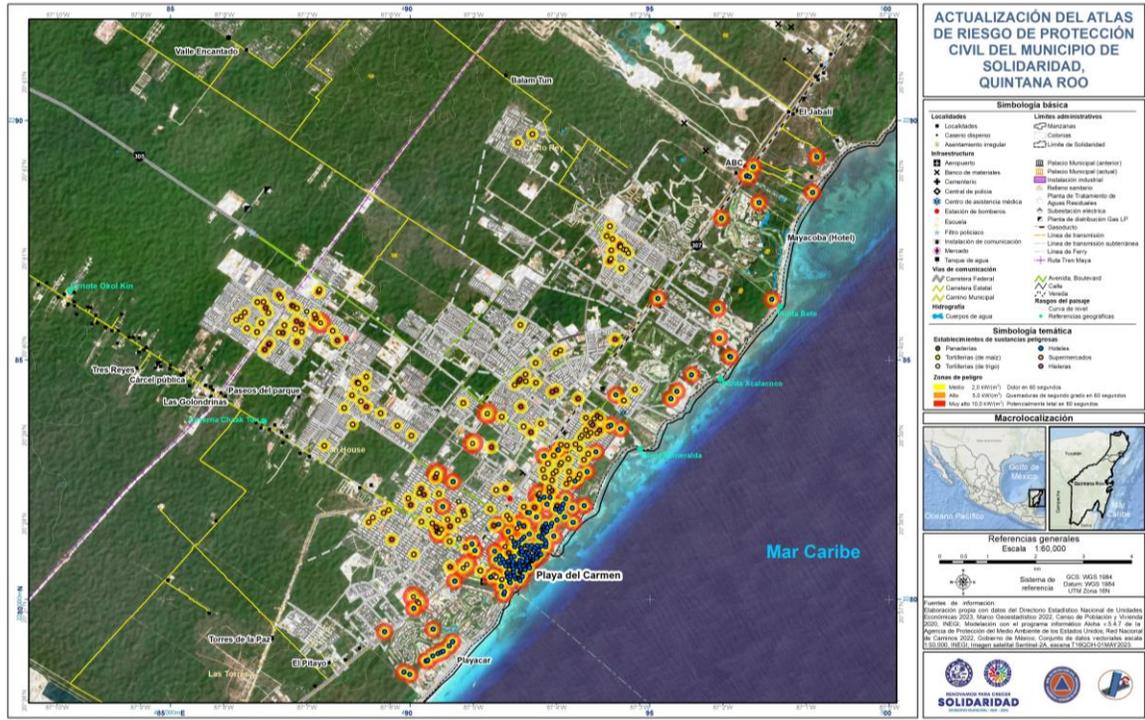


Figura 53. Peligro por almacenamiento de gas en Playa del Carmen

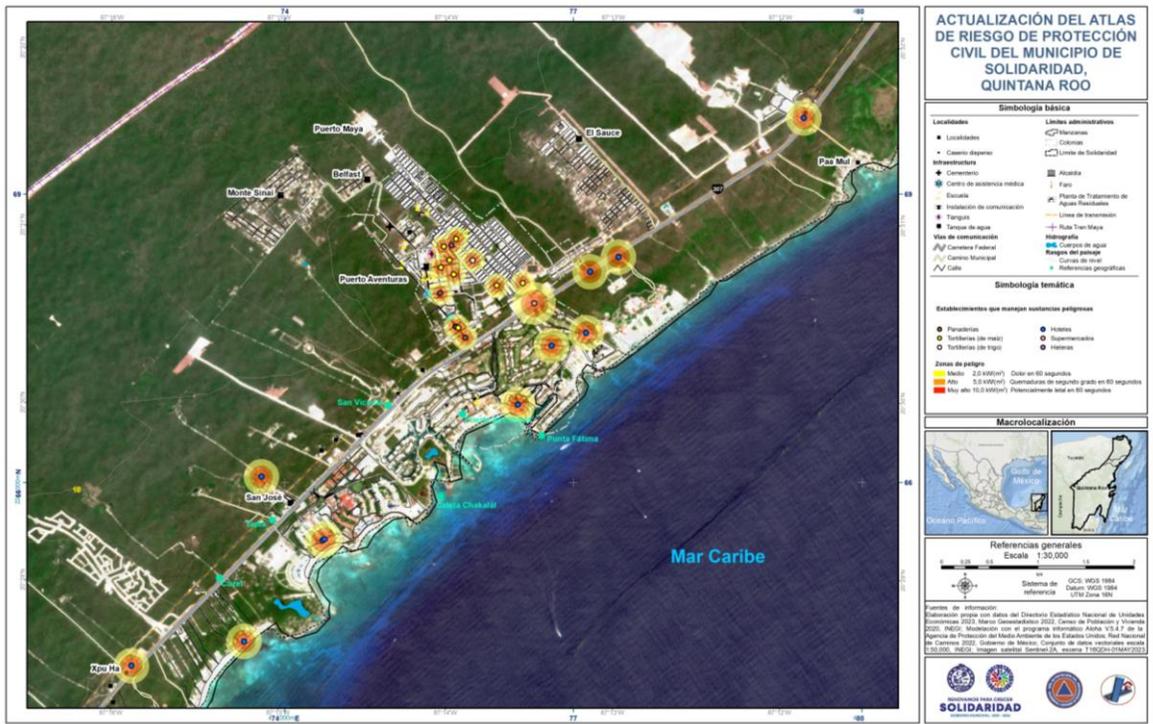


Figura 54. Peligro por almacenamiento de gas en Puerto Aventuras

5.1.3.2 Peligro por transporte terrestre de sustancias peligrosas

En el manejo y transporte de sustancias químicas, pueden presentarse como consecuencia de un accidente los siguientes eventos.

- Liberación a la atmósfera de gases tóxicos o corrosivos, aerosoles o partículas
- Liberación de sólidos o líquidos peligrosos
- Incendios o explosiones

De manera general, los accidentes pueden provocar daños al ambiente a las propiedades y a la salud de trabajadores o a las personas que habitan en los alrededores de las vías de comunicación (CENAPRED, 2021).

Por el municipio de Solidaridad pasan dos vialidades principales, la carretera que va desde Puerto Morelos hasta Tulúm y la carretera de cuota que va hacia el estado de Yucatán.

De acuerdo a la información proporcionada por las autoridades municipales, actualmente se transportan materiales peligrosos asociados a la construcción del Tren Maya, como son explosivos, gas, gasolina, Diesel, entre otros. En la Figura 55 se tiene el mapa de peligro por transporte de sustancias peligrosas, en el que se modeló una explosión tipo BLEVE, donde destacan las vialidades señaladas con anterioridad.

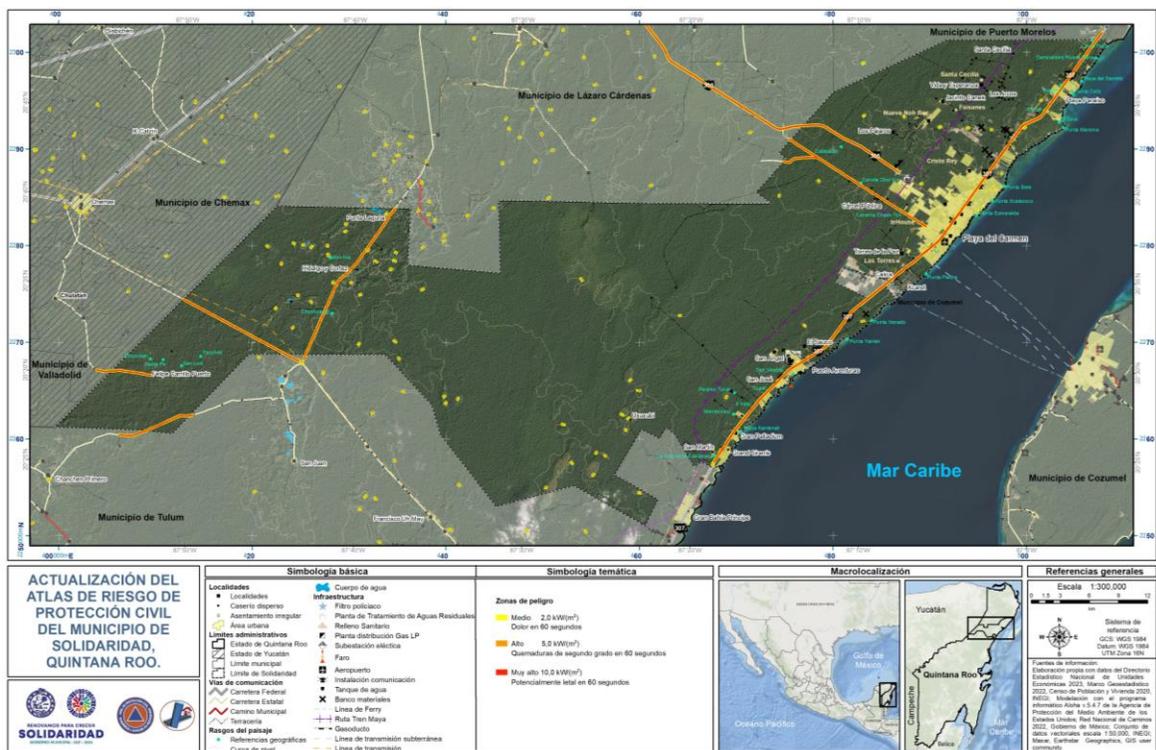


Figura 55. Peligro por transporte terrestre de sustancias peligrosas

5.1.3.3 Peligro por gasoducto

De acuerdo al oficio resolutivo de la Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA/UGI/DGGTA/1707/2017) el gasoducto, cuya traza pasa por las inmediaciones de la ciudad de Playa del Carmen, es un proyecto de construcción de un ramal principal de tubería de acero al carbón, con diámetros de 12”, 10” y 6” como continuación de una primera etapa ya autorizada, con un total de 82 km de longitud, al que se le articulan varios ramales de tubería de polietileno de alta densidad en dimensiones de 8”, 6”, 4”, 3”, 2” y 1” de diámetro con un total de 115 km de tubería, que operará a presión máxima de 7 kg/cm² para tuberías de acero y 4 kg/cm² para tuberías de polietileno y partiendo del punto de interconexión, en los límites de la zona centro de la población de Cancún, para continuar luego por un costado dentro del derecho de vía de la carretera Cancún-Tulum, hasta la ciudad de Playa del Carmen.

Las obras de construcción del gasoducto en Playa del Carmen se vienen desarrollando desde el año 2021 sobre el derecho de vía de la carretera federal 307 que corresponde a la Avenida 50 Norte y aunque los gasoductos son una forma eficiente de transportar gas natural desde los yacimientos o terminales de importación hasta las áreas donde se consume el gas, también conlleva ciertos peligros y riesgos entre los que están las fugas de gas que pueden ocurrir debido a la corrosión, daños mecánicos, o defectos en la construcción, estas fugas pueden acumularse en áreas confinadas y, si se encienden, pueden causar explosiones así como la contaminación del suelo y agua por las fugas, lo que afecta el medio ambiente y la salud pública.



Figura 56. Mapa de escenario de peligro para el gasoducto de Playa del Carmen.

Por lo anterior se presenta en un mapa el trazo del gasoducto sobre el derecho de vía de la Carretera Federal 307 Cancún-Chetumal sobre el cual se modeló un escenario de fuga del gas quemándose en forma de dardo de fuego (*jet fire*) con el peligro potencial de la radiación térmica y de los efectos tóxicos a favor del viento de los subproductos del fuego. Las zonas de peligro Amarillo a los 37 metros con $2,0 \text{ kW/m}^2$ que ocasionan dolor a los 60 segundos de exposición, Naranja a los 23 metros con $5,0 \text{ kW/m}^2$ que ocasionan quemaduras de segundo grado a los 60 segundos de exposición y Rojo a los 15 metros con $10,0 \text{ kW/m}^2$ que es potencialmente letal a los 60 segundos de exposición (Figura 62).

5.1.3.4 Incendios forestales

Desde finales del siglo pasado, los incendios forestales han representado una amenaza significativa, estos han generado impactos considerables sobre el medio ambiente, la biodiversidad y la seguridad pública. Desde la década de los años 90, se han detectado estos fenómenos de manera masiva. Con el cálculo de un promedio de imágenes de reflectancia de superficie atmosféricamente corregida y de la Colección 2 de Landsat 5, se estimó que durante el período 1990-1999 el fuego afectó a una superficie cercana a 84,000 hectáreas, es decir, cerca del 40% del territorio del municipio de Solidaridad, esta afectación corresponde a las zonas cercanas a las localidades de Puerto Aventuras, Playa del Carmen y Playa Paraíso, (Imagen 18).

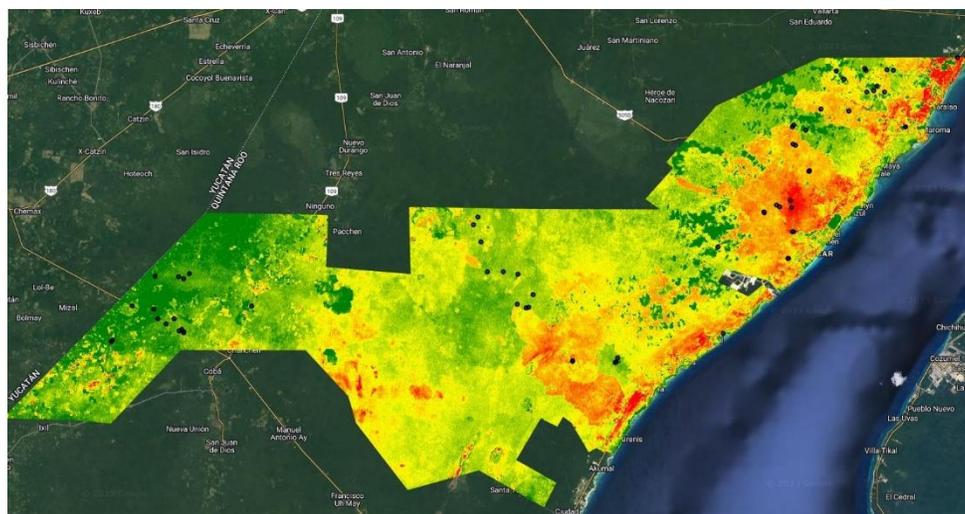


Imagen 18. Superficie en tonos de rojo afectada por el fuego durante el período 1990-1999 y ubicación de los 108 incendios forestales atendidos por CONAFOR durante el período 2006-2022

De acuerdo con la CONAFOR (2022) durante el periodo 2006-2022 en el municipio de Solidaridad se combatieron 108 incendios forestales. Y tan solo durante el período 2015-2020 se han afectado alrededor de 3 449.44 hectáreas, la mayoría corresponde a incendios forestales superficiales, también se registraron en menor proporción algunos incendios forestales mixtos. Todos los eventos reportados fueron clasificados por CONAFOR de

acuerdo con su impacto, estos datos indican un impacto que va de mínimo, a moderado en algunos casos.

Las principales causas de estos eventos se atribuyen a prácticas agropecuarias, cacería furtiva, fogatas, fumadores y quema de basureros. En el territorio del municipio de Solidaridad, los ecosistemas afectados por estos incendios fueron de selva baja espinosa subperennifolia, selva baja subperennifolia, selva mediana caducifolia, selva mediana perennifolia y selva mediana subperennifolia.

Debido a los datos anteriores, en este apartado se busca evaluar y localizar el peligro de incendios forestales, los resultados pueden contribuir a la toma de decisiones informadas y a la prevención de incendios en el futuro.

Para cumplir con el objetivo anterior, se recopilieron datos ambientales de temperatura de la superficie terrestre, humedad, vegetación y topografía, entre otros. Estos datos se sometieron a un proceso de filtrado temporal, el período de tiempo seleccionado comprende desde el 01-01-2019 hasta el 01-01-2022, este período fue seleccionado de acuerdo con la disponibilidad de los datos. Para el filtrado espacial de los datos se utilizó el polígono del municipio de Solidaridad. Estos sirvieron para realizar una combinación ponderada para obtener el peligro de incendios, las variables usadas se explican en la Tabla 44.

Tabla 44. Variables y parámetros utilizados para calcular el peligro por incendios forestales en el municipio de Solidaridad.

Capas	Fuente de datos y tamaño de pixel en metros	Descripción	Uso en el mapeo de peligro de incendios
Áreas quemadas	MODIS/061/MCD64A1 Giglio et al., 2021, 500m.	Área quemada combinado de Terra y Aqua es un producto global que contiene información por píxel sobre áreas quemadas.	Estos datos sirvieron para calcular la distancia euclidiana desde cada píxel al área quemada más cercana dentro del municipio de Solidaridad. Se utiliza para cuantificar la influencia de las áreas quemadas en el peligro de incendios.
Modelo digital de elevación	ALOS World, (AW3D30) Tadono et al., 2014, 30m.	Estos datos se generan a partir de observaciones satelitales y mediciones topográficas, proporcionan un modelo tridimensional del terreno.	Se utilizaron estos datos para evaluar la topografía del municipio de Solidaridad, las áreas con pendientes pronunciadas pueden influir en el peligro de incendio forestal.
Índice normalizado de vegetación (NDVI)	MODIS/006/MOD13Q1 Didan, K. (2021), 250m.	Es un índice que mide la salud y la densidad de la vegetación. Se calcula a partir de datos satelitales y proporciona información sobre la cantidad y calidad de la vegetación.	Debido a que la vegetación más densa y saludable es menos propensa a incendiarse, se utilizó este parámetro para evaluar la salud de la vegetación en el municipio de Solidaridad

Tabla 44. Variables y parámetros utilizados para calcular el peligro por incendios forestales en el municipio de Solidaridad.

Capas	Fuente de datos y tamaño de pixel en metros	Descripción	Uso en el mapeo de peligro de incendios
Temperatura de la superficie terrestre	'MODIS/006/MOD11A2 Wan et al., 202, 1000 m.	Esta colección contiene datos diarios de temperatura diurna de la superficie terrestre.	Las áreas con temperaturas más altas son más propensas a sufrir incendios, especialmente si se combinan con condiciones óptimas de sequedad del combustible.
Albedo	MODIS/006/MCD43A3 Schaaf & Wang, (2021), 500 m.	El albedo es una medida de la reflectividad de la superficie terrestre.	Superficies con albedos más altos tienen una tendencia a reflejar más radiación solar. Esto puede afectar la temperatura de la superficie y, por ende, la inflamabilidad de la vegetación.
Cobertura terrestre	MODIS/061/MCD12Q2 Friedl et al., 2021, 500 m.	Se obtiene mediante clasificaciones supervisadas de los datos de reflectancia MODIS Terra y Aqua.	Diferentes tipos de vegetación tienen diferentes niveles de inflamabilidad. Además, este factor influye en la velocidad de propagación, intensidad del fuego, altura de las llamas y en la generación de humo.
Humedad	NOAA/GFS0P25 Clough et al., 2005, 27 000 m	Los datos de humedad se obtienen de estaciones meteorológicas, sensores aéreos y satélites. Se realiza un cálculo sobre estos datos para obtener la humedad relativa (RH), basándose en una expresión lineal.	La humedad es un factor importante para evaluar el peligro de incendio. Las áreas con baja humedad son más susceptibles a la ignición y propagación del fuego.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAFOR

Los resultados de la combinación de las variables anteriores se presentan en un mapa que representa 5 niveles de peligro, desde muy bajo hasta muy alto (Figura 57) y en la Tabla 45 se muestra la superficie por cada categoría de peligro señalada.

El peligro bajo se distribuye sobre toda la línea de costa, en cambio las áreas con peligro alto coinciden con los predios La Mensura, Laguna 2, km 25 La Mesura, Terrenos Nacionales, Ejido Chemax, Camino a Loltún, La Selva, Jabalí, Los Caminos, La Casita y Tramo Chemax-Cobá km 25.

La categoría de muy alto peligro se encuentra paralela a la línea costera, además de la zona central y norte del municipio de Solidaridad, las localidades que se encuentran dentro de esta categoría son Hacienda del Caribe, La Gloria, La Güerita, La Paz, La Plumita, La Santísima, La Selva, Los Almendros, Los Arcos, Los Hernández, Los Lirios, Los Vela, Mi Preciosa, Noche Buena, Rancho Patricia, Quinta Amor, Rancho Reyes, San Juan Bautista, San Marcos,

San Pablo, Santa Cecilia, Santa Elena, Santa Teresita del Niño Jesús, Tres Hermanos, Tres Reyes, Uxuxubi, Vida y Esperanza, Los Pájaros, Valle Encantado y Yaman Ek. Además, de otros predios en la parte central del municipio como Rancho Cruz, El Dorado y San Josecito.

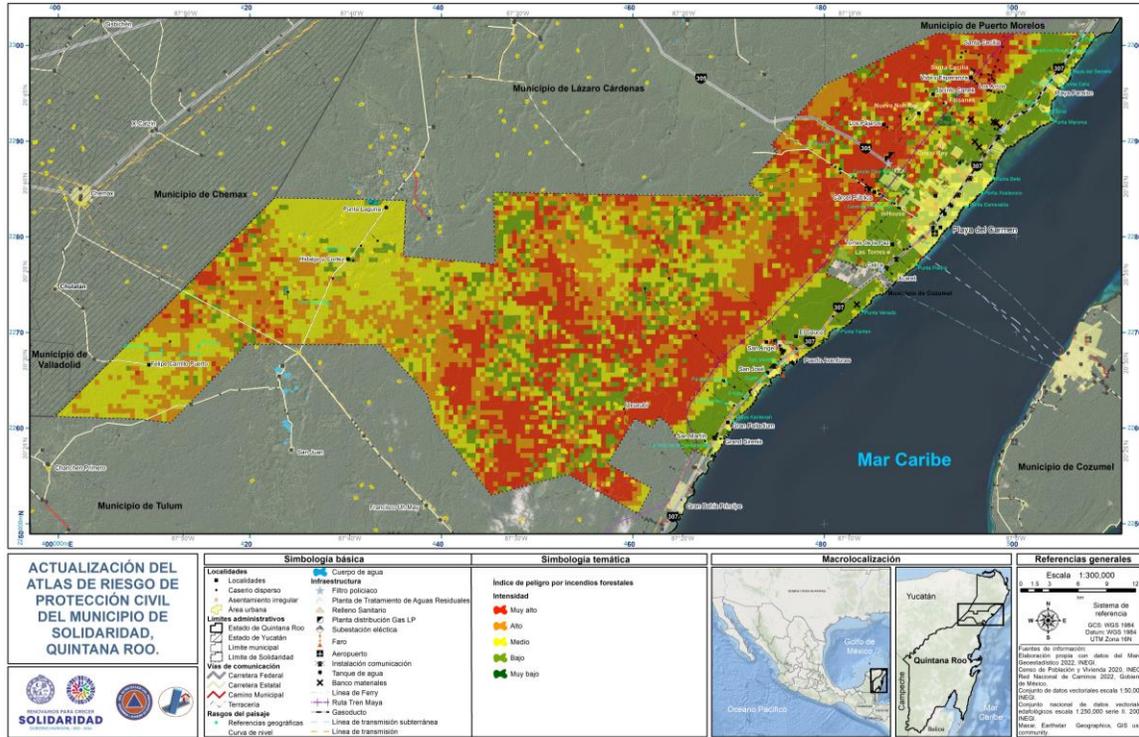


Figura 57. Peligro por incendios forestales en el municipio de Solidaridad



Imagen 19. Zona devastada por incendio forestal en 2023, en San Carlos

Tabla 45. Intensidad de peligro de incendios y coberturas en el municipio de Solidaridad

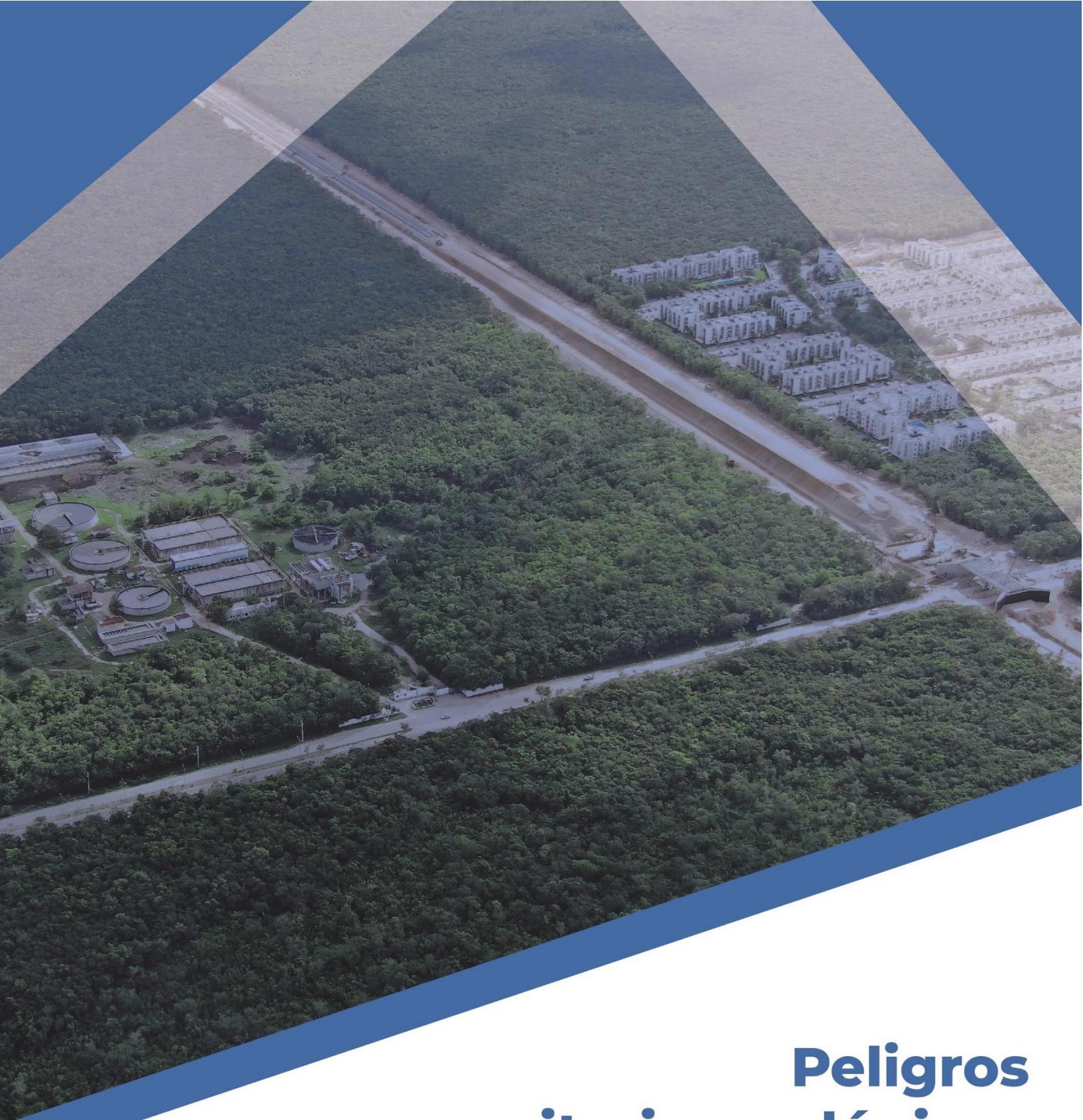
Intensidad de peligro	Superficie (ha)
Muy bajo	2,218.82
Bajo	39,463.43
Medio	54,907.24
Alto	50,793.05
Muy alto	52,285.74

Fuente: Elaboración propia

La combinación de datos satelitales ha demostrado ser efectiva para evaluar el peligro por incendios forestales. Sin embargo, es importante destacar que los resultados pueden variar en el futuro según varíen las condiciones climáticas y las estaciones del año.

Además, es importante complementar estos datos con predicciones de peligro en tiempo real y en el futuro cercano, por ejemplo, predicciones del peligro de incendio forestal en las próximas 12, 24, 48 y 72 horas, con el fin de contar con pronósticos que ayuden con la gestión del territorio de manera oportuna durante la temporada de incendios, que generalmente coincide con la época más caliente y seca del año.

Estos resultados proporcionan información valiosa para la gestión y prevención. Además, este enfoque puede utilizarse para tomar decisiones informadas sobre la gestión del peligro de incendios forestales y la asignación de recursos en la región.



**Peligros
sanitario-ecológicos**

5.1.4

5.1.4 Peligros sanitario-ecológicos

Los fenómenos sanitario-ecológicos están definidos por la Ley General de Protección Civil como cualquier “*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*” (LGPC, 2021).

Entre las principales causas de los peligros sanitarios-ecológicos se encuentran la introducción de especies marinas, cambio climático, desaparición de especies endémicas, incremento en la población de algunas especies, invasión de poblaciones a otros ecosistemas, reducción acelerada de la biodiversidad, cambios del ecosistema e ingreso de contaminantes (CENAPRED, 2021).

La población del estado de Quintana Roo ha presentado un crecimiento acelerado en las últimas décadas, la tasa de crecimiento media anual de los años 2000, 2010 y 2020 son las más altas del país. Asimismo, para el municipio de Solidaridad, Quintana Roo, en el año 2020 se registraron un total de 333,800 habitantes, que representa un incremento del 110% con respecto al registro de población del año 2010 (INEGI, 2020)

Los efectos visibles del crecimiento acelerado de la población, así como el crecimiento económico y del turismo incluyen la pérdida de vegetación (ocasionada por una mayor urbanización), un aumento en la demanda de recursos hídricos (lo que conlleva a una sobreexplotación de los cuerpos de agua), aumento en la generación de residuos sólidos y aumento en la descarga de aguas residuales.

De acuerdo con lo anterior, los fenómenos sanitario-ecológicos son tan importantes y complejos para la sociedad que es pertinente llevar a cabo un análisis de los efectos antropogénicos que pueden causar daños a la salud de los habitantes de Solidaridad. En este sentido se evaluaron los siguientes aspectos:

- Contaminación del agua
- Contaminación del suelo
- Plagas
- Epidemias

5.1.4.1 Contaminación del agua

El municipio de Solidaridad, Quintana Roo, de acuerdo con su ubicación en la península de Yucatán, cuenta con una gran cantidad de agua subterránea (Capítulo 3.7). Estos cuerpos de agua, llamados acuíferos, definidos por la Ley de Aguas Nacionales como cualquier formación geológica hidráulicamente, por los que circulan o se almacenan aguas del subsuelo y, que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento (LAN, 2023).

