



Propuesta de Plan de Acción Climática

MUNICIPIO DE TULUM



Tabla de contenidos

Resumen Ejecutivo	6
Introducción	23
Caracterización del municipio	26
Contexto Físico	26
Contexto sociodemográfico	28
Población	29
Economía	29
Vulnerabilidad Social	30
Equidad	31
Propuesta de especies bandera para la región de Tulum	32
Marco institucional y jurídico	36
Estructura administrativa	36
Marco Legal de la Acción Climática	39
Análisis de Riesgos y Vulnerabilidades Climáticas	42
Riesgos Climáticos	42
Pérdida de biodiversidad	42
Riesgo por calor	47
Riesgo por sequías	50
Riesgo de incendios	54
Riesgo de inundaciones	61
Riesgo por ciclones tropicales	66

Riesgo por afectaciones a cuevas subterráneas	68
Riesgo por hundimientos	71
Riesgo por enfermedades vectoriales	74
Impacto del Sargazo en los Ecosistemas	76
Escenarios de Cambio Climático para el municipio de Tulum	78
Trayectorias de concentración representativas (RCP)	79
Precipitación	81
Variación de riesgos por escenarios de cambio climático	84
Metodología para la evaluación de riesgo	85
Conclusiones del ARVC	89
Inventario de Gases de Efecto Invernadero	95
Metodología	95
Sectores y Año Base	96
Resultados	96
Energía Estacionaria	98
Transporte	104
Residuos	106
AFOLU (Agricultura, Silvicultura y Otros Usos del Suelo)	111
PROYECCIÓN DE EMISIONES 2030	117
Energía Estacionaria	118
Transporte	118
Residuos	120
AFOLU (Agricultura, Silvicultura y Otros Usos del Suelo)	121

Resumen del Escenario BAU	122
Metas de la Propuesta de Plan de Acción Climática	124
Mitigación	124
Adaptación	126
Acciones Climáticas del PAC	127
Acciones de Mitigación y Adaptación	129
Acciones de Mitigación	132
Acciones de Adaptación	151
Implementación, monitoreo y evaluación del PAC	165
Alternativas de financiamiento del PAC	173
Conclusiones	188
Anexo A: Clasificación de intensidad de la sequía	191
Anexo B: Mapas de Escenario de Cambio Climático	192
Temperatura mínima RCP 4.5	192
Temperatura mínima RCP 8.5	194
Temperatura máxima RCP 4.5	195
Temperatura máxima RCP 8.5	196
Temperatura promedio RCP 4.5	198
Temperatura promedio RCP 8.5	199
Precipitación RCP 4.5	201
Precipitación RCP 8.5	202
Porcentaje de cambio en precipitación 4.5	204
Porcentaje de cambio en precipitación 8.5	205

Anexo C: Áreas Naturales Protegidas	207
Anexo D: Características Físicas	212
Anexo E: Características Sociodemográficas	216
Anexo F: Marco Legal del Plan de Acción Climática	224
Anexo E: Lista de Acrónimos.	239
Referencias	241

Resumen Ejecutivo

Para poder contribuir a las metas nacionales de reducción de emisiones alineadas con el cumplimiento del Acuerdo de París, proteger el bienestar de sus ciudadanos y promover un crecimiento económico ambientalmente sustentable, el desarrollo e implementación de Planes de Acción Climática municipales son de suma importancia. Los Planes de Acción Climática son instrumentos de política pública que tienen como objetivo establecer políticas de mitigación y adaptación al cambio climático. Estas políticas se basan en un diagnóstico inicial el cual consiste en un **Análisis de Riesgos y Vulnerabilidades Climáticas (ARVC)** y en un **Inventarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)**.

El presente documento de Propuesta de Plan de Acción Climática Municipal plantea acciones priorizadas de mitigación y adaptación cuya implementación contribuirá a la reducción de emisiones de GEI e incrementará la resiliencia climática Tulum. Las acciones están alineadas a los compromisos y estrategias estatales y nacionales para combatir el cambio climático y a los resultados del ARVC y el Inventario de GEI.

ARVC

El riesgo es la posibilidad de sufrir efectos adversos en el futuro, a partir de los distintos tipos de clima, la distribución de los recursos naturales, la infraestructura instalada, el desarrollo económico y la concentración demográfica. Las características de los peligros climáticos y los niveles de riesgo serán los factores que determinarán los impactos climáticos potenciales.

La evaluación del riesgo climático es el proceso en el que se sistematiza la información relativa a las amenazas, exposición vulnerabilidad del área de estudio predefinida en un modelo de análisis. Implica una descripción de la probabilidad de que ocurra el peligro climático en función del conocimiento de expertos y la consecuencia de los impactos ocasionados por dicho peligro.

Dentro del análisis realizado se tomó en cuenta los criterios definidos en el Marco Común de Reporte (CRF, por sus siglas en inglés) del Pacto Global de los Alcaldes por el Clima y la Energía (GCoM, por sus siglas en inglés) para asignar el nivel de probabilidad a los peligros climáticos.

A partir de la evaluación de riesgo se obtuvieron los siguientes resultados:

Resultados de la evaluación de riesgo.

Riesgo	Categoría de probabilidad	Nivel de consecuencia	Nivel de riesgo
Pérdida de biodiversidad	Elevada	Grave	Muy Alto
Afectaciones a cuevas subterráneas	Elevada	Grave	Muy Alto
Hundimiento	Elevada	Grave	Muy Alto
Ciclones tropicales	Elevada	Grave	Muy Alto
Ondas de calor	Elevada	Moderada	Alto
Inundación	Moderada	Grave	Alto
Sequías	Moderada	Moderada	Medio
Incendio	Moderada	Baja	Bajo
Enfermedades vectoriales	Baja	Moderada	Bajo

Evaluación de riesgo para el municipio de Tulum



Clasificación de riesgos para la atención prioritaria.

Riesgo	Nivel de riesgo	Cambio esperado por escenarios climáticos
Riesgo por pérdida de biodiversidad	<u>Muy alto</u> El acelerado crecimiento del municipio de Tulum y el constante aumento de asentamientos humanos, ha generado una gran pérdida de cobertura vegetal, incrementando la deforestación en mayor parte cerca de la ciudad de Tulum en los últimos años. También destacan los notables cambios ecosistémicos de los arrecifes los cuales se han visto afectados por el aumento de temperatura oceánica, la reducción de disponibilidad de luz y oxígeno ocasionado por el incremento en el volumen del sargazo, y la reducción de la calidad del agua (Chávez et al., 2020). Es importante señalar que la degradación de arrecifes causaría una pérdida de resiliencia climática del municipio. Por último, es importante destacar que los recursos naturales de la zona son muy importantes para la promoción turística, es decir, que aparte de la oferta de hoteles de gran lujo y confort, el paisaje natural complementado con la riqueza arqueológica es el principal atractivo del turismo nacional e internacional. (Rubio Maldonado et al., 2010)	<u>Aumenta</u> Tanto las zonas costeras como la biodiversidad marina son altamente vulnerables a los efectos del cambio climático. Las modificaciones esperadas por los escenarios de cambio climático son afectaciones en los arrecifes debido al incremento de temperatura la cual incrementará su exposición a ciclones tropicales. Además, la acelerada liberación de CO₂ incrementa la acidificación de los océanos, provocando cambios en el paisaje submarino, que genera una disminución de las tasas calcificación en organismos como erizos, corales, algas, migración de las especies, reubicación de ecosistemas actuales, pérdida de arrecifes coralinos.
Riesgo por afectaciones a cuevas subterráneas	<u>Muy alto</u> Los sistemas kársticos son extremadamente complejos, y debido a un número de características geológicas e hidrológicas, pueden ser incluidos entre los ambientes más frágiles y vulnerables en el mundo. El rápido crecimiento de Tulum genera cada vez mayores cantidades de aguas residuales, desechos sólidos y rellenos sanitarios. Debido a que el agua fluye rápidamente, los sistemas kársticos no tienen retención suficiente del agua para la descomposición de contaminantes.	<u>Aumenta</u> Además de los impactos antropogénicos, el incremento en el nivel del mar tendrá impactos en las dinámicas hidrológicas de las cuevas subterráneas de la región, siendo muy importante y necesario resguardar los recursos hídricos.

Riesgo por hundimiento	<u>Muy alto</u> Al estar ubicado en una zona kárstica el municipio de Tulum es particularmente vulnerable a hundimientos. Aproximadamente 31.69% del territorio se encuentra en Alto o Muy Alto riesgo de hundimiento, principalmente en la zona costera, que presenta una superficie de 428.02 kilómetros cuadrados, lo que representa el 20.97% del territorio. La importancia de esta zona radica en que se encuentra el 75.67% de la población del municipio, así mismo, se localiza la zona con el desarrollo turístico y la mayor infraestructura urbana y de comunicación (SEDATU, 2015).	<u>Aumenta</u> Las principales causas del incremento de riesgo a hundimientos en el municipio de Tulum no son climáticas sino antropogénicas e incluyen el desarrollo urbano y la deforestación. Ambos procesos exponen mayor cantidad de suelo a la precipitación acelerando los procesos de karstificación.
Riesgo por ciclones tropicales	<u>Muy alto</u> Dada la naturaleza costera del municipio, Tulum tiene un alto nivel de riesgo de ciclones tropicales. Además, la geomorfología del municipio permite que las trayectorias de los huracanes tengan modificaciones considerables una vez que llegan a tierra, por lo que los ecosistemas más expuestos son las zonas de arrecifes. Punta Allen, por su baja elevación, lejanía y afectaciones en la carretera costera que la conecta con Tulum, tiene un grado muy alto de amenaza a ciclones tropicales (SEDATU, 2015).	<u>Aumenta</u> Se estima que el incremento esperado en temperatura oceánica tenga como consecuencia un aumento en la intensidad de los ciclones tropicales. Esto es consistente con las observaciones de Sánchez-Rivera et al. quienes identificaron un incremento en la intensidad de ciclones en la cuenca del Atlántico Norte de 1851 al 2019. Además, existe un aumento de la vulnerabilidad frente a los ciclones tropicales debido al crecimiento de la población y al desarrollo de la infraestructura costera. La península de Yucatán tiene las tasas más altas de llegada a tierra de huracanes de categoría mayor y de crecimiento demográfico en las principales ciudades turísticas. Finalmente, la pérdida de praderas marinas ocasionadas por el incremento de sargazo en zonas cercanas a la costa repercute en la estabilidad de las playas haciéndolas más vulnerables a los impactos de tormentas y huracanes.

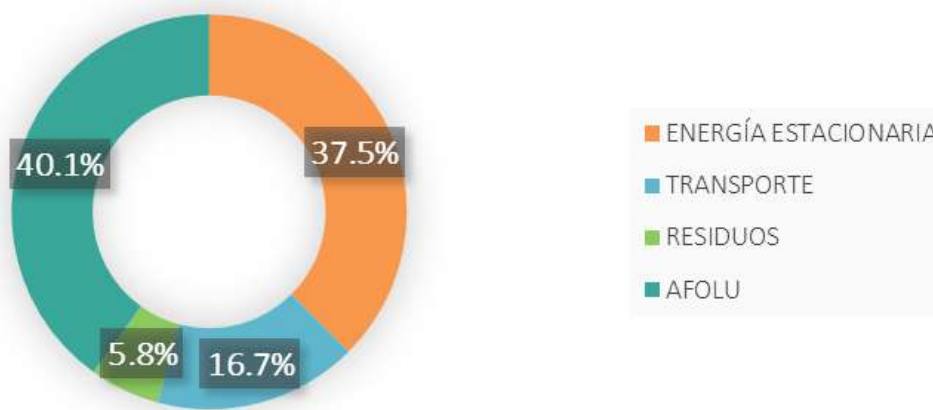
Riesgo de inundación	<u>Alto</u> La zona prioritaria es la zona costera del municipio que, de presentarse eventos de inundación, tendría impactos socioeconómicos importantes por su concentración de turismo y la cercanía de las regiones urbanas más pobladas del municipio. La zona costera que presenta el nivel de riesgo muy alto abarca un área de 1,045.77 km² (51.24% del territorio municipal).	<u>Aumenta</u> Con el aumento de temperatura máxima promedio en los horizontes cercano, medio y lejano en los escenarios climáticos, se espera un aumento en el nivel del mar lo que incrementa el riesgo de inundación costera del municipio. Por otro lado, el aumento esperado de temperatura significa que la atmósfera puede acumular mayor humedad por lo que se espera un aumento en la intensidad de lluvias, incrementando el riesgo de inundaciones pluviales.
Riesgo por ondas de calor	<u>Alto</u> El riesgo por ondas de calor se considera de riesgo alto para la atención prioritaria, puesto que el periodo de retorno para temperaturas máximas de 38°C es de 2 años. Para temperaturas de 47.6°C el periodo de retorno aumenta a 100 años.	<u>Aumenta</u> Al aumentar las temperaturas máximas en los 3 horizontes de los escenarios de cambio climático para RCP 4.5 y 8.5 (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022), se espera que el riesgo por ondas de calor aumente.
Riesgo por sequías	<u>Medio</u> El municipio se encuentra con un nivel de riesgo medio. Se han presentado en total 16 sequías severas a lo largo del 2003-2021. Los años con mayor cantidad de sequías severas fueron el 2007 y 2019 con 3 sequías por año, seguidos por los años 2008, 2009, 2011 y 2020 con 2 sequías (Vázquez & Ortiz, 2005).	<u>Aumenta</u> Se espera que el riesgo por sequías en el municipio de Tulum aumente. Los horizontes de los escenarios climáticos RCP 4.5 y 8.5 muestran una disminución de precipitación (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022). Además, la deforestación que se presenta en estas zonas ha aumentado a lo largo de los años, aumentando también la vulnerabilidad por sequía.
Riesgo de incendio	<u>Bajo</u> El riesgo por incendio es bajo, solo se han registrado 20 incendios a partir de los datos registrados por CONAFOR del 2015 al 2020. Las causas en la mayoría de los incendios son antropogénicas. El Complejo Sian Ka'an, en su porción terrestre se encuentra en constante riesgo por la presencia de incendios, los cuales son recurrentes cada año en temporada de secas.	<u>Aumenta</u> Al presentar una disminución en la precipitación a lo largo de los horizontes de los escenarios de cambio climático y un aumento en la temperatura máxima promedio, puede dar paso a incendios de mayor impacto.

Riesgo por enfermedades vectoriales	<u>Bajo</u> La tendencia de los casos de Dengue, Chikungunya y Zika van en disminución, pues solo se registraron casos en 2016 para Zika y para Chikungunya en 2015 y 2016. Sin embargo, no se descartan brotes futuros, puesto que para Dengue hubo un repunte en 2019, es por ello por lo que la participación de la población, de las autoridades municipales y del personal de salud, es indispensable para una adecuada anticipación y preparación de la respuesta a un problema de las enfermedades vectoriales.	<u>Aumenta</u> El riesgo por enfermedades vectoriales se espera continúe con el mismo patrón de decremento en casos. Sin embargo, debido al incremento de temperatura esperado en los escenarios climáticos, es posible que aumente el riesgo.
--	---	---

Inventario GEI

La metodología utilizada para la contabilización de los GEI se fundamentó principalmente en las directrices propuestas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) versión al 2006, a partir de cálculos de Nivel de Alcance I. El inventario considera las emisiones de los sectores de Energía estacionaria, Transporte, Residuos, y las emisiones de cambio de uso de suelo del sector Agricultura, Silvicultura y Otros Usos del Suelo (AFOLU). El año base de este inventario es el 2018 por su proximidad al año de elaboración y a la disponibilidad de los datos.

Emisiones totales: 289,613 tCO₂e



Las emisiones de gases GEI en unidades equivalentes de dióxido de carbono para el municipio de Tulum en el año 2018 fueron de **289,613 tCO₂e**.

Con 8.25 toneladas de CO₂e per cápita Tulum tiene mayor cantidad de emisiones per cápita que otras ciudades latinoamericanas que también cuantificaron las emisiones del sector AFOLU en sus inventarios. Esto se podría atribuir al gran porcentaje de población flotante que Tulum recibe a causa del Turismo.

Se considera una fuente de emisión prioritaria a aquella actividad o fuente de emisión que tiene una contribución sustancial al total de emisiones de GEI en el inventario. En este caso, el cambio de uso de suelo es la mayor fuente de emisiones municipales con un 40.1%, seguido por las emisiones derivadas del consumo de energía eléctrica del sector comercial (21.4%), el uso de automóviles (10.4%) y el consumo residencial de energía eléctrica (7.7%).

Emisiones totales por sector y principales subsectores (289,613 tCO₂e)

Energía estacionaria 108,692 tCO ₂ e 37.5%	Consumo comercial eléctrico	21.4%
	Consumo residencial eléctrico	7.7%
	Consumo industrial eléctrico	3.8%
	Consumo residencial de combustibles	2.1%
	Consumo comercial de combustibles	0.8%
	Consumo institucional eléctrico	0.7%
	Consumo industrial de combustibles	0.6%
	Consumo agropecuario de combustibles	0.4%
Transporte 48,243 tCO ₂ e 16.7%	Automóviles	10.4%
	Camiones y camionetas para carga	5.2%
	Motocicletas	0.9%

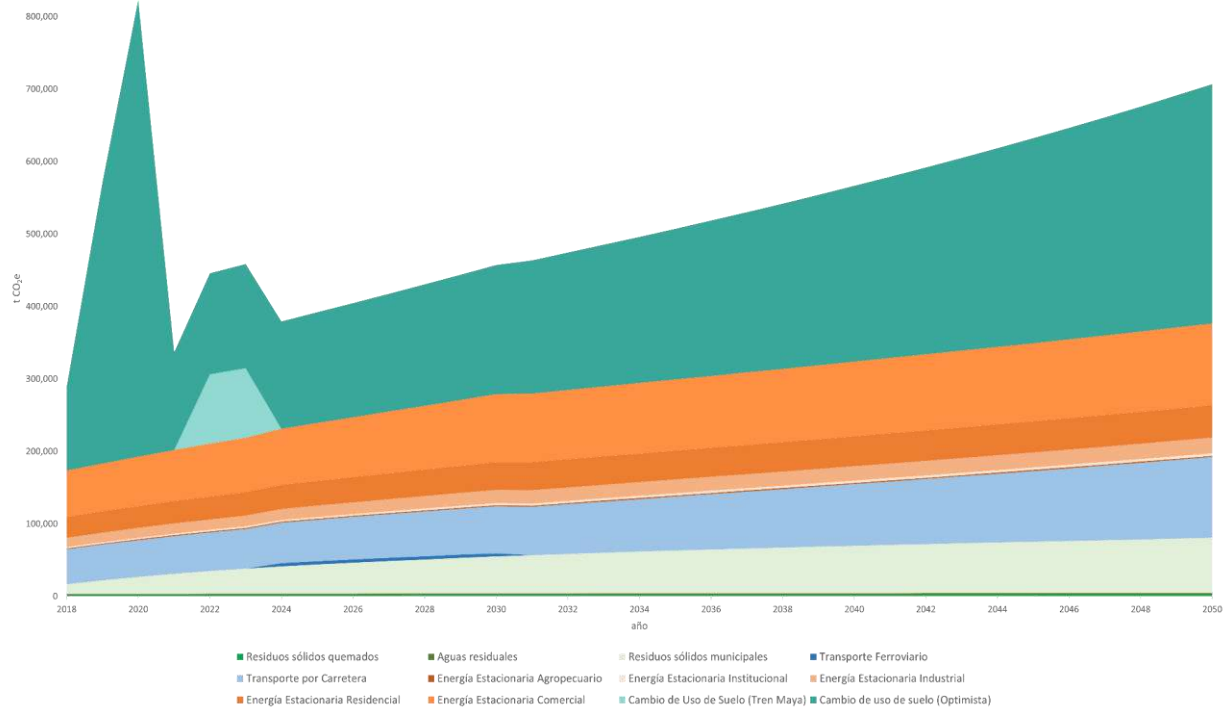
	Camiones para pasajeros	0.2%
Residuos 16,679 tCO ₂ e 5.8%	Residuos sólidos municipales	4.7%
	Aguas residuales	0.6%
	Quema a cielo abierto	0.5%
AFOLU 116,000 tCO ₂ e 40.1%	Cambio de uso de suelo	40.1%

Con base en los resultados de emisiones obtenidos al 2018 para el municipio de Tulum se generaron proyecciones para los años 2030 y 2050, las cuales permitirán comparar el incremento de emisiones durante el periodo estimado.

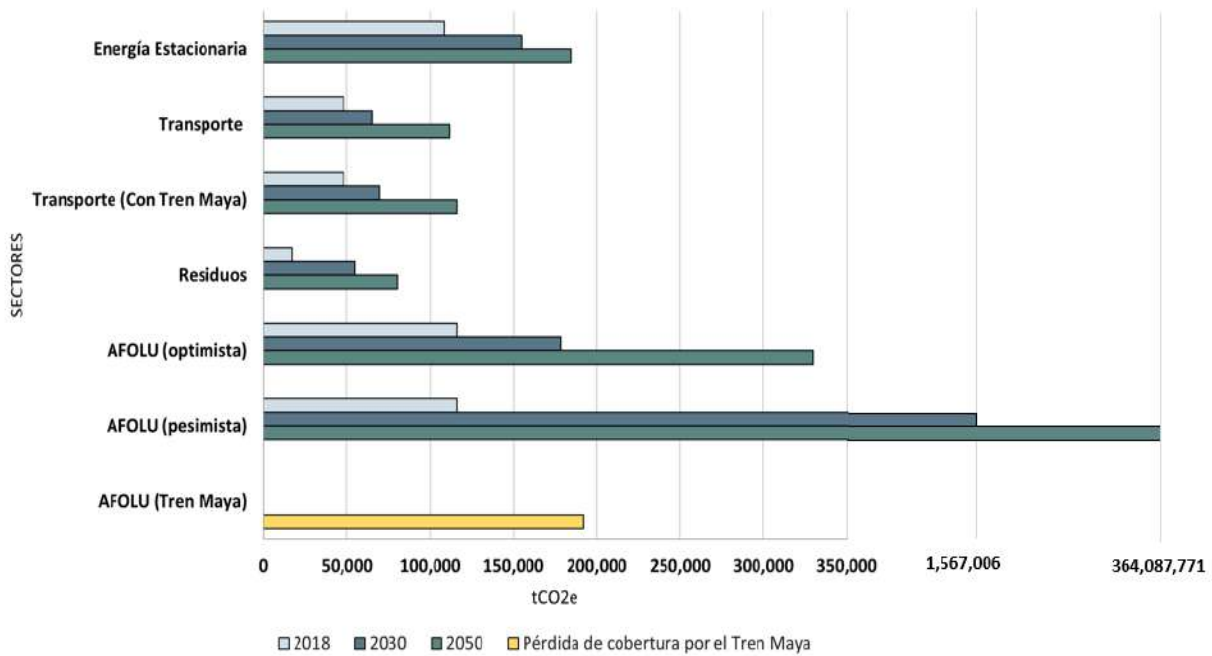
Este escenario tendencial es denominado “*Bussines As Usual*” (BAU, por sus siglas en inglés), ayuda a estimar la continuación de las tendencias actuales, por lo que se toma como referencia para proponer mejoras en los sectores que representan una fuente significativa de emisiones de GEI.

Durante el 2018 en Tulum se emitieron más de 280 mil toneladas de CO₂e, mientras que en las proyecciones optimistas hechas bajo los escenarios BAU ascienden a **452,944 toneladas de CO₂e en el 2030 y a 706,745 en el 2050**, lo que representa un aumento porcentual relativo de emisiones proyectado para el año 2030 del **56%** y de **144% para el 2050**. En el escenario pesimista las emisiones incrementan a **1,841,839 toneladas de CO₂e en el 2030**, un aumento del **536%**.

Proyección de Incremento en emisiones totales del 2018 al 2050.



Proyección de Emisiones de GEI en Tulum



Acciones Propuestas de Plan de Acción Climática

Acciones transversales de Mitigación y Adaptación

Las acciones de mitigación y adaptación (en conjunto) son **acciones transversales cuya implementación es esencial para el cumplimiento del resto de las acciones del Plan de Acciones Climática.**

La acción incluida hace referencia a la necesidad de **fortalecer las instituciones municipales. Muchas de las acciones propuestas**, particularmente las actividades de monitoreo y regulación **requieren de instituciones robustas para su correcta ejecución.** El fortalecimiento de las instituciones se llevará a cabo a través de incrementos presupuestarios y de personal, capacitaciones y el incremento de personal y recursos destinados a la vigilancia pública.

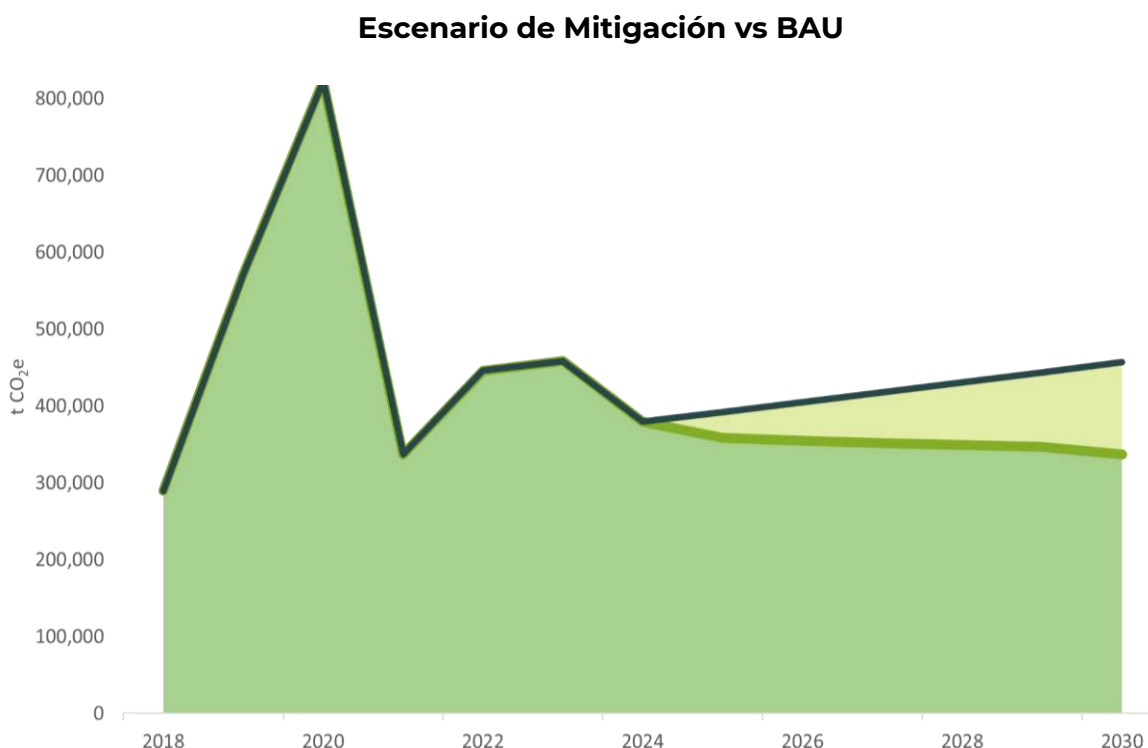
Acciones Transversales de Mitigación y Adaptación

Sector	Tipo	Acción	Metas al 2030
Transversal	Institucional	Fortalecer las instituciones municipales	Elaborar un plan de financiamiento del Plan de Acción Climática
			Aumentar el personal municipal en materia de vigilancia pública y administrativa a al menos 20 personas
			Realizar capacitaciones anuales al personal municipal

Mitigación

Dado las elevadas emisiones per cápita del municipio de Tulum y su constante crecimiento, si no se toman medidas para su reducción, las emisiones de GEI aumentarían un 56% para el 2030 y 144% para el 2050 con respecto al 2018 en un escenario optimista. En un escenario de deforestación pesimista las emisiones incrementarían un 536% para el 2030. Además, por su ubicación costera, Tulum es vulnerable a los efectos del cambio climático por lo que es de suma importancia tener un alto nivel de ambición en la mitigación de emisiones.

Por lo tanto, el municipio se compromete a que en el 2030 las emisiones de GEI tengan una reducción del 26.7% con respecto al Escenario BAU. Esto es equivalente a reducir 120,738 tCO₂e.



Proyección de emisiones de tCO₂e.

		Emisiones tCO ₂ e (ton/año)		
Sector	Subsector	2018	2030 BAU	2030 Meta
Energía Estacionaria	Residencial	28,481	38,101	30,892
	Comercial	64,207	94,036	66,779
	Agropecuario	1,193	1,462	1,462
	Industrial	12,812	18,228	18,228
	Institucional	1,999	2,951	2,423
		108,692	154,778	119,785
Transporte	Por carretera	48,243	65,004	50,449
Residuos	Residuos sólidos	13,494	51,016	18,768
	Quema a cielo abierto	1,439	1,773	1,773
	Aguas residuales	1,746	2,201	2,201
		16,679	54,990	22,742
AFOLU	Cambio de uso de suelo	116,000	178,171	139,230
Total		289,613	452,944	332,206

Para lograr las metas planteadas el municipio implementara 9 acciones de mitigación de emisiones. Las acciones de Mitigación tienen como objetivo **reducir las emisiones de gases de efecto invernadero producidas dentro de los límites municipales**. Las acciones están organizadas por sectores de generación: Energía Estacionaria, Transporte, Residuos, Agricultura, Silvicultura y Otros Usos del Suelo (AFOLU). El **alcance temporal** de todas las metas planteadas es el **2030**.

Acciones de Mitigación

Sector	Tipo	Acción	Metas al 2030
Energía Estacionaria	Energía Distribuida	Ciudad Solar Promover el aprovechamiento solar para la generación de energía	30% de las viviendas cuentan con un sistema fotovoltaico con generación del 56% del consumo eléctrico por vivienda
			50% de los hoteles cuentan con un sistema fotovoltaico que genere de entre 18 y 20% de su consumo eléctrico.
			30% de las unidades económicas del sector comercial (sin considerar hoteles) cuentan con un sistema fotovoltaico que genere 50% de su consumo eléctrico.
	Eficiencia Energética	Iluminación pública verde. Mejorar la eficiencia energética en el alumbrado público	100% del alumbrado público es sustituido por luminarias de alta eficiencia energética (LEDs)
		Nuevos edificios eficientes Mejorar el desempeño energético de las nuevas construcciones	100% de hoteles nuevos implementan medidas de eficiencia energética incluyendo: deshumidificador, aislamiento térmico en muros y losa, mejora en la eficiencia de extractores e iluminación, aislante en tuberías y calentadores solares de agua, ventanas con marco PVC y pintura reflectiva
			100% de los comercios nuevos implementan medidas de eficiencia energética reduciendo 1/3 de la energía eléctrica consumida
			100% de las viviendas nuevas implementan medidas de eficiencia energética incluyendo: aislamiento, mejoras en la eficiencia de iluminación, electrodomésticos y sistemas de aire acondicionado

		Reacondicionamiento de edificios	25% de hoteles implementan medidas de eficiencia energética incluyendo: deshumidificador, aislamiento térmico en muros y losa, ventanas con marco PVC y pintura reflectiva.
		Mejorar el desempeño energético de edificios existentes	25% de hoteles existentes además de las medidas anteriores implementan mejora en la eficiencia de extractores e iluminación, aislante en tuberías y calentadores solares de agua,
			50% de los comercios existentes implementan medidas de eficiencia energética reduciendo 1/3 de la energía eléctrica consumida
Transporte	Gestión de Demanda		23% de las viviendas existentes sustituyen sus luminarias por LED
			6% además de sustituir luminarias, implementan mejoras en la eficiencia de electrodomésticos y de los sistemas de aire acondicionado.
			1% adicional a las medidas mencionadas, implementa un sistema de iluminación inteligente y mejoras al aislamiento térmico
		Ciudad activa Mayor número de viajes en medios en medios no motorizados	6% de los viajes se realizan en medios no motorizados
		Ciudad conectada Mayor número de viajes en transporte público	20% de los viajes se realizan en transporte público

	Control de emisiones	Vehículos menos contaminantes Programas de verificación y sanciones a transportes ostensiblemente contaminantes	50% de los vehículos son verificados
			100% de los vehículos ostensiblemente contaminantes son sancionados
Residuos	Gestión de RSU	Ciudad limpia Mejor gestión de residuos sólidos urbanos	85% del área del relleno sanitario cuenta con un sistema de captura y quema de biogas. 80% de la población participa en el programa de reciclaje de basura. 90% de los participantes participan en el programa de separación de residuos orgánicos para compostaje y digestión anaeróbica. 90% de los residuos orgánicos son tratados mediante un sistema de digestión anaeróbica
AFOLU	Ordenamiento	Cuidemos el bosque Reducción de pérdida de cobertura forestal	Mantener la tasa de deforestación anual municipal en máximo 0.19%
			Reforestar 100 ha anuales

Adaptación

Las acciones de adaptación tienen como objetivo **reducir o evitar los impactos negativos actuales y esperados del cambio climático.**

En base a los resultados obtenidos en el Análisis de Riesgos y Vulnerabilidades climáticas, , la meta de adaptación municipal es incrementar la resiliencia climática de la población, infraestructura y los ecosistemas de Tulum. Es importante recordar que, al ser la primera línea de defensa contra los efectos adversos del cambio climático, es de vital importancia priorizar la salud y conservación de ecosistemas. Las acciones de adaptación atenderán los diversos riesgos identificados para el municipio a través de medidas de educación, infraestructura, ordenamiento territorial, capacidad de respuesta a desastres, e instrumentos financieros.

Sector	Tipo	Acción	Metas al 2030
Inundación Olas de Calor Ciclones Tropicales Hundimientos Afectaciones por cuevas subterráneas Pérdida de biodiversidad	Educación	Incrementar el conocimiento de riesgo de desastres y cambio climático para facilitar la toma de decisiones y la implementación de medidas de adaptación.	Actualizar y Publicar el atlas de riesgo cada 2 años Generar estudio detallado de inundaciones de la región de Coba
Inundaciones Olas de Calor Sequia	Infraestructura	Promover la infraestructura resiliente que aumenta la capacidad adaptativa ante la precipitación extrema y el confort térmico.	100% del sistema de drenaje municipal es rehabilitado Crear un programa de mejoramiento de drenaje 80% de las vialidades y camellones cuentan con sombra proporcionada por el programa de forestación. 35% de los edificios cuentan con techos verdes y/o reflejantes

			Actualización de reglamento de construcción
			Implementación de sistemas de captación de agua pluvial en 10% de los edificios comerciales y residenciales.
			Elaboración de análisis de factibilidad para el reacondicionamiento de pavimento por pavimento permeable
			Al menos 10% de los proyectos de pavimentación se realizan con pavimento permeable.
Inundación Olas de calor Ciclones Tropicales	Capacidad de respuesta y prevención de desastres	Ampliar el sistema de alerta temprana y garantizar el acceso de información al público sobre riesgos climáticos.	Incrementar la cobertura del sistema de alerta temprana ante riesgos, asegurando que al menos el 90% de la población se encuentre cubierta.
			Creación de un protocolo de olas de calor
			Crear un programa de atención a riesgos hidrometeorológicos y protocolos de evacuación
			Publicar y difundir los protocolos y programas de atención a riesgos del municipio
			Crear 10 nuevos refugios y puntos de enfriamiento.
Hundimientos Afectaciones por cuevas subterráneas	Ordenamiento	Incorporar la perspectiva de resiliencia climática en el ordenamiento territorial para la conservación de ecosistemas.	Mantener la tasa de deforestación anual municipal en máximo 0.19%
			Reforestar 100 ha anuales

Olas de Calor			Generar un mapa del sistema de cenotes e incluirlos en los instrumentos de ordenamiento territorial.
Inundaciones			
Pérdida de biodiversidad			Crear un marco de protección de cuevas subterráneas y cenotes
Ciclones Tropicales			15% de las residencias aseguradas
Hundimientos	Instrumentos Financieros	Incrementar la resiliencia climática en el municipio a través de seguros.	85% de edificios comerciales en zonas de alto riesgo asegurados
Incendios			
Inundaciones			
			Creación y difundir la Estrategia Municipal Contra Incendios
Incendios	Educación	Fortalecer programa de prevención y manejo de incendios	Implementar al menos 5 campañas de difusión de atención a riesgo de incendios
			Desarrollar 30 Programas Comunitarios de Manejo del Fuego

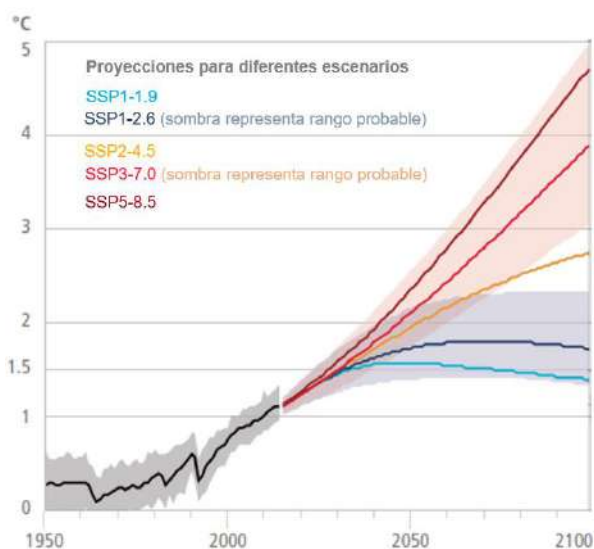
Introducción

El municipio de Tulum, al estar situado en la Riviera Maya, tiene una enorme riqueza ecológica. Sus playas, cenotes y selvas lo hacen un excelente destino turístico. En los últimos años, el incremento de interés por parte de turistas nacionales e internacionales ha contribuido al rápido crecimiento y desarrollo urbano del municipio. Paradójicamente, la atractiva ubicación geográfica de Tulum lo hace altamente vulnerable a los efectos del cambio climático como los huracanes, tormentas extremas y otros fenómenos hidrometeorológicos mientras que su rápido crecimiento económico viene acompañado por un incremento en emisiones de gases de efecto invernadero.

Dado que los efectos del cambio climático ya están teniendo afectaciones en los sistemas naturales, económicos y sociales es necesario no solamente implementar estrategias de adaptación al cambio climático sino también reducir las emisiones de GEI. Algunos procesos antropogénicos, como la quema de combustibles fósiles y el cambio de uso de suelo, han incrementado drásticamente la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y por lo tanto han contribuido al calentamiento global.

El Acuerdo de París tiene como uno de sus objetivos **“mantener el aumento de temperatura media mundial muy por debajo de 2°C con respecto a niveles preindustriales y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de temperatura a 1.5 °C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático.”** (UNFCCC, 2015)

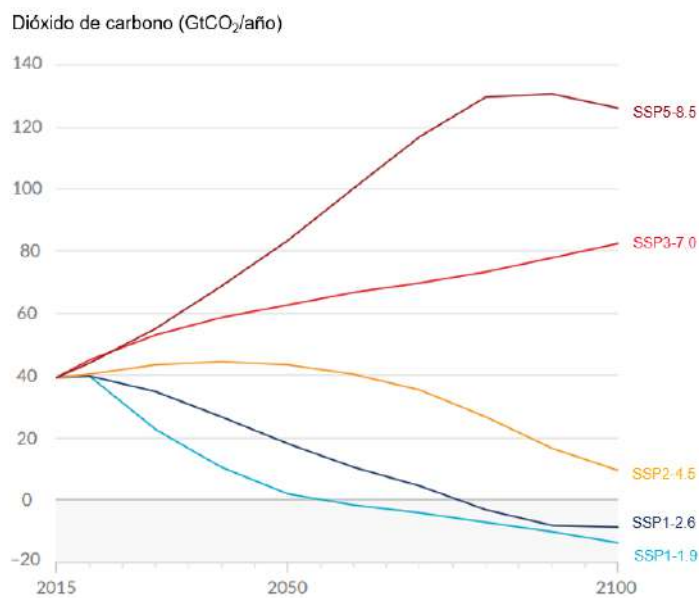
Figura 1: Cambio de temperatura global de la superficie. Aumento relativo al periodo 1850-1900 (IPCC, 2022)



De acuerdo con los escenarios presentados en el sexto informe del Panel Intergubernamental de expertos sobre cambio climático, para lograr los objetivos del Acuerdo de París y mantener el aumento de temperatura por debajo de los 2°C **es necesario reducir las emisiones de dióxido de carbono a 0 para el 2075.**

Para mantener el aumento de temperatura por debajo de los 1.5°C se necesitaría llegar a la neutralidad de carbono aproximadamente en el 2050.

Figura 2: Emisiones futuras anuales de CO₂ en cinco escenarios (IPCC, 2021)



Tulum, al tener uno de los valores de emisiones de gases de efecto invernadero per cápita más grandes de ciudades latinoamericanas, tiene la responsabilidad de implementar acciones de mitigación y adaptación al cambio climático. Además, al ser un municipio costero, Tulum es particularmente vulnerable a los impactos del cambio climático como olas de calores e incrementos en la intensidad de fenómenos hidrometeorológicos como ciclones tropicales.

Para poder contribuir a las metas nacionales de reducción de emisiones alineadas con el cumplimiento del Acuerdo de París, proteger el bienestar de sus ciudadanos y promover un crecimiento económico ambientalmente sustentable, es de suma importancia que Tulum desarrolle e implemente un Plan de Acción Climática. Los Planes de Acción Climática son instrumentos de política pública que tienen como objetivo establecer políticas de mitigación y adaptación al cambio climático. Estas políticas se basan en un diagnóstico inicial el cual consiste en un Análisis de Riesgos y Vulnerabilidades Climáticas y en un Inventarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

El presente documento de Propuesta de Plan de Acción Climática Municipal plantea acciones priorizadas de mitigación y adaptación cuya implementación contribuirá a la reducción de emisiones de GEI e incrementará la resiliencia climática del municipio de Tulum. Las acciones están alineadas a los compromisos y estrategias estatales y nacionales para combatir el cambio climático y a los resultados de los diagnósticos incluidos en este documento.

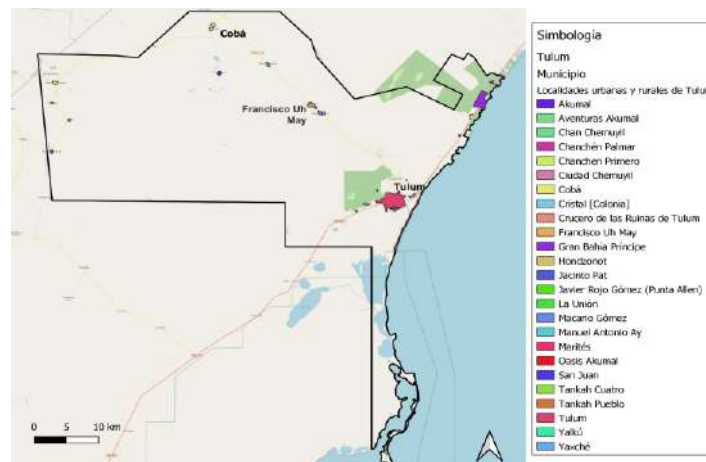
Caracterización del municipio

Contexto Físico

El municipio de Tulum fue oficialmente creado en 2008 como el 9º municipio del estado de Quintana Roo en la Península de Yucatán, México, sólo antes de Bacalar (2011) y Puerto Morelos (2015). Ubicado entre los municipios quintanarroenses de Solidaridad (al norte) y Felipe Carrillo Puerto (al sur), colindando al oeste con Valladolid (municipio de Yucatán) y al este con el Mar Caribe, se localiza geográficamente entre 20° 13' 00" Norte y 87° 28' 00" Oeste a 5 metros sobre el nivel del mar, en promedio.

Con una extensión total de 2,040.94 km² (4.9% de la superficie estatal), está conformada por más de 170 localidades (Ayuntamiento de Tulum, 2018). Entre ellas, destacan las comunidades de Akumal, Ciudad Chemuyil, Macario Gómez, Francisco Uh May, Manuel Antonio Hay, Cobá, Chanchen Primero, San Juan, Sahcab Mucuy, Hondzonot, Yaxche, Chanchen Palmar, San Pedro, Javier Rojo Gómez (Punta Allen) y la ciudad de Tulum, la cual es la cabecera municipal.

Figura 1: Localidades urbanas y rurales del municipio de Tulum. (INEGI, 2020a).



El municipio de Tulum se localiza en la provincia fisiográfica del Karst Yucateca, la cual se caracteriza por suelo kárstico. El tipo de suelo predominante en la región es el litosol (INEGI, 2018a), el cual se caracteriza por ser suelos poco desarrollados con grandes cantidades de material calcáreo, el cual limita su uso agrícola.

La mayor parte del territorio forma parte de la Región Hidrográfica Yucatán Norte perteneciente a la Cuenca Quintana Roo. En el territorio se encuentran alrededor de 105 sistemas largos de cuevas submarinas (QRSS, 2021) con cerca de 570 cenotes interconectados y múltiples lagunas tanto dentro del territorio como cerca de la costa. En 2018, el sistema de cuevas Sac Actun fue declarada la cueva sumergida

más grande del mundo, con más de 369 km de largo y cerca de 120 metros de profundidad.

El clima de Tulum es cálido subhúmedo con lluvias en verano (INEGI, s.f.) con una temperatura anual promedio de 25.45°C¹ en la parte interior del municipio y una precipitación promedio anual de 1,500 mm.

Cuadro 1: Datos de las estaciones meteorológicas del SMN activas en el municipio de Tulum entre 2010 y 2017.

Parámetros	Estación de Tulum (#23025)	Estación de Cobá (#23012)
Temperatura mínima promedio	22.2 °C	20.4 °C
Temperatura máxima promedio	28.8 °C	32.3 °C
Precipitación promedio diaria	3.5 mm	3.6 mm
Evaporación promedio diaria	4.1 mm	3.5 mm

La selva media subcaducifolia es el ecosistema predominante en el municipio. Sin embargo, también hay presencia de selva baja inundable, palmar inundable y sabana, mientras que la costa de Tulum alberga una extensión de manglares, ciénagas y estuarios (SEDATU, 2015). Dentro de las áreas naturales protegidas del municipio destacan la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an, el Parque Nacional Tulum, la Reserva de la Biósfera del Caribe Mexicano, el corredor Cancún-Tulum, Sitio RAMSAR: Playa tortuguera (Ver Anexo C).

¹ Este dato se obtuvo calculando el promedio de cuatro subestaciones (Tulum, Cobá, Felipe Carrillo Puerto y Playa del Carmen) meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) el cual tiene registros desde 1951 hasta el año 2010. En el mismo periodo se registró una precipitación media anual de 1,223.35 mm y evaporación de 1,546.03 mm.

Contexto sociodemográfico

La distribución sociodemográfica del municipio se compone principalmente de 5 regiones: 1) Zona Maya, 2) La Riviera, 3) zona de transición, 4) zona entre el Mar Caribe y las lagunas interiores y 5) la ciudad de Tulum (Ayuntamiento de Tulum, 2018). La Zona Maya se caracteriza por ser la región con mayor presencia de pueblos indígenas. Se constituye por una serie de pequeños poblados que manejan una vida rural donde las principales actividades económicas son de carácter agropecuario y relacionadas con la fabricación de artesanías y muebles, así como construcción de palapas. Por otro lado, La Riviera consta de localidades conformadas principalmente por migrantes atraídos por la oferta laboral generada por el turismo y su sector hotelero. De igual forma, existen conglomerados de alto nivel socioeconómico conformados por extranjeros o migrantes nacionales que pasaron de turistas a residentes. En esta región destacan los pueblos de Akumal y Chemuyil.

Las localidades de San Juan, Cobá, Macario Gómez, Manuel Antonio Hay y Francisco Uh May componen la zona de transición, ubicada entre la Zona Maya y la ciudad de Tulum. Esta región destaca por ser de carácter tradicional que cada vez más tiende al estilo capitalino. El tránsito de turistas por esta zona debido a los destinos arqueológicos cercanos ha influido en el auge y preferencia de actividades relacionadas con los servicios (negocios propios como venta de artesanías, bienes raíces) sobre actividades agrícolas (Ayuntamiento de Tulum, 2018).

En el extremo sur del municipio, en la franja territorial entre el Mar Caribe y las lagunas interiores, se extiende la localidad de Javier Rojo Gómez. Los pequeños poblados, como Punta Allen, toman un enfoque ecoturístico para sus principales sustentos económicos debido a que se encuentran dentro de la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an. Actividades como el buceo, servicios de alojamiento y guías naturalistas también son populares en la región. De igual forma, el aprovechamiento de los recursos derivados de la pesca es primordial en su estilo de vida.

La ciudad de Tulum se divide en tres áreas:

- La zona hotelera abarca la mayoría de las playas principales del lugar.
- Dentro de la zona urbana se encuentra gran parte de la población debido a la oferta de servicios básicos, educativos, viviendas e instalaciones gubernamentales.
- La Zona Arqueológica de Tulum, conocida como “Zamá” (mañana o amanecer en maya) es el único centro arqueológico ubicado a la orilla del mar del país (INAFED, s.f.). Su estado de conservación arquitectónico y sus murales la convierten en la más emblemática de la costa de Quintana Roo (INAH, 2022).

Población

Según el último censo nacional, realizado en 2020, Tulum cuenta con una población de 46,721 personas (mayoría de población masculina: 52.2%), de las cuales 46,645 viven en los 14,022 hogares censados (GAIA INEGI, 2020). El estrato poblacional más grande comprende a las personas entre 25 y 29 años con una edad mediana de 26 años. Según las proyecciones poblacionales de CONAPO se espera que en el 2030 la población incremente un 20% con respecto al 2020 con 258,609 habitantes (CONAPO, 2019). Esto equivale a una tasa de crecimiento anual promedio del 2%.

Un 66% de la población de Tulum se considera indígena (Ayuntamiento de Tulum, 2018). La etnicidad mayoritariamente presente en el estado de Quintana Roo y es la maya, el 25.4% (11,088) de la población municipal de 3 años y más habla alguna lengua indígena (GAIA INEGI, 2020) de las cuales 620 no hablan español. Dentro del territorio, se tienen registrados cerca de 20 pueblos mayas.

Economía

En los últimos años el crecimiento económico de Tulum ha incrementado. Según datos del Censo Económico del INEGI, la producción bruta total del 2018 fue de 9,618 millones de pesos, lo que representa un aumento de 137% con respecto al 2013. Esto representa un incremento en la tasa de crecimiento ya que del 2008 al 2013 la producción bruta incremento un 33%. (INEGI, 2019).

El 72.8% de la población municipal mayor a 12 años es económicamente activa. En total, dentro de Tulum existen 2,029 unidades económicas según el censo económico del 2018, las cuales están relacionadas principalmente a actividades comerciales, hospedaje, preparación de alimentos, servicios de reparación y mantenimiento y la industria manufacturera (INEGI, 2018b). Los servicios de alojamiento temporal son los que mayor número de empleos remunerados ofrecen y los que lideran en términos de ingresos y gastos totales. No obstante, de acuerdo con el Plan de Desarrollo Municipal para el periodo 2018-2021:

De la población ocupada, el 28% se dedica al comercio, el 10% se ubica en el mercado laboral turístico, el 9% en la construcción, el 7% en el transporte y el resto se dedica a otras actividades de gobierno, educación, salud y comercio informal, pero la gran mayoría se asocia con el turismo directa o indirectamente (Ayuntamiento de Tulum, 2018).

Como parte de la Riviera Maya, Tulum es considerado uno de los destinos turísticos más atractivos de la región y el país. Durante el 2021, Tulum se colocó como el 5° destino más popular y mejor calificado en México, según los Traveller's Choice 2021 realizados por TripAdvisor (Tripadvisor, 2021). Este sector se ha convertido en el motor de crecimiento del municipio aportando cerca del 87% del PIB estatal y

empleando aproximadamente al 80% de la población económicamente activa (Ayuntamiento de Tulum, 2018).

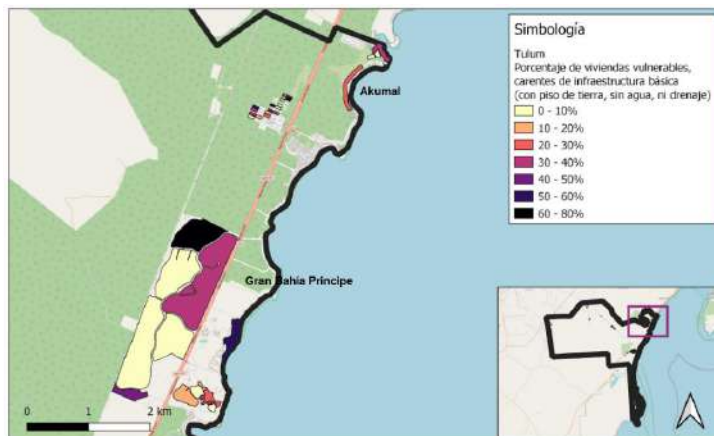
Vulnerabilidad Social

En el 2020 el 36.5% de la población municipal tubo ingresos por debajo de la línea de pobreza extrema (CONEVAL, 2020a). A pesar de ello, más del 85% de las viviendas en el territorio disponen de servicios básicos como energía eléctrica, agua entubada y drenaje y únicamente el 0.4% de la población no cuenta con energía eléctrica, agua entubada, ni drenaje. Cabe resaltar que de las 21,990 viviendas registradas solamente el 64% se encuentran habitadas (GAIA INEGI, 2020). La población vulnerable por carencias sociales alcanzó un 30%, mientras que la población vulnerable por ingresos fue de 41.9% (CONEVAL, 2020a).

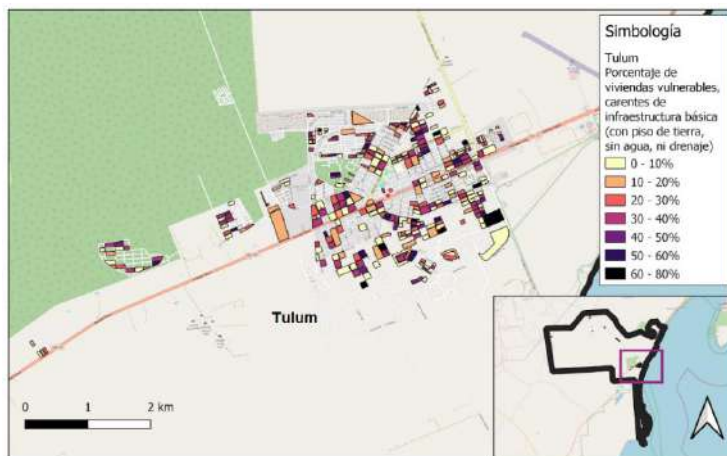
Cuadro 2: Viviendas que disponen de servicios y bienes. (GAIA INEGI, 2020)

Servicios en viviendas particulares habitadas	Absoluto	Porcentaje
Agua entubada en el ámbito de la vivienda	13,463	96.8%
Sanitario	13,223	95.1%
Energía eléctrica, agua entubada de la red pública y drenaje	12,346	88.8%
Drenaje	12,790	92%
Internet	6,269	45.1%
Refrigerador	10,212	73.4%
Computadora, laptop o tablet	3,805	27.4%
Línea telefónica fija	2,084	15%

Figura 2: Porcentaje de la población que viven en condiciones vulnerables de vivienda (Viviendas con piso de tierra, sin acceso a drenaje y/o suministro de agua)



a) Localidad de Gran Bahía Príncipe y Akumal



b) Localidad de Tulum

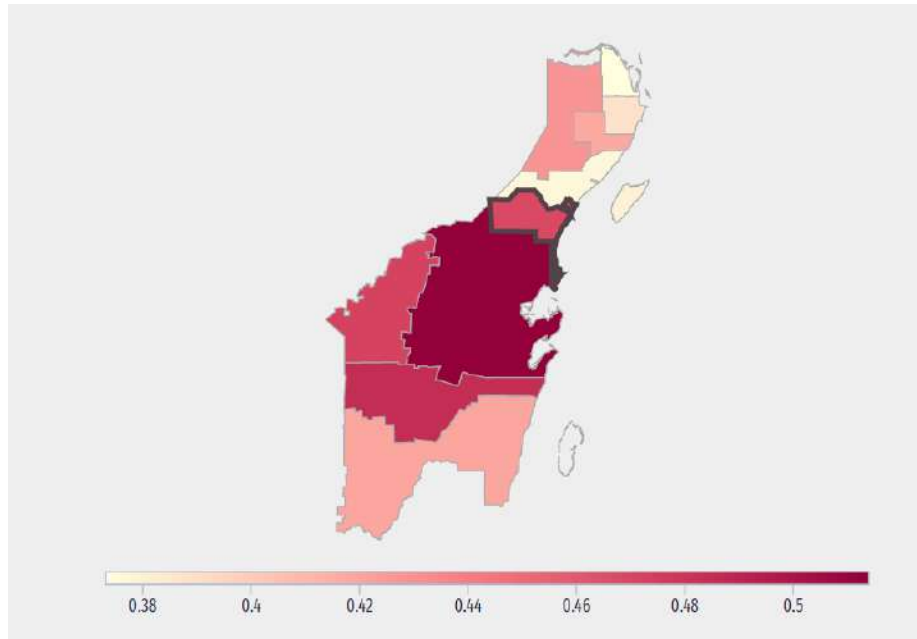
El municipio cuenta con 8 centros de salud públicos y 32 servicios médicos privados. Únicamente el 60.6% de la población en el municipio está afiliada a servicios de salud. Los porcentajes de analfabetismo y falta de escolaridad en la población son de 4.7% y 5.9% respectivamente mientras que la escolaridad promedio es de 9.3 grados (GAIA INEGI, 2020).

Equidad

Para representar la distribución de los ingresos y la inequidad de los habitantes de una región se empleó el índice GINI el cual es una medida estadística que son valores 0 y 1 en donde 0 representa perfecta igualdad, dicho de otra forma, toda la población tiene los mismos ingresos y 1 representa perfecta desigualdad, es decir, solo una persona tiene todos los ingresos. En el 2020 en el estado de Quintana Roo,

Tulum fue el cuarto municipio con mayor desigualdad social con un índice de GINI de 0.468 un aumento de 17% con respecto a los valores del 2015.

Figura 3: Desigualdad social según índice GINI en los municipios de Quintana Roo en el 2020 (DataMexico, 2021).



Propuesta de especies bandera para la región de Tulum

Las denominadas *especies bandera*, son especies carismáticas que durante años han funcionado como símbolo en la implementación y desarrollo de programas de conservación que involucren a estas especies y especies menos llamativas pero que también están asociadas con las especies bandera (Isasi-Catalá, 2011).

La elección de las especies bandera se realizó seleccionando especies que cumplan criterios de representatividad y endemismo dentro del estado, importancia ecológica y que exista una diversidad de especies de forma que exista una diversidad de estas, considerando mamíferos, reptiles y aves.

Dentro de las especies representativas en el estado de Quintana Roo, y principalmente en el municipio de Tulum, destacan el **jaguar (*Panthera onca*)** el cual es uno de los mayores felinos en nuestro país y que se distribuye principalmente en la zona sur y de la Península de Yucatán, contando a Quintana Roo como uno de los cuatro estados donde se encuentra las poblaciones más importantes de esta especie (CONANP, 2013). Además de ser uno de los felinos más emblemáticos de México, también es una especie considerada como “casi amenazada” por la *Red List* de especies amenazadas por parte de la IUCN Mientras

que, a nivel nacional se encuentra reportada por la NOM-059-SEMARNAT, como “en peligro de extinción”(CONANP, 2021^a).

Por otra parte, México también es uno de los principales sitios de anidación de especies marinas, donde destaca una de las tortugas mexicanas emblemáticas y de mayor tamaño, la **tortuga verde (*Chelonia mydas*)**. A nivel internacional esta especie se encuentra identificada como "en peligro" por la lista roja de la IUCN y como especie "en peligro de extinción" por la NOM-059 a nivel nacional (IUCN, 2004; *Tortuga Verde (Chelonia mydas)*, s.f.). Las playas de anidación más importantes para esta especie se encuentran principalmente en Quintana Roo, por lo que el municipio de Tulum participa en el Programa Nacional de Conservación de Tortugas Marinas el cual busca garantizar la protección de las tortugas mexicanas y fomentar el número de anidaciones. Dentro de este programa se consideran especies emblemáticas de tortugas mexicanas como la ya mencionada tortuga verde y también la tortuga caguama (*Caretta caretta*) (CONANP, 2016, 2020).

Por su parte, entre las aves pueden reconocerse tres que destacan por su nivel de endemismo en la región de Tulum. La primera de ellas es el **tucán Pico Canoa (*Ramphastos sulfuratus*)** si bien el tucán es una de las principales aves de Belice, la especie *R. sulfuratus* es una de las 3 especies que se distribuyen en México, principalmente en la región de la Península de Yucatán, siendo esta especie la de mayor tamaño. Es un ave de gran atractivo y que destaca principalmente por su colorido en el pico. A nivel internacional está catalogada como "preocupación menor" por parte de la lista roja de la IUCN, pero a nivel nacional se clasifica como especie "amenazada" en la NOM-059 (IUCN, 2021a; NaturaLista Mexico, 2022).

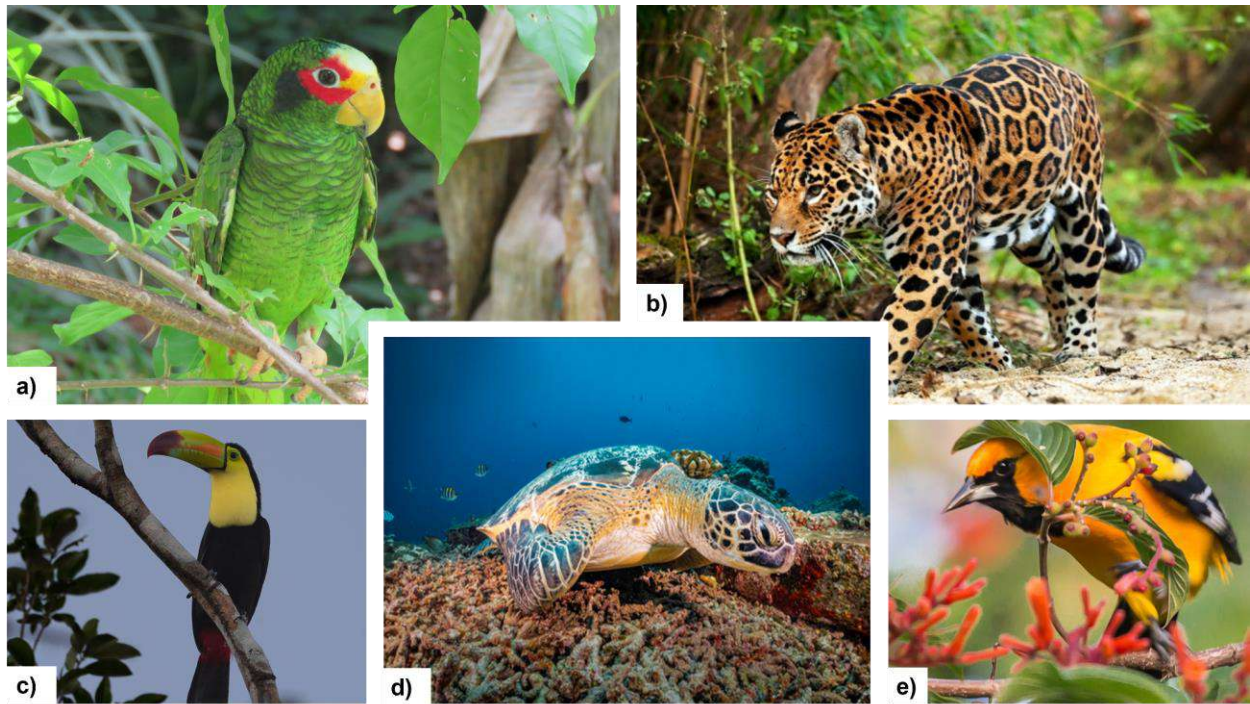
También tenemos al **loro yucateco (*Amazona xantholora*)**, está catalogada como "preocupación menor" a nivel internacional (IUCN) pero a nivel nacional como especie "amenazada" en la NOM-059. Así mismo es una de las especies endémicas de México y que también se considera endémica de la región de Tulum y Quintana Roo, donde se encuentran algunas de las poblaciones más importantes (IUCN, 2021b; *Loro Yucateco (Amazona xantholora)*, 2022).

La **Calandria dorso naranja (*Icterus auratus*)**, es un ave paseriforme originaria de Belice y México. Si bien no es una especie que se encuentre en peligro de extinción a nivel nacional y está catalogada como "preocupación menor" para la *Red List* (IUCN), es considerada como una especie de gran importancia cultural, por su gran belleza y sus colores vistosos, además de ser una de las especies representativas de la Península de Yucatán y quasiendémica de México (IUCN, 2020; NaturaLista México, 2021).

Cuadro 3: Estatus de conservación a nivel nacional e internacional de especies bandera.

Especie	Distribución	Estatus de conservación a nivel nacional e internacional	Observaciones
a) Loro yucateco (<i>Amazona xantholora</i>)	Península de Yucatán (avistamientos en Quintana Roo en la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an y el Parque Nacional de Tulum)	Preocupación menor- Red List (IUCN) Amenazada -NOM-059-SEMARNAT	Especie afectada por el cambio climático, debido a la reducción de su hábitat natural. <u>Especie endémica de la región.</u>
b) Jaguar (<i>Panthera onca</i>)	Península de Yucatán (avistamientos en Quintana Roo en la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an y el Parque Nacional de Tulum)	Casi amenazada - Red list (IUCN) En peligro de extinción - NOM-059-SEMARNAT	Especie afectada por el cambio climático, debido a la reducción de su hábitat natural. <u>Especie emblemática mexicana.</u>
c) Tucán pico canoa (<i>Ramphastos sulfuratus</i>)	Península de Yucatán (avistamientos en Quintana Roo en la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an)	Preocupación menor- Red List (IUCN) Amenazada -NOM-059-SEMARNAT	Especie afectada por el cambio climático, debido a la reducción de su hábitat natural. <u>Especie emblemática.</u>
d) Tortuga verde (<i>Chelonia mydas</i>)	Península de Yucatán (anidación junio-julio Parque Nacional de Tulum)	En peligro- Red List (IUCN) En peligro de extinción - NOM-059-SEMARNAT	Especie afectada por el cambio climático, pérdida de hábitat y sitio de anidación. El cambio climático también puede afectar sus patrones migratorios. Es una especie emblemática del caribe mexicano y la Península de Yucatán. Esta especie también ha sido utilizada como símbolo de conservación en las estrategias de Uruguay.
e) Calandria Dorso Naranja (<i>Icterus auratus</i>)	Península de Yucatán, Quintana Roo	Preocupación menor- Red List (IUCN)	Especie afectada por el cambio climático por la pérdida de su hábitat. <u>Especie emblemática de la Península y quasiendémica de México.</u>

Figura 4: Especies de importancia ecológica en Quintana Roo. (IUCN, 2004, 2020, 2021b, 2021a; Payan (Panthera) et al., 2016)



En la figura 16, se muestran las especies de importancia ecológica en Quintana Roo y el municipio de Tulum, las cuales se ven afectadas de forma directa por el cambio climático, en la reducción de sus hábitats, patrones de migración y anidación, etc. Lo cual sirven para apoyar la necesidad de la implementación del programa de acción climática.

Marco institucional y jurídico

Estructura administrativa

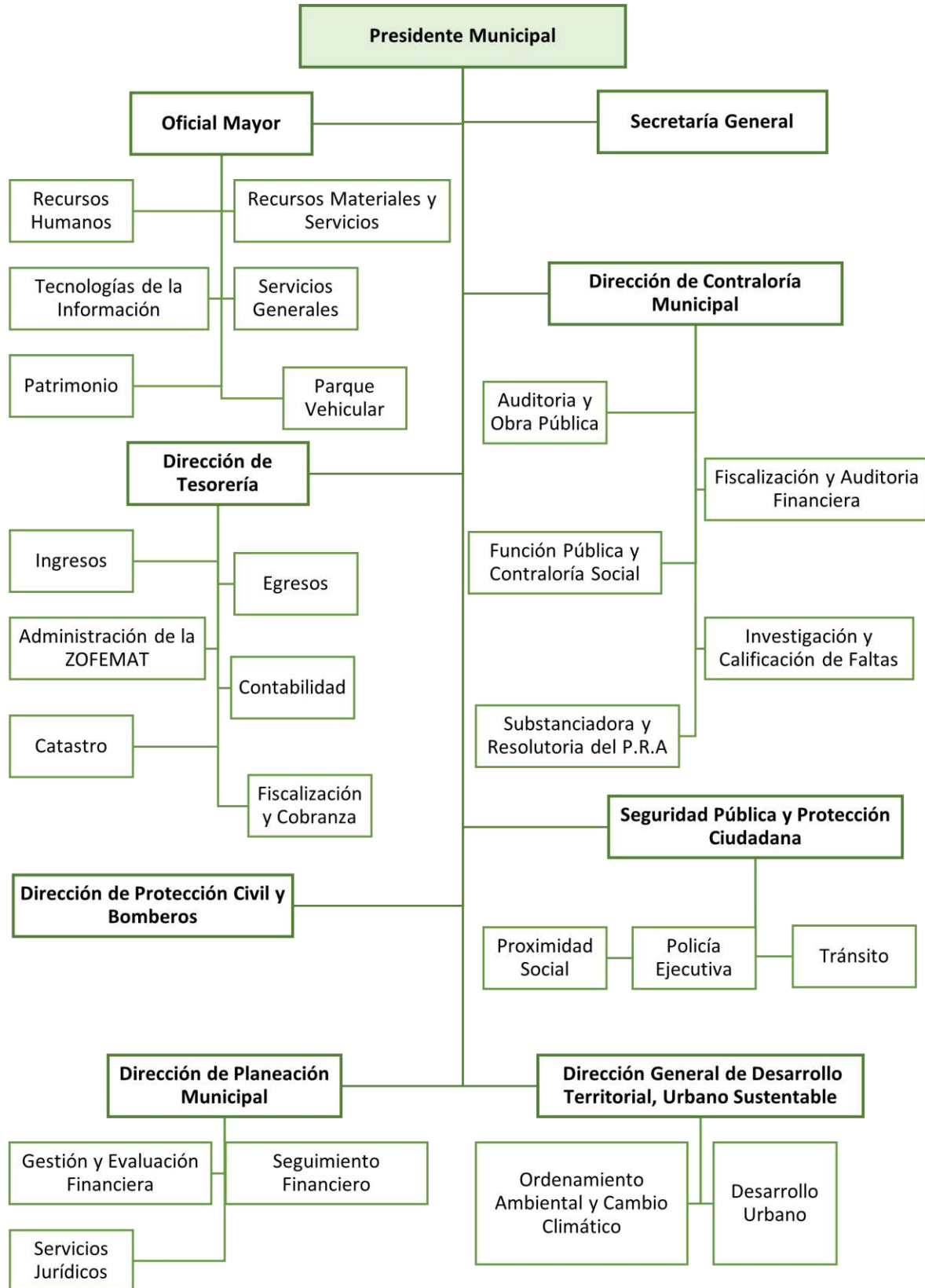
De acuerdo con el artículo 115 de la Constitución Mexicana, el ayuntamiento de Tulum cuenta con plena autonomía y facultades para aprobar reglamentos y disposiciones administrativas dentro de sus jurisdicciones con el fin de organizar la administración pública municipal y regulen los procedimientos y servicios públicos de su competencia. Los cuales se muestran a continuación.