Estos cuerpos de agua subterránea son la única fuente para el suministro de agua potable del estado. Sin embargo, el aumento en la población y el turismo han llevado a una mayor demanda de agua en la región, lo que puede alterar el equilibrio del sistema de agua subterránea (Ríos Ponce, Acosta González, & Cejudo, 2020).

Derivado de los datos obtenidos del Registro Público de Derechos del Agua (REPGA, 2023), para el municipio de Solidaridad se tienen 420 registros de concesiones para la extracción de aguas nacionales, de estos, solo 375 tienen registro del volumen de extracción al año y solo 24 registros concentran el 80% del volumen total del agua concesionada al municipio; 22 de estas concesiones, pertenecen al ramo de servicios (hoteles y desarrollos inmobiliarios), como se observa en la Tabla 46. En total, el sector servicios extrae el 87% de toda el agua concesionada del municipio, mientras que el público representa solo el 10% (REPGA, 2023).

Tabla 46. Listado de los 24 concesionados que conjuntan el 80% del volumen total de extracción de aguas nacionales concesionadas en el municipio de Solidaridad

No.	Titular	Ubicación	Título	Volumen de extracción de aguas nacionales (m ³ /año)
1	Quiroocan, S.A. de C.V.	Puerto Aventuras.	12QNR101182/32ESDL17	37,175,233.38
2	Desarrollos Dine, S.A. de C.V.	Puerto Aventuras.	12QNR102906/32EMDL13	11,898,561.70
3	Playa rmaya one, S. de R.L. de C.V.	Puerto Aventuras.	12QNR103512/32ESDL16	4,526,292.00
4	RCD Resorts, S.A. de C.V.	Puerto Aventuras.	12QNR101167/32EMDL16	2,420,000.00
5	Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo	Playa del Carmen.	12QNR100102/32HMDL14	24,519,240.00
6	Inmobiliaria Xcunya, S.A. de C.V.	Playa del Carmen.	12QNR103359/32EMDL13	13,890,043.80
7	Montecarlos Riviera, S.A. de C.V.	Playa del Carmen.	12QNR103446/32EMDL08	10,434,939.15
8	Epi Gestión México, S. A. de. C. V.	Playa del Carmen.	12QNR102892/32ESDL13	7,525,583.72
9	Ecoturismo Tres Ríos, S.A de C.V.	Playa del Carmen.	12QNR151635/32EMDL18	7,404,534.00

Tabla 46. Listado de los 24 concesionados que conjuntan el 80% del volumen total de extracción de aguas nacionales concesionadas en el municipio de Solidaridad

No.	Titular	Ubicación	Título	Volumen de extracción de aguas nacionales (m ³ /año)
10	Destino Xcaret, S.A.P.I. de C.V.	Playa del Carmen.	12QNR103344/32EMDL17	7,007,252.48
11	Corporación Hotelera Hispano Mexicana	Playa del Carmen.	12QNR150177/32ESDL16	6,904,654.63
12	Hacienda real del mar S.A. de C.V.	Playa del Carmen.	12QNR103343/32ESDL16	5,482,082.00
13	Hotelera playamar, S.A. de C.V.	Playa del Carmen.	12QNR103053/32EMDL17	4,747,440.00
14	Desarrollo Flamenco Riviera, S.A. de C.V.	Playa del Carmen.	12QNR101187/32EMDL17	4,104,833.37
15	Promotora xcaret, S.A.P.I. de C.V.	Playa del Carmen.	12QNR100798/32EMDL17	3,871,452.29
16	Sabeldos S.A. de C.V.	Playa del Carmen.	12QNR101169/32EMDL13	3,763,408.00
17	Condominio mayakoba A.C.	Playa del Carmen.	12QNR101180/32EMDL17	3,275,280.00
18	Promociones e Inversiones Almendro, S.A. de C.V.	Extremo suroeste del municipio.	QNR103269	10,465,658.00
19	Aventuras Discovery, S.A. de C.V.	Extremo suroeste del municipio.	12QNR103109/32EMGE06	5,667,369.00
20	Comisión de agua potable y alcantarillado del estado de Quintana Roo.	Extremo suroeste del municipio.	12QNR100580/32HMDL09	4,415,040.00
21	Destino Xcaret Sapi de CV	Extremo suroeste de Playa del Carmen.	12QNR151388/32ESDL17	6,132,000.00
22	Hotelera Playa Paraíso, S.A. de C.V.	Extremo noroeste del municipio.	12QNR101172/32EMDL16	15,781,927.72
23	Desarrollo Marina Vallarta, S. A. de C. V.	Extremo noroeste del municipio.	12QNR101185/32ESDL17	13,569,738.32
24	Valentín Playa Del Secreto S.A. de C.V.	Extremo noroeste del municipio.	12QNR103288/32EMDL16	8,303,113.44

Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de REPDA, CONAGUA (2023)

Por lo anteriormente descrito, estos grandes usuarios de aguas nacionales son sujetos obligados del cumplimiento de la norma ambiental en materia del vertimiento de aguas tratadas para cumplir con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021 (DOF, 2021). El agua contaminada puede transmitir diversas enfermedades si es ingerida o entra en contacto con la piel, ojos o mucosas. Algunas de las enfermedades más comunes relacionadas con el consumo o el contacto con agua contaminada incluyen diarrea, cólera, gastroenteritis,

hepatitis A, leptospirosis, esquistosomiasis, cryptosporidiosis, giardiasis, amibiasis e incluso dengue. Dichas enfermedades generalmente son causadas por bacterias, virus, parásitos que afectan el sistema digestivo (Organización Mundial de la Salud, 2023).

Para puntualizar la distribución de las concesiones por sector en el municipio, se tiene la Tabla 47, donde se observa que tanto el sector doméstico, industrial y agrícola tienen las menores concesiones.

Tabla 47. Extracción de aguas nacionales por sector en el municipio de Solidaridad

Sector	Volumen de extracción de aguas nacionales (m ³ /año)	Porcentaje de extracción	Total de registros
Servicios	244,724,202.30	87%	223
Doméstico	2,853.00	0.001%	11
Público-urbano	28,934,280.00	10.3%	11
Industrial	2,592,915.83	0.9%	17
Agrícola	1,350,515.29	0.5%	129
Otros	2,585,626.77	1.3%	29
Total	280,190,393.20	100%	420

Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de REPDA, CONAGUA (2023)

Asimismo, y como menciona Ríos Ponce *et al.* (2020), los volúmenes de agua concesionados por el Estado y reportados en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA) no necesariamente son los volúmenes reales extraídos, ya que no se cuenta con mecanismos de medición, seguimiento o vigilancia. Por ello, es necesario su inspección por las autoridades para garantizar el cumplimiento normativo vigente. Es necesario señalar que la extracción excesiva de agua subterránea puede provocar desertificación, el secado de los humedales y la intrusión de agua salada desde el mar en los acuíferos costeros y con ello alterar la calidad del agua potable (IMTA, 2021).

En lo que respecta a la calidad del agua, es importante mencionar que actualmente más de la mitad de los ríos del país están contaminados, desde mala calidad hasta fuertemente contaminados, debido principalmente a la descarga de aguas residuales crudas, tanto municipales como no municipales (CONAGUA, 2023).



Figura 58. Localización de grandes consumidores de agua concesionados en Playa del Carmen.



Figura 59. Localización de grandes consumidores de agua concesionados en Puerto Aventuras.

Debido a que la actividad principal de la zona es el turismo, se considera que este puede ser una de las fuentes principales de contaminación del agua, junto con las descargas residuales domésticas.

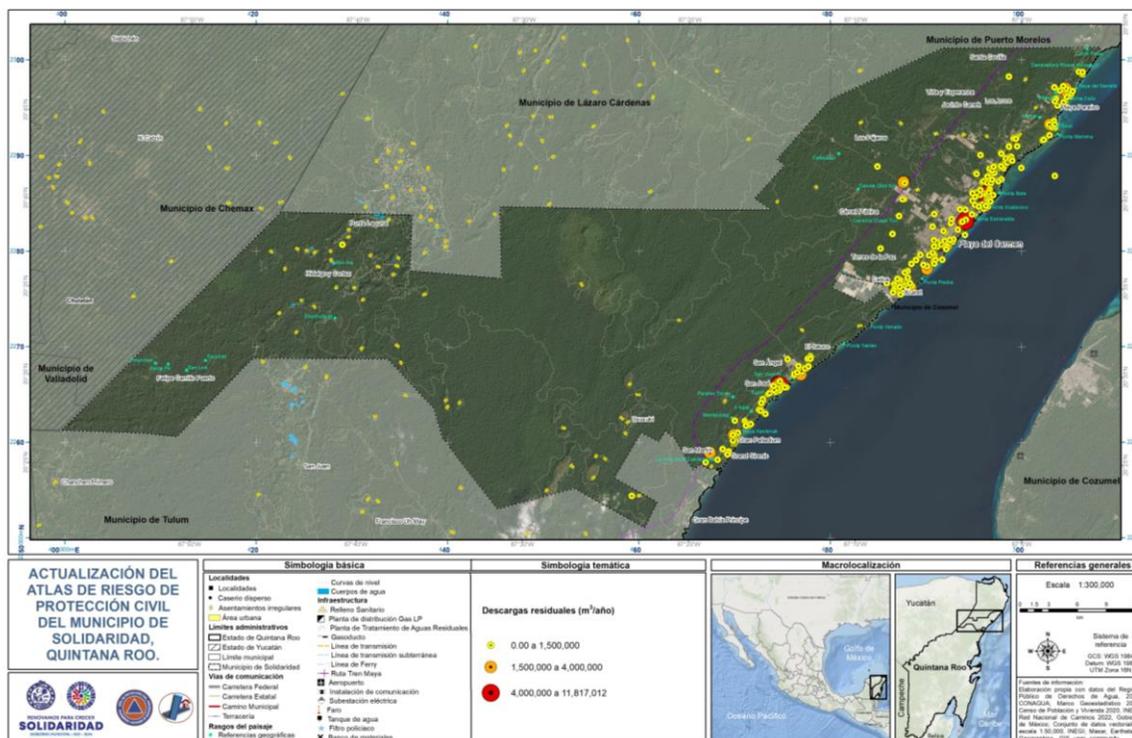
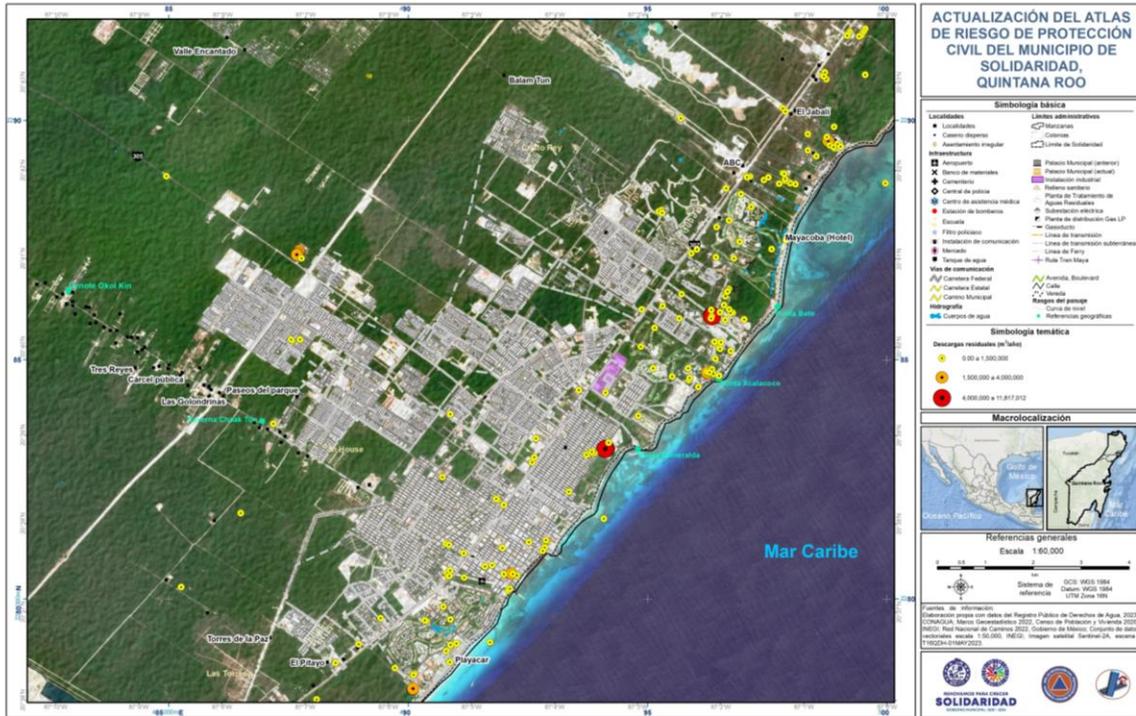


Figura 60. Mapa de los puntos de descargas de aguas residuales en el municipio de Solidaridad

Dichas descargas muchas veces pueden darse sin un tratamiento adecuado y superando los límites permisibles establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-2021. En la Figura 60 se observa que la descarga de aguas residuales se da principalmente en la franja costera del municipio, existiendo una mayor concentración en la localidad de Playa del Carmen. Fuera de la costa, existen muy pocos puntos de descarga, aunado a la baja población del lugar.

La descarga de aguas residuales se puede dar en los sistemas de alcantarillado o de plantas de tratamiento, no obstante, en algunos casos se descargan en ríos, lagos o acuíferos. En el municipio de Solidaridad existen un total de 390 puntos de descarga de aguas residuales. La mayor parte se concentra en las localidades de Playa del Carmen y Puerto Aventuras. En ambas localidades existen 2 puntos de descargas importantes, mayores a los 4 millones de $m^3/año$. En la mayoría de los puntos de descarga son puntos donde se descargan menos de 2 millones de m^3 de aguas residuales por año (Figuras 60, 61 y 62).

En este punto es importante cuestionarse hacia donde se descarga el agua residual, en este sentido se explica, de acuerdo a datos registrados durante el trabajo de campo, que la disposición final del agua residual con o sin tratamiento es en los mantos acuíferos, en los puntos que se observan en las Figuras 60.



Esta situación que debe atenderse con inmediatez, ya que el agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento del lugar, por lo que se corre el riesgo de ser contaminada por las malas prácticas de descarga de agua residual; a su vez la población residente y turistas, corren el riesgo de contraer enfermedades derivadas del consumo o por el contacto directo por actividades recreativas.

Es de suma importancia brindar por completo el servicio de drenaje y saneamiento a los asentamientos existentes para asegurar la correcta disposición de las aguas residuales y así evitar implicaciones a la salud pública y al turismo. A su vez, se necesita valorar el estado de los sistemas de drenaje para que tengan la infraestructura necesaria para la captación de un mayor volumen de agua y tomar en cuenta el elevado crecimiento poblacional del municipio.

Según el Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación (2011) de la CONAGUA, el municipio de Solidaridad cuenta con seis plantas de tratamiento de aguas residuales; la mayoría ubicadas en la localidad de Playa del Carmen, como se observa en la Tabla 48.

Actualmente se encuentra en construcción la PTAR Cristo Rey, lo que daría un total de siete PTARs en el municipio. Todas las PTAR vierten sus aguas tratadas a algún acuífero (Tabla 41). La planta que tiene mayor capacidad es la de Saastun-Ha, con un caudal tratado de 300 l/s. En conjunto, las plantas estarían tratando un total de 538 l/s, lo cual representa el 57% de su capacidad total. Estos números podrían indicar que las plantas están en condiciones de recibir mayor volumen de agua para su tratamiento, sin embargo, se ha registrado desbordamiento en la planta Bicentenario (Noticaribe, 2023).

Tabla 48. Compendio de plantas de tratamiento de aguas registradas y en funcionamiento para el municipio de Solidaridad

PTAR	Capacidad (l/s)	Caudal tratado (l/s)	Proceso de tratamiento	Cuerpo receptor
Akumal	40	8	Dual	Acuífero
Playa del Carmen I (Gonzalo Guerrero)	45	40	Lodos Activados	Acuífero
Playa del Carmen II (Saastun-Ha)	550	300	Lodos Activados	Acuífero
Playacar	150	90	Lodos Activados	Acuífero
Puerto Aventuras	30	20	Lodos Activados + filtro rociador	Acuífero
Bicentenario	120	80	Lodos Activados + filtro rociador	Acuífero
TOTAL	935	538		

Fuente: Elaboración propia a partir de información extraída en el Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación (2011)

Estos hechos indican que para algunas zonas está siendo insuficiente la capacidad de las PTAR, en contraste, para las PTAR que no cubren su capacidad, podría ser indicador de que no se están colectando todas las aguas residuales de la zona. En 2021, en el estado, se trataron casi el 60% de las aguas residuales generadas, sin embargo, estas cifras no contemplan la generación de los asentamientos irregulares, lo que coloca a Quintana Roo por debajo de la media nacional que fue de 67.5% (CONAGUA, 2023).

Tres de las PTAR instaladas en Playa del Carmen utilizan lodos activados mientras que el resto de las plantas del municipio realizan su procesamiento mediante un proceso dual de lodos activados con tanque séptico, biofiltro o químico avanzado (CAPA, 2011). En 2011, solo el 19.3 % del agua residual tratada en el municipio fue reutilizada, una cifra baja cuando se contrasta con municipios como Benito Juárez donde se reutilizó el 98.7% (CAPA, 2011).

Las PTAR ya construidas podrían modificadas para ampliar su capacidad, sin embargo, es importante desarrollar a la par un plan para la mejora de las instalaciones de drenaje ya construidas y desarrollarlas en las zonas donde no existe cobertura. La contaminación de los cuerpos de agua del municipio puede tornarse en un problema de salud pública que podría impactar el turismo al disminuir la calidad de los cuerpos de agua atractivos para los turistas, como lo son los cenotes.

5.1.4.2 Contaminación del suelo

Según el CENAPRED (2006), podemos entender contaminación del suelo como la incorporación de sustancias no pertenecientes a este rubro como pueden ser la basura, desechos tóxicos, productos químicos y desechos industriales. Esta incorporación puede producir un desequilibrio en los componentes físicos, químicos y biológicos del entorno, lo cual conlleva a afectaciones negativas en la salud del ser humano. En México las principales fuentes de contaminación del suelo son la minería, la explotación del petróleo, las actividades agrícolas, las actividades industriales, las instalaciones de servicios, debido a las fugas y derrames de materiales peligrosos y los basureros a cielo abierto (CENAPRED, 2006).

La disposición final de los residuos sólidos urbanos (RSU) puede darse en rellenos sanitarios, sitios controlados (o rellenos de tierra controlados), y tiraderos a cielo abierto (DOF, 2004). Un relleno sanitario involucra la implementación de métodos ingenieriles con el fin de contener los impactos ambientales y de salud pública; es el mejor lugar para la disposición final de RSU y de manejo especial (Fraume, 2006; DOF, 2004).

Por su parte, los sitios controlados cuentan parcialmente con los requerimientos necesarios para el cumplimiento de las normas, es decir, cumplen con al menos una de las siguientes características: tienen un camino de acceso de uso permanente, los residuos se cubren diariamente, existe un sistema de control de lixiviados, biogás y aguas pluviales (DOF, 2004).

En el peor de los escenarios, los residuos son depositados en sitios clandestinos, que no cuentan con ningún control técnico para la contención de sus impactos, lo que puede derivar en afectaciones al ecosistema y a la salud humana (Fraume, 2006).

En México, solo cerca del 10% de los sitios de disposición final cumplen con los requerimientos básicos de infraestructura y operación (García-Mondragón, 2023), mientras que el 87% son a cielo abierto (INEGI en SEMARNAT).

La mala gestión de los RSU y el establecimiento de tiraderos a cielo abierto (TCA), ponen en riesgo la salud pública ya que atrae fauna nociva, como roedores o cucarachas, los cuales pueden ser portadoras de enfermedades; también exponen a la población al contacto directo con los residuos. Del mismo modo, esta situación representa un riesgo para el ambiente ya que no solo se contamina el suelo, sino también se contribuye a la contaminación del agua y aire, debido a la producción de lixiviados, que se filtran a los mantos acuíferos, y la fuga de gases contaminantes como metano y dióxido de carbono (CENAPRED, 2006).

La Riviera Maya es uno de los destinos turísticos más visitados de todo México. Comprende lugares como Playa del Carmen, Xel-ha y Xcaret, que se encuentran dentro de los límites del municipio de Solidaridad. Si bien el turismo es la principal actividad económica del país, el aumento en la afluencia de personas conlleva a su vez, un aumento en la generación de RSU. Asimismo, hay que considerar la creciente densidad poblacional del municipio, la cual es la tasa más alta del país (Capítulo 4.1), siendo este otro factor importante en que contribuye a la cantidad de RSU generados.



Imagen 19. Relleno sanitario

En Quintana Roo la generación estimada de RSU es de 1,546 t/día (SEMARNAT, 2020) las cuales son principalmente de origen habitacional, y derivados del turismo y comercios (García-Mondragón, 2023), lo anterior colocó al estado dentro de los diez estados con menor generación del país del 2020 (DBGIR SEMARNAT 2020). Sin embargo, para 2022 el gobierno estatal registró un aumento en esta cifra, con un total de residuos de 3,230 t/día, representando un aumento del 108% en tan solo 2 años (SEMA, 2022). El año pasado, el municipio de Solidaridad fue el segundo municipio con una mayor generación de residuos, siendo responsable del 20.2% (655 t/día; SEMA, 2022, MPIOs) del total generado en el estado.

La recolección de los RSU domiciliarios es realizado por el municipio, mientras que los provenientes de centros turísticos son recolectados por una empresa privada (Poresto, 2021). Posteriormente, el confinamiento y disposición final se encuentra a cargo de una empresa que cuenta con la concesión del relleno sanitario (com. pers. Gerente relleno sanitario)

Con relación a la última etapa de la gestión de residuos sólidos, la disposición final, el estado enfrenta la insuficiencia de sitios adecuados y regulados para llevar a cabo esta tarea (SEMA, 2022). Según el Atlas Nacional de Residuos Sólidos, para 2020 se tenían registrados 64 sitios de disposición final en Quintana Roo, de los cuales solo 3 eran rellenos sanitarios (INECC, 2022). Estos se encuentran en los municipios de Solidaridad, Cozumel y Benito Juárez (SEMA, 2022; INECC, 2022). Según el mismo Atlas, la SEMARNAT no tiene registro de otro tipo de sitios de disposición final en el municipio, lo cual se encuentra fuera de la realidad. Cabe mencionar que Solidaridad, es uno de los municipios con mayor número de emisiones de metano en sitios de disposición final (SEMARNAT, 2020).

Pese a contar con rellenos sanitarios que cumplen con la normativa vigente, la SEMA reconoce que la problemática de tiraderos a cielo abierto se extiende en los 11 municipios del estado. La contabilización de tiraderos a cielo abierto puede complicarse debido a que cualquier zona de extensión pequeña o grande puede convertirse en un tiradero, basta con que exista un vertimiento de residuos.

El relleno sanitario de Solidaridad comenzó a funcionar en 2015 y tiene una extensión de 45 hectáreas de superficie. Actualmente cuenta con seis celdas a pesar de que el proyecto original tiene contempladas la construcción total de diez celdas. Cada celda cuenta con una capacidad máxima de 1.4 millones de toneladas de residuos confinados. En abril de este año, después de ocho años de funcionamiento, la sexta y última celda construida del relleno ya está en funcionamiento, por lo que la construcción próxima de las celdas faltantes requiere de una atención urgente para comenzar su construcción.

Según una nota del medio Soy Playense, publicada en 2023, el relleno tiene una afluencia diaria de entre 650 y 750 toneladas de residuos. Por la mañana los residuos son principalmente de origen doméstico, mientras que, durante la noche, el 80% de los residuos recibidos provienen de la zona hotelera (com. pers. Gerente del relleno sanitario). Es

importante señalar que el relleno sanitario también está recibiendo residuos provenientes de la construcción del Tren Maya (Imagen 20), siendo las llantas el principal residuo que reciben (com. pers. Gerente del relleno sanitario). La mala disposición de estos residuos, así como su acumulación, son un factor para la proliferación de mosquitos pues son un potencial criadero.



Imagen 20. Acumulación de llantas en relleno sanitario de Solidaridad

Los 11 municipios del estado cuentan con servicio de recolección de residuos, sin embargo, ninguno realiza una separación en fuente. A pesar de esto, existen 15 centros de acopio para residuos recuperables siendo el vidrio el residuo con mayor volumen recibido en los centros (300 kg; INECC, 2022). En Quintana Roo existe una empresa recicladora de PET, LYBRA S.A de C.V., que recibe subproductos de Solidaridad y Cozumel (SEDUMA, 2009). De los residuos generados, SEMARNAT (INECC, 2022) informa que 42.2% son residuos orgánicos y el 11.4% residuos plásticos. La fracción recuperable con valor monetario como los plásticos, aluminio, metales, papel y cartón, representan el 27.8% del total de residuos generados en el estado, lo que resulta en un total de casi 40% de residuos recuperables que podrían ser aprovechados.

A pesar de que los residuos orgánicos no tienen un valor comercial en sí, éstos pueden ser composteados para su adecuado manejo final, en lugar de simplemente verterlos y desperdiciar sus cualidades nutricionales. Dentro del municipio de Solidaridad cabe destacar el manejo que Xcaret da a su fracción orgánica de los RSU, ya que se les da un tratamiento de compostaje implementando pilas de aproximadamente 1.2m de ancho x4.5 de largo x 0.35m de alto. El compost generado es utilizado como abono para pasto. En situación similar se encuentra Xel-Ha, donde se utilizan composteros de 2 x 2 x 0.6 m (SEDUMA 2009).

Debido a que en el municipio existe una gran cantidad de centros turísticos, sería importante y ejemplar la implementación de un plan de manejo de residuos donde se contemplen las distintas estrategias de manejo según el tipo de residuo, como puede ser el compostaje de residuos, separación in situ para su posterior reciclaje, e incluso promover la reducción de la generación de los mismos, es decir, minimizar el consumismo, con esto, la cantidad de

residuos que lleguen a los sitios de disposición final disminuirán y los rellenos sanitarios alargarán su vida útil.

5.1.4.3 Plagas y epidemias

Una de las principales preocupaciones relacionadas con la presencia de mosquitos del género *Aedes* es que puede ser el portador de enfermedades como el dengue, chikungunya, Zika y fiebre amarilla. Estas enfermedades causadas por arbovirus se les denomina enfermedades transmitidas por vector (ETV; Mejía-Guevara, 2020). En esta sección se hablará de las epidemias presentes en el estado de Quintana Roo, así como las plagas de importancia económica que afectan a los cultivos de la región.

Dengue

El dengue es una enfermedad causada por un virus, el cual puede afectar a personas de todas las edades. Puede presentarse de forma asintomática, leve o evolucionar a un estado grave. Al contraer este virus los síntomas aparecerán de 4 a 7 días. Al presentar dengue leve los síntomas que se presentan son fiebre, dolor intenso de cabeza, dolor detrás de los ojos, dolor en músculos, huesos y articulaciones; vómito, insomnio, náuseas, además de sarpullido. Sin embargo, en algunos casos puede evolucionar a un estado grave causando dificultad respiratoria, convulsiones, sangrado y/o complicaciones graves en los órganos (PAHO, s.f.). Actualmente no existe vacuna ni tratamiento específico para tratar este virus.

Existen cuatro serotipos de la enfermedad, DENV-1, DENV-2, DENV-3 y DEN-V 4. Si una persona contrae la enfermedad por segunda vez, causada por un serotipo diferente al primero que adquirió, aumenta el riesgo de padecer dengue grave lo que pone en riesgo su vida.

Esta enfermedad es transmitida por la picadura de mosquitos hembra de las especies *Aedes aegypti*, y en menor grado *Aedes albopictus*. En México, *Ae. aegypti* se encuentra ampliamente distribuido, contrario a *Ae. albopictus*, el cual sólo se ha registrado en 12 estados, incluyendo Quintana Roo (CDC, 2023; Rodríguez-Martínez, 2023). Estos mosquitos portan el virus causante de la enfermedad, convirtiéndolo en un vector de esta, por lo que una persona no puede contagiar a otra de dengue.

Esta es la enfermedad viral transmitida por vector más frecuente del mundo (CDC, 2023). Se considera una enfermedad estacionaria, presenta un patrón con las estaciones del año ya que suele presentarse, en la mayoría de los casos, en los meses más cálidos y lluviosos, o la segunda mitad del año.

Para ovipositar, las hembras utilizan recipientes comunes en los hogares como tanques, tambos, cubetas y pilas con agua. Durante la época de lluvias los lugares de oviposición se amplían ya que el agua suele estancarse fácilmente en lugares como llantas, botes, macetas o cualquier recipiente que contenga agua limpia. Durante la época de secas, estos lugares

disminuyen, viéndose en la necesidad de buscar más zonas idóneas para ovipositar, por lo que adoptan las cajas de registro de las alcantarillas del drenaje y tuberías de PVC de estacionamientos subterráneos (Mejía-Guevara, 2020).

Para prevenir la enfermedad se recomienda tomar medidas para evitar la picadura del mosquito, como usar ropa que cubra el cuerpo, usar repelente, colocar telas para cubrir la cama, instalación de mosquiteros en ventanas y puertas, evitar zonas con agua estancada y cubrir recipientes con agua.

La incidencia de casos confirmados de dengue en el estado de Quintana Roo ha ido aumentando. Por un lado, 2021 fue el año con menor número de casos registrados de dengue en el estado, pero para 2022, el estado presentó un aumento con 631 casos registrados y 2023 es el año con mayor número de casos registrados (hasta la semana 49) con 4046 casos. A pesar de que en los últimos tres años el municipio de Solidaridad ha tenido una de las tasas más bajas o incluso no ha reportado casos (2021) es importante tomar precauciones para disminuir la exposición de la población a picaduras de mosquito (ver Tabla 49).

Tabla 49. Casos confirmados de dengue en el estado de Quintana Roo

Municipio	2020	2021	2022	2023 (sem 44)
Felipe Carrillo Puerto	23	1	61	369
José María Morelos	10	-	23	295
Bacalar	14	-	-	-
Othón P. Blanco	43	-	-	633
Lázaro Cárdenas	-	3	-	-
Benito Juárez	-	8	414	-
Tulum	-	-	15	115
Resto de municipios	138	NA	118	2634
Total de casos	228	12	631	4,046

Fuente: Elaboración propia con información tomada del panorama epidemiológico de dengue de la SSA para los años correspondientes.

En lo que va del 2023, el informe semanal del Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica, señaló que Quintana Roo concentra 4,046 casos de todo el país, lo que representa el 9.52% de casos confirmados hasta la semana 44. Esto lo coloca como el tercer estado con el mayor número de casos (SSA, 2023). Aunado a la alta incidencia de casos en la entidad, según el mismo informe, se han reportado los cuatro serotipos del dengue, aumentando la preocupación.

Como se mencionó anteriormente, la temperatura y humedad son factores microclimáticos que influyen en el desarrollo, la dinámica poblacional (Barrera et al, 2011) y la capacidad como vector del mosquito *Ae. Aegypti*, así que los lugares con clima cálido húmedo son los preferidos para su reproducción. El clima cálido subhúmedo que existe en la mayor parte de

la superficie del estado de Quintana Roo es determinante para la proliferación de estos mosquitos. Con relación a la humedad, esta aumenta durante la temporada de lluvias. A pesar de que las lluvias se presentan todo el año, durante los meses de junio a octubre son más abundantes en la Figura 63 se tiene el mapa de la distribución de las variables de precipitación y temperatura para el municipio de Solidaridad.

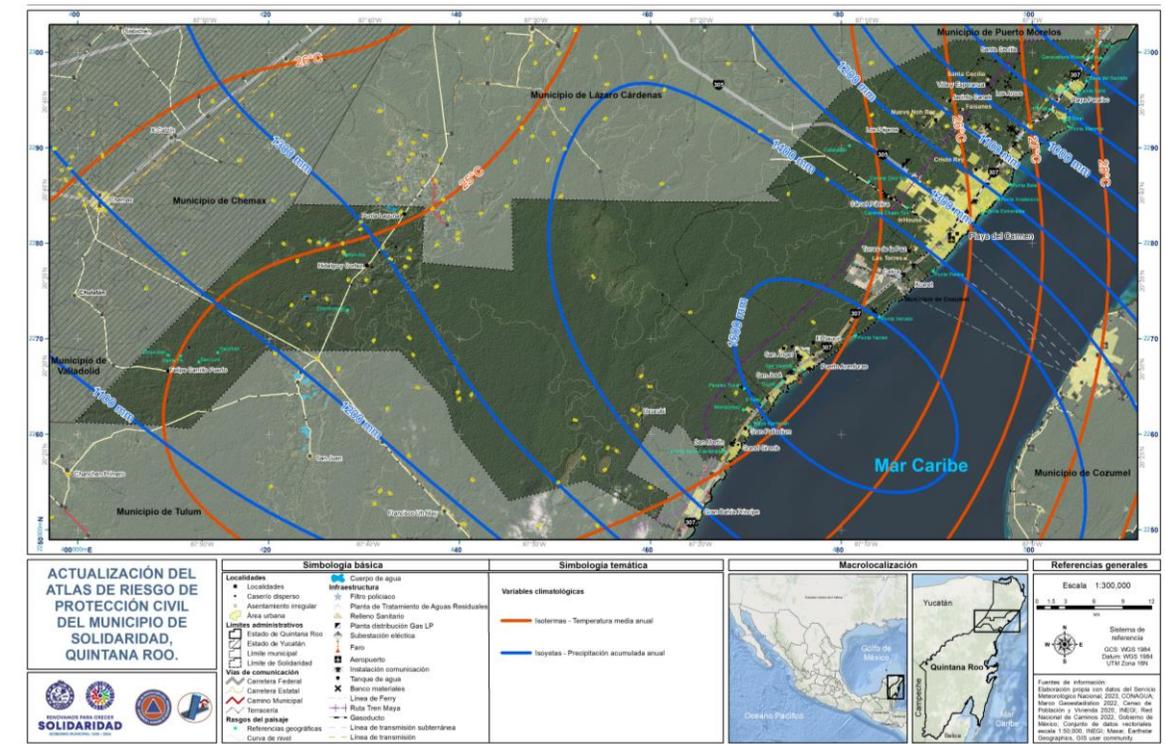


Figura 63. Mapa de precipitación y temperatura del municipio

La temperatura media anual del estado de Quintana Roo es de 26°C, encontrándose dentro del rango óptimo para el desarrollo de *Ae. Aegypti*, el cual oscila de los 25 a 29°C. La temperatura máxima promedio del estado es de 33°C para los meses de abril a agosto, favoreciendo la reproducción del mosquito, la cual es óptima a temperaturas menores a los 35°C (Farnesi et al, 2009) sin embargo se ha registrado reproducción hasta los 39°C (Espinoza Gómez, 2001). En contraste, la temperatura mínima es de 17°C durante el mes de enero, la que entra dentro del intervalo fisiológico de la especie que comprende de 12 a 35°C (Farnesi et al, 2009).

Plagas

La agricultura no representa una de las principales actividades económicas del municipio, de hecho. Por otro lado, la actividad turística de la región es un factor que puede influir en la introducción de plagas exóticas del lugar, así que se destaca la importancia de establecer un

monitoreo constante de plagas forestales, ya que el municipio cuenta con una superficie forestal de más de 150 mil ha, que representa una superficie mayor al 73%.

Actualmente una de las plagas a las que se enfrenta el municipio es la del ácaro rojo de las palmas (*Raoiella indica*), la cual se cree pudo haber sido introducida por la actividad comercial o turística. Este insecto afecta plantas de cocotero, palma de aceite, plátano, entre diversas palmas ornamentales; también es llamada ácaro del coco, ácaro rojo del cocotero, falsa arañuela chata, ácaro rojo de las palmeras entre otros. Esta plaga se registró por primera vez en Quintana Roo en 2009 extendiéndose ya por todo el sureste mexicano (SENASICA, 2015). En 2021, esta plaga generó que se emitiera una notificación de saneamiento forestal en el ANP Parque Nacional Isla Contoy en Isla Mujeres.

En el municipio de Solidaridad existen las condiciones de temperatura ideales para su desarrollo, ya que requiere de una temperatura promedio de 24.2 °C en verano y 17.9°C en invierno. En Quintana Roo se ha registrado su presencia en los 11 municipios del estado, pero en mayor proporción a Isla Mujeres, Benito Juárez, Lázaro Cárdenas, Cozumel, Solidaridad y Tulum. Algunas veces sus síntomas pueden ser confundido con deficiencias nutricionales de la planta ya que se manifiesta a través de amarillamiento de las hojas, muerte del tejido vegetal y caída de flores y frutos pequeños, por lo que la detección y vigilancia debe de ser una tarea permanente.

El ácaro rojo de las palmeras representa una amenaza para la región pues las distintas especies de palmeras que afecta son parte del atractivo visual de la zona, sin embargo, también pueden ser utilizadas para la construcción de techos de casas en zonas rurales, para las estructuras de las palapas e incluso como estructuras para trampas de langosta (CICY, 2010). Algunas de las especies de mayor importancia en las que se ha registrado daño por esta plaga son palma ch'iit (*Thrinax radiata*) y Nacax o xnak'as (*Coccothrinax readii*), catalogadas en la Nom-059-SEMARNAT-2010, con estatus de protección y amenazada, respectivamente.

Uno de los mayores peligros que representa esta plaga es la amenaza a estas palmeras protegidas, ya que en el caso de la palma chiit, es nativa de la península de Yucatán y su presencia se puede ver amenazada por la plaga. En el municipio de Solidaridad se tiene registro del ácaro en el Área de Protección de Flora y Fauna, en el Santuario de la Tortuga Marina Xcacel – Xcacelito.

Otra de las plagas relevantes de la zona es el defoliador *Automeris moloneyi*, que ataca especies de mangle, pero también de palma (García-García, L. D et al, 2022; CONAFOR, 2022). A pesar de que el municipio cuenta con baja cobertura de manglares (0.6-5.5%) representan zonas de riesgo para el establecimiento de la plaga.

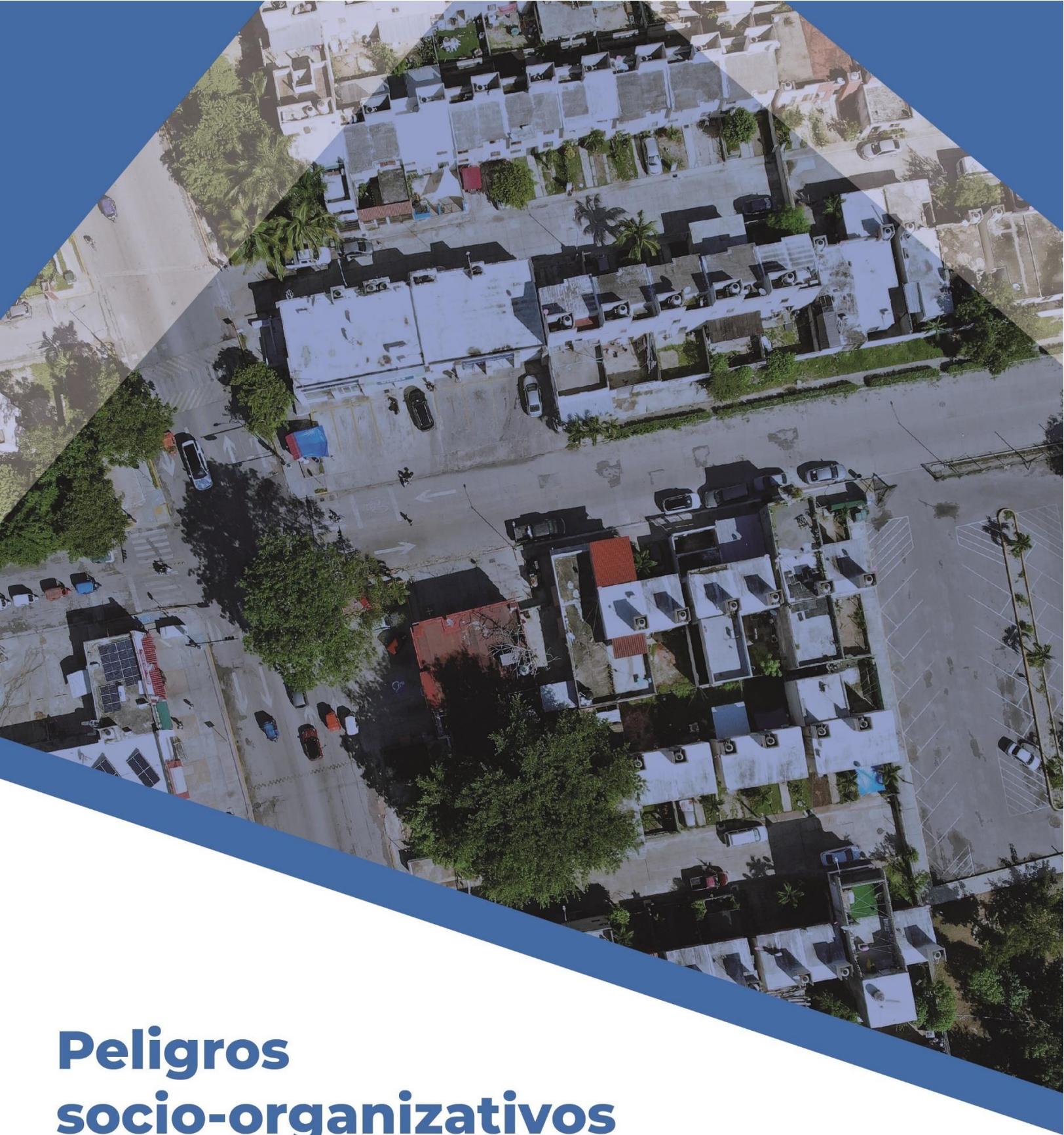
Quintana Roo destaca por ser uno de los principales productores de maderas preciosas como la caoba (*Swietenia macrophylla*) y el cedro rojo (*Cedrela odorata*), pues representa el 22.9%

del volumen total producido en el país, solamente superado por Veracruz (SEMARNAT, 2018).

Con relación al valor de la producción de estos recursos maderables, Quintana Roo fue la entidad con mayor aportación en el valor de la producción (36.6%); dicha producción alcanzó los 35.9 millones de pesos. Los barrenadores de importancia presentes en el estado son *Chrysobothris yucatanensis* y *Hypsipyla grandella*, los cuales afectan meliáceas. Específicamente, el coleóptero *Chrysobothris yucatanensis* solo ataca al cedro *Cedrela odorata*, mientras que *Hypsipyla grandella* ataca caobas (*Swietenia* spp) y cedros, lo que podría representar pérdidas económicas importantes en terrenos forestales.

Estas plagas tienen una incidencia muy alta en las plantaciones de caobas y cedros. Los daños causados por *Chrysobothris yucatanensis* en plantaciones de cedro pueden causar la muerte en 45% de las plántulas, mientras que en adultos este porcentaje disminuye a 20% (CONAFOR, s.f.). Por su parte, *Hypsipyla grandella* es la plaga más relevante en plantaciones de caoba y cedro ya que limita el crecimiento y puede llevar a la muerte del ejemplar.

El monitoreo sanitario adecuado y constante es de suma importancia para la prevención de enfermedades y su tratamiento oportuno, a pesar de ello, para 2021 no existían rutas de monitoreo en el municipio, tampoco para Tulum ni Benito Juárez a pesar de contar con el registro de las plagas anteriormente mencionadas. Es crucial establecer estas rutas de monitoreo para comenzar con el registro adecuado y la implementación de acciones preventivas y curativas.



Peligros socio-organizativos

5.1.5

5.1.5 Peligros socio-organizativos

De acuerdo a la Ley General de Protección Civil (2021), los fenómenos socio-organizativos son un agente perturbador que se genera por errores humanos o 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 o infraestructura estratégica. Para el municipio de Solidaridad, se describen a continuación la susceptibilidad de peligros socio-organizativos.

5.1.5.1 Concentración masiva de población

En el municipio de Solidaridad, arriban un número considerable de turistas al año que se distribuyen en diferentes épocas, principalmente en las temporadas de verano e invierno. En este sentido se identificaron los principales centros de concentración masiva de acuerdo con el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE, 2023) y a los datos recabados durante el trabajo de campo. En las Figuras 63 y 64, se tienen los mapas de la distribución geográfica de los lugares de concentración masiva para Playa del Carmen y Puerto Aventuras.

En estos mapas se tienen bares, cantinas, centros nocturnos, discotecas, plazas comerciales, corredores turísticos, mercado público, parques recreativos, playas, unidades deportivas, pasajes, y andadores comerciales. Así como sitios específicos donde en ciertas fechas se reúne un número significativo de personas como el recinto ferial, evento anual de motocross y los promotores de espectáculos.

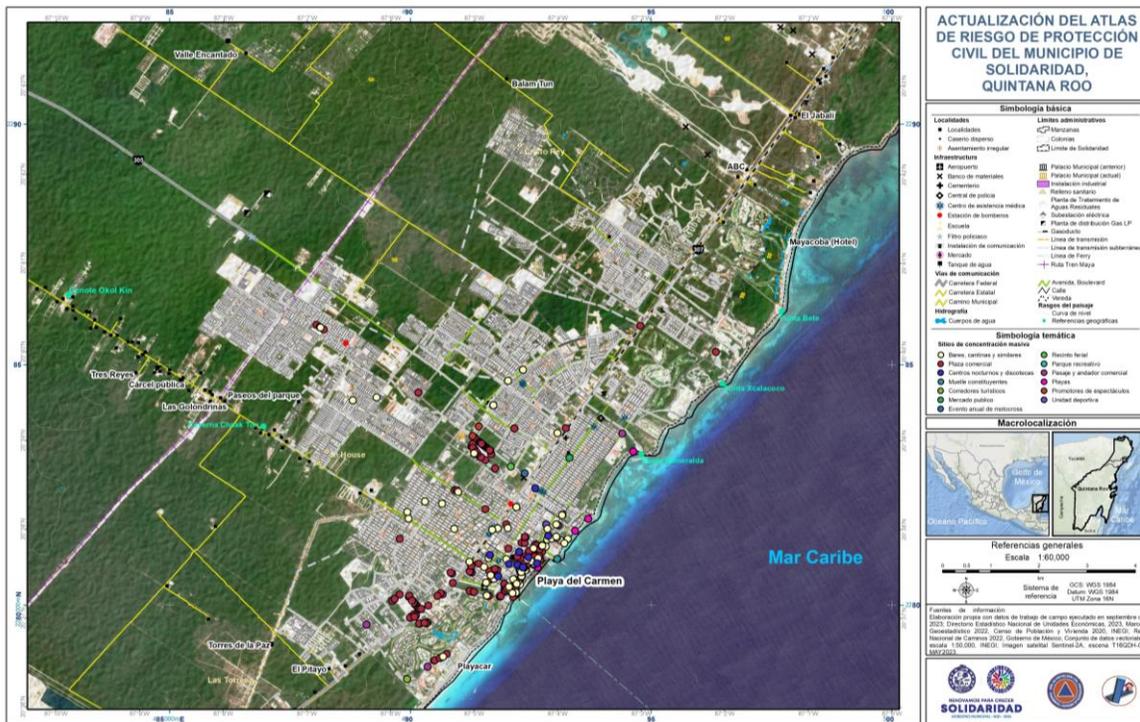


Figura 63. Sitios de concentración masiva en Playa del Carmen



Figura 64. Sitios de concentración masiva en Playa del Carmen

Para el caso de la localidad de Playa del Carmen, se observa que los lugares de concentración masiva se encuentran principalmente en el centro de la ciudad, cerca de los hoteles y también de las playas, mientras que para la localidad de Puerto Aventuras, los lugares de concentración masiva son en menor número y se encuentran dispersos.

De acuerdo con los reportes de los guardavidas en el verano de 2023, arribaron a las playas 384,400 personas, de acuerdo a los puntos de control instalados en Playa Mamitas, Playa Punta Esmeralda y Playa Fundadores. Es importante mencionar que se cuenta con personal para salvaguardar las playas, que es uno de los principales atractivos turísticos, quienes están capacitados para atender emergencias de los visitantes. Las acciones realizadas durante el operativo vacacional de verano 2023 consistieron en lo siguiente.

81 llamadas de atención, 16 atención de primeros auxilios, 17 piquete de erizo, 10 atención de heridas, 5 piquetes de agua mala, 7 piquetes de manta raya, 1 piquete de pez piedra, 4 extraviados, 5 salvamentos acuáticos, 3 apoyo de seguridad pública, 3 apoyo para salir del mar, 2 detenidos por seguridad pública, 2 piquetes de abeja, 1 ahogado fuera de horario, 1 traslado de ambulancia y 1 eclosión de tortuga (PC Solidaridad, 2023).

En lo que respecta a la fiesta patronal, con el propósito de celebrar a la Virgen del Carmen, en el mes de julio se reúnen miles de personas en el recinto ferial de la ciudad para festejar.



Imagen 21. Fiesta patronal de la Virgen del Carmen

De acuerdo con el reporte del festejo 2023, en el recinto ferial se llevaron diferentes actividades culturales, artísticas donde arribaron un total de 141,622 personas del 09 al 16 de julio. Del reporte se derivan las siguientes cifras.

44 menores extraviados, 8 lesionados, 1 convulsionado, 7 con náuseas/mareo, 4 crisis nerviosas, 2 mordedura de perro, 5 juegos mecánicos dañados, 2 fugas de gas, 4 picaduras de abeja, 6 llamadas de atención, 3 robos, 2 olor a quemado, 6 presión alta/baja (PC Solidaridad, 2023).

5.1.5.2 Amenaza de bomba

Dentro de los peligros socio-organizativos, se consideran las amenazas de bomba debido a que los sistemas expuestos por una explosión de este tipo son considerables. En el año 2021, se tiene el registro de por lo menos 4 amenazas de bomba registradas en diferentes puntos de Playa del Carmen, los que se describen a continuación.

El 25 de mayo de 2023 fue reportada una maleta durante un recorrido de vigilancia municipal en la avenida 40 y calle 74 de la Colonia Colosio. Dicha maleta contenía un mensaje en una hoja de papel con el texto “Bomba Activada Peligro”, de manera inmediata se procedió una movilización de las autoridades de todos los ámbitos de gobierno. Al lugar acudieron la policía preventiva, Protección Civil, Bomberos, Secretaría de Marina, Guardia Nacional, Fiscalía General del Estado, Ejército Mexicano y la Cruz Roja. Después de una exhaustiva

inspección de la Unidad Antiexplosivos de la Secretaría de la Defensa Nacional, se determinó que se trataba de un artefacto de manera casera y fue incinerado bajo condiciones de seguridad (Monitor online, 2023).



Imagen 22. Amenaza de bomba en la colonia Colosio

Por otra parte, se tiene registro de una amenaza de bomba en un complejo turístico denominado “Sandos Caracol”, localizado en el norte de Playa del Carmen, en donde acudieron elementos de la Secretaría de la Seguridad Pública, sin embargo, les denegaron el acceso, afortunadamente fue una falsa alarma (La Pancarta, 2023).

También se tiene registro de amenaza de bomba por parte de un ciudadano iraquí, en un establecimiento de tiendas de conveniencia denominado Oxxo, ubicado en la Avenida 28 esquina con Boulevard Playa del Carmen. El sujeto bloqueó la salida del establecimiento y amenazó a los trabajadores de hacerla explotar, lo que generó la movilización de fuerzas policiales, quienes lo arrestaron por faltas administrativas. Durante esta situación, varios testigos se acercaron de manera irresponsable a pesar de no saber con certeza si estaba dispuesto a hacerla estallar (Por esto, 2023).

Por último, se expone el registro de una amenaza de bomba el 27 de octubre del presente en las instalaciones de la Dirección General de Seguridad Pública y Tránsito de Solidaridad, en donde se movilizaron las autoridades de Protección Civil, Prevención de Riesgos y

Bomberos, finalmente descartaron la posibilidad de la existencia de una bomba (La Pancarta, 2023). En Figura 65 se tiene la distribución geográfica de dichas amenazas de bomba.

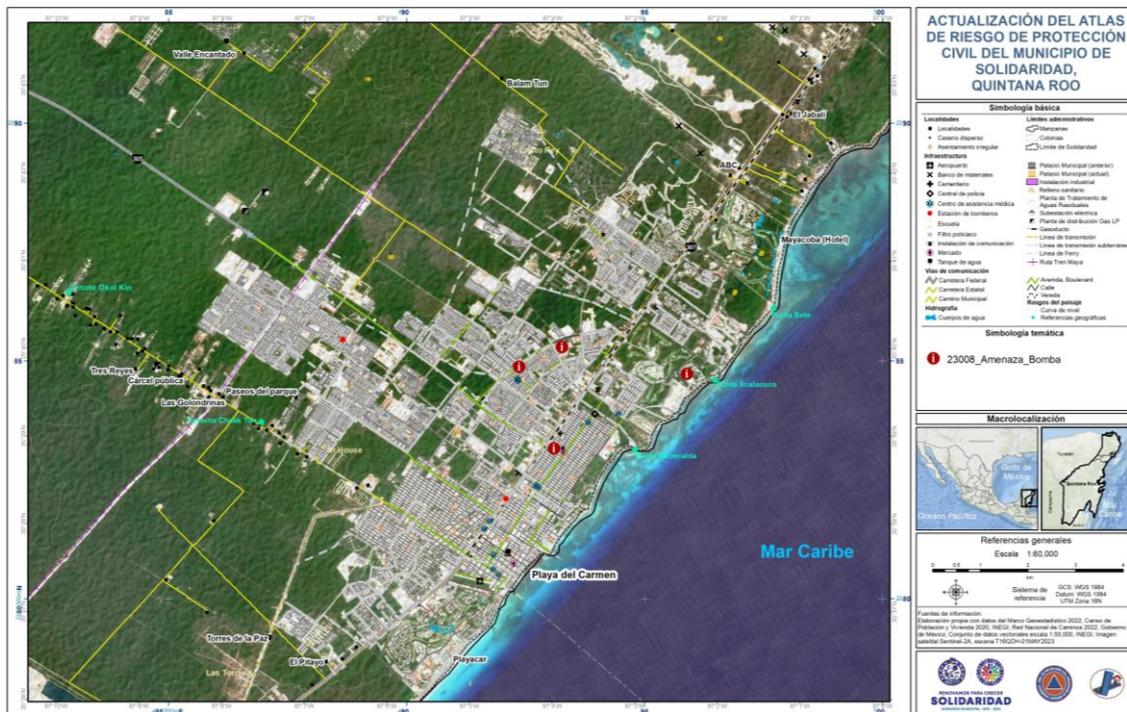


Figura 65. Susceptibilidad por amenaza de bomba en Playa del Carmen

5.1.5.3 Accidentes terrestres, aéreos y marítimos

Los accidentes terrestres son comunes, las causas principales son cansancio, conducir en estado de ebriedad y exceso de velocidad, lo que pueden ocasionar un número considerable de lesionados e incluso la muerte (CENAPRED, 2023).

Se analizaron fuentes hemerográficas para el municipio de Solidaridad, así como los datos proporcionados del registro del H. Cuerpo de Bomberos, donde se destaca que la vía de comunicación terrestre donde se registran con mayor frecuencia los accidentes automovilísticos son en la carretera federal que va de Playa del Carmen hacia Tulum, debido principalmente a dos factores, exceso de velocidad y precipitaciones.

También se tienen accidentes terrestres frecuentes en la traza urbana de Playa del Carmen, principalmente en la vialidad denominada Arco Vial, así como en la avenida Luis Donaldo Colosio. Los accidentes de tránsito generalmente han consistido en colisiones entre automóviles particulares, de automóviles hacia motocicletas, camiones de carga hacia automóviles e incluso autobuses.

En los registros de 2022 y 2023, se destaca la ocurrencia de un accidente ocurrido en la carretera que va de Playa del Carmen hacia Tulum, un camión de carga a exceso de velocidad cambió de carril de manera repentina, por lo que el conductor de un autobús que transportaba a trabajadores del parque Xcaret en el carril de baja velocidad no tuvo tiempo de maniobrar

y se generó un accidente que dejó a 14 pasajeros heridos (Diario Por esto, 2023). De acuerdo con la revisión realizada, en los últimos dos años, se han registrado 4 decesos por accidentes terrestres. En la Figura 66 se tiene el mapa de accidentes terrestres, aéreos y marítimos.

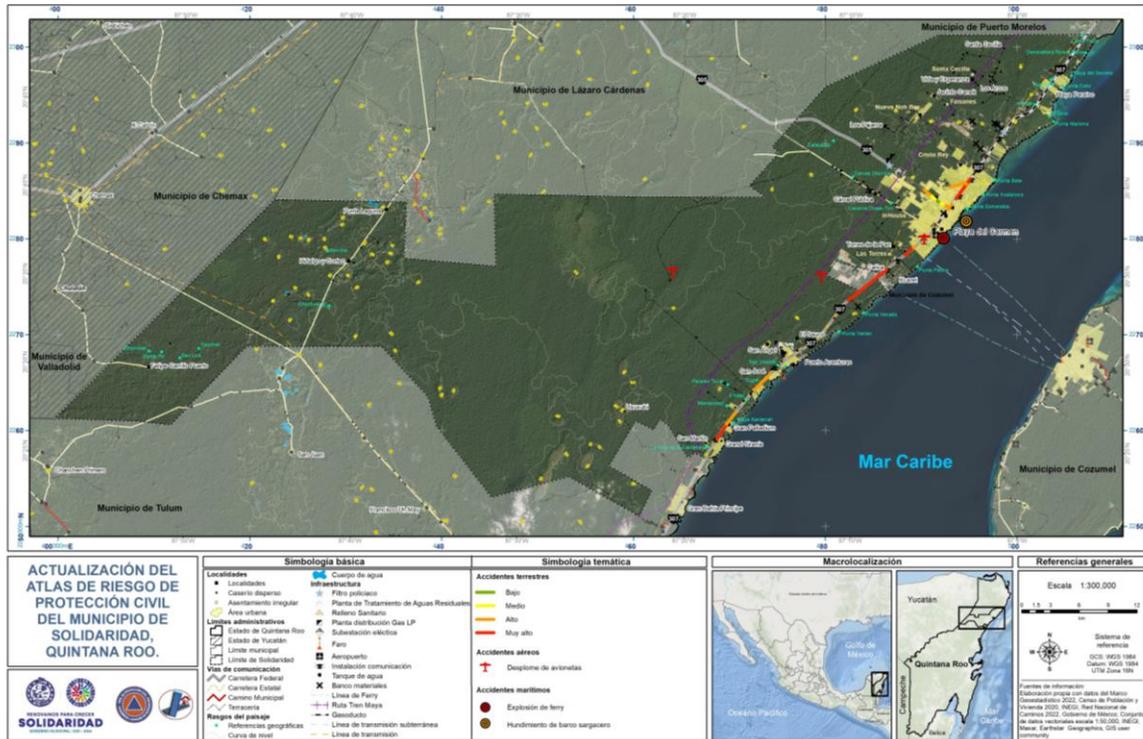


Figura 66. Mapa de accidentes terrestres, aéreos y marítimos

También en la Imagen 23, se tiene una evidencia fotográfica de un periódico local, de un accidente en la carretera Playa del Carmen – Tulúm.



Imagen 23. Accidente en carretera Playa del Carmen – Tulum por exceso de velocidad y lluvia, abril de 2022

Por otra parte, se encontraron registros de accidentes aéreos, debido a que en la ciudad de Playa del Carmen se cuenta con una pista de aterrizaje en las inmediaciones de la mancha urbana. Los registros encontrados se encuentran en la Tabla 50.