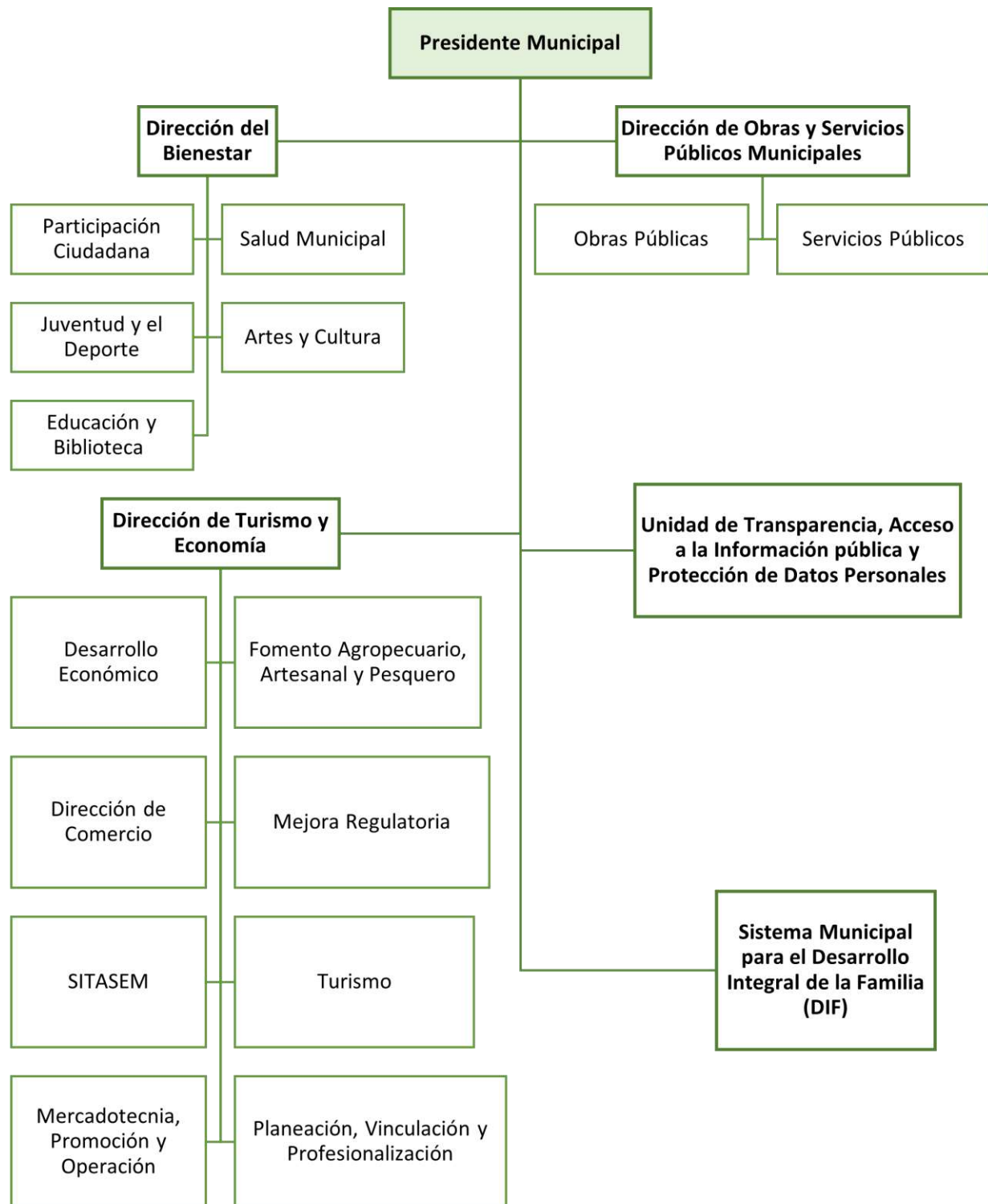
- Agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales
- Alumbrado público
- Limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos
- Mercados y centrales de abasto
- Panteones
- Rastro
- Calles, parques y jardines y su equipamiento
- Seguridad pública
- Policía preventiva municipal y de tránsito

De igual manera los municipios de México tienen las facultades de formular, aprobar y administrar la zonificación y planes de desarrollo urbano municipal, participar en la creación de reservas territoriales, vigilar y autorizar el uso de suelo en el ámbito de su competencia, intervenir en la regulación de la tenencia de tierra, otorgar permisos de construcciones, intervenir en la formulación de programas de transporte público.

El ayuntamiento de Tulum está conformado por 13 Direcciones principales las cuales se muestran a continuación.

Figura 5: Organigrama del Ayuntamiento de Tulum





Marco Legal de la Acción Climática

El cambio climático es una emergencia global que va más allá de las fronteras nacionales. Es un tema que requiere cooperación internacional y soluciones coordinadas en todos los niveles de gobierno. Por lo tanto, el marco legal de la acción climática considera los compromisos internacionales de México, la constitución mexicana y leyes federales en materia ambiental, leyes estatales y finalmente las leyes y reglamentos municipales.

Compromisos Internacionales

México forma parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático por lo que está comprometido a implementar programas nacionales de cambio climático. De igual manera al firmar el Acuerdo de París México debe de presentar de manera periódica sus contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC). En la última actualización de sus NDC México se comprometió de manera no condicionada a reducir el 22% de las emisiones de GEI y 51% las emisiones de carbono negro al año 2030 respecto al escenario tendencial (BAU). Estas metas incrementan a una reducción del 36% de las emisiones GEI y 70% de las emisiones de carbono negro condicionadas al apoyo de instrumentos financieros, técnicos, tecnológicos por parte de la cooperación internacional (Gobierno de México & Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020). En cuanto a adaptación al cambio climático, México se compromete a reducir la vulnerabilidad del país ante los impactos del cambio climático a través de cinco ejes y 27 líneas de acción. Los cinco ejes son : (a) Prevención y atención de impactos negativos en la población humana y en el territorio, (b) sistemas productivos resilientes y seguridad alimentaria, conservación, (c.) restauración y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos, (d) gestión integral de los recursos hídricos con enfoque de cambio climático, (e) protección de infraestructura estratégica y patrimonio cultural tangible (Gobierno de México & Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020).

Al mismo tiempo en la estrategia nacional para la puesta en marcha de la agenda 2030, México asumió la Agenda 2030 como un Compromiso del Estado y se México se comprometió a incorporar la Agenda 2030 en la planeación nacional incorporando los principios del Desarrollo Sostenible en la Ley de Planeación (México Agenda 2030, 2018).

Figura 6: Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU, 2015)



Marco Legal Nacional del Plan de Acción Climática

A nivel nacional la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece que toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo por lo que las autoridades tienen la obligación de garantizar ese derecho. A continuación se muestran las principales leyes mexicanas con enfoque climático y/o ambiental en diferentes niveles de gobierno (para más información ver Anexo F).

Cuadro 4: Principales leyes mexicanas con enfoque climático y/o ambiental

Federal	Estatad	Municipal
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	Ley de Acción de Cambio Climático en el Estado de Quintana Roo	Reglamento Interior De La Dirección General De Desarrollo Urbano Y Ecología Del Municipio De Tulum, Quintana Roo
La Ley General de Cambio Climático	Plan Estatal de Desarrollo Quintana Roo 2016-2022	Reglamento De Protección Civil Del Municipio De Tulum, Quintana Roo
Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente	Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático	Reglamento De Tránsito Para El Municipio De Tulum
Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable	Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de Quintana Roo, 2019-2028	Reglamento De Construcción Para El Municipio De Tulum, Quintana Roo
Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía	Ley para la Prevención, Gestión Integral y Economía Circular de los Residuos del Estado de Quintana Roo	Plan Municipal de Desarrollo de Tulum 2021-2024
Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano	Ley de Movilidad del Estado de Quintana Roo	
Ley General de Protección Civil	Ley de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Quintana Roo	
Ley de Planeación		

Análisis de Riesgos y Vulnerabilidades Climáticas

El riesgo es la posibilidad de sufrir efectos adversos en el futuro, a partir de los distintos tipos de clima, la distribución de los recursos naturales, la infraestructura instalada, el desarrollo económico y la concentración demográfica. Las características de los peligros climáticos y los niveles de riesgo serán los factores que determinarán los impactos climáticos potenciales (Rivas Calvete et al., 2021). Es por ello que los niveles de riesgo climático se deben considerar en las estrategias de adaptación al cambio climático del municipio.

En su estudio de exposición al cambio climático en México, Monterroso y Conde (2013) (Monterroso & Conde, 2013) caracterizaron el estrés climático de los municipios de México a partir de indicadores históricos. La caracterización agrupa 18 variables en tres clases: eventos extremos, socioeconómicos y cambio climático. Se obtuvo información de 2,455 municipios del país y posteriormente se cuantificó cuántos estaban en clase de exposición muy baja y baja, que son 1,506 y 877 municipios respectivamente. Para clases de medio a muy alto, hay setenta y dos municipios, que representan el 3% del total de municipios estudiados. Había doce municipios en la clase de exposición alta y uno en la clase de exposición muy alta. Los estados con municipios que presentan los valores de exposición más altos a peligros climáticos son: Quintana Roo, Oaxaca, Chiapas, Guerrero y la Ciudad de México.

Con el objetivo de estar orientados a encontrar soluciones, se realizó un diagnóstico a fin de facilitar el reconocimiento de las condiciones actuales de vulnerabilidad y riesgo, el cual sirvió como punto de partida para definir los objetivos y metas de adaptación, así como para el diseño y priorización de las medidas de adaptación ante el cambio climático (Rivas Calvete et al., 2021).

Riesgos Climáticos

Pérdida de biodiversidad

Deforestación

Los ecosistemas con alta cobertura forestal proporcionan servicios ambientales esenciales para generar resiliencia a los principales efectos del cambio climático. Ayudan a regular las temperaturas locales y los patrones de precipitación, incrementan la permeabilidad del suelo, filtran contaminantes, estabilizan el suelo reduciendo erosión y hundimientos, protegen costas contra oleajes y elevación del nivel del mar y sirven de hábitat en el país para más de 200,000 especies de flora y fauna (CONAFOR, 2003) y en el municipio de Tulum para más de 309 especies detectadas sólo en el corredor Cancún-Tulum (INAFED, s.f.).

El acelerado crecimiento del municipio de Tulum ha generado una alta pérdida de cobertura vegetal. En el 2000 aproximadamente el 95% del municipio consistía en cobertura forestal, en el 2020 ese porcentaje se redujo a 89%. De perderse más biodiversidad, se perderían los servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas con alta cobertura forestal. La deforestación en Tulum ha incrementado en los últimos años. Del 2001 al 2010 el promedio anual de pérdida de cobertura forestal fue de 637 hectáreas. Del 2016 al 2020 el promedio aumentó a 808 hectáreas. Esto se debe principalmente a que en 2019 y 2020 la deforestación fue de 1,006 y 1,552 hectáreas respectivamente, en su mayoría debido a agricultura de temporal y asentamientos humanos en vegetación en selva baja subcaducifolia, selva mediana subperennifolia, vegetación secundaria arbórea de selva mediana subperennifolia (Figura 18). El uso de suelo más impactado por la deforestación es la vegetación secundaria arbórea con 51% de la pérdida de cobertura forestal en el 2019 y un 61% en el 2020. Esto fue seguido por selva (la cual consiste en selva baja subcaducifolia y selva mediana subperennifolia) con un 23% y 22% respectivamente.

Figura 7: Deforestación por Tipo de Uso de Suelo usando datos de Uso de Suelo y Vegetación Serie SUELO Y VEGETACIÓN ESCALA 1:250 000, SERIE VII. (Global Forest Watch, 2020; INEGI, 2017) (INEGI, 2017)

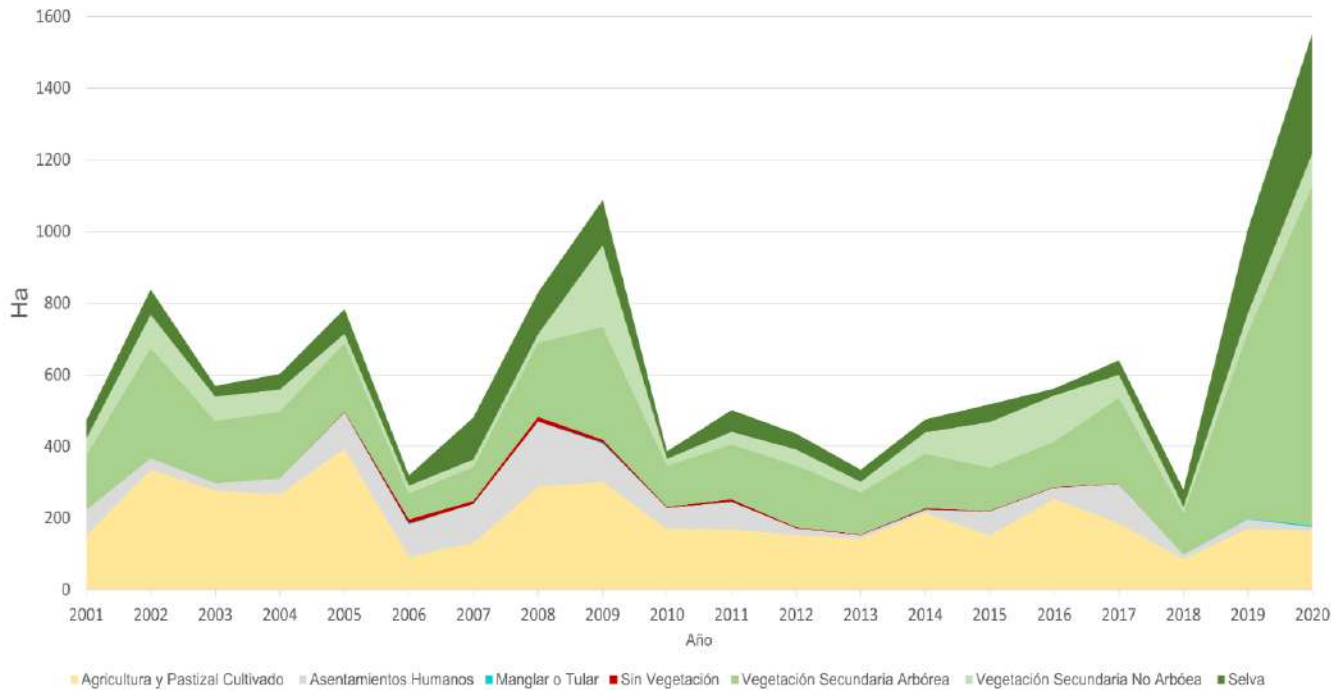
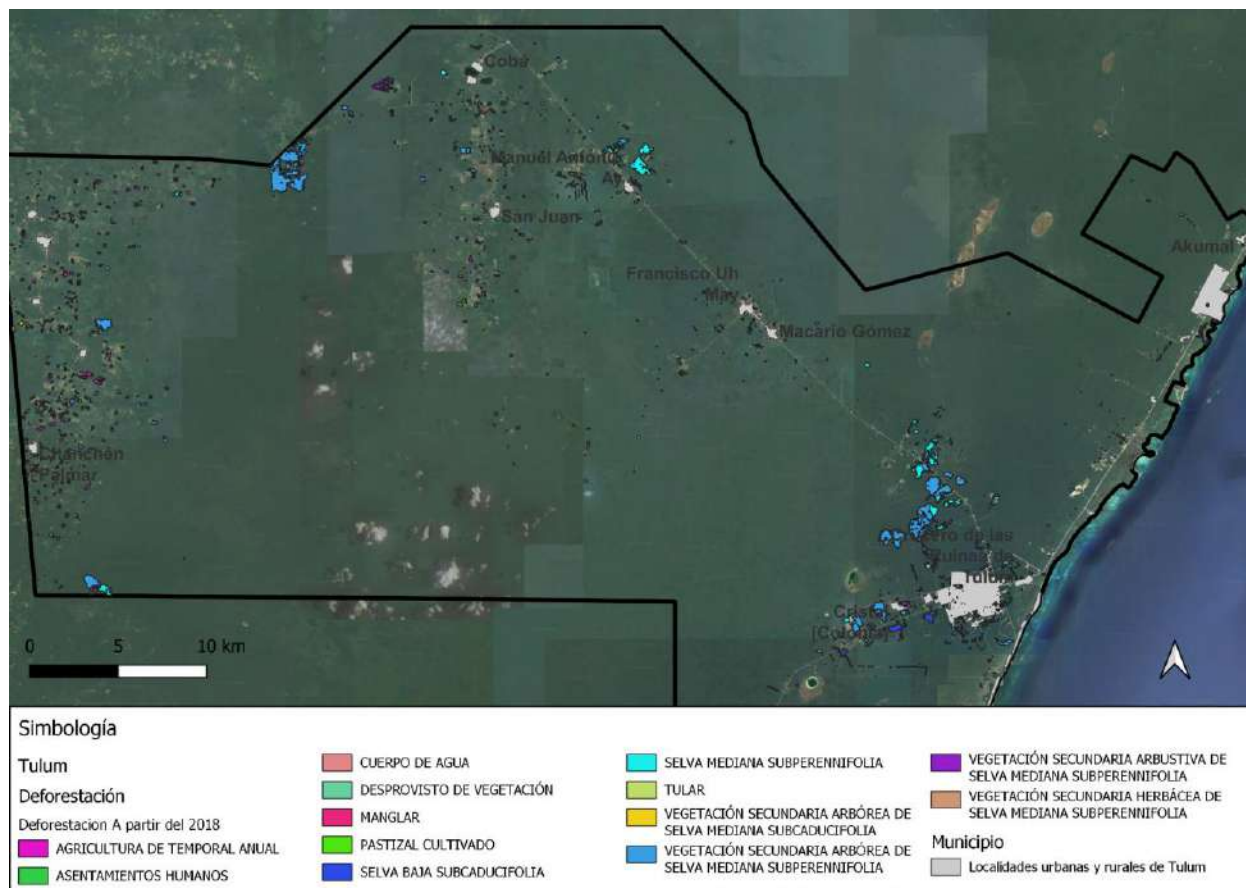


Figura 8: Deforestación por Tipo de Uso de Suelo usando datos de Uso de Suelo y Vegetación. (Global Forest Watch, 2020)



Se identificaron 3 regiones de deforestación, la regional oeste, Cobá, y la ciudad de Tulum y zona costera. De acuerdo con el censo económico del 2019, solo están registradas 2 unidades económicas del sector agricultura, cría y explotación de animales por lo que se estima que la agricultura aquí mostrada es de subsistencia. En la deforestación por Cobá se registran patrones de deforestación que puede indicar apertura de nuevos caminos (Figura 20). La zona de Cobá cuenta con una zona arqueológica y de cenotes que son de alto atractivo turístico, es posible que el cambio de uso de suelo de esta región sea tanto para agricultura como desarrollo turístico. Finalmente, una gran cantidad de deforestación cerca de la ciudad de Tulum se puede atribuir a asentamientos humanos.

Figura 9: Mapa de deforestación del 2001 al 2020 por zona.

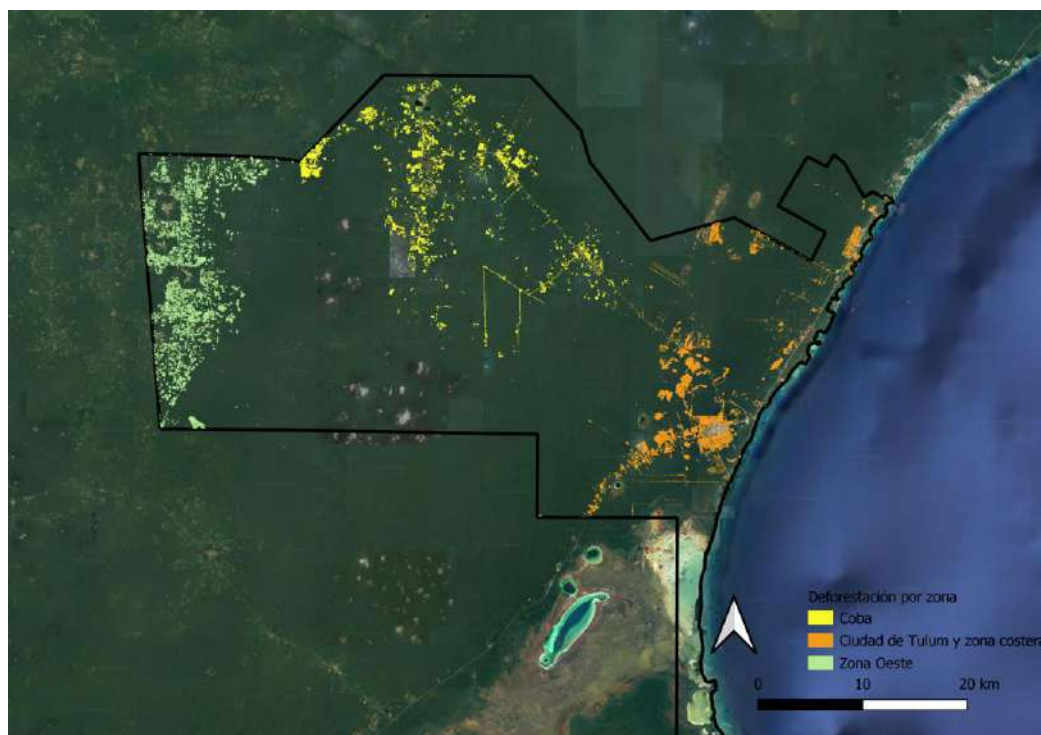
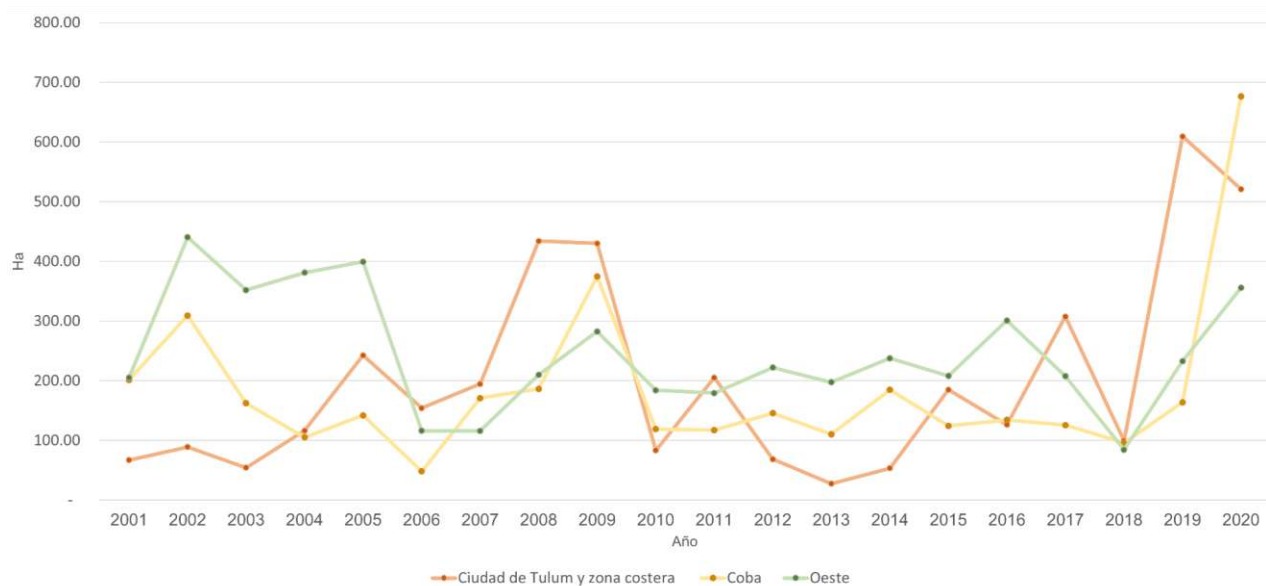
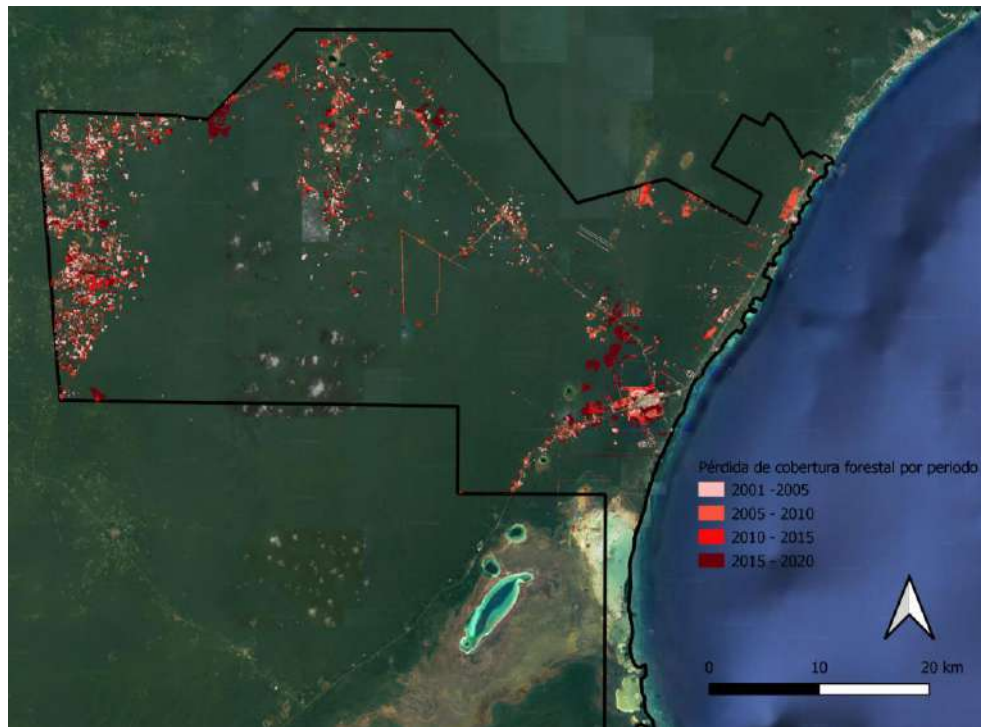


Figura 10: Deforestación anual por zona.



Al analizar la deforestación por zona y año es evidente que las zonas de mayor deforestación han cambiado. En los periodos 2001-2005, y 2013-2016 la zona con mayor deforestación del municipio fue la zona oeste. Sin embargo, las zonas cerca de la ciudad de Tulum y la zona costera mostraron mayor deforestación del 2006-2009 y del 2017-2019. El 2020 fue el primer año en donde la deforestación dominó en la zona de Cobá con 44% de la deforestación de ese año.

Figura 11: Mapa de deforestación por periodo.



Arrecifes

Debido a los efectos del cambio climático (la creciente intensidad de huracanes, incremento de temperatura superficial del océano, incrementos en las poblaciones de macroalgas), la sobrepesca y los impactos negativos del acelerado desarrollo costero (la contaminación, sedimentación, especies invasivas y daños directos a arrecifes por turistas) los arrecifes de coral son de los ecosistemas más amenazados del planeta (Bellwood et al., 2004; Contreras-Silva et al., 2020). En su análisis de 125 sitios, Contreras-Silva et. al. examinaron los patrones de cambio en los arrecifes del caribe mexicano entre 1978 y 2016. Encontraron que la cobertura de coral duro disminuyó un 12% entre 1978 y 2004 pero aumentó un 5% entre 2005 y 2016, lo que indica cierta recuperación del coral después del evento de blanqueamiento masivo del 2005. Posibles explicaciones por la recuperación de los arrecifes incluyen el efecto de la creación de áreas marinas protegidas, la implementación de acciones de manejo que incrementan la resiliencia del ecosistema, y dinámicas de la

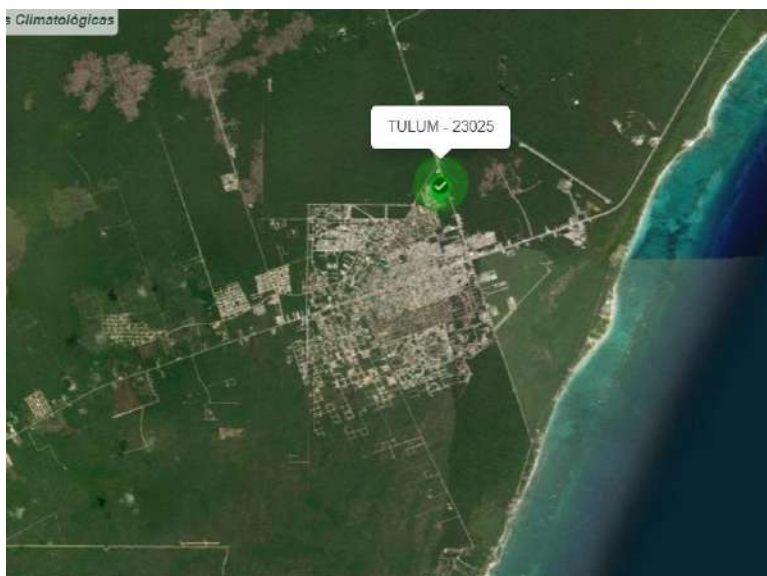
circulación del agua y las corrientes, que ayudan a disipar y disminuir los efectos adversos de las fuentes de contaminación terrestres (Contreras-Silva et al., 2020).

También destacan los notables cambios ecosistémicos de los arrecifes. En 1978 todos los sitios estudiados estaban dominados por corales duros. En cambio, en el 2016 más de 80% de los arrecifes estudiados estaban dominados por macroalgas y solo 15% estaban controlados por corales duros (Contreras-Silva et al., 2020). Para 2010 y 2019, la cantidad de algas aumentó 20%, que corresponde con el descenso de la cobertura de coral duro. Este cambio continuo de corales a comunidades de arrecifes predominado por algas reduce el hábitat complejo que es imprescindible para mantener altos niveles de biodiversidad (UNEP, 2021).

Riesgo por calor

Con base en el Departamento de Seguridad Nacional de EE. UU. se determina como amenaza por las temperaturas máximas aquellas que sobrepasan los 32.22°C durante dos a tres días consecutivos (U.S. Department of Homeland Security, 2021). De acuerdo con lo reportado en el Atlas De Riesgos Naturales Del Municipio De Tulum Quintana Roo del 2015 (SEDATU, 2015), la amenaza por temperaturas máximas ocurre cuando sobrepasan el límite superior establecido como indicador en donde la temperatura de menor valor es entre 35.7°C (de acuerdo con lo registrado en la estación meteorológica de COBÁ) y 37.9°C (de acuerdo con los registros de la estación meteorológica de Tulum).

Figura 12: Imágenes satelitales descargadas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Ubicación de la estación meteorológica de Tulum (23025). (SMN, 2015)



Se obtuvieron los datos de temperatura máxima de la estación 23025 de Tulum, Quintana Roo reportados en la base de datos climatológica nacional (Sistema CLICOM-CICESE) (CICESE, 2022) (CICESE, 2015).

Una vez obtenidos los datos de las temperaturas máximas diarias, se identificaron los periodos en los cuales las temperaturas sobrepasaron los 34°C durante, al menos, tres días consecutivos.

Para las temperaturas extremas se utilizaron períodos de retorno de 2, 5, 10, 50 y 100 años empleando la distribución de Gumbel, la cual se utiliza para modelar la distribución de valores máximos o mínimos, por lo que, es usada para calcular valores extremos (Poblete & Vera, 2019; Vázquez & Ortiz, 2005). Por medio de una Prueba de Kolmogorov-Smirnov se determinó que la distribución de las temperaturas promedio máximas anuales sigue la distribución de Gumbel ($D=0.413$, $p=0.001$).

Cuadro 5: Proyección del periodo de retorno para temperaturas máximas de acuerdo con la distribución de Gumbel.

Periodo de retorno (años)	Temperatura (°C)
2	37.95
5	39.87
10	41.74
50	45.85
100	47.59

La siguiente gráfica muestra las temperaturas máximas anuales de 1964-2012.

Figura 13: Temperaturas máximas alcanzadas anualmente, entre los años 1964 - 2012.

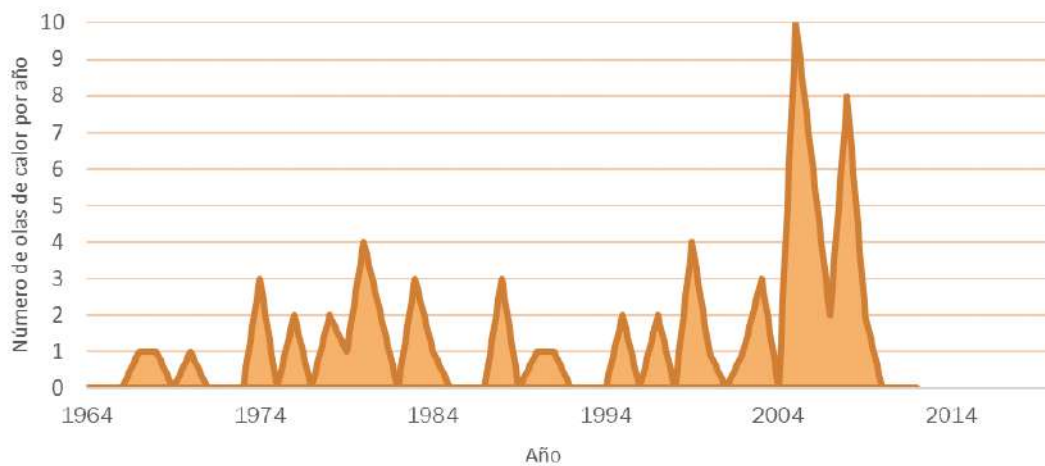


De igual manera, por medio de una Prueba de Kolmogorov-Smirnov se determinó que la distribución de las olas de calor promedio anuales sigue la distribución de Gumbel ($D=0.567$, $p=0.01$).

Cuadro 6: Proyección del periodo de retorno para olas de calor de acuerdo con la distribución de Gumbel.

Periodo de retorno (años)	Olas de calor
2	1
5	3
10	4
50	7
100	8

Figura 14: Presencia de olas de calor durante los años de 1964 a 2012.



Riesgo por sequías

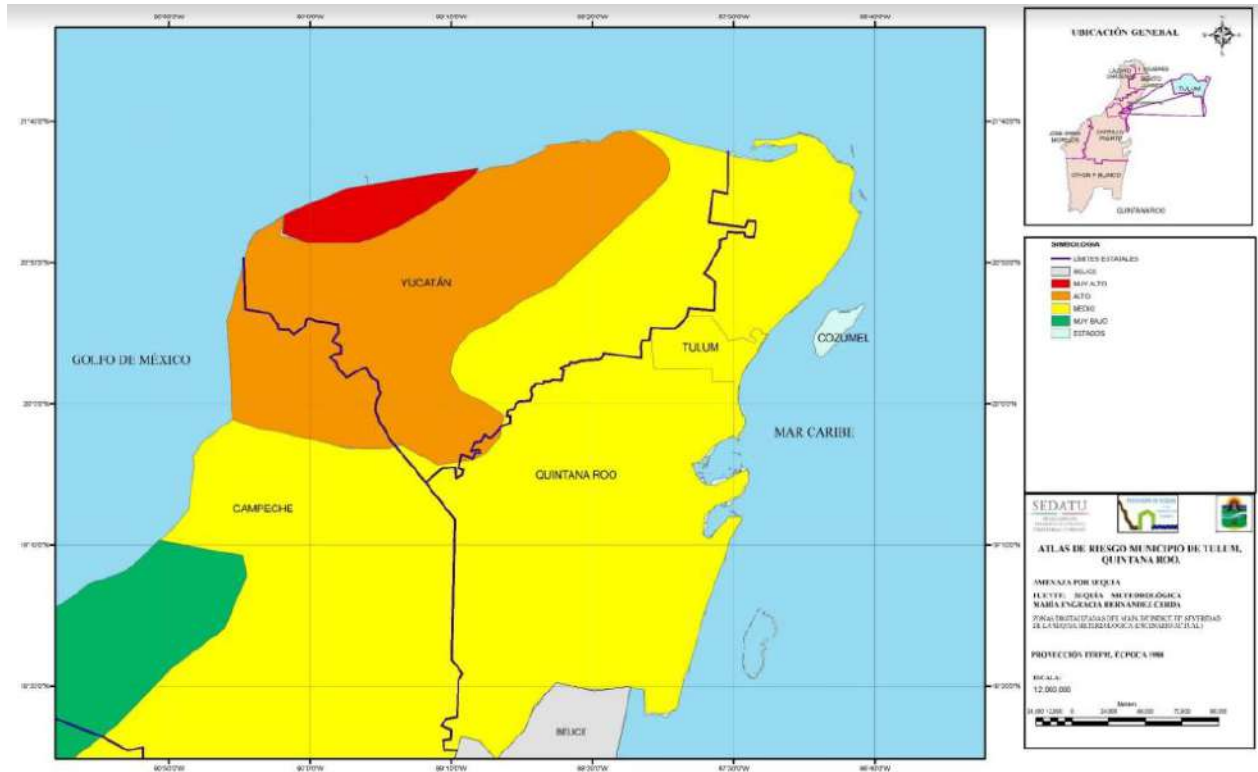
La sequía es un fenómeno meteorológico que ocurre cuando la precipitación en un período de tiempo es menor que el promedio, y cuando esta deficiencia de agua es lo suficientemente grande y prolongada como para dañar las actividades humanas (SEDATU, 2015). Este fenómeno se presenta cada vez con mayor frecuencia y es considerado uno de los fenómenos naturales que más daños económicos causan a nivel mundial. Algunos ejemplos de los impactos económicos son las grandes hectáreas de cultivos se pierden por las sequías y numerosas cabezas de ganado mueren durante las mismas (SEDATU, 2015).

México, por su localización geográfica, es sumamente vulnerable a la acción desastrosa de las sequías, debido a que, en los últimos años han adquirido una gran relevancia por los daños que ocasiona, superando con frecuencia la magnitud de los daños producidos por otros fenómenos hidrometeorológicos. Tornándose en un peligro más amenazador por el calentamiento atmosférico asociado al cambio climático, entre cuyas secuelas está el aumento en la frecuencia de sequías en determinadas zonas del planeta (CONAGUA, s.f.; SEDATU, 2015).

Las principales causas de las sequías están relacionadas con cambios de las presiones atmosféricas y alteraciones en la circulación general de la atmósfera, generados por modificaciones en el albedo superficial, la existencia de una espesa capa de polvo en la atmósfera, cambios en la temperatura de la superficie de los océanos y mares e incrementos en las concentraciones de bióxido de carbono, ocasionan variaciones espacio-temporales de las precipitaciones (SEDATU, 2015).

De acuerdo con el Atlas De Riesgos Naturales Del Municipio De Tulum Quintana Roo 2015, el estado de Quintana Roo está señalado como uno de los estados con riesgo Medio por sequías (Figura 26).

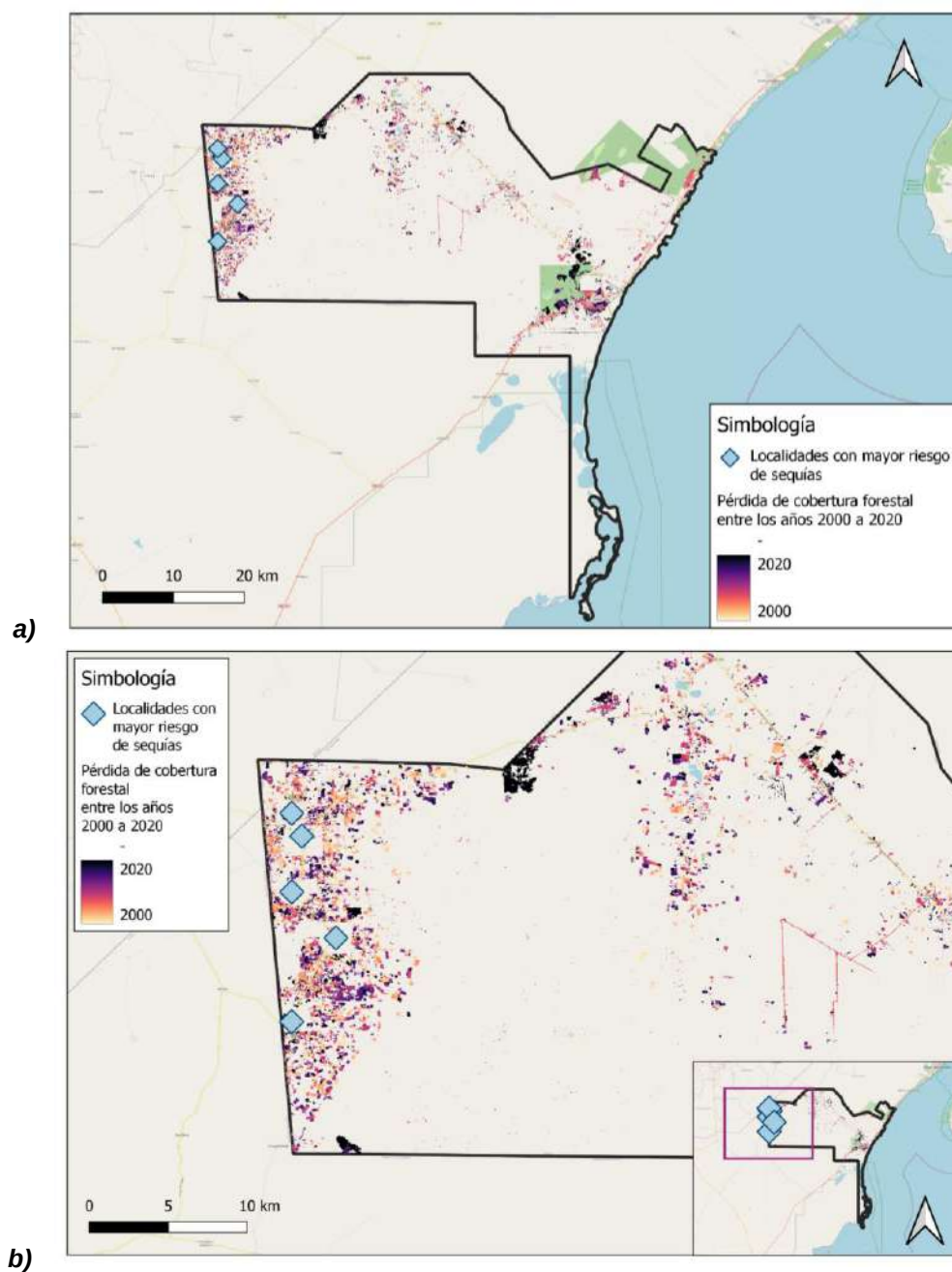
Figura 15: Mapa de sequías en la Península de Yucatán. (SEDATU, 2015)



El municipio de Tulum ha presentado diversas sequías a lo largo del tiempo, de acuerdo con la información disponible y a la zonificación mostrada en el mapa, el municipio se encuentra con un nivel de amenaza medio. En los recorridos realizados en campo por parte del equipo del CENAPRED como parte de la investigación para el Atlas De Riesgos Naturales Del Municipio De Tulum Quintana Roo 2015, este fenómeno se refleja principalmente en la zona noroeste del municipio, en los poblados de Sacabmucuy, Chanchen I, Hondzonot, Yaxche y Chanchen Palmar (Figura 27). En estas zonas la deforestación ha aumentado a lo largo de los años, lo que incrementa su vulnerabilidad a la sequía.

Figura 16: Localidades del municipio de Tulum con mayor riesgo de sequía, según datos de Global Forest Watch, se muestran las zonas que han sido deforestadas del 2000 al 2020(Global Forest Watch, 2020).

- a) Hotspots de deforestación de los años 2000 a 2020 en el municipio de Tulum.
- b) Hotspots de deforestación de los años 2000 a 2020 en las localidades que presentan un mayor riesgo de presentar sequías.



Para monitorear el estado actual y la evolución de la sequía en México, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) se apoya en el Monitor de Sequía en México (MSM) que a su vez forma parte del Monitor de Sequía de América del Norte (CONAGUA, s.f.). El MSM se basa en la obtención e interpretación de diversos indicadores de sequía, como el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) el cual cuantifica las condiciones de déficit o exceso de precipitación, y la Anomalía de Lluvia en Porcentaje de lo Normal, entre otros. De acuerdo con la escala de intensidades de las olas de sequía, el MSM las clasifica en: anormalmente seco (D0), sequía moderada (D1), sequía severa (D2), sequía extrema (D3), y sequía excepcional (D4)² (CONAGUA, s.f.).

El fenómeno meteorológico de sequías en el municipio de Tulum ha sido un fenómeno recurrente el cual se ha mostrado desde categorías muy bajas hasta severas causando deficiencias de agua lo suficientemente grandes y prolongadas como para dañar las actividades humanas (SEDATU, 2015; SMN - CONAGUA, 2022).

En el municipio de Tulum se han contabilizado a lo largo de 19 años, un total de 150 eventos de sequías. Del 2003 al 2021, se han presentado eventos de sequía en todos los años a excepción del 2012. Los años con mayor presencia de sequías han sido el 2016 con 17 eventos, el 2019 con 16 eventos de sequía y el 2009 y 2017 con 12 eventos de sequía por cada año (SMN - CONAGUA, 2022).

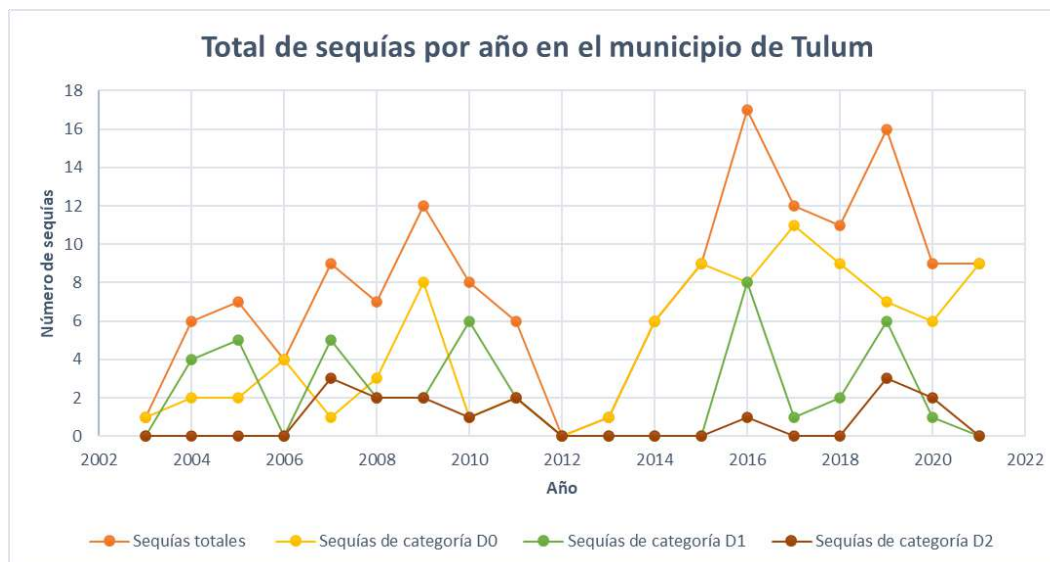
El 60% de las sequías reportadas pertenecen a la categoría D0 “Anormalmente seco”. El 2017 fue el año con mayor número de sequías categoría D0, con un total de 11 sequías en el año. Seguido de los años 2015, 2018 y 2021 con 8 sequías a lo largo del año (Figura 28).

En cuanto a las sequías categoría D1 “Sequía moderada”, en el municipio, se han presentado en total de 44 sequías de este tipo del 2003 al 2021, con un máximo de 8 sequías por año durante las 2018 y 6 sequías en los años 2010 y 2019 (Figura 28).

La categoría de sequía más alta que se ha presentado en el municipio es la D2 “sequía severa”. Se han presentado solo 16 sequías de este tipo a lo largo del 2003-2021, lo que corresponde a un poco más del 10% de las sequías. Los años con mayor cantidad de sequías D2 fueron el 2007 y 2019 con 3 sequías por año, seguidos por los años 2008, 2009, 2011 y 2020 con 2 sequías D2 por año. En el 2010 y 2016, solo se presentó una sequía D2 por año (Figura 28) (Vázquez & Ortiz, 2005).

² Revisar Anexo A: Clasificación de intensidad de la sequía

Figura 17: Total de eventos de sequía por año en el municipio de Tulum, donde se muestran el total de sequías por categoría. (SMN - CONAGUA, 2022)



Riesgo de incendios

Los incendios forestales son la quema sin control de la vegetación forestal. Se calcula que las actividades humanas ocasionan el 99% de los incendios, el resto es causado por fenómenos naturales (Comisión Nacional Forestal, 2010). Dentro de las actividades antropogénicas responsables por ocasionar incendios forestales se encuentran accidentes como rupturas de líneas eléctricas, accidentes automovilísticos, ferroviarios y aéreos, por causas negligentes como quemas agropecuarias no controladas, fogatas de excursionistas, fumadores, quema de basura, limpieza de vías en carreteras y uso del fuego en otras actividades productivas dentro de áreas forestales. En ocasiones los incendios son generados por causas intencionales como quemas por conflictos entre personas o comunidades, y tala ilegal o litigios.

Los elementos que influyen en la forma y velocidad en la que el fuego se propaga son condiciones permanentes como la composición de los combustibles, las especies vegetales, la topografía o condiciones transitorias de tipo meteorológico, como la temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento y lluvias. Otros elementos que influyen, pueden ser las fuentes de calor, ya que en los bosques no existe la combustión espontánea, siempre se requiere de una fuente de incandescencia externa mayor a 200°C para que ocurra un incendio.

A pesar de que los incendios forestales pueden ocurrir en cualquier momento, la temporada con mayor incidencia de incendios en la zona sureste de México es de enero a junio. (Comisión Nacional Forestal, 2010)

En el municipio de Tulum se tiene registro de 20 incendios a partir de los datos registrados por CONAFOR del 2015 al 2020. La duración, total de área, costos y CO₂ emitido son datos registrados por CONAFOR (CONAFOR, 2020b) (Cuadro 16).

Cuadro 7: Incendios del 2015-2020 para el municipio de Tulum (CONAFOR, 2020b)

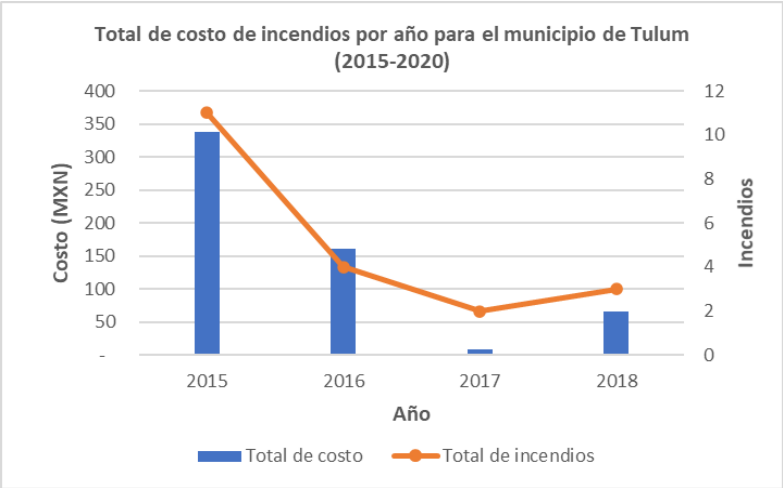
Año	Causa (Tipo de actividades)	Duración (Días)	Tipo de vegetación	Impacto	Total (ha)	Costos (pesos)	CO ₂ emitido (toneladas)
2015	Agrícolas	2-3	Sin dato	Mínimo	1.1	17,233	0
2015	Cazadores	1	Sin dato	Mínimo	1.29	7,215	0
2015	Agrícolas	2-3	Sin dato	Mínimo	2.19	26,630	0
2015	Fumadores	4-7	Selva mediana subperennifolia - SMQ	Mínimo	13.75	69,968	397.35
2015	Cazadores	4-7	Selva mediana subperennifolia - SMQ	Mínimo	7.08	37,504	204.60
2015	Fogatas	2-3	Selva mediana subperennifolia - SMQ	Mínimo	2.95	21,658	85.24
2015	Cazadores	4-7	Selva mediana subperennifolia - SMQ	Mínimo	10.1	47,120	291.87
2015	Cazadores	4-7	Selva mediana subperennifolia - SMQ	Mínimo	7.06	28,890	204.02
2015	Fumadores	4-7	Selva baja subperennifolia - SBQ	Mínimo	13.31	12,634	942.40
2015	Agrícolas	4-7	Selva mediana	Mínimo	7.12	33,426	205.75

			subperennifolia - SMQ				
2015	Fumadores	4-7	Selva mediana subperennifolia - SMQ	Mínimo	4.98	35,374	143.91
2016	Agrícolas	4-7	Selva mediana subperennifolia - SMQ	Mínimo	2	31,112.6	57.80
2016	Quema de basureros	4-7	Selva mediana subperennifolia - SMQ	Mínimo	1.99	19,009.3	57.50
2016	Agrícolas	1	Selva mediana subperennifolia - SMQ	Mínimo	10	848,80.1	288.98
2016	Cazadores	2-3	Manglar - VM	Mínimo	1	25,508.2	17.58
2017	Desconocidas	1	Vegetación de Dunas Costeras - VU	Moderado	0.015	1,913.32	0.18
2017	Desconocidas	4-7	Vegetación de Dunas Costeras - VU	Moderado	5.17	7,153.3	64.21
2018	Quema de basureros	> 7	Selva mediana subperennifolia - SMQ	Mínimo	7.5	56,976	216.74
2018	Quema de basureros	1	Vegetación de Dunas Costeras - VU	Mínimo	0.5	6,292.5	6.21
2018	Fumadores	2-3	Manglar - VM	Moderado	0.71	3,000	12.60

El tipo de vegetación mayormente afectada por los incendios es selva mediana subperennifolia, vegetación de dunas costeras, manglar y selva baja subperennifolia. La mayoría de los incendios tuvieron impactos mínimos.

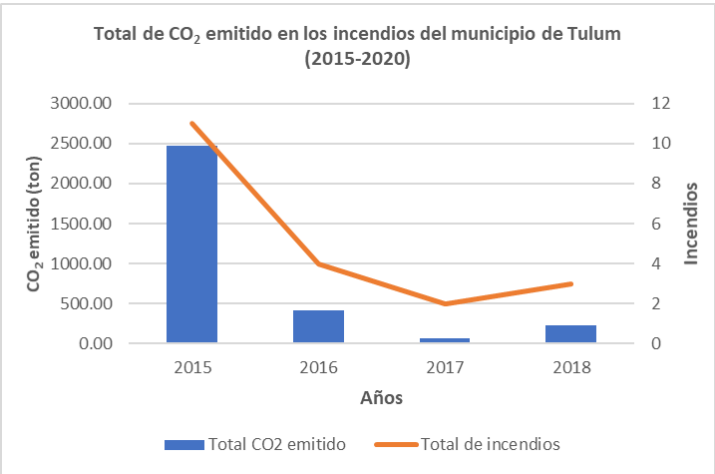
El promedio total de costos de los incendios del 2015 al 2020 fue de 25,717 pesos, presentando el costo mayor en 2015 con un total de 338,000 pesos³.

Figura 18: Total de costos por incendio por año de 2015-2020 (CONAFOR, 2020b)



El total de CO₂ emitido para 2015 fue de 2475.16 ton, en 2016 se emitió 421.86 ton, en 2017 se emitió 64.40 ton y en 2018 fueron emitidos 235.55 ton de CO₂.

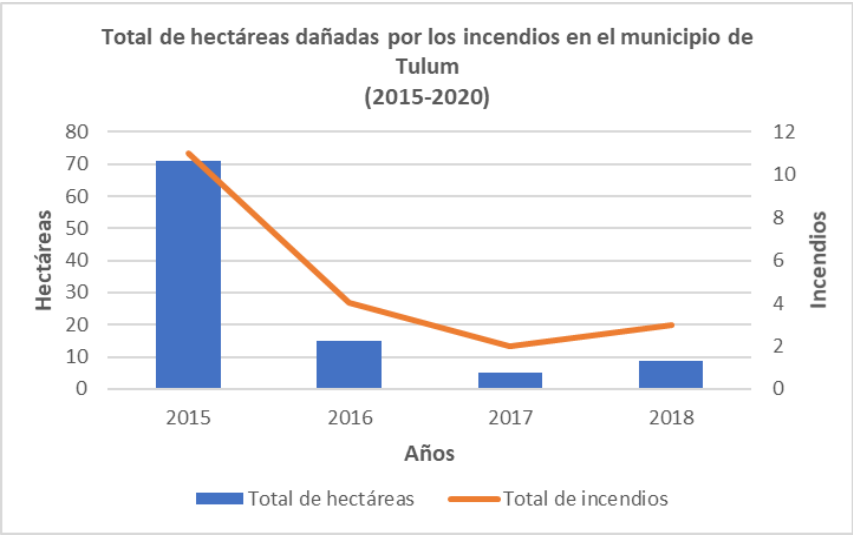
Figura 19: Total de CO₂ emitido por año (CONAFOR, 2020b)



³ Todos los costos presentados se encuentran en moneda nacional. No se especifica en la base de datos de CONAFOR el tipo de costo (corriente, real o a base).

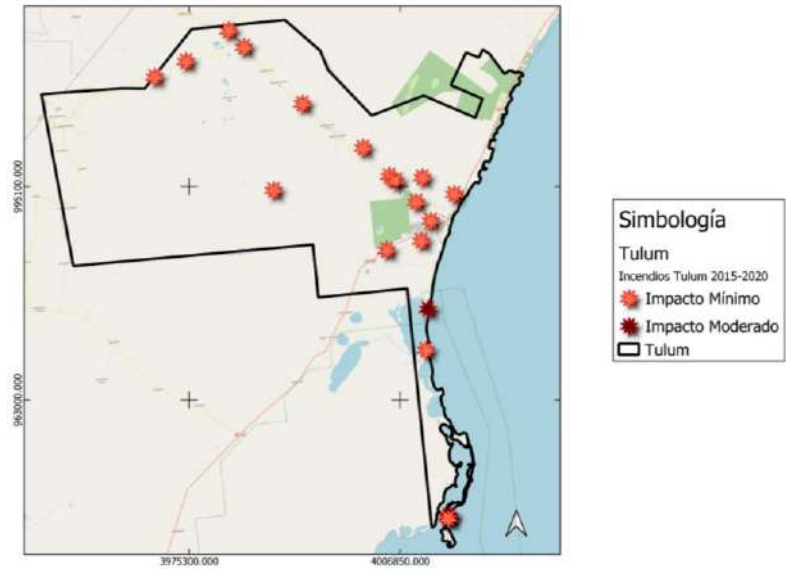
El total de hectáreas afectadas fueron 99.815 ha para el periodo de 2015 al 2020, en 2015 fueron afectadas 70.93 ha, en 2016 se afectaron 14.99 ha, para 2017 fue un total de 5.18 ha y por último en 2018 la afectación fue en 8.71 ha.

Figura 20: Representación gráfica del total de hectáreas dañadas por año (CONAFOR, 2020b)



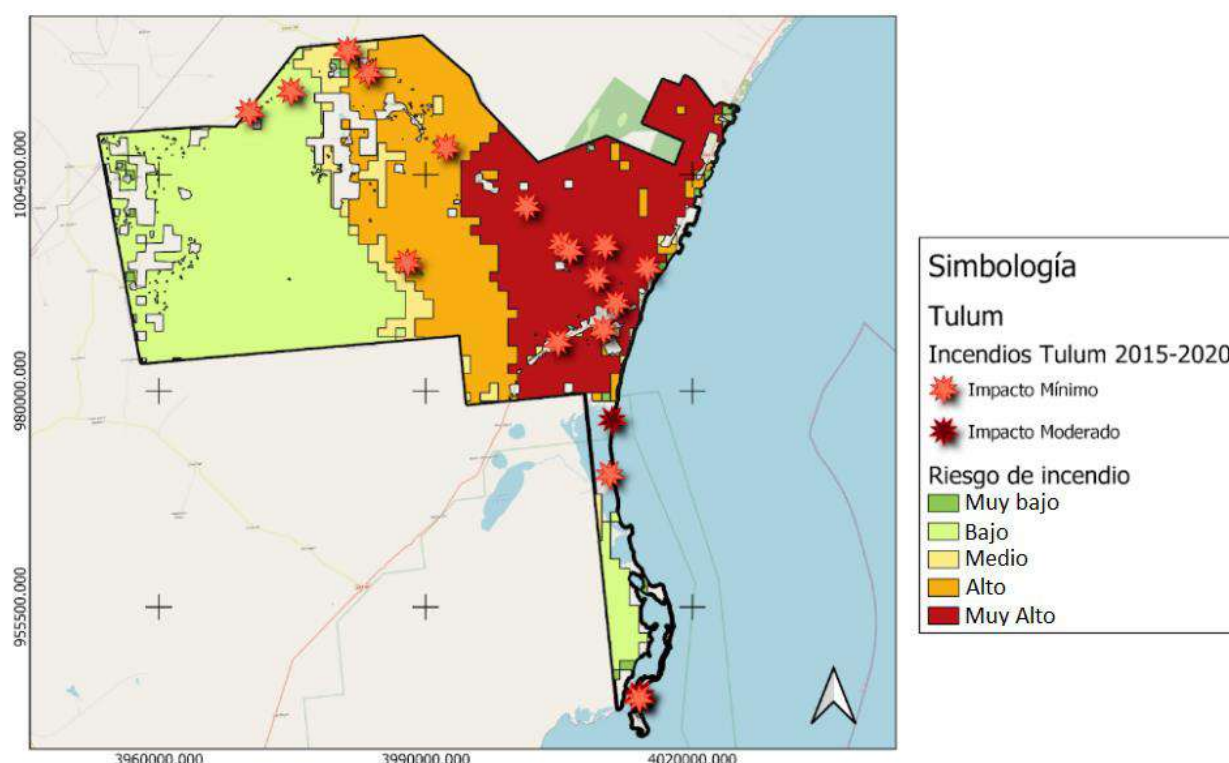
Mapa con la distribución espacial de los incendios clasificados conforme el impacto acontecido:

Figura 21: Impacto a nivel mínimo y moderado de incendios del 2015-2020 para el municipio de Tulum. (CONAFOR, 2020b)



El análisis de riesgo de incendios de CONAFOR considera el estudio de factores que posibilitan la ocurrencia de un incendio forestal, y las actividades de los agentes causales. El riesgo de incendios forestales aumenta con la presencia de actividades antropogénicas, como la cercanía de localidades a zonas forestales y de sitios con actividades agropecuarias, por lo que para el cálculo de riesgo se toman en cuenta localidades, carreteras y ocurrencia histórica de incendios. El nivel de riesgo se clasifica en: muy alto, alto, medio, bajo, y muy bajo. (CONAFOR, 2020a)

Figura 22: Índice de riesgo por incendios para el municipio de Tulum (CONAFOR, 2020b, 2020a)



Infraestructura crítica en riesgo

Se considera como infraestructura crítica a todos aquellos elementos o servicios básicos que proporcionan servicios fundamentales para la población, y cuya perturbación o destrucción generaría una interrupción significativa de la vida cotidiana (SYSMANTEC, 2020). Algunos ejemplos de infraestructura crítica son: servicios de salud (centros de salud, hospitales, etc.), transporte (carreteras, caminos y redes viales), escuelas y centros de apoyo comunitario (como refugios y albergues encontrados en la zona turística y urbana del municipio) (CENAPRED et al., 2017;

Dirección Estatal de Protección Civil de Quintana Roo, 2018; INEGI, 2020a; Transporte, 2021).

Para este análisis, la infraestructura crítica identificada en el municipio son las carreteras y redes viales principales, centros de atención médica, hospitales, escuelas, albergues y refugios dentro de la zona urbana y turística, gasolineras, y supermercados.

En la zona de riesgo clasificada muy alto, la infraestructura crítica encontrada son 3 gasolineras ubicadas sobre la carretera Tulum-Nuevo X-Can, una sobre avenida Tulum y una sobre la carretera Tulum-Boca Paila, así como 7 supermercados. El área total es de 519.54 km², representando el 25.45% del área total del municipio de Tulum. Aunque no se encuentre dentro de la zona clasificada como de riesgo muy alto, a unos metros se encuentra la Ciudad de Tulum y al norte del municipio 7 escuelas y la Unidad de Salud Chemuyil.

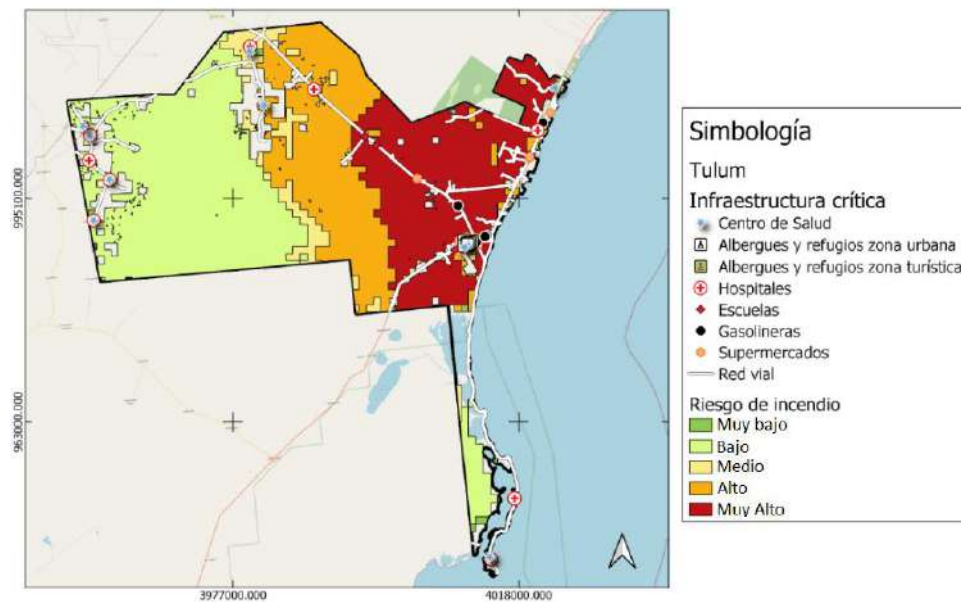
En el mapa de la figura 34, la zona de clasificación de riesgo alto presenta un área total de 438.02 km², lo que representa el 21.46% del área total del municipio de Tulum. No se encuentra infraestructura crítica dentro de la zona de riesgo alto. Sin embargo, en los alrededores están ubicadas 12 escuelas, 2 supermercados; el minisuper Yumkim y minisuper Alpa, 2 centros de salud que son el Centro de Salud San Juan y Centro de Salud Akumal.

La zona de riesgo medio del Tulum (figura 34) abarca un área de 95.82 km² y no cuenta con infraestructura crítica. Sin embargo, en los alrededores se encuentran 5 escuelas, el Centro de Salud Cobá y el Centro de Salud Rural Cobá.

La probabilidad de que se produzca un incendio en la zona oeste y sur es baja como muestra la figura 34. La clasificación de riesgo de incendio bajo aborda el 35.03% del área total del municipio de Tulum, lo que representa 714.97 km². La infraestructura crítica sobre esta zona es la Telesecundaria Eduardo Medina Loria.

Por último, en la clasificación de riesgo muy bajo no existe infraestructura crítica y su área es de 13.09 km².

Figura 23: Infraestructura crítica en riesgo de incendio para el municipio de Tulum.
(CONAFOR, 2020a)



Riesgo de inundaciones

A partir de información publicada por el Centro Nacional de Prevención de Desastres, el Servicio Sismológico Nacional, el Laboratorio de Observación de la Tierra (LANOT) y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), se integran una serie de riesgos potenciales y desastres naturales a lo largo de la República Mexicana los cuales se ven reflejados en el Atlas De Riesgos Naturales Del Municipio De Tulum Quintana Roo 2015. El municipio de Tulum está ubicado en una zona de muy alto riesgo de inundación (figura 35) (CENAPRED, 2017a).

El Atlas De Riesgos Naturales Del Municipio De Tulum Quintana Roo 2015 identificó zonas de inundación en el municipio basado en observaciones de campo e imágenes satelitales (SEDATU, 2015). Las zonas de Cobá y Punta Allen se encuentran en una zona de riesgo muy alto y la cabecera municipal de Tulum tiene un riesgo medio de inundación.

Cuadro 8: Índice de exposición por inundaciones. (SEDATU, 2015)

Nivel	Área (km ²)	Porcentaje del área total
Muy Bajo	1,045.77	51.24 %
Bajo	428.59	21 %
Medio	278.31	13.64 %
Alto	159.85	7.83 %
Muy Alto	128.42	6.29 %

Figura 24: Riesgo de inundación de medio a muy alto. (CENAPRED et al., 2017)

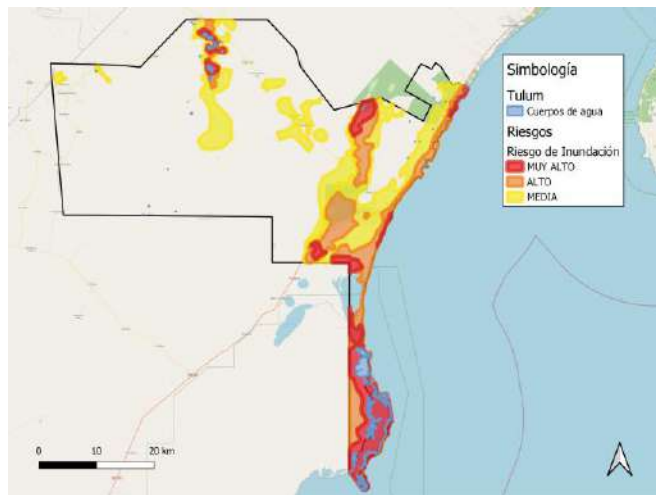
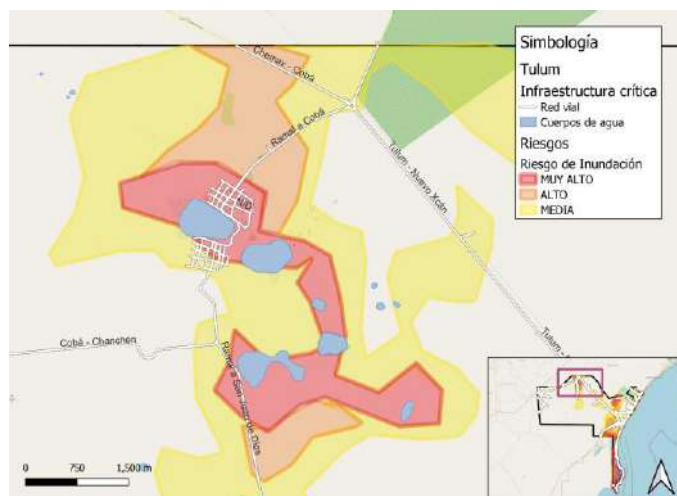


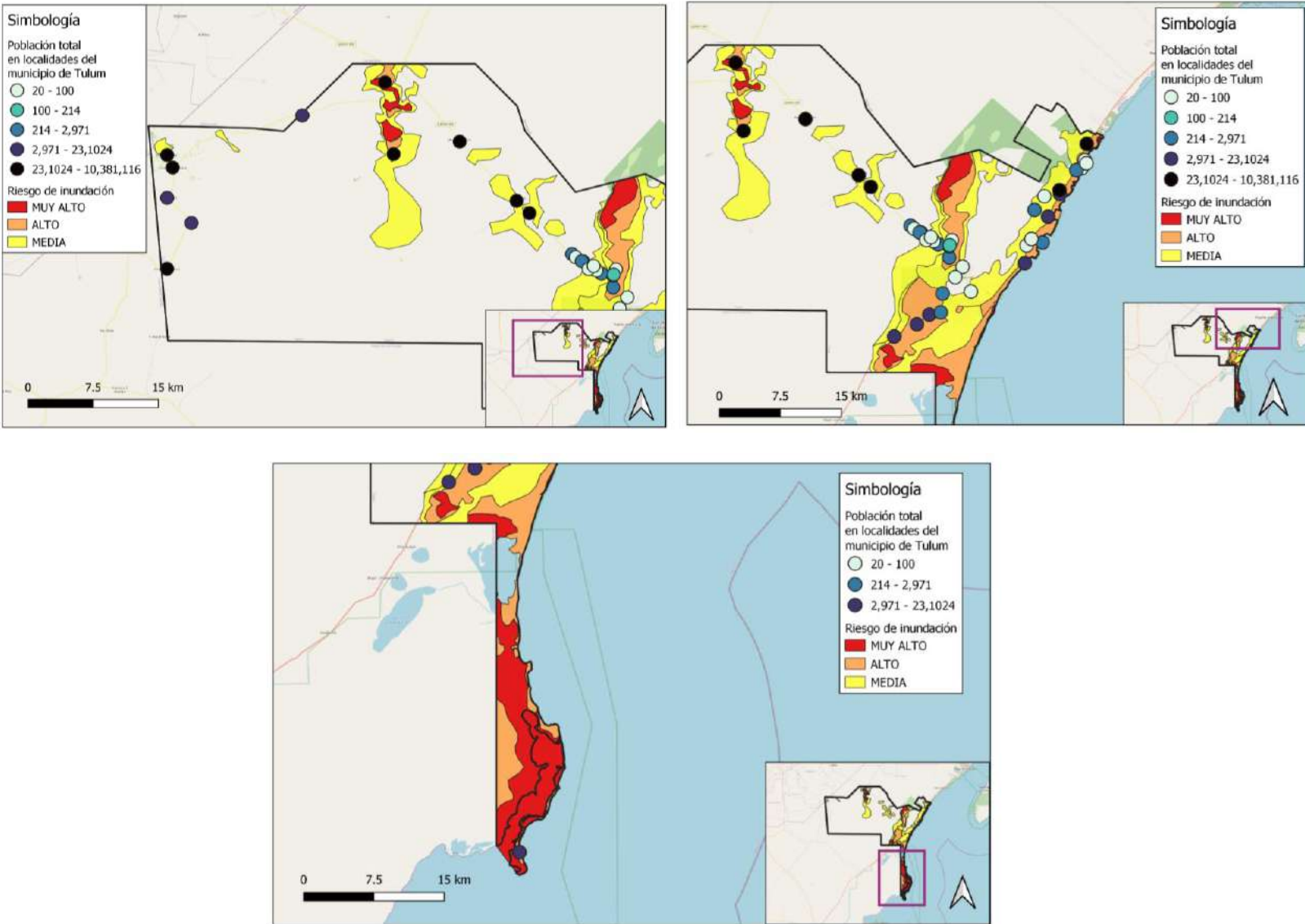
Figura 25: Cuerpos de agua del municipio de Tulum en localidad de Cobá



Como se observa en la figura 35, las zonas de mayor riesgo por inundación en el municipio, con riesgo Alto y Muy Alto, se encuentran principalmente ubicadas a lo largo de la región costera del municipio de Tulum. La principal actividad económica de la Riviera Maya y el Parque Nacional de Tulum es el turismo, el cual se concentra principalmente en la zona costera del municipio. Por lo tanto, los impactos socioeconómicos ocasionados por inundaciones costeras pueden llegar a ser considerables. (Municipio de Tulum, 2021).

A su vez, algunas de las regiones mayormente pobladas en la región urbana del municipio se encuentran cercanas a la costa en zonas de medio y alto riesgo por inundación (figura 37).

Figura 26: Población total de las localidades de Tulum distribuidas en las zonas de riesgo de inundación.



Infraestructura crítica en riesgo

Se detectaron 11 instalaciones de infraestructura crítica del sector Salud (6 Centros de Salud y 5 hospitales) que se encuentran en zonas de riesgo alto o muy alto a inundaciones. También se identificaron 15 escuelas, la mayoría ubicadas cerca de la zona costera, 7 gasolineras y 58 supermercados ubicados en zonas de alto riesgo. Al igual que carreteras y caminos que se encuentran ubicados principalmente en la región costera, incluyendo vialidades importantes como la carretera reforma agraria - Puerto Juárez, la cual es una vialidad que recorre la mayor parte de la zona costera de Tulum; la vialidad La Costera, ubicada en la zona hotelera de Tulum; y el camino del Ramal a Punta Allen. En la zona del municipio que es mayormente rural y más alejada de la costa, la carretera Chemax-Cobá también se encuentra en una zona de riesgo de inundación Muy Alto, al igual que la carretera Cobá-Chanchén. Mientras que la carretera Ramal a San Juan de Dios se encuentra ubicada en zonas de riesgo Muy Alto, Alto y Medio. Finalmente, la mayoría de los albergues se encuentran en zonas de riesgo Medio y solo 1 de ellos está en una zona de Riesgo Alto.

De acuerdo con los registros históricos del CENAPRED desde el año 2000 al 2015, el estado de Quintana Roo ha sido afectado por diversos desastres asociados a amenazas naturales, el cuadro 18 muestra los que competen al municipio de Tulum.

En el periodo del 2014 al 2015 el total de la población afectada por las lluvias fue de 32,403 habitantes, dentro de los daños se encuentran impactos a áreas de cultivo, caminos, escuelas, hospitales y viviendas dañadas. Con apoyo del FONDEN restauraron la infraestructura pública y las viviendas de la población de bajos ingresos que resultaron afectadas como consecuencia de un desastre por eventos asociados a amenazas naturales.

Cuadro 9: Desglose de los impactos en población y viviendas debido a eventos de lluvias extremas en distintos municipios de Quintana Roo. (CENAPRED, 2015)

Fecha	Municipios afectados	Descripción	Total de daños (mdp)	Población afectada	Viviendas dañadas
2014	Bacalar, Benito Juárez, Cozumel, Isla Mujeres, Othon P. Blanco, Solidaridad y Tulum	Debido a las fuertes lluvias se presentaron afectaciones en 63 viviendas por penetración de agua. Se apoyo a la población con 39944 despensas, 39600 cobertores, 39600 colchonetas, 130350 lámina tipo B, 6000 impermeables, 6000 botas, 16972 kits de limpieza y 11486 kits de aseo personal, 171000 agua y medicamentos. Las lluvias afectaron a los sectores carretero, urbano, cultural y educativo que fueron apoyados por FONDEN.	\$207,050	315	63
2014	Tulum, Solidaridad, Isla Mujeres, Cozumel, Lazaro Cardenas y Benito Juarez	Fue necesario apoyar a la población con 16200 despensas, 20203 cobertores, 20203 colchonetas, 6101 impermeables, 6101 botas, 8100 kits de limpieza, 8100 kits de aseo personal, 140224 litros de agua y 80300 láminas tipo b.	\$41,100	32,403	0
2015	Benito Juárez, Cozumel, Felipe Carrillo Puerto, Solidaridad, Tulum, Isla Mujeres y Othon P. Blanco	Por la lluvia severa se declararon en emergencia a los municipios de Benito Juárez, Cozumel, Felipe Carrillo Puerto, Solidaridad y Tulum por lo que se apoyó a la población con 66,135 despensas, 52,908 cobertores b, 52,908 colchonetas, 15,150 impermeables, 15,150 botas, 13,227 kits de limpieza, 26,454 kits de aseo personal, 82,000 láminas tipo "b" y 260,000 litros de agua. Posteriormente a la declaratoria de desastres se agregaron los municipios de Isla Mujeres y Othon P. Blanco para apoyar a los sectores carretero, educativo, naval, salud y urbano.	\$642,952	52,908	0

Riesgo por ciclones tropicales

De acuerdo con el Servicio Meteorológico Nacional, los ciclones tropicales son “áreas de baja presión en las que el viento se mueve en sentido contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio Norte e inversamente en el hemisferio sur” (Servicio Meteorológico Nacional, 2022).

Los ciclones tropicales impactan de manera recurrente la península de Yucatán (Sánchez-Rivera, Frausto-Martínez, & Cervantes-Martínez, 2021). Específicamente, las zonas costeras ubicadas al noreste de la península han sido consideradas áreas de peligro extremo (Ihl & Frausto-Martínez, 2014; Palacio-Aponte, 1998; Sánchez-Rivera, Frausto-Martínez, & Cervantes-Martínez, 2021) .

SEMARNAT, con base en la Comisión Nacional del Agua, reporta que entre el 2000 y 2021 un total de 28 ciclones afectaron el estado de Quintana Roo, de los cuales 19 fueron Tormentas y Depresiones Tropicales, 6 fueron Huracanes categorías I, II y III y 3 fueron Huracanes con categoría IV y V (SEMARNAT, 2022).

Cuadro 10: Ciclones con afectaciones en Quintana Roo (2000-2021). (SEMARNAT, 2022)

Año	Descripción	Categoría	Vientos (km/hr)	Entrada a Tierra
2000	Gordon	Depresión Tropical	55	Tulum
2001	Chantal	Tormenta Tropical	85	Chetumal
2002	Isidore	Huracán Categoría III	205	Yucatán
2003	Claudette	Tormenta Tropical	90	25 km al suroeste de Cancún
2005	Cindy	Depresión Tropical	55	10 km al oeste de Felipe Carrillo Puerto
2005	Emily	Huracán Categoría IV	215	20 km al norte de Tulum
2005	Stan	Tormenta Tropical	75	Felipe Carrillo Puerto
2005	Wilma	Huracán Categoría IV	230	Cozumel y Playa del Carmen
2007	Dean	Huracán Categoría V	260	Puerto Bravo
2008	Arthur	Tormenta Tropical	65	Suroeste de Chetumal

2008	Dolly	Tormenta Tropical	75	Laguna de Nichupté
2009	Ida	Huracán Categoría I	150	80 km al este de Cancún
2010	Karl	Tormenta Tropical	100	15 km al sureste de Puerto Bravo
2010	Alex	Tormenta Tropical	65	90 km al suroeste de Chetumal
2011	Rina	Tormenta Tropical	85	Playa del Carmen
2011	Arlene	Tormenta Tropical	100	Veracruz
2012	Ernesto	Huracán Categoría I	140	En las inmediaciones de Majahual
2014	Hannah	Depresión Tropical	45	Campeche
2014	Boris	Tormenta Tropical	65	Chiapas
2016	Earl	Tormenta Tropical	95	Belice
2016	Danielle	Tormenta Tropical	65	Veracruz
2016	Colin	Tormenta Tropical	65	200 km al noreste de Cozumel
2017	Franklin	Tormenta Tropical	95	25 km al sur de Punta Herrero
2020	Zeta	Huracán Categoría I	130	15 km al noreste de Tulum
2020	Delta	Huracán Categoría II	175	6 km al Suroeste de Puerto Morelos
2020	Gamma	Tormenta Tropical	110	5 km al sur de Tulum
2020	Cristóbal	Tormenta Tropical	95	Campeche
2021	Grace	Huracán Categoría I	130	10 km al sur de Tulum

CENAPRED solo tiene registrada una muerte por ciclones tropicales en el estado de Quintana Roo del 2000 al 2015. Sin embargo, los impactos socioeconómicos han sido considerables (Cuadro 20). El huracán Wilma ocasionó daños de 18,258 millones de pesos. Las fuertes lluvias y vientos dañaron 22,750 viviendas, 358 escuelas y 14 hospitales y se estima que 113,750 personas fueron afectadas (CENAPRED, 2017b).

Cuadro 11: Impactos Socioeconómicos de ciclones tropicales en Quintana Roo (2000-2015). (CENAPRED, 2017b)

Evento	Año	Población afectada	Viviendas dañadas	Escuelas dañadas	Hospitales dañados	Total de daños (MDP)
Ciclones tropicales Ingrid y Manuel	2013	Sin Dato	Sin Dato	Sin Dato	Sin Dato	12.3
Huracan Keith	2000	0	0	0	0	42.5
Ciclon tropical Ivan	2004	4,140	0	0	0	0.2
Huracan Wilma	2005	113,750	22,750	358	14	18,258
Huracan Emily	2005	10,112	851	76	35	1,111
Huracan Dean	2007	97,820	19,564	292	58	2,337.5
Huracan Ernesto	2012	10,019	0	0	0	205.7

Sánchez-Rivera et al., analizaron la actividad ciclónica en la cuenca del Atlántico Norte de 1851 al 2019. Concluyeron que, si bien no se ha identificado un incremento en el número de ciclones, sí identificaron un incremento en la intensidad de los eventos. Particularmente, en las últimas dos décadas han incrementado los huracanes con categoría IV y V en la escala Saffir-Simpson (Sánchez-Rivera, Frausto-Martínez, Gómez-Mendoza, et al., 2021).

Dada la naturaleza costera del municipio, Tulum tiene un alto nivel de riesgo de ciclones tropicales. Además, la geomorfología del municipio permite que las trayectorias de los huracanes tengan modificaciones considerables una vez que llegan a tierra, por lo que los ecosistemas más expuestos a fenómenos meteorológicos como huracanes o ciclones tropicales son las zonas de arrecifes. Punta Allen, por su baja elevación, lejanía y afectaciones en la carretera costera que la conecta con Tulum, tiene un grado muy alto de amenaza a ciclones tropicales (SEDATU, 2015)

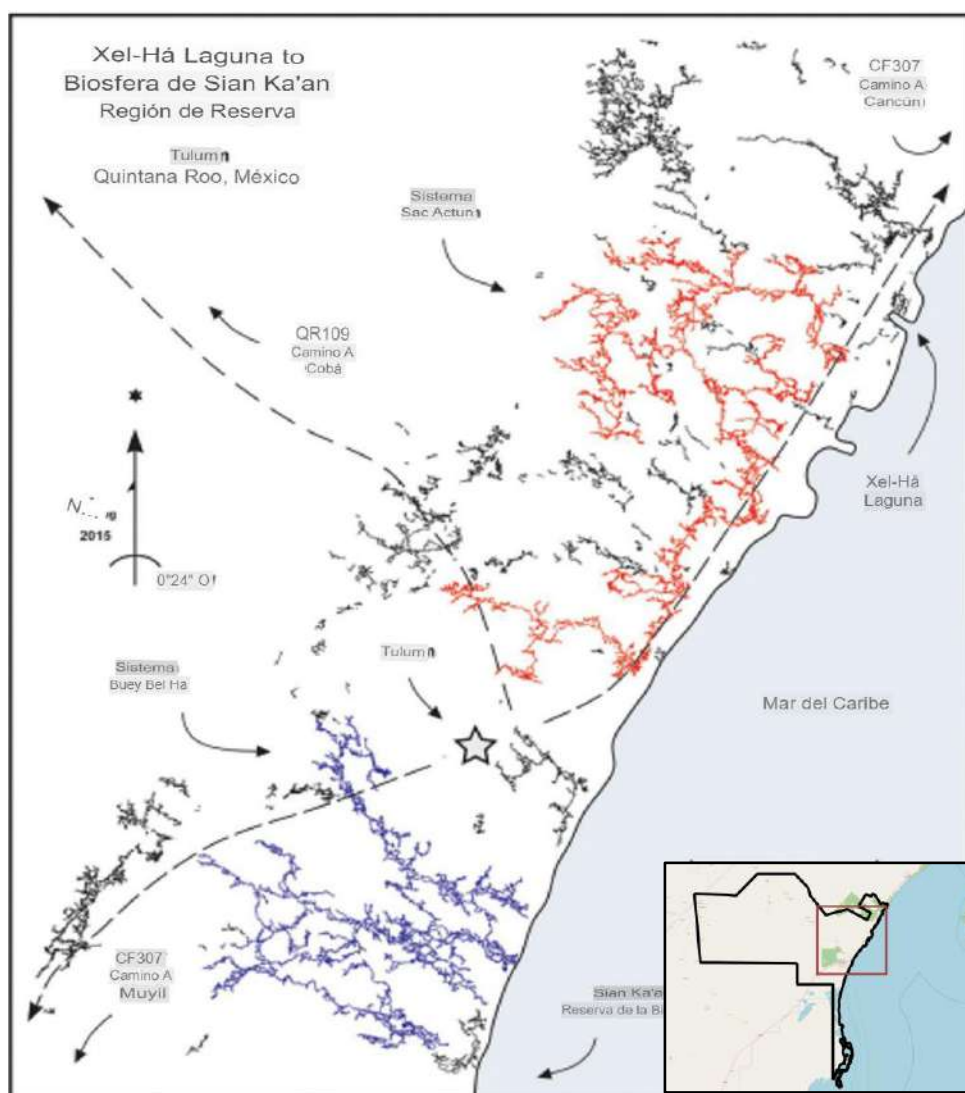
Riesgo por afectaciones a cuevas subterráneas

La península de Yucatán es una de las plataformas de piedra caliza más grandes del mundo. Esta plataforma kárstica es relativamente estable, contiene muy pocos sistemas de drenaje superficial o lagos y es altamente vulnerable a los mecanismos de formación de todo tipo de cuevas, cavernas, grutas y cenotes (Coke, 2019).

Los sistemas kársticos se refieren al fenómeno mediante el cual las rocas del subsuelo son disueltas por el agua causando hundimientos y cuevas. La plataforma de piedra caliza fue formada hace más de 65 millones de años por la acumulación de conchas de animales marinos las cuales fueron compactadas y recristalizadas (CENAPRED, s.f.).

De las 50 cuevas más largas de México, 29 se encuentran en el estado de Quintana Roo, la mayoría de estas se encuentran cerca de la ciudad de Tulum (Coke, 2019). La ciudad de Tulum está rodeada por todos los flancos por una región cubierta de cuevas submarinas y microambientes (ver figura 38).

Figura 27: Mapa de los sistemas de Ox Bel Ha y Sac Actun, 2019 (Coke, 2019).



Las cuevas de Quintana Roo se caracterizan por tener una capa superior de agua dulce la cual fluye sobre una infracción de agua salada casi estática. La profundidad de la capa de agua dulce se incrementa con la distancia al océano (Coke, 2019).

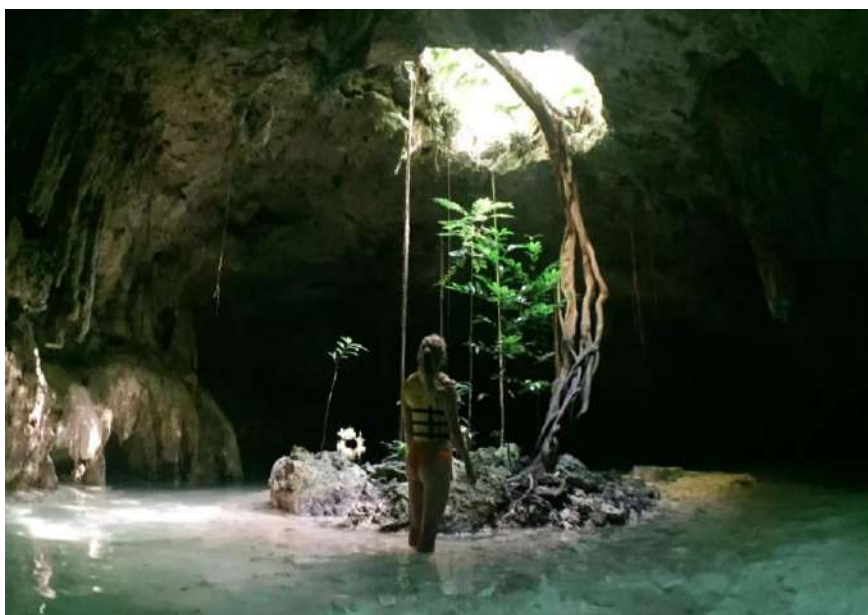
Se ha reportado la presencia de una barricada de piedra caliza a 12 km de la costa la cual corresponde con el borde de la fractura de Holbox. En los pasajes de cuevas que cruzan la fractura, exploradores han detectado un fuerte flujo de agua dulce que fluye del suroeste hacia el noreste, lo que parece indicar que el acuífero de Tulum es parcialmente abastecido por una fuente desconocida de agua dulce al sur de la Laguna de Chunyaxché (Coke, 2019).

“A medida que el acuífero de agua dulce comienza su recorrido de 12 km hacia el Caribe a través de la piedra caliza, las configuraciones de los pasajes de las cuevas y sus nichos ambientales cambian a lo largo del patrón de drenaje.”(Coke, 2019)

En su descripción de las cuevas submarinas de la Península de Yucatán, Coke utiliza los sistemas de Ox Bel Ha y Sac Actun para ilustrar las dinámicas de las cuevas submarinas de Quintana Roo. Ox Bel Ha es una de las cuevas submarinas más largas del mundo con un área documentada de 52 km². Contiene 270 pasajes submarinos, 5 ductos de descarga marinos y 143 entradas por cenotes. Por otro lado, Sac Actun es la cueva más larga de México con 357 km de longitud (figura 39).

La configuración de las cuevas submarinas varía conforme pasan tierra adentro. Las cuevas que se encuentran dentro de 1 km de la costa están formadas por depósitos recientes no consolidados, presentan un grado avanzado de disolución y la piedra caliza madre suele ser frágil e inestable. Conforme se incrementa la distancia de la costa los estratos de las cuevas principales se vuelven más masivos y estables y muchos de los túneles se encuentran a menos de 20 m de la superficie terrestre.

Figura 28: Cenote Sac Actun. (Jael Maxine Nyman, 2018)



Los sistemas kársticos son extremadamente complejos, y debido a un número de características geológicas e hidrológicas, pueden ser incluidos entre los ambientes más frágiles y vulnerables en el mundo (Brinkmann & Parise, 2012). Además de las especies endémicas adaptadas a cuevas, los cenotes nutren a poblaciones de mamíferos, reptiles, anfibios y aves de la selva (Coke, 2019). Lamentablemente, el rápido crecimiento demográfico y turístico de Tulum genera cada vez mayores cantidades de aguas residuales, desechos sólidos y rellenos sanitarios (Bauer-Gottwein et al., 2011; Kambesis & Coke, 2013). Debido a que el agua fluye rápidamente, los sistemas kársticos no tienen retención suficiente del agua para la descomposición de contaminantes (Kambesis & Coke, 2013).

Según Lace et. al., "la práctica actual de inyectar efluentes en zonas profundas de agua salada cerca de la costa y bombear agua dulce de pozos 10 km tierra adentro puede no ser ambientalmente sostenible debido a la hidrodinámica de las aguas dulces y saladas estratificadas por densidad del acuífero. Las aguas dulces/salinas son dinámicas en su flujo, con agua dulce moviéndose hacia la costa y agua salada moviéndose tanto hacia la costa como tierra adentro. Dado que los efluentes tienen una densidad similar a la del agua dulce, tienden a subir hacia la capa de agua dulce o hacia la zona de mezcla de agua dulce y salada" (Kambesis & Coke, 2013).

Además de los impactos antropogénicos, el incremento en el nivel del mar tendrá impactos en las dinámicas hidrológicas de las cuevas subterráneas de la región. A pesar de que no se conocen todas las implicaciones, es necesario resguardar los recursos hídricos de la región.

Por lo tanto, para conservar la calidad del agua potable de Tulum y la salud ecosistémica de la zona es necesario un estricto control de las aguas residuales y los sitios de disposición de residuos de municipio al igual que políticas de protección del Acuífero de Yucatán y las cavernas subterráneas de Tulum.

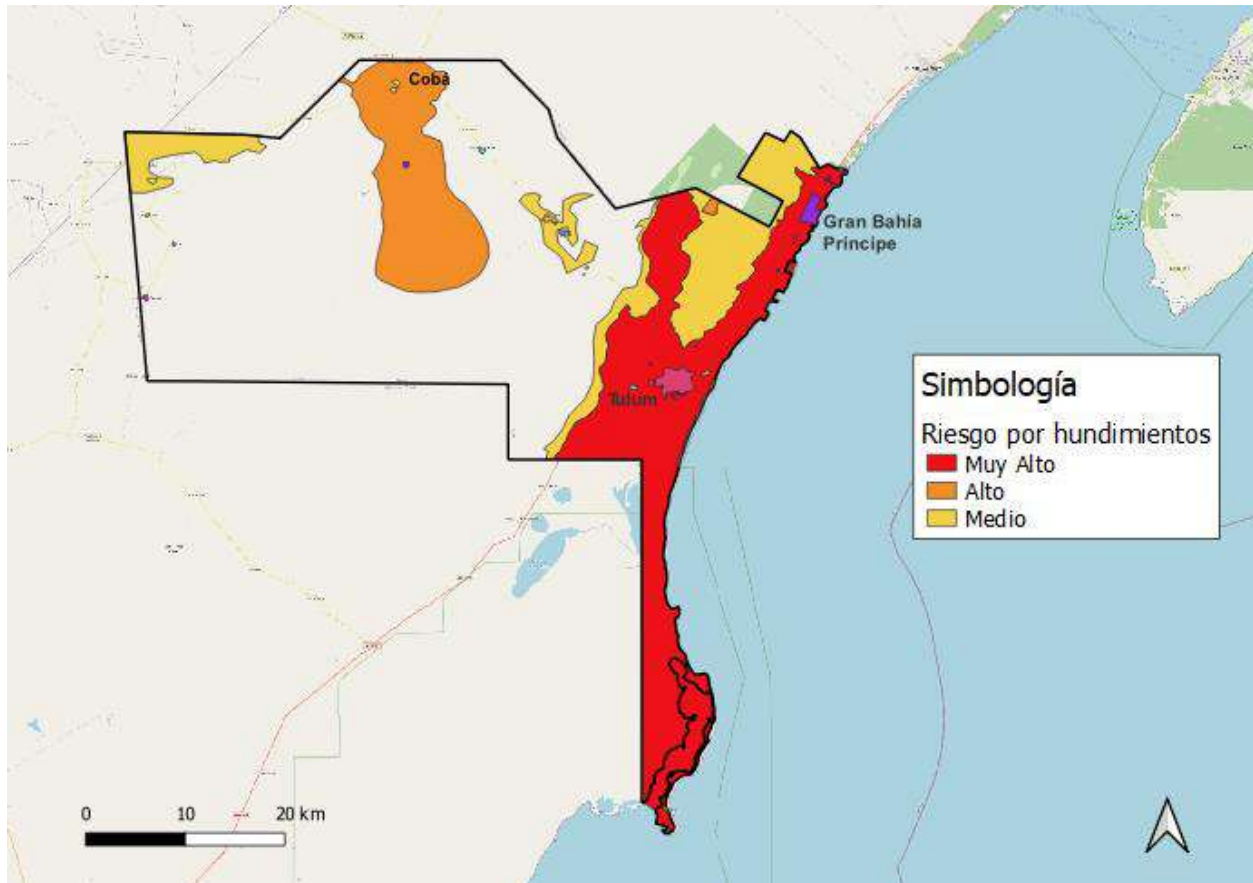
Riesgo por hundimientos

El Atlas De Riesgos Naturales Del Municipio De Tulum Quintana Roo 2015 define a hundimientos como movimientos descendentes del terreno provocados por condiciones de inestabilidad de los materiales subyacentes (SEDATU, 2015). Al estar ubicado en una zona kárstica el municipio de Tulum es particularmente vulnerable a estos eventos. Aproximadamente 31.69% del territorio se encuentra en Alto o Muy Alto riesgo de hundimiento (figura 40).

Como se mencionó anteriormente, la piedra caliza madre cercana al océano suele ser más frágil e inestable (Coke, 2019). Además, las construcciones pueden acelerar los procesos de hundimiento al generar sobrecargas, particularmente en la zona costera la cual presenta un muy alto riesgo de hundimientos (figura 40). En la zona de Cobá, la deforestación expone mayor cantidad de suelo a la precipitación, acelerando los

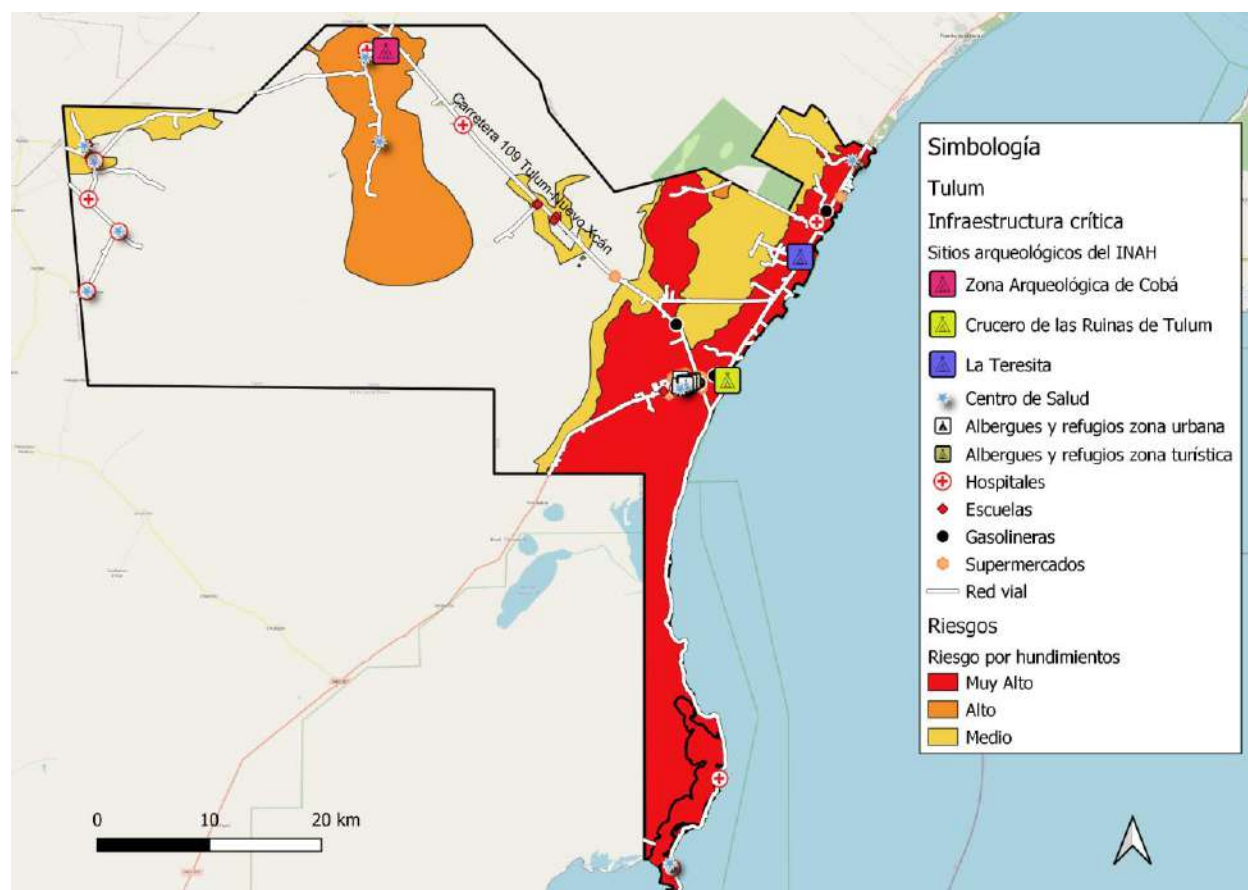
procesos de karstificación e incrementando el riesgo de hundimiento el cual ya se encuentra en un nivel alto. Todo esto indica que la deforestación y el acelerado crecimiento urbano del municipio de Tulum han aumentado su exposición a hundimientos.

Figura 29: Índice de riesgo por hundimientos. (SEDATU, 2015)



En la figura 41 podemos observar que la Ciudad de Tulum se encuentra en riesgo muy alto de hundimiento. Al construir sobre terrenos kársticos, se produce una sobrecarga inducida lo que puede acelerar o desencadenar el proceso de hundimientos en zonas costeras y en la Ciudad de Tulum. Dentro de esta zona radica el 75.67% de la población del municipio y es también un área de desarrollo turístico. (SEDATU, 2015)

Figura 30: Infraestructura crítica en riesgo por hundimientos. (SEDATU, 2015)



En el municipio se identificaron 218.85 kilómetros cuadrados (10.72% del municipio) con alto riesgo de hundimientos. En esta depresión se localiza la Zona Arqueológica de Cobá y dos cuerpos de agua de dimensiones importantes que al desbordarse inundan una superficie considerable de la Ciudad de Cobá, así como a la carretera que comunica a esta localidad con la carretera 109 Tulum-Nuevo Xcán. Se debe considerar que la tala de selva expone a la región a mayores afectaciones por karsticidad lo que incrementa el riesgo de hundimientos.

Se registraron 1,877 habitantes en las poblaciones de Cobá y San Juan de Dios, lo que representa el 6.64% de la población municipal. Por lo que, entre la zona costera y esta depresión, se estima que se encuentra en riesgo alto y muy alto el 82.31% de la población municipal. Por último, la zona de riesgo medio consta de una superficie de 228.46 kilómetros cuadrados que representa el 11.20% del territorio municipal, no obstante, continúa en acelerado proceso de hundimiento al presentar tala de la selva y su consecuente descubrimiento del lecho rocosos, aumentando la superficie de intemperización y por lo tanto acelerando la generación de karsticidad y provocando mayores superficies de ser susceptibles de hundirse o colapsar (SEDATU, 2015).

Riesgo por enfermedades vectoriales

Los riesgos por agentes biológicos causan enfermedad o muerte en personas, animales o plantas. Según el agente biológico, el desarrollo de enfermedad dependerá del tiempo de incubación, difusión y transmisión. La NOM-017 Para la Vigilancia Epidemiológica, establece que la ocurrencia de dos o más casos asociados epidemiológicamente entre sí, se considera brote; y la forma de vigilancia epidemiológica es a través del registro del brote (Dirección General de Epidemiología, 2015).

Dengue

El dengue es una enfermedad causada por un virus transmitido por mosquitos que se ha propagado rápidamente en todas las regiones del mundo en los últimos años. El virus del dengue se transmite por mosquitos hembra principalmente de la especie *Aedes aegypti* y, en menor grado, de *A. albopictus*. Estos mosquitos también transmiten la fiebre chikungunya, fiebre amarilla y la infección por el virus de Zika⁴.

El dengue está muy extendido en los trópicos, con variaciones locales en el riesgo que dependen en gran medida de las precipitaciones, la temperatura y la rápida urbanización sin planificar. El causante del dengue es un virus de la familia Flaviviridae que tiene cuatro serotipos distintos, pero estrechamente emparentados: DENV-1, DENV2, DENV-3 y DENV-4. Actualmente los cuatro serotipos se encuentran circulando en el país, y en algunas entidades hay evidencia de la circulación simultánea de dos o más serotipos. (Dirección General de Epidemiología, 2021)

En datos históricos, después de la reintroducción de dengue en México con los brotes reportados en 1980 y 1997, se tuvieron cinco años de baja endemia (2000-2004); sin embargo, en las últimas dos décadas se han presentado nuevos brotes correspondientes a los años 2007, 2009, 2012, 2013 y el más reciente en 2019, periodo en el cual (2000-2019) se han registrado más de 518,000 casos confirmados de dengue en el país. Comenzando con el primer brote de este periodo, en 2007 se presentaron 48,456 casos confirmados (Fiebre de Dengue (FD) = 40,559 casos y Fiebre Hemorrágica de Dengue (FHD) = 7,897 casos), con mayor número de casos en Veracruz, Oaxaca, Guerrero, Quintana Roo y Nuevo León. El sexo más afectado fue el femenino con 57% de los casos confirmados de FD y en los casos de FHD 51% fue del sexo femenino y 49% del masculino. (Arredondo García et al., 2020)

⁴Los casos acumulados confirmados ocurridos de Zika en el municipio fueron 5 mujeres el 2016 con una tasa *100,000 habitantes de 14.03. (Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2015)

Los casos acumulados confirmados de Chikungunya en el municipio fue en el 2015 con 3 mujeres y 1 hombre con un total de 4 casos y tasa *100,000 habitantes de 11.58 y en 2016 fue una mujer con una tasa *100,000 habitantes de 2.81 (Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2015).

En el estado de Quintana Roo se han presentado 4,332 casos confirmados del 2014 al 2021, los correspondientes al municipio de Tulum por año se encuentran en el siguiente cuadro:

Cuadro 12: Casos acumulados confirmados de Dengue (FD, FHD) del Boletín epidemiológico Estatal de Cierre del Estado de Quintana Roo para el Municipio de Tulum. (Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2015)

Año	Casos acumulados (Boletín epidemiológico Estatal de Cierre)		Total	Tasa * 100,000 Habitantes
	Femenino	Masculino		
2014	Sin especificación	Sin especificación	30	89.72
2015	17	12	29	83.98
2016	5	1	6	16.84
2017	3	2	5	10.89
2018	1	1	2	5.29
2019	12	19	31	83.03
2020	2	1	3	0.01

La participación de la población y de las autoridades municipales, además del personal de salud, es indispensable para una adecuada anticipación y preparación de la respuesta a un problema de las enfermedades transmitidas por el vector.

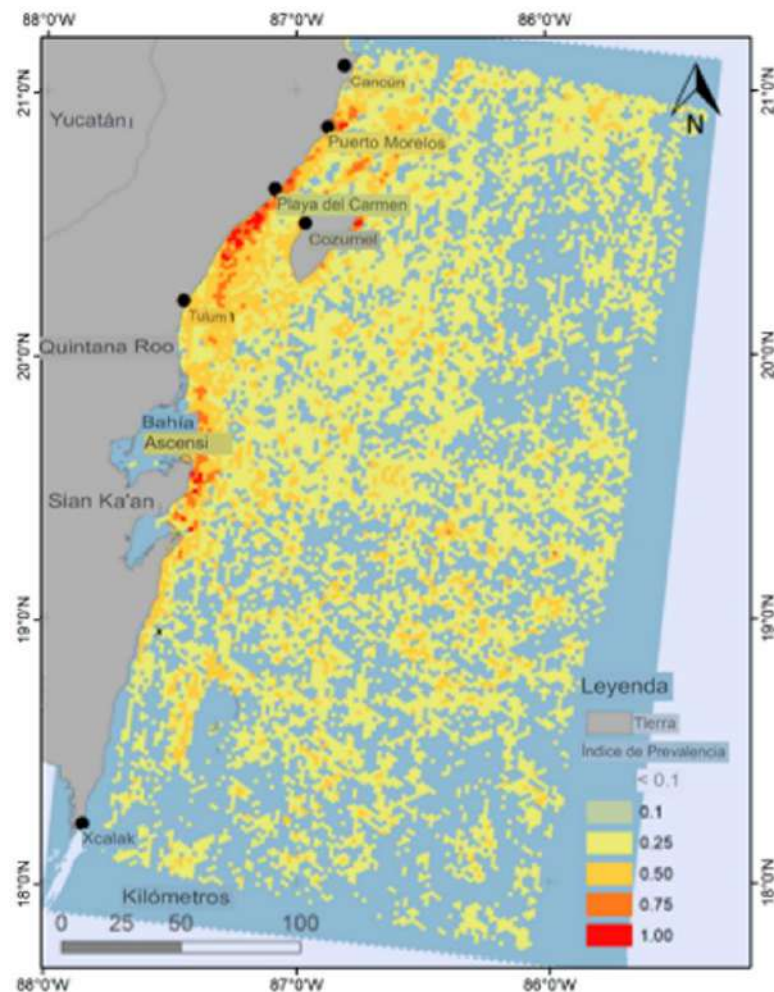
Una de las más importantes acciones de control es el saneamiento básico de espacios públicos y privados para eliminar criaderos de mosquitos, lo cual, de acuerdo con el Artículo 115 Constitucional, es una responsabilidad de los gobiernos municipales. Sin embargo, el uso de insecticidas y larvicidas es una acción complementaria del control de vectores, y las recomendaciones de medidas sencillas para evitar contagios por el dengue, incluyen la eliminación de recipientes que pueden servir de criaderos de mosquitos como latas, botellas, llantas, trozos de plástico y demás contenedores que no se utilicen; colocar mosquiteros en ventanas y puertas; aplicar cada tres horas, repelente sobre la piel expuesta y usar blusas o

camisas de manga larga y pantalones largos (Dirección General de Epidemiología, 2021).

Impacto del Sargazo en los Ecosistemas

El *Sargassum* (sargazo), es un tipo de macroalga, se estima que el mar de sargazo secuestra entre 40-260 millones de toneladas de CO₂ al año (Lomas et al., 2011). Sin embargo, en los últimos años se ha visto un gran incremento en la cantidad de sargazo en las costas de México (Hendy et al., 2021). Chavéz et al. (Chávez et al., 2020) desarrollaron un índice de prevalencia de sargazo con imágenes satelitales desde enero 2016 hasta agosto de 2020. Se puede observar que Tulum, especialmente la costa sur del municipio contiene zonas donde grandes masas de sargazo se encuentran con mayor frecuencia (figura 42).

Figura 31: Índice de prevalencia de sargazo (2016-2020). (Chávez et al., 2020)



Las causas del incremento de sargazo en las costas no son conclusivas, incluyen: cambios en el régimen de las corrientes oceánicas (Sissini et al., 2017), aumentos en la temperatura del mar y vientos anormales provocados por el cambio climático (Chávez et al., 2020).

El incremento del volumen de sargazo en las zona costera de Quintana Roo tiene diversos efectos negativos en los ecosistemas cómo la reducción de disponibilidad de oxígeno y luz en sistemas marinos costeros (Chávez et al., 2020; Hendy et al., 2021), el incremento de los niveles de sulfuro de hidrógeno (Hendy et al., 2021), reducción de la calidad del agua (Chávez et al., 2020) y la producción de lixiviados tóxico generados por la degradación del sargazo en playas.

Los arrecifes y praderas marinas son particularmente vulnerables a los efectos del sargazo. En su estudio, Hendy et. al. encontraron que cantidades considerables de mantos de sargazo en las bahías costeras de Quintana Roo crean un colapso en la cadena alimenticia de la flora y fauna, lo cual lleva a pérdida de biodiversidad y complejidad de hábitat (Hendy et al., 2021). Entre el 2015 y 2018, la reducción de niveles de oxígeno ocasionado por los brotes de sargazo provocó la muerte de peces, crustáceos y moluscos (Chávez et al., 2020; van Tussenbroek et al., 2017).

La pérdida de praderas marinas en zonas cercanas a la costa repercute en la protección costera y el mantenimiento de la claridad del agua, ya que las praderas marinas atenúan las olas, lo que permite la deposición de partículas finas, reduciendo la turbidez. Las raíces de las praderas marinas también fijan sedimentos; sin ellos las playas son menos estables y más vulnerables a los impactos de tormentas y huracanes (Chávez et al., 2020; James et al., 2019). Adicionalmente, la acumulación de sargazo puede causar la erosión de playas. Chávez et al. (Chávez et al., 2020) detectaron que algunas playas de Quintana Roo perdieron 54% de su volumen entre junio 2008 y junio 2019.

Debido a su mal olor al descomponerse y el impacto visual el sargazo tiene un impacto negativo en el turismo. En particular, se notó una caída de 2.87% en las tasas de ocupación de los hoteles de Cancún y la Riviera Maya tras el evento del sargazo de 2018 (Chávez et al., 2020; Vinagre et al., 2019). Sin embargo, Espinosa y Li Ng, no detectaron una afectación del sargazo en las actividades turísticas de Quintana Roo en el 2019, “ya sea porque no fue un factor relevante en la demanda turística o por el éxito de las acciones de mitigación” (Espinosa & Li Ng, 2020).

Los esfuerzos para mitigar los impactos del sargazo han sido considerables. En el 2018, el gobierno mexicano invirtió 17 millones de dólares en el retiro de 522,226 toneladas de sargazo y en el 2019 invirtió 2.6 millones de dólares en la recolección de 85,000 toneladas de sargazo (Chávez et al., 2020; Espinosa & Li Ng, 2020). La industria hotelera también ha incurrido considerables gastos en recolectar el sargazo de sus frentes de playa. Por ejemplo, en el 2018, hoteles entre Cancún y

Puerto Morelos gastaron entre 128,770– 284.830 USD en salarios de personal de limpieza de sargazo y su transporte a los sitios de disposición (Chávez et al., 2020).

A pesar de estos esfuerzos, hasta la fecha, no se han establecido sitios de disposición de sargazo acondicionados con geomembranas para capturar los lixiviados producidos por la descomposición del sargazo.

La Península de Yucatán al ser una zona kárstica los nutrientes y elementos tóxicos generados por la descomposición del sargazo vertido en selvas, manglares y playas se infiltran a la única fuente de agua dulce del municipio, el acuífero de la Península de Yucatán. Por lo tanto, es de vital importancia regular los procesos de disposición de sargazo (Chávez et al., 2020).

Al mismo tiempo, es importante considerar que las actividades de limpieza de sargazo que incluyen maquinarias pesadas, al quitar grandes cantidades de arena incrementan la erosión de playas. La compactación del suelo causado por estas actividades inhibe la anidación de tortugas marinas, mientras que el paso de vehículos destruye nidos de tortugas existentes, y la presencia de barreras marinas para confinar sargas pueden atrapar a tortugas recién nacidas mientras nadan al mar abierto (Chávez et al., 2020).

Escenarios de Cambio Climático para el municipio de Tulum

Los escenarios de cambio climático son una representación global y simplificada del clima futuro, basada en un conjunto de relaciones climatológicas, que se construye para ser utilizados de forma explícita para la investigación de las posibles consecuencias del cambio climático antropogénico, y se utiliza generalmente como insumo para evaluar el efecto de sus impactos.

Las proyecciones climáticas denominadas Modelos Generales de Circulación (MGC) sirven como materia prima para la construcción de escenarios climáticos, pero estos requieren información adicional, por ejemplo, acerca del clima observado en un momento determinado o sobre las condiciones económicas que permiten el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2014).

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático coordinó en el año 2012, el desarrollo de escenarios climáticos regionales para generar el reporte de la Quinta Comunicación Nacional de México a la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático, los cuales fueron referidos al período climático 1961-2000 y homogeneizados a la resolución espacial de 0.5° x 0.5°.

El MGC que utilizaremos es CNRM-CM5. Se procesaron con muy alta resolución espacial (30"x30") considerando el efecto del relieve topográfico, para los escenarios

4.5 y 8.5 de forzamiento radiativo⁵, denominados Trayectorias Representativas de Concentraciones (RCP, por sus siglas en inglés), con horizontes a futuro cercano (2015-2039), futuro medio (2045-2069) y a futuro lejano (2075-2099).

La climatología de referencia (1961-2000) utilizada para el MGC a utilizar, se procesó a partir de los datos de más de 5 mil estaciones de la base climatológica diaria del Servicio Meteorológico Nacional, actualizada en julio de 2012 y consultada en junio de 2014. Se generaron archivos de datos georreferenciados⁶ de promedios mensuales de temperatura máxima, mínima y promedio en °C, así como de precipitación promedio mensual en mm y en porcentaje de cambio (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2014).

Trayectorias de concentración representativas (RCP)

Según Moss et al. a partir del glosario del IPCC (IPCC, 2018), la palabra *representativa* significa que cada trayectoria de representación ofrece uno de los muchos posibles escenarios que conducirán a las características específicas de forzamiento radiativo. La palabra *trayectoria* hace referencia en que únicamente son de interés los niveles de concentración a largo plazo, pero también indica el camino seguido a lo largo del tiempo para llegar al resultado en cuestión. Del modelo CNRM-CM5 revisaremos RCP 4.5 Y 8.5.

RCP 4.5

Es la trayectoria de estabilización intermedias en la cual el forzamiento radiativo se estabiliza a aproximadamente 4.5 W m^{-2} (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que sean constantes las concentraciones) (IPCC, 2018).

RCP 8.5

El RCP 8.5 es la trayectoria alta para la cual el forzamiento radiativo alcanza valores superiores a 8.5 W m^{-2} y sigue aumentando durante un lapso de tiempo determinado (IPCC, 2018); el escenario RCP 8.5 considera un incremento sostenido para fines del siglo XXI, representando el escenario más desfavorable posible en términos de emisiones (Dirección General de Aguas, s.f.).

⁵ El forzamiento radiativo es variación, expresada en W m^{-2} , de la radiación neta (la descendente menos la ascendente) en la tropopausa o en la parte superior de la atmósfera, debida a una variación de un impulsor externo del cambio climático; por ejemplo, una variación de la concentración de dióxido de carbono o de la radiación solar.

⁶ Revisar Anexo B: Mapas de Escenario de Cambio Climático.

Temperatura

Se muestran los datos en el cuadro 22 de temperatura promedio, máxima y mínima de RCP 4.5 y 8.5, así como los datos del 2010 al 2017 de la estación meteorológica de Tulum y Cobá como referencia de datos actuales. Se espera un aumento de temperatura a lo largo del horizonte cercano, medio y lejano para RCP 4.5 y 8.5.

Cuadro 13: Temperatura promedio, máxima y mínima. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

		Actual		RCP 4.5			RCP 8.5		
		2010-2017		Horizontes			Horizontes		
		Tulum	Cobá	Cercano	Medio	Lejano	Cercano	Medio	Lejano
				2015 - 2039	2045 - 2069	2075 - 2099	2015 - 2039	2045 - 2069	2075 - 2099
Temperatura promedio	Promedio (°C)	20.84	25.64	26.27	32.9	28.31	25.01	27.11	28.31
	Máximo (°C)	21.38	25.95	28.9	29.2	30.6	28	28.95	30.3
	Mínimo (°C)	20.38	11.99	23	23.9	25	13.7	24.25	25.3
Temperatura máxima	Promedio (°C)	28.8	32.3	32.62	32.9	34.03	31.93	32.88	34.07
	Máximo (°C)	30.45	32.83	35.5	35.79	36.9	34.1	34.9	36
	Mínimo (°C)	28.6	26.65	29.29	29.5	30.7	29.2	30.1	31.25
Temperatura mínima	Promedio (°C)	22.2	20.4	20.41	21.43	22.7	20.49	21.44	22.7
	Máximo (°C)	22.76	20.76	23.1	24.2	25.6	22.7	23.6	25
	Mínimo (°C)	20.38	18.92	16.7	17.2	18.5	17.55	18.25	19.35

La figura 43 y 44 presenta un gráfico boxplot con los datos de los escenarios de temperatura mínima, máxima y promedio de los horizontes a futuro cercano (2015-2039), horizonte a futuro medio (2045-2069) y horizonte a futuro lejano (2075-2099).

Figura 32: Representación gráfica de los diferentes escenarios RCP 4.5 de temperatura en Tulum por horizonte. * (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

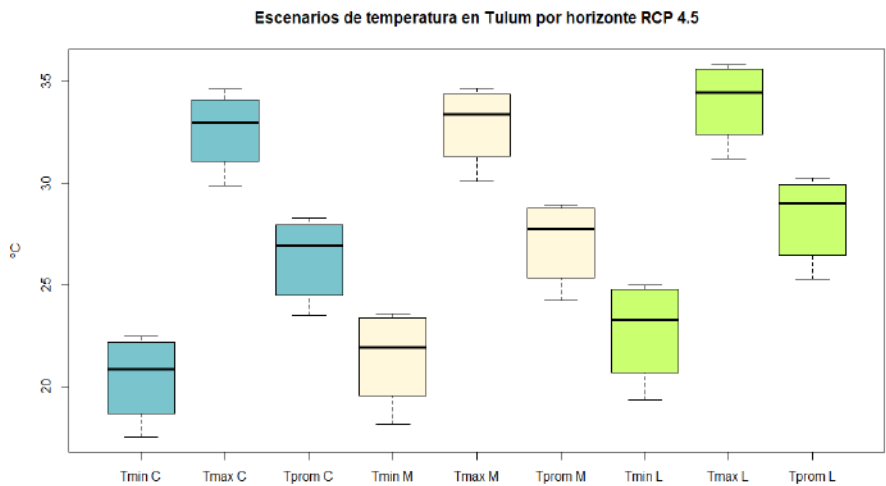
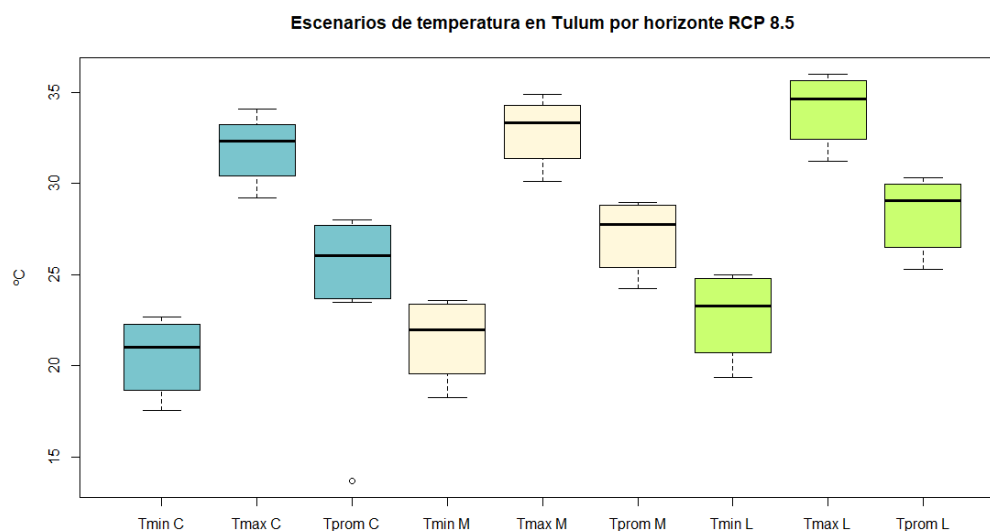


Figura 33: Representación gráfica de los diferentes escenarios RCP 8.5 de temperatura en Tulum por horizonte.* (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)



* Tmin = Temperatura mínima, Tmax = Temperatura máxima, Tprom = Temperatura promedio, C = Horizonte a futuro cercano (2015-2039), M = Horizonte a futuro medio (2045-2069), L = Horizonte a futuro lejano (2075-2099).

Precipitación

En el cuadro 23 se muestra la recopilación de datos de precipitación mínima, máxima y promedio. Así como el porcentaje de cambio de precipitación, para RCP 4.5 y 8.5, estos contrastados con los datos actuales de las estaciones meteorológicas de “Tulum” y “Cobá” de los años 2010 a 2016. Se espera un decremento en la precipitación a lo largo de los horizontes para RCP 4.5 y 8.5.

Cuadro 14: Precipitación y porcentaje de cambio de la precipitación. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

		RCP 4.5 Horizontes			RCP 8.5 Horizontes		
		Cercano	Medio	Lejano	Cercano	Medio	Lejano
		2015 - 2039	2045 - 2069	2075 - 2099	2015 - 2039	2045 - 2069	2075 - 2099
Precipitación (mm)	Promedio	99.62	99.37	98.16	101.2	99.62	98.16
	Máximo	189	201	200	207	201	200
	Mínimo	29	24	31	28	24	31
% de Cambio de Precipitación	Promedio	2.54	1.2	-1.2	2.54	1.2	-1.2
	Máximo	11	14	14	11	14	14
	Mínimo	-2	-14	-21	-2	-14	-21

En las figuras 45 y 46, se presenta un gráfico de cajas con los datos de los escenarios de precipitación, para los horizontes a futuro cercano, medio y lejano, para RCP 4.5 y 8.5, respectivamente.

Figura 34: Escenarios de precipitación RCP 4.5 en Tulum por horizonte.⁷ (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

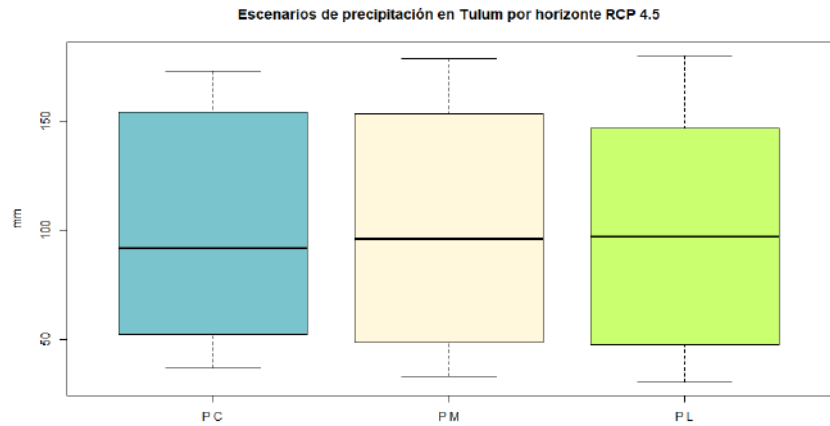
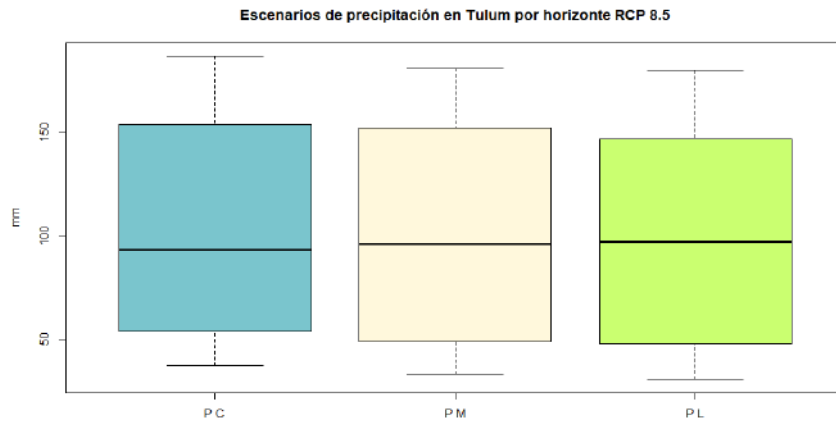


Figura 35: Escenarios de precipitación RCP 8.5 en Tulum por horizonte.⁸ (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)



⁷ * Precip = precipitación, * H. C. = Horizonte a futuro cercano (2015-2039), * H. M. = Horizonte a futuro medio (2045-2069), * H. L. = Horizonte a futuro lejano (2075-2099)

⁸ * Precip = precipitación, * H. C. = Horizonte a futuro cercano (2015-2039), * H. M. = Horizonte a futuro medio (2045-2069), * H. L. = Horizonte a futuro lejano (2075-2099)

En las figuras 47 y 48, se presenta un gráfico boxplot con los datos de los escenarios de porcentaje de cambio en la precipitación, para los horizontes a futuro cercano, medio y lejano, para RCP 4.5 y 8.5, respectivamente.

Figura 36: Escenarios RCP 4.5 de porcentaje de cambio en precipitación Escenario de cambio climático ⁹. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

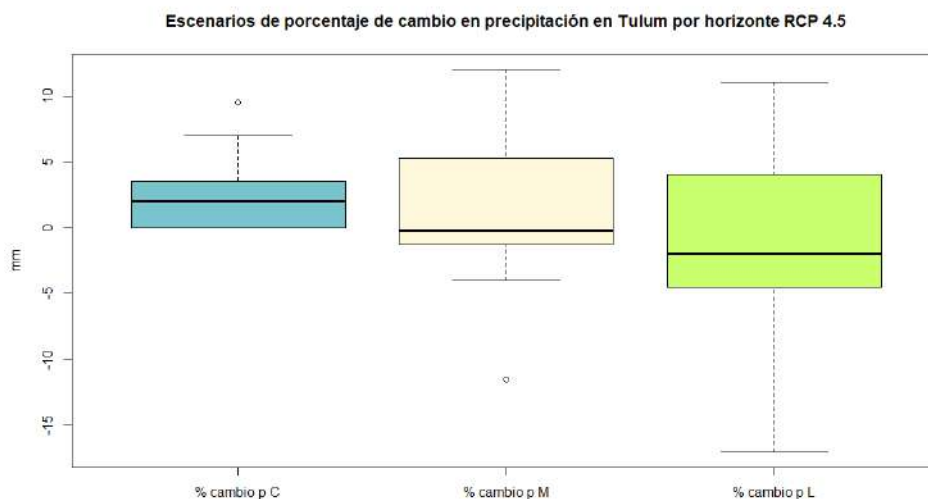
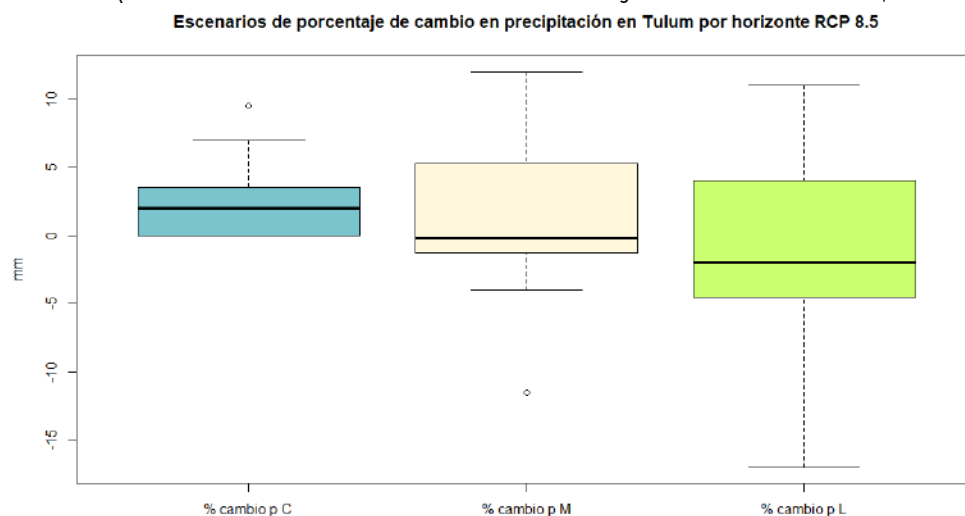


Figura 37: Escenarios RCP 8.5 de porcentaje de cambio en precipitación en Tulum por horizonte.** (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)



⁹ * % Cambio Prec = porcentaje de cambio en precipitación, * C = Horizonte a futuro cercano (2015-2039), * M = Horizonte a futuro medio (2045-2069), * L = Horizonte a futuro lejano (2075-2099)

Variación de riesgos por escenarios de cambio climático

El riesgo por cambio climático aumenta si la probabilidad de ocurrencia es alta, y si la vulnerabilidad, es decir, si el grado de exposición es alto, y la capacidad de adaptación y de resiliencia son bajos. Por el contrario, el riesgo es bajo si la probabilidad de ocurrencia del evento es alta pero la exposición es baja, y la capacidad de adaptación y de resiliencia es alta (Siclari Bravo, 2020).

Cuadro 15: Variación de riesgos por escenarios de cambio climático.

Riesgo	Variaciones
Riesgo por sequías	La sequía es un fenómeno meteorológico que ocurre cuando la precipitación en un período de tiempo es menor que el promedio. En tanto el RCP 4.5 y 8.5 se espera una disminución en la precipitación por lo que el riesgo por sequías en el municipio de Tulum aumenta. El municipio actualmente se encuentra con un nivel de riesgo medio, no obstante, la deforestación que se presenta en estas zonas ha aumentado a lo largo de los años, aumentando también la vulnerabilidad por sequía.
Riesgo de incendio	Al presentar una disminución en la precipitación y un aumento en la temperatura máxima promedio a lo largo de los horizontes de los escenarios de cambio climático se incrementan las condiciones favorables a los incendios. Esto puede dar paso a incendios de mayor impacto, sin embargo, como la mayoría de los incendios son causados por factores antropogénicos, no se esperan cambios en su frecuencia. El Complejo Sian Ka'an, en su porción terrestre se encuentra en constante riesgo por la presencia de incendios, los cuales son recurrentes cada año en temporada de secas, por lo que su riesgo de incendios va en aumento.
Riesgo de inundación	El municipio de Tulum está ubicado en una zona de alto riesgo de inundación. Con el aumento de temperatura máxima promedio en los horizontes cercano, medio y lejano en los escenarios climáticos, se espera un aumento en el nivel del mar lo que incrementa el riesgo de inundación costera del municipio. Por otro lado, el aumento esperado de temperatura significa que la atmósfera puede acumular mayor humedad por lo que se espera un aumento en la intensidad de lluvias, incrementando el riesgo de inundaciones pluviales.
Riesgo por ciclones tropicales	Se estima que el incremento esperado en temperatura oceánica tenga como consecuencia un aumento en la intensidad de los ciclones tropicales. Esto es consistente con las observaciones de Sánchez-Rivera et al. quienes

	identificaron un incremento en la intensidad de ciclones en la cuenca del Atlántico Norte de 1851 al 2019. La península de Yucatán tiene las tasas más altas de llegada de huracanes de categoría mayor (Rubio Maldonado et al., 2010). Además, existe un aumento de la vulnerabilidad frente a los ciclones tropicales debido al crecimiento de la población y al desarrollo de la infraestructura costera.
Riesgo por hundimiento	Las principales causas del incremento de riesgo a hundimientos en el municipio de Tulum no son climáticas sino antropogénicas e incluyen el desarrollo urbano y la deforestación. Ambos procesos exponen mayor cantidad de suelo a la precipitación acelerando los procesos de karstificación.
Riesgo por enfermedades vectoriales	Si bien el cambio climático favorece las condiciones ideales para la propagación de infecciones relacionadas con vectores, hemos visto una tendencia de disminución de casos de Dengue en el municipio a excepción del repunte en 2019 que ocurrió no sólo en México y el municipio de Tulum, sino de forma global después del descenso observado en el número de casos reportados de dengue en 2017 y 2018. (Arredondo García et al., 2020) La distribución geográfica del vector puede ser el resultado de características climáticas como la temperatura y la humedad con modificaciones en el ámbito ecológico, que han contribuido a la expansión de los vectores <i>Aedes aegypti</i> y <i>A. albopictus</i>. No se descartan brotes futuros, pues el comportamiento del dengue a lo largo de los años es dinámico y a pesar de los constantes esfuerzos por controlar el vector y mitigar la transmisión del virus existen ciertos patrones de los brotes que coinciden con los que se presentan a nivel regional e inclusive mundial. (Arredondo García et al., 2020)

Metodología para la evaluación de riesgo

La evaluación del riesgo es el proceso en el que se sistematiza la información relativa a las amenazas, exposición y vulnerabilidad de los receptores predefinidos en un modelo de análisis. El análisis del riesgo implica determinar la probabilidad, magnitud e incertidumbres asociadas a la ocurrencia de determinados eventos futuros. Por lo tanto, el análisis de riesgo incluye tanto la evaluación del mismo, como la identificación y comparación de alternativas para su gestión (Willows & Connell, 2003 a partir de Rivas Calvete et al., 2021).

La evaluación del riesgo implica una descripción de la probabilidad de que ocurra el peligro climático en función del conocimiento de expertos y la consecuencia de los impactos ocasionados por dicho peligro.