Tabla 50. Registro de accidentes aéreos en Solidaridad

Fecha	Lugar de los hechos	Causa	Lesionados
20 – 12 – 2018	Inmediaciones de Calica	Desplomo de avioneta	3
21 – 12 – 2017	Zona selvática entre Xpu ha y Calica	Falla de motor en avioneta	5
26 – 03 – 2013	Boulevard Playa del Carmen	Falla de motor en avioneta	1

Fuente: Diversos periódicos

Entre los accidentes aéreos, destaca uno por el mayor número de lesionados, se trata de una avioneta que llevaba a una familia de extranjeros con dirección al estado de Yucatán, el motor presentó fallas y afortunadamente no hubo pérdidas humanas (Las noticias de Tulum, 2017).



Imagen 24. Accidente aéreo en el boulevard playa del Carmen, en marzo de 2013

En la Imagen 24 se observa una avioneta en las inmediaciones del boulevard Playa del Carmen, accidente ocurrido en el año 2013, lo que muestra que este tipo de accidentes puede volver a ocurrir, por lo tanto, es importante poner atención en las trayectorias de vuelo para identificar los sistemas expuestos.

Por su parte, también se identificaron dos accidentes marítimos en el municipio de Solidaridad. Uno de ellos ocurrió en el año 2021 y se trata del hundimiento de un barco recolector de sargazo en las inmediaciones marítimas de Solidaridad, afortunadamente se realizaron labores de rescate y no hubo pérdidas humanas.

Otro accidente marítimo relevante fue el ocurrido en el mes de febrero de 2018, en la que se registró la explosión de un ferry, en el que hubo 18 lesionados en el muelle turístico que va hacia la isla de Cozumel. En la Imagen 25 se puede observar algunas de las afectaciones provocadas.



Imagen 25. Explosión de Ferry en Playa del Carmen, febrero de 2018

Por último, es imprescindible destacar la operación y puesta en marcha del Tren Maya que está próximo a inaugurarse, su curso transita por todo el municipio de Solidaridad. Es importante observar que al norte de la colonia Villas del Sol, el tren tiene paso por las inmediaciones hacia donde está creciendo la traza urbana.

De acuerdo con los datos reportados en el capítulo IV sobre la tasa de crecimiento de la mancha urbana, así como la delimitación del programa de ordenamiento ecológico territorial vigente del municipio, es de suma importancia prever acciones para evitar accidentes ferroviarios.

Además, como se analizó en el capítulo 5.1.1.1, existe peligro de erosión kárstica al intervenir el subsuelo del territorio municipal, así que la propuesta de un tren elevado, que disminuye los accidentes por arrastre, también podría presentar el peligro de que sus columnas puedan ser colisionados y provocar accidentes. En la Imagen 26 se observa la estructura elevada del tren maya, también se observa como su trazo pasa por las inmediaciones de una colonia popular de Playa del Carmen.



Imagen 26. Trazo de tren maya en las inmediaciones de la colonia Villas del Sol



Vulnerabilidad 5.2

5.2 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad puede ser analizada desde diferentes perspectivas como física, estructural, social, política, tecnológica, ideológica, cultural y educativa, ambiental e institucional. Su origen está asociado directamente a la interacción humana con la naturaleza (Caballeros & Zapata, 2000).

Estudiar la vulnerabilidad es importante para el desarrollo de una región y hace necesario disponer de mecanismos para evaluarla y así mitigar los efectos de fenómenos naturales, desarrollando medidas preventivas, fortaleciendo con ello la capacidad de la región para minimizar con ello la pérdida económica y social (Pérez, 2012; Sánchez & Egea, 2011).

Las condiciones vulnerables de una región dependen del proceso de poblamiento, de su antigüedad y de las formas de ocupación del entorno que se habita, y modifican a su vez las condiciones amenazantes, en conexión con procesos climáticos, económicos y políticos a escala regional y global (Vidal, 2007). Para el municipio de Solidaridad, es de especial importancia analizar a la vulnerabilidad desde las perspectivas, social, física y estructural.

5.2.1 Vulnerabilidad social

La vulnerabilidad social se entiende como el nivel específico de exposición y fragilidad que sufren los grupos humanos de un lugar ante eventos peligrosos, en función de un conjunto de factores socioeconómicos, institucionales, psicológicos y culturales que determinan su capacidad de enfrentar acontecimientos. La vulnerabilidad social acentúa el efecto de los denominados desastres en el proceso de desarrollo, mientras que el grado de ésta determina el grado de resiliencia ante las catástrofes naturales (Sánchez & Egea, 2011).

Resulta complejo entender y determinar los factores que explican las razones por las cuales las personas, comunidades o grupos tienen una mayor capacidad para enfrentar situaciones de desventaja social, además es necesario investigar las desventajas sociales y ambientales a partir de entender los riesgos y efectos a distintas escalas (Sánchez & Egea, 2011).

El estudio de la vulnerabilidad social se ha sustentado en el desarrollo de diversas metodologías que buscan representar de manera cuantitativa, la información cualitativa; para realizar el cálculo de la vulnerabilidad social se desarrollaron dos metodologías, en primer lugar, la propuesta por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2021a), en la cual determina que la vulnerabilidad social es consecuencia directa del empobrecimiento, el incremento demográfico y de la urbanización acelerada sin planeación, dicha metodología ofrece una serie de variables a tomar en cuenta para realizar el cálculo del índice de vulnerabilidad social, estas variables se agrupan en tres secciones, la primera se basa en conocer las condiciones sociales y económicas de los individuos, la segunda consiste en conocer la capacidad de prevención y respuesta por parte de las autoridades y finalmente la tercera donde se busca conocer la percepción local del riesgo.

Con el fin de ampliar la información necesaria y calcular el índice de vulnerabilidad social, se optó por la metodología propuesta por (Thomas, 2013), la cual analiza diversas metodologías realizadas en estudios anteriores y toma de ellas las variables más importantes de cada una para formar una metodología más completa, esta metodología asigna valores ponderados a cada una de las variables después de realizar un análisis de componentes principales (Tabla 51).

Tabla 51. Variables utilizadas para calcular el índice de vulnerabilidad social

Población Dependiente (PD)	Informalidad de la localidad (IB)
Grado de Concentración de la población (CP)	Conocimiento de individuo (CA)
Actividad Antrópica Instalada (AA)	Percepción del individuo (PA)
Ingresos (IFD)	Conocimiento histórico (CH)
Nivel de escolaridad (NE)	Existencia de planes de prevención (PPC)
Informalidad de la vivienda (IV)	Respuesta de la comunidad (RHC)

Fuente: (Thomas, 2013)

Las variables mencionadas son agrupadas en 4 niveles de exposición:

Nivel de exposición por localización poblacional (NELP)

$$PD + CP + AA$$

Nivel de exposición por condiciones socioeconómicas (NECS)

$$IFD + NE + IV + IB$$

Nivel de exposición por empatía con la amenaza (NEEA)

$$CA + PA + CH$$

Nivel de organización por organización institucional frente a la amenaza (NOIA)

$$PPC + RHC$$

Al agruparlas en niveles de exposición, los resultados son multiplicados por los valores ponderados de cada grupo y se realiza una sumatoria.

$$NELP = 0.615PD + 0.438CP + 0.789AA$$

$$NECS = 0.989IFD + 0.989NE + 0.980IV + 0.980IB$$

$$NEEA = 0.886CA + 0.398PA + 0.998CH$$

$$NEOI = 0.997PPC + 0.997RHC$$

Para finalmente obtener el índice de vulnerabilidad social, se suman los valores de los grupos multiplicados por su valor ponderado:

$$IVSA = 0.982 \text{ NELP} + 0.322 \text{ NESC} + 0.927 \text{ +NEEA} + 0.994 \text{ NEOI}$$

El índice de vulnerabilidad social se clasifica de la siguiente manera:

Baja (Mayor a 15)

Media (Mayor a 12 y menor-igual a 15)

Alta (Mayor a 9 y menor-igual a 12)

Muy alta (Menor-igual a 9)



Esta metodología, al igual que la propuesta por CENAPRED brinda las encuestas a aplicar y basadas en ellas, se levantaron encuestas en las localidades de Playa del Carmen y Puerto Aventuras, concretamente en las colonias Villas del Sol, Misión de las Flores, Galaxia del Carmen 2, Zazil Ha, Colonia Ejidal, Gonzalo Guerrero, Las Palmas 2, Villas de Rivera, Guadalupana Peten, Luis Donald Colosio, Nicté Ha, Cristo Rey, Nuevo Noh-Bec, Bella Vista y Faisanes, con el objetivo de obtener la mayor información necesaria. Aunado a ello, se identificaron las zonas donde históricamente han existido problemas de encharcamientos, inundaciones o socavones, y con el apoyo de la Secretaría de Protección Civil del municipio de Solidaridad se complementó la información.

En total se aplicaron 110 encuestas a habitantes de las colonias antes mencionadas, cada encuesta se aplicó a cualquier persona mayor de 18 años que viviera en la zona y cada vivienda encuestada se georreferencio. Asimismo, se aplicaron encuestas a las autoridades municipales de Protección Civil y Bomberos, autoridades de la alcaldía de Puerto Aventuras y 49 a representantes locales de cada colonia, para identificar las zonas más propensas a peligros.

De las encuestas aplicadas, se obtuvo que, de las 110 viviendas encuestadas, 19 tenían una vulnerabilidad alta, 82 una vulnerabilidad media y 8 una vulnerabilidad baja; para la elaboración de la cartografía se procedió a realizar mediante el programa *ArcMap* una interpolación con el método *Spline with barriers*, combinándolo con un análisis de datos del INEGI sobre datos de población y de acceso a los servicios.

De acuerdo con las autoridades de Protección Civil y para el caso concreto de la zona turística, los hoteles se encargan de preparar y acondicionar auto-refugios, así como de capacitar al personal para que, en caso de un evento meteorológico severo, los turistas no corran ningún peligro, por ello se puede considerar a los hoteles como zonas de baja vulnerabilidad.

A continuación se describen los resultados para ambas localidades.

Playa del Carmen

La mayor parte de la cabecera municipal presenta un nivel de vulnerabilidad medio, incluyendo las colonias más pobladas como Ejidal y Luis Donaldo Colosio, estas colonias asentadas en la cabecera municipal, presentan acceso a los servicios básicos de agua, luz, alumbrado público, y una buena condición económica, la población presenta un conocimiento histórico e individual adecuado a pesar de que recientemente no se han visto en una situación de peligro grave, el último huracán que causó mayores afectaciones fue *Wilma* en el 2005, evento recordado por los habitantes de las colonias más antiguas que les dio la preparación y el conocimiento para poder enfrentar la amenaza, recientemente los huracanes *Gamma* y *Delta* impactaron la Riviera Maya, incluyendo Playa del Carmen y gracias a la preparación en el municipio no se presentaron mayores afectaciones, la población tienen conocimiento de las amenazas que pueden presentarse en su municipio, han realizado adecuaciones en su vivienda y en su mayoría pueden ubicar a los albergues cercanos a sus domicilios, a diferencia de otros municipios en el país.

Las condiciones sociodemográficas de la población en el municipio son más homogéneas por lo que los niveles de vulnerabilidad son determinados principalmente al conocimiento o desconocimiento de las amenazas que se pueden presentar, la población que tiene más tiempo viviendo en el municipio sabe cómo actuar y presenta una mayor disponibilidad para prepararse y cooperar en el caso de evacuación, caso contrario a las zonas más recientes, en la periferia de la cabecera municipal y en las zonas donde no se han presentado ninguna afectación en tiempos recientes, en estas zonas la población tiende a ser indiferente ante la amenaza, buena parte de la población no nació en el municipio y tienen pocos años de habitar su vivienda.

Los niveles de alta vulnerabilidad se presentan en los asentamientos irregulares, como lo son In-House, Las Torres, Cristo Rey y Nuevo Noh-Bec, estas zonas están pobladas por habitantes principalmente foráneos, con ingresos económicos menores y con acceso a la información por parte de las autoridades municipales limitadas, debido a la irregularidad del asentamiento, al ser zonas irregulares, el acceso a los servicios básicos es limitado y la organización y la atención ante la amenaza queda a responsabilidad del mismo asentamiento.

Los niveles de baja vulnerabilidad se presentan principalmente en la zona hotelera de la cabecera municipal, en esta zona la preparación ante la amenaza queda a responsabilidad de los hoteles, los cuales cuentan con todos los servicios y preparación adecuada, otra zona donde la vulnerabilidad presenta un nivel bajo es en la zona de Villas del Sol, esta colonia a pesar de ser de reciente creación y ser la zona de mayor crecimiento, cuenta con población más preparada, con conocimiento suficiente de las amenazas y una buena condición económica (Figura 67).

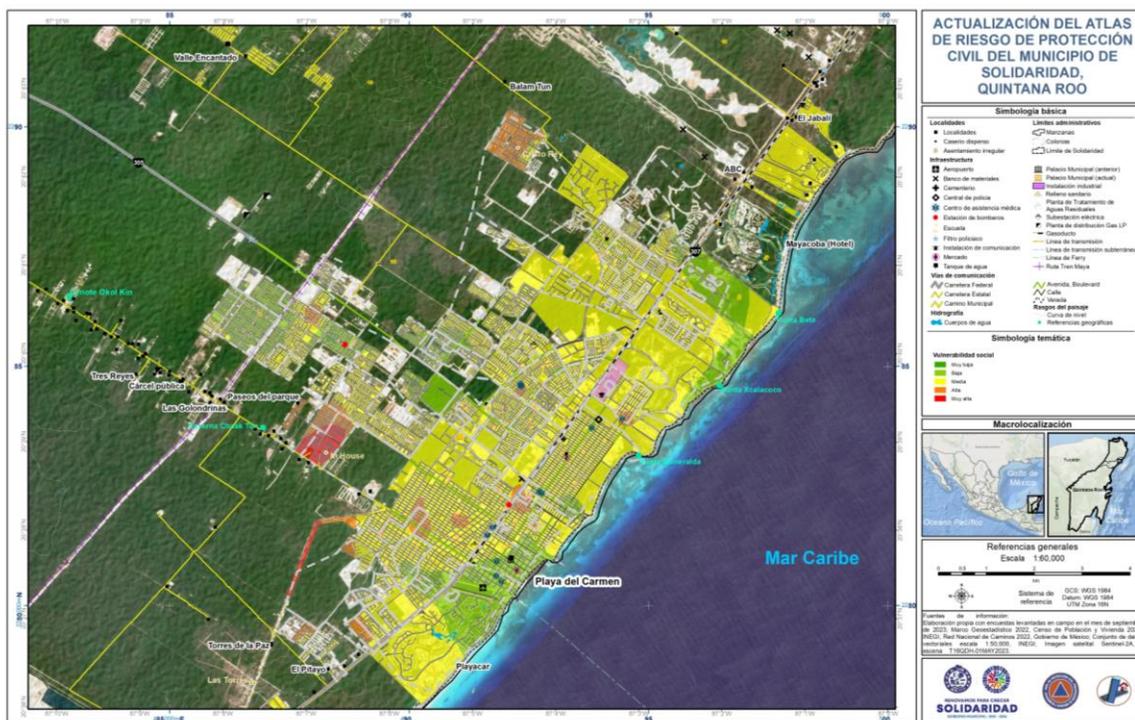


Figura 67. Vulnerabilidad social en Playa del Carmen.

Puerto Aventuras

En el caso de la localidad de Puerto Aventuras la situación es similar, la zona donde se ubica la localidad presenta un nivel de vulnerabilidad medio, cuentan con acceso a los servicios básicos, aunque su conocimiento histórico es limitado ya que la mayor parte de la localidad se desarrolló después del huracán *Wilma* por lo que no han vivido una amenaza grave; su conocimiento individual es adecuado a pesar de que la mayor parte de la población es foránea, debido a las capacitaciones que reciben en los hoteles.

Las zonas de alta vulnerabilidad se presentan en los asentamientos irregulares ubicados en la periferia de la localidad, como lo son Las Torres, Monte Sinaí y El Sauce, dichos asentamientos, presentan acceso restringido a los servicios y una comunicación con las autoridades municipales limitado debido a la condición de irregularidad del asentamiento.

Las zonas de baja vulnerabilidad, al igual que en Playa del Carmen se presentan en la zona hotelera, ya que en dichas zonas los hoteles son los encargados de capacitar a su personal y realizar las adecuaciones necesarias para enfrentar las amenazas que puedan presentarse (Figura 68).

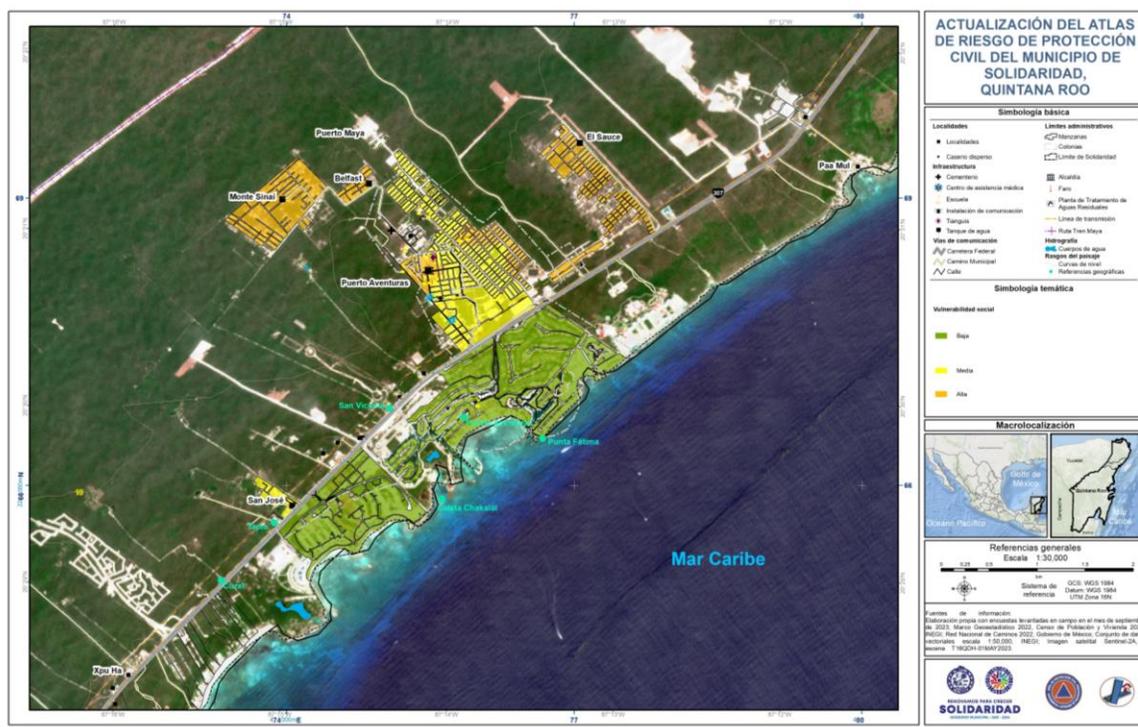


Figura 68. Vulnerabilidad social en Puerto Aventuras.

5.2.2 Vulnerabilidad física

La vulnerabilidad física o estructural se refiere a las condiciones de vivienda y su capacidad de soportar las amenazas presentes en su ubicación, los materiales con los que está construido, su cimentación, su techado y el acceso a los servicios juegan un papel importante en como la vivienda se verá afectada. Para la clasificación del tipo de vivienda se usará la tipología empleada por el CENAPRED, la cual asigna 5 tipos de vivienda de acuerdo a sus materiales de construcción (Tabla 52).

Tabla 52. Tipología de viviendas

Tipo	Características de la vivienda
1	Muros de mampostería con techos rígidos.
2	Muros de mampostería con techos flexibles.
3	Muros de adobe con techos rígidos.
4	Muros de adobe con techos flexibles.
5	Muros de materiales débiles con techos flexibles.

Fuente: CENAPRED, 2021.

En el municipio de Solidaridad, la mayor parte de las construcciones son recientes de materiales como mampostería y concreto, gran parte del crecimiento poblacional ha sido propiciado por los desarrollos inmobiliarios, lo que hace que el tipo de construcción predominante en el municipio sea del tipo habitacional de 1 o 2 niveles. Este tipo de construcciones son resistentes ante eventos hidrometeorológicos, por lo que en el caso de los huracanes brinda seguridad; en las únicas zonas en donde el tipo de vivienda fue variable se presentó en la zona de asentamientos irregulares, como es el caso de la colonia Cristo Rey, Nuevo Noh-Bec y Las Torres.

De acuerdo con la clasificación de la vivienda del CENAPRED, la mayoría de las viviendas de Playa del Carmen y Puerto Aventuras son el tipo 1 y en la zona de asentamientos irregulares se encontraron viviendas del tipo 3, 4 y 5. A continuación se describe la vulnerabilidad física de manera particular para ambas localidades.

Playa del Carmen

La mayoría del crecimiento actual de la ciudad es por la creación de unidades habitacionales, lo que se ha convertido en el tipo de construcción predominante, en el resto de la ciudad, en las zonas relativamente más antiguas, por ejemplo, colonia Ejidal, Luis Donaldo Colosio y Centro, se presentan viviendas de autoconstrucción pero que también tienen muros de mampostería y techos rígidos.



Imagen 27. Tipo de vivienda predominante en Playa del Carmen. Casas de interés social de 1 o 2 niveles con muros de mampostería y techos rígidos.

Para la obtención de los valores de vulnerabilidad física la información obtenida por las encuestas se complementó con información disponible en el Inventario Nacional de Vivienda del INEGI, se hizo un recorrido virtual con *Google Streetview* en las colonias en donde el servicio estaba disponible, así como recorridos en campo para verificar los servicios básicos y el tipo de vivienda.

En la mayor parte de la cabecera municipal, tanto la zona hotelera, centro y las más recientes unidades habitacionales, la vulnerabilidad física fue baja, las viviendas están hechas con mampostería y techos de concreto, lo que les da una mayor resistencia a los fuertes vientos de un huracán, la amenaza principal en el municipio, las colonias cuentan con acceso a todos los servicios básicos, como lo son luz, agua, alcantarillado, alumbrado público, banquetas, pavimento y transporte público; estas colonias cuentan en su mayoría con pozos de absorción que han resuelto de buena manera pero no eliminado los problemas de encharcamiento (Figura 68).



Imagen 28. Tipo de vivienda predominante en la colonia Luis Donaldo Colosio y Nichte Ha.

Las zonas de vulnerabilidad estructural media se presentan en las colonias irregulares de Cristo Rey y Nuevo Noh-Bec, en estas colonias, el tipo de vivienda es variable, existen viviendas del tipo 1 (Mampostería con techos rígidos) y 2 (Mampostería con techos flexibles) de acuerdo a la tipología del CENAPRED y el acceso a los servicios básicos es limitado, existen calles sin pavimentar, alumbrado público limitado, transporte limitado y un servicio de energía eléctrica irregular que pone en peligro a la población, los accesos a estas colonias pueden ser interrumpidos al ser solo uno o dos; la amenaza principal en estas colonias son los fuertes vientos de los huracanes. En lo que respecta a las inundaciones y encharcamientos, el problema no se presenta por la rápida absorción del agua debido al tipo de suelo.



Imagen 29. Tipo de vivienda y calles predominante en el asentamiento Cristo Rey.

Las zonas de alta vulnerabilidad estructural se presentan en las colonias In-House y Las Torres, estas colonias presentan viviendas del tipo 1 (Mampostería con techos rígidos), 2 (Mampostería con techos flexibles) y 5 (Materiales débiles y techos flexibles) de acuerdo a la metodología del CENAPRED.



Imagen 30. Tipo de vivienda predominante en el asentamiento In-House (Street View).

En el caso de In-House, las casas fueron iniciadas como un desarrollo inmobiliario que quedó inconcluso, hay construcciones completas con muros y techos rígidos, otras en obra negra y otras que fueron construidas por los habitantes en los alrededores de la colonia y en los lotes donde se asentaría el resto del desarrollo inmobiliario.

Para el caso de las Torres, las construcciones son hechas por sus habitantes y con materiales que su condición económica les permite, principalmente muros rígidos-techos flexibles y de materias débiles y techos flexibles. Los servicios básicos son limitados, las zonas pavimentadas son pocas, el alumbrado, el alcantarillado es limitado, el servicio eléctrico es irregular y los accesos pueden ser interrumpidos.

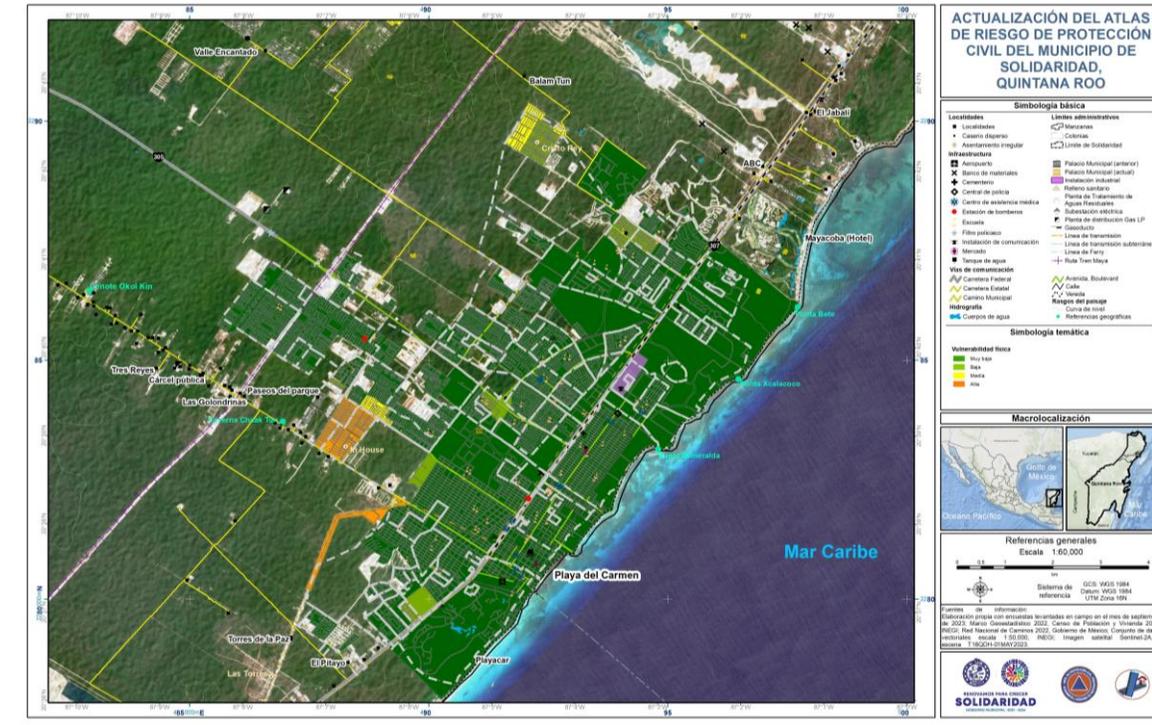


Figura 68. Vulnerabilidad física de Playa del Carmen.

Puerto Aventuras

En la localidad de Puerto Aventuras la mayoría de las viviendas tienen un nivel de vulnerabilidad baja, la zona de hoteles es una zona donde las construcciones tienen muros rígidos y techos firmes, y la zona centro de la alcaldía fue desarrollada en su mayoría por desarrollos inmobiliarios con muros y techos rígidos; los servicios básicos están presentes en prácticamente todo el centro de la localidad, existe alumbrado público, transporte público, banquetas, pavimento, alcantarillado y pozos de absorción (Figura 69).

Las zonas de alta vulnerabilidad se presentan en los asentamientos irregulares de Monte Sinaí, El Sauce y Las Torres, estas colonias presentan viviendas del tipo 1 (Mampostería con techos rígidos), 2 (Mampostería con techos flexibles) y 5 (Materiales débiles y techos flexibles) de acuerdo a la metodología del CENAPRED, las casas del tipo 2 y 5 son las más vulnerables en caso de presentarse fuertes vientos y en estas colonias son el tipo predominante, el acceso a los servicios básicos es limitado.



Imagen 31. Tipo de vivienda predominante en Puerto Aventuras.