Dentro del análisis realizado se tomó en cuenta los criterios definidos en el Marco Común de Reporte (CRF, por sus siglas en inglés) del Pacto Global de los Alcaldes por el Clima y la Energía (GCoM, por sus siglas en inglés) para asignar el nivel de probabilidad a los peligros climáticos:

Cuadro 16: Nivel de probabilidad a los peligros climáticos. (Rivas Calvete et al., 2021)

Nivel de probabilidad	Descripción
Ocurriendo al momento	El municipio se encuentra experimentando el peligro climático (o sus consecuencias) en el presente, por lo tanto, la probabilidad del riesgo es del 100%.
Elevada	Es extremadamente probable que se produzca el peligro (es decir, hay más de 1 posibilidad entre 20 de que se produzca en 5 años).
Moderada	Es probable que se produzca el peligro (es decir, hay entre 1 posibilidad de 20 y 1 posibilidad entre 200 de que se produzca en 5 años).
Baja	Es improbable que se produzca el peligro (es decir, hay entre 1 posibilidad de 200 y 1 posibilidad entre 2000 de que se produzca en 5 años).
Se desconoce	El Municipio no ha experimentado ni observado los peligros climáticos en el pasado o no tiene manera de identificar con exactitud esta información basándose en los datos disponibles.

Las probabilidades de incendio, sequía y enfermedades vectoriales fueron calculadas a través de los datos de eventos y el periodo de análisis de los datos disponibles. En

cuanto a los riesgos por inundación y hundimiento la evaluación de riesgo se obtuvo de acuerdo con el Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Tulum, Quintana Roo del 2015, pues la metodología dentro del Atlas no se detalla.

Para el riesgo por ondas de calor, se obtuvo la probabilidad de la proyección del periodo de retorno para temperaturas máximas de acuerdo con la distribución de Gumbel. La probabilidad de ciclones tropicales se estimó a partir de la Actualización de las Probabilidades de Ocurrencia de Ciclones Tropicales en México para el Cálculo de Marea de Tormenta (para el periodo 1949-2014) del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2016).

Por último, no se cuenta con información suficiente para estimar la probabilidad de afectaciones a cuevas subterráneas. Sin embargo, en base a los datos de pérdida de cobertura forestal en Tulum y el acelerado desarrollo urbano y turístico de la región se estimó una alta probabilidad de ocurrencia de afectaciones a cuevas subterráneas y a la pérdida de biodiversidad.

El nivel de consecuencia en todos los riesgos es a partir de los criterios que define el GCoM para asignar el nivel de consecuencia a los peligros climáticos:

Cuadro 17: Nivel de consecuencia. (Rivas Calvete et al., 2021)

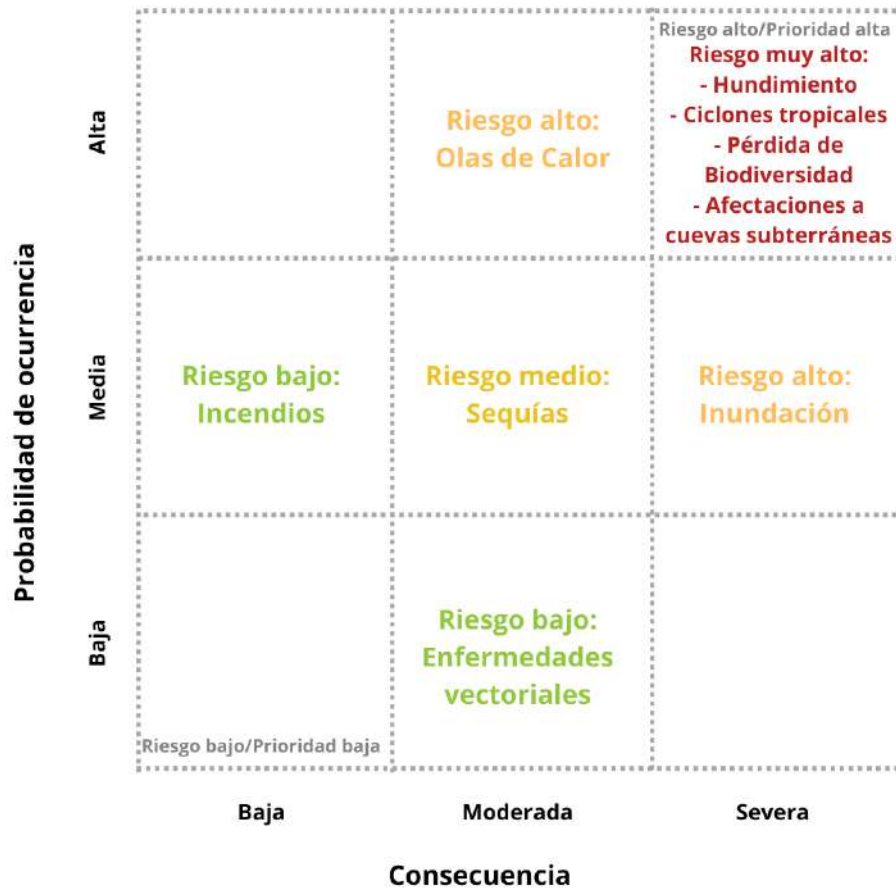
Nivel de consecuencia	Descripción
Grave	El peligro constituye el máximo nivel (o un nivel elevado) de posible preocupación para su jurisdicción. Cuando se suscita el peligro, produce efectos (extremadamente) graves en la jurisdicción e interrupciones (catastróficas) en la vida cotidiana.
Moderada	El peligro constituye un nivel moderado de posible preocupación para su jurisdicción. Cuando tiene lugar, el peligro produce impactos sobre su jurisdicción, pero las interrupciones sobre la vida cotidiana son moderadas.
Baja	El peligro constituye el mínimo nivel (o un nivel bajo) de posible preocupación para su jurisdicción. Cuando ocurre, el peligro produce impactos o interrupciones en la vida cotidiana que se consideran menos importantes (o insignificantes).
Se desconoce	El municipio no ha experimentado ni observado los peligros climáticos en el pasado o no tiene ninguna manera de informar con exactitud esta información, basándose en los datos existentes.

A partir de la evaluación de riesgo se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 18: Resultados de la evaluación de riesgo

Riesgo	Categoría de probabilidad	Nivel de consecuencia	Nivel de riesgo
Pérdida de biodiversidad	Elevada	Grave	Muy Alto
Afectaciones a cuevas subterráneas	Elevada	Grave	Muy Alto
Hundimiento	Elevada	Grave	Muy Alto
Ciclones tropicales	Elevada	Grave	Muy Alto
Ondas de calor	Elevada	Moderada	Alto
Inundación	Moderada	Grave	Alto
Sequías	Moderada	Moderada	Medio
Incendio	Moderada	Baja	Bajo
Enfermedades vectoriales	Baja	Moderada	Bajo

Figura 38: Evaluación de riesgo para el municipio de Tulum



Conclusiones del ARVC

Con el objetivo de identificar los riesgos prioritarios para considerar estrategias de adaptación y de esta forma evitar o disminuir la posibilidad de sufrir efectos adversos en el futuro, se identificó la población, área, infraestructura crítica, características y causas de los fenómenos y factores de los riesgos, así como las posibles variaciones de riesgos con los escenarios de cambio climático. En el cuadro 28 se presenta la información esquematizada del nivel de riesgo y los cambios esperados por los escenarios de cambio climático

Los peligros principales de atención prioritaria fueron identificados por su evaluación en el nivel de riesgo y son: riesgo por pérdida de biodiversidad, riesgo por afectación a cuevas subterráneas, riesgo por hundimiento, riesgo por ciclones tropicales, riesgo de inundación y riesgo por ondas de calor. No obstante, también es importante formular estrategias de adaptación para los peligros climáticos de menor riesgo.

Cuadro 19: Clasificación de riesgos para la atención prioritaria.

Riesgo	Nivel de riesgo	Cambio esperado por escenarios climáticos
Riesgo por pérdida de biodiversidad	<u>Muy alto</u> El acelerado crecimiento del municipio de Tulum y el constante aumento de asentamientos humanos, ha generado una gran pérdida de cobertura vegetal, incrementando la deforestación en mayor parte cerca de la ciudad de Tulum en los últimos años. También destacan los notables cambios ecosistémicos de los arrecifes los cuales se han visto afectados por el aumento de temperatura oceánica, la reducción de disponibilidad de luz y oxígeno ocasionado por el incremento en el volumen del sargazo, y la reducción de la calidad del agua (Chávez et al., 2020). Es importante señalar que la degradación de arrecifes causaría una pérdida de resiliencia climática del municipio. Por último, es importante destacar que los recursos naturales de la zona son muy importantes para la promoción turística, es decir, que aparte de la oferta de hoteles de gran lujo y confort, el paisaje natural complementado con la riqueza arqueológica es el principal atractivo del turismo nacional e internacional. (Rubio Maldonado et al., 2010)	<u>Aumenta</u> Tanto las zonas costeras como la biodiversidad marina son altamente vulnerables a los efectos del cambio climático. Las modificaciones esperadas por los escenarios de cambio climático son afectaciones en los arrecifes debido al incremento de temperatura la cual incrementará su exposición a ciclones tropicales. Además, la acelerada liberación de CO₂ incrementa la acidificación de los océanos, provocando cambios en el paisaje submarino, que genera una disminución de las tasas calcificación en organismos como erizos, corales, algas, migración de las especies, reubicación de ecosistemas actuales, pérdida de arrecifes coralinos.
Riesgo por afectaciones a	<u>Muy alto</u> Los sistemas kársticos son	<u>Aumenta</u> Además de los impactos

cuevas subterráneas	extremadamente complejos, y debido a un número de características geológicas e hidrológicas, pueden ser incluidos entre los ambientes más frágiles y vulnerables en el mundo. Lamentablemente, el rápido crecimiento demográfico y turístico de Tulum genera cada vez mayores cantidades de aguas residuales, desechos sólidos y rellenos sanitarios. Debido a que el agua fluye rápidamente, los sistemas kársticos no tienen retención suficiente del agua para la descomposición de contaminantes.	antropogénicos, el incremento en el nivel del mar tendrá impactos en las dinámicas hidrológicas de las cuevas subterráneas de la región, siendo muy importante y necesario resguardar los recursos hídricos.
Riesgo por hundimiento	<u>Muy alto</u> Al estar ubicado en una zona kárstica el municipio de Tulum es particularmente vulnerable a hundimientos. Aproximadamente 31.69% del territorio se encuentra en Alto o Muy Alto riesgo de hundimiento, principalmente en la zona costera, que presenta una superficie de 428.02 kilómetros cuadrados, lo que representa el 20.97% del territorio. La importancia de esta zona radica en que se encuentra el 75.67% de la población del municipio, así mismo, se localiza la zona con el desarrollo turístico y la mayor infraestructura urbana y de comunicación (SEDATU, 2015).	<u>Aumenta</u> Las principales causas del incremento de riesgo a hundimientos en el municipio de Tulum no son climáticas sino antropogénicas e incluyen el desarrollo urbano y la deforestación. Ambos procesos exponen mayor cantidad de suelo a la precipitación acelerando los procesos de karstificación.
Riesgo por ciclones tropicales	<u>Muy alto</u> Dada la naturaleza costera del municipio, Tulum tiene un alto nivel de riesgo de ciclones tropicales. Además, la geomorfología del municipio permite que las trayectorias de los huracanes	<u>Aumenta</u> Se estima que el incremento esperado en temperatura oceánica tenga como consecuencia un aumento en la intensidad de los ciclones tropicales. Esto es consistente

	tengan modificaciones considerables una vez que llegan a tierra, por lo que los ecosistemas más expuestos son las zonas de arrecifes. Punta Allen, por su baja elevación, lejanía y afectaciones en la carretera costera que la conecta con Tulum, tiene un grado muy alto de amenaza a ciclones tropicales (SEDATU, 2015).	con las observaciones de Sánchez-Rivera et al. quienes identificaron un incremento en la intensidad de ciclones en la cuenca del Atlántico Norte de 1851 al 2019. Además, existe un aumento de la vulnerabilidad frente a los ciclones tropicales debido al crecimiento de la población y al desarrollo de la infraestructura costera. La península de Yucatán tiene las tasas más altas de llegada a tierra de huracanes de categoría mayor y de crecimiento demográfico en las principales ciudades turísticas. Finalmente, la pérdida de praderas marinas ocasionadas por el incremento de sargazo en zonas cercanas a la costa repercute en la estabilidad de las playas haciéndolas más vulnerables a los impactos de tormentas y huracanes.
Riesgo de inundación	<u>Alto</u> La zona prioritaria es la zona costera del municipio que, de presentarse eventos de inundación, tendría impactos socioeconómicos importantes por su concentración de turismo y la cercanía de las regiones urbanas más pobladas del municipio. La zona costera que presenta el nivel de riesgo muy alto abarca un área de 1,045.77 km² (51.24% del territorio municipal).	<u>Aumenta</u> Con el aumento de temperatura máxima promedio en los horizontes cercano, medio y lejano en los escenarios climáticos, se espera un aumento en el nivel del mar lo que incrementa el riesgo de inundación costera del municipio. Por otro lado, el aumento esperado de temperatura significa que la atmósfera puede acumular mayor humedad por lo que se espera un aumento en la intensidad de lluvias, incrementando el riesgo de

		inundaciones pluviales.
Riesgo por ondas de calor	<u>Alto</u> El riesgo por ondas de calor se considera de riesgo alto para la atención prioritaria, puesto que el periodo de retorno para temperaturas máximas de 38°C es de 2 años. Para temperaturas de 47.6°C el periodo de retorno aumenta a 100 años.	<u>Aumenta</u> Al aumentar las temperaturas máximas en los 3 horizontes de los escenarios de cambio climático para RCP 4.5 y 8.5 (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022), se espera que el riesgo por ondas de calor aumente.
Riesgo por sequías	<u>Medio</u> El municipio se encuentra con un nivel de riesgo medio. Se han presentado en total 16 sequías severas a lo largo del 2003-2021. Los años con mayor cantidad de sequías severas fueron el 2007 y 2019 con 3 sequías por año, seguidos por los años 2008, 2009, 2011 y 2020 con 2 sequías (Vázquez & Ortiz, 2005).	<u>Aumenta</u> Se espera que el riesgo por sequías en el municipio de Tulum aumente. Los horizontes de los escenarios climáticos RCP 4.5 y 8.5 muestran una disminución de precipitación (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022). Además, la deforestación que se presenta en estas zonas ha aumentado a lo largo de los años, aumentando también la vulnerabilidad por sequía.
Riesgo de incendio	<u>Bajo</u> El riesgo por incendio es bajo, dado que solo se han registrado en el municipio de Tulum 20 incendios a partir de los datos registrados por CONAFOR del 2015 al 2020 (CONAFOR, 2020b). Las causas en la mayoría de los incendios son antropogénicas. El Complejo Sian Ka'an, en su porción terrestre se encuentra en	<u>Aumenta</u> Al presentar una disminución en la precipitación a lo largo de los horizontes de los escenarios de cambio climático y un aumento en la temperatura máxima promedio, puede dar paso a incendios de mayor impacto.

	constante riesgo por la presencia de incendios, los cuales son recurrentes cada año en temporada de secas.	
Riesgo por enfermedades vectoriales	<u>Bajo</u> La tendencia de los casos de Dengue, Chikungunya y Zika van en disminución, pues solo se registraron casos en 2016 para Zika y para Chikungunya en 2015 y 2016. Sin embargo, no se descartan brotes futuros, puesto que para Dengue hubo un repunte en 2019, es por ello que la participación de la población, de las autoridades municipales y del personal de salud, es indispensable para una adecuada anticipación y preparación de la respuesta a un problema de las enfermedades vectoriales.	<u>Aumenta</u> El riesgo por enfermedades vectoriales se espera continúe con el mismo patrón de decremento en casos. Sin embargo, debido al incremento de temperatura esperado en los escenarios climáticos, es posible que aumente el riesgo. Es muy importante una adecuada preparación y anticipación a estos eventos, pues sigue siendo un problema de salud pública y aunque su comportamiento epidemiológico sigue un patrón cíclico de brotes influenciado por múltiples factores, es imprescindible tener mejores estrategias de vigilancia, diagnóstico y control de vectores que mitiguen su impacto.

Inventario de Gases de Efecto Invernadero

La elaboración del **inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) municipal forma parte del diagnóstico de la Propuesta de Plan de Acción Climática para el municipio de Tulum**, el cual ayuda a la resolución de las problemáticas planteadas en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) sobre la estimación y reporte de emisiones, además de contribuir al cumplimiento de uno de los objetivos establecidos en el Acuerdo de París sobre alcanzar el punto máximo de las emisiones mundiales de GEI lo antes posible y conseguir un equilibrio entre la absorción por sumideros y las emisiones en la segunda mitad del siglo.

Metodología

La metodología utilizada para la contabilización de los GEI se fundamentó principalmente en las directrices propuestas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) **para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero**, versión al 2006¹⁰, a partir de cálculos de Nivel de Alcance I, éstos incluyen las emisiones directas correspondientes al consumo de combustibles o por el tratamiento de residuos en instalaciones dentro de los límites del municipio y los de Nivel de Alcance II, se refieren a las emisiones indirectas que se producen como consecuencia de la utilización de energía, calor, vapor y/o refrigeración suministrados en red dentro de los límites del municipio. Adicionalmente, se utilizó el Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria (GPC), elaborado por WRI, C40 e ICLEI, el cual se basa en las directrices del IPCC pero las adapta a nivel de las ciudades (Fong et al., 2014)).

Los cálculos del inventario fueron realizados utilizando la herramienta CIRIS (City Inventory Reporting and Information System) la cual es de acceso público y es la más ampliamente utilizada por las ciudades a nivel global¹¹.

¹⁰ Las Directrices del IPCC y la Orientación de Buenas Prácticas, brindan metodologías acordadas internacionalmente para que utilicen los países, con el objeto de estimar los inventarios de gases de efecto invernadero e informarlos a la CMNUCC.

¹¹ Aquí podrán descargar la herramienta CIRIS

Sectores y Año Base

Actualmente existen seis sectores considerados como fuentes de emisión: Energía estacionaria, Transporte (incluido como fuente de emisiones móviles), Residuos, Procesos Industriales y Uso de Productos (IPPU por sus siglas en inglés), Agricultura, Silvicultura y Otros Usos del Suelo (AFOLU por sus siglas en inglés) y otras emisiones de alcance III¹².

Debido a su importancia y aporte de emisiones, algunos sectores deben ser reportados de forma obligatoria, estos sectores son: Energía estacionaria, Transporte y Residuos, adicionalmente en este inventario se considerarán las emisiones de cambio de uso de suelo del sector AFOLU.

El año base de este inventario es el 2018, por su proximidad al año de elaboración y a la disponibilidad de los datos.

Resultados

Las emisiones de gases GEI en unidades equivalentes de dióxido de carbono para el municipio de Tulum en el año 2018 fueron de **289,613 tCO₂e**.

Las contribuciones totales en toneladas y porcentaje de cada uno de los sectores es el siguiente:

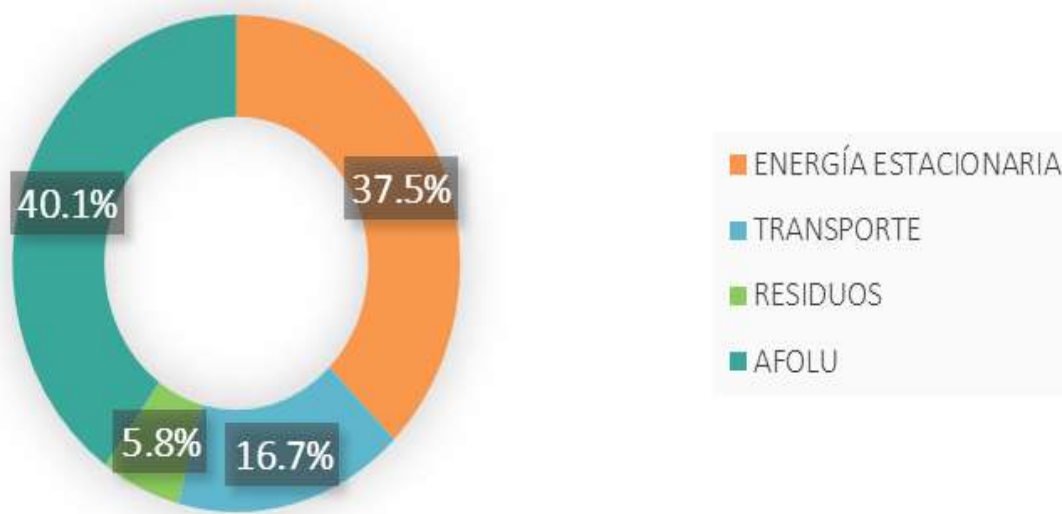
Cuadro 20: Emisiones de CO₂e por sector. Fuente: Elaboración propia

Sector	tCO ₂ e	% de participación
Energía Estacionaria	108,692	37.5%
Transporte	48,243	16.7%
Residuos	16,679	5.8%
AFOLU	116,000	40.1%
Total	289,613	100%

¹² Cualquier otra emisión que se produzca fuera del límite geográfico como resultado de actividades de la ciudad. Pueden reportarse por separado.

Figura 39: Porcentaje de Emisiones de tCO₂e por sector.
Fuente: Elaboración propia

Emisiones totales: 289,613 tCO₂e



En cuanto a emisiones per cápita, Tulum tiene mayor cantidad de emisiones per cápita que otras ciudades latinoamericanas que también cuantificaron las emisiones del sector AFOLU en sus inventarios. Esto se podría atribuir al gran porcentaje de población flotante que Tulum recibe a causa del Turismo.

Cuadro 21: Comparativa de emisiones per cápita. Fuente: Elaboración propia con datos de los Planes de Acción Climática de las ciudades mencionadas.

País	Ciudad	Emisiones per cápita	Año base del inventario
Brasil	Salvador	1.07	2018
Colombia	Cali	1.60	2015
Colombia	Medellín	1.87	2015
Honduras	Tegucigalpa	2.36	2011
Ecuador	Quito	2.74	2015
México	Ciudad de México	2.99	2016
Brasil	Rio de Janeiro	3.06	2017
México	Bahía de Banderas	3.88	2018
Colombia	Cartagena	6.01	2015
Argentina	Villa General Belgrano	6.75	2014
México	Tulum	8.25	2018
Argentina	La Paz	8.61	2016
Argentina	San Carlos Sud	14.69	2018

Energía Estacionaria

Las emisiones de energía estacionaria provienen de la quema de combustibles, así como de las emisiones fugitivas liberadas en el proceso de generación, suministro y consumo de formas útiles de energía (como energía o calor).

Las emisiones a contabilizar son derivadas de fuentes directas (combustión de combustibles fósiles) y de fuentes indirectas (consumo de energía eléctrica), incluidas en el alcance II de la metodología de combustión estacionaria del IPCC y en los 5 subsectores en que se divide esta categoría (de forma simplificada): Residencial, Comercial, Agropecuario, Industrial y Eléctrico (categorizado por tipo de tarifas); en este inventario no se calcularon emisiones fugitivas ya que no son

representativas para el municipio al no existir actividades de exploración ni refinación.

Uno de los retos en la elaboración de este inventario fue la disponibilidad de información a nivel local, ya sea porque no está generada o no fue compartida, y para resolver esta problemática se optó por consultar la *Guía para realizar balances energéticos estatales para la estimación de inventarios de gases de efecto invernadero*, publicado por el Instituto nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) en 2013 (Sheinbaum Pardo et al., 2013), bajo el esquema de esta metodología de escalamiento a nivel estatal se replicaron los cálculos con los datos de actividad municipales.

Por ejemplo, para la estimación del consumo de gas L.P. y leña residencial, se utilizó la proyección poblacional (CONAPO, 2019) y la estimación del número de viviendas en 2018 (INEGI, 2015), con datos del Banco de Información Económica (PIB por tipo de industria) (INEGI, 2022a) y de los Censos Económicos 2019 (INEGI, 2019b) se obtuvo la estimación del consumo energético por combustibles fósiles en el subsector industrial, para el caso del subsector agropecuario y comercial, se realizaron sus estimaciones utilizando el PIB primario y terciario municipal (calculado al 2018), respectivamente.

Utilizando los datos mencionados en el párrafo anterior, se escala el consumo energético por tipo de combustible nacional obtenido del Balance Nacional de Energía del 2018 (SENER, 2019) a nivel municipal.

A pesar de que en la plataforma de Datos Abiertos se encuentra publicado el reporte de los consumos a partir del 2018, el conjunto de datos se encuentra inhabilitado, esto junto con la solicitud fallida de información que se realizó a CFE (la información no fue compartida), se vio en la necesidad de optar por proyectar los datos. Los datos de consumo eléctrico se obtuvieron del reporte de Usuarios y consumo de electricidad por municipio, 2010-2017 (CFE, 2017), calculando el promedio de las tasas de incremento anual y proyectando el valor del consumo para el 2018.

Según las directrices del IPCC, el cálculo de las emisiones para cada tipo de gas, en este caso CO₂, CH₄ y N₂O, se da de la multiplicación del consumo energético por un factor de emisión, por lo que se emplearon distintos factores de emisión por tipo de combustible, así como también un factor de emisión para el subsector eléctrico. Las fuentes consultadas fueron:

Cuadro 22: Instituciones y fuentes de información del Sector Energía Estacionaria.

FUENTE	INSTITUCIÓN RESPONSABLE	SECTOR O SUBSECTOR EN LA QUE SE EMPLEA
Producción de electricidad	Comisión Federal de Electricidad (CFE)	Eléctrico
Balance Nacional de Energía, Consumo de combustibles fósiles	Sistema de Información Energética (SIE) de la Secretaría de Energía (SENER)	Residencial, Comercial, Industrial y Agropecuario
Banco de Información Económica (BIE)	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)	Industrial
Proyección de Población	Consejo Nacional de Población (CONAPO)	Residencial
Proyección de Viviendas	INEGI	Residencial
Metodología de Escalamiento	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)	Residencial, Comercial, Industrial y Agropecuario
Poderes caloríficos	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)	Residencial, Comercial, Industrial y Agropecuario
Factores de emisión para combustibles fósiles en México	Registro Nacional de Emisiones (RENE) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)	Residencial, Comercial, Industrial y Agropecuario
Factor de emisión eléctrico	Comisión Reguladora de Energía	Eléctrico

Los consumos energéticos directos por tipo de combustible del sector de energía estacionaria en el municipio se resumen en el siguiente cuadro:

Cuadro 23: Consumo energético por tipo de combustible y total de emisiones (tCO₂e) por subsector de Energía Estacionaria en 2018. Fuente: Elaboración propia con datos del SIE.

Subsector	Combustible	Consumo Municipal (GJ)	Emisiones (ton/año)			
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
Residencial	Gas L.P.	98,123	6,192	0.10	0.01	6,197
	Leña ¹³	32,415	3,630	0.97	0.13	3,692
Comercial	Gas L.P.	35,771	2,257	0.04	0.00	2,259
Agropecuario	Gas L.P.	483	30	0.00	0.00	31
	Diésel	14,208	1,053	0.06	0.41	1,162
Industrial	Gasolinas	56	4	0.00	0.00	4
	Diésel	7,619	565	0.03	0.22	623
	Gas L.P.	1,609	101	0.00	0.00	102
	Combustóleo	126	10	0.00	0.00	10
	Gas seco	4,290	241	0.00	0.00	241
	Bagazo de caña ³	523	52	0.02	0.00	53
	Coque de petróleo	772	75	0.00	0.00	75
	Carbón	8,488	816	0.01	0.01	819
Total						11,523

¹³ El consumo de leña y bagazo de caña se contabiliza en el sector AFOLU.

A continuación, se presentan los consumos y emisiones indirectas, las cuales consisten en el consumo de electricidad de la red eléctrica del municipio.

Cuadro 24: Emisiones de CO₂e provenientes del consumo eléctrico en el municipio de Tulum por sectores en 2018. Fuente: Elaboración propia con datos de CFE.

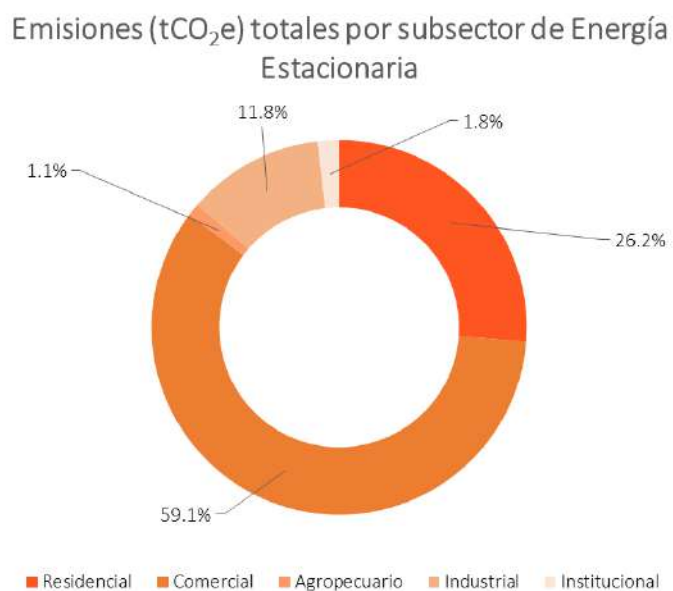
Electricidad			
Subsector	Consumo Municipal (MW/h)	TARIFAS	CO ₂ e (ton/año)
Residencial	42,285	1, 1A, 1C, 1D, 1E, 1F, DAC	22,284
Comercial	117,548	2, 3, 7, PDBT, GDBT, OM, HM	61,948
Agropecuario	0	9, 9M, 9CU, 9N, RABT, RAMT	0
Industrial	20,755	GDMTH, GDMTO	10,938
Institucional			
Bombeo de agua	400	6	211
Alumbrado público	3,393	5A, APBT, APMT	1,788
Total	184,381		97,169

Cuadro 25: Emisiones de CO₂e por tipo de fuente emisora en el municipio de Tulum en 2018.
Fuente: Elaboración propia con datos del SIE y CFE.

Emisiones (tCO ₂ e)				
Subsector	Directas	Indirectas	Total	% de participación
Residencial	6,197	22,284	28,481	26.2%
Comercial	2,259	61,948	64,207	59.1%
Agropecuario	1,193	0	1,193	1.1%
Industrial	1,874	10,938	12,812	11.8%
Institucional	0	1,999	1,999	1.8%
Total	11,523	97,169	108,692	100%

El consumo eléctrico comercial, residencial e industrial ocupan el 1er, 2do y 3er lugar de emisiones en el sector, por lo que deberán buscarse alternativas eficientes sobre la generación de energía eléctrica, como lo es el caso de las fuentes renovables.

Figura 40: Porcentaje de emisiones de tCO₂e por subsector de Energía Estacionaria. Fuente: Elabora



Transporte

El transporte cubre todos los viajes por carretera, ferroviarios, marítimos y aéreos, incluyendo los viajes interurbanos e internacionales.

El único subsector reportado es el de autotransporte de carretera, esto se debe a que en el año base, Tulum no cuenta con aeropuerto o estaciones ferroviarias. A pesar de la existencia de embarcaciones dentro del municipio, no se cuenta con la información adecuada para la contabilización de las emisiones del transporte marítimo.

Se empleó el modelo de cálculo para emisiones de fuentes móviles (software MOVES)¹⁴ dando como resultados las emisiones correspondientes de los principales gases incluidos en este inventario. Los valores finales de las emisiones en autotransporte (gasolina y diésel) se tomaron del escalamiento a nivel municipal de la corrida estatal de MOVES (para el año 2018), utilizando los datos del parque vehicular municipal obtenido del Programa de información de INEGI dentro de los tabulados de Vehículos de motor registrados en circulación (INEGI, 2022b).

Las fuentes de información consultadas fueron:

Cuadro 26: Instituciones y fuentes de información del Sector Transporte.

FUENTE	INSTITUCIÓN RESPONSABLE	SECTOR O SUBSECTOR EN LA QUE SE EMPLEA
Parque vehicular municipal	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)	Por carretera
Factores de emisión reportados en la guía del usuario de MOVES México publicada en el 2016	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)	Por carretera

La distribución vehicular en el municipio es diversa, sin embargo, el automóvil particular es el que mayor porcentaje representa del parque vehicular, seguido de

¹⁴ MOVES. Es un simulador de emisiones de vehículos motorizados de la EPA (Agencia de Protección Ambiental de E.U.A.), por sus siglas en inglés; que mediante un sistema de modelado de última generación estima las emisiones para fuentes móviles a nivel nacional, ciudad y de proyecto para contaminantes atmosféricos de criterio, gases de efecto invernadero y tóxicos atmosféricos.

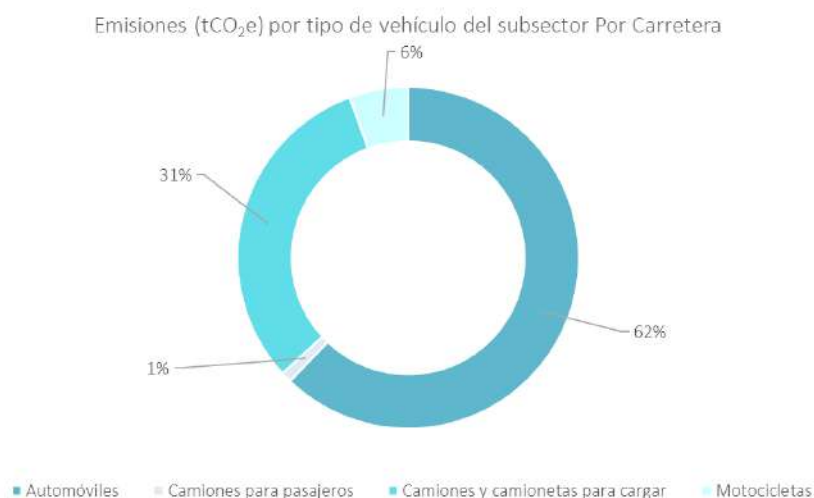
las motocicletas, los camiones y camionetas para cargar y, por último, los camiones para pasajeros.

Cuadro 27: Emisiones de CO₂e en autotransporte por tipo de combustible. Fuente: Elaboración propia con datos del Programa de Información de INEGI y MOVES.

Tipo de vehículo	No. de vehículos	Combustible	Emisiones (ton/año)			
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
Automóviles	11,707	Gasolina	29,540	2.35	1.05	29,885
		Diésel	110	0.03	0.00	111
Camiones para pasajeros	13	Gasolina	189	0.01	0.00	190
		Diésel	290	0.04	0.00	291
Camiones y camionetas para cargar	3,213	Gasolina	2,097	0.17	0.06	2,119
		Diésel	12,893	2.19	0.01	12,957
Motocicletas	5,615	Gasolina	2,677	0.30	0.02	2,689
Total	20,548		47,796	5.09	1.15	48,243

En resumen, el subsector de Transporte por carretera emite 48,242.62 tCO₂e, de los cuales el 62% derivan de automóviles y 31% de camiones y camionetas para cargar, por lo que ambos tipos de vehículos son fuentes de emisiones prioritarias para este sector.

Figura 41: Porcentaje de emisiones de tCO₂e por tipo de vehículo del subsector carretera



Residuos

Los residuos que genera la sociedad urbana están directamente relacionados con sus actividades y el consumismo, el manejo integral de éstos se comprende por las fases de: recolección, transporte y almacenamiento, si se realiza de manera adecuada su cumplimiento permite una mejora en la prestación del servicio público de limpieza.

El reporte del sector de residuos comprende la generación de emisiones provenientes de los residuos sólidos municipales, los residuos quemados a cielo abierto y aguas residuales.

Actualmente en el municipio de Tulum se realiza la disposición final de residuos en un espacio previamente habilitado (el Basurero de Tulum). El Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos en Quintana Roo advierte que, la distancia comprendida entre el basurero y el límite de la zona urbana es de 10 km, y la distancia estimada al límite más cercano a un cuerpo de agua (cenote) es de 4 km. El sitio de disposición podría superar su capacidad instalada (sin año conocido de clausura) y ocasionar problemas de contaminación de acuíferos y salubres a la población cercana al sitio (Hernández, 2021).

Aunado a esto, se suma la problemática de la generación de residuos por parte de los turistas, de los cuáles no se lleva un monitoreo exacto de residuos recolectados. Se estima que en el municipio durante el año 2018 se generaron al menos 3.8 kg/habitante/día entre habitantes y turistas. Según datos del Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México (INEGI, 2019a), se reportaron 48,768 toneladas recolectadas en el municipio de Tulum en el

mismo año. Suponiendo que también existen residuos que son quemados a cielo abierto y que estos equivalen al 9% de los residuos totales, se estima un total de 53,591 toneladas de residuos generados en el municipio entre sólidos y quemados en el 2018.

Los cálculos realizados en este sector se hicieron bajo la metodología de las directrices del IPCC en los subsectores de quema a cielo abierto y aguas residuales, mientras que para el subsector de residuos provenientes del relleno sanitario se usó el Modelo Mexicano del Biogás¹⁵.

De acuerdo con el Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación (CONAGUA, 2018) el municipio de Tulum cuenta con 2 plantas en operación, por lo que se estima que un cierto porcentaje del agua residual generada es tratada bajo el tratamiento de lodos activados. Las fuentes consultadas de información fueron:

Cuadro 28: Instituciones y fuentes de información del Sector Residuos.

FUENTE	INSTITUCIÓN RESPONSABLE	SECTOR O SUBSECTOR EN LA QUE SE EMPLEA
Toneladas de residuos recolectados en el municipio	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)	Residuos sólidos municipales
Distribución de los residuos	Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 (INEGyCEI)	Quema a cielo abierto
Caracterización de los residuos	Modelo Mexicano del Biogás	Quema a cielo abierto
Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales	Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)	Aguas residuales
Agua Residual Municipal	Registro Público de Derechos de Agua (REPDa)	Aguas residuales
Factores de emisión	Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)	Quema a cielo abierto y Aguas residuales

¹⁵ El Modelo Mexicano del Biogás estima la generación y recuperación de biogás a través de plantillas que se alimentan con información detallada del relleno sanitario a evaluar.

Residuos sólidos

La calculadora de emisiones mediante la cual se basa el Modelo Mexicano del Biogás permite introducir datos detallados sobre el relleno sanitario que se va a evaluar, en este caso, fue el relleno “Tulum” administrado por el municipio, en las plantillas se capturó información sobre año de apertura y clausura (fecha estimada), toneladas recolectadas en al menos un año de disposición (en nuestro caso, 2018) y el índice de crecimiento anual (basado en la tasa de crecimiento del PIB estatal). Los datos que arroja este modelo son sobre la caracterización de residuos, ya que estima un porcentaje por tipo de residuo según las características del relleno, además del volumen de recuperación de biogás y las emisiones de metano.

Para el llenado del formulario, se asumieron los mismos datos técnicos utilizados para las emisiones del relleno sanitario “Norte” de Culiacán, los cuales son: profundidad promedio del relleno 25m, 1 incendio generados en el sitio, porcentaje del área con residuos con cubierta final 65%, porcentaje del área con residuos con cubierta intermedia 20%, porcentaje del área con residuos con cubierta diaria 15%, porcentaje del área de residuos con recubrimiento inferior de arcilla/geomembrana 100%, entre otros, que se encuentran reportados en el modelo. Además, se asume que el 2016 fue el año de apertura del sitio y que no cuenta con sistema de recolección de biogás.

Cuadro 29: Emisiones de tCO₂e del subsector Relleno Sanitario en el municipio de Tulum en 2018. Fuente: Elaboración propia con datos del Modelo Mexicano del Biogás.

Año	Disposición de residuos estimada (ton métricas)	Recuperación de Biogás	Generación de Biogás (m ³ /h)	Emisiones de CH ₄	Emisiones de CO ₂ e (ton/año)
2018	48,768	0	153	482	13,494

Quema de Residuos

Las emisiones derivadas de la quema de residuos a cielo abierto se calcularon basadas en las ecuaciones dadas por las directrices del IPCC, donde los datos de actividad utilizados son principalmente las toneladas de residuos quemados y los factores de emisión por defecto del IPCC. Del subsector se obtuvieron **1,439 tCO₂e**.

Aguas Residuales

El municipio de Tulum cuenta con 2 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lodos activados, administradas por CONAGUA, obteniendo un caudal tratado de 601,076.2 m³ de agua al año. Al año se estima que se generan alrededor de

33,395,250 m³ de agua residual municipal (CONAGUA, 2020), de los cuales el 1.8% recibe tratamiento.

En el siguiente cuadro se resumen los porcentajes de aguas por tipo de tratamiento empleado:

Cuadro 30: Porcentaje de aguas tratadas por tipo de tratamiento con respecto al total de agua residual municipal, 2018. Fuente: Elaboración propia con datos del CONAGUA y REPDA.

Tratamiento	No. de plantas	Caudal (m ³ /año)	Lodos (ton)	Porcentaje de aguas tratadas
Agua no tratada		32,794,173.8	0	98.2%
Lodos activados	2	601,076.2	31	1.8%

Con esta información es posible calcular la emisión de metano en aguas residuales, la cual depende de la demanda biológica de oxígeno (DBO) de la población y los factores de emisión que por defecto proporciona el IPCC, al igual que se calculó la estimación de nitrógeno en los efluentes de aguas residuales (con base en datos de los factores de proteína), mediante las ecuaciones recomendadas en las directrices para así obtener las emisiones de óxido nitroso.

Cuadro 31: Emisiones de tCO₂e del subsector Aguas Residuales en el municipio de Tulum en 2018. Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA y REPDA.

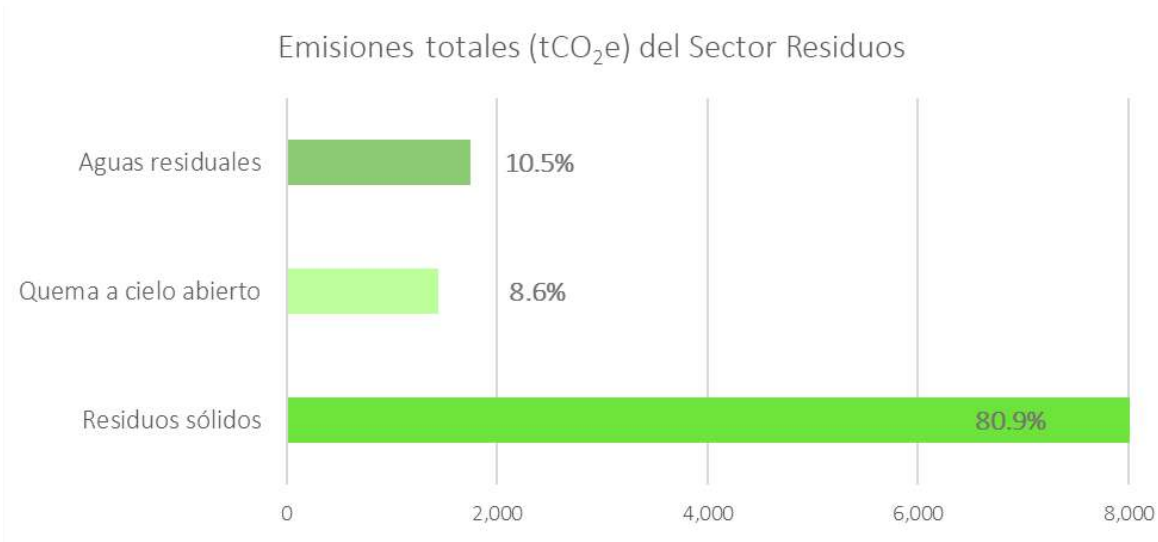
Tratamiento	Emisiones (ton/año)		
	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
Agua no tratada	37.43	2.02	1,582
Lodos activados	5.49	0.04	163
Total	42.92	2.05	1,746

En resumen, el subsector de mayor contribución en emisiones es el de Residuos Sólidos, debido al alto porcentaje de crecimiento de residuos que se da año con año, principalmente por la generación derivada del sector turístico, aunado a la de la población.

Cuadro 32: Emisiones de tCO₂e del Sector Residuos del municipio de Tulum en 2018.
Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, CONAGUA y REPDA.

Subsector	Emisiones (ton/año)			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
Residuos sólidos	-	482	-	13,494
Quema a cielo abierto	445	31.36	0.44	1,439
Aguas residuales	-	42.92	2.05	1,746
Total	445	556.28	2.49	16,679

Figura 42: Porcentaje de emisiones de tCO₂e por subsector de Residuos del municipio de Tulum en 2018. Fuente: Elaboración propia con datos del IGEI municipal 2018.



AFOLU (Agricultura, Silvicultura y Otros Usos del Suelo)

Para el cálculo de las emisiones generadas por el cambio de uso de suelo en el municipio se utilizaron las toneladas de CO₂ emitidas estimadas en el mapa global de emisiones forestales de gases de efecto invernadero del 2001-2020 publicado en *Global Forest Watch* (Harris et al., 2021). El mapa muestra las emisiones forestales de gases de efecto invernadero procedentes de las perturbaciones que crean la sustitución de bosque por otro uso de suelo a una resolución de 30m. Las emisiones incluyen todos los reservorios de carbono relevantes del ecosistema (biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca, suelo) y los gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄, N₂O). Para su cálculo se utilizaron los lineamientos de la guía IPCC 2006 (IPCC, 2019).

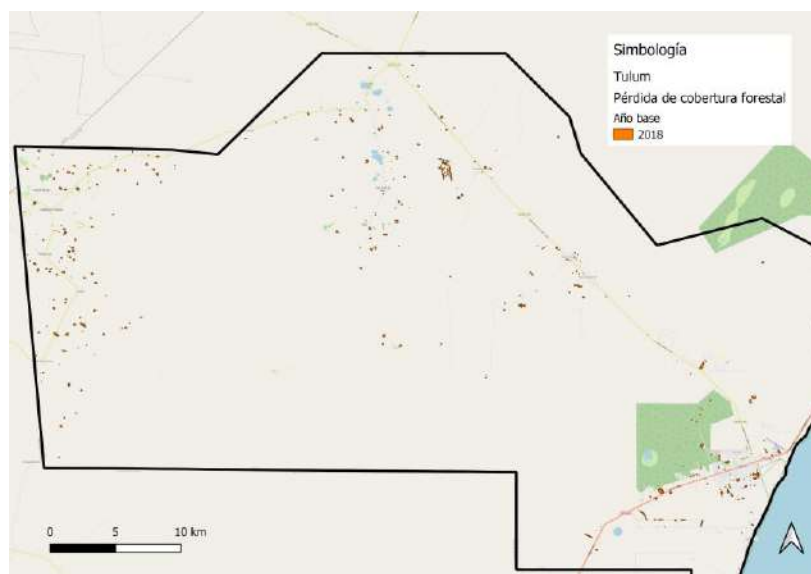
Los datos de actividad del mapa global de emisiones forestales fueron calculados usando la información de cambio de cobertura forestal global (Hansen et al., 2013), la cual usa como base imágenes satelitales Landsat para estimar la cantidad de biomasa aérea en el 2000.

Figura 43: Emisiones totales del sector AFOLU para el municipio de Tulum, periodo 2011-2020. Fuente: elaboración propia con datos de Hansen et al., (2013).



A pesar de que la pérdida de cobertura arbórea se redujo 54% respecto al año anterior, **en el 2018 se generaron 116,000 toneladas de CO₂e** por la pérdida de 271 hectáreas de cobertura forestal. Esto representa el 40.1% con respecto a la suma total de emisiones del inventario.

Figura 44: Pérdida de cobertura forestal del año 2018 en el municipio de Tulum. Fuente: Global Forest Watch. "Tree cover loss in Tulum ". (Hansen et al., 2013)



De las 271 hectáreas con pérdida de cobertura forestal, 78% se encuentran fuera de la zona comprendida por el Programa de Desarrollo Urbano (PDU) del Centro de Población de Tulum y consisten en 54% vegetación secundaria, 28% agricultura temporal anual y 18% selva.

Figura 45: Pérdida de cobertura forestal del periodo 2018-2021 en hectáreas por vegetación dentro y fuera del PDU Centro de Población Tulum 2006-2030. Fuente: elaboración propia con datos de INEGI.



De las áreas que sí se encuentran dentro del PDU, 47% se encuentran en zonas habitacionales, 32% en zonas de preservación ecológica, 15% en zonas comerciales o turísticas y 5% en otros desarrollos urbanos.

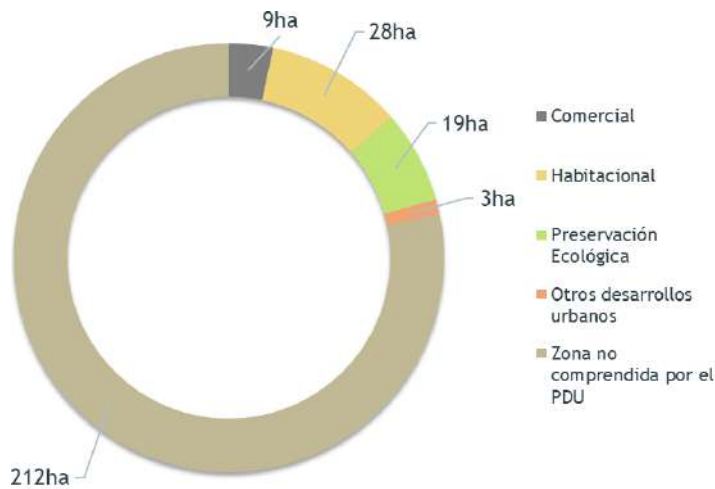
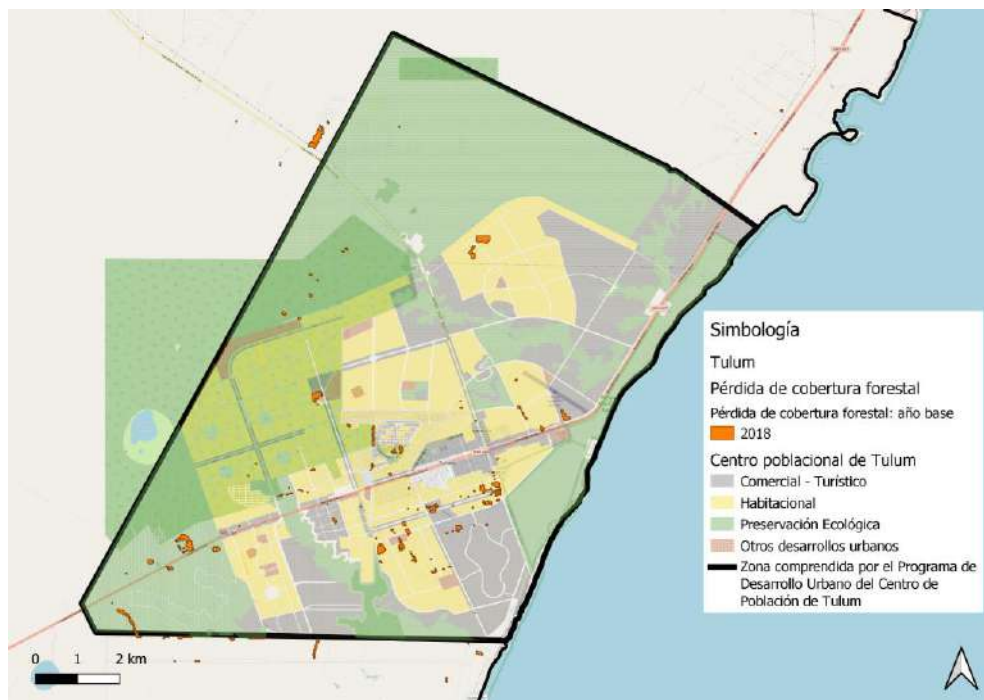


Figura 46: Pérdida de cobertura forestal del año base (2018) en hectárea por uso de suelo dentro y fuera del PDU Centro de Población Tulum 2006-2030. Fuente: elaboración propia con datos de *Global Forest Watch*. "Tree cover loss in Tulum". (Hansen et al., 2013)

Figura 47: Pérdida de cobertura forestal del año base 2018 en el centro poblacional de Tulum. Fuente: Global Forest Watch. "Tree cover loss in Tulum ". (Hansen et al., 2013)



En el 2019 y 2020 las emisiones por pérdida de cobertura forestal aumentaron un 234% y 62% anual respectivamente. A pesar de que en el 2021 la pérdida de cobertura forestal disminuyó respecto a los años anteriores, sigue estando un 32% arriba de los niveles del 2018.

Cuadro 33: Hectáreas de pérdida de cobertura forestal por año. Fuente: Global Forest Watch. “Tree cover loss in Tulum”. (Hansen et al., 2013)

año	Total por año (ha)	Zona del PDU (ha)	Zona fuera del PDU (ha)
2018	271	59.01	211.99
2019	983	432	551
2020	1530	423.65	1106.35
2021	358	172.51	185.49
Total	3142	1087.17	2054.83

El incremento de pérdida de cobertura forestal dentro de la zona del PDU de los años 2019 y 2020 destaca por la alta cantidad de pérdida de cobertura arbórea en zonas de preservación ecológica.

Figura 48: Pérdida de cobertura forestal del año 2018 al 2021 en el centro poblacional de Tulum. Fuente: Global Forest Watch. “Tree cover loss in Tulum ”. (Hansen et al., 2013)

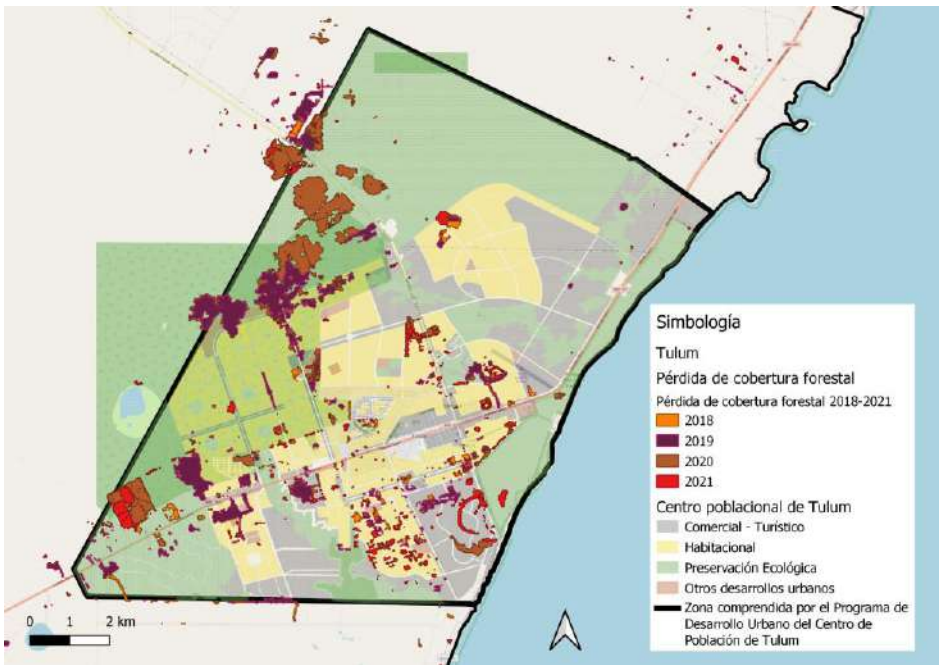
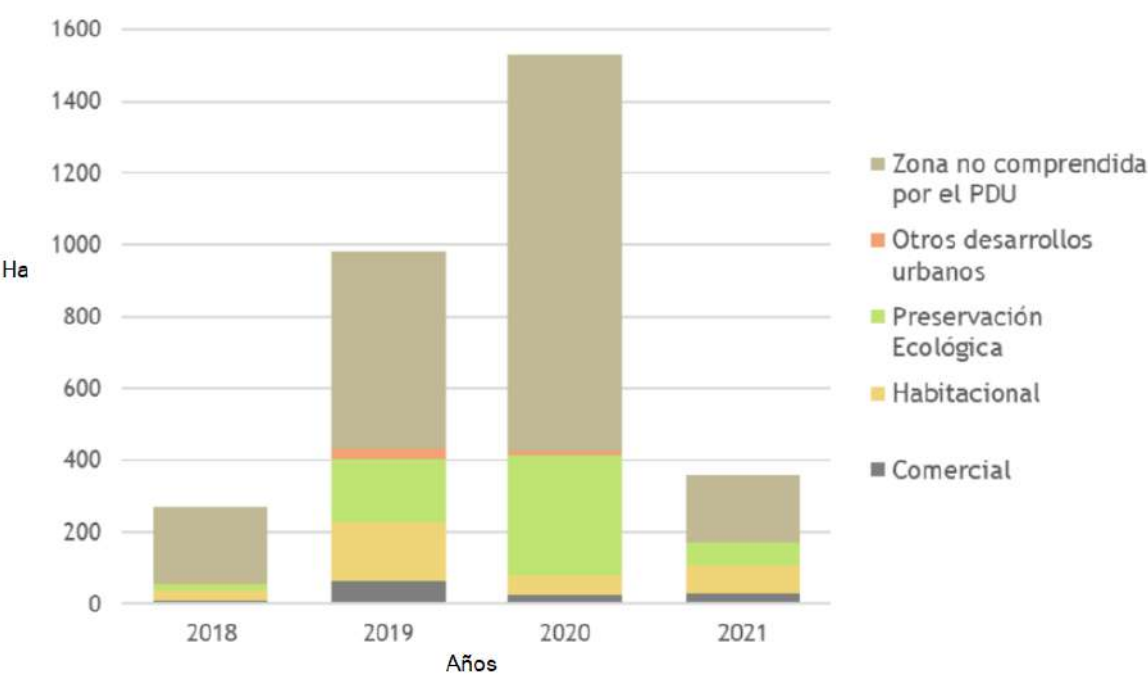


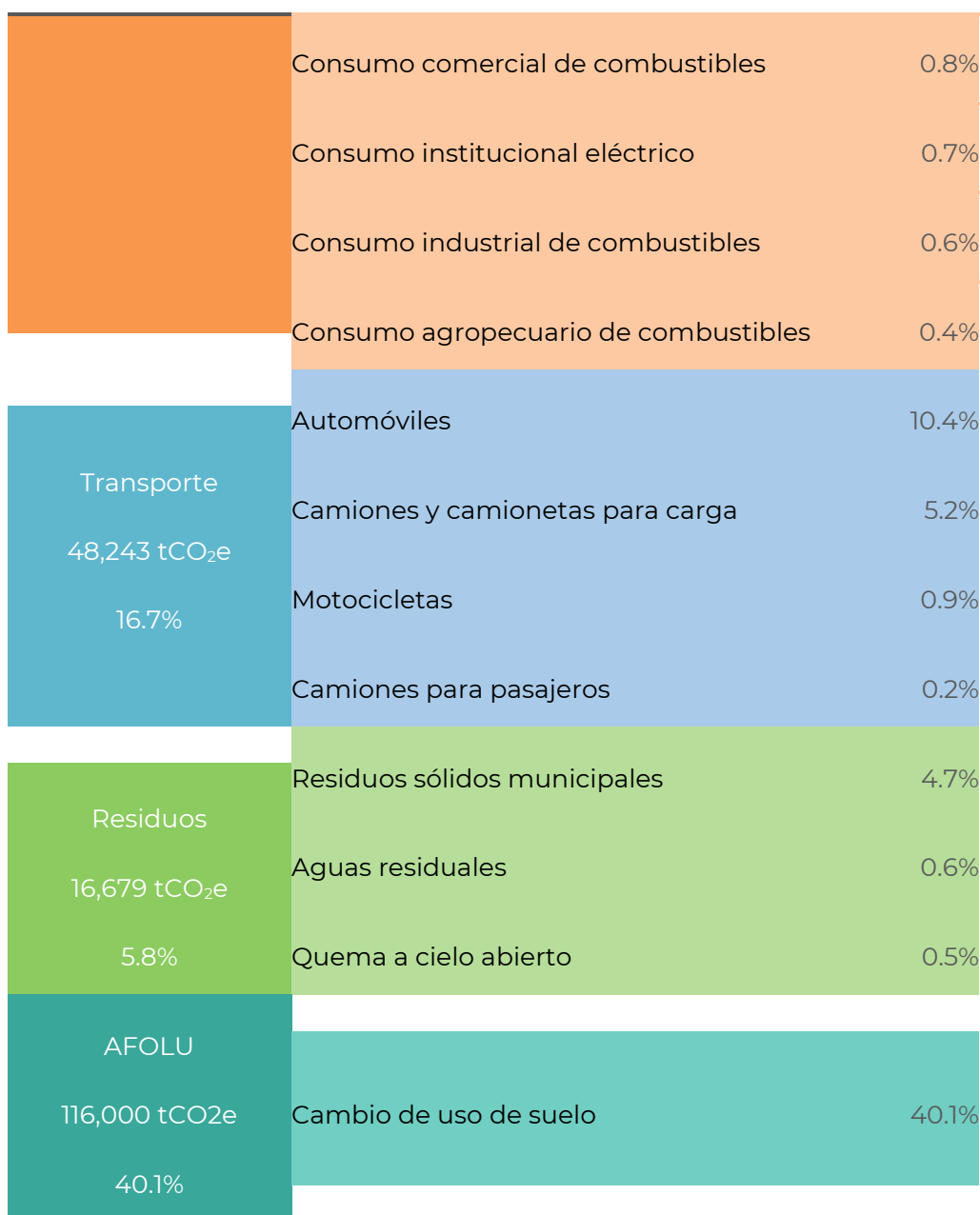
Figura 49: Pérdida de cobertura forestal del 2019 al 2021 en hectárea por uso de suelo dentro y fuera del PDU Centro de Población Tulum 2006-2030. Fuente: elaboración propia con datos de *Global Forest Watch*. “Tree cover loss in Tulum”. (Hansen et al., 2013)



Conclusiones

Cuadro 34: Resumen de emisiones por porcentajes y subsectores de fuentes prioritarias
Fuente: Elaboración propia con datos del IGEI municipal 2018.

Emisiones totales por sector y principales subsectores (289,613 tCO ₂ e)		
Energía estacionaria 108,692 tCO ₂ e 37.5%	Consumo comercial eléctrico	21.4%
	Consumo residencial eléctrico	7.7%
	Consumo industrial eléctrico	3.8%
	Consumo residencial de combustibles	2.1%



Se considera una fuente de emisión prioritaria a aquella actividad o fuente de emisión que tiene una contribución sustancial al total de emisiones de GEI en el inventario. En este caso, el cambio de uso de suelo es la mayor fuente de emisiones municipales con un 40.1% de las emisiones municipales, seguido por el consumo comercial eléctrico (21.4%), el uso de automóviles (10.4%), el consumo residencial eléctrico (7.7%) y el uso de camiones y camionetas para carga (5.2%).

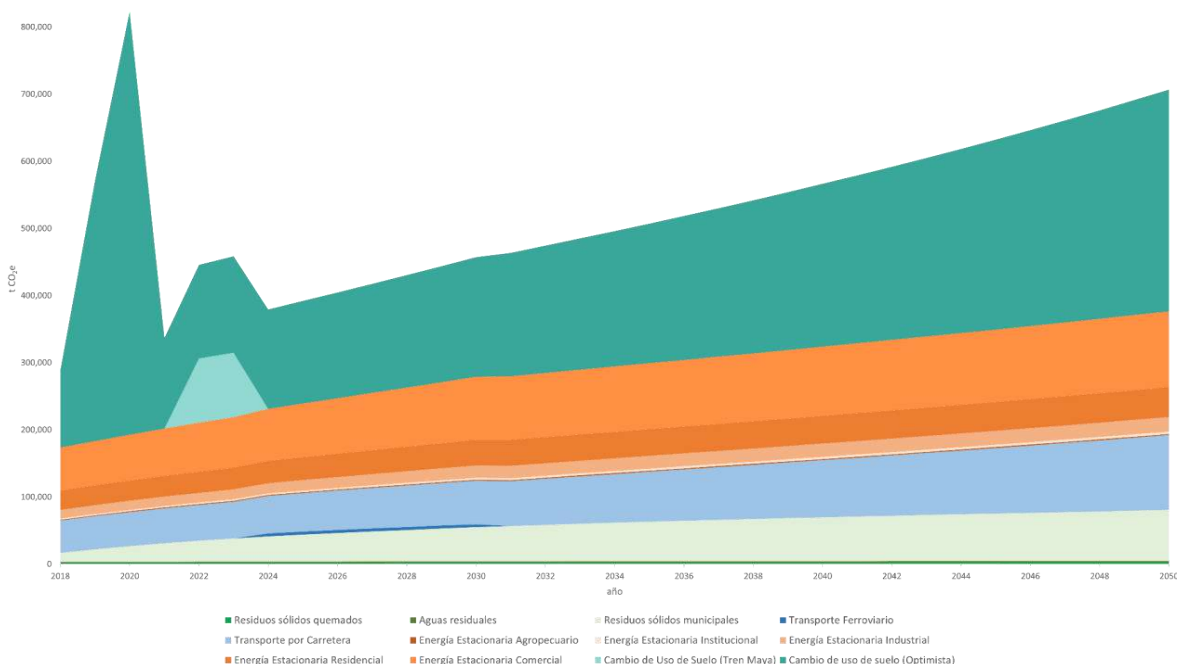
Las medidas de mitigación que se planeen establecer deberán considerar los subsectores más representativos del inventario, ya que de esa manera podrá cumplirse el objetivo de reducción de emisiones GEI.

PROYECCIÓN DE EMISIONES 2030

Con base en los resultados de emisiones obtenidos al 2018 para el municipio de Tulum se generaron proyecciones para los años 2030 y 2050, las cuales permitirán comparar el incremento de emisiones durante el periodo estimado. Se analizaron las cuatro categorías seleccionadas, considerando que no habrá variaciones en los parámetros que dictan los valores históricos. Este escenario es denominado BAU por sus siglas en inglés “*Business As Usual*”, ayuda a estimar la continuación de las tendencias actuales, por lo que se toma como referencia para proponer mejoras en los sectores que representan una fuente significativa de emisiones de GEI. Debido al comportamiento poco tendencial de la pérdida de cobertura forestal en Tulum se consideraron dos escenarios: uno optimista y otro pesimista. Además, al momento de la realización de este inventario existe cierta incertidumbre sobre la elaboración del Tren Maya por lo que sus posibles emisiones se contabilizan por aparte.

Durante el 2018 en Tulum se emitieron más de 280 mil toneladas de CO₂e, mientras que en las proyecciones optimistas hechas bajo los escenarios BAU ascienden a **452,944 toneladas de CO₂e en el 2030 y a 706,745 en el 2050**, lo que representa un aumento porcentual relativo de emisiones proyectado para el año 2030 del **56%** y de **144% para el 2050**. En el escenario pesimista las emisiones incrementan a **1,841,839 toneladas de CO₂e en el 2030**, un aumento del **536%**.

Figura 50: Proyección de Incremento en emisiones totales del 2018 al 2050. Fuente: elaboración propia.



Energía Estacionaria

La proyección de consumo al 2030 en fuentes directas se calcula siguiendo la misma metodología usada en el inventario base; aplicando la tasa de crecimiento anual (tca) tomado de las Prospectivas de Gas L.P. 2018-2032 (SENER, 2018), al consumo energético municipal por subsector y tipo de combustible del 2018. La tasa de crecimiento anual para fuentes indirectas fue tomada del documento “Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión y Redes Generales de Distribución del Mercado Eléctrico Mayorista, PRODESEN 2019-2033” (CENACE, 2019).

Se utilizaron proyecciones de crecimiento poblacional nacionales y estatales de CONAPO al 2050 para proyectar las tasas de crecimiento anual del 2030 al 2050.

Ecuación:

$$\text{Consumo Municipal Energía Estacionaria}_j = \text{Consumo Energético}_i \times (1 + tca)^{(j - i)}$$

en donde i= año base, j = año BAU

Cuadro 35: Proyección de emisiones de tCO₂e del Sector Energía Estacionaria en el municipio de Tulum. Fuente: elaboración propia con datos de la SENER.

Emisiones tCO ₂ e (ton/año)				
Sector	Subsector	2018	2030	2050
Energía Estacionaria	Residencial	28,481	38,101	44,394
	Comercial	64,207	94,036	113,149
	Agropecuario	1,193	1,462	1,551
	Industrial	12,812	18,228	21,655
	Institucional	1,999	2,951	3,565
	Total	108,692	154,778	184,313

Transporte

Las emisiones de transporte por carretera fueron calculadas utilizando la herramienta MOVES para estimar las emisiones estatales al 2030 y 2050. Siguiendo

la misma metodología que en el inventario base, los resultados fueron escalados a nivel municipal con los datos del parque vehicular de Tulum.

Se siguió la misma metodología escrita en la Manifestación de Impacto Ambiental del proyecto Tren Maya Tramo 5 Sur con código 23QR2022V0020 (MIA). Se utilizó la herramienta *EcoTree* para calcular las emisiones de CO₂e para un para 1 kilómetro por pasajero en un tren híbrido de diésel. Se estimó un

trayecto de 45 km, con 10,000 pasajeros viajando por día y una operación de 365 días al año(FONATUR Tren Maya, 2022) lo que da un total de **4,352.63 ton CO₂e**. No se utilizó el valor reportado en la MIA ya que no especificaron la unidad de tiempo de las emisiones generadas.

Cuadro 36: Resultado de emisiones de tCO₂e utilizando el modelo MOVES para el municipio de Tulum en los años 2030 y 2050. Fuente: MOVES.

Emisiones de tCO ₂ e (ton/año)				
	Combustible	2018	2030	2050
Carretera	Automóviles	Gasolina	29,885	39,284
		Diésel	111	140
	Camiones para pasajeros	Gasolina	190	274
		Diésel	291	421
	Camiones y camionetas para cargar	Gasolina	2,119	2,911
		Diésel	12,957	17,961
	Motocicletas	Gasolina	2,689	4,013
		Total	48,243	65,004
Ferroviario	Híbrido	-	4,352.63	4,352.63
Total			48,243	69,357

Residuos

Para la proyección del escenario de emisiones del subsector residuos sólidos municipales se utilizó el modelo Mexicano del Biogás asumiendo un incremento anual de disposición de residuos de 4.7% del 2018 al 2020. A partir del 2020 al 2030 se utilizó la tasa de crecimiento poblacional de Tulum y del 2030 en adelante se utilizó la tasa de crecimiento poblacional de Quintana Roo al 2050. Los valores obtenidos resultan en un incremento alto causado por la acumulación de residuos año con año.

Las emisiones proyectadas del subsector de quema a cielo abierto se hicieron siguiendo la misma metodología usada en el inventario base propuesta por las Directrices del IPCC 2006 (IPCC, 2021), tomando en cuenta la población al año del escenario.

El subsector de aguas residuales fue proyectado de acuerdo con la metodología del IPCC, para calcular el agua residual generada en 2030 y 2050 considerando los datos de población de esos años, se usó el mismo valor de DBO que aparece en el inventario base.

Cuadro 37: Proyección de emisiones de tCO₂e del Sector Residuos en el municipio de Tulum.
Fuente: elaboración propia con datos de CONAPO y el Modelo Mexicano del Biogás.

		Emisiones de tCO ₂ e (ton/año)		
Sector	Subsector	2018	2030	2050
Residuos	Residuos sólidos municipales	13,494	51,016	75,926
	Quema a cielo abierto	1,439	1,773	2,095
	Aguas residuales	1,746	2,201	2,601
	Total	16,679	54,990	80,621

AFOLU (Agricultura, Silvicultura y Otros Usos del Suelo)

Para el cálculo de las proyecciones del subsector de cambio de uso de suelo, se utilizaron dos escenarios. El escenario optimista se estimó considerando los datos reales del 2015 al 2021 de emisiones de CO₂e publicado en *Global Forest Watch*. A partir del 2022 se utilizó la misma tasa de crecimiento anual emisiones por cambio de uso del suelo del periodo 2020-2030 de la Línea Base BAU del sector USCUS calculada a partir de los datos de emisiones incluidas en el reporte de Contribución Determinada a nivel Nacional Actualización 2020 (Gobierno de México, 2020), lo que da un crecimiento anual de 3.1%.

En el escenario pesimista a partir del 2022 se utilizó la tasa de crecimiento promedio anual del 2015 al 2021, lo que da una tasa de crecimiento anual de 31.3%.

Adicionalmente, con base a los datos de MIA del tramo 5 Sur del Tren Maya (FONATUR Tren Maya, 2022) se estimaron las emisiones del cambio de uso de suelo asociado a la construcción del Tramo 5 Sur Tren Maya siguiendo la metodología propuesta por la IPCC (IPCC, 2019). Como todavía no se cuenta con información del tramo 6, para estimar las emisiones totales en Tulum se escalaron las emisiones del tramo 5 sur utilizando la distancia recorrida (65 km del tramo 5 Sur y 45 km totales cruzando por Tulum).

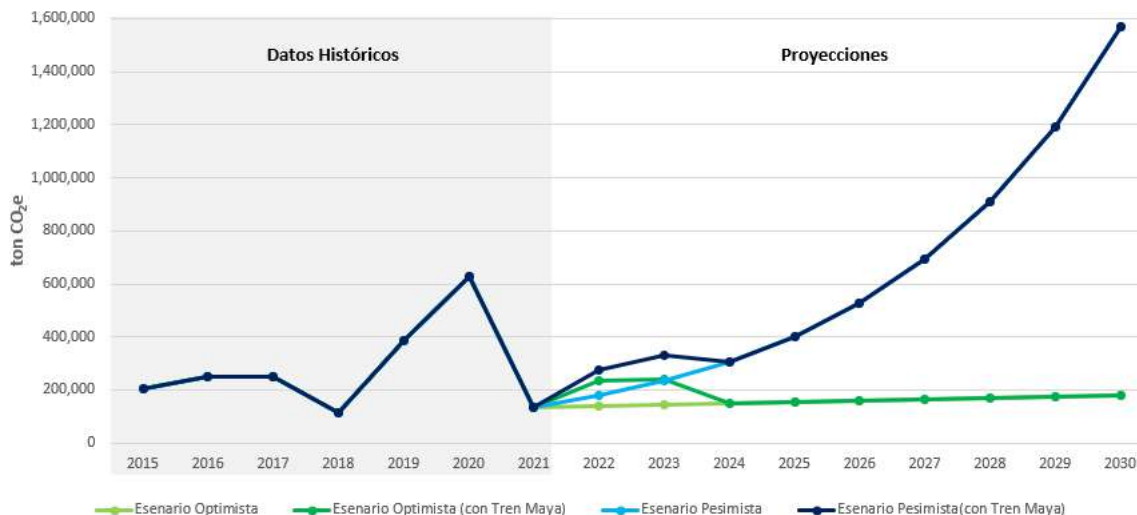


Figura 51: Escenarios de crecimientos de emisiones totales del sector AFOLU para el municipio de Tulum, periodo 2015-2030. Fuente: elaboración propia con datos de Hansen et al., (2013).

Finalmente, se utilizó la tasa de crecimiento poblacional anual para estimar el incremento en consumo residencial de leña.

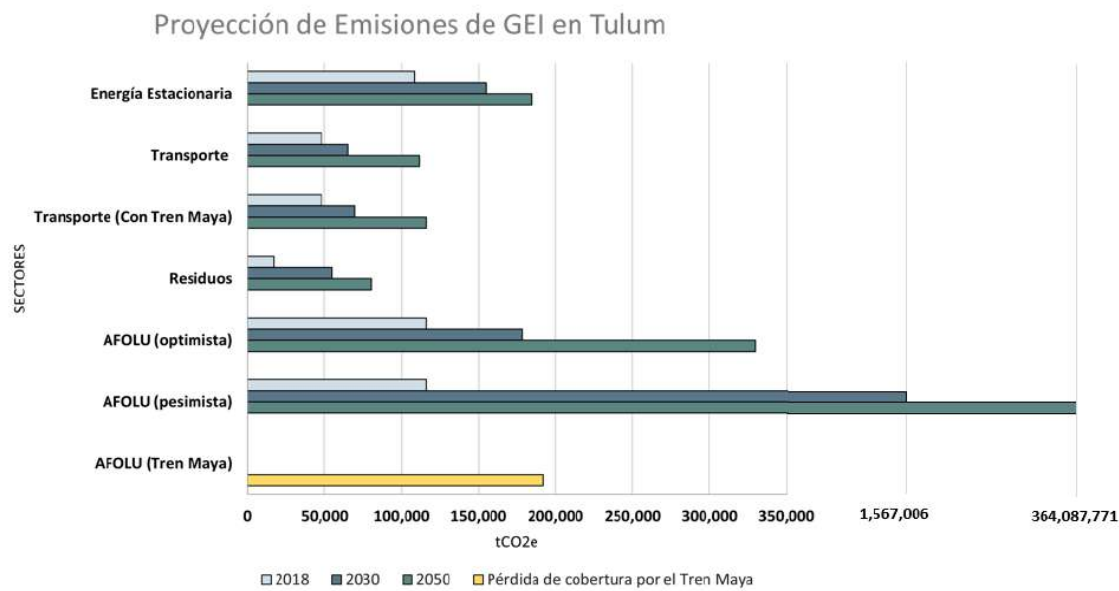
Cuadro 38: Proyección de emisiones de tCO₂e del Sector AFOLU en el municipio de Tulum.
Fuente: elaboración propia con datos del inventario base.

Emisiones tCO ₂ e (ton/año)				
Sector	Subsector	2018	2030	2050
AFOLU	Cambio de uso de suelo (escenario optimista)	116,000	178,171	330,085
	Cambio de uso de suelo (escenario pesimista)	116,000	1,567,066	3654,087,771
Emisiones tCO ₂ e totales				
Tren Maya	Emisiones totales del proyecto	192,964		

Resumen del Escenario BAU

A continuación, se resumen los resultados obtenidos en cada una de las categorías consideradas:

Figura 52: Proyección de Emisiones de tCO₂e en el municipio de Tulum al año 2030.
Fuente: elaboración propia con datos del inventario base.



El porcentaje global del incremento de emisiones totales del 2018 al 2030 en el escenario optimista es del **56%** más con respecto al total de emisiones obtenidas en el año del inventario base y de **536%** en el escenario pesimista. Esto incrementa a **144%** en el escenario optimista y **125,745%** en el escenario pesimista al 2050. La operación del tren maya incrementará las emisiones de transporte en el municipio un **9%** respecto al escenario BAU sin tren. Las emisiones asociadas a la pérdida de cobertura forestal por la construcción del tren maya equivalen al **166%** de las emisiones de pérdida de cobertura forestal del 2018.

Sin considerar el escenario pesimista de AFOLU, el sector con mayor crecimiento fue el de Residuos con un incremento del 230% en el 2030 y de 383% en el 2050 con respecto al año base. La mayor parte del incremento de emisiones en el sector de Residuos provienen del subsector de residuos sólidos. Se estima que para el año 2030 las emisiones de residuos sólidos municipales crezcan de 13,494 toneladas de dióxido de carbono equivalente en el 2018 a 51,016 toneladas, esto representa un aumento de 278%. En el 2050 estas emisiones aumentarán a 75,926. En el escenario pesimista, en el 2030 la pérdida de cobertura forestal equivaldría al 85% de las emisiones totales del municipio y el 99.9% en el 2050. Cabe mencionar que no se considera el incremento de las emisiones de transporte, energía estacionaria y residuos que probablemente estarían asociados al crecimiento de la mancha urbana en Tulum si se llegara a alcanzar esos niveles de pérdida de cobertura forestal.

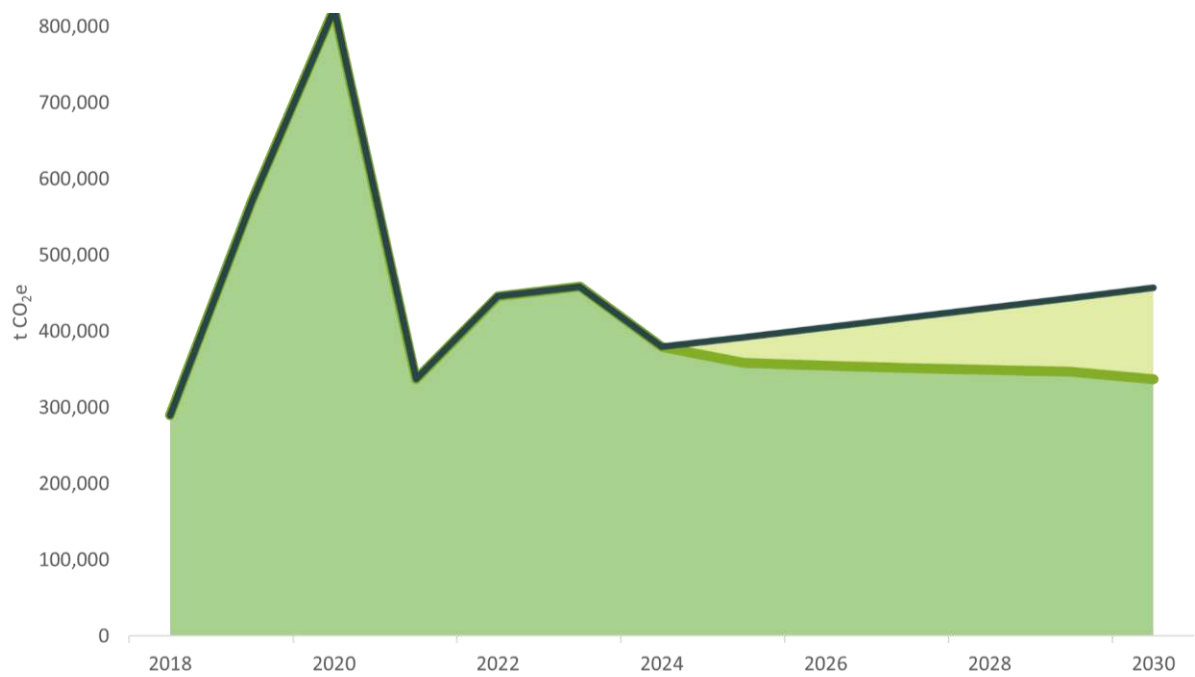
Metas de la Propuesta de Plan de Acción Climática

Mitigación

Dado las elevadas emisiones per cápita del municipio de Tulum y su constante crecimiento, si no se toman medidas para su reducción, las emisiones de GEI aumentarían un 56% para el 2030 y 144% para el 2050 con respecto al 2018 en un escenario optimista. En un escenario de deforestación pesimista las emisiones incrementarían un 536% para el 2030. Además, por su ubicación costera, Tulum es vulnerable a los efectos del cambio climático por lo que es de suma importancia tener un alto nivel de ambición en la mitigación de emisiones.

Por lo tanto, el municipio se compromete a que en el 2030 las emisiones de GEI tengan una reducción del 26.7% con respecto al Escenario BAU. Esto es equivalente a reducir 120,738 tCO₂e.

Figura 53. Escenario de Mitigación vs BAU. Elaboración propia.

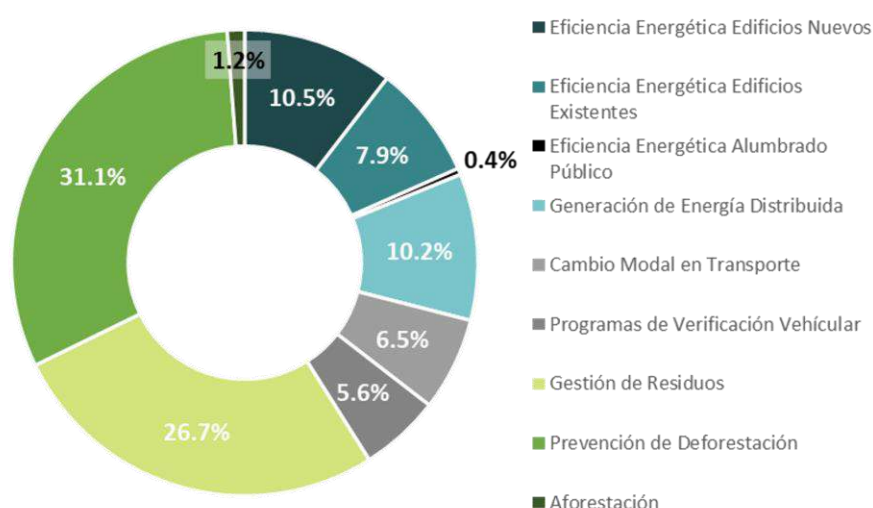


Cuadro 39: Proyección de emisiones de tCO₂e Fuente: elaboración propia.

Sector	Subsector	Emisiones tCO ₂ e (ton/año)		
		2018	2030 BAU	2030 Meta
Energía Estacionaria	Residencial	28,481	38,101	30,892
	Comercial	64,207	94,036	66,779
	Agropecuario	1,193	1,462	1,462
	Industrial	12,812	18,228	18,228
	Institucional	1,999	2,951	2,423
		108,692	154,778	119,785
Transporte	Por carretera	48,243	65,004	50,449
Residuos	Residuos sólidos	13,494	51,016	18,768
	Quema a cielo abierto	1,439	1,773	1,773
	Aguas residuales	1,746	2,201	2,201
		16,679	54,990	22,742
AFOLU	Cambio de uso de suelo	116,000	178,171	139,230
Total		289,613	452,944	332,206

El municipio se enfocará en implementar medidas de eficiencia energética en edificios, incrementar la producción de energía distribuida, fomentar el cambio modal en el transporte, crear programas de verificación vehicular, mejorar la gestión de residuos, reducir la deforestación e incrementar la aforestación municipal.

Figura 54. Distribución de reducción de emisiones a 2030 por tipo de acción.
Elaboración propia.



Adaptación

En base a los resultados obtenidos en el Análisis de Riesgos y Vulnerabilidades climáticas, la meta de adaptación municipal es incrementar la resiliencia climática de la población, infraestructura y los ecosistemas de Tulum. Es importante recordar que, al ser la primera línea de defensa contra los efectos adversos del cambio climático, es de vital importancia priorizar la salud y conservación de ecosistemas. Las acciones de adaptación atenderán los diversos riesgos identificados para el municipio a través de medidas de educación, infraestructura, ordenamiento territorial, capacidad de respuesta a desastres, e instrumentos financieros.

Figura 55. Matriz de acciones de adaptación. Elaboración propia.

	Inundación	Ciclón Tropical	Sequía	Olas de Calor	Incendio Forestal	Hundimientos	Afectaciones a Ecosistemas
Educación	1 acción	1 acción	1 acción	1 acción	2 acciones	1 acción	1 acción
Infraestructura	1 acción		1 acción	1 acción			
Ordenamiento	1 acción			1 acción		1 acción	1 acción
Capacidad de respuesta a desastres	1 acción	1 acción		1 acción			
Instrumentos Financieros	1 acción	1 acción			1 acción	1 acción	
Total	5 acciones	3 acciones	2 acciones	4 acciones	3 acciones	3 acciones	2 acciones



Acciones Climáticas del PAC

A continuación, se muestran las fichas técnicas para cada una de las acciones climáticas. Cada ficha incluye: el sector y subsector de la acción, el costo de implementación, la hoja de ruta de la acción, metas al 2030, indicadores de cumplimiento, actores responsables de su puesta en marcha y cumplimiento, posibles fuentes de financiamiento, la línea de tiempo de implementación y los co-beneficios esperados.



CONTENIDO

MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN

Ficha 01 Fortalecer las instituciones municipales

MITIGACIÓN

Ficha 01 Fortalecer las instituciones municipales

Ficha 02 Tulum ciudad solar

Ficha 03 Iluminación pública verde

Ficha 04 Nuevos edificios eficientes

Ficha 05 Reacondicionamiento de edificios

Ficha 06 Tulum ciudad activa

Ficha 07 Tulum ciudad conectada

Ficha 08 Vehículos menos contaminantes

Ficha 09 Tulum ciudad limpia

Ficha 10 Cuidemos la selva

ADAPTACIÓN

Ficha 11 Incrementar el conocimiento de riesgo desastres y cambio climático

Ficha 12 Promover infraestructura resiliente

Ficha 13 Ampliar el sistema de alerta temprana

Ficha 14 Incorporar la perspectiva de resiliencia climática en el ordenamiento territorial

Ficha 15 Incrementar la resiliencia climática en el municipio a través de seguros

Ficha 16 Fortalecer el programa de prevención y manejo de incendios



Acciones de Mitigación y Adaptación

Las acciones de mitigación y adaptación (en conjunto) son **acciones transversales cuya implementación es esencial para el cumplimiento del resto de las acciones del Plan de Acciones Climática.**

La acción incluida hace referencia a la necesidad de **fortalecer las instituciones municipales. Muchas de las acciones propuestas**, particularmente las actividades de monitoreo y regulación **requieren de instituciones robustas para su correcta ejecución.** El fortalecimiento de las instituciones se llevará a cabo a través de incrementos presupuestarios y de personal, capacitaciones y el incremento de personal y recursos destinados a la vigilancia pública.





Transversal

Subsector Financiamiento



Actores Responsables

- Dirección de Ordenamiento Ambiental y Cambio Climático
- Dirección de Desarrollo Urbano
- Tesorería

Fuente de Financiamiento

- INAFED
- Recursos propios municipales

Acción 01

Fortalecer las instituciones municipales

DETALLES

- Aumentar el flujo de ingresos propios.
- Gestionar el aumento de recursos humanos y financieros para atender las acciones climáticas propuestas.
- Aumentar el personal del municipio en materia de vigilancia pública y administrativa.
- Dotar de equipo suficiente al personal de vigilancia e inspección para implementar las acciones climáticas.
- Capacitar al personal municipal en materias relacionadas a la implementación de acciones climáticas.

METAS

- Elaborar un plan de financiamiento del Plan de Acción Climática.
- Aumentar el personal municipal en materia de vigilancia pública y administrativa a al menos 20 personas.
- Realizar capacitaciones anuales al personal municipal.

INDICADORES

- Ingresos municipales.
- Recursos para atender acciones climáticas propuestas.
- Personal municipal para atender acciones climáticas propuestas.
- Elaboración del plan de financiamiento del Plan de Acción Climática.
- Personal municipal en materia de vigilancia pública y administrativa para implementar acciones climáticas.
- Porcentaje de cumplimiento de capacitaciones programadas.
- Número de participantes de las capacitaciones.
- Participación femenina en las capacitaciones.



Transversal

Subsector
Financiamiento

Acción 01: Fortalecer las instituciones municipales

LÍNEA DEL TIEMPO

	Plazo		
	Corto	Mediano	Largo
Aumento de flujo de ingresos propios			
Incremento de recursos humanos y financieros			
Capacitaciones al personal municipal			

Los plazos de ejecución corresponden a 2 años (Corto plazo), 5 años (mediano plazo) y posterior a 10 años (largo plazo)

CO-BENEFICIOS

	Salud y bienestar		Ahorro económico		Calidad ambiental
	Seguridad		Reducción de residuos generados		Resiliencia climática
	Resiliencia Energética		Seguridad hídrica		Conservación de ecosistemas
	Servicios públicos		Regulación de temperatura		

Acciones de Mitigación

Las acciones de Mitigación tienen como objetivo **reducir las emisiones de gases de efecto invernadero producidas dentro de los límites municipales**. Las acciones están organizadas por sectores de generación: Energía Estacionaria, Transporte, Residuos, Agricultura, Silvicultura y Otros Usos del Suelo (AFOLU).

- Cada acción incluye la **reducción de emisiones en ton de CO₂ equivalente al 2030 con respecto al Escenario BAU**. El cálculo de reducción de emisiones asume el cumplimiento de las metas mencionadas en las acciones.
- El **alcance temporal** de todas las metas planteadas es el **2030**.
- Los **costos** estimados para cada una de las acciones se refieren a la **inversión total requerida y los costos operacionales** del primer año estimados **para el cumplimiento de las metas propuestas**, no a los costos municipales. Por ejemplo, el costo estimado para el cumplimiento de la acción “Ciudad Solar” incluye el costo de instalación y operación de un año de todos los equipos fotovoltaicos necesarios para que el 30% de las viviendas generen el 87% de su consumo energético y que 20% de las unidades económicas generen el 47% de su consumo eléctrico.
- El costo por tonelada de CO₂ equivalente fue calculado considerando la vida útil total de las medidas. Por ejemplo, para la acción “Ciudad Solar” se utilizó la siguiente formula:

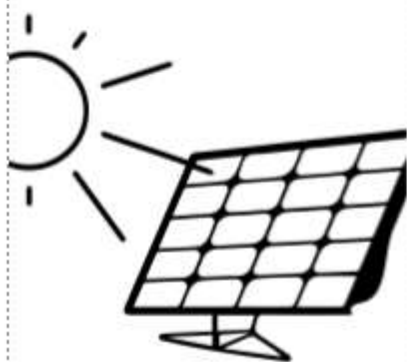
$$\text{Costo por ton CO}_2\text{e} = \frac{\sum_{i=1}^{\text{vida útil}} \text{reducción de emisiones anual}}{\text{costo de inversión} + \sum_{i=1}^{\text{vida útil}} \text{costo de operación anual}}$$

- Las fuentes de financiamiento son posibles fuentes de financiamiento, no fuentes definitivas.





Energía estacionaria

Subsector
Energía distribuida

Costo de efectividad

Nivel de costo

\$456 Millones

Costo por ton CO₂e

\$1,896



Potencial de mitigación

Emisiones

12,277 ton CO₂e

Porcentaje (%)

2.7%

Acción 02

Tulum Ciudad solar

Promover el aprovechamiento solar para la generación de energía

DETALLES

Incentivar la instalación de paneles fotovoltaicos y calentadores solares

- Ofrecer descuento en el predial a edificaciones que cuenten con paneles solares que cubran cuando menos 50% del consumo eléctrico anual o que demuestren una reducción del 50% del consumo energético contra el año anterior.
- Gestionar ante CFE la implementación de un programa de sustitución de subsidios por inversión en viviendas de bajos recursos.
- Gestionar con el Fideicomiso de Ahorro de Energía (FIDE) apoyos financieros para el municipio y comercios en materia de equipamiento de aprovechamiento solar.
- Gestionar ante Infonavit aumentar la comunicación hacia la población local sobre los programas Hipoteca Verde y Mejoravit, y su utilidad en aumentar la penetración de calentadores solares.

METAS

- **30%** de las viviendas cuentan con un sistema fotovoltaico con generación del 56% del consumo eléctrico por vivienda.
- **50%** de los hoteles cuentan con un sistema fotovoltaico que genera entre 18 y 20 % de su consumo eléctrico.
- **30%** de las unidades económicas del sector comercial (sin considerar hoteles) cuentan con un sistema fotovoltaico que genera 50% de su consumo eléctrico.

INDICADORES

- Penetración de energía solar.
- Porcentaje de viviendas con sistema fotovoltaico.
- Porcentaje de hoteles con sistema fotovoltaico.
- Porcentaje de comercios con sistema fotovoltaico.
- Porcentaje del consumo eléctrico atendido por el sistema fotovoltaico.

MITIGACIÓN



Energía estacionaria

Subsector Energía distribuida

Actores Responsables

- Dirección de de Desarrollo Urbano
- Dirección de Planeación Municipal

Fuente de Financiamiento

- CONUEE
- FIDE
- INFONAVIT
- NAFIN - Proyectos sustentables
- SEMA

Acción 02: Tulum Ciudad Solar

LÍNEA DEL TIEMPO

	Plazo		
	Corto	Mediano	Largo
Implementación de subsidios y descuentos	■	■	
Gestión de apoyos financieros	■	■	
Programa de sustitución de subsidios		■	■

Los plazos de ejecución corresponden a 2 años (Corto plazo), 5 años (mediano plazo) y posterior a 10 años (largo plazo)

CO-BENEFICIOS

	Salud y bienestar		Ahorro económico		Calidad ambiental
	Seguridad		Reducción de residuos generados		Resiliencia climática
	Resiliencia Energética		Seguridad hídrica		Conservación de ecosistemas
	Servicios públicos		Regulación de temperatura		



Energía estacionaria

Subsector
Eficiencia energética



Costo de efectividad

Nivel de costo
\$12 Millones



Costo por ton CO₂e
\$1,520



Potencial de mitigación

Emisiones
528 ton CO₂e

Porcentaje (%)
0.1%

Acción 03

Iluminación pública verde

Mejorar la eficiencia energética en el alumbrado público

DETALLES

- Implementar un proyecto de eficiencia energética en edificios públicos del municipio.
- Aumentar la cobertura de alumbrado público de alta eficiencia (LED).

METAS

- **100%** del alumbrado público es sustituido por luminarias de alta eficiencia energética.

INDICADORES

- Consumo eléctrico del alumbrado público.
- Porcentaje de alumbrado público sustituido por luminarias de alta eficiencia.

LÍNEA DEL TIEMPO

	Plazo		
	Corto	Mediano	Largo
Diseño de programa de sustitución de luminarias			
Implementación de programa de sustitución			
Proyecto de eficiencia energética			

Los plazos de ejecución corresponden a 2 años (Corto plazo), 5 años (mediano plazo) y posterior a 10 años (largo plazo)

MITIGACIÓN



Energía estacionaria

Subsector
Eficiencia Energética

Actores Responsables

- Dirección General de Obras Públicas y Servicios Públicos Municipales

Fuentes de Financiamiento

- FIDE
- CONUEE
- FELICITY

Acción 03: Iluminación pública verde

CO-BENEFICIOS





Energía estacionaria

Subsector
Eficiencia energética



Costo de efectividad

Nivel de costo

\$261 Millones



Costo por ton CO₂e

\$615



Potencial de mitigación

Emisiones

12,628 ton CO₂e

Porcentaje (%)

2.8%

Acción 04

Nuevos edificios eficientes

Mejorar el desempeño energético de las nuevas construcciones

DETALLES

Mejorar el desempeño energético de las nuevas construcciones

- Actualizar el reglamento de construcción y emitir un código local de eficiencia energética para exigir lineamientos de eficiencia energética a nuevas construcciones.
- Trabajar con el Infonavit para aumentar la comunicación hacia la población local sobre el programa de Hipoteca Verde.
- Solicitar a las autoridades estatal y federal que, en materia de impacto ambiental, a los conjuntos residenciales, hoteles, centros de comercio y comunidades planeadas se les solicite como condicionantes: (a) un dictamen por un tercero independiente de cumplimiento a las normatividades y regulaciones nacional, estatal y municipal en materia de desempeño energético; (b) que cuenten con sistemas solares para la generación de electricidad y agua caliente; (c) que en los reportes anuales de cumplimiento declaren el consumo energético del proyecto a las autoridades municipales.
- Condicionar el cumplimiento de los lineamientos de eficiencia energética a la obtención de licencias de operación y construcción.
- Solicitar a CFE el registro de consumo energético al sector comercial y residencial.

METAS

- **100%** de hoteles nuevos implementan medidas de eficiencia energética incluyendo: deshumidificador, aislamiento térmico en muros y losa, mejora en la eficiencia de extractores e iluminación, aislante en tuberías y calentadores solares de agua, ventanas con marco PVC y pintura reflectiva
- **100%** de los comercios nuevos implementan medidas de eficiencia energética reduciendo 1/3 de la energía eléctrica consumida
- **100%** de las viviendas nuevas implementan medidas de eficiencia energética incluyendo: aislamiento, mejoras en la eficiencia de iluminación, electrodomésticos y sistemas de aire acondicionado



Energía estacionaria

Subsector
Eficiencia energética

Actores Responsables

- Dirección de Desarrollo Urbano
- Dirección de Mejora Regulatoria

Fuente de Financiamiento

- FIDE
- INFONAVIT
- FELICITY

Acción 04: Nuevos edificios eficientes

INDICADORES

- Consumo eléctrico
- Porcentaje de nuevos hoteles con medidas de eficiencia energética
- Porcentaje de nuevas viviendas con medidas de eficiencia energética
- Porcentaje de nuevos comercios con medidas de eficiencia energética

LÍNEA DEL TIEMPO

	Plazo		
	Corto	Mediano	Largo
Actualizar reglamento de construcción y lineamientos de eficiencia energética			
Alianzas con Infonavit, autoridades estatales y federales			
Condicionamiento de licencias			

Los plazos de ejecución corresponden a 2 años (Corto plazo), 5 años (mediano plazo) y posterior a 10 años (largo plazo)

CO-BENEFICIOS

	Salud y bienestar		Ahorro económico		Calidad ambiental
	Seguridad		Reducción de residuos generados		Resiliencia climática
	Resiliencia Energética		Seguridad hídrica		Conservación de ecosistemas
	Servicios públicos		Regulación de temperatura		



Energía estacionaria

Subsector Eficiencia energética



Costo de efectividad

Nivel de costo

\$160 Millones



Costo por ton CO₂e

\$665



Potencial de mitigación

Emisiones

9,560 ton CO₂e

Porcentaje (%)

2%

Acción 05

Reacondicionamiento de edificios

Mejorar el desempeño energético de edificios existentes

DETALLES

- Impulsar los programas de turismo ambientalmente responsable entre las asociaciones de hoteleros.
- Diseñar e implementar junto con las asociaciones empresariales un programa voluntario de eficiencia energética que incluya el otorgamiento de certificados a los participantes.
- Implementar un descuento en el impuesto turístico por cumplimiento con estándares de eficiencia ambiental y energética.
- Gestionar con el Fideicomiso de Ahorro de Energía (FIDE), la Asociación de Hoteleros, FONATUR y la Asociación Mexicana de Empresas de eficiencia energética (AMENEER) apoyos para mejorar la eficiencia energética en Hoteles y Comercios.

METAS

- **25%** de hoteles implementan medidas de eficiencia energética incluyendo: deshumidificador, aislamiento térmico en muros y losa, ventanas con marco PVC y pintura reflectiva
- **25%** de hoteles existentes implementan mejoras en la eficiencia de extractores e iluminación, aislante en tuberías y calentadores solares de agua (además de las medidas anteriores)
- **50%** de los comercios existentes implementan medidas de eficiencia energética reduciendo 1/3 de la energía eléctrica consumida
- **23%** de las viviendas existentes sustituyen sus luminarias por LED
- **6%** implementan mejoras en la eficiencia de electrodomésticos y del sistema de aire acondicionado (además de sustituir luminarias)
- **1%** implementa un sistema de iluminación inteligente y mejoras al aislamiento térmico (adicional a las medidas mencionadas)

INDICADORES

- Consumo eléctrico.
- Porcentaje de hoteles con medidas de eficiencia energética.
- Porcentaje de comercios con medidas de eficiencia energética.

MITIGACIÓN



Energía estacionaria

Subsector Eficiencia energética

Actores Responsables

- Dirección de Desarrollo Urbano
- Dirección de Planeación Municipal
- Dirección de Mejora Regulatoria
- Dirección del Turismo

Fuente de Financiamiento

- FIDE

Acción 05: Reacondicionamiento de edificios

LÍNEA DEL TIEMPO

	Plazo		
	Corto	Mediano	Largo
Programas de turismo ambientalmente responsable			
Programa voluntario de eficiencia energética			
Descuento en impuesto turístico			
Gestión de apoyos para eficiencia energética			

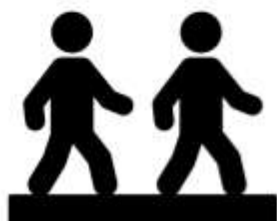
Los plazos de ejecución corresponden a 2 años (Corto plazo), 5 años (mediano plazo) y posterior a 10 años (largo plazo)

CO-BENEFICIOS

	Salud y bienestar		Ahorro económico		Calidad ambiental
	Seguridad		Reducción de residuos generados		Resiliencia climática
	Resiliencia Energética		Seguridad hídrica		Conservación de ecosistemas
	Servicios públicos		Regulación de temperatura		



Transporte

Subsector
Gestión de demanda

Costo de efectividad

Nivel de costo

\$26 MillonesCosto por ton CO₂e**\$1,774**

Potencial de mitigación

Emisiones

2,948 ton CO₂e

Porcentaje (%)

0.7%

Acción 06

Tulum Ciudad activa

Mayor número de viajes en medios no motorizados

DETALLES

- Crear infraestructura inclusiva, segura y accesible para la movilidad peatonal y para ciclistas.
- Solicitar la ayuda de la asociación de hoteleros y comerciantes para apoyar la iniciativa de ciclovías y andadores peatonales.
- Garantizar en el PDU la sección mínima de calle con presencia de transporte masivo y ciclovía en los lugares que se indique.
- Crear vialidades únicamente peatonales, zonas de baja velocidad (30 km/hr) y zonas de bajas emisiones en donde se restrinja el acceso a vehículos no verificados.
- Impulsar servicios privados de transporte entre centros de transporte, destinos turísticos principales y comercios con ayuda de las asociaciones empresariales y FONATUR.
- Fomentar el uso del transporte público y la cultura vial.
- Crear nuevos polígonos para cobro de estacionamiento con parquímetro.
- Reducir las necesidades de movilidad incorporando criterios de movilidad sustentable en la planificación urbana.

METAS

- **6%** de los viajes se realizan en medios no motorizados.

INDICADORES

- Porcentaje de viajes no motorizados.

MITIGACIÓN



Transporte

Subsector Gestión de demanda

Actores Responsables

- Coordinación de Transporte y Vialidad
- Dirección de Tránsito Municipal
- Dirección de Desarrollo Urbano

Fuente de Financiamiento

- FONADIN
- SEDATU

Acción 06: Ciudad activa

LÍNEA DEL TIEMPO

	Plazo		
	Corto	Mediano	Largo
Infraestructura inclusiva, segura y accesible			
Alianzas para la implementación de andadores y ciclovías			
Actualización del PDU			
Creación de zonas de baja velocidad, calles peatonales y zonas de bajas emisiones			
Creación de polígonos de cobro de estacionamiento			

Los plazos de ejecución corresponden a 2 años (Corto plazo), 5 años (mediano plazo) y posterior a 10 años (largo plazo)

CO-BENEFICIOS

	Salud y bienestar		Ahorro económico		Calidad ambiental
	Seguridad		Reducción de residuos generados		Resiliencia climática
	Resiliencia Energética		Seguridad hídrica		Conservación de ecosistemas
	Servicios públicos		Regulación de temperatura		



Transporte

Subsector
Control de emisiones

Costo de efectividad

Nivel de costo

\$95 Millones

Costo por ton CO₂e

\$1,940



Potencial de mitigación

Emisiones

4,883 ton CO₂e

Porcentaje (%)

1.1%

Acción 07

Tulum Ciudad conectada

Aumentar el número de viajes en transporte público

DETALLES

- Realizar un estudio de movilidad (Encuesta Origen-Destino).
- Generar e implementar un Plan de Movilidad Municipal que aumente el uso del transporte público.
- Implementar un autobús de enlace entre centros de transporte, destinos turísticos y comercios con ayuda de las asociaciones empresariales y FONATUR.
- Implementar un sistema de autobuses de bajas emisiones para zonas rurales, centros de trabajo y la zona costera.
- Firmar e implementar un convenio con el transporte público existente para ampliar rutas de traslado del personal de trabajo.
- Implementar un programa piloto de sustitución de la flota de transporte público por vehículos de cero emisiones (biodiésel o eléctricos) en conjunto con el gobierno estatal.

METAS

- 20% de los viajes se realizan en transporte público.

INDICADORES

- Porcentaje de viajes en transporte público.

MITIGACIÓN



Transporte

Subsector Control de emisiones

Actores Responsables

- Coordinación de Transporte y Vialidad
- Dirección de Tránsito Municipal
- Dirección de Desarrollo Urbano

Fuente de Financiamiento

- SEDATU
- FELICITY
- MYC

Acción 07: Ciudad conectada

LÍNEA DEL TIEMPO

	Plazo		
	Corto	Mediano	Largo
Estudio de movilidad			
Plan de Movilidad Municipal			
Implementación de estrategias para incrementar el transporte público y sistema de autobuses de bajas emisiones			
Incorporación de criterios de movilidad sustentable en la planificación urbana			
Implementación del programa piloto de sustitución de la flota de transporte público			

Los plazos de ejecución corresponden a 2 años (Corto plazo), 5 años (mediano plazo) y posterior a 10 años (largo plazo)

CO-BENEFICIOS

	Salud y bienestar		Ahorro económico		Calidad ambiental
	Seguridad		Reducción de residuos generados		Resiliencia climática
	Resiliencia Energética		Seguridad hídrica		Conservación de ecosistemas
	Servicios públicos		Regulación de temperatura		



Transporte

Subsector
Control de emisiones



Costo de efectividad

Nivel de costo

\$20.5 Millones



Costo por ton CO₂e

\$152



Potencial de mitigación

Emisiones

6,724 ton CO₂e

Porcentaje (%)

1.5%

Acción 08

Vehículos menos contaminantes

Llevar a cabo programas de verificación y sanciones a transportes ostensiblemente contaminantes

DETALLES

- Crear un programa de verificación vehicular ambiental municipal y solicitar al gobierno estatal la implementación de uno a nivel estatal.
- Capacitar a personal de talleres automotrices en prácticas de mantenimiento para la reducción de emisiones.
- Incluir en el reglamento de tránsito municipal sanciones a unidades de transporte ostensiblemente contaminantes.
- Capacitar a agentes de tránsito para implementar el programa de combate a unidades ostensiblemente contaminantes.
- Implementar políticas para ordenar los flujos de transporte de carga en el municipio (reevaluar horarios de carga y descarga y horario de logística).

METAS

- **50%** de los vehículos son verificados.
- **100%** de los vehículos ostensiblemente contaminantes son sancionados.

INDICADORES

- Porcentaje de vehículos verificados.

LÍNEA DEL TIEMPO

	Plazo		
	Corto	Mediano	Largo
Programa de verificación vehicular			
Capacitación a personal de talleres y agentes de tránsito			
Implementación de políticas y sanciones			

MITIGACIÓN



Transporte

Subsector Control de emisiones

Actores Responsables

- Coordinación de Transporte y Vialidad
- Dirección de Tránsito Municipal
- Dirección de Desarrollo Urbano

Fuentes de Financiamiento

- NAFIN
- PROTRAM
- Concesión de verifcentros

Acción 08: Vehículos menos contaminantes

CO-BENEFICIOS

	Salud y bienestar		Ahorro económico		Calidad ambiental
	Seguridad		Reducción de residuos generados		Resiliencia climática
	Resiliencia Energética		Seguridad hídrica		Conservación de ecosistemas
	Servicios públicos		Regulación de temperatura		



Residuos

Subsector Gestión de RSU



Costo de efectividad

Nivel de costo

\$164 Millones



Costo por ton CO₂e

\$939



Potencial de mitigación

Emisiones

32,248 ton CO₂e

Porcentaje (%)

7.1%

Acción 09

Tulum ciudad limpia

Mejorar la gestión de residuos sólidos urbanos

DETALLES

Reducir las emisiones de residuos sólidos urbanos

- Realizar diagnóstico de los obstáculos que actualmente impiden al relleno sanitario cumplir con las condiciones contractuales de operación.
- Modernizar las instalaciones de venteo en el relleno sanitario para reducir las emisiones de GEI.
- Planear la construcción de un nuevo relleno sanitario que contemple un sistema de manejo de biogás (quema o aprovechamiento energético) y un biodigestor para residuos orgánicos.
- Elaborar reportes mensuales sobre el metano quemado y monitoreo anual para asegurar el buen funcionamiento del relleno.
- Regular la disposición final de sargazo.
- Implementar un programa de educación y capacitación sobre el compostaje, para la utilización de abonos orgánicos, libres de químicos.
- Llevar a cabo un programa de compostaje doméstico y compostaje comunitario para la zona maya.
- Crear un programa de recolección diferenciada en casas habitación.
- Socializar un programa para contar con la participación de recolectores y recuperadores.
- Implementar un programa de recolección diferenciada en casas habitación.
- Establecer un programa de acopio clasificado de residuos reciclables en espacios públicos.
- Monitorear anualmente la operación y generación de información del tonelaje de residuos sólidos clasificados, para futuros reportes e inventario de emisiones.
- Elaborar un programa de ahorro de papel y la compra de insumos sustentables.
- Instrumentar un programa de simplificación administrativa para el ahorro del papel a través de la automatización de los trámites y servicios en línea (e-gobierno).

MITIGACIÓN



Residuos

Subsector Gestión de RSU

Actores Responsables

- Dirección de Desarrollo Urbano
- Protección Civil

Fuente de Financiamiento

- PRORESOL
- Fondo Verde del Clima (GCF)
- FELICITY

Los plazos de ejecución corresponden a 2 años (Corto plazo), 5 años (mediano plazo) y posterior a 10 años (largo plazo)

Acción 09: Ciudad limpia

METAS

- **85%** del área del relleno sanitario cuenta con un sistema de captura y quema de biogás.
- **80%** de la población participa en el programa de reciclaje de basura.
- **90%** de los participantes participan en el programa de separación de residuos orgánicos para compostaje y digestión anaeróbica.
- **90%** de los residuos orgánicos son tratados mediante un sistema de digestión anaeróbica.

INDICADORES

- Porcentaje de residuos reciclados.
- Porcentaje de residuos tratados con métodos biológicos.
- Inversión a infraestructura del sitio de disposición.

LÍNEA DEL TIEMPO

	Plazo		
	Corto	Mediano	Largo
Modernización de instalaciones de venteo en el relleno sanitario			
Implementación de reportes de monitoreo del relleno sanitario			
Construcción de nuevo relleno sanitario			
Implementación de programas de recolección diferenciada, acopio clasificado de residuos y compostaje			
Elaboración de programa de ahorro de papel e insumos sustentables			

CO-BENEFICIOS

	Salud y bienestar		Ahorro económico		Calidad ambiental
	Seguridad		Reducción de residuos generados		Resiliencia climática
	Resiliencia Energética		Seguridad hídrica		Conservación de ecosistemas
	Servicios públicos		Regulación de temperatura		



Urbano

Subsector
Ordenamiento**Costo de efectividad**

Nivel de costo

\$30 MillonesCosto por ton CO₂e**\$530**

Potencial de mitigación

Emisiones

38,942 ton CO₂e

Porcentaje (%)

8.6%**Acción 10****Cuidemos la selva**

Reducir la pérdida de cobertura

DETALLES**Planear con una visión climática**

- Crear un instrumento (POEL, POET) que establezca zonas de alto valor ambiental o protección de servicios ecosistémicos, limite la expansión de la mancha urbana y ordene el uso de suelo en zonas de transición que no toma en cuenta el Programa de Desarrollo Urbano (PDU) actual.
- Actualizar los reglamentos normativos para la protección de áreas forestales.
- Establecer incentivos en los permisos de remoción vegetal para la conservación ambiental en nuevas construcciones.
- Incrementar áreas verdes en el PDU.
- Establecer mecanismos de densificación y uso de suelo en el municipio.
- Implementar sanciones legales por incumplimiento al uso de suelo.
- Verificar licencias de construcción, solicitudes de estudios previos y actualizar reglamentos.
- Fortalecer a la Dirección General de Desarrollo Territorial Urbano Sustentable (incluye Dirección de Ordenamiento Ambiental y Cambio Climático y Dirección de Desarrollo Urbano) para el monitoreo y regulación de ordenamiento territorial.
- Implementar inspectores y vigilancia para reforzar el sistema de inspección y vigilancia ambiental para la reducción de la deforestación.
- Publicar el ordenamiento territorial y los usos de suelo en un Sistema de Información Geográfica.

METAS

- Mantener la tasa de deforestación anual municipal en máximo **0.19%**.
- Reforestar **100 hectáreas** anuales.

INDICADORES

- Porcentaje anual de deforestación.
- Porcentaje anual de hectáreas reforestadas.

MITIGACIÓN



Urbano

**Subsector
Ordenamiento**

Actores Responsables

- Dirección de Desarrollo Urbano
- Dirección de Ordenamiento Ambiental y Cambio Climático
- Dirección de Mejora Regulatoria

Fuente de Financiamiento

- CONAFOR
- Fondo Verde del Clima (GCF)
- PROREST

Los plazos de ejecución corresponden a 2 años (Corto plazo), 5 años (mediano plazo) y posterior a 10 años (largo plazo)

Acción 10: Cuidemos la selva

LÍNEA DEL TIEMPO

	Plazo		
	Corto	Mediano	Largo
Creación de instrumento (POEL, POET) para zonas de alto valor ambiental			
Actualización de reglamentos normativos para la protección de áreas forestales			
Establecimiento de incentivos en remoción vegetal para conservación ambiental			
Incremento de áreas verdes en el PDU			
Establecimiento de mecanismos de densificación y uso de suelo			
Implementación de sanciones legales por incumplimiento al uso de suelo			
Verificación de licencias, estudios previos y actualización de reglamentos			
Fortalecimiento a la Dirección General de Desarrollo Territorial Urbano Sustentable para el monitoreo y regulación de ordenamiento territorial			
Reforzamiento de sistema de inspección y vigilancia			
Publicación de ordenamiento territorial y uso de suelo en un SIG			

CO-BENEFICIOS

Salud y bienestar	Ahorro económico	Calidad ambiental
Seguridad	Reducción de residuos generados	Resiliencia climática
Resiliencia Energética	Seguridad hídrica	Conservación de ecosistemas
Servicios públicos	Regulación de temperatura	

Acciones de Adaptación

Las acciones de Adaptación tienen como objetivo **reducir o evitar los impactos negativos actuales y esperados del cambio climático**. Las acciones están organizadas por tipo de medida educación, infraestructura, ordenamiento territorial, capacidad de respuesta a desastres, e instrumentos financieros.

- Cada acción incluye el o los riesgos climáticos que busca minimizar.
- El **alcance temporal** de todas las metas planteadas es el **2030**.
- Los **costos** estimados para cada una de las acciones se refieren a la **inversión total requerida por el municipio para el cumplimiento de las metas propuestas**.
- Las fuentes de financiamiento son posibles fuentes de financiamiento, no fuentes definitivas.





Transversal

Subsector
Educación



Costo efectividad

Nivel de costo
\$6 Millones



Riesgos climáticos



Inundaciones



Hundimientos



Olas de calor



Afectaciones por
cuevas subterráneas



Ciclones tropicales



Pérdida de
biodiversidad

Acción 11

Incrementar el conocimiento de riesgo de desastres y cambio climático

Facilitar la toma de decisiones y la implementación de medidas de adaptación

DETALLES

- Actualizar el Atlas de Riesgo Municipal en coordinación con Protección Civil.
- Generar un diagnóstico detallado de inundaciones en la región de Cobá y difundir los resultados a través de talleres con las comunidades.

METAS

- Actualizar Atlas de Riesgo Municipal cada dos años.
- Generar estudio detallado de inundaciones de la región de Cobá.

INDICADORES

- Cumplimiento de la actualización del Atlas de Riesgo Municipal.
- Elaboración del estudio detallado de inundaciones de la región de Cobá.
- Porcentaje de implementación de talleres comunitarios programados.
- Número de participantes en talleres comunitarios.
- Porcentaje de participación femenina en talleres comunitarios.

ADAPTACIÓN



Transversal

**Subsector
Educación**

Actores Responsables

- Protección Civil
- Dirección de Ordenamiento Ambiental y Cambio Climático

Fuente de Financiamiento

- CENAPRED
- SEDATU
- Recursos propios municipales

Acción 11: Incrementar el conocimiento de riesgo de desastres y cambio climático

LÍNEA DEL TIEMPO

	Plazo		
	Corto	Mediano	Largo
Atlas municipal de riesgos			
Estudio detallado de Cobá			

Los plazos de ejecución corresponden a 2 años (Corto plazo), 5 años (mediano plazo) y posterior a 10 años (largo plazo)

CO-BENEFICIOS

	Salud y bienestar		Ahorro económico		Calidad ambiental
	Seguridad		Reducción de residuos generados		Resiliencia climática
	Resiliencia Energética		Seguridad hídrica		Conservación de ecosistemas
	Servicios públicos		Regulación de temperatura		



Inundaciones

Subsector Infraestructura



Costo efectividad

Nivel de costo

\$247 Millones



Riesgos climáticos



Inundaciones



Olas de calor



Sequía

Acción 12

Promover infraestructura resiliente

Aumentar la capacidad adaptativa ante precipitación extrema y el confort térmico

DETALLES

- En conjunto con CAPA, crear programas de rehabilitación, mejoramiento, mantenimiento y extensión del sistema de drenaje al igual que el desarrollo de soluciones basadas en la naturaleza y/o drenajes sostenibles.
- Incrementar el requerimiento de área permeable vegetal en construcciones.
- Implementar un programa de forestación en vialidad y camellones con el propósito de proporcionar sombra y evitar golpes de calor en peatones y ciclistas.
- Implementar un programa de re-acondicionamiento de edificios para incorporar techos verdes y/o reflejantes.
- Actualizar los reglamentos de construcción para hacer de carácter vinculante la aplicación de diseño pasivo en hoteles y edificios para la optimización de los flujos de energía naturales.
- Generar un programa de promoción sobre ecotecnia en hoteles y residencias para la captación del agua pluvial.
- Tras un análisis de factibilidad, reemplazar gradualmente los pavimentos asfálticos por pavimentos frescos y permeables.

METAS

- Programa de mejoramiento de drenaje **creado**.
- Implementación de al menos 20% del sistema de drenaje complementado con soluciones basadas en la naturaleza y/o drenajes sostenibles.
- **80%** de las vialidades y camellones cuentan con sombra proporcionada por el programa de forestación.
- **35%** de los edificios cuentan con techos verdes y/o reflejantes.
- Reglamento de construcción **actualizado**.
- Implementación de sistemas de captación de agua pluvial en 10% de los edificios comerciales y residenciales.
- Elaboración del análisis de factibilidad para el re-acondicionamiento de pavimento por pavimento permeable.
- Al menos **10%** de pavimentos semi permeables implementados.



Inundaciones

Subsector Infraestructura

Actores Responsables

- Dirección de Desarrollo Urbano
- Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPA)
- Protección Civil
- Dirección de Obras Públicas

Fuente de Financiamiento

- SEDATU: Programa de mejoramiento Urbano
- FONADIN
- FONDEN

Acción 12: Promover infraestructura resiliente

INDICADORES

- Creación del programa de mejoramiento de drenaje.
- Porcentaje de implementación del sistema de drenaje.
- Porcentaje del sistema de drenaje implementado con soluciones basadas en la naturaleza y/o drenaje sostenible.
- Porcentaje de vialidades y camellones intervenidos con forestación.
- Porcentaje de edificios con techos verdes y/o reflejantes.
- Cumplimiento de modificaciones al reglamento de construcción.
- Porcentaje de edificios comerciales y residenciales con sistemas de captación pluvial.
- Elaboración del análisis de factibilidad para re-acondicionar el pavimento tradicional por permeable.
- Porcentaje de calles con pavimentación permeable.

LÍNEA DEL TIEMPO

	Plazo		
	Corto	Mediano	Largo
Creación de programas asociados a drenaje	■		
Incremento del requerimiento de área permeable en construcciones	■		
Implementación de programa de forestación vial	■		
Implementación de programa para re-acondicionamiento de edificios	■	■	
Actualización de reglamentos de construcción para optimización de energía	■		
Generación de programa para promoción sobre ecotecnias para captación de agua pluvial	■		
Análisis de factibilidad y reemplazo gradual de pavimentos permeables	■	■	

Los plazos de ejecución corresponden a 2 años (Corto plazo), 5 años (mediano plazo) y posterior a 10 años (largo plazo)

ADAPTACIÓN



Inundaciones

Subsector
Infraestructura

Acción 12: Promover infraestructura resiliente

CO-BENEFICIOS





Inundaciones

Subsector
**Capacidad de respuesta y
prevención de desastres**



Costo efectividad

Nivel de costo
\$13 Millones



Riesgos climáticos



Inundaciones



Olas de calor



Ciclones tropicales

Acción 13

Ampliar el sistema de alerta temprana

Garantizar el acceso de información al público sobre riesgos climáticos

DETALLES

- Evaluar, actualizar y fortalecer los sistemas de alerta temprana a riesgos junto con Protección Civil.
- Crear un protocolo de olas de calor.
- Incrementar el número de refugios en el municipio y puntos de enfriamiento y difundir su existencia.
- Elaborar un programa de atención a riesgos hidrometeorológicos y protocolos de evacuación para el municipio.

METAS

- Incrementar la cobertura del sistema de alerta temprana ante riesgos asegurando que al menos el **90%** de la población se encuentra cubierta por el sistema
- Creación del protocolo de olas de calor
- Creación del programa de atención a riesgos hidrometeorológicos y protocolos de evacuación
- Publicar y difundir los protocolos y programas de atención a riesgos del municipio
- Creación de **10** nuevos refugios y puntos de enfriamiento

INDICADORES

- Porcentaje de personas con conocimiento del sistema de alerta temprana ante riesgos.
- Creación del protocolo de olas de calor.
- Creación del programa de atención a riesgos hidrometeorológicos y protocolos de evacuación.
- Cumplimiento de acciones de difusión de los protocolos y programas de atención a riesgos del municipio.
- Alcance o impacto de las campañas de difusión de los protocolos y programas de atención a riesgos del municipio.
- Porcentaje de refugios y puntos de enfriamiento creados.

ADAPTACIÓN



Inundación y deslaves

Subsector
**Capacidad de respuesta y
prevención de desastres**

Actores Responsables

- Protección Civil
- Dirección de Desarrollo Urbano

Fuente de Financiamiento

- FONDEN
- Recursos propios municipales

Acción 13: Ampliar el sistema de alerta temprana

LÍNEA DEL TIEMPO

	Plazo		
	Corto	Mediano	Largo
Fortalecimiento de sistemas de alerta temprana			
Creación de protocolo de olas de calor			
Incremento de refugios y puntos de enfriamiento			
Elaboración de programa de atención a riesgos hidrometeorológicos y protocolos de evacuación			

Los plazos de ejecución corresponden a 2 años (Corto plazo), 5 años (mediano plazo) y posterior a 10 años (largo plazo)

CO-BENEFICIOS

	Salud y bienestar		Ahorro económico		Calidad ambiental
	Seguridad		Reducción de residuos generados		Resiliencia climática
	Resiliencia Energética		Seguridad hídrica		Conservación de ecosistemas
	Servicios públicos		Regulación de temperatura		



Hundimientos

Subsector Ordenamiento



Costo efectividad

Nivel de costo

\$36.4 Millones



Riesgos climáticos



Hundimientos



**Afectaciones por
cuevas subterráneas**



Olas de calor



Inundaciones



**Pérdida de
biodiversidad**

Acción 14

Incorporar la perspectiva de resiliencia climática en el ordenamiento territorial para la conservación de los ecosistemas

DETALLES

- Fortalecer protocolos de manejo de suelo para prevención de hundimientos y priorizar la conservación de cobertura vegetal nativa para reducir la erosión del suelo.
- Generar mayor información sobre los sistemas de cenotes y cuevas subterráneas para incorporar la información en la planeación de uso de suelo.
- Establecer marco de protección a cuevas subterráneas y cenotes en conjunto de ejidatarios y terratenientes para una mejor gestión ambiental.
- Promover la conservación de áreas verdes dentro de las zonas urbanas y de transición para mitigar el efecto de isla de calor incrementando las áreas verdes en el PDU.

METAS

- Mantener la tasa de deforestación anual municipal en máximo **0.19%**.
- Reforestar **100 hectáreas** anuales.
- Generar una mapa del sistema de cenotes e incluirlos en los instrumentos de ordenamiento territorial.
- Crear un marco de protección de cuevas subterráneas y cenotes.

INDICADORES

- Porcentaje anual de deforestación en el municipio.
- Porcentaje anual de hectáreas reforestadas.
- Cumplimiento de la inclusión del mapa del sistema de cenotes en los instrumentos de ordenamiento territorial.
- Creación del marco de protección de cuevas subterráneas y cenotes.

ADAPTACIÓN



Hundimientos

Subsector Ordenamiento

Actores Responsables

- Dirección de Ordenamiento Ambiental y Cambio Climático
- Dirección de Desarrollo Urbano

Fuente de Financiamiento

- SEDATU
- Recursos propios municipales

Acción 14: Incorporar la perspectiva de resiliencia climática en el ordenamiento territorial para la conservación de los ecosistemas

LÍNEA DEL TIEMPO

	Plazo		
	Corto	Mediano	Largo
Fortalecimiento de protocolos de manejo de suelo			
Incorporación de información sobre sistema de cenotes y cuevas subterráneas en planeación de uso de suelo			
Establecimiento de marco de protección a cuevas subterráneas y cenotes en conjunto con ejidatarios			
Promoción de conservación de áreas verdes			

Los plazos de ejecución corresponden a 2 años (Corto plazo), 5 años (mediano plazo) y posterior a 10 años (largo plazo)

CO-BENEFICIOS

 Salud y bienestar	 Ahorro económico	 Calidad ambiental
 Seguridad	 Reducción de residuos generados	 Resiliencia climática
 Resiliencia Energética	 Seguridad hídrica	 Conservación de ecosistemas
 Servicios públicos	 Regulación de temperatura	



Inundaciones

Subsector Instrumentos financieros



Costo efectividad

Nivel de costo

\$0.68 Millones



Riesgos climáticos



Ciclones tropicales



Hundimientos



Incendio forestal



Inundaciones

Acción 15

Incrementar la resiliencia climática en el municipio a través de seguros

DETALLES

- Solicitar pólizas de seguro de riesgo a construcciones comerciales en zonas de alto riesgo para la obtención de permisos.
- Establecer convenios con aseguradoras para implementar un sistema voluntario mediante el cual los residentes podrán pagar un monto adicional al predial y obtendrán una póliza de seguro contra riesgos para su residencia.

METAS

- 85% de los edificios comerciales en zonas de alto riesgo asegurados
- 15% de las residencias aseguradas

INDICADORES

- Porcentaje de edificios comerciales en zonas de alto riesgo asegurados.
- Porcentaje de residencias aseguradas.

ADAPTACIÓN



Deslave e inundación

Subsector
Instrumentos financieros

Actores Responsables

- Dirección de Desarrollo Urbano

Fuente de Financiamiento

- Convenio con aseguradoras y cubierto por los propietarios a través de un incremento en el predial

Acción 15: Incrementar la resiliencia climática en el municipio a través de seguros

LÍNEA DEL TIEMPO

	Plazo		
	Corto	Mediano	Largo
Solicitud de pólizas de seguro a construcciones comerciales			
Establecimiento de convenios con aseguradoras			

Los plazos de ejecución corresponden a 2 años (Corto plazo), 5 años (mediano plazo) y posterior a 10 años (largo plazo)

CO-BENEFICIOS

	Salud y bienestar		Ahorro económico		Calidad ambiental
	Seguridad		Reducción de residuos generados		Resiliencia climática
	Resiliencia Energética		Seguridad hídrica		Conservación de ecosistemas
	Servicios públicos		Regulación de temperatura		



Incendio forestal

Subsector Educación



Costo efectividad

Nivel de costo
\$2 Millones



Riesgos climáticos



Incendio forestal

Acción 16

Fortalecer programa de prevención y manejo de incendios

DETALLES

- En coordinación con CONAFOR, Protección Civil y actores locales (ejidatarios) fortalecer la estrategia municipal contra incendios, la cual estará alineada al Programa Estatal de Manejo de Fuego y contempla actividades como: brechas corta fuego y el manejo mecánico de combustible, recorridos de vigilancia en zonas prioritarias.
- Elaborar campañas de difusión para fomentar la participación ciudadana y difundir las medidas de reducción de riesgo de incendios.
- Incrementar la capacidad adaptativa comunitaria mediante Programas Comunitarios de Manejo del Fuego.

METAS

- Crear y difundir la Estrategia Municipal Contra Incendios.
- Elaborar por lo menos 5 campañas anuales de difusión de atención a riesgo de incendios.
- Desarrollar 30 Programas Comunitarios de Manejo del Fuego.

INDICADORES

- Creación de la Estrategia Municipal Contra Incendios.
- Alcance o impacto de campaña de difusión de la Estrategia Municipal Contra Incendios.
- Porcentaje de programas comunitarios de manejo del fuego implementados.
- Número de participantes en los programas comunitarios de manejo del fuego.
- Porcentaje de participación femenina en los programas comunitarios de manejo del fuego.

ADAPTACIÓN



Incendio forestal

Subsector Educación

Actores Responsables

- Protección Civil
- Dirección de Ecología y Medio Ambiente
- Coordinación de Proyectos Productivos

Fuente de Financiamiento

- FONDEN
- CONAFOR

Acción 16: Fortalecer el programa de prevención y manejo de incendios

LÍNEA DEL TIEMPO

	Plazo		
	Corto	Mediano	Largo
Fortalecimiento de la estrategia municipal contra incendios			
Elaboración de campañas de difusión sobre reducción de incendios			
Incremento en la capacidad adaptativa comunitaria mediante programas comunitarios de manejo del fuego			

Los plazos de ejecución corresponden a 2 años (Corto plazo), 5 años (mediano plazo) y posterior a 10 años (largo plazo)

CO-BENEFICIOS

	Salud y bienestar		Ahorro económico		Calidad ambiental
	Seguridad		Reducción de residuos generados		Resiliencia climática
	Resiliencia Energética		Seguridad hídrica		Conservación de ecosistemas
	Servicios públicos		Regulación de temperatura		

Implementación, monitoreo y evaluación del PAC

El siguiente plan de implementación sintetiza el plazo de implementación de las acciones de mitigación y adaptación planteadas en las fichas descriptivas. La referencia a los plazos se plantea en tres temporalidades: corto, mediano y largo. El corto, se refiere a las acciones programadas para realizarse en un periodo estimado de 2 años, desde la entrada en vigor del PAC. En el mediano plazo, se consideran las acciones cuyos resultados se esperan en un periodo de 5 años. Para el largo plazo, se contemplan las acciones con resultados esperados a partir de la entrada del PAC y hasta el año 8.

Acciones de mitigación/adaptación		Plazo de implementación		
		Corto	Mediano	Largo
01. Fortalecer las instituciones municipales	Aumento de flujo de ingresos propios	✓		
	Incremento de recursos humanos	✓		
	Capacitaciones al personal municipal	✓	✓	✓

Acciones de mitigación / adaptación		Metas						
		2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
01. Fortalecer las instituciones municipales	Elaboración de plan de financiamiento del PAC	Sí						
	Número de personal municipal adicional en materia de vigilancia pública y administrativa	4	8	8				
	Número de capacitaciones al personal municipal	1	1	1	1	1	1	1

Acciones de mitigación		Plazo de implementación		
		Corto	Mediano	Largo
02. Tulum Ciudad solar	Implementación de subsidios y descuentos	✓	✓	
	Gestión de apoyos financieros	✓	✓	
	Programa de sustitución de subsidios		✓	✓
03. Iluminación pública verde	Diseño del programa de sustitución de luminarias	✓		
	Implementación del programa de sustitución	✓	✓	
	Proyecto de eficiencia energética	✓	✓	
04. Nuevos edificios eficientes	Actualizar reglamento de construcción y lineamientos de eficiencia energética	✓		
	Alianzas con Infonavit, autoridades estatales y federales	✓		
	Condicionamiento de licencias	✓	✓	✓
05. Reacondicionamiento de edificios	Programas de turismo ambientalmente responsable	✓	✓	✓
	Programa voluntario de eficiencia energética	✓		
	Descuento en impuesto turístico	✓	✓	
	Gestión de apoyos para eficiencia energética	✓	✓	✓
06. Tulum Ciudad activa	Infraestructura inclusiva, segura y accesible	✓	✓	✓
	Alianzas para la implementación de andadores y ciclovías	✓	✓	
	Actualización del PDU	✓		
	Creación de zonas de baja velocidad, calles peatonales y zonas de bajas emisiones	✓	✓	
	Creación de polígonos de cobro de estacionamiento	✓		
07. Tulum Ciudad conectada	Estudio de movilidad	✓		
	Plan de Movilidad Municipal	✓		
	Implementación de estrategias para incrementar el transporte público y sistema de autobuses de bajas emisiones		✓	✓
	Incorporación de criterios de movilidad sustentable en la planificación urbana	✓	✓	
	Implementación del programa piloto de sustitución de la flota de transporte público		✓	
08. Vehículos menos contaminantes	Programa de verificación vehicular	✓	✓	✓
	Capacitación al personal de talleres y agentes de tránsito	✓		
	Implementación de políticas y sanciones	✓	✓	

09. Ciudad limpia	Modernización de instalaciones de venteo en el relleno sanitario	✓		
	Implementación de reportes de monitoreo del relleno sanitario	✓	✓	✓
	Construcción de nuevo relleno sanitario	✓	✓	✓
	Implementación de programas de recolección diferenciada, acopio clasificado de residuos y compostaje	✓	✓	
	Elaboración de programa de ahorro de papel e insumos sustentables	✓		
10. Cuidemos la selva	Creación de instrumento (POEL, POET) para zonas de alto valor ambiental	✓		
	Actualización de reglamentos normativos para la protección de áreas forestales	✓		
	Establecimiento de incentivos en remoción vegetal para conservación ambiental	✓	✓	
	Incremento de áreas verdes en el PDU	✓		
	Establecimiento de mecanismos de densificación y uso de suelo	✓	✓	
	Implementación de sanciones legales por incumplimiento al uso de suelo	✓	✓	✓
	Verificación de licencias, estudios previos y actualización de reglamentos	✓	✓	✓
	Fortalecimiento a la Dirección General de Desarrollo Territorial Urbano Sustentable para el monitoreo y regulación de ordenamiento territorial	✓	✓	
	Reforzamiento de sistema de inspección y vigilancia	✓	✓	✓
	Publicación de ordenamiento territorial y uso de suelo en un SIG	✓		

Acciones de mitigación		Metas						
		2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
02. Ciudad Solar	% de viviendas que cuentan con un sistema fotovoltaico con generación del 56% del consumo eléctrico.	0%	2%	5.0%	10.0%	20.0%	25.0%	30%
	% de hoteles que cuentan con un sistema fotovoltaico que genere entre el 18-20% de su consumo eléctrico.	0%	2%	5.0%	10.0%	20.0%	25.0%	30%

	% de unidades económicas del sector comercial que cuentan con un sistema fotovoltaico que genere 50% de su consumo eléctrico.	0%	2%	5.0%	10.0%	20.0%	25.0%	30%
03. Iluminación Pública Verde	% de alumbrado público sustituido por LED	10%	20%	30.0%	40.0%	60.0%	80.0%	100%
04. Nuevos edificios eficientes	% de los hoteles nuevas que implementan medidas de eficiencia energética	0%	0%	10%	20%	40%	75%	100%
	% de los comercios nuevos que implementan medidas de eficiencia energética reduciendo 1/3 del consumo energético	0%	0%	10%	20%	40%	75%	100%
	% de las viviendas nuevas que implementan medidas de eficiencia energética.	0%	0%	10%	20%	40%	75%	100%
05. Reacondicionamiento de edificios	% de hoteles existentes que implementan medidas de eficiencia energética incluyendo (deshumidificador, aislamiento térmico en muros y losa, ventanas con marco PVC y pintura reflectiva)	0%	0%	2.5%	5.0%	7.5%	15.0%	25%
	% de hoteles existentes que implementan medidas de eficiencia energética adicionales	0%	0%	2.5%	5.0%	7.5%	15.0%	25%
	% de comercios existentes que implementan medidas de eficiencia energética reduciendo 1/3 de su consumo	0%	5%	10.0%	15.0%	25.0%	35.0%	50%
	% de viviendas existentes que sustituyen sus luminarias por LED	0%	0%	2.0%	4.0%	6.0%	10.0%	23%

	% de viviendas existentes que implementan mejoras de eficiencia de electrodomésticos, sistemas de aire acondicionado, y sustitución de luminarias por LED	0%	0%	1.0%	2.0%	3.0%	4.0%	6%
	% de viviendas existentes que implementan mejoras de eficiencia adicionales como sistemas de iluminación inteligente, y mejoras al aislamiento térmico.	0%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	1%
06. Ciudad activa	% de viajes se realizan en medios no motorizados	0%	1%	1.5%	2.0%	3.0%	4.0%	6%
07. Ciudad conectada	% de viajes se realizan en transporte público	8%	9%	10%	12%	14%	17%	20%
08. Vehículos menos contaminantes	% de vehículos verificados	0%	5%	10.0%	20.0%	30.0%	40.0%	50%
	% de los vehículos ostensiblemente contaminantes sancionados	0%	10%	20.0%	40.0%	60.0%	80.0%	100%
09. Ciudad limpia	% del área del relleno sanitario que cuenta con un sistema de captura y quema de biogás.	0%	10%	20.0%	35.0%	50.0%	70.0%	85%
	% de la población que participa en el programa de reciclaje de basura.	0%	10%	20.0%	30.0%	40.0%	60.0%	80%
	% de ciudadanos que participan en el programa de separación de residuos orgánicos para compostaje y digestión anaeróbica.	0%	0%	0.0%	20.0%	55.0%	70.0%	90%

	% de los residuos orgánicos tratados mediante un sistema de digestión anaeróbica	0%	0%	0.0%	20.0%	55.0%	70.0%	90%
10. Cuidemos la selva. Reducción de pérdida de cobertura forestal	Taza de deforestación municipal anual	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%	0.18%
	ha reforestadas anuales	15	20	30	40	60	80	100.00

Acciones de adaptación		Plazo de implementación		
		Corto	Mediano	Largo
11. Incrementar el conocimiento de riesgo de desastres y cambio climático	Atlas municipal de riesgos	✓		
	Estudio detallado de Cobá	✓		
12. Promover infraestructura resiliente	Creación de programas asociados a drenaje	✓		
	Incremento del requerimiento de área permeable en construcciones	✓		
	Implementación de programa de forestación vial	✓		
	Implementación de programa para re-acondicionamiento de edificios	✓	✓	
	Actualización de reglamentos de construcción para optimización de energía	✓		
	Generación de programa para promoción sobre ecotecnias para captación de agua pluvial	✓		
	Análisis de factibilidad y reemplazo gradual de pavimentos permeables	✓	✓	
13. Ampliar el sistema de alerta temprana	Fortalecimiento de sistemas de alerta temprana	✓		
	Creación de protocolo de olas de calor	✓		
	Incremento de refugios y puntos de enfriamiento	✓	✓	
	Elaboración de programa de atención a riesgos hidrometeorológicos y protocolos de evacuación	✓		
14. Incorporar la perspectiva de resiliencia climática en el ordenamiento territorial para la	Fortalecimiento de protocolos de manejo de suelo	✓	✓	
	Incorporación de información sobre sistema de cenotes y cuevas subterráneas en planeación de uso de suelo	✓		

conservación de ecosistemas	Establecimiento de marco de protección a cuevas subterráneas y cenotes en conjunto con ejidatarios	✓		
	Promoción de conservación de áreas verdes	✓		
15. Incrementar la resiliencia climática en el municipio a través de seguros	Solicitud de pólizas de seguro a construcciones comerciales	✓		
	Establecimiento de convenios con aseguradoras	✓		
16. Fortalecer el programa de prevención y manejo de incendios	Fortalecimiento de la estrategia municipal contra incendios	✓		
	Elaboración de campañas de difusión sobre reducción de incendios	✓		
	Incremento en la capacidad adaptativa comunitaria mediante programas comunitarios de manejo del fuego	✓	✓	

Acciones de Adaptación		Metas						
		2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
11. Incrementar el conocimiento de riesgo de desastres y cambio climático	Actualización de Atlas municipal de riesgos	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí
	Generar estudio detallado de inundaciones de la región de Cobá	No	Sí					
12. Promover infraestructura resiliente	Programa de mejoramiento de drenaje creado	No	Sí					
	% de sistema de drenaje completados con soluciones basadas en la naturaleza	0%	0%	1%	3%	6%	12%	20%
	% vialidades con sombra por cobertura vegetal nueva	5%	10%	15%	25%	40%	60%	80%
	% de edificios con techos verdes y/o reflejantes	0%	0%	5.0%	10.0%	15.0%	25.0%	35%
	Reglamento de construcción actualizado	No	Sí					
	% de edificios con sistemas de captación de lluvia	0%	0%	2.0%	4.0%	6.0%	8.0%	10%
	Análisis de factibilidad para el reacondicionamiento de pavimento permeable realizado	No	Sí					

	% de calles pavimentadas con pavimento semipermeable	0%	0%	2.0%	4.0%	6.0%	8.0%	10%
13. Ampliar el sistema de alerta temprana	% de la población cubierta por el sistema de alerta temprana	40%	50%	55.0%	60.0%	70.0%	80.0%	90%
	Protocolo de olas de calor creado	No	Sí					
	Creación de programa de atención a riesgos hidrometeorológicos y protocolos de evacuación	No	Sí					
	Publicación de protocolos y programas de atención a riesgos del municipio	No	Sí					
	# de refugios y puntos de enfriamiento nuevos creados	0	0	1	1	2	3	3
14. Incorporar la perspectiva de resiliencia climática en el ordenamiento territorial para la conservación de ecosistemas	Taza de deforestación municipal anual	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%	0.18%
	ha reforestadas anuales	15	20	30	40	60	80	100
	Mapa de sistema de cenotes incluido en los instrumentos de ordenamiento territorial	No	Sí					
	Creación de marco de protección de cuevas subterráneas y cenotes	No	Sí					
15. Incrementar la resiliencia climática en el municipio a través de seguros	% de viviendas aseguradas	0%	0%	1%	3%	6%	9%	15%
	# de edificios comerciales en zonas de alto riesgo asegurados	0%	0%	10%	25%	45%	65%	85%
16. Fortalecer el programa de prevención y manejo de incendios	Creación de la estrategia municipal contra incendios	No	Sí					
	# de campañas anuales de difusión de atención a riesgo de incendios	2	5	5	5	5	5	5
	# de programas comunitarios de manejo de fuego creados	0.00	1.00	2.00	5.00	10.00	20.00	30.00

Alternativas de financiamiento del PAC

Se reconoce la existencia de al menos 28 alternativas de financiamiento climático con el potencial para contribuir a la implementación de las líneas de acción de la Propuesta de Plan de Acción Climática. Dentro de estas opciones se reconocen cuatro categorías generales: i) mecanismos de financiamiento; ii) fuentes de financiamiento nacional; iii) fuentes de financiamiento internacional; y, iv) agencias internacionales de desarrollo, como organismos facilitadores de cooperación técnica y financiamiento. Dentro de estas alternativas, pueden reconocerse cuatro esquemas generales de financiamiento con relación a su tipo de operación: aseguramiento, recursos autogenerados, donación y crédito.