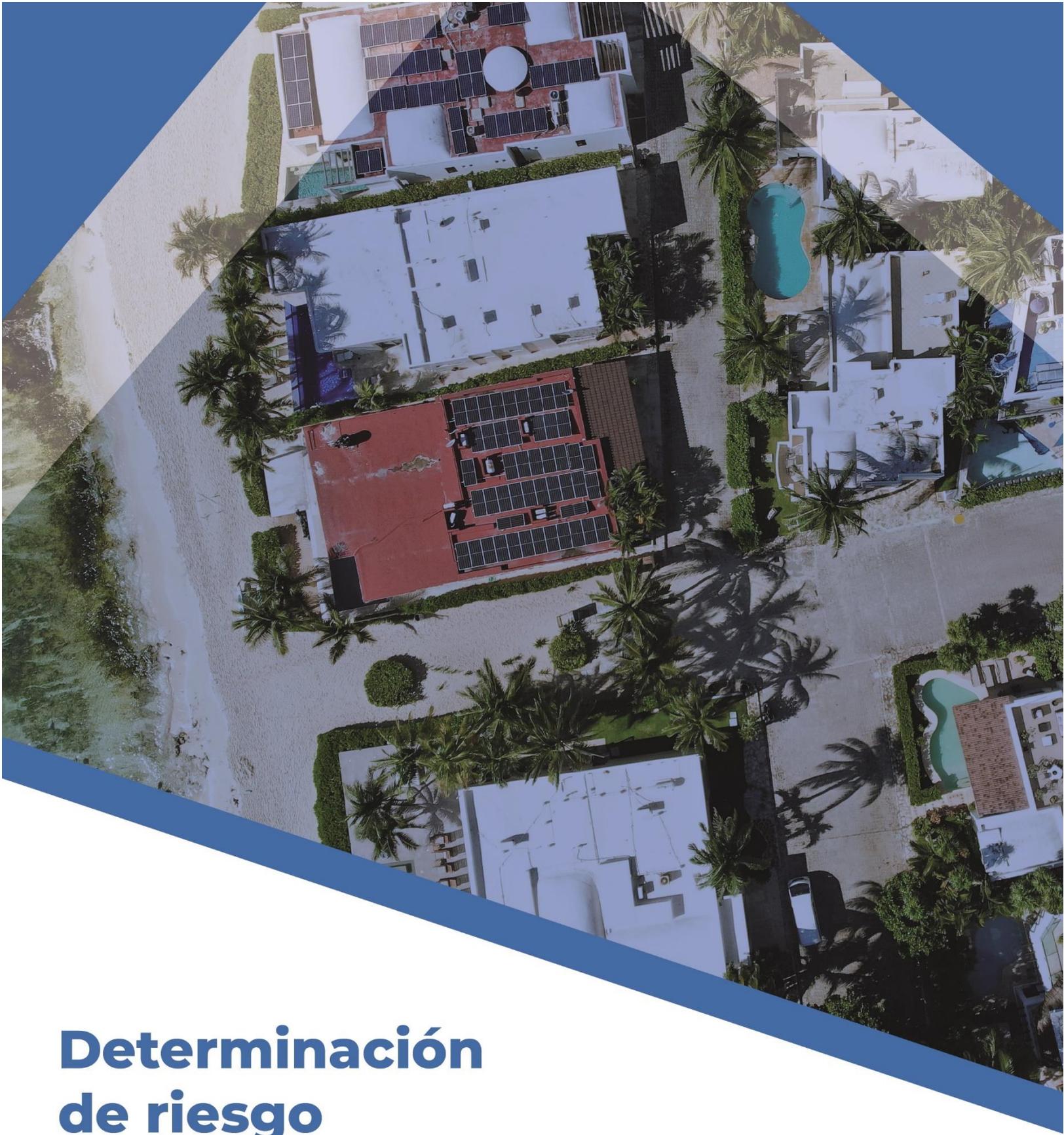


Figura 69. Vulnerabilidad física de Puerto Aventuras.

En ambos casos, tanto en Playa del Carmen como en Puerto Aventuras, de acuerdo a las autoridades municipales existen planes de prevención ante amenazas, pero para la población encuestada, el acceso a ellos, su difusión y operatividad es limitada, en su mayoría saben cómo actuar, saben ubicar sus albergues y cuentan con la disposición de evacuar en caso de

ser necesario, pero no saben con quién dirigirse, no existe una organización comunitaria lo que en el futuro podría ser contraproducente para enfrentar las amenazas.

Actualmente, el centro operativo de Protección Civil se encuentra centralizado en Playa del Carmen, lo que limita el poder enfrentar las amenazas en otras zonas del municipio, como es el caso de Puerto Aventuras, en donde debido a su población y distancia de la cabecera municipal, se recomienda una sede alterna para reducir su vulnerabilidad.



Determinación de riesgo

5.3

5.3 Determinación de riesgo

El riesgo, entendido como la potencialidad de pérdidas materiales y humanas ante la exposición y vulnerabilidad de una sociedad ante el impacto de fenómenos perturbadores, requiere especial atención, así como investigación constante para abordarla de la manera más certera posible; hablar de riesgo evoca a la construcción social del mismo, debido a que una población vulnerable, expuesta y poco preparada, conlleva inequívocamente a hablar de desastres en materia de amenazas por la incidencia de fenómenos de diversa índole. Sin embargo, cabe destacar que la exposición y la vulnerabilidad dependen en gran medida primero de la localización geográfica, pero primordialmente del tipo de fenómeno al que se enfrentan los pueblos y comunidades, así como a la situación social, económica o política particular de los individuos y de las estructuras encargadas de regular y afrontar las diversas eventualidades (Rubio Carriquiriborde, 2012).

Los Atlas de Riesgos municipales representan un instrumento estructural de gestión territorial, principalmente se encuentran orientados a la gestión de riesgos, en particular para reducir la vulnerabilidad de los asentamientos humanos, así como de prevención de desastres, considerando que el desastre es socialmente construido, producto de las características socio-culturales o económicas propias de cada territorio (Ruiz Rivera, Casado Izquierdo, & Sánchez Salazar, 2015). Así, la política pública busca incorporar la gestión del riesgo en la agenda nacional y local mediante estudios que permitan conocer las particularidades de cada territorio y de este modo orientar la toma de decisiones y esfuerzos de manera concreta.

En este apartado se aborda el análisis del riesgo para el municipio de Solidaridad, se utiliza la metodología propuesta por CENAPRED (2006), para lo cual se tomaron los resultados de peligro por fenómenos perturbadores, la vulnerabilidad física-estructural y social calculada en la sección 4.2 y la estimación de las pérdidas económicas (*menaje*) de los bienes expuestos con datos del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2020a), así como el número de la población afectada por la incidencia de amenazas de índole natural, en concreto erosión kárstica e inundaciones, esto debido a la notoriedad de dichos fenómenos sobre el territorio solidareense.

De acuerdo con estos autores, el riesgo está dado por la siguiente expresión:

$$R = CVP$$

Donde:

C = El valor de los bienes expuestos

V = Vulnerabilidad o porcentaje de daños en una vivienda

P = Peligro o probabilidad de que ocurra un determinado evento

La estimación del valor de los bienes expuestos, se realizó en base a la metodología propuesta en la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, en su anexo 9 -Fenómenos hidrometeorológicos-, en donde se realiza una clasificación de la vivienda de acuerdo a los criterios listados en las tablas 53 y 54.

Tabla 53. Material en muros de viviendas

Tipo	Descripción
M1	Cartón o plástico
M2	Piedra
M3	Láminas de cartón
M4	Bahareque
M5	Adobe sin repellado
M6	Madera
M7	Adobe con repellado
M8	Tabique de barro o concreto sin elementos de concreto
M9	Tabique de barro o concreto con elementos de concreto

Fuente: CENAPRED, 2014

Tabla 54. Material en techos de viviendas

Tipo	Descripción
T1	Cartón o plástico
T2	Lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
T3	Palma
T4	Teja
T5	Losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla
T6	Losa de concreto ligada

Fuente: CENAPRED, 2014

Estos tipos de materiales son los más comunes en la construcción de viviendas en México con la que pueden crear 24 combinaciones (Imagen 32), asimismo estas combinaciones se pueden clasificar en 5 tipos de vivienda, las cuales representan un nivel de vulnerabilidad diferente, como se muestra en la imagen 30.

Las viviendas tipo I, son viviendas construidas con material de desecho y tienen lo mínimo indispensable, generalmente una sola habitación multifuncional, el menaje total aproximado

es de \$12,500 (CENAPRED, 2006), se considera que la inflación total en México del 2006 al 2023 es del 112.5%, por lo tanto, el valor actual del menaje aproximado es de **\$26,562.45**.

Número de combinación	Tipo de vivienda	Combinaciones entre tipo de material para techo y muros
1	I	Vivienda con muros de cartón o plástico y techo de cartón o plástico
2	II	Vivienda con muros de piedra sobre piedra y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
3	III	Vivienda con muros de piedra sobre piedra y techo de palma
4	I	Vivienda con muros de láminas de cartón y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
5	II	Vivienda con muros de bahareque y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
6	III	Vivienda con muros de bahareque y techo de palma
7	II	Vivienda con muros de adobe sin repellado y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
8	III	Vivienda con muros de adobe sin repellado y techo de palma
9	III	Vivienda con muros de adobe sin repellado y techo de teja
10	IV	Vivienda con muros de madera y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
11	IV	Vivienda con muros de madera y techo de palma
12	IV	Vivienda con muros de adobe con repellado y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
13	IV	Vivienda con muros de adobe con repellado y techo de palma
14	IV	Vivienda con muros de adobe con repellado y techo de teja
15	V	Vivienda con muros de adobe con repellado y techo de losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla
16	IV	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
17	IV	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de palma
18	IV	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de teja
19	V	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla
20	IV	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
21	IV	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de palma
22	IV	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de teja
23	V	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla
24	V	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de losa de concreto ligada

Fuente: CENAPRED, 2014

Imagen 32. Clasificación del tipo de vivienda según el material usado en techo y muros

Las viviendas tipo II, son viviendas con muros más firmes, puede ser piedra o adobe y techos de lámina, estas viviendas pueden tener una o más habitaciones con muebles propios en cada habitación, el menaje total aproximado de \$50,000 (CENAPRED, 2006), lo que actualmente corresponde a **\$106,249.81**.

Las viviendas tipo III, son viviendas similares a las del tipo II, pero con techos más resistentes e interiores de mejor calidad, también pueden contener varias habitaciones con muebles propios en cada habitación, el menaje total aproximado en el año 2006 es de \$150,500, lo que corresponde actualmente a **\$319,811.92**.

Las viviendas tipo IV, son viviendas consideradas de clase media, que puede ser identificada como una vivienda de interés social, muros y techos firmes, con elementos estructurales, podría ser habitada por profesionistas sin complicaciones económicas, el mensaje total aproximado es de \$300,000 (CENAPRED, 2006), que corresponde a **\$637,585.85**.

Las viviendas tipo V, son viviendas del tipo residencial, tienen muros y techos firmes, elementos estructurales, con acabados y materiales de la mejor calidad, el menaje total aproximado en el año 2006 es de \$450,000, lo que actualmente corresponde a **\$956,378.77**.

De acuerdo con esta tipología de la vivienda, se relaciona un índice de vulnerabilidad, en la tabla 55 se tiene su clasificación y el color con el que se representa.

Tabla 55. Índice de vulnerabilidad según el tipo de vivienda

Tipo	Índice de vulnerabilidad	Color propuesto
I	Alto	Rojo
II	Medio-alto	Naranja
III	Medio	Amarillo
IV	Medio-bajo	Verde
V	Bajo	Blanco

Fuente: CENAPRED, 2014

De acuerdo con esta clasificación, se realizó un recorrido en campo por la mayoría de las colonias de Playa del Carmen y Puerto Aventuras, en donde se identificaron el tipo de viviendas predominantes. La información del menaje de cada vivienda fue complementada con las encuestas aplicadas en campo que también sirvieron para el cálculo de vulnerabilidad social.



Imagen 33. Viviendas tipo I en el asentamiento irregular In-House

En las colonias donde no fue posible realizar trabajo de campo se utilizó la herramienta *StreetView* de *Google maps* para visualizar el mayor número de viviendas, calles y colonias, incluyendo a las que no hay acceso. Con la información obtenida, se procedió a estimar el menaje total por manzana con la información del Censo Nacional y Vivienda (INEGI, 2020a). Con esta información el cálculo de pérdidas podrá ser estimado de acuerdo con la amenaza que se presente.



Imagen 34. Viviendas tipo II en la colonia Cristo Rey

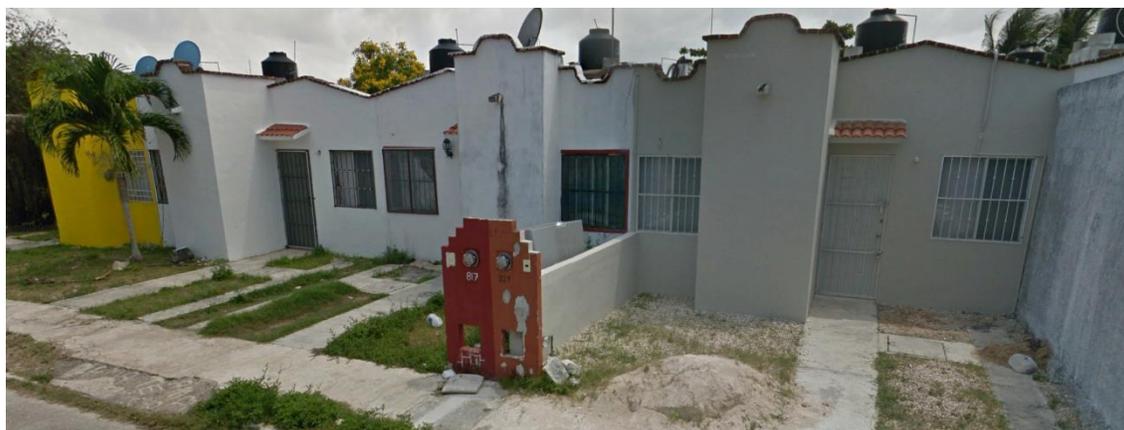


Imagen 33. Viviendas tipo III en la colonia El Petén



Imagen 34. Viviendas tipo IV en Las Palmas II



Imagen 35. Viviendas tipo V en Residencial Alegranza

5.3.1 Riesgo por erosión kárstica

Los efectos de un hundimiento ocasionado por erosión kárstica pueden afectar de manera directa a la vivienda o a la infraestructura y equipamiento urbano. Las afectaciones en ambos casos pueden ir desde daños estructurales hasta la pérdida total, heridos y pérdida de vidas ocasionados por el derrumbe violento del hundimiento. Debido a esto, se deben tener bien identificados cualquier indicio relacionado con algún proceso de erosión kárstica que pueda

Tabla 56. Viviendas en riesgo y pérdidas económicas por erosión kárstica en la localidad de Playa del Carmen.

Riesgo	Viviendas totales	Pérdidas económicas (Millones de pesos)
Muy alto	35,530	\$ 4,020.040987
Alto	86,631	\$ 8,384.093016
Medio	46,279	\$ 3,657.961332
Bajo	19,721	\$ 1,575.995809
Muy bajo	1,042	\$ 91.951901
Total	189,203	\$ 17,730.043050

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, en la localidad de Puerto Aventuras se observa que siete manzanas se encuentran en riesgo muy alto y 110 manzanas en riesgo alto. Estas se localizan principalmente en las zonas del Desarrollo Turístico de Puerto Aventuras y Hotel Barceló Resort (Figura 71).

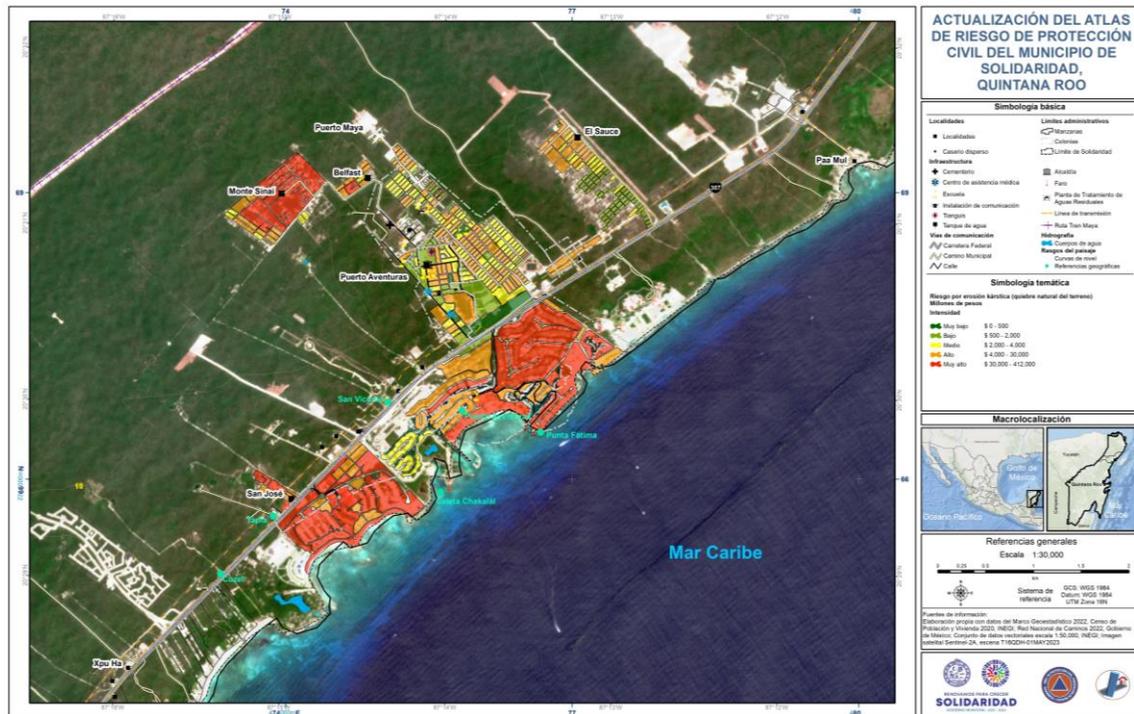


Figura 71. Riesgo por erosión kárstica en Puerto Aventuras

En el caso de la localidad urbana de Puerto Aventuras, se identifica mayor cantidad de viviendas en riesgo alto, teniendo en total 4,984 viviendas, de las cuales 324 corresponden a viviendas tipo II y 1,541 de tipo III, que corresponden principalmente a clase baja. La mayor cantidad de viviendas en riesgo alto se categorizan en tipo de vivienda IV (clase media) con un total de 2,466, mientras que las viviendas en riesgo muy alto son 1,352 pero todas de tipo V, por lo que las pérdidas estimadas en conjunto para las manzanas con riesgo muy alto y alto ascienden hasta los mil millones de pesos para la localidad de Puerto Aventuras (ver tabla 57).

Tabla 57. Viviendas en riesgo y pérdidas económicas por erosión kárstica en la localidad de Puerto Aventuras.

Riesgo	Viviendas totales	Pérdidas económicas (Millones de pesos)
Muy alto	1,352	\$ 333.985827
Alto	4,984	\$ 790.571826
Medio	3,074	\$ 317.385418
Bajo	641	\$ 69.950467
Muy bajo	32	\$ 2.636480
Total	10,083	\$ 1,514.530019

Fuente: Elaboración propia

5.3.2 Riesgo por subsidencia

La subsidencia es un proceso lento y progresivo de hundimiento de una superficie, que generalmente está asociado al inicio de la temporada de lluvias y de ciclones tropicales debido al aumento de flujo de agua superficial y sub-superficial que favorece los procesos de disolución gradual de la roca caliza en el subsuelo. Si bien, el fenómeno de subsidencia no suele causar víctimas mortales, los daños materiales suelen ser cuantiosos ya que puede afectar de manera directa a la vivienda o a la infraestructura y equipamiento urbano, provocando rompimiento de tuberías, separación de elementos estructurales y afectaciones en vías de comunicación. Debido a esto, es prioritario mantener un monitoreo de indicios de subsidencia como la aparición de fracturas o agrietamientos en muros, techos, caminos y carreteras (Frausto, 2019).

Para determinar el riesgo por subsidencia se usó como referencia la metodología propuesta por (CENAPRED, 2021b) enfocada a inundaciones, la cual considera los elementos de peligro, vulnerabilidad y bienes expuestos por manzana urbana. El resultado del cálculo de riesgo por subsidencia para la localidad de Playa del Carmen indica que al menos 55 manzanas se encuentran en riesgo muy alto y 450 en riesgo alto por subsidencia. Entre las colonias con mayor cantidad de manzanas en riesgo muy alto se encuentran Toscana, Misión del Carmen, Playacar, Industrial, La Joya, Galaxia del Carmen y Misión Villamar,

principalmente, entre otras. En el siguiente mapa (Figura 71) se puede observar la distribución de las manzanas según su nivel de riesgo para la localidad de Playa del Carmen.

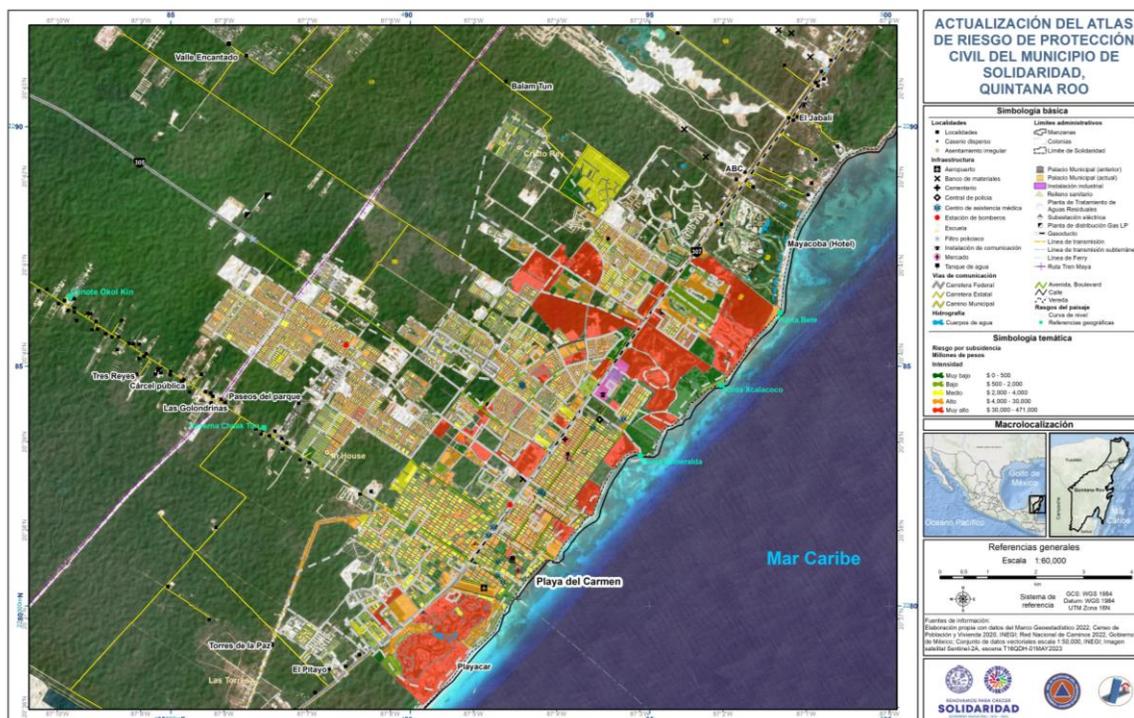


Figura 71. Riesgo por subsidencia en Playa del Carmen

Se estima para las manzanas en riesgo muy alto una pérdida de 2,825 millones de pesos y un total de 40,463 viviendas, la mayoría de tipo V que corresponden a clase alta. Por otro lado, para las zonas en riesgo alto se estima una pérdida de 2,822 millones de pesos y un total de 46,499 viviendas de tipo IV, predominantemente, y que se asocian a clase media-alta. En total, alrededor de 5,600 millones de pesos están en riesgo alto y muy alto en la localidad urbana de Playa del Carmen. En la Tabla 58 se indica el total de pérdidas económicas y viviendas en riesgo por subsidencia.

Tabla 58. Viviendas en riesgo y pérdidas económicas por subsidencia en la localidad de Playa del Carmen.

Riesgo	Viviendas totales	Pérdidas económicas (Millones de pesos)
Muy alto	40,463	\$ 2,824.553068
Alto	46,499	\$ 2,822.097390
Medio	56,899	\$ 3,016.254193
Bajo	42,457	\$ 2,157.444187
Muy bajo	2,883	\$ 151.714924
Total	189,200	\$ 10,972.063762

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de la localidad de Puerto Aventuras se observa que seis manzanas se encuentran en riesgo muy alto y 23 manzanas en riesgo alto. Estas se localizan principalmente en las zonas del Desarrollo Turístico de Puerto Aventuras y Hotel Barceló Resort (ver Figura 72).

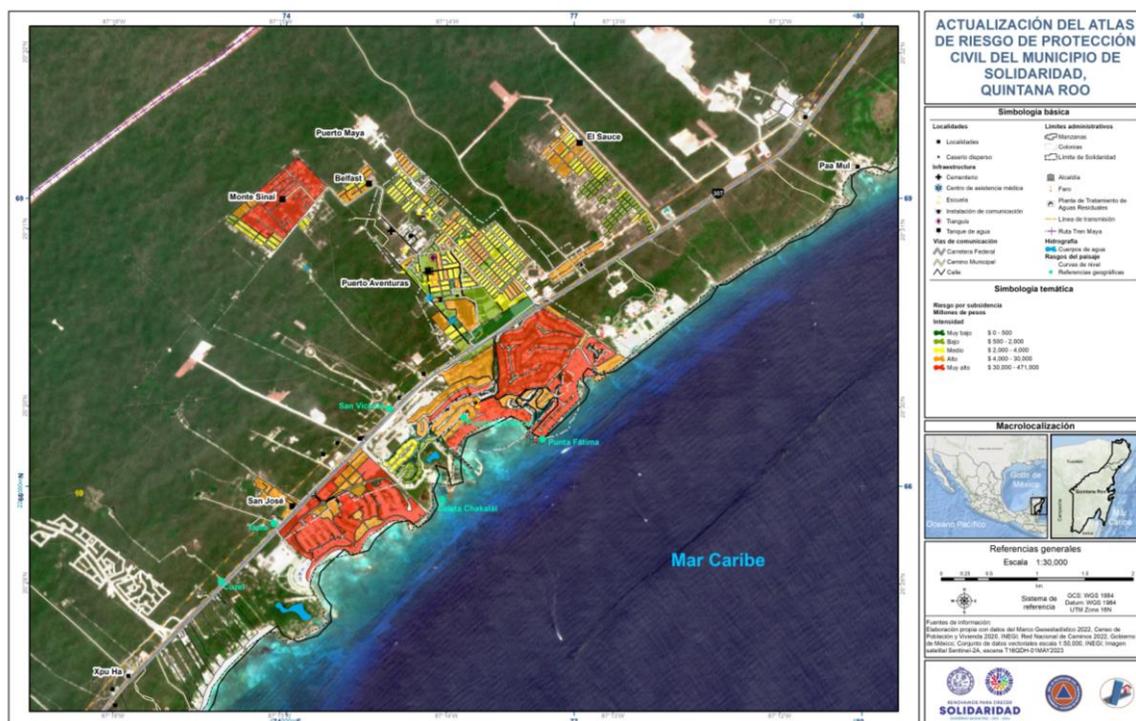


Figura 72. Riesgo por subsidencia en Puerto Aventuras

En el caso de la localidad urbana de Puerto Aventuras, se identifica mayor cantidad de viviendas en riesgo alto, teniendo en total 1,539 viviendas, de las cuales 820 corresponden a viviendas tipo IV y 429 de tipo V, que se caracterizan principalmente en clase media a alta. Por otro lado, todas las viviendas en riesgo muy alto se categorizan en tipo de vivienda V (clase alta) con un total de 1,476. Se calcula que las pérdidas en conjunto para las manzanas con riesgo muy alto y alto ascienden hasta los 325 millones de pesos para la localidad de Puerto Aventuras (ver Tabla 59).

Tabla 59. Viviendas en riesgo y pérdidas económicas por subsidencia en la localidad de Puerto Aventuras.

Riesgo	Viviendas totales	Pérdidas económicas (Millones de pesos)
Muy alto	1,476	\$ 190.635515
Alto	1,539	\$ 135.080580
Medio	3,011	\$ 196.189316
Bajo	3,876	\$ 195.275954
Muy bajo	180	\$ 9.673862
Total	10,083	\$ 726.855227

Fuente: Elaboración propia

5.3.3 Riesgo por erosión marina

El riesgo por erosión marina está enfocado a las zonas próximas a la línea de costa, por lo que se consideran las manzanas y viviendas que se encuentran dentro de un área de influencia de al menos 50 metros respecto a la línea de costa. Los eventos como ciclones tropicales son los principales fenómenos que pueden incrementar los procesos de erosión marina en la región costera. Los principales daños se observan en vivienda e infraestructura a través de indicios como fracturas, agrietamientos o incluso derrumbes de las fachadas o áreas en contacto directo con el oleaje del mar o la zona de playa.

El riesgo por erosión marina puede prevenirse ya que es un proceso gradual que puede monitorearse a través de medición del avance del proceso erosivo, ya sea a través de la línea de costa o mediante los indicios de daño sobre la vivienda o infraestructura. Sin embargo, cabe resaltar que al primer indicio de daño sobre la vivienda o infraestructura se recomienda el desalojo o clausura de la parte afectada de la vivienda o la infraestructura. Esto debido a que el proceso de erosión marina seguirá avanzando de forma gradual hasta desestabilizar por completo el inmueble.

Para determinar el riesgo por subsidencia se usó como referencia la metodología propuesta por (CENAPRED, 2021) enfocada a inundaciones, la cual considera los elementos de peligro, vulnerabilidad y bienes expuestos por manzana urbana. El resultado del cálculo de riesgo por erosión marina para la localidad de Playa del Carmen indica que, del total de las 4,431 manzanas en la zona urbana, 37 de estas se encuentran dentro del área de influencia de la línea costera con riesgo por erosión marina.

En riesgo alto se encuentran 11 manzanas principalmente de las colonias Luis Donaldo Colosio, Gonzalo Guerrero y parte de Playacar. En riesgo alto se encuentran 13 manzanas principalmente ubicadas en la zona de Playacar y en la colonia Centro. En la Figura 73 se puede observar la distribución de las manzanas en riesgo dentro de la zona costera de la localidad de Playa del Carmen.

Se estima que en las manzanas con riesgo muy alto la pérdida puede ascender 1,108.6 millones de pesos para un total de 10,207 viviendas de tipo V, que corresponden a vivienda de clase alta. Por otro lado, para las zonas en riesgo alto se estima una pérdida de 38.8 millones de pesos para un total de 427 viviendas de tipo V. En total, alrededor de 1,147.5 millones de pesos están en riesgo alto y muy alto en la localidad urbana de Playa del Carmen. En la Tabla 60 se indica el total de pérdidas económicas y viviendas en riesgo por erosión marina en Playa del Carmen.