Cabe mencionar que el mapeo de posibles fuentes de financiamiento debe actualizarse periódicamente, dado que su permanencia y reglas de operación están sujetas a cambios. Asimismo, será fundamental identificar la disponibilidad de nuevas alternativas de financiamiento a nivel local, nacional e internacional.

Cuadro 40: Posibles mecanismos de financiamiento

Nombre	Descripción
Cobertura contra daños por riesgos meteorológicos	Tipo: Seguro Es un seguro a favor del contratante (municipio, empresa privada, persona física, etc.) para asegurar contra daños materiales directos a un inmueble, causados por avalanchas de lodo, granizo, helada, huracán, inundación, inundación por lluvia, golpe de mar, marejada, nevada, vientos tempestuosos, entre otros fenómenos causados directa o indirectamente por el cambio climático. Enlaces de interés: https://tokiomarine.com.mx/ http://sompo.mx/ https://www.marsh.com/mx/industries/infrastructure.html
Impuesto vehicular	Tipo: Recursos autogenerados Los mecanismos de financiamiento climático que sean autogenerados deben tener un doble objetivo. Por un lado deben crear una fuente adicional de ingresos para la ciudad, pero por otro deben ser una política climática que ayude a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero o la vulnerabilidad climática. Este instrumento es un mecanismo de fondeo autogenerado que grava directamente a los autos particulares. En México, este impuesto se aplica por entidad federativa y se calcula con base en el precio de venta de la unidad de transporte. Sin embargo, el impuesto se puede estructurar de otra manera, de forma que sea un instrumento de política pública que logre reducir la intensidad de carbono del sector de transporte. Enlace de interés: https://www.sri.gob.ec/DocumentosAlfrescoPortlet/download/a2d9e000-58d0-424d-b7e2-

	6ec0b7d270e3/Ley+del+Impuesto+Ambiental+a+la+Contaminaci%F3n+Vehicular+%28IACV%29.pdf
Impuesto predial	Tipo: Recursos autogenerados Este impuesto se define como un gravamen sobre la propiedad o posesión inmobiliaria. El impuesto debe ser pagado por todos los propietarios de un inmueble, ya sea vivienda, oficina, edificio, local comercial o predio. Su existencia no se limita a México; en otros países se le conoce como impuesto a la propiedad o impuesto inmobiliario. El impuesto predial progresivo consiste en aumentar este impuesto en los predios que no aprovechen el potencial constructivo que les otorgue la norma a través del tiempo y, por lo tanto, desaprovechen la infraestructura de servicios de la cual disponen. Este impuesto genera incentivos para acelerar el desarrollo, disminuir la especulación y fomentar ciudades compactas, aprovechando los terrenos ociosos mejor ubicados. El impuesto predial también se puede usar con un objetivo de política pública, donde se otorgan descuentos a aquellos inmuebles que cumplen con criterios climáticos, en rubros como la eficiencia energética o cercanía a transporte público masivo. Enlace de interés: https://www.theigc.org/wp-content/uploads/2017/07/201707TaxationVacantLandPolicyNote_Final.pdf
Bonos Verdes - BMV	Tipo: Crédito Es un instrumento de deuda mediante el cual se obtienen recursos cuyo uso es exclusivamente para financiar proyectos específicos de sectores como: energía renovable, construcción sustentable, eficiencia energética, transporte limpio, manejo de residuos, agua, adaptación, agricultura, forestación y alimentos. El mecanismo puede utilizarse para la ejecución de proyectos que reduzcan las emisiones contaminantes o que ayuden a disminuir la vulnerabilidad de las ciudades. Además de ser aplicables a ciudades, los bonos verdes pueden ser emitidos por empresas que coticen en la Bolsa Mexicana de Valores (BMV) para inversiones que cumplan con objetivos ambientales. Enlaces de interés: https://www.icmagroup.org/green-social-and-sustainability-bonds/green-bond-principles-gbp/ https://www.bmv.com.mx/docs-public/MI_EMPRESA_EN_BOLSA/CTEN_MINGE/BONOS%20VERDES.PDF

Cuadro 41: Posibles fuentes de financiamiento nacional	
Nombre	Descripción
Plataforma Mexicana de Carbono (MEXICO2)	Tipo: Recursos autogenerados Esta plataforma es el primer esfuerzo en la constitución de un mercado voluntario de carbono, donde las ciudades, empresas y organizaciones de la sociedad civil pueden “subastar o poner a venta” las toneladas de CO2e que han evitado o mitigado mediante sus acciones climáticas. A diferencia de la mayoría del resto de los instrumentos financieros disponibles para las

	ciudades, estos fondos se reciben después de haber ejecutado el proyecto y una vez que los beneficios climáticos se han creado. Los recursos económicos obtenidos se podrán utilizar para otros proyectos de acción climática o para mantener en buen funcionamiento los que fueron vendidos en el mercado. Esta iniciativa nació como una iniciativa de mercado apoyada en forma conjunta por varias instituciones, incluidas: la Bolsa Mexicana de Valores, la Embajada Británica en México, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Al ser un programa piloto voluntario, el mayor valor de esta plataforma se encuentra en el entrenamiento y aprendizaje que se puede obtener de la misma, con miras a desarrollar un mercado interno en el futuro o acceder a uno de los mercados internacionales ya establecidos. Enlace de interés: https://www.mexico2.com.mx
Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE)	Tipo: Donación/Crédito El FIDE es un organismo privado de participación mixta que tiene como objetivo desarrollar e implementar acciones que propicien el uso eficiente de la energía eléctrica y la generación de electricidad con fuentes renovables. A través de programas, proyectos, productos y servicios, el organismo ofrece asistencia técnica, diagnósticos energéticos, apoyo en la realización de proyectos de eficiencia energética y financiamiento con condiciones preferenciales para la adquisición o generación de productos que permitan el ahorro de energía eléctrica. El apoyo está dirigido a los municipios y a los sectores domiciliario, industrial, agrícola, comercial y de servicios. Además, cuenta con actividades de apoyo para crear conciencia en la sociedad con relación al aprovechamiento y uso eficiente de la energía. Algunos de los programas con los que cuenta son: • Proyectos de Eficiencia Energética: Programa orientado al sector productivo, mediante el cual se da apoyo financiero para la optimización de procesos y la adquisición de equipos de alta eficiencia. • Programa de Apoyo a la Generación Distribuida: Programa que financia la instalación de sistemas de generación de energía con fuentes renovables, principalmente sistemas fotovoltaicos y de cogeneración eficiente, en el sitio de consumo. • Proyecto de Eficiencia y Sustentabilidad Energética en Municipios (PRESEM): Programa dirigido a municipios e implementado por la Secretaría de Energía, con financiamiento del Banco Mundial, que otorga financiamiento a inversiones de eficiencia energética en alumbrado público, edificios públicos y en los procesos de abastecimiento de agua y saneamiento. Además, el programa busca apoyar en el desarrollo de políticas y el fortalecimiento institucional, al financiar, entre otros tipos de asistencia, la creación de capacidades en eficiencia energética a nivel municipal, el diseño de

	sistemas de gestión de la energía, y la elaboración de planes de eficiencia energética. El tercer programa es de especial relevancia para los gobiernos municipales. En este, el FIDE está a cargo de las siguientes actividades: preparación de estudios de factibilidad, elaboración de subproyectos ejecutivos y documentos de licitación, procesos de licitaciones públicas nacionales, contratación de trabajos para la ejecución de los subproyectos, supervisión de trabajos de instalación de equipos, y la realización de monitoreo y reporte de resultados de cada subproyecto. Enlace de interés: https://www.fide.org.mx/
Comisión Nacional para el Uso Eficiente de Energía Eléctrica - CONUEE	Tipo: Donación/Crédito La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) brinda asistencia técnica a municipios a través de la emisión de opiniones vinculatorias y recomendaciones técnicas sobre los proyectos de sustitución de alumbrado público, además de capacitaciones presenciales y a distancia ofrecidas a los funcionarios responsables de este servicio. Este programa busca impulsar la eficiencia energética a través de la sustitución de los sistemas ineficientes de alumbrado público municipal, lo que constituye una oportunidad para los gobiernos locales ya que contribuye a promover la reducción en el consumo de energía eléctrica, la transición del alumbrado implementando tecnologías más eficientes, y asegurar el cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas de sistema y producto en alumbrado público. El programa brinda apoyo técnico y financiero a los municipios para ejecutar proyectos de sustitución de sistemas de alumbrado público, con la sustitución de luminarios, balastos y lámparas con alta eficiencia energética. Además, otorga opinión técnica y financiera sobre los proyectos municipales y proporciona apoyos no recuperables por la conclusión del proyecto. Enlaces de interés: https://www.gob.mx/conuee/ https://www.gob.mx/conuee/articulos/la-conuee-ha-brindado-asistencia-tecnica?idiom=es https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/estados-y-municipios-proyecto-nacional-de-eficiencia-energetica-en-alumbrado-publico-municipal
Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social (FAIS) - BANOBRAS	Tipo: Crédito Es un esquema financiero multianual que anticipa los recursos del Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social (FAIS) en municipios considerados con alto o muy alto nivel de rezago social. El objetivo del programa es que estos municipios reciban un adelanto de las aportaciones federales para que puedan ejecutar proyectos de agua potable, alcantarillado, drenaje, electrificación, infraestructura básica del sector educativo y del sector salud, mejoramiento de vivienda y urbanización de infraestructura desde el comienzo de la administración municipal. Enlaces de interés:

	https://www.gob.mx/banobras/acciones-y-programas/programa-banobras-fais https://tecnologia.aseh.gob.mx/cmgyf/diapositivas/06.pdf
Fondo de Cambio Climático	Tipo: Recursos autogenerados Los Fondos de Cambio Climático son instrumentos financieros creados por los gobiernos federal, estatales o municipales que tienen como objetivo otorgar recursos económicos, usualmente presupuestales, para la implementación de las estrategias y acciones incluidas en los Planes de Acción Climática o aquellas que contribuyan a alcanzar las metas de adaptación o mitigación climática. La principal ventaja de los fondos climáticos radica en la flexibilidad del uso de los recursos, pues estos siguen un proceso de ejecución y vigilancia que está más en el control de las dependencias ejecutoras de la política climática. Particularmente importante es que el financiamiento puede utilizarse de manera multianual, sin depender de las fechas tradicionales de apertura y cierre presupuestal que establecen las áreas de hacienda o financieras de los municipios. Mediante este instrumento financiero, los entes gubernamentales pueden obtener y distribuir fondos climáticos, ya sean presupuestales, autogenerados o externos, y dirigirlos a las actividades para reducir las emisiones de GEI, aumentar el secuestro de carbono atmosférico, e incrementar la capacidad adaptativa local. Enlaces de interés: http://www.ccpy.gob.mx/agenda-regional/fondo-cambio-climatico.php http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/cambioclimaticocdmx/fondo_ambiental_cambio_climatico.html
Fondo Nacional de Infraestructura (FONADIN)	Tipo: Donación El Fondo Nacional de Infraestructura depende del Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRA) y tiene como objetivo apoyar las obras públicas de infraestructura del país, principalmente en las áreas de comunicaciones, transportes, hidráulica, medio ambiente y turística. Sus apoyos se pueden aplicar en la planeación, fomento, construcción, conservación y operación de proyectos de infraestructura. Este fondo tiene tres programas que aplican particularmente bien a proyectos de mitigación y adaptación climática. Estos son: el Programa de Apoyo Federal al Transporte Masivo (PROTRAM), el Programa para la Modernización de Organismos Operadores de Agua (PROMAGUA), y el Programa de Residuos Sólidos (PRORESOL). Los tres programas del FONADIN buscan fomentar la participación del sector privado en la provisión de servicios públicos, para ello aportan parte del capital requerido de forma que el costo sea menor y la calidad del servicio sea mayor. El PROTRAM otorga apoyos económicos recuperables (a manera de préstamo) y no recuperables (donaciones o subsidios) al sector público y privado, para la elaboración de estudios e inversiones en Proyectos de Infraestructura de Transporte Masivo con participación de la iniciativa privada. El programa también busca fortalecer la capacidad institucional de las autoridades locales responsables para la planeación y la regulación

	del transporte público. El PROMAGUA apoya mediante donativos o subsidios el financiamiento parcial de estudios y proyectos en el sector del agua, este programa tiene como objetivo incentivar el desarrollo de proyectos bajo esquemas de asociación público-privada (APP) que permitan: (1) incrementar y mejorar la calidad de los servicios en materia de cobertura de agua potable y saneamiento, y (2) la sostenibilidad operativa y financiera de los entes públicos relacionados con la prestación de los servicios. El PRORESOL ofrece donaciones para el financiamiento parcial de estudios y proyectos que permitan asegurar la gestión integral de los residuos sólidos urbanos (RSU). Además de apoyar en el financiamiento de los proyectos del sector de RSU. Tiene como objetivo incentivar el desarrollo de proyectos bajo esquemas de asociación público-privada que promuevan la visión de economía circular planteada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en materia de gestión integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Entre los estudios y asesorías que apoyan, se consideran: diagnóstico integral, evaluación socioeconómica, análisis de viabilidad de asociaciones público-privadas, asesoría estratégica, e ingeniería básica. Enlace de interés: https://www.fonadin.gob.mx/fni2/productos-y-programas/
Programa de Mejoramiento Urbano (PMU) - SEDATU	Tipo: Donación El programa tiene como objetivo contribuir a la reducción de las condiciones de rezago urbano y social mediante la mejora en el acceso de la población a bienes y servicios. El programa se compone de cuatro vertientes de apoyo: • Mejoramiento Integral de Barrios: Se enfoca en la realización de obras y proyectos de equipamiento urbano, espacio público, movilidad, infraestructura urbana, proyectos integrales y obras comunitarias. • Regularización y Certeza Jurídica: Proporciona apoyo técnico a la población para facilitar la certeza jurídica de tenencia de la tierra • Planeación Urbana, Metropolitana y Ordenamiento Territorial: Brinda apoyo a los gobiernos subnacionales para la elaboración y actualización de instrumentos de planeación territorial. • Obras Comunitarias: Otorga apoyo para proyectos y obras de infraestructura comunitaria en regiones impactadas por proyectos prioritarios y estratégicos del Gobierno de México. Enlaces de interés: https://mimexicolate.gob.mx/ https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5639973&fecha=31/12/2021#gs.c.tab=0
Programa Apoyos para el Desarrollo Forestal Sustentable - CONAFOR	Tipo: Donación El programa, por conducto de la Comisión Nacional Forestal de México tiene como objetivo general apoyar a las personas propietarias, legítimas poseedoras y habitantes de las zonas forestales para que implementen acciones que contribuyan a la protección, conservación, restauración e

	incorporación al manejo forestal sustentable, de los terrenos forestales, preferentemente forestales y temporalmente forestales; así como, el fortalecimiento de las cadenas de valor, que a su vez contribuyan a la adaptación y mitigación de los efectos del Cambio Climático. Enlaces de interés: https://snif.cnf.gob.mx/programas-y-apoyos/ https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5639498&fecha=28/12/2021#gsc.tab=0
Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED)	Aliado de gobiernos locales para brindar asesoría y asistencia técnica con el propósito de lograr administraciones municipales más eficientes.

Cuadro 42: Posibles fuentes de financiamiento internacional	
Nombre	Descripción
Fondo Verde del Clima (GCF, por sus siglas en inglés)	Tipo: Donación/Préstamo/Inversión en capital/Garantías Es un fondo creado en el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, para el desarrollo de políticas, programas y proyectos climáticos en países en desarrollo. El fondo busca limitar o reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, así como brindar apoyo para la adaptación frente a los impactos del cambio climático. Enlaces de interés: https://www.eib.org/en/products/advisory-services/felicity.htm https://www.eib.org/attachments/fs-felicity-mexico-naucalpan-en.pdf https://www.eib.org/attachments/fs-felicity-mexico-city-en.pdf
Financiamiento de energía para inversiones bajas en carbono (FELICITY)	Tipo: Donación FELICITY (Financing Energy for Low-carbon Investment- Cities Advisory Facility) es una alianza entre la GIZ y el Banco Europeo de Inversiones (BEI). Su objetivo es fomentar y apoyar los proyectos de infraestructura que tengan un impacto significativo en la reducción de emisiones de GEI, así como en el desarrollo económico. FELICITY ofrece asistencia técnica a las ciudades para diseñar y estructurar los proyectos de infraestructura urbana que tengan beneficios climáticos, de forma que sean susceptibles de recibir créditos de organismos internacionales. Este instrumento se centra en asistencia técnica para medidas en los sectores de energía, agua, transporte y manejo de residuos. El programa apoya a los entes públicos a realizar los análisis de factibilidad y estudios técnicos, financieros, económicos, sociales y ambientales necesarios para cumplir con los requisitos solicitados por el BEI. Además busca fomentar el intercambio de conocimiento y desarrollar capacidades a nivel municipal para estructurar proyectos climáticos según los estándares internacionales de las instituciones financieras.
Mobilize Your City (MYC) - AFD-GIZ	Tipo: Donación Esta es una alianza entre ciudades que cuenta con una estructura que ayuda a buscar fuentes de financiamiento para aquellas ciudades que son

	miembro de la misma. Su objetivo se encuentra en impulsar la movilidad baja en carbono. Además de encauzar financiamiento a las ciudades, la alianza aporta recursos didácticos para mejorar las capacidades locales en los municipios, contando con una base de conocimiento que comparten con las ciudades. Además, mediante este canal, se apoya la preparación de proyectos de inversión (es decir, incubadora de asistencia técnica para asistencia financiera), el desarrollo de mecanismos financieros y el inicio de financiamiento nacional e internacional para asegurar una implementación exitosa. A su vez, la alianza promueve y activa la cooperación de ciudad a ciudad y el intercambio entre pares para aprovechar al máximo las relaciones de cooperación a largo plazo, más allá de la duración de los programas de apoyo de asistencia técnica individual. Enlace de interés: https://citiesclimatefinance.org/project-preparation-resource-directory/mobilize-your-city-myc/
City Climate Finance Gap Fund	Tipo: Donación El Gap Fund otorga asistencia técnica y capacitación a las ciudades para apoyar la planeación climática y la inversión en proyectos que tengan como objetivo incrementar las capacidades adaptativas o mitigar la emisión de GEI. El fondo tiene como objetivo apoyar los proyectos para posibilitar su implementación. Por ello, el apoyo económico que otorgan se destina a estudios e instrumentos de planeación que den sustento a los proyectos específicos. Además, fomenta la colaboración con redes de ciudades como el Pacto Global de Alcaldes (GCoM, por sus siglas en inglés). Las actividades que financia el Gap Fund son: • Desarrollo de estrategias climáticas en las ciudades, incluyendo planes y programas de inversión. • Creación de capacidades en desarrollo bajo de carbono y resiliencia urbana. • Análisis técnicos detallados de los potenciales proyectos climáticos. • Priorización de inversiones como parte de los planes de acción climática. • Definiciones de proyecto y estudios de prefactibilidad. • Fortalecimiento de la estructuración financiera de los proyectos. • Desarrollo de estudios, planes, análisis y otros pasos preparativos para la implementación de los proyectos. Este fondo no otorga apoyos para la implementación, pero sí facilita la conexión con otras instituciones y fuentes de financiamiento, como el Banco Mundial, el Banco Europeo de Inversiones, entre otros. El Gap Fund es implementado por el Banco Mundial (BM) y el Banco Europeo de Inversiones (EIB), en colaboración con la Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (GIZ). Además, es soportado por el gobierno alemán y el gobierno de Luxemburgo, así como por socios como el GCoM, el Local Governments for Sustainability (ICLEI) y el C40 Cities Climate Leadership Group. Enlace de interés:

	https://www.citygapfund.org
México-UK PACT Country Programmes - Embajada del Reino Unido	Tipo: Donación Este tipo de programas del gobierno del Reino Unido trabaja de manera conjunta con los países beneficiarios para vencer barreras que limiten el crecimiento limpio y puedan lograr reducciones significativas de emisiones contaminantes. Su objetivo es apoyar a ciertos países, entre ellos México, para alcanzar sus objetivos en materia de acción climática. Este programa apoya con asistencia técnica, desarrollo de capacidades y apoyos económicos para el desarrollo de instrumentos de planeación. Esto lo hace a través de socios de implementación como la academia, organismos no gubernamentales y empresas privadas. En México, para la convocatoria 2020-2021 se eligieron los siguientes cinco sectores prioritarios: finanzas verdes, energía, movilidad sustentable, bosques y uso del suelo, y soporte en política climática. Enlace de interés: https://www.ukpact.co.uk/country-programmes
Fondo Chile-México-AMEXCID- AGCID	Tipo: Donación El Fondo Conjunto de Cooperación Chile - México es un instrumento de cooperación internacional destinado a financiar la ejecución de proyectos bilaterales y trilaterales de cooperación para el desarrollo. Forma parte del Acuerdo de Asociación Estratégica (AAE) suscrito entre los Gobiernos de México y Chile el 26 de enero de 2006, con el fin de promover la cooperación entre ambas naciones o de una relación con un tercer país en desarrollo. El Fondo cuenta con un presupuesto anual de US\$2,000,000 aportados por ambos países. Su coordinación está a cargo de la Comisión de Cooperación la cual está integrada por los titulares de las Agencias de Cooperación de Chile y México (AGCID y AMEXCID). La convocatoria del fondo se lleva a cabo de manera anual y paralela en ambos países y se encuentra dirigida a: instituciones del sector público, entidades financiadas con fondos estatales u organizaciones sin fines de lucro asociadas a una entidad gubernamental. Los proyectos propuestos podrán solicitar financiamiento para desarrollar alguna de las siguientes modalidades: asesorías, intercambio de expertos, pasantías, foros y seminarios, o capacitación de recursos humanos. Enlaces de interés: https://www.agci.cl/fondo-chile-mexico-menu/fondo-chile-mexico https://www.gob.mx/amexcid/acciones-y-programas/fondo-conjunto-de-cooperacion-mexico-chile https://www.agci.cl/fondo-chile-mexico-menu/proyectos

Cuadro 43: Agencias internacionales de desarrollo

Nombre	Descripción
Red de Ciudades Resilientes - Fundación Rockefeller	Tipo: Donación La Red de Ciudades Resilientes (R-Cities) es una de las redes de resiliencia urbana más importante del mundo. La red promueve acciones de resiliencia para proteger comunidades vulnerables al cambio climático y

	otros retos físicos, sociales y económicos. Son una organización sin fines de lucro, liderada y formada por 97 ciudades comprometidas a construir e invertir en resiliencia urbana. La red apoya a ciudades con una agenda ambiciosa de resiliencia por medio de iniciativas basadas en la acción, conducidas y habilitadas por el conocimiento de los gobiernos municipales miembro y los directores de resiliencia. Sus tres prioridades temáticas son: recuperación resiliente frente a la Covid-19, resiliencia climática y economía circular. Enlaces de interés: http://juarez.gob.mx/noticia/7571/lanza-ciudad-jurez-su-estrategia-de-resiliencia https://resilientcitiesnetwork.org
Sistema Nacional Forestal de EUA (USFS)	Tipo: Donación El servicio forestal de los Estados Unidos de América apoya técnicamente a agencias de gestión de suelo en todos los niveles de gobierno, entidades sin fines de lucro, sector privado, universidades y comunidades bajo acuerdos de colaboración y subvenciones. El foco y objetivo principal de las donaciones y apoyos es la conservación del Sistema Nacional Forestal en el territorio de los Estados Unidos, sin embargo, existen convenios marcos de colaboración, principalmente para la transferencia de conocimientos con Norteamérica. En México, el portafolio de apoyos de la USFS incluye herramientas para el desarrollo de capacidades, talleres, cursos, seminarios, viajes de estudio y sabáticos para investigadores. Las temáticas centrales de la colaboración con México se relacionan con el apoyo a actividades de silvicultura comunitaria, conservación de especies migratorias, vigilancia forestal, manejo de áreas protegidas y gestión de incendios forestales. Enlaces de interés: https://www.fs.usda.gov/ http://www.usfsmex.org/ https://www.fs.usda.gov/working-with-us/partnerships/news-useful-links https://www.grants.gov/
Banco de Desarrollo de América del Norte (BDAN)	Tipo: Crédito/Donación El Banco de Desarrollo de América del Norte (BDAN) es una institución creada y capitalizada por México y Estados Unidos de América con la misión de impulsar y financiar proyectos de infraestructura ambiental en la región fronteriza. El Banco cuenta con tres programas principales que ayudan a las ciudades de ambos lados de la frontera a implementar sus proyectos, estos son: El Programa de Crédito, El Fondo de Infraestructura Ambiental Fronteriza (BEIF) para financiar la ejecución de proyectos y el Programa de Asistencia para el Desarrollo de Proyectos (PDAP) para apoyar el desarrollo de proyectos. El programa de crédito ofrece financiamiento de varias formas, dependiendo de las características del proyecto y del promotor, incluyendo i) créditos directos de largo plazo; ii) líneas de crédito revolventes; iii) participación en emisiones de bonos municipales.

	El BEIF y el PDAP son donativos del gobierno de los Estados Unidos de América cuyo objetivo es apoyar la infraestructura y la gestión del rubro de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Su objetivo es reducir la deuda del proyecto de forma que pueda ser manejable por el ente gubernamental que lo ejecute. Además de apoyar la ejecución de los proyectos de infraestructura, estos mecanismos pueden aportar recursos para realizar estudios de planeación, evaluaciones ambientales, proyectos ejecutivos, estudios de factibilidad financiera, actividades de participación comunitaria y demás estudios, análisis y documentos de planeación, con el objetivo de estructurar el proyecto. Este fondo y el programa se enfocan exclusivamente en obras municipales que se ubiquen a menos de 100 kilómetros de la frontera entre México y Estados Unidos de América. Es importante mencionar que estos instrumentos deben combinarse con otros tipos de créditos y financiamientos. Enlaces de interés: https://www.nadb.org/es/financiamiento-de-infraestructura/programa-de-credito https://www.nadb.org/es/financiamiento-de-infraestructura/recursos-no-reembolsables/fondo-de-infraestructura-ambiental-fronteriza-beif#elegibilidad
Banco Mundial	Tipo: Crédito/Donación El Grupo Banco Mundial (BM) se fundó en 1944, como una institución que ayuda a los países miembros a desarrollarse adecuadamente. El grupo está formado por 5 instituciones: El Banco Internacional para la Reconstrucción y el Desarrollo (IBRD), la Asociación Internacional de Desarrollo (IDA), la Corporación Financiera Internacional (IFC), la Agencia Multilateral de Garantías de Inversión (MIGA), y el Centro Internacional de Arreglo de Diferencias Relativas a Inversiones (ICSID). Si bien sus principales objetivos para el 2030 son terminar con la pobreza extrema y promover la prosperidad compartida, el BM es muy activo en el área de desarrollo sustentable y cambio climático. El Banco Mundial es una de las principales fuentes de financiamiento y asistencia técnica en materia climática para los países en vías de desarrollo. El BM otorga créditos a una nula o muy baja tasa de interés, además de otorgar donaciones a países en desarrollo, esto lo hace de manera directa o en asociación con los gobiernos nacionales, bancos comerciales, inversionistas privados u otras instituciones multilaterales. El Banco Mundial también facilita el financiamiento climático mediante fideicomisos o canalizando donaciones bilaterales o multilaterales, gestionando en ocasiones las iniciativas de otras instituciones. Además, el BM ofrece asistencia técnica, asesoría en políticas públicas, desarrollo de capacidades, investigación y análisis que ayuden a los gobiernos a impulsar el desarrollo sustentable y a estructurar los proyectos de inversión que requieren.

	Por su estructura, sus asociaciones y su alcance, el Grupo del Banco Mundial tiene muchos canales de financiamiento climático que pueden encontrar su camino a las ciudades mexicanas. Entre ellos destacan: ● PROBLUE: Océanos saludables, economías saludables, comunidades saludables ● ESMAP: Programa de asistencia a la gestión del sector energético ● GWSP: Programa mundial de saneamiento y seguridad hídrica ● IPF: Financiamiento de Proyectos de Inversión ● FCPF: Fondo de colaboración sobre carbono forestal Sobre este último, el programa promueve y recompensa la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y secuestro de carbono a través de la gestión forestal, que incluye REDD+ (Reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal). El programa contempla apoyos para asistencia técnica, desarrollo de capacidades e inversiones. Además de financiar actividades previas a la implementación del proyecto, el programa puede proporcionar pagos basados en resultados para reducciones de emisiones verificadas y así apoyar la continuidad de los proyectos relacionados al uso sustentable de los bosques. Por su lado, el programa ESMAP impulsa soluciones de energía para promover el desarrollo sustentable. El programa busca acelerar la transición energética de forma que contribuya a alcanzar los objetivos globales de cambio climático. Además de estos programas, el Banco Mundial tiene presupuesto propio para aportar asistencia técnica, desarrollar herramientas de planeación y desarrollar estudios que ayuden a los países y las ciudades a lograr los objetivos climáticos, tanto en los temas de adaptación como en mitigación. Enlaces de interés: https://www.worldbank.org/en/about/unit/dfi/trust-funds-and-program https://www.esmap.org/ https://www.forestcarbonpartnership.org/ https://www.biocarbonfund-isfl.org/knowledge-center
Corporación Andina de Fomento (CAF)	Tipo: Crédito La CAF, también se conoce como el Banco de Desarrollo de América Latina, se fundó en 1970 y está formado por 17 países de América Latina, España, Portugal y 13 bancos privados de la región. Si bien tienen algunos fondos de asistencia técnica, los préstamos son la principal modalidad operativa de CAF; estos pueden ser de corto plazo (1 año), mediano plazo (de 1 a 5 años) y largo plazo (más de 5 años). Una de las áreas de enfoque de la CAF es justamente la de ambiente y cambio climático, por lo que ofrecen financiamiento para proyectos que logren reducir la vulnerabilidad de la población o mitigar las emisiones de gases con efecto invernadero. Enlace de interés: https://www.caf.com/es

Banco Interamericano de Desarrollo (BID)	Tipo: Crédito/Donación Como su nombre lo indica, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) es una institución financiera regional que impulsa el desarrollo en América Latina y el Caribe. El BID, a través de su financiamiento, tiene como objetivo impulsar el desarrollo de una manera sostenible y respetuosa con el clima. El BID ofrece préstamos, donaciones y asistencia técnica. Los temas actuales prioritarios del Banco incluyen: inclusión social, productividad, innovación, integración económica, igualdad de género y diversidad, cambio climático y sostenibilidad ambiental, y capacidad institucional y estado de derecho. La mayoría de los proyectos y los programas de cooperación técnica del BID se financian a través de préstamos, ya sea a precios de mercado o mediante condiciones favorables. Sus clientes incluyen naciones, estados, municipios y organizaciones no gubernamentales. Los préstamos pueden ser otorgados como: • Préstamos de Garantía Soberana: El BID ofrece financiamiento a los gobiernos y a las instituciones controladas por el Gobierno. • Préstamos sin Garantía Soberana: El BID ofrece financiamiento para proyectos del sector privado que contribuyan al desarrollo. El BID también otorga donaciones, o fondos no reembolsables, a programas de cooperación técnica en los países miembros como México. La institución también ofrece a estos programas financiamiento de recuperación contingente, que se reembolsa únicamente si el programa obtiene financiamiento adicional, ya sea del mismo Banco o de otra fuente. Hay dos programas de donaciones básicos para los que califica México: • Donaciones de BID Lab: BID Lab apoya donaciones a pequeña escala, en el marco de iniciativas piloto que puedan ejercer una función catalizadora para emprender reformas de mayor alcance. Pueden recibir fondos del BID Lab organismos tanto privados como públicos dependiendo de las características específicas del proyecto propuesto. Los organismos privados deben ser entidades con fines de lucro y pueden ser organizaciones no gubernamentales, asociaciones sectoriales, cámaras de comercio u organizaciones similares. • Fondo de Donaciones del Programa de Empresariado Social: A través de su Programa de Empresariado Social, el BID otorga préstamos y donaciones a organizaciones privadas sin ánimo de lucro, organizaciones comunitarias e instituciones públicas de desarrollo local. Los recursos del programa pueden ser usados para asistencia técnica, capacitación, inversión en infraestructura productiva o de servicios básicos, adquisición de equipos y materiales y capital operativo. Enlace de interés: https://www.iadb.org/en/idb-finance/other-loan-information
U.S. Agency for International Development (USAID)	Tipo: Donación USAID es una de las principales agencias de desarrollo internacional del mundo. Es a través de ella que los Estados Unidos de América operan los esfuerzos de apoyo humanitario y de fomento al desarrollo internacional

	con los objetivos de proteger la salud, disminuir la pobreza y fortalecer la democracia. En términos de cambio climático y medio ambiente, los objetivos que persiguen son: a) apoyar políticas de uso y tenencia de tierra que permitan administrar los recursos naturales de una manera más responsable, b) apoyar los esfuerzos contra la deforestación y conservación de los bosques, c) mejorar la productividad agrícola con el objetivo de contrarrestar la erosión y apoyar al crecimiento económico de las zonas rurales, d) proteger la biodiversidad tanto de ecosistemas como de especies en peligro de extinción y, e) fomentar políticas de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático. Algunas actividades ilustrativas del tipo de proyectos que USAID tiene en su Estrategia de Cooperación para el Desarrollo Regional de Centro América y México (CAM) se enfocan en: • Promover y expandir el uso de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes en toda la región que secuestren emisiones tales como algunas prácticas agroforestales. • Desarrollar la capacidad regional en políticas de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques (REDD +) y, cuando sea posible, aprovechar la experiencia de países, como México, que ya han desarrollado y están implementando políticas y procedimientos similares para escalar a la región. • Apoyar a instituciones nacionales de energía para fomentar el desarrollo del mercado energético regional, así como mejorar el entorno empresarial para la inversión en energías renovables. • Desarrollar propuestas de mejora regulatoria e incentivos financieros para proyectos de eficiencia energética, tanto públicos como privados. Enlace de interés: https://www.usaid.gov https://www.grants.gov/ https://beta.sam.gov/
Global Green Growth Institute (GGGI)	Tipo: Donación El <i>Global Green Growth Institute</i> (GGGI) se formó para ayudar a los países en desarrollo y las economías emergentes a lograr un desarrollo sustentable. El GGGI facilita y promueve la transición hacia una economía verde baja en carbono, brindando asesoramiento sobre políticas y apoyo técnico en el desarrollo de planes, políticas y regulaciones de crecimiento verde, movilización de inversiones verdes, implementación de proyectos, desarrollo de capacidades locales e intercambio de conocimientos. El GGGI tiene un programa regional para América Latina asentado en México. Este programa está apoyando el desarrollo e implementación de Estrategias Estatales de Crecimiento Verde, con mecanismos para mejorar el acceso al financiamiento para la reforma del transporte público. Enlaces de interés: https://gggi.org/how-we-work/ https://gggi.org/country/mexico/

	https://gggi.org/project/improving-public-transportation-systems-in-mexico/
Sociedad Alemana de Cooperación Internacional (GIZ)	Tipo: Donación La GIZ ofrece asistencia técnica en varios sectores a los gobierno nacional y municipal, incluyendo: comercio, mitigación y adaptación al cambio climático, movilidad urbana, formación profesional, entre otros. Dentro de sus actividades se destaca el programa de Infraestructura sostenible, el cual incluye: agua, energía y transporte. Los servicios de apoyo de la GIZ brindan apoyo desde la redacción del concepto hasta la implementación del proyecto de infraestructura, así como en las evaluaciones financieras y de impacto finales. El producto y servicio “Infraestructura sostenible” se divide en varias áreas alrededor del agua, energía y transporte, enfocándose en la capacitación y asesoría. La política de gestión hídrica está enfocada en el suministro eficiente del sistema de agua. Esta línea de trabajo busca garantizar el derecho al agua potable. La gestión de recursos hídricos se basa en la gestión sostenible, climáticamente, del manejo del agua. La GIZ también apoya en la gestión de residuos y reciclaje, previniendo el impacto que generan en la salud, medio ambiente y el clima. Dentro del área energética, desarrolla el suministro de energía básica orientada a la pobreza y fomentando que la producción de energía sea basada a través de combustibles renovables. También, cuenta con experiencia en la eficiencia energética, políticas de protección al clima. Dentro del área de transporte, el foco de apoyo es en el desarrollo de estudios de movilidad, o para complementar en la política estatal o nacional en infraestructura del transporte. Otros ámbitos importantes de la cooperación germano-mexicana son la cooperación con el sector privado y la promoción de un sistema dual de formación profesional inspirado en la experiencia alemana. Enlaces de interés: https://www.giz.de/en/html/about_giz.html https://www.giz.de/en/ourservices/sustainable_infrastructure.html https://www.giz.de/en/worldwide/33041.html

Conclusiones

Tal como se especifica en el último informe del IPCC, el mundo se encuentra en un punto crítico en donde es necesario tomar acción inmediata para prevenir los efectos más adversos del cambio climático.

Tulum al ser un municipio costero es particularmente vulnerable a los fenómenos hidrometeorológicos, como ciclones tropicales. Se espera que los aumentos de temperatura de los siguientes años tengan como consecuencia incrementos en la intensidad de los ciclones tropicales. Además de la pérdida de la vida humana, los ciclones tropicales de categorías altas han causado daños significativos en pérdidas materiales, ya sea en infraestructura o interrupciones a las actividades económicas. Las lluvias extremas causadas por fenómenos hidrometeorológicos también tienen un alto potencial de interrupción al municipio. Aproximadamente el 14% del área municipal tiene niveles Altos y Muy Altos de riesgo a inundaciones. Destaca la alta cantidad de viviendas ubicadas en zonas de Alto riesgo.

Al mismo tiempo, el acelerado crecimiento de la mancha urbana ha generado una gran pérdida de cobertura vegetal. Del 2001 al 2010 el promedio anual de pérdida de cobertura forestal fue de 637 hectáreas. Del 2016 al 2020 el promedio aumentó a 808 hectáreas, llegando a un máximo anual de 1552 ha en el 2020. **La degradación de la vegetación es la principal fuente de emisiones de efecto invernadero en el municipio.** La remoción de vegetación libera grandes cantidades de carbono previamente almacenado en la vegetación a la atmósfera y reduce los sumideros de CO₂ naturales proporcionados por la cobertura arbolea. En términos de riesgos climáticos, la deforestación incrementa la vulnerabilidad del suelo a erosión aumentando el riesgo de hundimientos y de ser pavimentada, reduciendo la permeabilidad natural del suelo por lo que incrementa el riesgo de inundaciones. Al mismo tiempo, la vegetación ayuda a regular la temperatura a través de la evapotranspiración y la generación de sombra por lo que una reducción en vegetación incrementa el riesgo y exposición a olas de calor.

Últimamente, la pérdida de vegetación reduce la capacidad adaptativa municipal potencializando los efectos adversos del cambio climático.

El incremento de temperatura oceánica, la reducción de disponibilidad de luz y oxígeno ocasionado por el incremento en el volumen del sargazo, y la reducción de la calidad del agua han contribuido a la degradación de los arrecifes de la región. Es esencial contrarrestar y detener la degradación ambiental de Tulum ya que sus ecosistemas son la primera línea de defensa contra las afectaciones del cambio climático y al ser una parte importante del atractivo turístico de la región su degradación ocasionara pérdidas económicas directas como ha ocurrido con el incremento de sargazo.

Para poder contrarrestar los riesgos identificados en el análisis de riesgos y vulnerabilidades es necesario incrementar la resiliencia climática municipal a través de las 6 líneas de acciones propuestas en el plan de acción climática.

Estas líneas de acción abordan los riesgos de inundaciones, ciclones tropicales, sequías, olas de calor, incendios forestales, hundimientos y afectaciones a ecosistemas a través de medidas de educación (Incrementar el conocimiento de riesgo de desastres y cambio climático y Fortalecer el programa de prevención y manejo de incendios), infraestructura (Promover infraestructura resiliente), ordenamiento territorial (Incorporar la perspectiva de resiliencia climática en el ordenamiento territorial), capacidad de respuesta a desastres (Ampliar el sistema de alerta temprana) e instrumentos financieros (Incrementar la resiliencia climática a través de seguros).

En cuanto a emisiones, **en el 2018 el municipio de Tulum emitió 289,613 toneladas de CO₂ equivalente** de las cuales 37.5% corresponden a consumo de energía estacionaria, 16.7% al transporte, 5.8% a residuos y 40.1% al cambio de uso de suelo.

Se espera que con la implementación de las medidas de mitigación descritas en el plan de acción climática en el 2030 las emisiones se reduzcan un 26.7% con respecto al Escenario BAU. La mayor parte la reducción de emisiones vendrá de la prevención de la deforestación, seguido por implementación de medidas de gestión de residuos. Ambas medidas tendrán cobeneficios significativos en la calidad de vida y salud de los ciudadanos de Tulum y ayudarán a conservar el paisaje del municipio el cual es uno de sus principales atractivos turísticos. Tulum tienen un gran potencial de generación de energía fotovoltaica por lo que se impulsará su uso en viviendas y comercios a través de incentivos. Esto no solo ayudará a reducir la huella de carbono municipal, sino que a largo plazo generará ahorros económicos a los tulumenses e incrementará la resiliencia energética municipal. En términos de eficiencia energética, se implementarán programas orientados a robustecer los requisitos de eficiencia energética en edificios nuevos e incentivar y promover los beneficios de reacondicionar edificios existentes. Por parte del transporte, se espera que la implementación de un programa de verificación vehicular promueva mejores prácticas de mantenimiento y por lo tanto mejor la eficiencia de los vehículos existentes. A su vez se busca cambiar la distribución modal municipal para incentivar el transporte público y activo.

Para lograr los objetivos e implementar las acciones planteadas en este documento, el municipio se compromete a trabajar y solicitar apoyo para fortalecer las capacidades institucionales, específicamente aumentar las capacidades financieras y de personal. Las mejoras en capacidades institucionales son esenciales no solo para el cumplimiento de las metas climáticas municipales sino también para brindar mayor solides administrativa municipal.

Al generar su primer plan de acción climática el municipio de Tulum se suma a la lista de municipios mexicanos que están contribuyendo de manera activa y organizada a

la reducción de emisiones de GEI y el incremento de la capacidad adaptativa municipal ante el cambio climático.

El cumplimiento de un Plan de Acción Climática no es una acción individual por lo que su cumplimiento dependerá no solo de la voluntad municipal sino también de la colaboración con diferentes instituciones gubernamentales, ONGs, instituciones privadas, y la ciudadanía para implementar y financiar las acciones propuestas en la hoja de ruta de este documento.

La elaboración de este plan marca un hito importante en la política climática municipal. Se espera que la hoja de ruta ayude al municipio a acceder a diferentes fuentes de financiamiento y de esta manera agrandar su ambición climática para eventualmente alcanzar la carbono neutralidad en el 2050, cumpliendo con los objetivos del Acuerdo de Paris y mantener el aumento de temperatura por debajo de los 2°C. Es espera que su cumplimiento genere la inercia necesaria para que con el tiempo incrementar la ambición climática municipal.



Anexo A: Clasificación de intensidad de la sequía

Cuadro 44: Clasificación de la intensidad de la sequía de acuerdo con el Monitor de Sequía de América del Norte (NADM), retomada dentro del Monitor de Sequía en México (MSM). (CONAGUA, s.f.)

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

Anexo B: Mapas de Escenario de Cambio Climático

Los siguientes mapas de escenarios de cambio climático, fue el resultado del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático para generar el reporte de la Quinta Comunicación Nacional de México a la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático. Se generaron archivos de datos georreferenciados de promedios mensuales de temperatura máxima, mínima y promedio en °C, así como de precipitación promedio mensual en mm y en porcentaje de cambio, los cuales son presentados a continuación para el municipio de San Cristóbal de las Casas. El modelo CNRM-CM5 fue homogeneizado a la resolución espacial de 0.5° x 0.5°. procesado con muy alta resolución espacial 30"x30". Se analizaron los datos para los escenarios 4.5 y 8.5 de forzamiento radiativo, denominados Trayectorias Representativas de Concentraciones (RCP, por sus siglas en inglés) se analizaron horizontes a futuro cercano (2015-2039), futuro medio (2045-2069) y a futuro lejano (2075-2099). (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

Temperatura mínima RCP 4.5

Figura 56: Escenario de cambio climático- Horizonte futuro cercano (2015-2039) Temperatura mínima, Municipio de Tulum. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

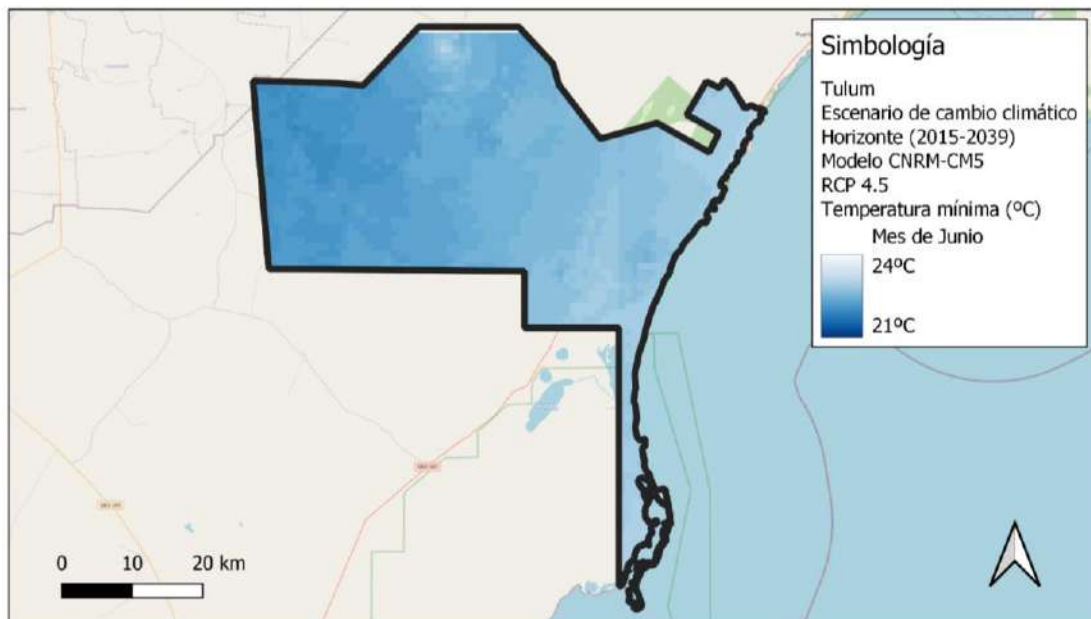


Figura 57: Escenario de cambio climático- Horizonte futuro medio (2045-2069)
Temperatura mínima promedio. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

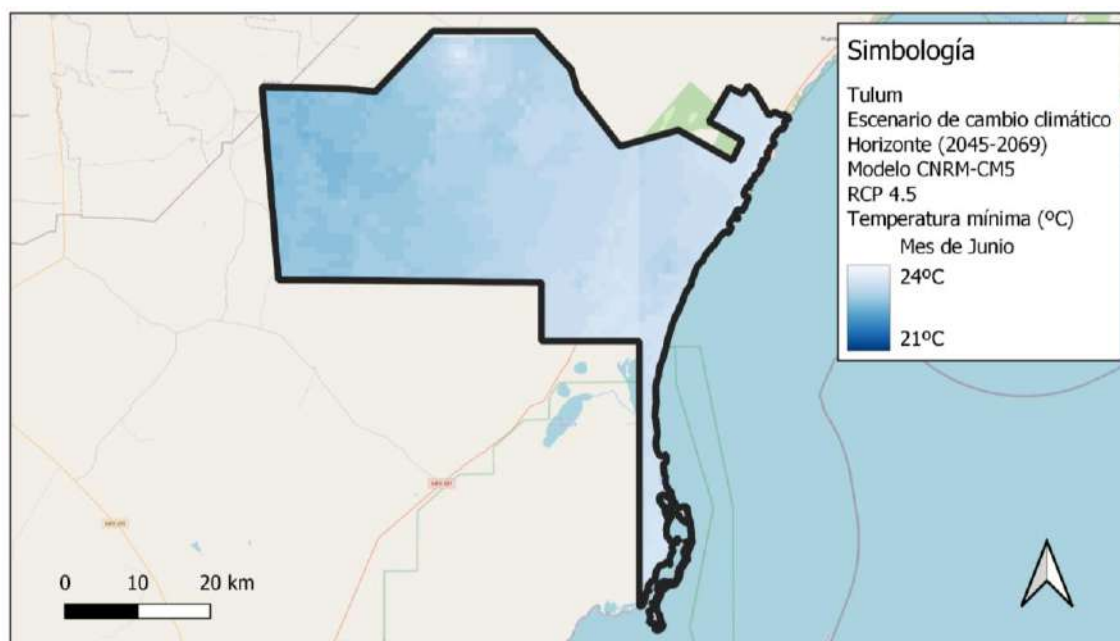
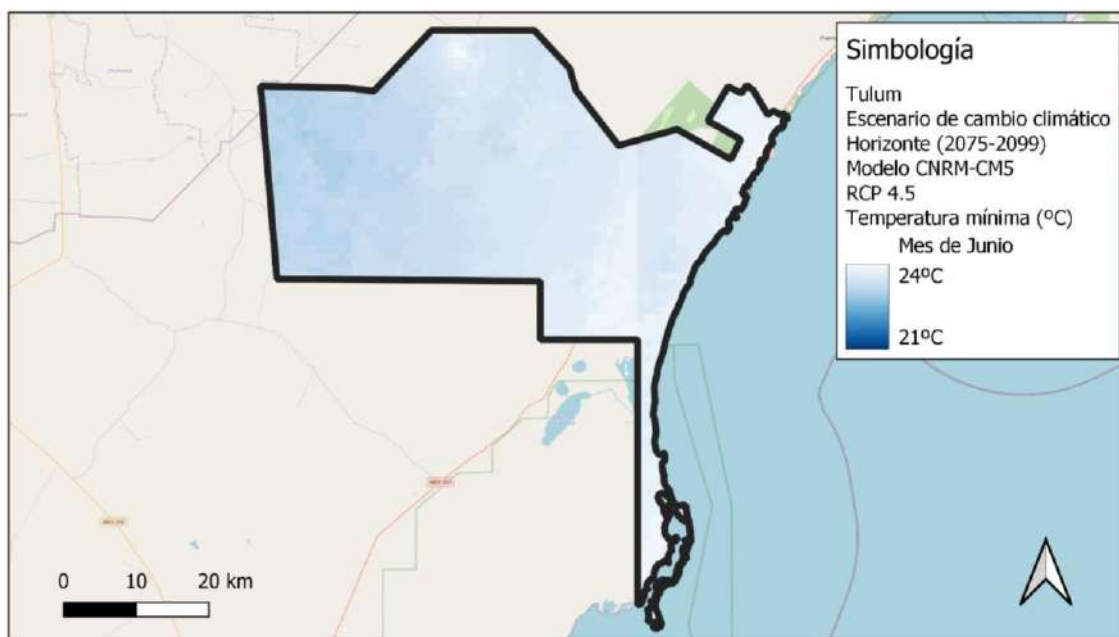


Figura 58: Escenario de cambio climático- Horizonte futuro lejano (2075-2099)
Temperatura mínima promedio. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)



Temperatura mínima RCP 8.5

Figura 59: Escenario de cambio climático- Horizonte (2015-2039) Temperatura mínima. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

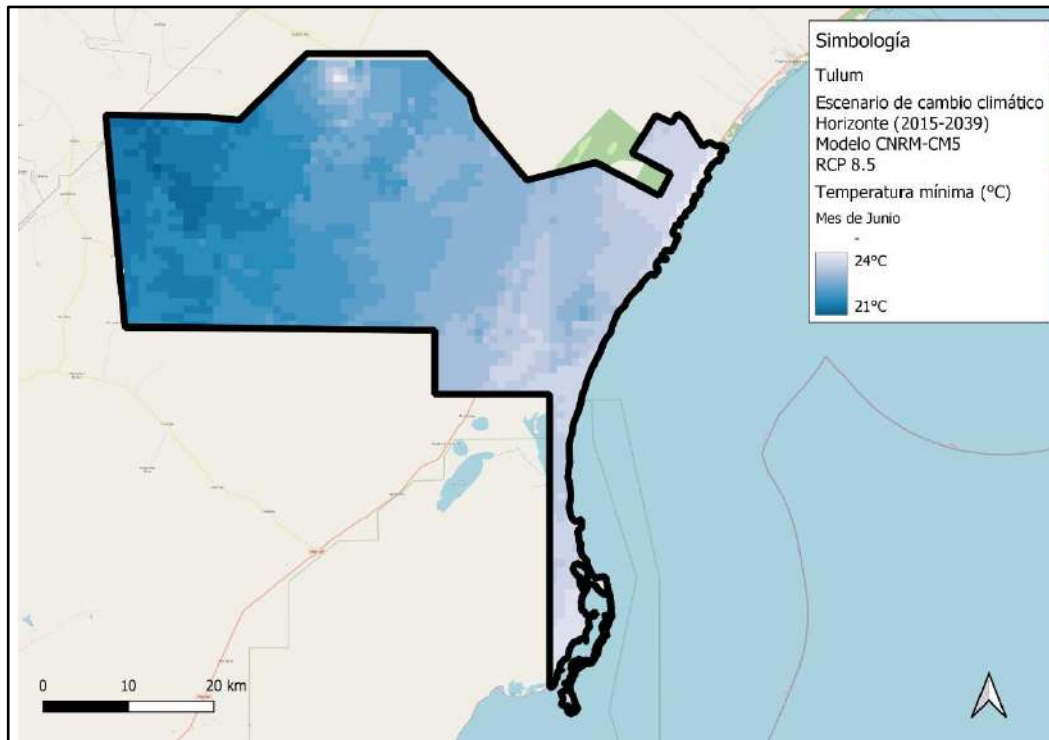


Figura 60: Escenario de cambio climático- Horizonte (2045-2069) Temperatura mínima. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

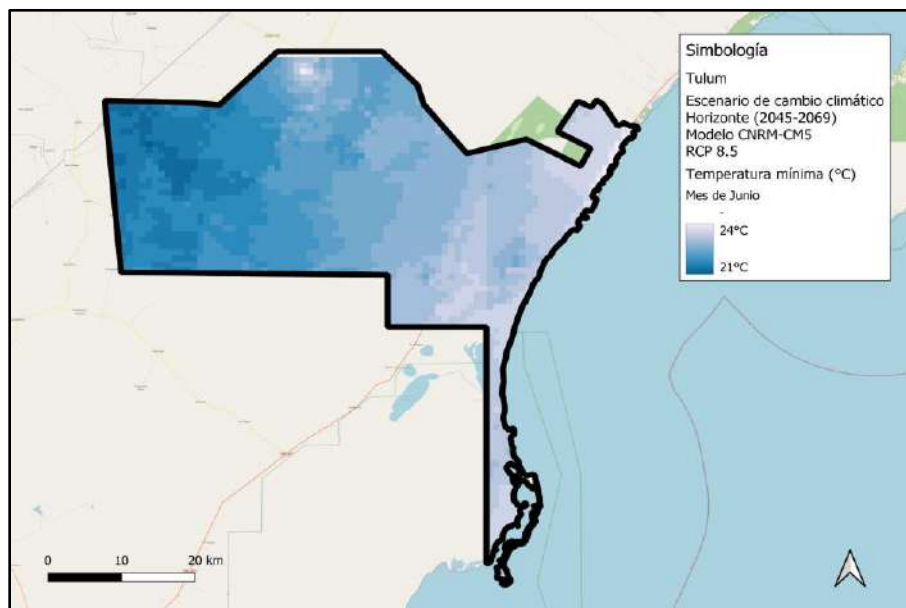
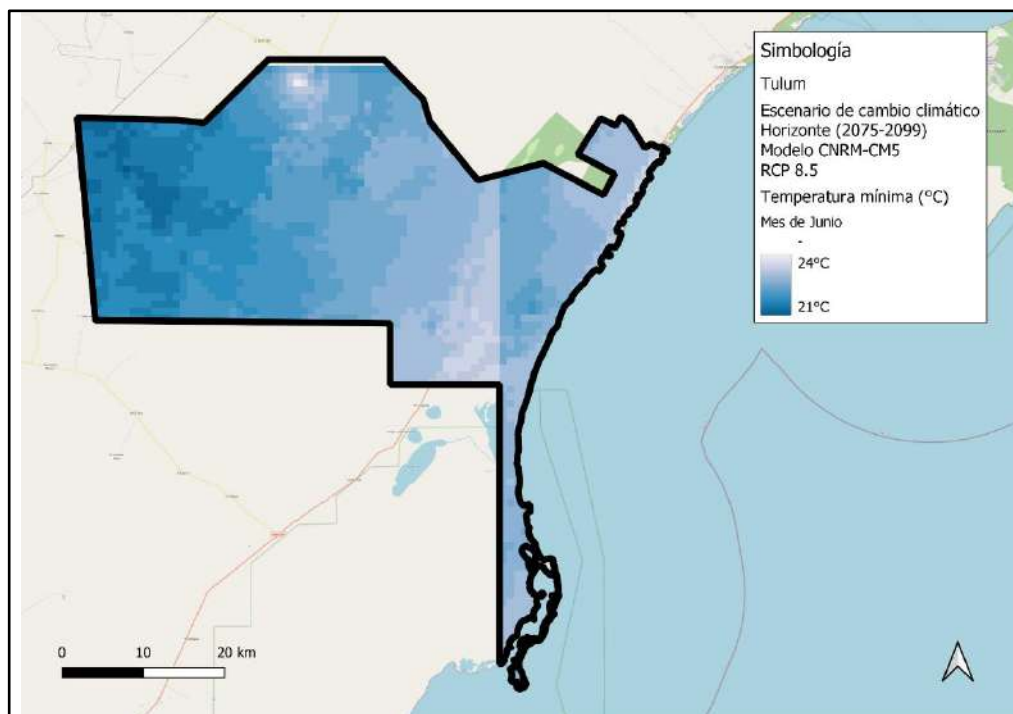


Figura 61: Escenario de cambio climático- Horizonte (2075-2099) Temperatura mínima. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)



Temperatura máxima RCP 4.5

Figura 62: Escenario de cambio climático- Horizonte futuro medio (2045-2069) Temperatura máxima promedio. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

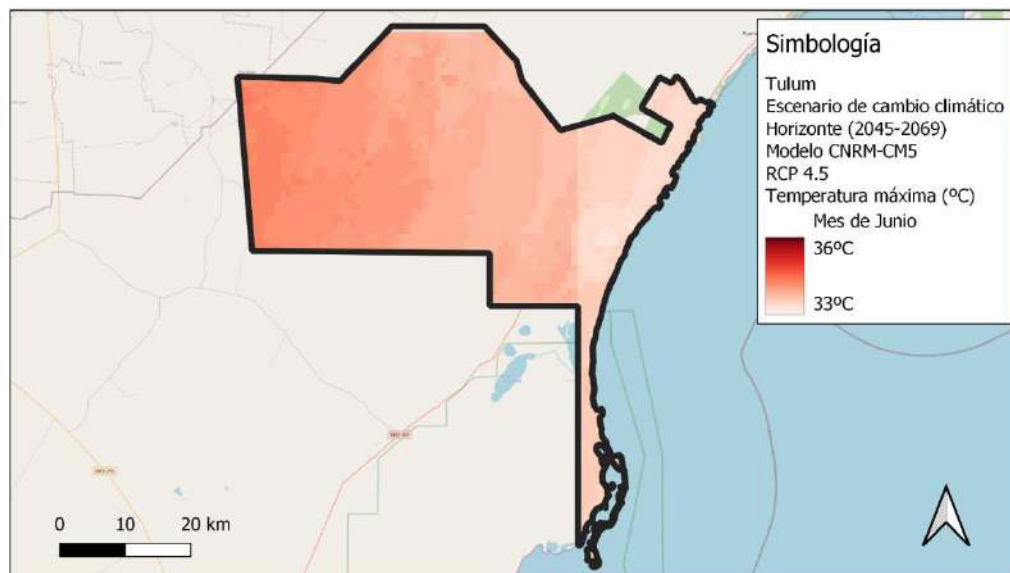
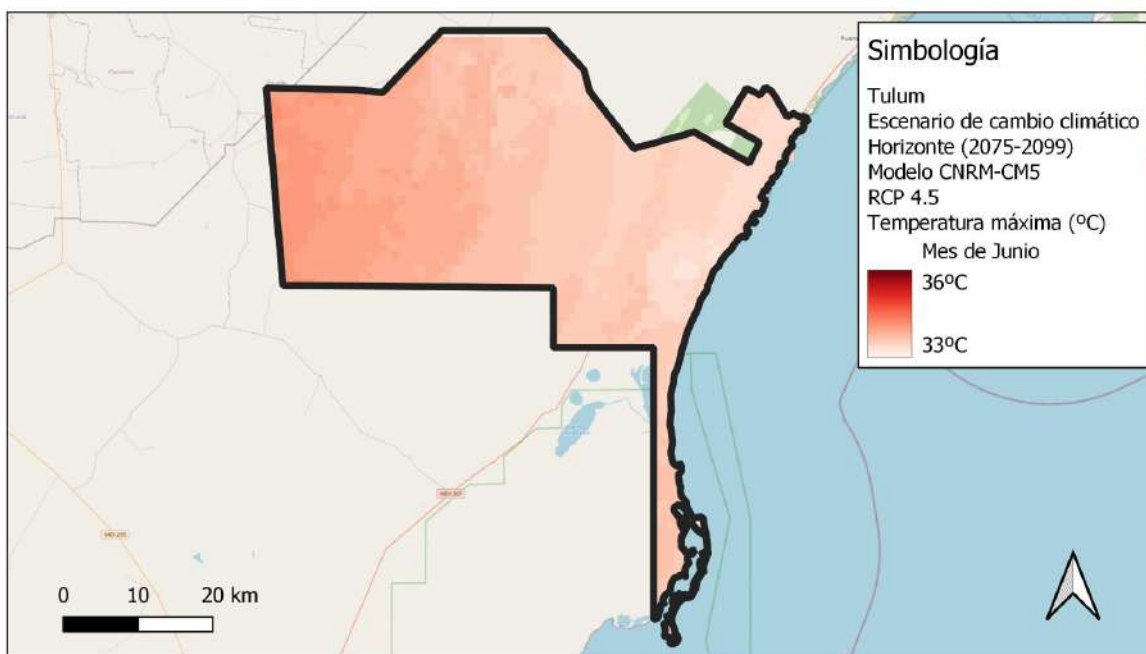


Figura 63: Escenario de cambio climático- Horizonte futuro lejano (2075-2099) Temperatura máxima promedio. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)



Temperatura máxima RCP 8.5

Figura 64: Escenario de cambio climático- Horizonte (2015-2039) Temperatura máxima. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

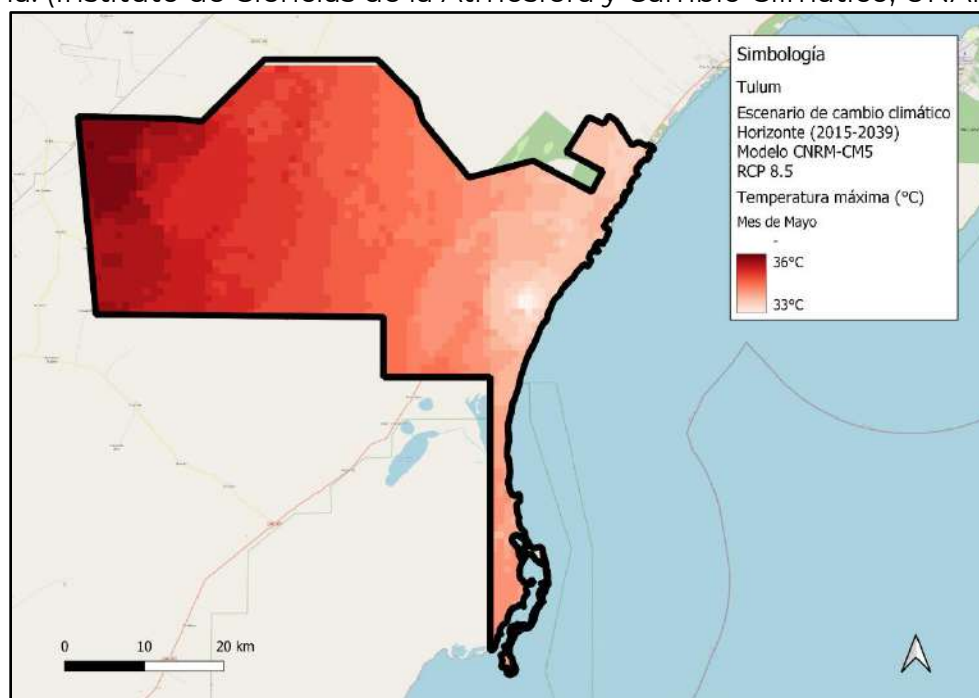


Figura 65: Escenario de cambio climático- Horizonte (2045-2069) Temperatura máxima. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

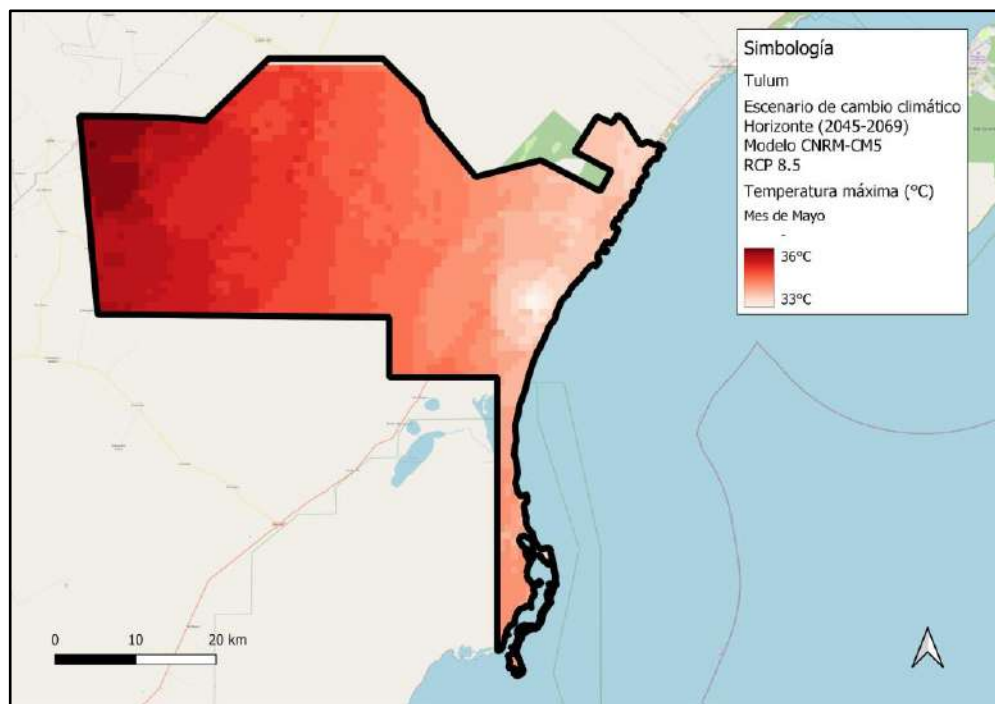
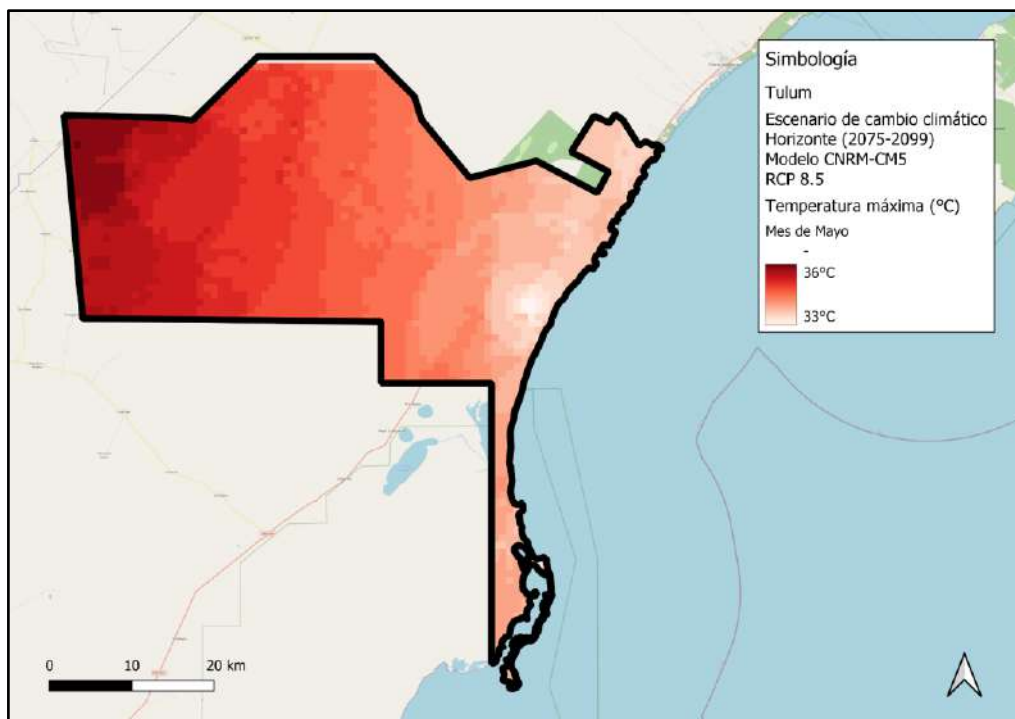
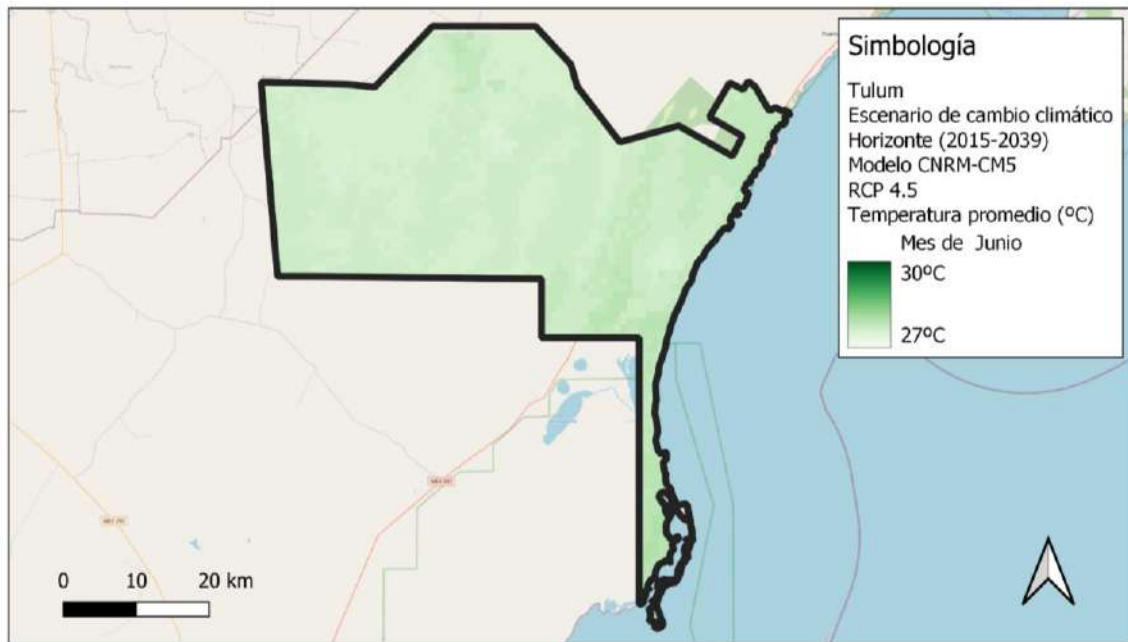


Figura 66: Escenario de cambio climático- Horizonte (2075-2099) Temperatura máxima. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)



Temperatura promedio RCP 4.5

Figura 67: Escenario de cambio climático- Horizonte futuro cercano (2015-2039)
Temperatura promedio. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático,
UNAM, 2022)



Figura

68: Escenario de cambio climático- Horizonte futuro medio (2045-2069)
Temperatura promedio. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático,
UNAM, 2022)

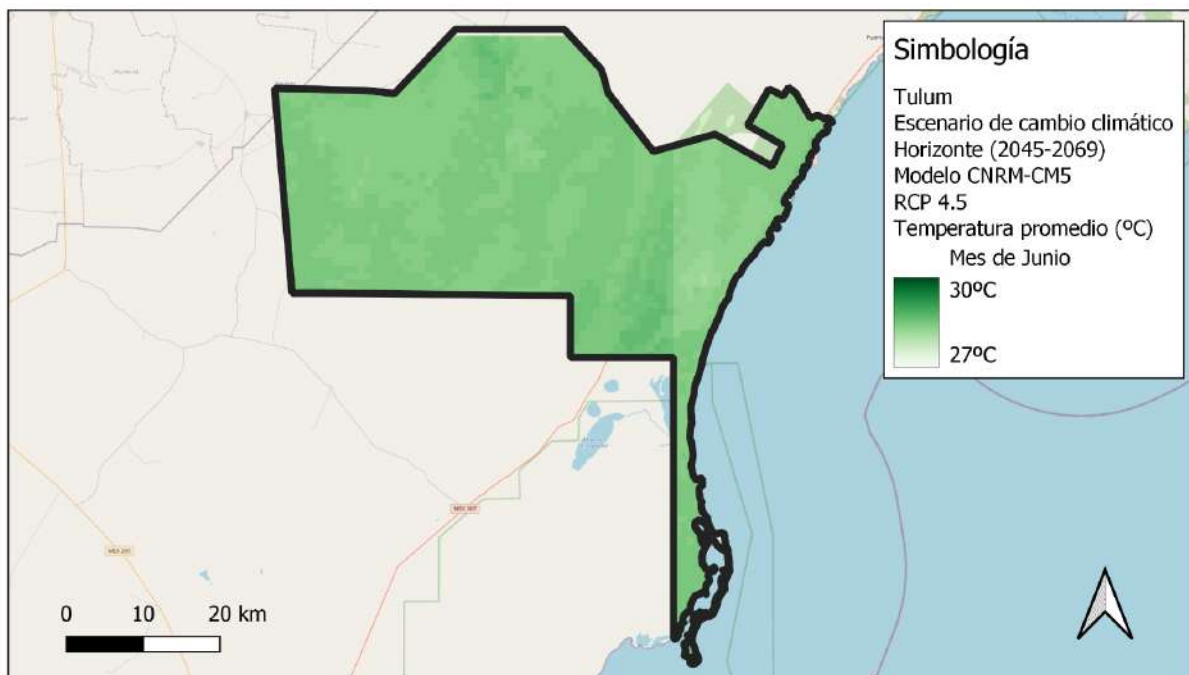
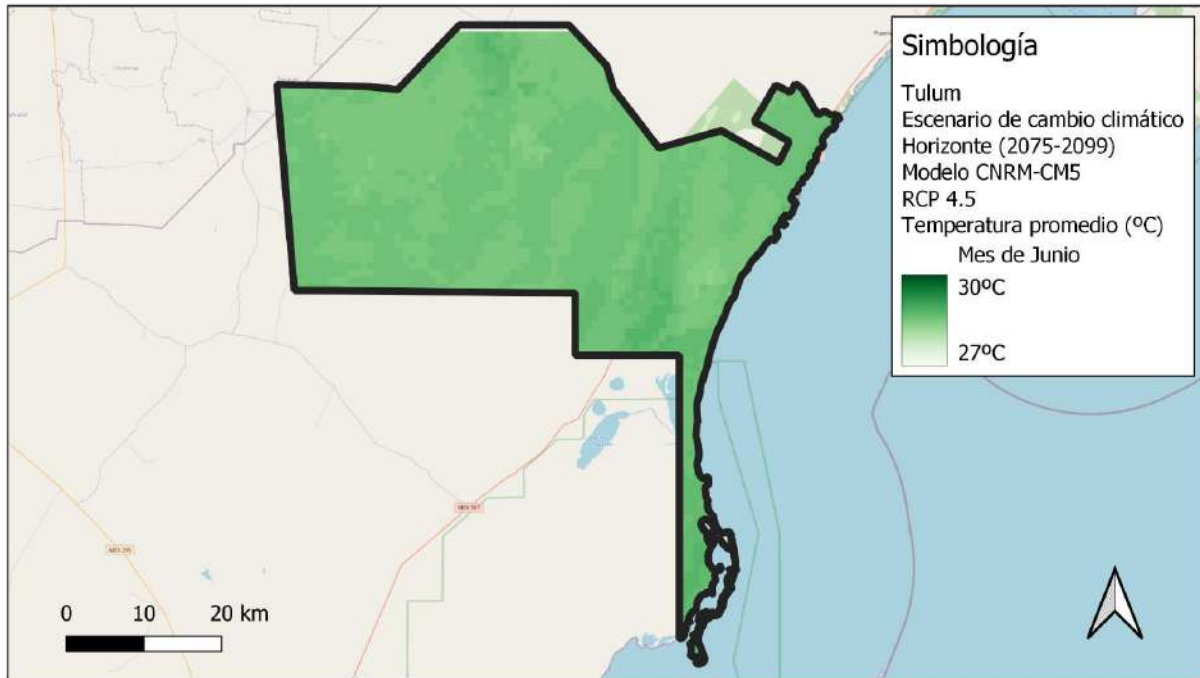


Figura 69: Escenario de cambio climático- Horizonte futuro lejano (2075-2099) Temperatura promedio. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)



Temperatura promedio RCP 8.5

Figura 70: Escenario de cambio climático- Horizonte (2015-2039) Temperatura promedio. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

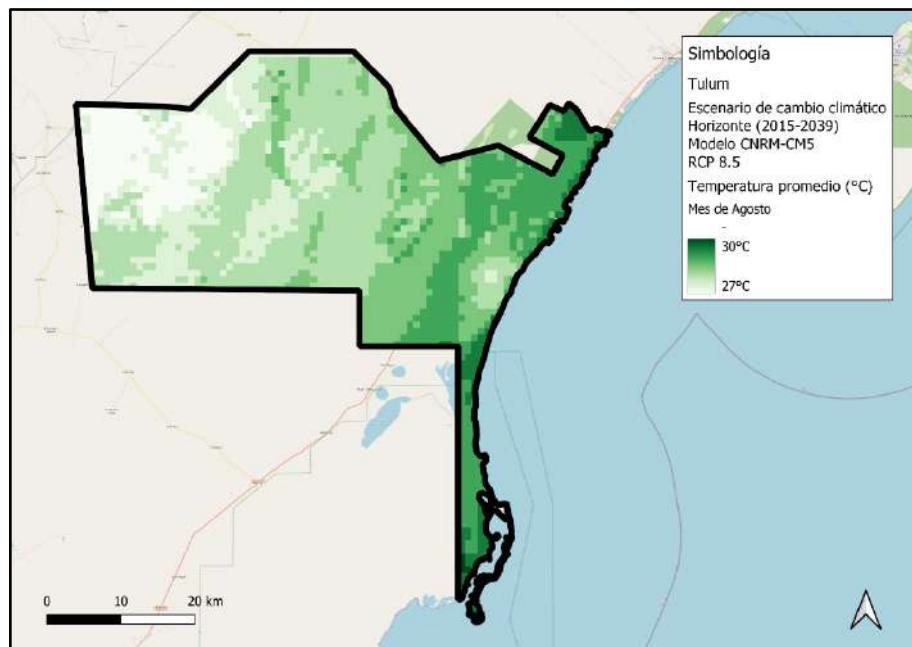


Figura 71: Escenario de cambio climático- Horizonte (2045-2069) Temperatura promedio. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

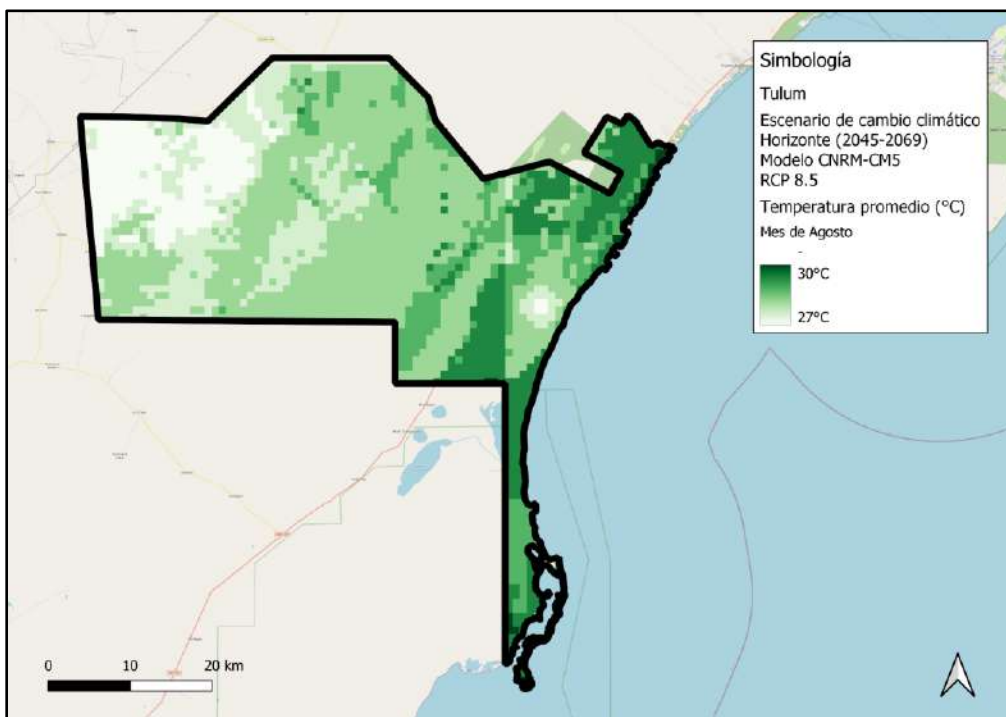
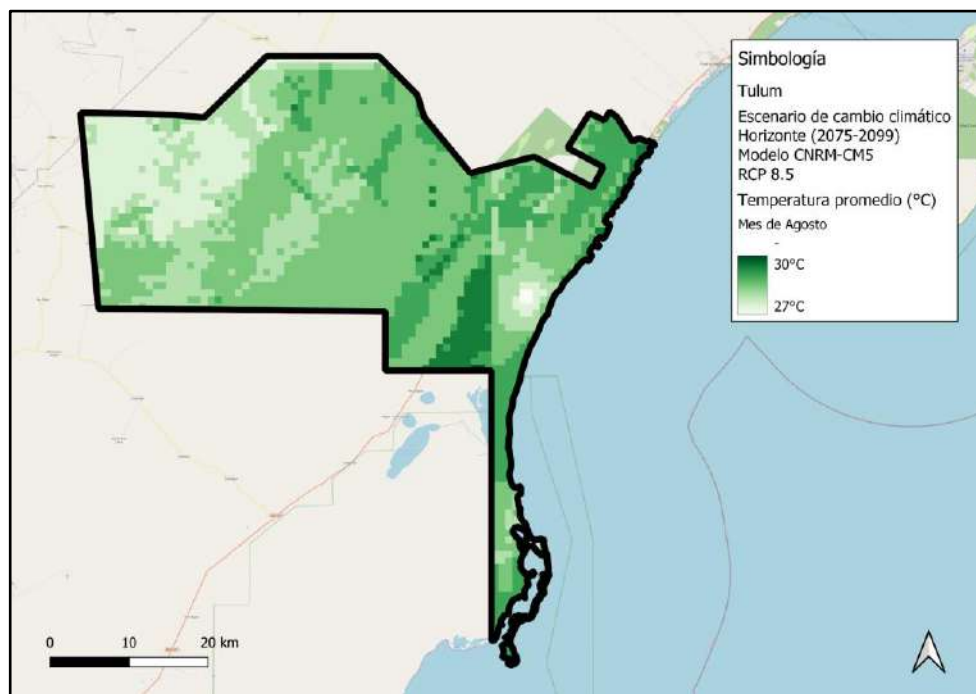


Figura 72: Escenario de cambio climático- Horizonte (2075-2099) Temperatura promedio. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)



Precipitación RCP 4.5

Figura 73: Escenario de cambio climático- Horizonte futuro cercano (2015-2039)
Precipitación. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

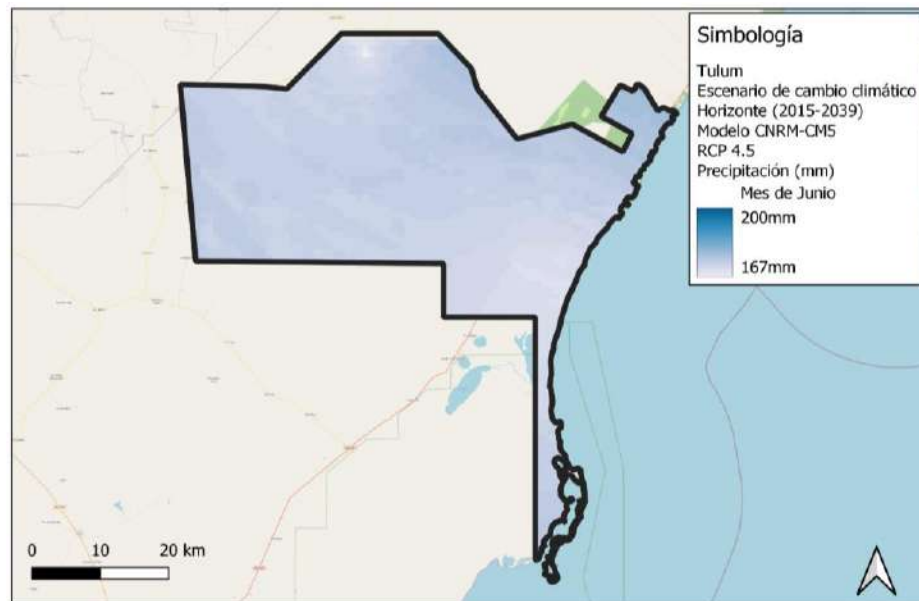


Figura 74: Escenario de cambio climático- Horizonte futuro medio (2045-2069)
Precipitación. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

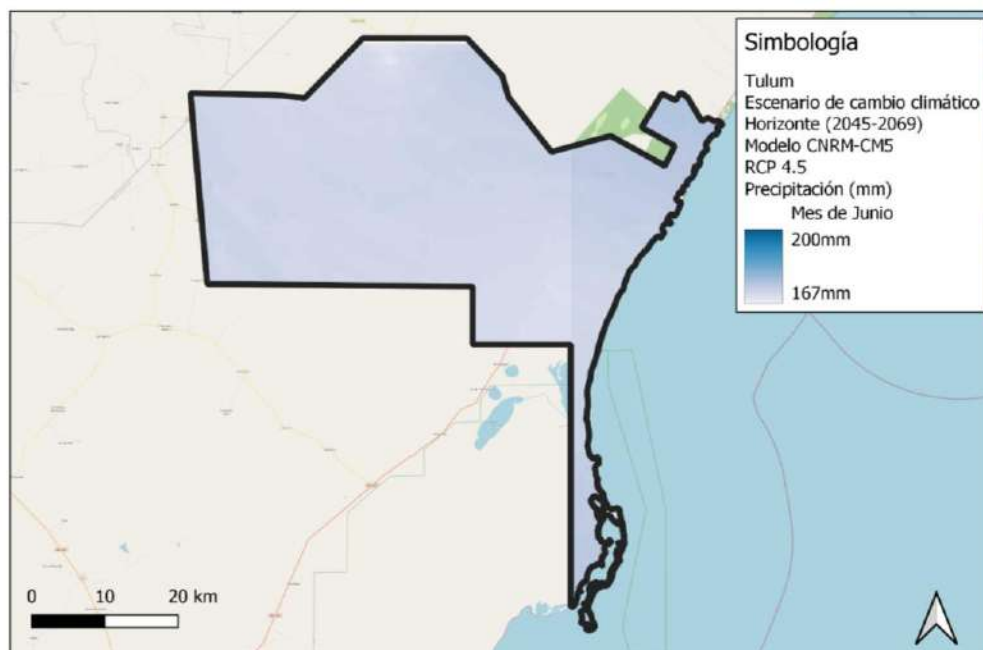
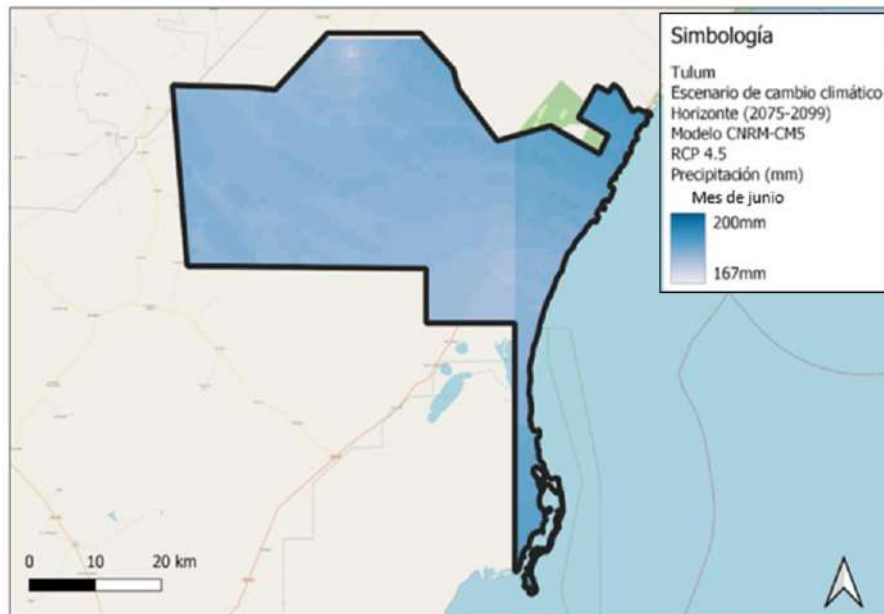


Figura 75: Escenario de cambio climático- Horizonte futuro lejano (2075-2099) Precipitación. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)



Precipitación RCP 8.5

Figura 76: Escenario de cambio climático- Horizonte (2015-2039) Precipitación. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

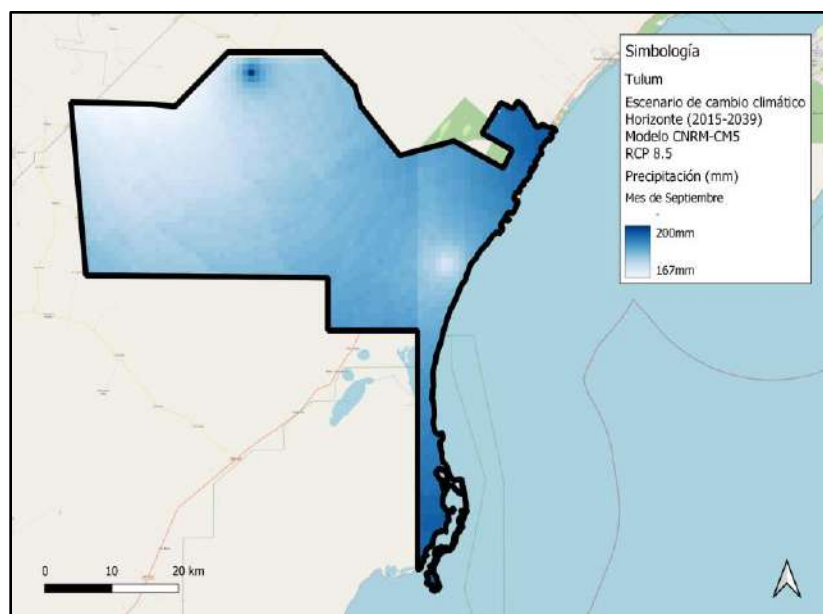


Figura 77: Escenario de cambio climático- Horizonte (2045-2069) Precipitación.
(Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

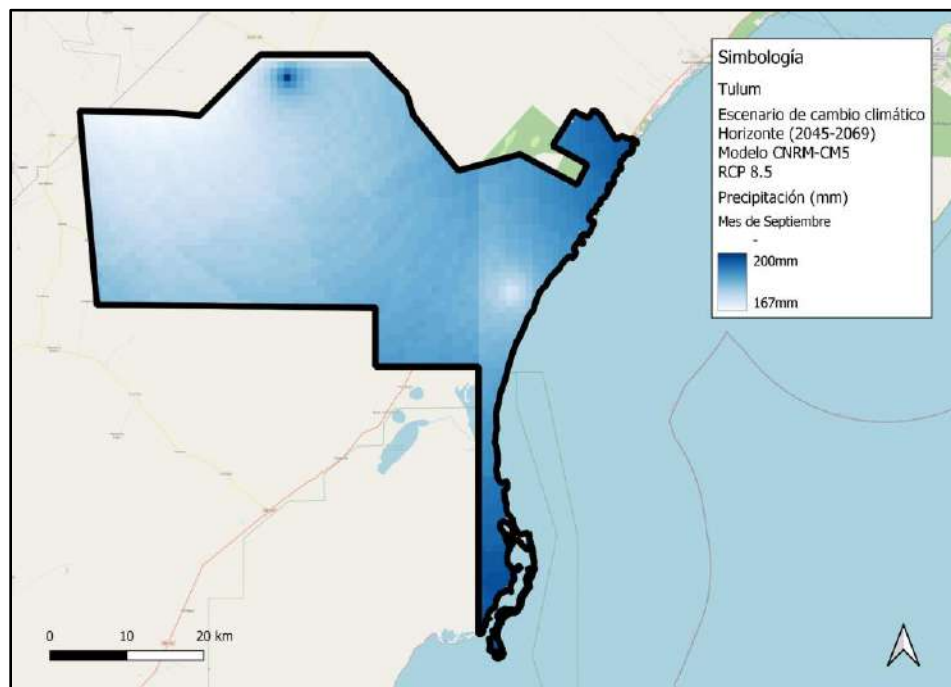
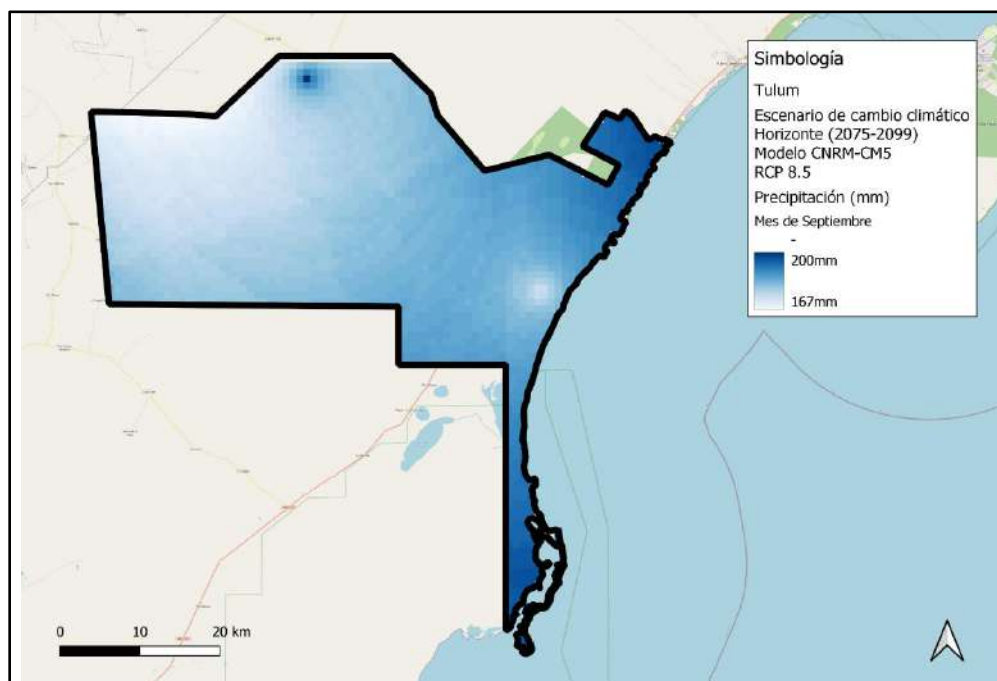


Figura 78: Escenario de cambio climático- Horizonte (2075-2099) Precipitación.
(Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)



Porcentaje de cambio en precipitación 4.5

Figura 79: Escenario de cambio climático- Horizonte (2015-2039) Porcentaje de cambio en precipitación. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

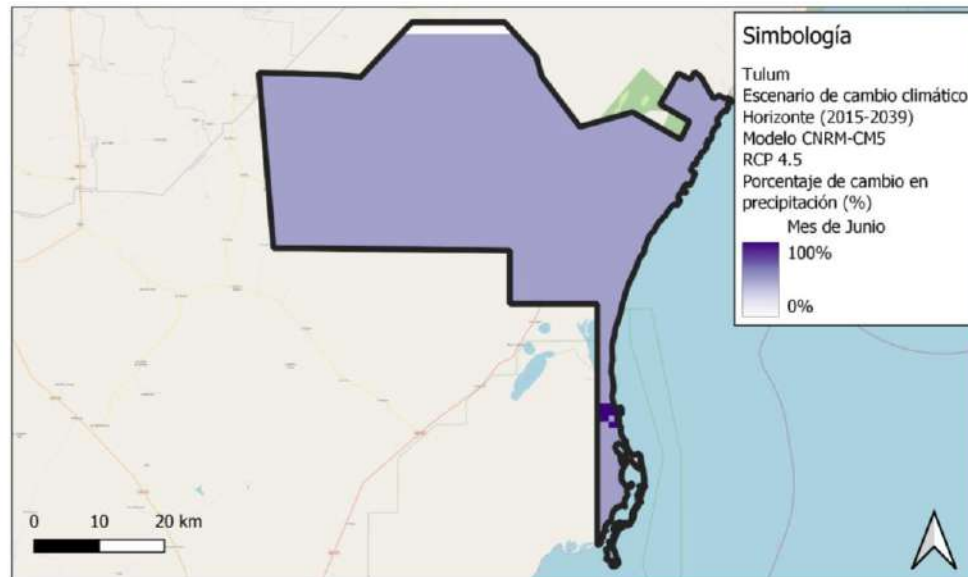


Figura 80: Escenario de cambio climático- Horizonte (2045-2069) Porcentaje de cambio en precipitación. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

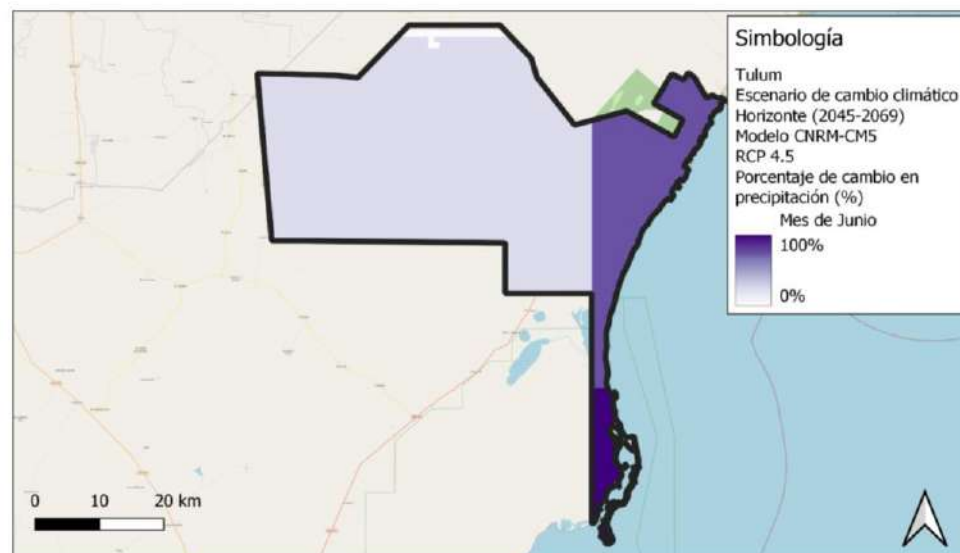
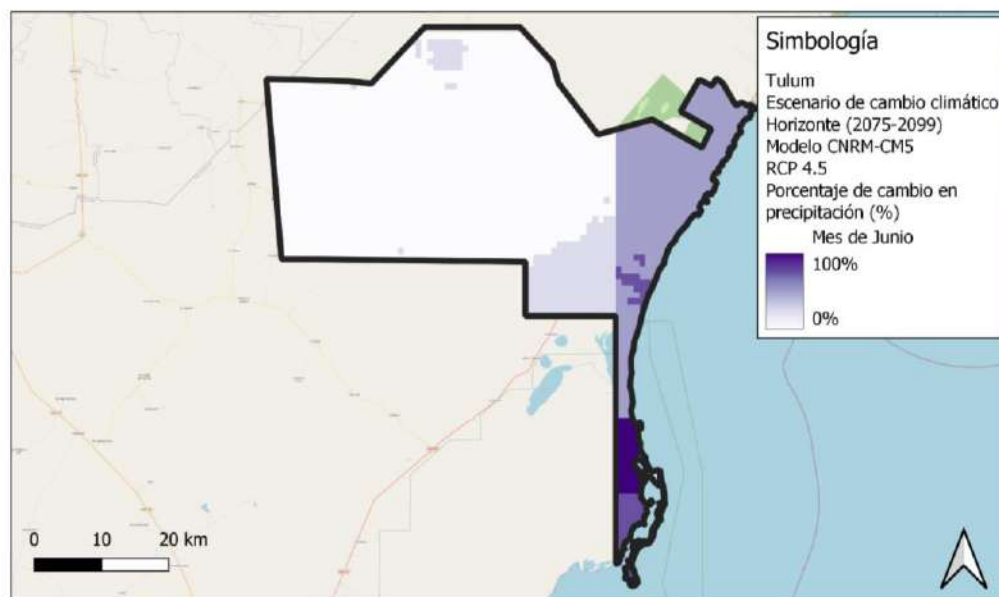


Figura 81: Escenario de cambio climático- Horizonte (2075-2099) Porcentaje de cambio en precipitación. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)



Porcentaje de cambio en precipitación 8.5

Figura 82: Escenario de cambio climático- Horizonte (2015-2039) Porcentaje de cambio en precipitación. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

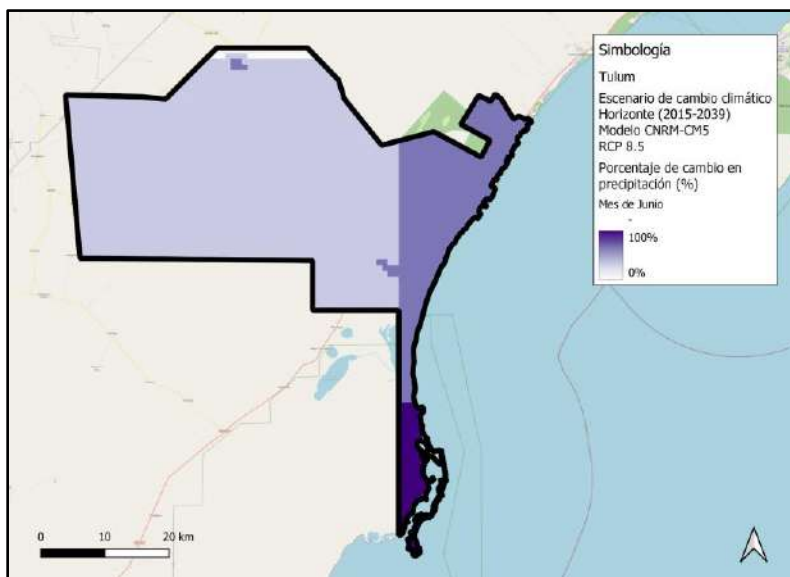


Figura 83: Escenario de cambio climático- Horizonte (2045-2069) Porcentaje de cambio en precipitación. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

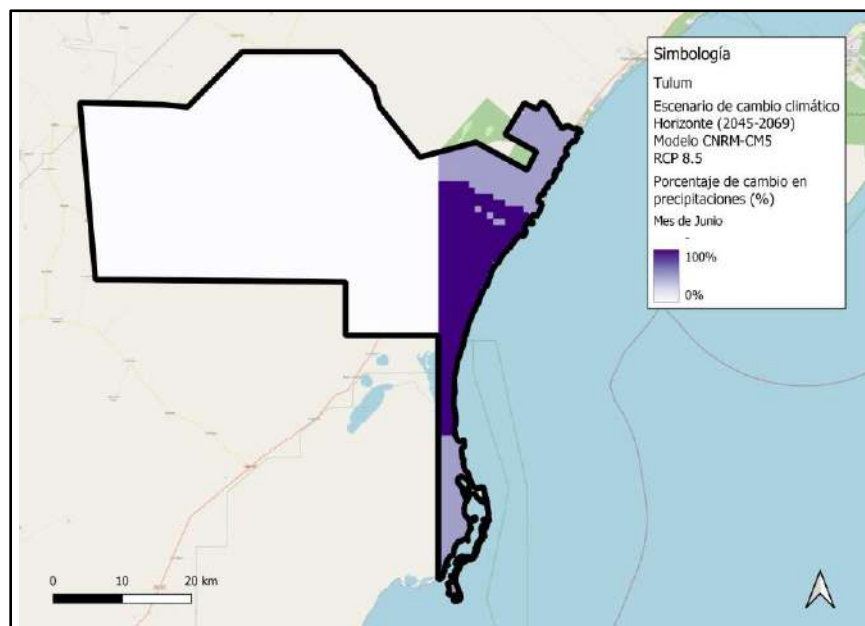
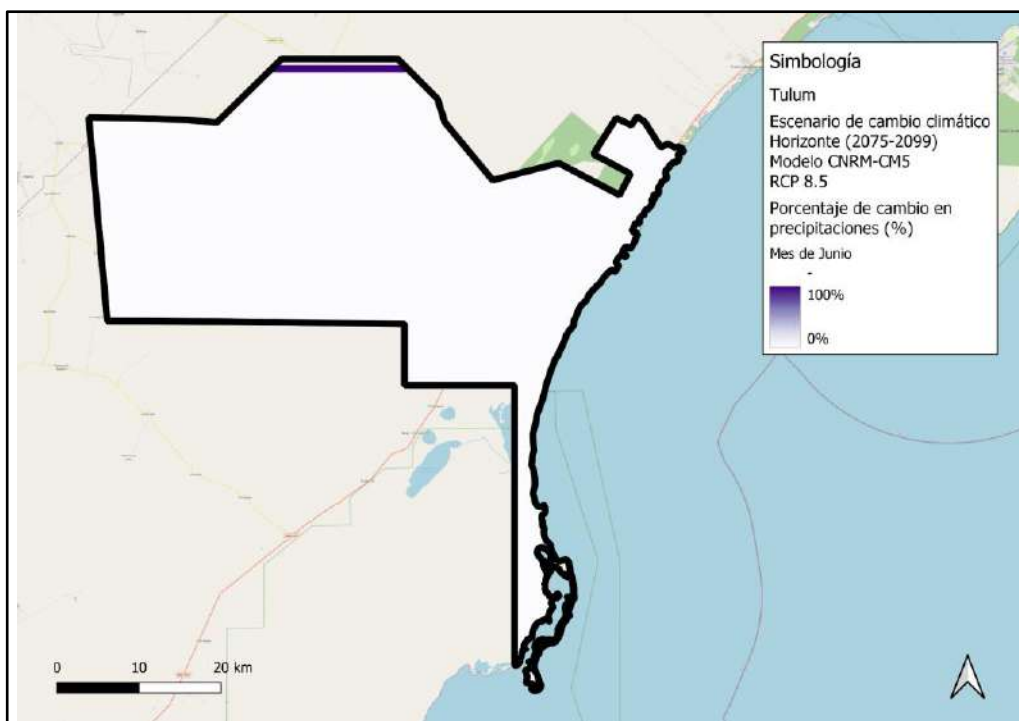


Figura 84: Escenario de cambio climático- Horizonte (2075-2099) Porcentaje de cambio en precipitación. (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, 2022)

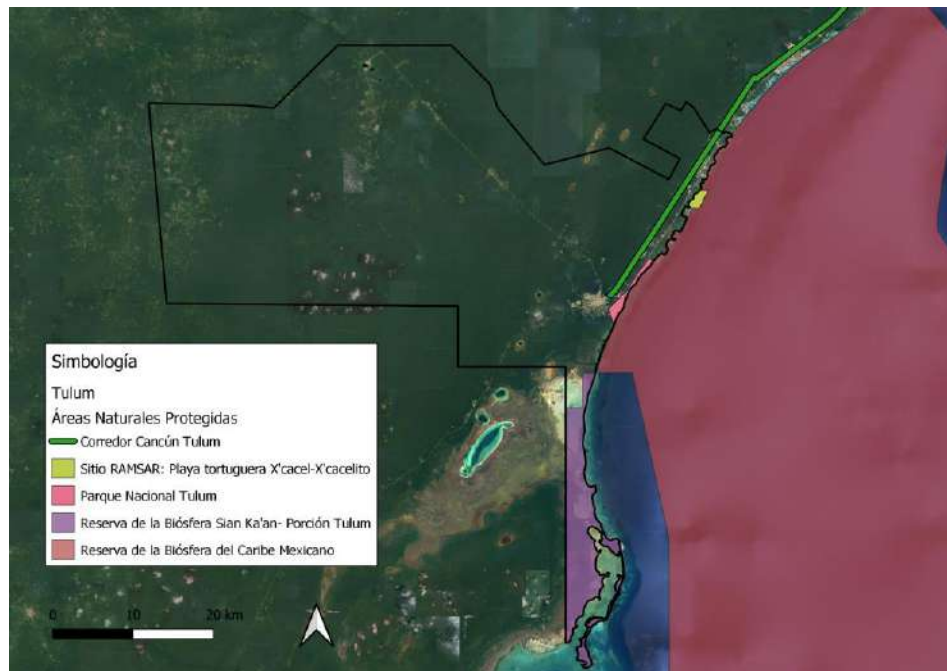


Anexo C: Áreas Naturales Protegidas

Reserva de la Biósfera Sian Ka'an

Esta reserva fue declarada Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 1987 siendo la 5ta Área Natural Protegida (ANP) incorporada a la lista de las Reservas de la Biosfera del Programa *Man and the Biosphere* (MaB, por sus siglas en inglés). Delimitando 528,148 ha (Gobierno de Quintana Roo, s.f.a) totales como la primera Reserva de la Biósfera del estado; abarcando una superficie marina de hasta 153,135.79 ha. El esquema de áreas protegidas¹⁶ ha involucrado también el mantenimiento de culturas vivas y sitios arqueológicos de gran importancia que se han ubicado dentro de algunas de estas áreas, como es el caso de Sian Ka'an, Dzibilchaltun, Calakmul, Palenque, etc. (CONANP, 2018).

Figura 85: Áreas Naturales Protegidas del municipio de Tulum



¹⁶ Para el adecuado manejo de las ANP se ha establecido un esquema de zonificaciones, en el cual cada tipo de zona y subzona tiene objetivos de manejo distintos, lo que permite que dentro de un área decretada se puedan realizar diferentes actividades compatibles con los factores físicos, biológicos, sociales y económicos de la zona (art. 47 bis) (Diario Oficial de la Federación DOF, 2013). La categoría del ANP determina cuáles zonas y subzonas aplican en ella. Las zonas se categorizan en dos tipos principales, las zonas núcleo y las zonas de amortiguamiento; en cada ANP las zonas se definen en la declaratoria de creación de la misma (art. 47 bis 1) (DOF, 2013).

La Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an está incluida en la Lista de Patrimonio Mundial, de acuerdo con los criterios VII y X de la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural. Siendo estos los que mejor definen su relevancia ecológica (CONANP, 2018). "Junto con el Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil y la Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka'an conforman el Complejo Sian Ka'an con un área de 652 mil 192.97 hectáreas y comparten un solo programa de manejo" (CONANP, 2021b). Este complejo es compartido entre los municipios de Tulum, Bacalar, Othón P. Blanco y Felipe Carrillo Puerto, lo cual conlleva distintos modelos de gestión. Por otra parte, gracias a los esfuerzos de organizaciones, gobierno y academia, en conjunto con la sociedad civil local, ésta es un ejemplo de conservación de sus nueve ecosistemas y tres hábitats acuáticos incluyendo parte del sistema Mesoamericano Arrecifal.

Dentro de los ecosistemas y procesos ecológicos notables de la Reserva, destacan la representación importante de especies de flora y fauna endémicas de la región. Algunos ejemplos son la importante diversidad de aves (alrededor de 373 especies), la presencia de felinos americanos y sitios de anidación de tortugas marinas. Por otro lado, dentro de los representantes de la flora endémica de la región se encuentran el mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle negro (*Avicennia germinans*) y el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) (CONANP, 2021b).

El involucramiento de la sociedad local ha impulsado la diversificación de actividades económicas dentro de la región permitiendo así la implementación de programas de conservación y esquemas de ecoturismo. Algunos de los logros en estas áreas son la erradicación de especies invasoras como la casuarina (*Casuarina equisetifolia*) y el pez león (*Pterois spp*) y la creación de cooperativas pesqueras certificadas por el Marine Stewardship Council. Fauna como el jabirú, tapir, manatí, jaguar y pecarí son representantes de su diversidad (CONANP, 2021b).

Sin embargo, el Complejo Sian Ka'an, en su porción terrestre se encuentra en constante riesgo por la presencia de incendios, los cuales son recurrentes cada año en temporada de secas. De acuerdo con datos oficiales de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), se han reportado tasas de transformación de las cubiertas forestales de la Reserva entre los años 2000-2008 (Tapia & CONANP, 2009).

Parque Nacional Tulum

El Parque Nacional Tulum fue creado en 1981, y se ubica en el municipio de Tulum, en el estado de Quintana Roo. Tiene una extensión de 664.32 ha entre superficie terrestre y aguas continentales. Éste corresponde a la única área natural protegida del Corredor Cancún-Tulum. Albergando ecosistemas de selva mediana, humedales,

vegetación de duna costera, playas y cenotes donde se desarrollan una gran variedad de especies de flora y fauna representativas de la región. Así mismo, cuenta con 15 cenotes al interior, donde se tiene identificado que todo el sistema de cuevas subterráneas del municipio confluye al interior del Parque Nacional Tulum (CONANP, 2021a) (CONANP, 2018).

Es hogar de una gran variedad de especies de flora entre las cuales destacan la uva de mar, mangle negro, blanco y rojo, el chicozapote, la bromelia y el alacrancillo. Su fauna incluye el ocelote, tigrillo, jaguarundi, venado de cola blanca, pecarí de collar, loro yucateco y la calandria dorso naranja; éstas dos últimas son especies endémicas (CONANP, 2021a).

Al igual que la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an, el Parque Nacional Tulum es un sitio que mantiene y alberga algunos de los sitios arqueológicos de mayor importancia en el país, como las zonas arqueológicas mayas (CONANP, 2019):

- Zona Arqueológica de Tulum
- Zona Arqueológica de Muyil
- Zona Arqueológica Xel Há
- Zona Arqueológica de Xcaret
- Zona Arqueológica de Playa del Carmen
- Zona Arqueológica Cobá

Reserva de la Biósfera del Caribe Mexicano

La Reserva de la Biósfera del Caribe Mexicano se encuentra en la costa del estado de Quintana Roo, decretada en el 2016 con un total de superficie terrestre y/o aguas continentales de 28,589.49 hectáreas. Esta reserva abarca los municipios de Isla Mujeres, Benito Juárez, Tulum, y frente a las costas de Puerto Morelos, Solidaridad, Cozumel, Bacalar y Othón P. Blanco (CONANP, 2018).

La Reserva de la Biósfera, es parte de la región del Caribe Mexicano y cuenta con cinco ecorregiones marinas denominadas Plataforma del Golfo de México Sur, Plataforma del Caribe Mesoamericano, Talud del Caribe Mesoamericano, Cuenca de Yucatán y Cadena Montañosa Caimán. Las cuales poseen características ambientales excepcionales, no sólo por la variedad de los elementos naturales que las conforman, sino por los eventos biológicos que ahí se desarrollan y que han permitido la permanencia de especies como los quelonios y especies endémicas como el Carpintero Yucateco (*Melanerpes pygmaeus*); así como por los fenómenos oceanográficos que favorecen la disponibilidad de alimento para las especies

marinas que ahí habitan como el tiburón ballena (*Rhincodon typus*) (CONANP, 2021c). Presenta una gran diversidad de ecosistemas tanto terrestres como marinos, en los ecosistemas terrestres destacan selvas tropicales, como la selva mediana subperennifolia, selva mediana subcaducifolia y selvas bajas; en la parte de los ecosistemas costeros existen dunas costeras, playas arenosas y lagunas costeras con vegetación como el pastizal inundable, tasistal, tular, petenes y manglares; y, como parte de los ecosistemas marinos predominan lechos de pastos marinos y arrecifes de coral; destacando que todos los hábitats presentan especies de relevancia para la conservación como felinos, tortugas marinas (CONANP, 2020), tiburones, rayas y peces asociados a los arrecifes coralinos, entre otros (CONANP, 2018, 2021c, p. 100).

Corredor Cancún-Tulum

El corredor biológico Cancún-Tulum está ubicado en el estado de Quintana Roo abarcando una extensión de 1,715 km², los principales poblados presentes en este corredor son Cancún, Playa del Carmen, Puerto. Morelos, Tulum, Akumal y Xel-ha; la región presenta distintas actividades económicas como turismo, aprovechamiento forestal y actividades pecuarias (CONABIO, s.f.).

Este corredor biológico fue decretado con la finalidad de resolver diversas problemáticas medioambientales como la modificación del entorno: perturbación por complejos turísticos, obras de ingeniería para corredores turísticos, deforestación, modificación de la vegetación (tala de manglar) y de barreras naturales, relleno de áreas inundables y formación de canales. Problemáticas de contaminación por aguas residuales y desechos sólidos (CONABIO, s.f.). El uso de recursos de forma ilegal: como las actividades de pesca ilegal en la laguna de Chakmochuk y plantaciones de coco (*Cocos nucifera tasiste*) (CONABIO, s.f.) (Periódico oficial, 2001).

Este corredor, a su vez, está caracterizado por una gran diversidad de ecosistemas teniendo presencia de estuarios, humedales, dunas costeras, caletas, cenotes y playas; así como una gran diversidad de vegetación como selva mediana subperennifolia, selva baja perennifolia, selva baja inundable, manglar, sabana, palmar inundable y vegetación de dunas costeras.

El corredor también es el hábitat de especies amenazadas, de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT; y es la zona de reproducción de tortugas caguama (*Caretta caretta*), blanca (*Chelonia mydas*), laúd (*Dermochelis coriacea*) y el merostomado (*Limulus polyphemus*) (CONANP, 2020). Y aves emblemáticas como el loro yucateco (*Amazona xantholora*), garceta de alas azules (*Anas discors*), carao (*Aramus guarauna*), aguililla cangrejera (*Buteogallus anthracinus*) y el hocofaisán (*Crax rubra*) (CONABIO, s.f.).

Sitio RAMSAR: Playa tortuguera X'cachel-X'cachelito

Área natural protegida: Santuario de la tortuga marina

En el estado de Quintana Roo existen varios sitios de anidación de tortugas marinas, por lo que el estado es uno de los principales que participa en el Programa Nacional de Conservación de Tortugas Marinas, programa en el cual también está involucrado el municipio de Tulum. El área protegida conocida como X'Cachel-X'Cachelito, es uno de los lugares donde se reporta un número importante de anidaciones en la región y también a nivel nacional (RSIS RAMSAR, s.f.). Algunas de las especies de tortugas marinas más importantes que tienen sus procesos de anidación en el sitio son la tortuga blanca (*Chelonia mydas*) y caguama (*Caretta caretta*), las cuales son especies actualmente catalogadas como en peligro de extinción a nivel nacional por la NOM-059-SEMARNAT y a nivel internacional dentro de la Lista Roja, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés). (CONANP, 2020).

Cuenta con playas anchas de más de 15 metros, que se han caracterizado por su tradición en el manejo y protección de estos quelonios. En general el sitio tiene una gran importancia ecológica al poseer tipos de vegetación con algún estatus de protección como es la selva de palma kuká (*Pseudophoenix sargentii*), la selva de palmas chit (*Thrinax radiata*) y los ecosistemas de manglar (mangle rojo *Rhizophora mangle*, mangle negro *Avicennia germinans*, mangle blanco *Laguncularia racemosa* y botoncillo *Conocarpus erectus*.) Una característica muy particular de la zona son los afloramientos de agua subterránea a la orilla del mar, que propicia condiciones muy particulares para el crecimiento de vegetación acuática, abundancia en peces juveniles y corales, algunos de los cuales son considerados como especies amenazadas (RSIS RAMSAR, s.f.).

Anexo D: Características Físicas

Cuadro 45: Distribución geológica dentro del municipio. (SEDATU, 2015)

Tipo	Área (km ²)	Porcentaje
Formación Cenozoico Cuaternario	168.93	8.27%
Formación Cenozoico terciario	1,872.01	91.73%

Cuadro 46: Edafología del municipio de Tulum. (SEDATU, 2015)

Tipo de suelo	Área (km ²)	Porcentaje
Gleysol eutríco lítica media	5.88	0.29%
Petrocálcica	8.09	0.40%
Rendzina lítica fina	63.37	3.10%
Regosol calcáreo gruesa	22.36	1.10%
Solonchak mólico media	13.46	0.66%
Solonchak gleyco gruesa	35.78	1.75%
Rendzina lítica media	140.90	6.90%
Gleysol mólico media	45.85	2.25%
Litosol medio	1705.24	83.55%

Cuadro 47: Valores extremos por mes entre 1964 y 2018 capturados por la estación de Tulum # 23025 del SMN(SMN,2015).

Mes	Temperatura Máxima		Temperatura Mínima	
	T. (°C)	Fecha	T. (°C)	Fecha
Enero	37.5	1976-01-08	7.0	1980-01-02
Febrero	39.0	2008-02-09	4.3	1991-02-10
Marzo	41.5	2007-03-26	7.2	1991-03-06
Abril	42.0	2009-04-19	7.1	1992-04-29
Mayo	43.0	1980-05-08	8.2	1992-05-08
Junio	45.0	2005-06-03	11.2	1992-06-24
Julio	39.0	2017-07-02	9.0	1975-07-13
Agosto	44.0	1983-08-20	10.0	1992-08-07
Septiembre	41.0	1988-09-05	5.3	1992-09-29
Octubre	39.0	2005-10-14	4.4	1992-10-22
Noviembre	39.5	1970-11-09	9.0	1992-11-02
Diciembre	37.0	1976-12-13	7.0	1980-12-30

Mes	Precipitación		Evaporación	
	Máx. (mm)	Fecha	Máx. (mm)	Fecha
Enero	120.5	1986-01-17	9.9	2016-01-19
Febrero	100.0	2002-02-10	11.2	2003-02-20
Marzo	75.0	2012-03-06	14.1	1992-03-12

Abril	70.0	2003-04-09	17.7	2007-04-24
Mayo	198.0	2010-05-19	15.5	1992-05-11
Junio	150.0	2010-06-26	14.8	2003-06-06
Julio	164.5	2005-07-18	12.5	2003-07-18
Agosto	140.0	1973-08-20	12.0	2003-08-29
Septiembre	350.0	2013-09-17	11.6	1988-09-16
Octubre	202.0	2014-10-21	9.9	2017-10-10
Noviembre	80.0	2000-11-28	11.5	1991-11-19
Diciembre	94.1	1985-12-03	10.2	1991-12-03

Cuadro 48: Ejemplos de lagunas, cenotes y sistemas de cuevas submarinas en Tulum.

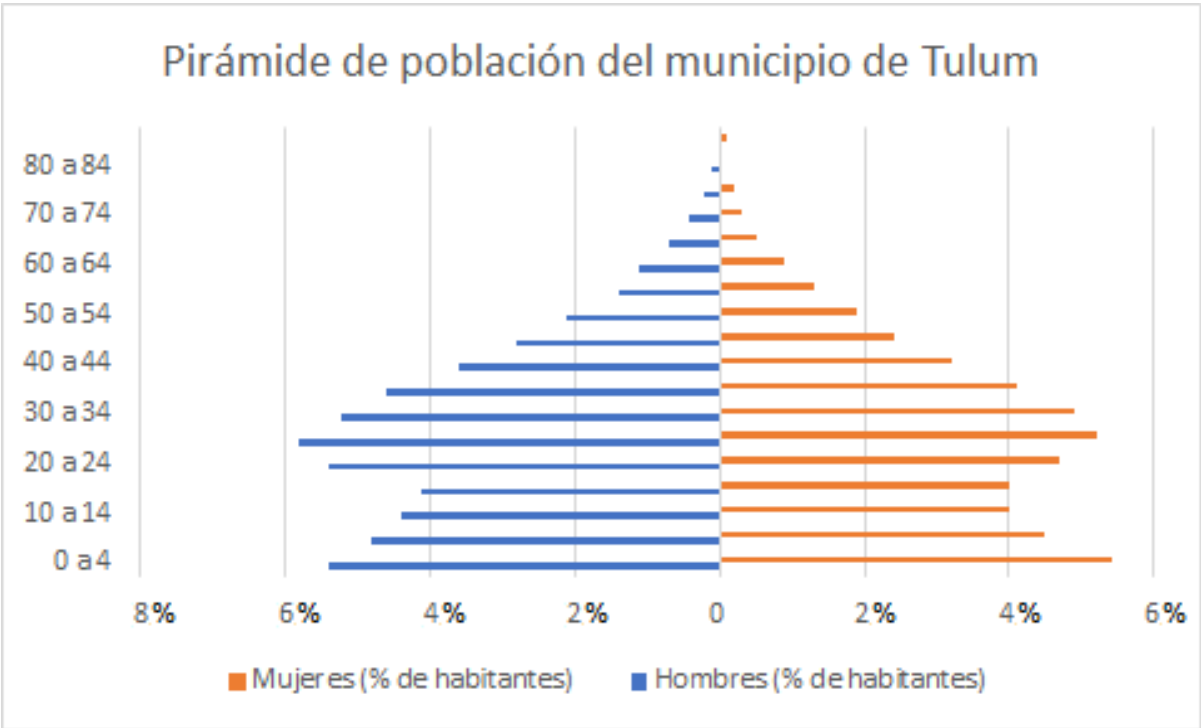
Cenotes	Sistemas de cuevas submarinas largas	Lagunas
• El Gran Cenote • Cenote de la Calavera • Cenote Car Wash • Cenote Cristal • Cenote Escondido • Cenote Zazil-Ha	• Sistema Sac Actun • Sistema Ox Bel Ha • Sistema K'oox Baal • Sistema Xunaan Ha • Sistema Toh Ha • Sistema Zapote-Camilo • Sistema Nohoch Kai	• Laguna Macario Gómez • Laguna La Unión • Laguna Caaepechen • Laguna Boca Paila • Laguna San Miguel • Laguna Xamach • Laguna Catoche • Laguna Cobá • Laguna Verde • Laguna Nochacam

Cuadro 49: Distribución de la cobertura del suelo: vegetación. (SEDATU, 2015)

Tipo de cobertura	Área (km²)	Porcentaje (%)
Mangle	18.307	0.89
Selva Baja inundable	192.55	9.43
Palmar inundable	3.31	0.16
Tular	50.65	2.48
Selva Mediana Subcaducifolia	1,764.07	86.43

Anexo E: Características Sociodemográficas

Figura 86: Pirámide poblacional del municipio de Tulum por edad y sexo. (GAIA INEGI, 2020)



Cuadro 50: Desglose de adultos mayores en el municipio. (INEGI, 2020b)

Rango de edad	Hombres	Mujeres
De 65 a 69 años	334	247
De 70 a 74 años	185	157
De 75 a 79 años	89	92
De 80 a 84 años	57	44
De 85 años y más.	42	48

Figura 87: Presencia de pueblos mayas en el estado de Quintana Roo. (INPI, 2015)

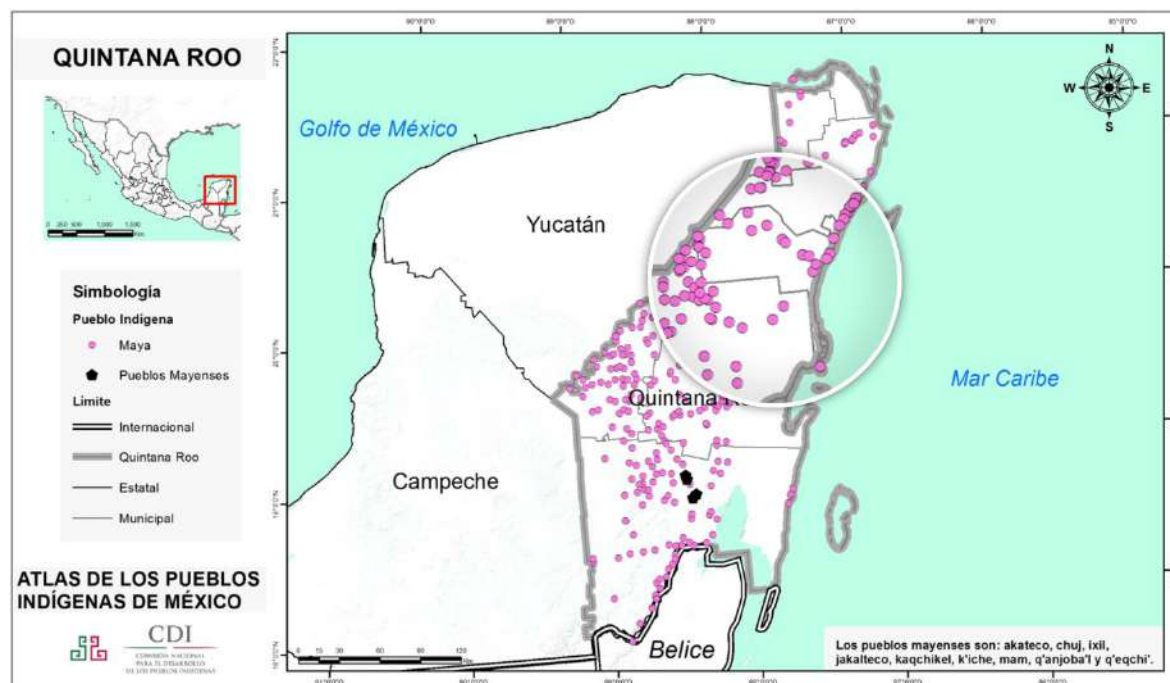


Figura 88: Total de habitantes hablantes de una lengua indígena, población mayor a 3 años. (CONEVAL, 2020a)

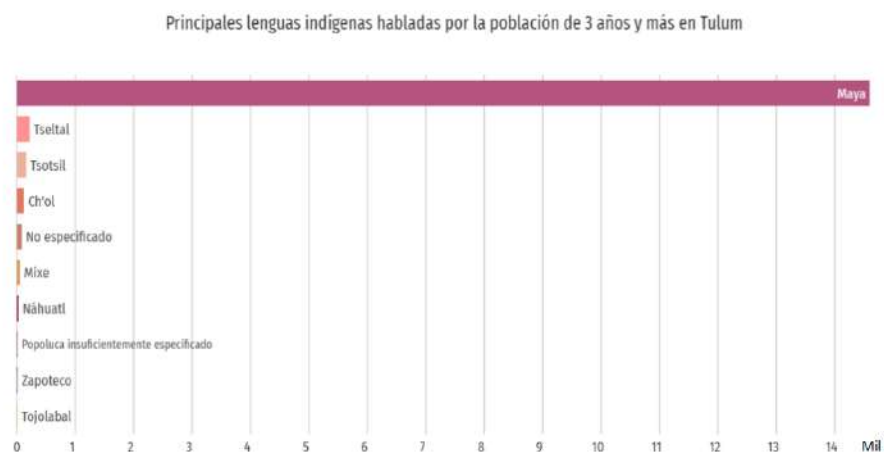
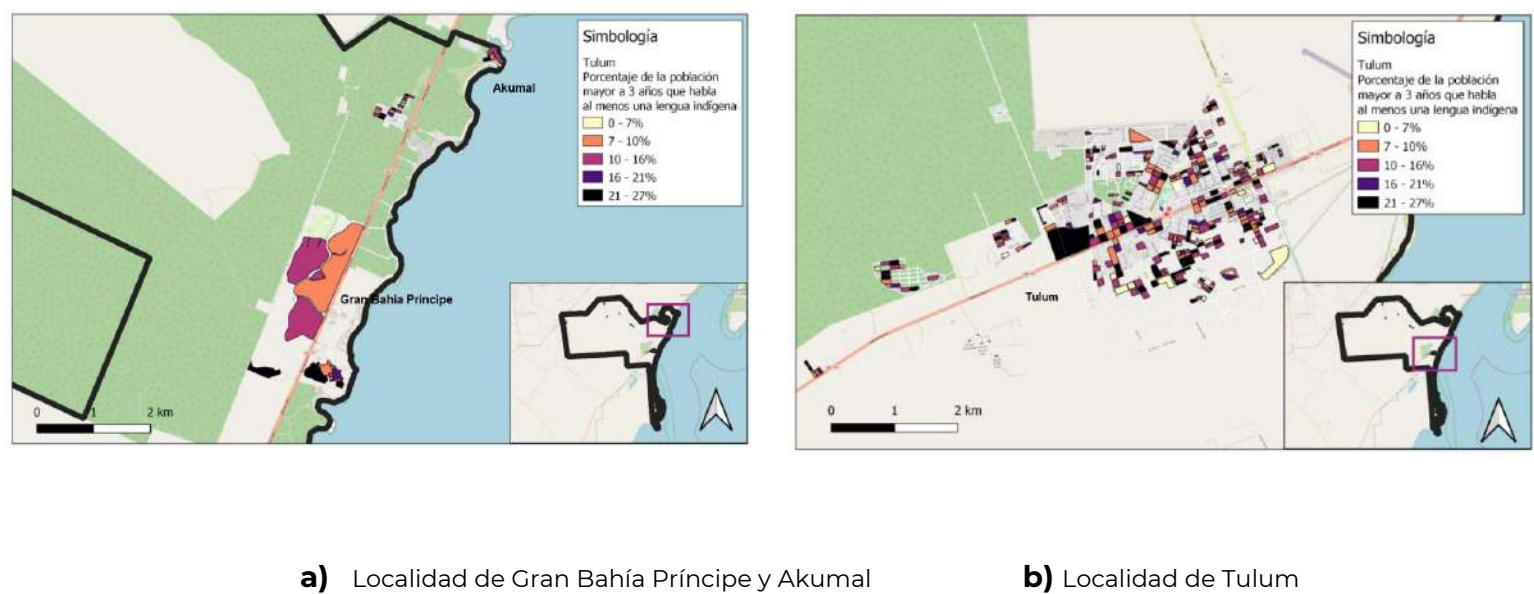


Figura 89: Porcentaje de la población mayor a 3 años que habla al menos una lengua indígena.