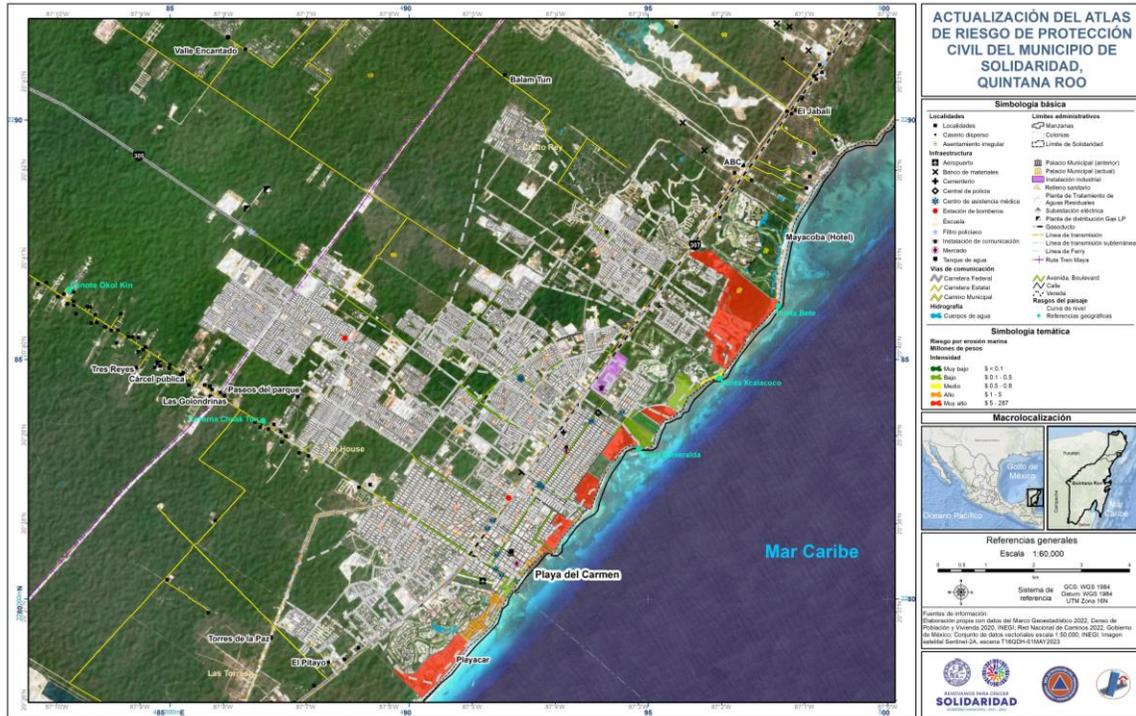


Figura 73. Riesgo por costera marina en Playa del Carmen

Tabla 60. Viviendas en riesgo y pérdidas económicas por erosión marina en la localidad de Playa del Carmen.

Riesgo	Viviendas totales	Pérdidas económicas (Millones de pesos)
Muy alto	10,207	1,108.687619
Alto	427	38.885576
Medio	25	4.006079
Bajo	29	1.703100
Muy bajo	3	0.105584
Total	10,691	1153.387958

Para el caso de la localidad de Puerto Aventuras se observa que solo cinco manzanas se encuentran dentro de la zona costera y la cuales presentan riesgo muy alto. Estas se localizan principalmente en las zonas del Desarrollo Turístico de Puerto Aventuras y Hotel Barceló Resort (ver Figura 74).

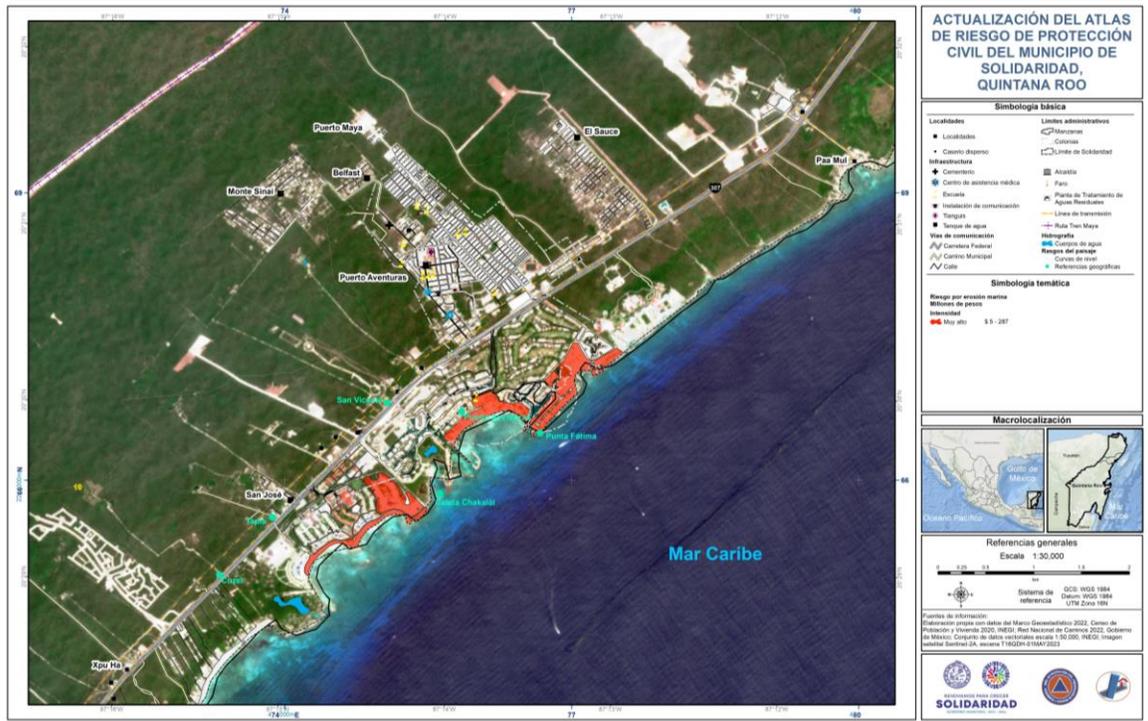


Figura 74. Riesgo por erosión marina en Puerto Aventuras

En total se estiman 2,019 viviendas de tipo V en riesgo muy alto. Se calcula que la pérdida económica para estas manzanas con riesgo muy alto asciende hasta los 505.2 millones de pesos para la localidad de Puerto Aventuras (ver Tabla 61).

Tabla 61. Viviendas en riesgo y pérdidas económicas por erosión marina en la localidad de Puerto Aventuras.

Riesgo	Viviendas totales	Pérdidas económicas (Millones de pesos)
Muy alto	2,019	\$ 505.24

5.3.4 Riesgo por viento durante ciclones tropicales

El poder destructivo de un ciclón tropical tiene múltiples efectos, como se observa en la escala de Saffir Simpson (ver Tabla 40), el viento puede derribar postes de energía eléctrica, árboles, espectaculares que obstruyen los caminos e incluso derribar los techos de las viviendas (CENAPRED, 2007).

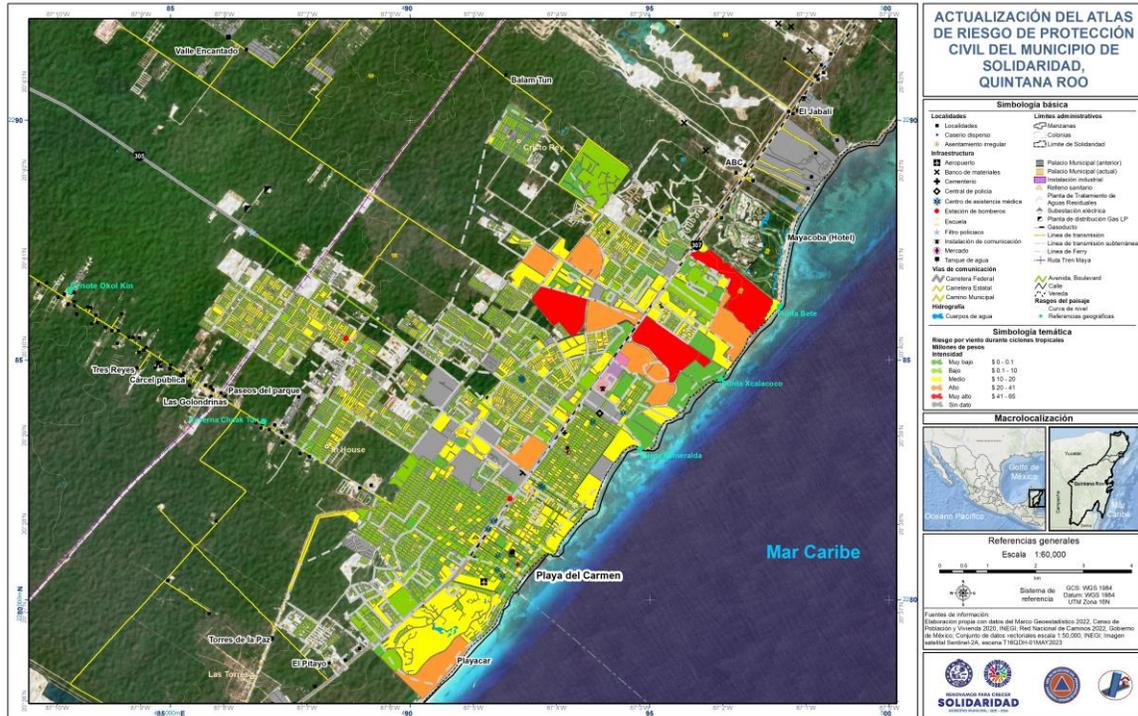


Figura 75. Riesgo por viento durante ciclones tropicales en Playa del Carmen



Figura 75. Riesgo por viento durante ciclones tropicales en Puerto Aventuras

En este sentido, se realizó el análisis de riesgo por viento durante ciclones tropicales para el municipio, de acuerdo con el capítulo 5.1.2.1, el municipio se encuentra en un peligro muy

alto por la incidencia recurrente de este fenómeno en el territorio. El resultado se muestra en las Figuras 74 y 75.

Se consideró también la vulnerabilidad física y social de la población y finalmente se realizó el cálculo considerando el menaje estimado a nivel manzana.

Como se observa en las Figuras 75 y 76, el riesgo de pérdidas por vientos fuertes durante un ciclón tropical con una intensidad de 255 km/h es muy alto en los extremos de la mancha urbana de Playa del Carmen, y en el extremo sur de Puerto Aventuras. En la Tabla 53 se tiene la población total en riesgo por vientos fuertes, además de la estimación monetaria de las pérdidas económicas en el municipio de Solidaridad.

Tabla 62. Población en riesgo y pérdidas económicas por viento durante ciclones tropicales en el municipio de Solidaridad.

Riesgo	Población total	Pérdidas económicas
Muy alto	1,754	\$ 239,059,707.00
Alto	3,347	\$ 167,987,222.00
Medio	15,062	\$ 234,085,166.00
Bajo	15,989	\$ 1,344,386,954.00
Total	328,142	\$ 1,985,519,084.00

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la Tabla 62 se observa que la mayoría de la población se encuentra en un riesgo de pérdidas económicas por vientos fuertes ocasionados por los ciclones tropicales, sin embargo, también se observa que la suma de las pérdidas de la mayoría de la población es el monto más alto de pérdidas económicas.

Lo anterior nos lleva a determinar que es imprescindible continuar fortaleciendo los planes de prevención, emergencia y contingencia ante este fenómeno.

5.3.5 Riesgo por inundaciones

Los efectos de una inundación pueden ser primarios o secundarios, esto es, causados directamente por la inundación o por el trastorno y mal funcionamiento de servicios y sistemas. Entre los efectos primarios están los heridos, pérdida de vidas y daños causados en

las viviendas, mientras que los efectos secundarios pueden incluir la contaminación a corto plazo de fuentes de abastecimiento de agua, enfermedades y desplazamiento de personas que han perdido sus hogares entre otros (Keller & Blodgett, 2004).

En este sentido, para determinar el riesgo por inundación, se tomó como base la metodología propuesta por (CENAPRED, 2021b), se determinaron curvas de vulnerabilidad física por inundación para los tipos de vivienda identificados con la estimación de daños económicos explicada en el apartado 4.3. Se encontró que la distribución porcentual del tipo de vivienda es como se muestra en la Tabla 63.

Tabla 63. Distribución porcentual del tipo de vivienda

Tipo	Porcentaje en las localidades urbanas del municipio de Solidaridad
Vivienda I	1
Vivienda II	9
Vivienda III	8
Vivienda IV	54
Vivienda V	29

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con esta clasificación, se calcularon las pérdidas asociadas a cada tirante de inundación y una vez obtenido el porcentaje de pérdidas, se procedió a estimar el riesgo con la ecuación:

$$R = CVP$$

Como se observa en la Figura 77, las colonias que tienen un riesgo alto por inundación son Fraccionamiento Misión de Las Flores, Villas del Sol, Misión del Carmen, Las Palmas I, Las Palmas II e In-House. Estas colonias tienen la característica en común de tener tipo de vivienda IV, es decir, viviendas de clase media, construidas con concreto en techos y paredes, que tienen un menaje considerable. En la Tabla 64 se tiene el total de pérdidas económicas y la población directamente afectada derivado de las inundaciones y en la Figura 77 se observa la distribución espacial del riesgo por inundación en Playa del Carmen.

Tabla 64. Población en riesgo y pérdidas económicas por inundación en la localidad de Playa del Carmen

Riesgo	Población total	Pérdidas económicas
Muy alto	5,846	\$ 16,682,329.00
Alto	10,388	\$ 21,051,002.00
Medio	11,053	\$ 15,117,733.00
Bajo	15,989	\$ 19,870,369.00

Tabla 64. Población en riesgo y pérdidas económicas por inundación en la localidad de Playa del Carmen

Riesgo	Población total	Pérdidas económicas
Total	43,276	\$ 72,721,432.00

Fuente: Elaboración propia.

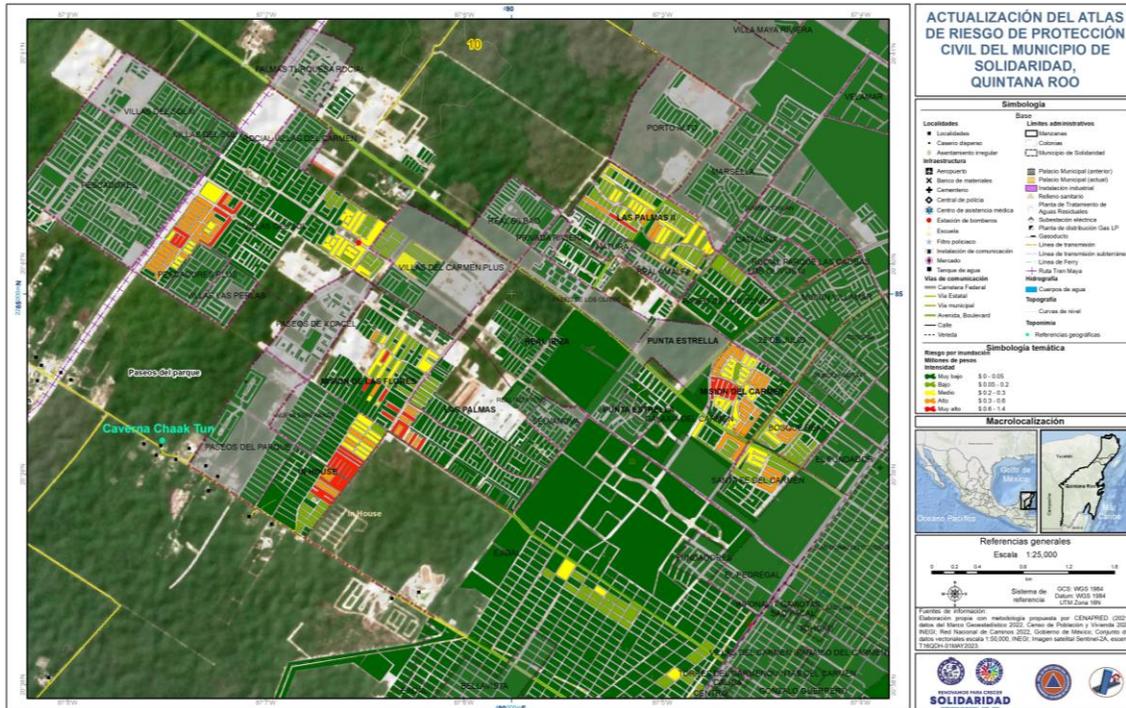


Figura 77. Riesgo por inundación en Playa del Carmen.

En el caso de la localidad urbana de Puerto Aventuras, se identifican dos zonas de riesgo, donde se han registrado pérdidas económicas y cambio de domicilio de una familia. En la Tabla 65 se tiene la población total en riesgo y las pérdidas económicas estimadas.



Figura 78. Riesgo por inundación en Puerto Aventuras.

Tabla 64. Población en riesgo y pérdidas económicas por inundación en la localidad de Puerto Aventuras

Riesgo	Población total	Pérdidas económicas
Muy alto	603	\$ 16,858,064.00
Alto	86	\$ 635,342.00
Medio	235	\$ 602,493.00
Bajo	494	\$ 505,968.00
Total	1,418	\$ 18,601,867.00

Fuente: Elaboración propia.

5.3.6 Riesgos químico-tecnológicos

Para determinar el riesgo por fenómenos químico-tecnológicos, se consideró un escenario general de peligros de distintos establecimientos donde almacenan gas o gasolina, posteriormente se estimó el riesgo considerando la vulnerabilidad física y social, así como el menaje expuesto en las zonas señaladas. Los resultados se muestran en las Figuras 79 y 80 para los casos particulares de las localidades de Playa del Carmen y Puerto Aventuras.



Figura 79. Riesgos químico tecnológicos en Playa del Carmen

Tabla 65. Población en riesgo y pérdidas económicas por fenómenos químico-tecnológicos en la localidad de Playa del Carmen

Riesgo	Población total	Pérdidas económicas
Muy alto	285	\$ 653,838.00
Alto	2,464	\$ 1,530,511.00
Medio	4,870	\$ 1,963,933.00
Bajo	4,131	\$ 1,613,820.00
Muy bajo	245	\$ 185,744
Total	11,955	\$ 5,947,846.00

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 79 se observa que, en los escenarios modelados, las afectaciones en las zonas de influencia de las explosiones son considerables para los sistemas expuestos. De la Tabla 65 se destaca que la mayoría de la población se encuentra en un riesgo medio y que las pérdidas económicas por este tipo de siniestro ascienden a los \$5,947,846.00.

En la Figura 80 se observa la modelación de riesgo por peligros químico-tecnológicos para la localidad Puerto Aventuras, los principales sistemas afectados son servicios de turismo, ya que se encuentran en la cercanía de establecimientos donde almacenan gas o gasolina.

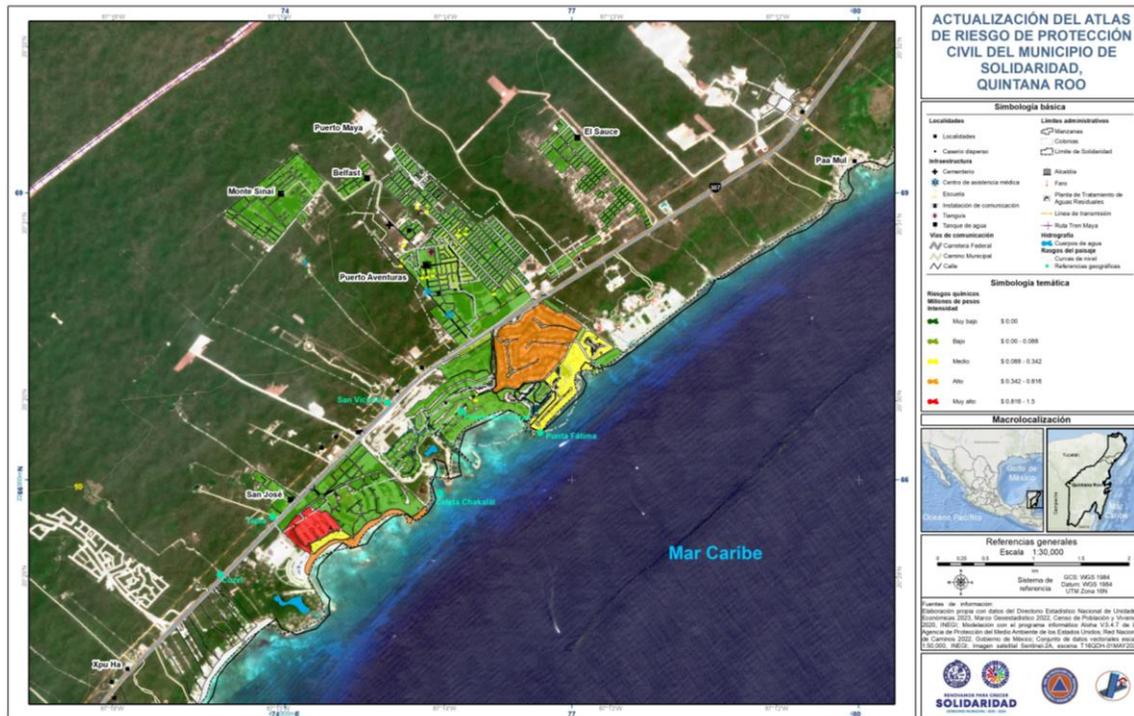


Figura 80. Riesgos químico tecnológicos en Puerto Aventuras

Por otra parte, en la Tabla 66 se tiene que la mayoría de la población en Puerto Aventuras se encuentra en un riesgo bajo, sin embargo, las pérdidas económicas en caso de la ocurrencia de un siniestro químico tecnológico de la magnitud señalada ascienden a \$ 5,067,123.00.

Tabla. 66. Población en riesgo y pérdidas económicas por fenómenos químico-tecnológicos en la localidad de Puerto Aventuras

Riesgo	Población total	Pérdidas económicas
Muy alto	67	\$ 1,517,047.00
Alto	696	\$ 1,524,837.00
Medio	381	\$ 894,408.00
Bajo	3,978	\$ 1,130,830.00
Total	5,122	\$ 5,067,123.00

Fuente: Elaboración propia



**Obras y acciones
preventivas**

5.4

5.4 Obras y acciones preventivas

El incremento en la ocurrencia de desastres y el riesgo se asocian de manera fundamental a la carencia de conocimiento científico que sustente las políticas públicas, conocimiento que además debe estar basado en el manejo integral del territorio. En este tenor, los avances en materia de protección civil han logrado conformar una visión que implica una coordinación nacional en la Gestión Integral de Riesgo de Desastres (GIRD). Desde esta perspectiva, las decisiones, acciones, actividades y la coordinación transversal entre instituciones son imprescindibles para reducir las vulnerabilidades que a su vez debe privilegiar siempre la salvaguarda de la vida humana, así como el mejoramiento de la calidad de vida de la población y su desarrollo integral.

En este último subcapítulo se hacen recomendaciones para la prevención, disminución y mitigación de los riesgos naturales y antropogénicos. De acuerdo a la Ley General de Protección Civil (2021), la Gestión Integral del Riesgo, es un conjunto de acciones encaminadas a la identificación, análisis, evaluación, control y reducción de los riesgos, que se consideran 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.

Se hace hincapié en que el municipio de Solidaridad está interesado en mantenerse a la vanguardia de los procesos de Protección Civil, en sus inicios, se atendían los desastres de una manera reactiva, es decir, una vez ocurrido el siniestro, se preparaban y atendían la emergencia. Posteriormente, evoluciona a un proceso de Protección Civil Preventiva, donde evitan o disminuyen los impactos de los desastres. Hoy en día la apuesta es que el municipio cuente con un esquema de Protección Civil bajo la estructura de Gestión Integral del Riesgo, donde además de prever, reduce y controla el riesgo de desastres. Cabe recalcar que, en este sentido, el equipo de Protección Civil debe fungir como líder en el conocimiento de los peligros que aquejan a la sociedad de Solidaridad, y, por lo tanto, como líder para salvaguardar la seguridad de la población.

Por ello, resulta de fundamental importancia plantear obras y acciones preventivas bajo las siguientes premisas (CENAPRED, 2020):

- Los desastres no son naturales, son socialmente contruidos.
- Los desastres son producto de procesos, decisiones y acciones, que derivan de los modelos de crecimiento económico y expuesto a factores institucionales, culturales, sociales, políticos y económicos.
- Los desastres no son ajenos a los eventos cotidianos de un territorio.

- La dinámica de los ecosistemas y la dinámica del territorio deben mantenerse en equilibrio.
- El proceso de formación del riesgo y del desastre, deriva de la forma en cómo el individuo toma decisiones respecto a un territorio.
- El atlas de riesgos es un documento rector, normativo, de observancia interna general, que se considera como unidad de mando, por lo que las propuestas de este documento no son negociables.

Así como se ha referido insistentemente en el presente estudio, se prevé que el crecimiento de la población y de la zona urbana del municipio de Solidaridad es inminente, por lo que es imprescindible incentivar políticas públicas para que el desarrollo del territorio sea sostenible en el tiempo.

Con estas propuestas se pretende que la población del municipio sea más resiliente, es decir que incremente su capacidad para resistir, asimilar, adaptarse y recuperarse de los efectos provocados por un desastre en un corto plazo y de manera eficiente, a través de la preservación y restauración de sus estructuras básicas funcionales logrando una mejor protección futura y mejorando las medidas de reducción de riesgos.

Una de las pautas fundamentales es mantener actualizado el atlas para convertirlo en una herramienta útil para el desarrollo y ordenamiento del territorio. En este sentido, para cada fenómeno identificado que tiene incidencia en el municipio, se hacen propuestas desde dos vertientes. Medidas estructurales y medidas no estructurales. Las medidas estructurales se refieren a cualquier intervención física de tipo constructiva en la infraestructura urbana para mejorar el desempeño de sus funciones, mientras que las medidas no estructurales están enfocadas en acciones para intervenir en el actuar de la población con el objetivo de disminuir los riesgos.

Se destaca que cada una de las obras y acciones propuestas son imprescindibles para evitar desastres en el territorio, y que Protección Civil, es un agente clave dentro de la estructura de gobernanza municipal, por lo que debe estar en vinculación de acciones junto con otras secretarías como desarrollo urbano, turismo, desarrollo económico y atracción de inversiones, medio ambiente sustentable y cambio climático, catastro, secretaría de salud, entre otros entes que fungen como eje para el desarrollo del territorio.

5.4.1 Riesgos geológicos

Existen diversas actividades humanas que pueden favorecer el aumento de la frecuencia y magnitud de los fenómenos geológicos como hundimientos y subsidencia del subsuelo. Las condiciones naturales como la litología, la presencia de formaciones kársticas y fracturas geológicas son factores intrínsecos a estos fenómenos. Sin embargo, el aumento de los pozos de extracción de agua subterránea y vibraciones en el suelo y subsuelo provocadas por nuevas

construcciones o excavaciones incrementan la probabilidad de ocurrencia de hundimientos y subsidencia.

Debido a lo anterior, las medidas preventivas más recomendadas son las siguientes:

1. Regular la extracción de aguas subterráneas, así como evitar la descarga de drenaje en zonas susceptibles a hundimientos o subsidencia.
2. Definir y respetar los usos de suelo y reglamentos de construcción, además de implementar requisitos de estudios de dinámica del suelo y subsuelo periódicamente.
3. Complementariamente, se recomienda revisar la infraestructura de agua, drenaje y alcantarillado con el objetivo de evitar el flujo de agua en el subsuelo.
4. Adicionalmente, es importante realizar campañas de concientización para reportar fugas, acumulaciones o anegamiento de agua, aparición de manantiales, fracturas en estructuras y deformaciones en el suelo.
5. Implementar acciones normativas de conservación del suelo y vegetación, así como acciones de reforestación y obras de control mediante la colaboración interinstitucional con autoridades de los tres órdenes de gobierno, la sociedad civil organizada y actores locales; en la Figura 87 se proponen las superficies para conservación de suelo y vegetación, reforestación y obras de control en distintas zonas del municipio.

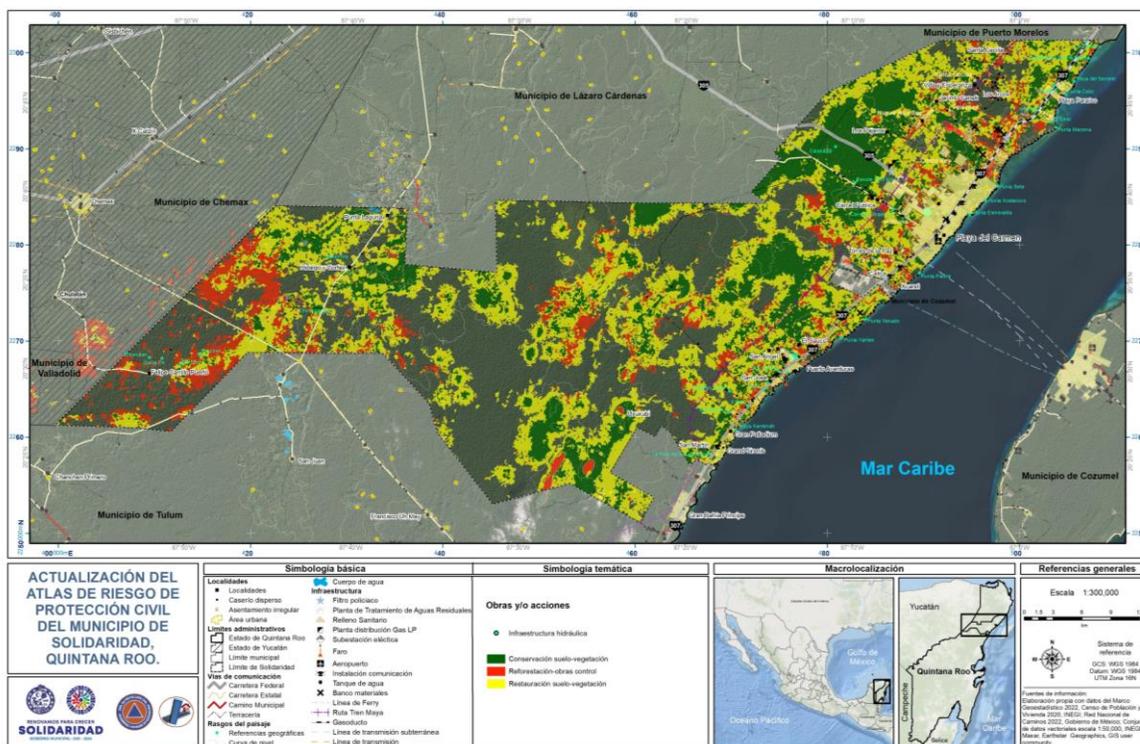


Figura 87. Obras y acciones de prevención

5.4.2 Riesgos hidrometeorológicos

5.4.2.1 Ciclones tropicales

Se cuenta con infraestructura conveniente para prevenir los ciclones, también cuentan con refugios temporales suficientes para atender una contingencia, aunado a ello se recomiendan las siguientes medidas que coadyuven en la prevención y mitigación de afectaciones hacia la población.

1. Fortalecer la gestión y manejo de residuos sólidos urbanos.
2. Asegurar el correcto funcionamiento estructural y de servicios en los sitios destinados como refugios temporales.
3. Vinculación con desarrollo urbano para evitar el crecimiento vertical de la población.
4. Evitar la instalación de espectaculares.
5. Fortalecer el sistema de cableado eléctrico que distribuye energía a las viviendas ya que con los vientos es afectado el sistema constantemente.
6. Actualizar frecuentemente el Plan de Contingencia ante Ciclones Tropicales e inundaciones siguiendo las recomendaciones del Centro Nacional de Prevención y Desastres (CENAPRED) y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN).
7. Establecer brigadas institucionales de atención ciudadana para las distintas fases de desarrollo de eventos hidrometeorológicos.
 - Campañas de difusión previas a la temporada de ciclones tropicales que contengan datos suficientes de contacto con las autoridades, las acciones a realizar antes y durante el impacto de hidrometeoros, tanto en sus hogares como en los sitios próximos, para ello se puede vincular con la estructura de la Secretaría de Justicia Social y Participación Ciudadana.
 - Campañas de difusión para la población en general, que ayuden a minimizar el azolvamiento y obstrucción de alcantarillas por la disposición inadecuada de residuos sólidos urbanos.
 - Diseñar protocolos de acción y simulacros ante la presencia de eventos hidrometeorológicos.
 - Planificar y realizar simulacros que permitan practicar los roles y responsabilidades de cada brigada.
8. Reforzar el mantenimiento y desazolve de alcantarillas y la red de drenaje en general.
9. Fortalecer la participación ciudadana mediante la organización local, conformada por habitantes de las distintas colonias y localidades de Solidaridad, que se encargue de socializar constantemente el Plan de Contingencia ante Ciclones Tropicales, para ello se puede recurrir a la estructura de la Secretaría de Justicia Social y Participación Ciudadana.
10. Diseñar un Plan de Manejo de Ecosistemas de Dunas Costeras y Humedales que permita identificar y delimitar las zonas de aprovechamiento, conservación y restauración de la vegetación y de suelos.

11. Implementar las acciones establecidas en el Plan de Manejo de Ecosistemas de Dunas Costeras y Humedales mediante la colaboración inter-institucional, la sociedad civil organizada y los actores locales.

5.4.2.2 Inundaciones

Como se explicó anteriormente, la actividad humana aumenta tanto la magnitud como la frecuencia de las inundaciones. El ritmo de aumento está determinado por el porcentaje de superficie que está cubierto por pavimento y concreto, lo que se conoce como cubierta impermeable. Generalmente, en las zonas urbanas, el sistema de alcantarillado pluvial acarrea el agua de lluvia a velocidades superiores que en los entornos naturales. Es así que la cubierta impermeable y las alcantarillas son en su conjunto una medida del grado de urbanización, por ejemplo, una zona urbana con el 40 por ciento de cubierta impermeable y un 40 por ciento de su área abastecida por alcantarillas, puede esperarse que tenga unas tres veces más inundaciones de una magnitud determinada que antes de la urbanización (Keller & Blodgett, 2004).

Es así como la extensión de las inundaciones urbanas está relacionada no solo con el caudal máximo de una inundación, sino también con las condiciones de drenaje. Tal es el caso de las inundaciones urbanas de Solidaridad, que, durante precipitaciones moderadas pueden causar inundaciones debido a que los pozos de absorción de agua rebasan su capacidad hidráulica por el arrastre de sedimentos de la tormenta, es por ello que se realizan las siguientes recomendaciones:

1. En las colonias identificadas con problemas de inundación, es necesario que se amplíe el número de pozos de absorción, derivado de un estudio hidráulico en el que se determine la capacidad actual y el número de pozos necesarios.
2. Reforzar el mantenimiento y desazolve de alcantarillas y la red de drenaje en general.
3. Fortalecer la gestión y manejo de residuos sólidos urbanos.
4. Campañas de difusión para la población en general, que ayuden a minimizar el azolvamiento y obstrucción de alcantarillas por la disposición inadecuada de residuos sólidos urbanos.
5. Implementar las acciones establecidas en el Plan de Manejo de Ecosistemas de Dunas Costeras y Humedales mediante la colaboración interinstitucional, la sociedad civil organizada y los actores locales.
6. Diseñar un instrumento de planeación y gestión pluvial municipal que permita tomar decisiones asertivas respecto a los puntos o zonas más afectadas y las obras de infraestructura puntuales requeridas¹.

¹ Consultar el Plan Maestro Pluvial de la Zona Metropolitana De Querétaro (2008-2025) elaborado por la Universidad Autónoma de Querétaro, realizar las adecuaciones pertinentes para la hidrología del municipio de Solidaridad.

7. Elaborar estudios geo-hidrológicos locales, que permitan cuantificar y principalmente controlar el almacenamiento y flujo del agua, así como para disminuir el riesgo potencial de contaminación de los acuíferos.

5.4.2.3 Temperaturas máximas extremas

Debido a las características propias del municipio de Solidaridad y como se mencionó en capítulos anteriores del presente documento, en concreto el aparatado referente al clima del capítulo 3 y temperaturas máximas extremas del capítulo 5, la población de territorio solidareense es propensa a sufrir los embates por ondas de calor y temperaturas superiores a los 40°C, sin embargo y a pesar de no representar un riesgo latente para la población local y flotante se recomiendan las siguientes acciones como medidas preventivas:

1. Contar con equipamiento de emergencia suficiente para evitar cortes de energía y de este modo evitar arriesgar a la población a temperaturas extremas que ocasionan problemas de salud.
2. Supervisar y proporcionar el mantenimiento oportuno de la infraestructura energética.
3. Campañas de concientización y difusión para la población en general que eviten la exposición al sol por tiempos prolongados.

5.4.2.4 Sequías

Al igual que en diversas latitudes del territorio nacional, el municipio de Solidaridad no se encuentra exento de sufrir afectaciones por sequías hidrometeorológicas prolongadas, sin embargo, para disminuir los posibles efectos a los habitantes por la incidencia de eventos de esta índole se emiten las siguientes recomendaciones:

1. Verificar que las concesiones de agua a los grandes consumidores, que en este caso son las empresas hoteleras, no rebasen el límite permitido autorizado.
2. Implementar el ahorro del recurso agua por parte de los grandes consumidores para evitar sobre explotación de los mantos acuíferos.
3. Diseñar un instrumento de planeación y gestión pluvial municipal que permita tomar decisiones asertivas respecto a los puntos o zonas más afectadas y las obras de infraestructura puntuales requeridas.

5.4.3 Riesgos químicos tecnológicos

5.4.3.1 Recomendaciones para los establecimientos que manejan gas

La manipulación y almacenamiento incorrectos de tanques de gas en los establecimientos puede representar un serio riesgo de explosión y de otros peligros. Algunos de los riesgos incluyen:

- **Fugas de Gas:** Las fugas de gas son comunes cuando los equipos de gas no están correctamente instalados o tienen un mal mantenimiento. El gas se acumula en áreas confinadas y puede explotar con la ignición adecuada.
- **Ventilación Inadecuada:** La ventilación insuficiente en áreas donde se usan o almacenan tanques de gas puede permitir que el gas se acumule, creando un ambiente propicio para la explosión.
- **Errores Humanos:** Los errores humanos, como abrir o cerrar válvulas incorrectas, pueden provocar fugas y, en última instancia, una explosión.
- **Almacenamiento Inadecuado:** Almacenar tanques de gas en áreas inseguras o cerca de materiales inflamables aumenta el riesgo de una explosión.

Para prevenir estos riesgos, es esencial seguir las recomendaciones en materia de protección civil de mejores prácticas de seguridad, como:

1. **Instalación Profesional:** Los tanques de gas deben ser instalados por profesionales certificados y de acuerdo con las normativas locales.
2. **Mantenimiento Regular:** Inspeccionar y mantener los tanques de gas y los equipos relacionados regularmente para asegurar que estén en buen estado de funcionamiento.
3. **Ventilación Adecuada:** Asegurarse de que el área esté bien ventilada para evitar la acumulación de gas.
4. **Almacenamiento Seguro:** Almacenar los tanques de gas en áreas designadas, alejadas de materiales inflamables y en posición vertical.
5. **Equipos de Emergencia:** Tener extintores de incendios y otros equipos de emergencia disponibles y asegurarse de que el personal sepa cómo usarlos.
6. **Cumplimiento de Normativas:** Cumplir con todas las regulaciones y normativas locales relacionadas con el almacenamiento y uso de gas.
7. **Una medida estructural importante a implementar es el cambio periódico de tanques de gas.** De acuerdo a la normatividad oficial mexicana, se propone una periodicidad de 5 años, sin embargo, es importante tomar en cuenta el ambiente del sitio en estudio, ya que el salitre provoca una corrosión más acelerada y, por lo tanto, se propone disminuir la periodicidad del cambio de tanque o monitorear el estado de los mismos de manera más puntual.

5.4.3.2 Recomendaciones para los establecimientos que manejan gasolina

Las gasolineras por ser lugares donde se almacenan y manipulan grandes cantidades de combustible los riesgos de derrames e incendios pueden ser extremadamente graves. Algunos de los riesgos asociados con los derrames e incendios de gasolina en gasolineras incluyen:

- **Derrames de Gasolina:** Los derrames pueden ocurrir durante la carga o descarga de combustible, así como debido a daños en las mangueras, válvulas o tanques de almacenamiento. Los derrames pueden extenderse rápidamente y contaminar el suelo y el agua, causando daños ambientales significativos.
- **Acumulación de Vapores:** Los vapores de gasolina son altamente inflamables y pueden acumularse en áreas confinadas, como sumideros, alcantarillas u otras áreas subterráneas, aumentando el riesgo de explosión.

- **Ignición:** Las chispas eléctricas, las llamas abiertas, el tabaquismo y otros tipos de ignición pueden desencadenar explosiones si hay vapores de gasolina presentes en el aire.
- **Equipos y Herramientas Eléctricas:** El uso inadecuado o defectuoso de equipos y herramientas eléctricas en áreas donde hay vapores de gasolina puede provocar chispas, que pueden desencadenar incendios o explosiones.
- **Choque y Colisiones:** Accidentes de vehículos, especialmente cerca de las bombas de gasolina, pueden provocar daños en las instalaciones y las bombas, causando derrames y aumentando el riesgo de incendios.
- **Manipulación Incorrecta:** La manipulación incorrecta de las bombas de gasolina y otros equipos puede provocar fugas y derrames.
- **Falta de Mantenimiento:** Equipos defectuosos, como las bombas de gasolina y las mangueras, pueden ser propensos a fugas y derrames si no se mantienen adecuadamente.
- **Condiciones Climáticas:** Las condiciones climáticas extremas, como rayos, tormentas eléctricas o incendios forestales cercanos, pueden aumentar el riesgo de incendios en las gasolineras.

Para minimizar estos riesgos, las gasolineras deben seguir estrictas medidas de seguridad, incluyendo:

1. **Formación del Personal:** El personal debe recibir formación adecuada sobre las mejores prácticas de seguridad y saber cómo responder en caso de derrames o incendios.
2. **Sistemas de Detección:** Instalar sistemas de detección de fugas y sistemas de extinción de incendios adecuados.
3. **Ventilación:** Asegurar una buena ventilación en áreas donde se almacena o manipula gasolina para evitar la acumulación de vapores.
4. **Mantenimiento Regular:** Realizar mantenimiento regular en las instalaciones y equipos para detectar y reparar posibles fugas o problemas.
5. **Protección contra Impactos:** Colocar barreras y protecciones para prevenir choques y colisiones en las áreas donde se almacena o dispensa gasolina.
6. **Cumplir con Regulaciones:** Cumplir con todas las regulaciones locales y nacionales relacionadas con la seguridad en las gasolineras.

La seguridad en las gasolineras es fundamental para prevenir accidentes graves y proteger tanto a los empleados como al público en general.

5.4.3.3 Recomendaciones generales para los establecimientos que manejan sustancias peligrosas

El uso de sustancias peligrosas requiere precauciones y medidas de seguridad extremadamente rigurosas para evitar accidentes graves. A continuación, se mencionan algunas recomendaciones generales para su manejo seguro:

1. **Conocimiento y Formación:**

- **Conocimiento:** Comprender completamente las propiedades de las sustancias que estás manejando, incluyendo sus riesgos, propiedades físicas y químicas.
- **Formación:** Proporcionar formación adecuada a los empleados sobre el manejo seguro, almacenamiento y transporte de sustancias peligrosas y explosivas.

2. Almacenamiento Seguro:

- **Almacén:** Almacenar las sustancias en áreas designadas y seguras, lejos de fuentes de calor, chispas y productos incompatibles.
- **Etiquetado:** Etiquetar claramente todos los contenedores con información sobre los riesgos y medidas de seguridad.
- **Separación:** Almacenar productos químicos incompatibles lejos unos de otros para prevenir reacciones peligrosas.

3. Manipulación y Uso:

- **Equipo Apropriado:** Utilizar equipo de protección personal adecuado, como guantes, gafas de protección y trajes especiales, según sea necesario.
- **Herramientas:** Usar herramientas y equipos específicos para manipular estas sustancias y evitar chispas o fricciones.
- **Ventilación:** Trabajar en áreas bien ventiladas o utilizar sistemas de ventilación para eliminar gases y vapores peligrosos.

4. Prevención de Derrames:

- **Contención:** Contener las sustancias peligrosas en recipientes seguros y, si es necesario, utilizar sistemas de contención como diques o bandejas.
- **Procedimientos de Emergencia:** Establecer procedimientos claros para la gestión de derrames y fugas, y proporcionar el equipo adecuado para limpiar y contener los derrames de manera segura.

5. Transporte Seguro:

- **Identificación:** Etiquetar correctamente los vehículos que transportan sustancias peligrosas y asegurar que los conductores estén entrenados en medidas de seguridad.
- **Seguridad Vehicular:** Asegurar que los vehículos cumplan con los estándares de seguridad y estén equipados con sistemas *antichispas* y dispositivos de seguridad adecuados.

6. Planificación de Emergencia:

- Plan de Emergencia: Desarrollar un plan de respuesta a emergencias que incluya la evacuación, la atención médica y las medidas para contener y controlar derrames o explosiones.
- Simulacros: Realizar simulacros periódicos para asegurar que los empleados estén preparados para actuar en caso de una emergencia.

7. Cumplimiento Normativo:

- Regulaciones: Cumplir con todas las regulaciones locales, nacionales e internacionales relacionadas con el manejo de sustancias peligrosas.

8. Evaluación de Riesgos Continua:

- Evaluación: Realizar evaluaciones regulares de riesgos para identificar nuevas amenazas o áreas de mejora en los procedimientos de seguridad.

Finalmente, la seguridad en el manejo de sustancias peligrosas es una responsabilidad y la capacitación adecuada y adherencia estricta a las normas y regulaciones son esenciales para prevenir accidentes graves y proteger la vida humana y el medio ambiente.

5.4.3.4 Recomendaciones generales para el combate de incendios forestales

Como se describió en el capítulo 5, específicamente en el apartado de incendios forestales, en el municipio de Solidaridad se han afectado más de 3,000 hectáreas de terrenos forestales producto de las actividades humanas como la cacería y la quema de basureros, sin embargo, se ha documentado de manera extra oficial la quema de terrenos forestales con fines agrícolas y habitacionales a pesar de estar catalogado como delito.

Es por ello que se requiere establecer acciones de cooperación interinstitucional para combatir y disminuir los efectos en los ecosistemas por este fenómeno, por lo cual se emiten las siguientes recomendaciones.

1. Socializar la normatividad en materia de protección forestal e incendios y las posibles consecuencias de realizar actos indebidos en terrenos forestales.
2. A pesar de no ser un municipio agrícola, se recomienda establecer e incentivar los permisos de quemas para que las autoridades se encuentren al tanto y de este modo estén preparadas en caso de alguna eventualidad.
3. Incentivar el establecimiento de Brigadas Comunitarias que ayuden a las autoridades de Protección Civil en el combate de incendios forestales en zonas remotas o de difícil acceso, para lo cual se deberán capacitar siguiendo los lineamientos y parámetros de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).
4. Asegurar el equipamiento adecuado para todos los combatientes (bombas, trajes, guantes, gafas, casco, automóvil, entre otros).
5. Reforzar la colaboración con Protección Civil de otros municipios, la CONAFOR y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) para actuar con

celeridad ante la presencia de incendios forestales en diversas zonas y según sus capacidades institucionales los permitan.

6. Desarrollar planes de vigilancia y acción con diversas autoridades, para combatir la caza furtiva y la ocurrencia de incendios forestales causados por los mismos.

5.4.4 Riesgos sanitario ecológicos

Los efectos evidentes del cambio climático a escala global impactan de manera negativa en muchos sentidos a la población, por lo cual es imprescindible considerar las siguientes recomendaciones de gobernanza para actuar desde lo local, y asegurar una calidad de vida para la población de Solidaridad.

1. Verificar la correcta emisión y aprobación de las concesiones de agua otorgadas con los decretos emitidos de veda del acuífero.
2. Verificar si las descargas de agua residual se encuentran bajo los límites máximos permisibles señalados en la NOM-001-SEMARNAT-2021, de lo contrario, aplicar un proceso para que las instancias responsables hagan las descargas responsablemente
3. Implementar un manejo integrado de control de plagas y enfermedades forestales para su conservación siguiendo los lineamientos y asesoría del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), centros de investigación especializados en la materia y la elaboración de estudios técnicos respecto a la salud y vitalidad de ecosistemas.
4. Implementar un programa de manejo integral de residuos sólidos urbanos para ampliar el tiempo de vida útil del relleno sanitario.
5. Actualizar el programa de desarrollo ecológico y territorial del municipio, debido a la alta tasa de crecimiento de su población y expansión urbana, para evitar tomar acciones desmedidas que impacten en la suficiencia de recursos para la población.
6. Reforestación y conservación de suelo y agua para asegurar los recursos naturales en el largo plazo.
7. Se identificaron vasos reguladores en el municipio a través de la interpretación y geoprocésamiento de imágenes satelitales, el resultado se muestra en la Figura 88.

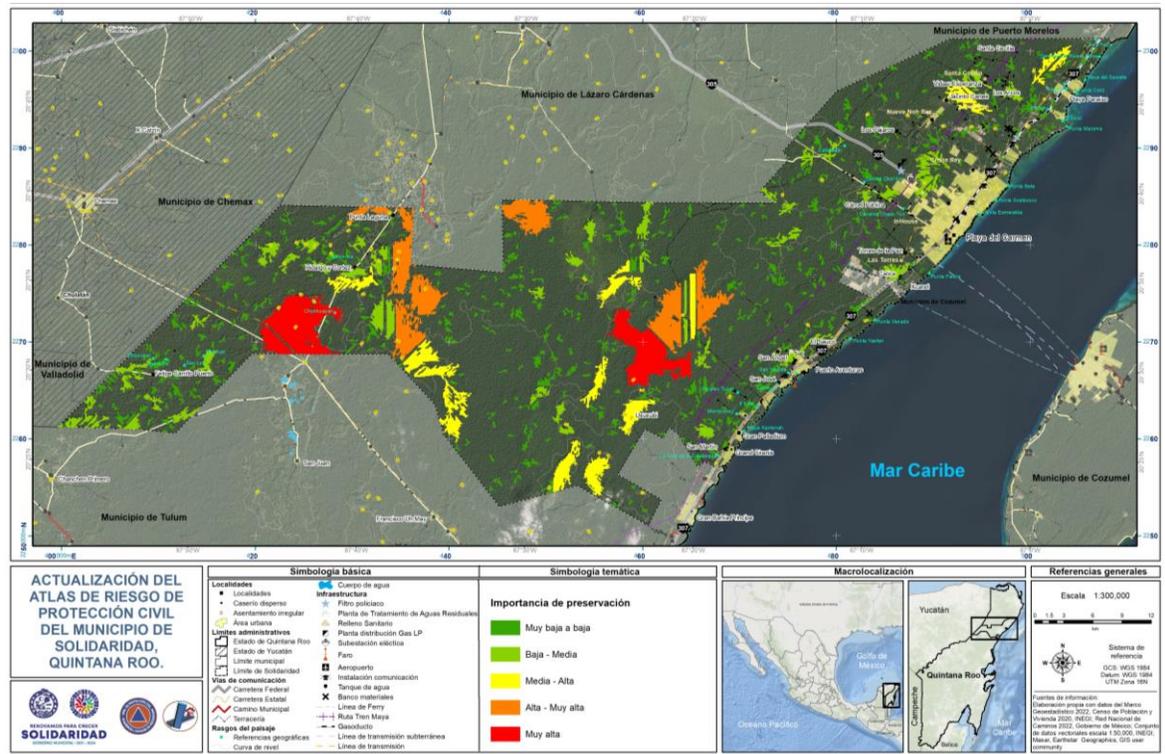


Figura 88. Vasos reguladores en el municipio de Solidaridad

Como se observa en el mapa, se identificaron vasos reguladores prioritarios para el equilibrio ecológico, el color que los representa va en escala de menor a mayor importancia, donde los señalados en rojo son los que se recomienda no intervenir.

5.4.5 Riesgos socio-organizativos

1. Fortalecer los programas internos de protección civil durante concentraciones masivas.
2. Campaña de difusión y concientización a la población para que actúe de manera pertinente en caso de amenaza y alerta de explosivos.
3. Armonización con la Ley General de Movilidad y Seguridad Vial 2022, donde se señala que el desarrollo de la infraestructura vial debe ser con preferencia al peatón.
4. Fortalecer la señalética de la ciudad para disminuir accidentes.
5. Colocar reductores de velocidad en el boulevard de Playa del Carmen en el cruce con el arco vial, donde se han identificado por lo menos dos accidentes trágicos.
6. Mantenimiento y rediseño del tramo de la carretera Solidaridad -Tulum, ya que recurrentemente se presentan accidentes debido al acumulamiento del agua durante las precipitaciones.
7. Diseñar un plan de acción ante contingencias marítimas.
8. Diseñar un plan de acción ante contingencias aéreas.

9. Diseñar un plan de acción respecto a la movilidad de personas con el Tren Maya, ya que es una intervención significativa para lo que se debe estar preparados,
 - Ubicación de las estaciones
 - Flujo de turistas al día
 - Tipo de combustible
 - Planes de contingencia en caso de emergencia
 - Difusión de esta información a la población para disminuir su vulnerabilidad

5.4.6 Recomendaciones generales

Las recomendaciones generales que se emiten a continuación buscan fortalecer el quehacer de la Secretaría de Protección Civil municipal y asegurar en la medida de lo posible la continuidad de los planes y programas diseñados para salvaguardar a la población y los bienes naturales que a su vez brindan servicios directos a la sociedad. Cabe señalar que estas recomendaciones son orientativas fundamentadas en estudios técnicos y de investigación científica, mas no limitativas por lo cual se invita encarecidamente a consultar y buscar asesoría con especialistas que permitan diseñar planes y protocolos “a la medida”, es decir, basándose en las características y problemáticas propias del territorio y sus habitantes.

Entre las recomendaciones generales, se establecen las siguientes:

1. Establecer protocolos de colaboración y campañas de extensionismo en materia de protección civil con estructuras locales establecidas, como la Secretaría de Justicia Social y Participación Ciudadana, principalmente con jefes de manzana, que coadyuven en la difusión de medidas preventivas y a su vez ayuden a mejorar o diseñar los protocolos de acción en base al conocimiento local de los habitantes y sus territorios.
2. Asignar a un responsable de la Secretaría de Protección Civil en materia de gestión de riesgos, cuyas funciones serán:
 - Utilizar herramientas digitales para la elaboración y captura de datos que faciliten las labores de las brigadas que realizan trabajo en campo.
 - Utilizar herramientas digitales de sistemas remotos que permitan identificar y dar seguimiento a eventos perturbadores como incendios forestales o eventos hidrometeorológicos.
 - Capturar y estandarizar los eventos o incidencias que se presenten en el municipio.
 - Mantenerse en constante capacitación para realizar adecuadamente dichas actividades.
 - Mantenerse en contacto directo con los responsables de la actualización del Atlas de Riesgos por fenómenos naturales y con los representantes de CENAPRED asignados para la interpretación y evaluación del mismo.
 - Establecer vínculos con las dependencias y secretarías del ayuntamiento municipal que coadyuven en la generación de datos de interés para la gestión

de riesgos por fenómenos naturales como desarrollo urbano, obra pública, limpia pública y medio ambiente.

3. Actualizar el Programa de Ordenamiento Ecológico Local del territorio para evitar el deterioro de los ecosistemas y de los bienes y servicios que los mismos proporcionan, así como para establecer los sitios adecuados para el establecimiento de los nuevos asentamientos humanos.
4. Diseñar instrumentos de planeación y gestión pluvial municipal que permita establecer las obras de infraestructura puntuales requeridas.
5. Diseñar un Plan de Manejo de Ecosistemas de Dunas Costeras y Humedales que permita identificar y delimitar las zonas de aprovechamiento, conservación y restauración de la cobertura forestal y de suelos.
6. Incentivar las acciones de protección de humedales y manglares debido a la importancia ambiental y social que estos sistemas poseen, al proporcionar alimento y refugio, pero principalmente como barreras naturales ante eventos hidrometeorológicos.

En materia de prevención y protección civil, resulta innegable tomar conciencia y planificar acciones concretas y bien informadas a partir de la investigación y la generación de conocimiento, que permita minimizar las afectaciones a la población por la incidencia de fenómenos naturales y encaminar el quehacer político, administrativo y social hacia la Gestión Integral del Riesgo, para lograrlo se requiere la colaboración inter-institucional y de la sociedad en general.

Es por ello que se enfatiza la aplicación de protocolos de acción y simulacros, campañas de difusión, así como el diseño o actualización constante de instrumentos de planeación escalables que coadyuven a la gestión y la toma de decisiones en beneficio de todos los solidarenses y los millones de turistas que visitan el territorio anualmente.

REFERENCIAS

- Aguilar, M. L. (2019). *Riesgo por hundimientos y subsidencia kárstica en la zona maya de Quintana Roo*. Ciudad de México: Consejo Quintanaroense de Ciencia y Tecnología.
- Aguilar, M. L., & Montejo, G. D. (2021). *Distribución espacial y valoración de la susceptibilidad de fenómenos kársticos al sur de Quintana Roo*. Yucatán, Yucatán: Asociación Mexicana de Estudios sobre el Karst.
- Alcántara-Ayala, I. (2019). Disasters in Mexico: Maps and notes around an unfinished story. *Investigaciones Geográficas*, (100). <https://doi.org/10.14350/rig.60025>
- Alcántara-Ayala, I., Salinas, M. G., García, A. L., Rueda, V. M., Orozco, O. O., Aguilar, S. P., ... Rangel, G. V. (2019). Integrated disaster risk management in Mexico: Reflections, challenges, and proposals from the academic community seeking a transformation on policy making. *Investigaciones Geográficas*, (98). <https://doi.org/10.14350/rig.59784>
- Alvarado-Barrientos, M. S., López-Adame, H., Lazcano-Hernández, H. E., Arellano-Verdejo, J., & Hernández-Arana, H. A. (2021). Ecosystem-Atmosphere Exchange of CO₂, Water, and Energy in a Basin Mangrove of the Northeastern Coast of the Yucatan Peninsula. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 126(2), 1–22. <https://doi.org/10.1029/2020JG005811>
- ALVARADO SEGURA, A., & DUNO DE STEFANO, R. (2010). *La palma chiit en la Península de Yucatán*.
- Armijo Palacios, G. "Influencia de lo métodos de mejora del terreno en la resistencia de suelos flojos frente a licuación. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 1995
- Aurora Ken, C., Rivero Colina, B. Á., & Ay Castillo, L. N. (2021). La situación agrícola de Quintana Roo ante los retos tecnológicos: un estudio de caso. *Economía Coyuntural*, 6(4), 105-144.
- Barrera, R., Amador, M., & MacKay, A. J. (2011). Population dynamics of aedes aegypti and dengue as influenced by weather and human behavior in san juan, puerto rico. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 5(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0001378>
- Baum, R. L., Galloway, D. L., & Harp, E. L. (2008). *Landslide and Land Subsidence Hazards to Pipelines (Version 1)*. *Open-File Report*. <https://doi.org/10.3133/ofr20081164>
- Bautista, F., Sampedro, E. B., Aponte, G. P., Pérez, M. O., & González, M. C. (2005).

Integración del conocimiento actual sobre los paisajes geomorfológicos de la Península de Yucatán. *Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán. Implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales*, (October 2014), 282.

Bear, J., & Bachmat, Y. (1984). Transport Phenomena in Porous Media --- Basic Equations. En J. Bear & M. Y. Corapcioglu (Eds.), *Fundamentals of Transport Phenomena in Porous Media* (pp. 3–61). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-6175-3_1

Bernabé, L., Izcapa, C., Rivera, R., Arcos, M., & Bravo, E. (2006). *Guía práctica sobre riesgos químicos*. México: CENAPRED. Recuperado de <https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/137-GUAPRCTICASOBRERIESGOSQUMICOS.PDF>

Bestratén, M. (1992). *NTP 293: Explosiones BLEVE (I): evaluación de la radiación térmica*. Madrid, España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España.

Bocanegra, E., & Custodio, E. (1994). Utilización de acuíferos costeros para abastecimiento. *Ingeniería del Agua*, 1(4), 49–78. Recuperado de <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/2649/2633>

CAPA. (2011). *PROGRAMA DE DESARROLLO INSTITUCIONAL DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA Y SANITARIA 2011-2016*.

Carbajal Sandoval, G., & Carbajal Sandoval, G. (2022). *PANORAMA EPIDEMIOLÓGICO DE DENGUE SEMANA 52 2022*.