Cuadro 51: Actividades económicas con mayores unidades. (INEGI, 2018b)

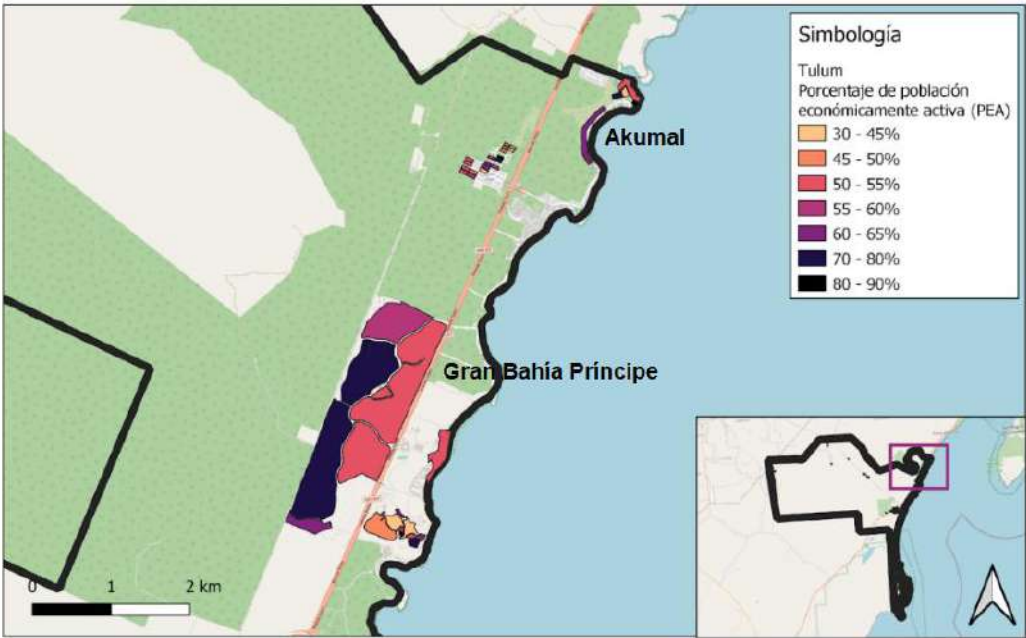
Actividad Económica	Unidades económicas	Personal ocupado	Personal remunerado	Producción bruta total (M \$ mxn)	Total de gastos (M \$ mxn)	Total de ingresos (M \$ mxn)
Comercio al por menor	833	2,579	1,382	1,332.89	2,442.061	3,346.08
Servicios de preparación de alimentos y bebidas	385	2,429	2,000	730.81	381.97	733.89
Servicio de alojamiento temporal	225	8,046	2,731	4,099.05	3,185.468	4,111.15
Servicios de reparación y mantenimiento	89	234	157	60.36	30.239	60.36
Industrias manufactureras	84	296	191	92.25	58.376	92.59

Figura 100: Evolución de la tasa de desempleo en Quintana Roo.¹⁷ (DataMéxico, 2021)

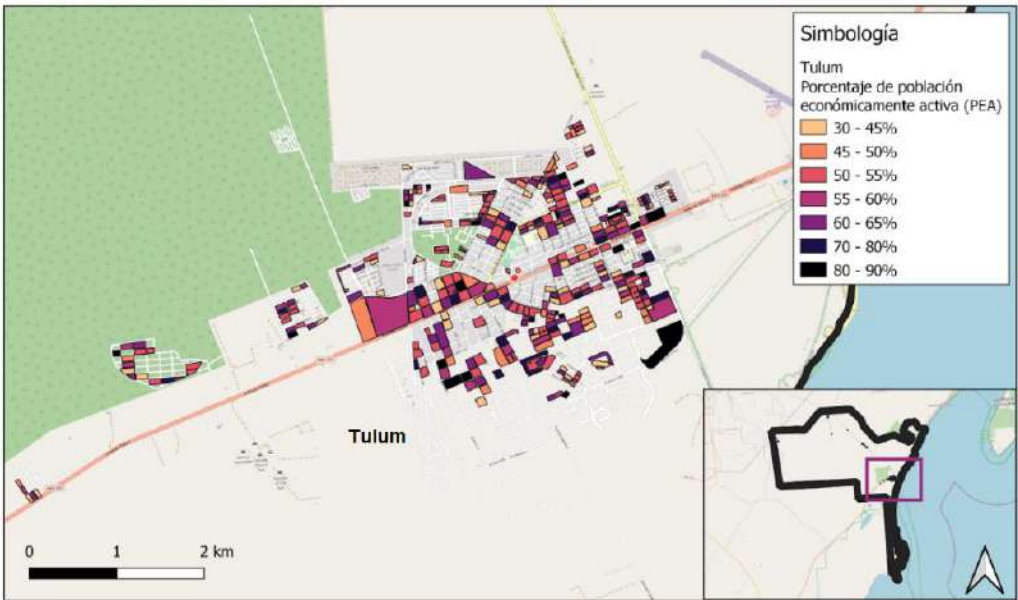


¹⁷ Los datos visualizados corresponden a la entidad federativa de Quintana Roo, dado que no hay representatividad a nivel de municipio. (DataMéxico, 2021)

Figura 101: Porcentaje de la población económicamente activa (PEA) (INEGI, 2020b)



a) Localidad de Gran Bahía Príncipe y Akumal



b) Localidad de Tulum

Cuadro 52: Servicios Médicos Públicos. (Ayuntamiento de Tulum, 2018)

Servicios Médicos Públicos		
No.	Nombre del establecimiento	Giro
1	Centro de Salud Cobá	Clínicas de consultorios médicos del sector público
2	Instituto Mexicano del Seguro Social	Consultorios de medicina general del sector público
3	Unidad Médica Municipal Punta Allen	Consultorios de medicina general del sector público
4	Centro de Reintegración Integral Municipal	Consultorios del sector público de audiología y de terapia ocupacional, física y del lenguaje
5	Centro de Salud Nueva Vida	Hospitales generales del sector público
6	Centro de Salud Tulum	Hospitales generales del sector público
7	Unidad de Salud Akumal del Municipio de Tulum, Q.Roo	Hospitales generales del sector público
8	Unidad Médica Familiar No. 10 Akumal	Hospitales generales del sector público

Cuadro 53: Servicios Médicos Privados. (Ayuntamiento de Tulum, 2018)

Servicios Médicos Privados		
No.	Nombre del establecimiento	Giro
1	Centro de Especialidades Médicas Tulum	Consultorios De Medicina Especializada Del Sector Privado
2	Hospital de Lentes	Consultorios De Medicina Especializada Del Sector Privado
3	Pediatra Dr. Adrián	Consultorios De Medicina Especializada Del Sector Privado
4	Ultrasonido y Ginecología	Consultorios De Medicina Especializada Del Sector Privado
5	Centro Médico Maranatha	Consultorios De Medicina General Del Sector Privado

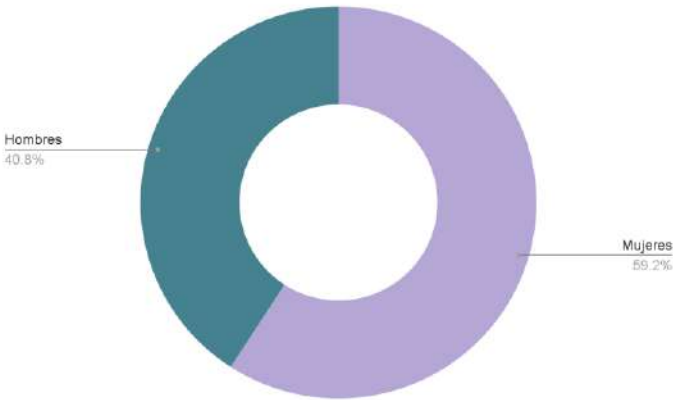
6	Clínica Genomís	Consultorios De Medicina General Del Sector Privado
7	Clínica Mu Uch Mu Uk Iil	Consultorios De Medicina General Del Sector Privado
8	Consultorio	Consultorios De Medicina General Del Sector Privado
9	Consultorio Médico	Consultorios De Medicina General Del Sector Privado
10	Consultorio Médico	Consultorios De Medicina General Del Sector Privado
11	Consultorio Médico	Consultorios De Medicina General Del Sector Privado
12	Consultorio Médico "Clinic Assist"	Consultorios De Medicina General Del Sector Privado
13	Farmacia y Consultorio Akumal Medical Center	Consultorios De Medicina General Del Sector Privado
14	Hospital de Tulum	Consultorios De Medicina General Del Sector Privado
15	Tienda Herbalife	Consultorios De Nutriólogos Y Dietistas Del Sector Privado
16	Centro de Atención Psicológico	Consultorios De Psicología Del Sector Privado
17	Centro Dental	Consultorios Dentales Del Sector Privado
18	Clínica Odontológica	Consultorios Dentales Del Sector Privado
19	Consultorio Dental Tulum	Consultorios Dentales Del Sector Privado
20	Dental Tulum	Consultorios Dentales Del Sector Privado
21	Dentista sin nombre	Consultorios Dentales Del Sector Privado
22	Servicio Odontológico Familiar	Consultorios Dentales Del Sector Privado
23	Centro Químico	Laboratorios Médicos Y De Diagnóstico Del Sector Privado
24	Laboratorio Clínico Microbiológico	Laboratorios Médicos Y De Diagnóstico Del Sector Privado
25	Laboratorio de Análisis Clínicos	Laboratorios Médicos Y De Diagnóstico Del Sector Privado
26	Laboratorio de Análisis Clínicos Biolab	Laboratorios Médicos Y De Diagnóstico Del Sector Privado
27	Laboratorio de Análisis Clínicos Riverlab	Laboratorios Médicos Y De Diagnóstico Del Sector Privado
28	Laboratorio de Análisis Clínicos de la Riviera Maya	Laboratorios Médicos Y De Diagnóstico Del Sector Privado
29	Laboratorio San Martín	Laboratorios Médicos Y De Diagnóstico Del Sector Privado
30	Similab	Laboratorios Médicos Y De Diagnóstico Del Sector

		Privado
31	Casa Hogar Alcance Victoria	Orfanatos Y Otras Residencias De Asistencia Social Del Sector Privado
32	Clínica Hospital Costamed	Consultorios Y Hospital De Medicina General

Cuadro 54: Indicadores de escolaridad en Tulum. (GAIA INEGI, 2020)

Indicador	Absoluto	%
Población de 3 a 5 años que asiste a la escuela	1761	57.9
Población de 6 a 11 años que asiste a la escuela	4451	90.4
Población de 12 a 14 años que asiste a la escuela	1913	84.5
Población de 15 años y más con educación básica completa	9,819	29.4
Población de 15 años y más con educación posbásica	13,533	40.5
Población de 18 años y más con al menos un grado aprobado en educación media superior	7,907	25.3
Población de 25 años y más con al menos un grado aprobado en educación superior	3,863	15.5

Figura 102: Representación gráfica de población analfabeta de 15 años o más en Tulum. (GAIA INEGI, 2020)



Anexo F: Marco Legal del Plan de Acción Climática

Internacional

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

Fecha: 21 de marzo 1994

Descripción: Es la entidad de las Naciones Unidas encargada de apoyar la respuesta global a la amenaza del cambio climático. La Convención tiene una membresía casi universal (198 Partes) y es el tratado principal del Acuerdo de París de 2015 y el Protocolo de Kioto de 1997 (UNFCCC, 2022a).

Compromisos: México al ser estado parte de la convención está obligado a “formular, aplicar y actualizar periódicamente programas nacionales de cambio climático; cooperar en los preparativos para la adaptación a los impactos al cambio climático; compilar inventarios nacionales de las emisiones de gases de efecto invernadero y presentar informes periódicos sobre las medidas que están adoptando para aplicar la CMNUCC ”(INECC, 2021b).

Protocolo de Kioto

Fecha : Fue adoptado el 11 de diciembre del 1997 pero entró en vigor el 16 de febrero del 2005

Descripción: Compromete a países industrializados y a economías en transición a limitar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de acuerdo con los objetivos individuales acordados.

Compromisos: El Protocolo de Kioto solo vincula a los países desarrollados y les impone una carga más pesada bajo el principio de “responsabilidad común pero diferenciada y capacidades respectivas”, porque reconoce que son en gran parte responsables de los altos niveles actuales de emisiones de GEI en la atmósfera (UNFCCC, 2022c). El protocolo “establece una serie de mecanismos de mercado como: Comercio de Derechos de Emisiones, Implementación Conjunta y Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL)”(INECC, 2021a).

Acuerdo de París

Fecha : Fue adoptado el 12 de diciembre del 2015 pero entró en vigor el 4 de noviembre del 2016.

Descripción: Es un tratado internacional jurídicamente vinculante sobre el cambio climático. Su objetivo es limitar el calentamiento global muy por debajo de 2,

preferiblemente a 1.5 grados centígrados, en comparación con los niveles preindustriales. Para lograr este objetivo de temperatura a largo plazo, los países tienen como objetivo alcanzar el pico global de emisiones de gases de efecto invernadero lo antes posible para lograr un mundo climáticamente neutral a mediados de siglo. El Acuerdo de París proporciona un marco para el apoyo financiero, técnico y de desarrollo de capacidades a aquellos países que lo necesitan (UNFCCC, 2022b).

Compromisos: Cada cinco años los países deben de presentar sus planes de acción climática conocidos como contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC). Cada nuevo periodo las acciones propuestas deben de ser más ambiciosas que las pasadas.

En la última actualización de sus NDC México se comprometió de manera no condicionada a reducir el 22% de las emisiones de GEI y 51% las emisiones de carbono negro al año 2030 respecto al escenario tendencial (BAU). Estas metas incrementan a una reducción del 36% de las emisiones GEI y 70% de las emisiones de carbono negro condicionadas al apoyo de instrumentos financieros, técnicos, tecnológicos por parte de la cooperación internacional (Gobierno de México & Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020).

En cuanto a adaptación a cambio climático, México se compromete a reducir la vulnerabilidad del país ante los impactos del cambio climático a través de cinco ejes y 27 líneas de acción. Los cinco ejes son : (a) Prevención y atención de impactos negativos en la población humana y en el territorio, (b) sistemas productivos resilientes y seguridad alimentaria, conservación, (c.) restauración y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos, (d) gestión integral de los recursos hídricos con enfoque de cambio climático, (e) protección de infraestructura estratégica y patrimonio cultural tangible (Gobierno de México & Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020).

Agenda 2030 para el desarrollo sostenible

Fecha : 2015

Descripción: La Agenda 2030 es un plan de acción cuyo objetivo es fortalecer la paz universal, la erradicación de la pobreza, proteger el planeta de la degradación mediante una alianza de colaboración. Incorpora 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible y 169 metas (Naciones Unidas, 2015).

Compromisos: En la estrategia nacional para la puesta en marcha de la agenda 2030, México asumió la Agenda 2030 como un Compromiso del Estado y se México se comprometió a incorporar la Agenda 2030 en la planeación nacional

incorporando los principios del Desarrollo Sostenible en la Ley de Planeación (México Agenda 2030, 2018).

Federal

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Artículo 1 “Todas las autoridades, en el ámbito de sus competencias, tienen la obligación de promover, respetar, proteger y garantizar los derechos humanos de conformidad con los principios de universalidad, interdependencia, indivisibilidad y progresividad.” (CDHCU, 2021a).

Artículo 4 “Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley.” (CDHCU, 2021a).

Artículo 73 El congreso tiene la facultad “para expedir leyes que establezcan la concurrencia del Gobierno Federal, de los gobiernos de las entidades federativas, de los Municipios y, en su caso, de las demarcaciones territoriales de la Ciudad de México, en el ámbito de sus respectivas competencias, en materia de protección al ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico.”(CDHCU, 2021a).

Artículo 115 Los Municipios tienen a su cargo las funciones y servicios públicos de: agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales, alumbrado público, limpia, recolección, traslado y disposición final de residuos, mercados y centrales de abasto, panteones, rastro, calles, parques y jardines, seguridad pública y tránsito.

Además corresponde a los municipios Corresponde a los municipios; a) Formular, aprobar y administrar la zonificación y planes de desarrollo urbano municipal, b) Participar en la creación y administración de sus reservas territoriales; c) Participar en la formulación de planes de desarrollo regional, los cuales deberán estar en concordancia con los planes generales de la materia. Cuando la Federación o los Estados elaboren proyectos de desarrollo regional deberán asegurar la participación de los municipios; d) Autorizar, controlar y vigilar la utilización del suelo, en el ámbito de su competencia, en sus jurisdicciones territoriales; e) Intervenir en la regularización de la tenencia de la tierra urbana, f) Otorgar licencias y permisos para construcciones; g) Participar en la creación y administración de zonas de reservas ecológicas y en la elaboración y aplicación de programas de ordenamiento en esta materia; h) Intervenir en la formulación y aplicación de programas de transporte público de pasajeros cuando aquellos afecten su ámbito territorial, i) Celebrar convenios para la administración y custodia de las zonas federales.(CDHCU, 2021a).

Ley General del Cambio Climático

Artículo 5 “La federación, las entidades federativas y los municipios ejercerán sus atribuciones para la mitigación y adaptación al cambio climático, de conformidad con la distribución de competencias prevista en esta ley y en los demás ordenamientos legales aplicables”(CDHCU, 2022)

Artículo 9 Los municipios tienen la responsabilidad de “formular, conducir y evaluar la política municipal en materia de cambio climático en concordancia con la política nacional y estatal”. Además, los municipios deben de fomentar la investigación científica y tecnológica y el desarrollo de tecnologías para la mitigación y adaptación al cambio climático. Entre otras atribuciones se encuentra el desarrollar estrategias de mitigación, realizar campañas de educación, promover el fortalecimiento de capacidades institucionales, participar en el diseño de incentivos que promuevan acciones para el cumplimiento del objeto de la ley de cambio climático, elaborar la información de las categorías de Fuentes Emisiones que se originan en su territorio. (CDHCU, 2022)

Artículo 28 “La federación, las entidades federativas y los municipios, en el ámbito de sus competencias, deberán ejecutar acciones para la adaptación en la elaboración de las políticas, la Estrategia Nacional, el Programa Especial de Cambio Climático, la Política Nacional de Adaptación” (CDHCU, 2022)

Artículo 38 “La federación, las entidades federativas y los municipios establecerán las bases de coordinación para la integración y funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático, el cual tiene por objeto: I. Fungir como un mecanismo permanente de concurrencia, colaboración y coordinación sobre la política nacional de cambio climático. II. Promover la aplicación transversal de la política nacional de cambio climático en el corto, mediano y largo plazo entre autoridades de los tres niveles de gobierno. III. Coordinar esfuerzos de la federación, entidades federativas y los municipios para la realización de acciones de adaptación, mitigación y reducción de la vulnerabilidad para enfrentar los efectos adversos del cambio climático.” (CDHCU, 2022)

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

Artículo 8 Los municipios tienen la facultad de aplicar los instrumentos de política ambiental en materia de preservación y equilibrio ecológico y la protección del medio ambiente en zonas de jurisdicción municipal. También deben de aplicar las disposiciones jurídicas en materia de prevención y control de contaminantes, los efectos sobre el ambiente ocasionados por la disposición final de los residuos sólidos e industriales. Los municipios tienen la atribución de crear y administrar zonas de preservación ecológica de los centros de población, expedir programas de ordenamiento ecológico local del territorio y formular y ejecutar acciones de

mitigación y adaptación al cambio climático entre otros. (*Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*, 2022)

Artículo 23 “- Las autoridades de la Federación, las entidades federativas, los Municipios y las demarcaciones territoriales de la Ciudad de México, en la esfera de su competencia, deberán de evitar los asentamientos humanos en zonas donde las poblaciones se expongan al riesgo de desastres por impactos adversos del cambio climático” (*Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*, 2022)

Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable

Artículo 2 “Promover acciones necesarias en el sector para dar cumplimiento a tratados internacionales en los que el Estado mexicano sea parte en materia de cambio climático, diversidad biológica y demás aplicables en la materia” es unos de los objetivos generales de la ley. (CDHCU, 2018b)

Artículo 13. Corresponde a los Municipios “Participar y coadyuvar en los programas integrales de prevención y combate a la extracción y tala ilegal con el Gobierno Federal y de las Entidades Federativas; Elaborar, aplicar y coordinar el Programa de Manejo del Fuego en su ámbito territorial, en congruencia con el Programa de Manejo del Fuego y los programas de las Entidades Federativas, así como con los Sistemas Nacional, Estatal y Municipal de Protección Civil; Participar y coadyuvar con la Federación y el Gobierno de la Entidad Federativa, según corresponda, en las estrategias y acciones para mantener y mejorar la provisión de los servicios ambientales; Participar y coadyuvar con la Federación y el Gobierno de la Entidad Federativa, según corresponda, en las estrategias y acciones para mantener y mejorar la provisión de los servicios ambientales; Desarrollar en el ámbito de sus atribuciones y de conformidad con las leyes locales en la materia, mecanismos para obtener recursos destinados al pago y compensación de los servicios ambientales derivados de los ecosistemas forestales” (CDHCU, 2018b).

Artículo 47 “Los datos comprendidos en el Inventario Nacional Forestal y de Suelos serán la base para(...)La elaboración de programas y estrategias de adaptación y mitigación del cambio climático” (CDHCU, 2018b).

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

Artículo 1 “tienen por objeto garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación.” (CDHCU, 2021c)

Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía

Artículo 1 “Tiene como objeto propiciar un aprovechamiento sustentable de la energía mediante el uso óptimo de la misma en todos sus procesos y actividades, desde su explotación hasta su consumo.” (CDHCU, 2015)

Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano

Artículo 11 “Corresponde a los municipios: I. Formular, aprobar, administrar y ejecutar los planes o programas municipales de Desarrollo Urbano, de Centros de Población y los demás que de éstos deriven, adoptando normas o criterios de congruencia, coordinación y ajuste con otros niveles superiores de planeación, las normas oficiales mexicanas, así como evaluar y vigilar su cumplimiento; II. Regular, controlar y vigilar las Reservas, Usos del Suelo y Destinos de áreas y predios, así como las zonas de alto riesgo en los Centros de Población que se encuentren dentro del municipio(...)XIV. Solicitar la incorporación de los planes y programas de Desarrollo Urbano y sus modificaciones en el sistema de información territorial y urbano a cargo de la Secretaría; XV. Intervenir en la regularización de la tenencia de la tierra urbana, en los términos de la legislación aplicable y de conformidad con los planes o programas de Desarrollo Urbano y las Reservas, Usos del Suelo y Destinos de áreas y predios; XVI. Intervenir en la prevención, control y solución de los asentamientos humanos irregulares, en los términos de la legislación aplicable y de conformidad con los planes o programas de Desarrollo Urbano y de zonas metropolitanas y conurbaciones, en el marco de los derechos humanos; XVII. Participar en la creación y administración del suelo y Reservas territoriales para el Desarrollo Urbano, de conformidad con las disposiciones jurídicas aplicables; así como generar los instrumentos que permitan la disponibilidad de tierra para personas en situación de pobreza o vulnerabilidad; XVIII. Atender y cumplir los lineamientos y normas relativas a los polígonos de protección y salvaguarda en zonas de riesgo, así como de zonas restringidas o identificadas como áreas no urbanizables por disposición contenidas en leyes de carácter federal; XIX. Imponer sanciones administrativas a los infractores de las disposiciones jurídicas, planes o programas de Desarrollo Urbano y Reservas, Usos del Suelo y Destinos de áreas y predios en términos de la Ley General de Responsabilidades Administrativas, así como dar vista a las autoridades competentes, para la aplicación de las sanciones que en materia penal se deriven de las faltas y violaciones de las disposiciones jurídicas de tales planes o programas de Desarrollo Urbano y, en su caso, de ordenación ecológica y medio ambiente(...)violaciones de las disposiciones jurídicas de tales planes o programas de Desarrollo Urbano y, en su caso, de ordenación ecológica y medio ambiente.”(CDHCU, 2021b).

Ley General de Protección Civil

Artículo 37 “En la elaboración de los programas de protección civil de las entidades federativas, municipios y demarcaciones territoriales de la Ciudad de México, deberán considerarse las líneas generales que establezca el Programa Nacional, así como las etapas consideradas en la Gestión Integral de Riesgos y conforme lo establezca la normatividad local en materia de planeación” (CDHCU, 2020)

Artículo 41 Las autoridades municipales “fomentarán la cultura en materia de protección civil entre la población, mediante su participación individual y colectiva (...) La población vulnerable y expuesta a un peligro, tiene derecho a estar informada de ello y a contar con las vías adecuadas de opinión y participación en la gestión del riesgo.” (CDHCU, 2020)

Artículo 43 Las autoridades municipales deben de: “I. Fomentar las actividades de protección civil; II. Incorporar contenidos temáticos de protección civil en todos los niveles educativos públicos y privados, considerándola como asignatura obligatoria; III. Concretar el establecimiento de programas educativos a diferentes niveles académicos, que aborden en su amplitud el tema de la protección civil y la Gestión Integral de Riesgos; IV. Impulsar programas dirigidos a la población en general que le permita conocer de forma clara mecanismos de prevención y autoprotección; V. Elaborar, estructurar y promocionar campañas de difusión sobre temas de su competencia relacionados con la protección civil, y VI. Promover la celebración de convenios con los sectores público, social, privado y académico con el objeto de difundir la cultura de protección civil.” (CDHCU, 2020)

Ley de Planeación

Artículo 2 “-La planeación deberá llevarse a cabo como un medio para el eficaz desempeño de la responsabilidad del Estado sobre el desarrollo equitativo, incluyente, integral, sustentable y sostenible del país, con perspectiva de interculturalidad y de género, y deberá tender a la consecución de los fines y objetivos políticos, sociales, culturales, ambientales y económicos contenidos en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos” (CDHCU, 2018a).

Estatat

Ley de Acción de Cambio Climático en el Estado de Quintana Roo

Artículo 1: “y tiene por objeto: I. Preservar el derecho de todas las personas a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar; II. Establecer la competencia del Estado y de los municipios en la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero;

III. Fomentar las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático en el

Estado; IV. Vincular la planeación del Ordenamiento Ecológico Territorial con las acciones de mitigación y adaptación al cambio climático; V. Desarrollar políticas públicas de desarrollo urbano que fomenten acciones de mitigación y adaptación al cambio climático;

VI. Reducir la vulnerabilidad de la población y de los ecosistemas del Estado frente a los efectos adversos del cambio climático; VII. Prevenir y controlar las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero de origen antrópico que no sean de competencia federal;

VIII. Fomentar la educación, investigación, desarrollo y transferencia de tecnología e innovación y difusión en materia de adaptación y mitigación al cambio climático en el Estado; IX. Establecer las bases para la participación y concertación social; X. Promover la transición hacia un desarrollo sustentable y de bajas emisiones de carbono, y XI. En lo no previsto por esta Ley y los ordenamientos específicos que señale, se aplicarán de manera supletoria y complementaria los ordenamientos federales y estatales en materia ambiental.”(Congreso del Estado de Quintana Roo, 2015)

Artículo 10 BIS “Corresponde a los Ayuntamientos, las siguientes atribuciones:

I. Formular, conducir y evaluar la política municipal en materia de cambio climático en concordancia con la política nacional y estatal;

II. Formular, dirigir, monitorear, evaluar, vigilar y publicar el Programa Municipal de Cambio Climático, de acuerdo con las recomendaciones que emita la Comisión;

III. Formular e instrumentar acciones para enfrentar al cambio climático en las siguientes materias:

a) Supervisión del servicio de agua potable y saneamiento;

b) Ordenamiento Ecológico Municipal;

c) Programas de Desarrollo Urbano;

d) Fuentes Emisoras de su competencia;

e) Recursos Naturales y Protección al Ambiente de su competencia;

f) Protección Civil; y,

g) Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos;

IV. Suscribir convenios de coordinación o concertación con ciudadanos, empresariales, educativas, con organizaciones de la sociedad civil, institutos de investigación, en materia de cambio climático;

V. Aplicar las estrategias, programas, proyectos integrales de mitigación y adaptación al cambio climático para impulsar el transporte eficiente y sustentable, público y privado;

VI. Realizar campañas de educación e información, en coordinación con el gobierno estatal y federal, para sensibilizar a la población sobre los efectos adversos del cambio climático;

VII. Promover el fortalecimiento de capacidades institucionales y sectoriales para la mitigación y adaptación;

VIII. Participar en el diseño y aplicación de incentivos que promuevan acciones para el cumplimiento del objeto de la presente Ley;

IX. Coadyuvar con las autoridades estatales en la instrumentación del Programa Estatal;

X. Crear, regular y administrar el Fondo Municipal de Cambio Climático, para apoyar e implementar el desarrollo de acciones en la materia;

XI. Elaborar e integrar, en colaboración con la Secretaría, la información de las fuentes emisoras en su territorio, para su incorporación al Inventario Estatal de Emisiones;

XII. Elaborar, actualizar y publicar el Atlas Municipal de Riesgo tomando en consideración los efectos del cambio climático;

XIII. Prevenir la degradación y promover la conservación e incremento de carbono en la vegetación, suelo, y ecosistemas terrestres y acuáticos, así como crear y mantener áreas de conservación ecológica;

XIV. Expedir los reglamentos municipales en la materia, con el objeto de vigilar, verificar, inspeccionar y sancionar, en el ámbito de su competencia, el cumplimiento de la presente Ley;

XV. Gestionar recursos para el Fondo Municipal de Cambio Climático;

XVI. Realizar Estudios sobre la vulnerabilidad actual y futura ante el cambio climático en zonas de mayor riesgo en islas, zonas costeras, humedales, zonas inundables, cuevas inundadas y cenotes.

XVII. Promover acciones que agilicen el tráfico vehicular en sus municipios para reducir emisiones que provocan cambio climático; y,

XVIII. Las demás que señale esta Ley y las disposiciones jurídicas aplicables” (Congreso del Estado de Quintana Roo, 2015).

Plan Estatal de Desarrollo Quintana Roo 2016-2022

Establece la necesidad de priorizar la conservación, preservación y mitigación de desequilibrios ambientales para la conservación de la riqueza natural del estado. También menciona que “Es imperioso que el gobierno eche a andar una nueva política integral de sustentabilidad y habitabilidad, con el fin de fortalecer el desarrollo territorial del estado sin poner en riesgo los recursos naturales existentes. En el proceso de planeación bajo este nuevo enfoque debe asumirse implícitamente la premisa de la responsabilidad ambiental y, de incumplirse ésta, fincar consecuencias y responsabilidades; de esta forma, no sólo se conseguirá el cambio deseable y los mayores beneficios, sino también se podrá construir un mejor entorno de convivencia para los quintanarroenses.”

Las líneas de acción del plan enfocadas al cambio climático son:

11. Promover la disminución de la huella ecológica estatal, priorizando el uso de energías limpias y ecotecnologías que ayuden a mitigar el cambio climático, y sus efectos adversos.

36. Actualizar y dar seguimiento al Plan Estatal de Cambio Climático.

42. Gestionar, con la participación del sector educativo, la inclusión de temas ambientales y cambio climático, en los planes de estudio, a fin de incorporarlos como educación formal.

48. Implementar incentivos para que los nuevos desarrollos turísticos adopten medidas que mitiguen los efectos de cambio climático y la contaminación de recursos, así como a predios que destinen superficies para la conservación. (Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2016)

Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático

El programa incluye una lista de acciones de mitigación las cuales fueron recopiladas a través de talleres de consulta ciudadana en donde participaron actores sociales, productivos y gubernamentales del estado. Dentro de las acciones de

mitigación se incluye el uso de energía alternativas, fomentar el transporte no motorizado a través de la construcción de infraestructura ciclista y peatonal, reducir las emisiones por deforestación, desarrollar planes de gestión territorial entre otros.

De igual manera se identificaron acciones de adaptación al cambio climático como incrementar el drenaje pluvial, mejorar prácticas de manejo forestal y promover el aumento de áreas verdes. (Gobierno del Estado de Quintana Roo et al., 2013)

Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de Quintana Roo, 2019-2028

Instrumento que establece las estrategias, metas y acciones para gestionar la contaminación atmosférica. Tiene como objetivos “revertir y prevenir las tendencias del deterioro de la calidad del aire en las diferentes regiones de la entidad” (Gobierno del Estado de Quintana Roo & SEMARNAT, 2019).

Ley para la Prevención, Gestión Integral y Economía Circular de los Residuos del Estado de Quintana Roo

Artículo 12: Los municipios tiene las atribuciones de formular y actualizar la normatividad municipal en materia de manejo de residuos sólidos urbanos, ejecutar diagnósticos de la situación de los Residuos de su competencia, implementar la separación en la fuente de los residuos, capacitar a los sectores de la población sobre la, economía circular y la gestión y manejo integral de los residuos, prestar servicio de limpia, promover la investigación, desarrollo y aplicación de tecnologías que mejoren la gestión integral de residuos; impulsar la instalación de infraestructura para el manejo integral de residuos, entre otros (Congreso del Estado de Quintana Roo, 2009).

Ley de Movilidad del Estado de Quintana Roo

Artículo 9: Las políticas y acciones derivadas de la ley deben de incluir el principio de Sustentabilidad y bajo carbono el cual tiene por objetivo “solucionar los desplazamientos de personas y sus bienes, con los mínimos efectos negativos sobre la calidad de vida y el medio ambiente, al incentivar el uso de transporte público y no motorizado, así como impulsar el uso de tecnologías sustentables en los medios de transporte” (Congreso del Estado de Quintana Roo, 2021)

Artículo 14: “El Instituto promoverá, impulsará y fomentará el uso de vehículos eléctricos y de energía renovable o limpia, no motorizados y/o eficientes, sistemas con tecnologías sustentables, así como el uso de otros medios de transporte

amigables con el medio ambiente, utilizando los avances científicos y tecnológicos, en el ámbito de sus competencias.” (Congreso del Estado de Quintana Roo, 2021)

Artículo 71: “Las áreas de transferencia para el transporte deberán garantizar:(...) Áreas que permitan la intermodalidad del transporte público con modos no motorizados”. (Congreso del Estado de Quintana Roo, 2021)

Ley de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Quintana Roo

Artículo 1: La ley tiene por objetivo “propiciar el desarrollo sustentable, y regular las acciones tendentes a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como las de protección del ambiente del Estado de Quintana Roo, de acuerdo con las siguientes bases:(...) XX. Formular, aplicar y vigilar el cumplimiento de las políticas públicas encaminadas a la adaptación y mitigación al cambio climático, de conformidad con la ley de la materia.” (Congreso del Estado de Quintana Roo, 2018)

Artículo 6: “Corresponde al Municipio, como orden de gobierno, la atención y control de los asuntos que afecten al ambiente en su territorio, para lo cual deberán crear las unidades administrativas respectivas, con el propósito de cumplir con las siguientes atribuciones:(...) XIII.- La participación en emergencias y contingencias ambientales conforme a las políticas y programas de protección civil y de cambio climático que al efecto se establezcan.”(Congreso del Estado de Quintana Roo, 2018)

Municipal

Reglamento Interior De La Dirección General De Desarrollo Urbano Y Ecología Del Municipio De Tulum, Quintana Roo

Artículo 3: “La Dirección General de Desarrollo Urbano y Ecología es la Dependencia de la Administración Pública del Municipio de Tulum, encargada de ejercer la Política de planeación del Desarrollo Urbano y Ecología en el municipio y los Programas Directores de desarrollo de los centros de población del Municipio de Tulum, coordinar el proceso de urbanización ordenada en armonía con la ecología, darle seguimiento y evaluar su cumplimiento, en las dependencias y entidades de la Administración Pública Municipal, en los términos de las disposiciones aplicables.”(Periódico Oficial del Gobierno del Estado, 2009)

Reglamento De Protección Civil Del Municipio De Tulum, Quintana Roo

Artículo 1: “tiene por objeto regular las acciones que en materia de protección civil se lleven a cabo en el municipio y establecer las bases de integración, coordinación y funcionamiento del Sistema Municipal de Protección Civil; regular las acciones de prevención, mitigación, auxilio, salvaguarda, y cuanto más sea necesario, de las

personas, sus bienes, la propiedad pública y el medio ambiente; así como el restablecimiento y funcionamiento de los servicios públicos indispensables y sistemas estratégicos en casos de emergencia y desastre, provocados por riesgos geológicos, hidrometeorológicos, químicos, sanitarios y socio-organizativos o cualquier otro acontecimiento fortuito o de fuerza mayor, así como integrar y coordinar dichas acciones junto con el Gobierno del Estado y el Gobierno Federal”(Periódico Oficial del Gobierno del Estado, s/f-b)

Artículo 12: “De conformidad con la Ley, el presente reglamento y demás disposiciones legales aplicables, al Ayuntamiento le corresponden las siguientes atribuciones:

- I. Establecer, en el ámbito de sus correspondientes competencias materiales y territoriales las medidas necesarias para la debida observancia de este Reglamento;
- II. Participar en la planeación y elaboración de los programas de protección civil;
- III. Concurrir con las autoridades estatales en la determinación de normas sobre prevención, mitigación y restauración en casos de desastre;
- IV. Participar en la elaboración y actualización del atlas de riesgos;
- V. Fomentar la participación social en los objetivos de este Reglamento;
- VI. Celebrar con el Gobierno del Estado y otros Ayuntamientos, así como con organismos e instituciones sociales, públicas, privadas y educativas, los convenios o acuerdos que estimen necesarios para la prevención y auxilio en casos de desastres;
- VII. Proporcionar equipo y recursos humanos o materiales de los que dispongan, en las tareas de detección, prevención y restauración en casos de desastre;
- VIII. Proporcionar al Sistema Estatal de Protección Civil la información que les sea requerida en materia de riesgos y elementos para la protección civil;
- IX. Difundir los programas y acciones federales, estatales y locales de protección civil;
- X. Las demás que les confiera el Sistema Nacional de Protección Civil, el Sistema Estatal de Protección Civil, la Ley, este Reglamento y otros ordenamientos aplicables.”

Reglamento De Tránsito Para El Municipio De Tulum

Artículo 6: “Son facultades y obligaciones del Director de Tránsito Municipal, además de las establecidas en otros reglamentos las siguientes:(...)V.- Disponer las medidas adecuadas para una vigilancia, supervisión y control de vehículos automotores para

preservar el ambiente y salvaguardar la seguridad de las personas, mediante la verificación periódica de las condiciones mecánicas y de equipo de los vehículos”(Periódico Oficial del Gobierno del Estado, s/f-c)

Artículo 32: “- Los propietarios de vehículos que residan en el Municipio de Tulum, Quintana Roo deberán someter sus vehículos a verificación de emisión de contaminantes, por lo menos una vez al año y sujetos a revisión mecánica, por lo menos dos veces al año en los lugares que determine la Dirección de Tránsito Municipal. Los vehículos de servicio público y mercantiles, estarán sujetos a requisitos de verificación con mayor frecuencia y rigidez.” (Periódico Oficial del Gobierno del Estado, s/f-c)

Artículo 33: “En caso de que la verificación de emisiones de contaminantes determine que éstas exceden los límites permisibles o que no se haya pasado satisfactoriamente la revista mecánica, el propietario deberá efectuar las reparaciones necesarias en el plazo que para tal efecto haya establecido la Dirección de Tránsito Municipal, a fin de que satisfagan las normas técnicas ecológicas y mecánicas correspondientes” (Periódico Oficial del Gobierno del Estado, s/f-c)

Reglamento De Construcción Para El Municipio De Tulum, Quintana Roo

Artículo 249: “Para el caso de los edificios para comercio y oficinas, educación, hospitales, clínicas, hoteles, moteles, restaurantes, cafeterías y establecimientos comerciales con cargas conectadas mayores a 20 KW y ampliaciones mayores a 20 KW en edificios ya existentes se deberá cumplir con la Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-1995 Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales aplicable al alumbrado en exteriores e interiores de los locales listados. Para el caso de estacionamientos públicos abiertos o estacionamientos privados abiertos con acometida independiente de un edificio, se sujetarán a lo previsto en la Norma Oficial Mexicana NOM-013-ENER-1996, Eficiencia energética en sistemas de alumbrado para vialidades y exteriores de edificios.”(Periódico Oficial del Gobierno del Estado, s/f-a)

Artículo 224: “Toda área impermeable deberá de tener drenaje pluvial.”(Periódico Oficial del Gobierno del Estado, s/f-a)

Artículo 90: “La Dirección evaluara que todo proyecto arquitectónico, cumpla con los dispositivos de seguridad correspondientes de acuerdo a lo señalado en este Reglamento. La Dirección evaluara que todos los proyectos presentados cumplan con el área verde mínima establecida en la siguiente tabla, dependiendo la Zona en

la que se ubique el predio, según lo manifestado en los Programas Directores, Parciales o Sectoriales de Desarrollo Urbano.” (Periódico Oficial del Gobierno del Estado, s/f-a)

Plan Municipal de Desarrollo de Tulum 2021-2024

Tiene como objetivo implementar y ejecutar mejores estrategias para lograr un desarrollo humano y calidad de vida de los habitantes del municipio. Se centra en 5 ejes. El tercer eje, Limpio y Mágico incluye como uno de sus objetivos Contribuir al cuidado del medio ambiente, mediante el control y vigilancia de la protección al medio ambiente del municipio de Tulum y una de sus líneas de acción es la elaboración del Plan de Acción de Cambio Climático Municipal (Ayuntamiento de San Cristóbal de Tulum, 2021).

Anexo E: Lista de Acrónimos.

1. ANP: Área Natural Protegida
2. CENAPRED: Centro Nacional de Prevención de Desastres
3. CICESE: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada
4. CLICOM: CLICOM es un sistema de software de manejo de datos climatológicos desarrollado por las Naciones Unidas, que significa CLImate COMputing project.
5. CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
6. CONAFOR: Comisión Nacional Forestal
7. CONAGUA: Comisión Nacional del Agua
8. CONANP: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
9. CONEVAL: Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social
10. CRF: Marco Común de Reporte
11. FD: Fiebre de Dengue
12. FHD: Fiebre Hemorrágica de Dengue
13. FONDEN: Fondo de Desastres Naturales
14. GCoM: Pacto Global de los Alcaldes por el Clima y la Energía
15. IMSS: Instituto Mexicano del Seguro Social
16. INAFED: Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal
17. INAH: Instituto Nacional de Antropología e Historia
18. INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía
19. INPI: Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas
20. INSABI: Instituto de Salud para el Bienestar
21. IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
22. IUCN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
23. LANOT: Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra
24. MaB: Programa de la UNESCO- El hombre y la biosfera
25. MGC: Modelos Generales de Circulación
26. MSM: Monitor de Sequía en México
27. NOAA: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica
28. NOM: Normas Oficiales Mexicanas
29. PEA: Población Económicamente Activa
30. PIB: Producto Interno Bruto
31. QRSS: Servicio Espeleológico de Quintana Roo
32. RCP: Trayectorias Representativas de Concentraciones
33. RSIS RAMSAR: Servicio de Información sobre Sitios Ramsar
34. SEDATU: Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano
35. SEDESA: Secretaría de Salud
36. SEDETUR: Secretaría de Turismo
37. SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
38. SMN: Servicio Meteorológico Nacional
39. SMQ: Selva Mediana Subperennifolia

- 40.SPI: Índice Estandarizado de Precipitación
- 41. UNEME: Unidad De Especialidades Médicas
- 42. UNEP: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
- 43. UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
- 44.VM: Manglar
- 45.VU: Vegetación de Dunas Costeras

Referencias

- Arredondo García, J. L., Aguilar- Lopez Escalera, C. G., Aguilar Lugo-Gerez, J. J., Osnaya-Romero, N., Pérez-Guillé, G., & Medina-Cortina, H. (2020). *Panorama epidemiológico de dengue en México 2000-2019*. 33(2), 78–83.
- Ayuntamiento de San Cristóbal de Tulum. (2021). *Plan Municipal de Desarrollo de Tulum 2021-2024*.
- Ayuntamiento de Tulum. (2018). *PLAN MUNICIPAL DE DESARROLLO 2018-2021 H. AYUNTAMIENTO DE TULUM*. <http://tulum.gob.mx/Pdfs/PMDTULUM.pdf>
- Bauer-Gottwein, P., Gondwe, B. R. N., Charvet, G., Marín, L. E., Rebolledo-Vieyra, M., & Merediz-Alonso, G. (2011). Review: The Yucatán Peninsula karst aquifer, Mexico. *Hydrogeology Journal*, 19(3), 507–524. <https://doi.org/10.1007/s10040-010-0699-5>
- Bellwood, D. R., Hughes, T. P., Folke, C., & Nyström, M. (2004). Confronting the coral reef crisis. *Nature*, 429(6994), 827–833. <https://doi.org/10.1038/nature02691>
- Brinkmann, R., & Parise, M. (2012). Karst Environments: Problems, Management, Human Impacts, and Sustainability: An Introduction to the Special Issue. *Journal of Cave and Karst Studies*, 74(2), 135–136. <https://doi.org/10.4311/2011JCKS0253>
- CDHCU. (2015). *Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía*. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.
- CDHCU. (2018a). *Ley de Planeación*. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.
- CDHCU. (2018b). *Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable*. Cámara de

- Diputados del H. Congreso de la Unión.
- CDHCU. (2020). *Ley General de Protección Civil*. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.
- CDHCU. (2021a). Constitución Política De Los Estados Unidos Mexicanos. En *Diario Oficial De La Federacion* (2021a ed.). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.
- CDHCU. (2021b). *Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano*. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.
- CDHCU. (2021c). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.
- CDHCU. (2022). *Ley General de Cambio Climático*. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.
- Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*, 1 (2022) (testimony of CDHCU).
- CENAPRED. (2015). *Base de impactos socioeconómicos por desastres naturales*.
- CENAPRED. (2016). *Actualización de las Probabilidades de Ocurrencia de Ciclones Tropicales en México para el Cálculo de Marea de Tormenta (para el periodo 1949-2014)*.
https://www1.cenapred.unam.mx/COORDINACION_ADMINISTRATIVA/SRM/FRACCION_XLI_A/32.pdf
- CENAPRED. (2017a). *Atlas Nacional de Riesgos*.
<http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/>
- CENAPRED. (2017b). *Impacto socioeconómico de desastres de 2000 a 2015*.
<https://datos.gob.mx/busca/dataset/impacto-socioeconomico-de-desastres->

de-2000-a-2015

CENAPRED. (s.f.). *Karsticidad*.

<https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/300-INFOGRAFAKARSTICIDAD.PDF>

CENAPRED, CNPC, SEGURIDAD, & Fenómenos MX. (2017). *Atlas Nacional de Riesgos*.

<http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/portal/fenomenos/>

Chávez Alvarado, R., Camacho Sanabria, J. M., & Velázquez Torres, D. (2019). *El camino hacia un modelo metodológico para realizar un índice de resiliencia en ciudades costeras (IRCC) del Caribe mexicano ante huracanes e inundaciones*. 13(18), 2, 5.

Chávez, V., Uribe-Martínez, A., Cuevas, E., Rodríguez-Martínez, R. E., van Tussenbroek, B. I., Francisco, V., Estévez, M., Celis, L. B., Monroy-Velázquez, L. V., Leal-Bautista, R., Álvarez-Filip, L., García-Sánchez, M., Masia, L., & Silva, R. (2020). Massive Influx of Pelagic Sargassum spp. on the Coasts of the Mexican Caribbean 2014–2020: Challenges and Opportunities. *Water*, 12(10), 2908.
<https://doi.org/10.3390/w12102908>

CICESE. (2015). *Base de datos climatológica nacional (Sistema CICLON)*.
<http://clicom-mex.cicese.mx/>

CICESE. (2022). *Base de datos del CLICOM*. CLICOM. <http://clicom-mex.cicese.mx/mapa.html>

Coke, J. G. (2019). Underwater Caves of the Yucatan Peninsula. En *Encyclopedia of Caves* (pp. 1089–1095). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814124-3.00127-8>

Comisión Nacional Forestal. (2010). *Incendios Forestales Guía práctica para*

comunicadores.

<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/236Gu%C3%ADa%20pr%C3%A1ctica%20para%20comunicadores%20-%20Incendios%20Forestales.pdf>

CONABIO. (s.f.). *CORREDOR CANCÚN - TULUM.*

http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_105.html

CONAFOR. (2003). *Análisis de los procesos de Deforestación en Quintana Roo.*

<https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/CuadernilloCONAFOR-una-pagina.pdf>

CONAFOR. (2010). *Incendios forestales. Guía práctica para comunicadores (3°).*

<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/236Gu%C3%ADa%20pr%C3%A1ctica%20para%20comunicadores%20-%20Incendios%20Forestales.pdf>

CONAFOR. (2020a). *Metadatos de: Cartografía de riesgo por incendios forestales.*

Plataforma geoespacial de datos forestales.

https://idefor.cnf.gob.mx/layers/geonode%3Ariesgo_shp_v1_geo/layer_info_metadata

CONAFOR. (2020b). *Metadatos de: Incendios 2015 a 2020.* Plataforma geoespacial de datos forestales.

https://idefor.cnf.gob.mx/layers/geonode%3Ainfo_estadistica/layer_info_metadata

CONAGUA. (s.f.). *Categorías de Sequía.* <https://smn.conagua.gob.mx/es/categorias-de-sequia>

CONANP. (2013). *Monitoreo de Jaguar (Panthera onca) en la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales.* https://simec.conanp.gob.mx/pdf_monitoreo/77-

marismas_jaguar.pdf

CONANP. (2016). *Tortuga Caguama (Caretta caretta)*. gob.mx.

<http://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/tortuga-caguama-caretta-caretta>

CONANP. (2018). *100 años de conservación en México*.

<https://www.conanp.gob.mx/pdf/100A%C3%B1osConservaci%C3%B3n.pdf>

CONANP. (2019). *Parque Nacional Tulum*. gob.mx.

<http://www.gob.mx/conanp/documentos/parque-nacional-tulum>

CONANP. (2021a). *Ficha S I M E C / Parque Nacional de Tulum*.

<https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=81&=11>

CONANP. (2021b). *Ficha S I M E C / Reserva de la Biósfera de Sian Kaan*.

<https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=97&=11>

CONANP. (2021c). *Ficha S I M E C / Reserva de la Biósfera del Caribe Mexicano*.

<https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=191&=11>

CONANP, P. (2020). *PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVACIÓN DE TORTUGAS MARINAS*. 16.

CONEVAL. (2020a). *Bienestar de pobreza municipal*. <https://municipal-coneval.hub.arcgis.com/pages/bienestar-economico>

CONEVAL. (2020b). *Informe de Pobreza y Evaluación 2020. Quintana Roo* (p. 118).

https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Documents/Informes_de_pobreza_y_evaluacion_2020_Documentos/Informe_Quintana_Roo_2020.pdf

Congreso del Estado de Quintana Roo. (2009). *Ley para la Prevención, Gestión*

Integral y Economía Circular de los Residuos del Estado de Quintana Roo.

Congreso del Estado de Quintana Roo. (2015). *Ley de Acción de Cambio Climático en*

el Estado de Quintana Roo.

Congreso del Estado de Quintana Roo. (2018). *Ley de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Quintana Roo.*

Congreso del Estado de Quintana Roo. (2021). *Ley de Movilidad del Estado de Quintana Roo.*

Contreras-Silva, A. I., Tilstra, A., Migani, V., Thiel, A., Pérez-Cervantes, E., Estrada-Saldívar, N., Elias-Ilosvay, X., Mott, C., Alvarez-Filip, L., & Wild, C. (2020). A meta-analysis to assess long-term spatiotemporal changes of benthic coral and macroalgae cover in the Mexican Caribbean. *Scientific Reports*, 10(1), 8897. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65801-8>

DataMéxico. (2021). *Tulum: Economía, empleo, equidad, calidad de vida, educación, salud y seguridad pública.* Data México. <https://datamexico.org/es/profile/geo/tulum>

Dirección Estatal de Protección Civil de Quintana Roo. (2018). *Recuento de Refugios y Albergues de Tulum.* 4.

Dirección General de Aguas. (s.f.). *Anexo F Escenarios de Cambio Climático y su Trayectoria.* Ministerio de Obras Públicas de Chile. <https://dga.mop.gob.cl/Estudios/Anexos/Anexo%20F%20Presiones%20Ambientales/Anexo%20F%20Escenarios%20de%20Cambio%20Clim%C3%A1tico%20y%20su%20Trayectoria.docx>

Dirección General de Epidemiología. (2015). *Perfil Nacional de Riesgos 2015.* Secretaría de Salud. https://epidemiologia.salud.gob.mx/gobmx/salud/documentos/pnr/Perfil_Nacional_de_Riesgos_DGE2015.pdf

Dirección General de Epidemiología. (2021). *Perfil Nacional de Riesgos 2021*.

Secretaría de Salud.

https://epidemiologia.salud.gob.mx/gobmx/salud/documentos/pnr/Perfil_Nacional_de_Riesgos_DGE2021.pdf

Espinosa, L. A., & Li Ng, J. J. (2020). *El Riesgo del Sargazo para la Economía y Turismo de Quintana Roo y México*. BBVA Research.

F., D. W. (2010). Cambio climático y su Influencia en la Biodiversidad. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 11, 1–9.

Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo sobre el Agua, CONACYT, & CONAGUA. (2012). *INFORME DE VALIDACIÓN EN CAMPO ZONA NORESTE DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN*.

Fong, W. K., Sotos, M., Doust, M., Schultz, S., Marques, A., & Deng-Beck, C. (2014).

Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria.

GAIA INEGI. (2020). *SCINCE 2020*. <https://gaia.inegi.org.mx/scince2020/>

Global Forest Watch. (2020). *Interactive World Forest Map & Tree Cover Change Data / GFW*.

<https://www.globalforestwatch.org/map/?map=eyJjZW50ZXliOmsibGF0IjoxOS42MTE1NTA4MDY3OTU2NDUsImxuZyl6LTg3LjYwNDc5NzUzOTIzMDUyfSwiem9vbSI6Ny4wODQ2Mjc5MDM4MDEzMjh9>

Gobierno de México, & Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020). *Contribución Determinada a nivel Nacional: México. Versión actualizada 2020*.

Gobierno de Quintana Roo. (s.f.a). *Áreas Naturales Protegidas*.

<https://qroo.gob.mx/eje-5-crecimiento-ordenado-con-sustentabilidad-ambiental/areas-naturales-protegidas>

Gobierno de Quintana Roo. (s.f.b). *UNIDADES JURISDICCIÓN SANITARIA 2*.

<http://www.salud.qroo.gob.mx/portal/unidades/j2.php?pagina=1>

Gobierno del Estado de Quintana Roo. (2015). *Boletín Epidemiológico Estatal*.

Servicios Estatales de Salud. <https://qroo.gob.mx/sesa/dss/sve>

Gobierno del Estado de Quintana Roo. (2016). *Plan Estatal de Desarrollo Quintana Roo 2016-2022*.

Gobierno del Estado de Quintana Roo, INECC-AECID, & Universidad de Quintana Roo. (2013). *Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Quintana Roo*.

Gobierno del Estado de Quintana Roo, & SEMARNAT. (2019). *Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de Quintana Roo, 2019-2028*.

Hendy, I. W., Woolford, K., Vincent-Piper, A., Burt, O., Schaefer, M., Cragg, S. M., Sanchez-Navarro, P., & Ragazzola, F. (2021). Climate-driven golden tides are reshaping coastal communities in Quintana Roo, Mexico. *Climate Change Ecology*, 2, 100033. <https://doi.org/10.1016/j.ecochg.2021.100033>

Ihl, T., & Frausto-Martínez, O. (2014). El Cambio Climático y los huracanes en la Península de Yucatán. En *Monitoreo de riesgo y desastre asociados a fenómenos hidrometeorológicos y cambio climático*. Universidad de Quintana Roo. <https://www.mendeley.com/catalogue/monitoreo-riesgo-y-desastre-asociados-fenomenos-hidrometeorologicos-y-cambio-climatico/>

INAFED. (s.f.). *Quintana Roo—Tulum*.

- <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM23quintanaroo/municipios/23009a.html>
- INAH. (2022). *Zona Arqueológica de Tulum*. <https://www.inah.gob.mx/zonas/99-zona-arqueologica-de-tulum>
- INECC. (2021a). Acuerdos Internacionales. *México ante el cambio climático*.
<https://cambioclimatico.gob.mx/acuerdos-internacionales/>
- INECC. (2021b). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. *México ante el cambio climático*. <https://cambioclimatico.gob.mx/convencion-marco-de-las-naciones-unidas-sobre-el-cambio-climatico/>
- INEGI. (2017). *Guía para la interpretación de cartografía, Uso del Suelo y Vegetación, escala 1:250 000, serie VI*.
- INEGI. (2018a). *Mapa 11: Suelos Dominantes*.
https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_23.pdf
- INEGI. (2018b). *SAIC: Censos Económicos 2019*.
<https://www.inegi.org.mx/app/saic/default.html>
- INEGI. (2018c). *Tabulados interactivo (SAIC) Censos Económicos 2019*.
<https://www.inegi.org.mx/app/saic/default.html>
- INEGI. (2020a). *Biblioteca digital de Mapas*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>
- INEGI. (2020b). *Censo de Población y Vivienda 2020*.
<https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Microdatos>
- INEGI. (2020c). *Número de habitantes. Quintana Roo*.
<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/qroo/poblacion/>

INEGI. (s.f.). *Clima. Quintana Roo*.

<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/qroo/territorio/clima.aspx?tema=me&e=23>

INPI. (2015). Quintana Roo. *Atlas de los Pueblos Indígenas de México*. INPI.

<http://atlas.inpi.gob.mx/quintana-roo/>

Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM. (2014). *Modelo*

CNRMCM5. RCP85. HORIZONTE 2015-2039. TEMPERATURA MÍNIMA (°C).

RESOLUCIÓN ESPACIAL DE 30" X 30".

<http://ri.atmosfera.unam.mx:8550/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/c1cf98cf-6cfa-4d95-92a6-eab256158105>

Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM. (2022).

Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación. [Map]. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

IPCC. (2018). *Glosario*.

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_WGII_glossary_ES.pdf

IPCC. (2021). *Summary for Policymakers*. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 32.

<https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>.

IPCC. (2022). *Summary for Policymakers* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S.

Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S.

Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Impacts,*

Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth

Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)].

<https://doi.org/10.1017/9781009325844.001>.

Isasi-Catalá, E. (2011). *LOS CONCEPTOS DE ESPECIES INDICADORAS, PARAGUAS, BANDERAS Y CLAVES: SU USO Y ABUSO EN ECOLOGÍA DE LA CONSERVACIÓN*. 36, 9.

IUCN. (2004). IUCN Red List of Threatened Species: *Chelonia mydas*. *IUCN Red List of Threatened Species*. <https://www.iucnredlist.org/en>

IUCN. (2020). *IUCN Red List of Threatened Species: Icterus auratus*.
<https://www.iucnredlist.org/species/22724093/138286925>

IUCN. (2021a). IUCN Red List of Threatened Species: *Ramphastos sulfuratus*. *IUCN Red List of Threatened Species*. <https://www.iucnredlist.org/en>

IUCN. (2021b). *IUCN Red List of Threatened Species: Yellow-lored Amazon*.
<https://www.iucnredlist.org/species/22686226/140710748>

Jael Maxine Nyman. (2018). The Complete Guide to Visiting Cenote Sac Actun. *Travel Jael*. <https://www.traveljael.com/the-complete-guide-to-visiting-cenote-sac-actun/>

James, R. K., Silva, R., van Tussenbroek, B. I., Escudero-Castillo, M., Mariño-Tapia, I., Dijkstra, H. A., van Westen, R. M., Pietrzak, J. D., Candy, A. S., Katsman, C. A., van der Boog, C. G., Riva, R. E. M., Slobbe, C., Klees, R., Stapel, J., van der Heide, T., van Katwijk, M. M., Herman, P. M. J., & Bouma, T. J. (2019). Maintaining Tropical Beaches with Seagrass and Algae: A Promising Alternative to Engineering Solutions. *BioScience*, 69(2), 136–142. <https://doi.org/10.1093/biosci/biy154>

- Kambesis, P. N., & Coke, J. G. (2013). Overview of the Controls on Eogenetic Cave and Karst Development in Quintana Roo, Mexico. En M. J. Lace & J. E. Mylroie (Eds.), *Coastal Karst Landforms* (Vol. 5, pp. 347–373). Springer Netherlands.
https://doi.org/10.1007/978-94-007-5016-6_16
- Lomas, M. W., Buck, K. N., & Knap, A. H. (2011). Microbial productivity of the Sargasso Sea and how it compares to elsewhere, and the role of the Sargasso Sea in carbon sequestration – better than carbon neutral? En *Sargasso Sea Alliance Report Series*.
- Loro Yucateco (*Amazona xantholora*). (2022). NaturaLista Mexico.
<https://www.naturalista.mx/taxa/18977-Amazona-xantholora>
- México Agenda 2030. (2018). *Estrategia Nacional para la puesta en marcha de la Agenda 2030*.
- Monterroso, A., & Conde, C. (2013). Exposure to climate and climate change in Mexico. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 6(4), 272–288.
<https://doi.org/10.1080/19475705.2013.847867>
- Municipio de Tulum. (2021). *Dirección General de Turismo*.
<http://turismo.tulum.gob.mx/>
- Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (4ª sesión plenaria; Asamblea General).
https://agenda2030.mx/docs/doctos/A_RES_70_1_es.pdf
- Naturalista. (2021). *Jaguar (Panthera onca)*. NaturaLista Mexico.
<https://www.naturalista.mx/taxa/41970-Panthera-onca>
- NaturaLista México. (2021). *Calandria Dorso Naranja (Icterus auratus)*. NaturaLista Mexico. <https://www.naturalista.mx/taxa/9332-Icterus-auratus>

Naturalista Mexico. (2022). *Tucán Pico Canoa (Ramphastos sulfuratus)*. Naturalista Mexico; Naturalista Mexico.

<https://www.naturalista.mx/observations/104238016>

ONU. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/news/communications-material/>

Palacio-Aponte, A. G. (1998). Susceptibilidad regional del terreno y riesgos por huracanes en la zona costera del Golfo de México. *JAINA. EPOMEX*.

Payan (Panthera), E., Quigley (Panthera), H., Petracca (Panthera), L., Salom (Panthera), R., Foster (Panthera), R., & Bart Harmsen (University of Belize, E. R. I. (2016). IUCN Red List of Threatened Species: *Panthera onca*. *IUCN Red List of Threatened Species*. <https://www.iucnredlist.org/en>

Periódico oficial. (2001). *DECRETO POR EL QUE SE EXPIDE EL PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO TERRITORIAL DE LA REGIÓN DENOMINADA CORREDOR CANCÚN-TULUM*. http://tulum.gob.mx/Pdfs/93-f/POETCT/decreto_poet_cancun_tulum_.pdf

Periódico Oficial del Gobierno del Estado. (s/f-a). *Reglamento De Construcción Para El Municipio De Tulum, Quintana Roo*.

Periódico Oficial del Gobierno del Estado. (s/f-b). *Reglamento De Protección Civil Del Municipio De Tulum, Quintana Roo*.

Periódico Oficial del Gobierno del Estado. (s/f-c). *Reglamento De Tránsito Para El Municipio De Tulum*.

Periódico Oficial del Gobierno del Estado. (2009). *Reglamento Interior De La Dirección General De Desarrollo Urbano Y Ecología Del Municipio De Tulúm*,

Quintana Roo.

- Poblete, A. G., & Vera, M. J. (2019). Aplicación de la distribución de valores extremos a eventos geográficos poco frecuentes. Análisis del caso de la ocurrencia de heladas tempranas y tardías en el Valle de Tulum, San Juan. *Revista Universitaria de Geografía*, 28(1), 113–133.
- QRSS. (2021). *List Long Underwater Caves*. <https://caves.org/project/qrss/qrlong.htm>
- Rivas Calvete, S., Velasco Rodríguez, G., Blanco Solana, M., & Reyes de la Lanza, S. (2021). *Guía: Cómo desarrollar un Plan de Acción Climática en México*. Publications Office of the European Union.
- RSIS RAMSAR. (s.f.). *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR)*. <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/MX1351RIS.pdf>
- Rubio Maldonado, E., Murad Robles, M., & Rovira Sanroque, J. V. (2010). Crisis ambiental en la costa de Quintana Roo como consecuencia de una visión limitada de lo que representa el desarrollo sustentable. *Argumentos (México, D.F.)*, 23, 161–185.
- Sánchez-Rivera, G., Frausto-Martínez, O., & Cervantes-Martínez, A. (2021). Capítulo XII Análisis histórico (1851-2019) de huracanes extremos en Quintana Roo, México. Tesis de Maestría. *Gestión de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos En Sistemas Socio-Ecológicos*, 18.
- Sánchez-Rivera, G., Frausto-Martínez, O., Gómez-Mendoza, L., Terán-Cuevas, Á. R., & Hernández, J. C. M. (2021). Tropical Cyclones in the North Atlantic Basin and Yucatan Peninsula, Mexico: Identification of Extreme Events. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 16(2), 145–160. <https://doi.org/10.18280/ijdne.160204>

SEDATU. (2015). *ATLAS DE RIESGOS NATURALES DEL MUNICIPIO DE TULUM*

QUINTANA ROO 2015.

<http://www.tulum.gob.mx/Pdfs/91/ATLAS%20DE%20RIESGO.pdf>

SEDETUR. (2021). *Quintana Roo ¿Cómo vamos en el turismo? Febrero 2020-Febrero 2021.*

SEMARNAT. (2022). *Ciclones que han impactado en México.*

http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_AIREO4_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce

Servicio Meteorológico Nacional. (2022). *Glosario Técnico.* Servicio Meteorológico Nacional.

<https://smn.conagua.gob.mx/es/smn/glosario#:~:text=tipos%20de%20precipitaciones.-,Cicl%C3%B3n,de%20la%20periferia%20al%20centro.>

Siclari Bravo, P. G. (2020). *Amenazas de cambio climático, métricas de mitigación y adaptación en ciudades de América Latina y el Caribe.* CEPAL.

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46575/4/S2000867_es.pdf

Sissini, M. N., de Barros Barreto, M. B. B., Széchy, M. T. M., de Lucena, M. B., Oliveira, M.

C., Gower, J., Liu, G., de Oliveira Bastos, E., Milstein, D., Gusmão, F., Martinelli-

Filho, J. E., Alves-Lima, C., Colepicolo, P., Ameka, G., de Graft-Johnson, K.,

Gouvea, L., Torrano-Silva, B., Nauer, F., de Castro Nunes, J. M., ... Horta, P. A.

(2017). The floating Sargassum (Phaeophyceae) of the South Atlantic Ocean – likely scenarios. *Phycologia*, 56(3), 321–328. <https://doi.org/10.2216/16-92.1>

SMN. (2015). *Información Estadística Climatológica.*

<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>

SMN. (2016). *Estaciones Meteorológicas Automáticas*. Base de datos.

<http://smn.cna.gob.mx/es/emas>

SMN - CONAGUA. (2022). *Monitor de Sequía en México*.

<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>

SYSMANTEC. (2020). ¿Qué es la Infraestructura Crítica? *Sysmantec*.

<https://sysmantec.com.mx/index.php/2020/04/09/que-es-la-infraestructura-critica/>

Tapia, B. P. V. & CONANP. (2009). *Estimación y Actualización de la Tasa de*

Transformación del Hábitat de las Áreas Naturales Protegidas SINAP I y SINAP II del FANP. 017, 39.

Tortuga Verde (Chelonia mydas). (s.f.). NaturaLista Mexico.

<https://www.naturalista.mx/taxa/39659-Chelonia-mydas>

Transporte, I. M. del. (2021). *Red Nacional de Caminos*. gob.mx.

<http://www.gob.mx/imt/acciones-y-programas/red-nacional-de-caminos>

Tripadvisor. (2021). *Destinos populares: México*.

<https://www.tripadvisor.com.mx/TravelersChoice-Destinations-cPopular-g150768>

UNEP. (2021). *El mundo perdió 14% de sus corales desde 2009 por aumento de*

temperatura de la superficie del mar. [https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-mundo-perdio-14-de-sus-corales-desde-2009-por-](https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-mundo-perdio-14-de-sus-corales-desde-2009-por-aumento#:~:text=Entre%202010%20y%202019%2C%20la,mantener%20altos%20niveles%20de%20biodiversidad)

[aumento#:~:text=Entre%202010%20y%202019%2C%20la,mantener%20altos%20niveles%20de%20biodiversidad](https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-mundo-perdio-14-de-sus-corales-desde-2009-por-aumento#:~:text=Entre%202010%20y%202019%2C%20la,mantener%20altos%20niveles%20de%20biodiversidad)

UNFCCC. (2022a). *About the Secretariat*. <https://unfccc.int/about-us/about-the-secretariat>

UNFCCC. (2022b). *The Paris Agreement*. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

UNFCCC. (2022c). *What is the Kyoto Protocol?* <https://unfccc.int/about-us/about-the-secretariat>

U.S. Department of Homeland Security. (2021). *Extreme Heat*.
<https://www.ready.gov/heat>

van Tussenbroek, B. I., Hernández Arana, H. A., Rodríguez-Martínez, R. E., Espinoza-Avalos, J., Canizales-Flores, H. M., González-Godoy, C. E., Barba-Santos, M. G., Vega-Zepeda, A., & Collado-Vides, L. (2017). Severe impacts of brown tides caused by *Sargassum* spp. On near-shore Caribbean seagrass communities. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1–2), 272–281.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.057>

Vázquez, A. L., & Ortiz, F. J. G. (2005). *Métodos estadísticos para medir, describir y controlar la variabilidad*. Ed. Universidad de Cantabria.

Vinagre, F., Zamacona, A., & Casseb, T. (2019). *Sargassum: Another Bump in Tourism*. Credit Suisse.