Caballeros, R., & Zapata, R. (2000). *Un tema del desarrollo: la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres*. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/items/a521392b-5dc8-4ed8-866d-e4b081b5bdfa>

CCPY. (2021). *Tipos de Clima. Mérida, Yucatán: Estrategia de cambio climático de la Península de Yucatán*.

Ceballos Liceaga, S. E., Carbajal Sandoval, G., & Osorno Rasso, M. (2020). *PANORAMA EPIDEMIOLÓGICO DE DENGUE SEMANA 53 2020*.

Ceballos Liceaga, S. E., Carbajal Sandoval, G., & Mayo Guerra, L. (2021). *PANORAMA EPIDEMIOLÓGICO DE DENGUE SEMANA 52 2021*.

Ceballos Liceaga, S. E., Carbajal Sandoval, G., & Ramiro Mendoza, M. S. (2023). *PANORAMA EPIDEMIOLÓGICO DE DENGUE SEMANA 44 2023*.

- CENAPRED. (2006). *Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2005* (Impacto socioeconómico de los desastres en México). Ciudad de México. Recuperado de https://www.cenapred.unam.mx/PublicacionesWebGobMX/buscar_buscaSubcategoria.action
- CENAPRED. (2007). *Ciclones tropicales*. Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- CENAPRED. (2011). *Tsunamis. Serie de Fascículos*. Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- CENAPRED. (2014). *Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y riesgos: Fenómenos Hidrometeorológicos*. México: CENAPRED. Recuperado de https://www.cenapred.unam.mx/PublicacionesWebGobMX/buscar_buscaSubcategoria.action;jsessionid=445BFAA470EA20AE365460C9E068507F
- CENAPRED. (2014). *Serie fascículos. Sequías*. Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- CENAPRED. (2016). *Descripción de los fenómenos hidrometeorológicos*. Ciudad de México: Gobierno de México.
- CENAPRED. (2016). *Guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación.
- CENAPRED. (2017). *¿Qué es un sismo? ¿Por qué suceden?* Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres. Obtenido de <https://www.gob.mx/cenapred/articulos/que-es-un-sismo-y-por-que-suceden?idiom=es>
- CENAPRED. (2020). *Gestión integral del riesgo de desastres, nueva visión de la protección civil*. Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- CENAPRED. (2020). *Identificación de peligro sísmico a nivel municipal que permira contar con información básica para el desarrollo posterior de atlas municipales en todo el país*. Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres. Obtenido de https://www1.cenapred.unam.mx/DIR_INVESTIGACION/2021/1er_Trimestre/FR_ACCION_XLI/RS/210420_Informe_RS_CaracteristicasCFE2015.pdf
- CENAPRED. (2020). *Mapa nacional de susceptibilidad por inestabilidad de laderas*. Ciudad de México: Atlas Nacional de Riesgos. Obtenido de

<http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/inestabilidad-laderas.html#:~:text=La%20inestabilidad%20de%20laderas%2C%20tambi%C3%A9n,adquiere%20diversos%20grados%20de%20inclinaci%C3%B3n.>

CENAPRED. (2021). Curso: Metodología para elaboración de atlas de riesgos por fenómenos sanitario-ecológicos. Ciudad de México.

CENAPRED. (2021). *Deslizamiento de laderas*. Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/831497/Tema_1_CHAT_Deslizamiento_Laderas.pdf

CENAPRED. (2021a). *Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y riesgos: Evaluación de la Vulnerabilidad física y social*. México: CENAPRED. Recuperado de <https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/57.pdf>

CENAPRED. (2021b). *Metodología para la elaboración de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas*. México: CENAPRED.

CENAPRED. (2021). *Inestabilidad de laderas*. Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres. Obtenido de <https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/7-FASCICULOINESTABILIDADDELADERAS.PDF>

CENAPRED. (2021). *Serie de fascículos. Tormentas severas*. Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.

CENAPRED. (2022). *Conceptos básicos y guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos*. Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.

CENAPRED. (30 de Octubre de 2023). *Afectaciones del huracán Otis en el puerto de Acapulco*. Obtenido de <https://www.infobae.com/mexico/2023/10/26/gobierno-afirma-que-cenapred-no-tenia-previsto-que-huracan-otis-afectaria-a-acapulco-fue-algo-atipico/>

CENAPRED. (16 de Noviembre de 2023). *Los huracanes categoría 5 no son tan comunes, pero ocurren*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cenapred/es/articulos/los-huracanes-categoria-5-no-son-tan-comunes-pero-ocurren>

CENAPRED. (24 de Noviembre de 2023). *Metodología para la elaboración de atlas por fenómenos socio-organizativos (curso)*. Ciudad de México, México.

CENAPRED. (2023). Sistema de Consulta de Declaratorias 2000-2023. Recuperado el 25 de septiembre de 2023, de <http://www.atlasmunicipalderiesgos.gob.mx/apps/Declaratorias/#>

Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), & (WHO), W. H. O. (2023). Emergency event database EM-DAT. Recuperado el 25 de septiembre de 2023, de <https://www.emdat.be/>

CICY. (2010). Flora de la Península de Yucatán. Recuperado el 3 de octubre de 2023, de https://www.cicy.mx/sitios/flora_digital/ficha_virtual.php?especie=1978

Commons, A. (2018). Cartografía de las divisiones territoriales de México, 1519-2000. *Instituto de Geografía*.

CONAFOR. (2020). Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INyS). Recuperado de <https://snmf.cnf.gob.mx/principalesindicadoresforestalesciclo-2015-2020/>

CONAFOR. (n.d.). *Hypsipyla grandella_Version Corta*. Retrieved November 26, 2023, from http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/08%20Gu%C3%ADas%20de%20s%C3%ADntomas%20y%20da%C3%B1os/Gu%C3%ADas%20de%20s%C3%ADntomas%20y%20da%C3%B1os%20nativas/Hypsipyla%20grandella_Version%20Corta.pdf

CONAFOR. (2022). *Diagnóstico Fitosanitario Forestal del Estado de Quintana Roo 2022*.

CONAGUA. (2021). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*.

CONAGUA. (2023). Información histórica de ciclones tropicales. Recuperado el 26 de septiembre de 2023, de <https://smn.conagua.gob.mx/es/ciclones-tropicales/informacion-historica>

CONAGUA. (2023). *Calidad del agua en México*. Ciudad de México: Secretaría de Gobernación. Obtenido de <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua#:~:text=La%20CONAGUA%20lleva%20a%20cabo,%2C%201%C3%A9nticos%20costeros%20y%20subterr%C3%A1neos>.

CONANP. (2022a). Caribe Mexicano. Recuperado el 5 de octubre de 2023, de <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=191®=9>

CONANP. (2022b). Otoch Maax Yetel Kooh. Recuperado el 5 de octubre de 2023, de <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=92®=9>

CONAPO. (2010). *Concepto y dimensiones de la marginación*. Ciudad de México: Consejo Nacional de Población.

CONEVAL. (2010). *Términos de la metodología para la medición multidimensional de la pobreza en México*. Ciudad de México: Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social.

CONRED. (2021). *Vocán de Fuego, Pacayá y Santiaguito dentro de sus parámetros promedio*. Guatemala, Guatemala: Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres de Guatemala. Obtenido de <https://conred.gob.gt/volcan-de-fuego-pacaya-y-santiaguito-dentro-de-sus-parametros-promedio/>

Control Disease Center. (2023, February 9). *Dengue*.
<https://www.cdc.gov/dengue/es/index.html>

Cotler, E., Galindo, A., González Mora, I. D., Pineda López, R. F., & Ríos Patrón, E. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y Perspectivas para su manejo y gestión*. Ciudad de México: SEMARNAT.

Crespo, I. O., & Rodríguez, M. G. (2010). *Formas kársticas comunes de los cenotes del Estado de Quintana Roo*. Ciudad de Mexico: M+ A, revista electrónica de medioambiente, 15-35.

Darwin Aranda Patrón (Comunicación personal, 06 septiembre de 2023). Gerente del relleno sanitario de Solidaridad.

De Fuentes, A. G., Jouault, S., & Romero, D. (2019). A cartographic representation of the touristification of Cancún and the Yucatán Peninsula in the last 50 years. *Investigaciones Geográficas*, (100), 1–19. <https://doi.org/10.14350/ig.60023>

Diario Oficial de la Federación. (2019). *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*. Ciudad de México: Secretaría de Gobernación.

Diario Por esto. (16 de Noviembre de 2023). *Confirmado, son 14 lesionados tras accidente de un autobús de Xcaret en Playa del Carmen*. Obtenido de Por esto! Dignidad, identidad y soberanía: <https://www.poresto.net/temas/accidente-en-playa-del-carmen-20757.html>

Diario Oficial de la Federación (2004). *Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño,*

construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

DOF. (2010). *ACUERDO por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales subterráneas del acuífero Península de Yucatán, clave 3105, estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo.* Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación. Obtenido de

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5312870#:~:text=Municipio%20de%20Calakmul,-,El%20acu%C3%ADfero%20Pen%C3%ADnsula%20de%20Yucat%C3%A1n%2C%20clave%203105%2C%20abarca%20totalmente%20los,los%20municipios%20de%20Oth%C3%B3n%20P.

DOF. (2021). *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021. Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas residuales en cuerpos receptores propiedad de la Nación.* Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Espinoza Gómez, F., Hernández Suárez, C. M., & Coll Cárdenas, R. (2001). Factores que modifican los índices larvarios de *Aedes aegypti* en Colima, México. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 10(1), 6-12.

Farnesi LC, Martins AJ, Valle D, Rezende GL. Embryonic development of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae): influence of different constant temperatures. *Mem Inst Oswaldo Cruz*. 2009 Feb;104(1):124-6. doi: 10.1590/s0074-02762009000100020. PMID: 19274388.

Fraume Restrepo, N. J. (2006). *Diccionario ambiental.*

Frausto, O. (2019). *Conocimientos y saberes sobre el karst de México.* Ciudad de México: Acts With Science.

García-García, L. D., Osorio-Osorio, R., Valdez-Carrasco, J. M., Hernández-Hernández, L. U., De La Cruz-Lazaro, E., Márquez-Quiroz, C., ... & Montes-Ortiz, L. (2022). *Automeris moloneyi* Druce1 Larvae Feed on Oil Palm Leaflets. *Southwestern Entomologist*, 47(3), 633-642

García-Mondragón, D., Cervantes-Zepeda, I., Gómez-Demetrio, W., Gallego-Alarcón, I., García-Pulido, D., & González-Blanco, G. (2023). Gestión de los residuos sólidos en México: análisis cualitativo de los diagnósticos básicos. *Inter disciplina*, 11(30), 215-242. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2023.30.81788>

Gobierno del Estado de Coahuila. (2023). *Porcentaje de aguas residuales tratadas(2021)* . <http://indicadores.coahuila.gob.mx/mostrarMapa.php?numero=48x642e92efb79421734881b53e1e1b18b6>

GUILLEN ARGUELLES, E. L. I. S. A., & Carballo Sandoval, A. (2008). Diagnóstico de actividades económicas y producción artesanal en Solidaridad, Quintana Roo.

Hernández, G. A. (2021). *Estructura, diversidad y captura de carbono en áreas asociadas a procesos de restauración productiva en Calakmul*. El Colegio de la Frontera Sur.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2021). *La sobreexplotación de acuíferos: camino seguro hacia la quiebra hídrica* . 2021. Retrieved November 25, 2023, from <https://www.gob.mx/imta/articulos/la-sobreexplotacion-de-acuiferos-camino-seguro-hacia-la-quiebra-hidrica?idiom=es>

INEGI. (s.f.). *Agua potable y drenaje*. Retrieved November 5, 2023, from <https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/dispon.aspx?tema=T>

INEGI. (1983). Conjunto de datos vectoriales Geológicos, serie I. Cozumel F16-11. Escala 1:250,000. Recuperado el 1 de octubre de 2023, de <https://www.inegi.org.mx/temas/geologia/>

INEGI. (1997). *División territorial del Estado de Quintana Roo: De 1810 a 1995*. Aguascalientes, México: INEGI.

INEGI. (2001). Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional serie I. Recuperado el 2 de octubre de 2023, de <https://www.inegi.org.mx/temas/fisiografia/>

INEGI. (2002). *Estudio hidrológico del estado de Quintana Roo*. Aguascalientes, México: INEGI.

INEGI. (2007). Conjunto de Datos Vectorial Edafológico. Escala 1:250 000 Serie II Continuo Nacional Cozumel Hojas F16-11 y F16-10. Recuperado el 18 de septiembre de 2023, de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825235796>

INEGI. (2008). Geografía de México: Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas. Recuperado el 15 de octubre de 2023, de https://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/internet/1-geografiademexico/manual_carac_eda_fis_vs_enero_29_2008.pdf

INEGI. (2009). *Diccionario de datos edafológicos: escala 1:250 000*. Aguascalientes, México: INEGI.

INEGI. (2010a). Red Hidrográfica V 2.0 RH32. Recuperado el 5 de septiembre de 2023, de

<https://www.inegi.org.mx/temas/hidrografia/>

INEGI. (2010b). Simulados de flujos de agua de cuencas hidrográficas. Ciudad de México, México. Recuperado el 18 de octubre de 2023, de https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/

INEGI. (2016). Estudio de información integrada del acuífero cárstico Península de Yucatán. Recuperado el 14 de octubre de 2023, de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825086886>

INEGI. (2018). Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. Conjunto Nacional. Recuperado el 3 de octubre de 2023, de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463842781>

INEGI. (2020). *Panorama sociodemográfico de Quintana Roo : Censo de Población y Vivienda 2020*. Aguascalientes: CPV / Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI. (2020a). Censo de Población y Vivienda 2020. Recuperado el 28 de septiembre de 2023, de <https://www.inegi.org.mx/app/scitel/Default?ev=9>

INEGI. (2020b). Climas 1902-2011. Recuperado el 10 de septiembre de 2023, de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463769361>

INEGI. (2022). *CUENTAS ECONÓMICAS Y ECOLÓGICAS DE MÉXICO 2021*. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/CEEM/CEEM2021.pdf>

INEGI. (2022). *Carta de Climas 1902 - 2011 Escala 1:1,000,000*. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Geografía y Estadística.

INEGI. (2022a). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. Recuperado el 29 de septiembre de 2023, de <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>

INEGI. (2022b). Marco Geoestadístico 2022. Recuperado el 3 de septiembre de 2023, de <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/#mapas>

INEGI. (2022c). Zona hidrogeológica de Cancún - Tulum, Isla de Cozumel, Mérida y Valladolid, escala 1:75,000. Ciudad de México: INEGI.

Instituto Mexicano del Transporte. (2022). Red Nacional de Caminos. Recuperado el 1 de septiembre de 2023, de <https://www.gob.mx/imt/acciones-y-programas/red-nacional-de-caminos>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2018). *PRODUCCIÓN FORESTAL 2018*. www.gob.mx/semarnat

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2022. Ruiz Suárez LG, Gavilán García A, Mendoza Cantú A, Ramírez Muñoz T, Araiza Aguilar JA. Atlas Nacional de Residuos Sólidos Urbanos. pp. 311.

Ishihara, K. (1997). Normalized behavior of very loose non-plastic soils: effects of fabric. *Soils and foundations*, 37(4), 47-56.

IUSS Working Group WRB. (2015). *Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos* (Informes s). Roma: FAO.

Jaimes, A., Niño, M., y Reinoso, E. (2015). *Regional map of earthquake-induced liquefaction hazard using the lateral spreading displacement index DLL*. Springer

Keller, E., & Blodgett, R. (2004). *Riesgos Naturales: Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes*. Pearson.

La Jornada. (19 de Julio de 2023). *La Jornada Maya*. Obtenido de Playa del Carmen espera recibir 1.4 millones de turistas este verano: <https://www.lajornadamaya.mx/quintanaroo/199695/playa-del-carmen-espera-recibir-1-4-millones-de-turistas-este-verano>

La Jornada Maya. (06 de Marzo de 2021). Rayo provoca incendio en la palapa de Xcaret. *La Jornada Maya*, pág. sp. Recuperado el 17 de Octubre de 2023, de <https://www.lajornadamaya.mx/quintana-roo/83403/rayo-provoca-incendio-en-palapa-de-xcaret>

La Pancarta. (27 de Octubre de 2023). *La Pancarta de Quintana Roo*. Obtenido de Amenaza de bomba en las instalaciones en Seguridad Pública: <https://lapancartadequintanaroo.com.mx/amenaza-de-bomba-en-las-instalaciones-en-seguridad-publica/>

La Pancarta. (10 de Septiembre de 2023). *Sandos Caracol a pesar de amenaza de bomba no deja investigar a las autoridades en Playa del Carmen*. Obtenido de La Pancarta de Quintana Roo: <https://lapancartadequintanaroo.com.mx/sandos-caracol-a-pegar-de-amenaza-de-bomba-no-deja-investigar-a-las-autoridades-en-playa-del-carmen/>

LAN. (08 de Mayo de 2023). *Ley de aguas nacionales*. Ciudad de México: Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión.

- Lario, J., Spencer, C., Bardají, T., Marchantes, Á., Garduño-Monroy, V. H., Macías, J., & Ortega, S. (2019). *An extreme wave event in eastern Yucatán, México: Evidence of a palaeotsunami event during the Mayan times*. Madrid, España: *Sedimentology, Journal*.
- Las noticias de Tulum. (21 de Diciembre de 2017). *Reportan caída de avioneta al sur de Playa del Carmen*. Obtenido de Las noticias de Tulum.com: <https://www.lasnoticiasdetulum.com/2017/12/reportan-caida-de-avioneta-al-sur-de.html>
- Lee, F. T., & Abel, J. F. (1983). *Subsidence from underground mining; environmental analysis and planning considerations*. Circular. <https://doi.org/10.3133/cir876>
- León-Cruz, J. F. (2015). *Análisis de las condiciones meteorológicas de mesoescala en la incidencia de tornados en México*. San Luis Potosí, México: Instituto Potosino de investigación científica y tecnológica.
- List, R., Rodríguez, P., Pelz-Serrano, K., Benítez-Malvido, J., & Lobato, J. M. (2017). La conservación en México: exploración de logros, retos y perspectivas desde la ecología terrestre. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.007>
- LGPC. (20 de Mayo de 2021). *Ley General de Protección Civil*. Ciudad de México, México: Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión.
- Martínez Arce, A., & Esparza Olguín, L. G. (2019, February 28). *Residuos sólidos urbanos... "basura" para los cuates*. <https://www.ecosur.mx/residuos-solidos-urbanos-basura-para-los-cuates/>
- Mejía-Guevara, M. D., Correa-Morales, F., González-Acosta, C., Dávalos-Becerril, E., Peralta-Rodríguez, J. L., Martínez-Gaona, A., ... & Moreno-García, M. (2020). El mosquito del dengue en la Ciudad de México. Invasión incipiente de *Aedes aegypti* y sus potenciales riesgos. *Gaceta médica de México*, 156(5), 388-395.
- Monitor online. (25 de Mayo de 2023). *Monitor online*. Obtenido de ¡Amenaza de bomba en Playa del Carmen! El artefacto estaba dentro de una maleta en la colonia Colosio y tenía un mensaje escrito: <https://monitoronline.com.mx/2023/05/26/amenaza-de-bomba-en-playa-del-carmen-el-artefacto-estaba-dentro-de-una-maleta-en-la-colonia-colosio-y-tenia-un-mensaje-escrito/>
- MOPUT. (1991). *Guía para la elaboración de estudios del medio*. Madrid, España: Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

National Research Council, 1985. "Liquefaction of soils during earthquake". *Committee on Earthquake Engineering*. Commission on engineering and technical system. Washington USA

NOAA. (29 de Septiembre de 2023). *Saffir-Simpson Hurricane Wind Scale*. Obtenido de <https://www.nhc.noaa.gov/aboutsshws.php>

Noticaribe. (2023, April 22). *REBOSAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: Planta de tratamiento Bicentenario en Tulum, rebasada en su capacidad, presenta escurrimientos*. <https://noticaribe.com.mx/2023/04/22/rebosamiento-de-aguas-residuales-planta-de-tratamiento-bicentenario-en-tulum-rebasada-en-su-capacidad-presenta-escurrimientos/>

Ojeda, E., Appendini, C. M., & Mendoza, T. (2017). Storm-wave trends in Mexican waters of the Gulf of Mexico and Caribbean Sea. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 1305-1317.

Organización Mundial de la Salud. (18 de Octubre de 2023). *Agua para consumo humano*. Obtenido de Organización mundial de la salud: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#:~:text=El%20agua%20contaminada%20y%20el,fiebre%20tifoidea%20y%20la%20poliomielitis.>

Organización Panamericana de Salud (PAHO). (s.f.). *Dengue*. Retrieved November 2, 2023, from <https://www.paho.org/es/temas/dengue#:~:text=Es%20una%20enfermedad%20febril%20que,en%20las%20articulaciones%2C%20y%20sarpullidos>

Ortíz, G., Tun, J., Sandoval, C., & Torres, F. (2019). El Dzidzilché (*Gymnopodium floribundum*): una planta con varios servicios ecosistémicos en la península de Yucatán. *Bioagrobiencias*, 12(1), 27–33. <https://doi.org/10.56369/bac.2967>

PC Solidaridad. (2023). *Reporte de Feria del Carmen*. Ciudad del Carmen, Playa del Carmen, Quintana Roo: Secretaría de Protección Civil, Prevención de Riesgos y Bomberos.

PC Solidaridad. (2023). *Reporte de vacaciones de verano*. Ciudad del Carmen, Solidaridad, Quintana Roo.: Secretaría de Protección Civil, Prevención de Riesgos y Bomberos.

Peña-Chocarro, M., & Knapp, S. (2011). *Árboles del mundo Maya*. Madrid: UVA Impresores S.A.

Pérez, A. (2012). La integración de la gestión de riesgos en la gestión del desarrollo local desde la perspectiva de la vulnerabilidad ambiental en los territorios. *Desarrollo Local Sostenible*, 5(13), 1–7.

Pérez Suárez, T. (2004). Las Lenguas Mayas: Historia Y Diversidad. *Revista Digital Universitaria*, 5(7), 2–11. Recuperado de <http://www.filologicas.unam.mx/cem/plantac/PerezSTomas/PerezSTo-mas.htm>

Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo (POEQROO). (2008). Decreto Número: 007 por el que se crea el Municipio de Tulum, con cabecera municipal en la ciudad de Tulum. Recuperado el 2 de octubre de 2023, de <http://po.segob.qroo.gob.mx/sitioipo/MicroPO.php>

Por esto. (2021, June 27). *Tulum y Playa del Carmen generan 290 toneladas de basura al día*.

Por esto. (22 de Julio de 2023). *Por esto. Dignidad, identidad y soberanía*. Obtenido de Migrante de Irak amenaza con estallar una bomba en un Oxxo de Playa del Carmen: <https://www.poresto.net/quintana-roo/2023/7/23/migrante-de-irak-amenaza-con-estallar-un-bomba-en-un-oxxo-de-playa-del-carmen-393089.html>

Prokopovich, N. (1979). Classification of land subsidence by origin. *United States Bureau of Reclamation*, 389–399. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(87\)92391-6](https://doi.org/10.1016/0148-9062(87)92391-6)

Pujol Pizá, L. (2022). La explotación de recursos líticos en el entorno geológico del sitio prehispánico de Sihó (Yucatán) a través del análisis fisicoquímico de los metates de caliza. *Estudios de Cultura Maya*, LIX, 85–115. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=281371269003>

Ramírez, B., & Tapia, J. (2000). Tendencia regional de crecimiento urbano: el caso del Bajío. *Sociológica*, 15(42), 91–113.

REPDA. (17 de Octubre de 2023). *Localizador REPDA de aguas nacionales, zonas federales y descargas de aguas residuales*. Obtenido de <https://sigagis.conagua.gob.mx/locrepda20/>

Ríos Ponce, J. D., Acosta González, G., & Cejudo, E. (2020). La precipitación histórica y la extracción del agua subterránea en la península de Yucatán: una reflexión. *Desde el herbario CICY*, 110-118.

Ríos, E., Cotler, H., González-Mora, I., Pineda, R., & Alcántar, A. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. México: SEMARNAT.

Rodríguez, J. M., Alcocer, V. H., Albornoz, P., Llaguno, O., & Maldonado, J. (2014). *Problemática de inundaciones en zonas urbanas y propuestas de solución desde un enfoque matemático*. Recuperado de

<https://www.imta.gob.mx/images/pdf/articulos/MAPAS-DE-RIESGO-EN-ZONAS-URBANAS.pdf>

- Rubio Carriquiriborde, I. (2012). The structure of vulnerability within a large disaster risk scenario. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 77(0188–4611), 75–88.
- Ruiz Rivera, N., Casado Izquierdo, J. M., & Sánchez Salazar, M. T. (2015). Los Atlas de Riesgo municipales en México como instrumentos de ordenamiento territorial. *Investigaciones Geográficas*, 2015(88), 146–162. <https://doi.org/10.14350/rig.48326>
- Sánchez, D., & Egea, C. (2011). Enfoque de vulnerabilidad social para investigar las desventajas socioambientales. Su aplicación en el estudio de los adultos mayores. *Papeles de Población*, 17, 151–185. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11221117006>
- Scott, R. F. (1979). Subsidence – A review. En S. Saxena (Ed.), *Evaluation and prediction of subsidence* (pp. 1–25). American Society of Civil Engineers.
- Secretaría de Protección Civil de Chiapas. (2018). *Protección Civil mantiene el monitoreo de los volcanes Chichonal y Tacaná*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: Gobierno de Chiapas.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2000). Norma Oficial Mexicana, NOM-018-STPS-2000, Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. Recuperado el 10 de octubre de 2023, de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2062745&fecha=27/10/2000#gsc.tab=0
- SEDATU. (2014). *Bases para la estandarización en la elaboración de atlas de riesgos y catálogo de datos geográficos para representar el riesgo 2014*. Ciudad de México: Secretaría de Gobernación.
- SEDATU. (2017). Términos de referencia para la elaboración de Atlas de Peligros y/o riesgos 2018. Recuperado el 3 de agosto de 2023, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/300387/Te_rminos_de_Referencia_Atlas.pdf
- SEDUMA. (2009). *Programa estatal para la prevención y gestión integral de los residuos en el estado de Quintana Roo*.

SEMA. (2022). *REDUCIR LA CONTAMINACIÓN POR RESIDUOS SÓLIDOS Y DE MANEJO ESPECIAL*.

<http://semaqroo.gob.mx/2022/acuerdoseje9/mesa%20de%20trabajo%20de%20residuos%20plan%20del%20bienestar.pdf>

SEMARNAT. (2010). Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales subterráneas del acuífero Península de Yucatán, clave 3105, estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo. Ciudad de México. Recuperado el 20 de octubre de 2023, de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5312870#:~:text=Municipio de Calakmul,-El acuífero Península de Yucatán%2C clave 3105%2C abarca totalmente los,los municipios de Othón P.

SENASICA. (2014). *Ficha Técnica No. 14 Ácaro Rojo de las Palmas Raiella indica Hirst.*

Sequeira, N. Y., Bustos-Pérez, I., González-Martínez, Á. J., & Chavarría-Ñamendi, F. J. (2016). Incidencia de *Chrysobothris* sp. en cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia humilis*) con o sin asociado a guineo (*Musa balbissiana* ABB) en Rivas, Nicaragua. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 14(34), 63. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v14i34.2999>

SGM. (2006). *Carta Geológico-Minera- Cozumel F16-11. Escala 1:250,000*. Recuperado de https://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas_Online/geologia/

SGM. (2017). *Riesgos geológicos: causas, características e impactos*. Ciudad de México: Servicio Geológico Mexicano. Obtenido de <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Causas-caracteristicas-e-impactos.html>

SMN. (2023a). Base de datos climatológicos. Recuperado el 8 de octubre de 2023, de <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Max-Extr/00023/00023163.TXT>

SMN. (2023b). Lluvia máxima en 24 horas periodo 1998 - 2018. Recuperado el 9 de octubre de 2023, de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>

Soanes, L. M., Pike, S., Armstrong, S., Creque, K., Norris-Gumbs, R., Zaluski, S., & Medcalf, K. (2021). Reducing the vulnerability of coastal communities in the Caribbean through sustainable mangrove management. *Ocean and Coastal Management*, 210(May), 105702. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105702>

SSN. (2020). *Zona de subducción mexicana y su potencial para un sismo mayor*. Ciudad de México: Servicio Sismológico Nacional. Obtenido de <http://www.ssn.unam.mx/jsp/reportesEspeciales/sismoMayor.pdf>

SSN. (2021). *Catálogo de Sismos Históricos*. Ciudad de México: Servicio Sismológico Nacional. Obtenido de <http://www.sismoshistoricos.org/>

Soy playense. (2023, March 20). *En abril comenzará a operar la sexta celda del relleno sanitario de Solidaridad*. <https://soyplayense.com/noticias/en-abril-comenzara-a-operar-la-sexta-celda-del-relleno-sanitario-de-solidaridad/>

Thomas, J. E. (2013). Evaluación de la vulnerabilidad social ante amenazas naturales en Manzanillo (Colima). Un aporte de método. *Investigaciones Geográficas (Mx)*, (81), 79–93. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56928293007>

Tomás, R., Gerardo, H., José, D., & Fernando, P. (2010). Subsistencia del terreno. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17(3), 295–302. Recuperado de <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/199932>

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2023). ALOHA v 5.4.7. EPA. Recuperado de <https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>

Urquiza García, J. H. (2019). Una historia ambiental global: de las reservas forestales de la nación a las reservas de la biosfera en México. *Iztapalapa Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, (87), 101–134. <https://doi.org/10.28928/ri/872019/atc4/urquizagarciah>

Vidal, L. M. (2007). Evolución de la vulnerabilidad frente a fenómenos asociados con deslizamientos e inundaciones. caso zona nororiental de Medellín, 1960– 1990. *Gestión y Ambiente*, 10(2), 53–71.

Zetina Cuevas, M. A. (16 de Septiembre de 2019). *52 Aniversario del Huracán Beulah y del faro inclinado de Puerto Morelos. Breve reseña histórica*. Obtenido de Ayuntamiento de Puerto Morelos: https://www.facebook.com/PtoMorelosAyto/posts/2777564872345361/?locale=es_LA