



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

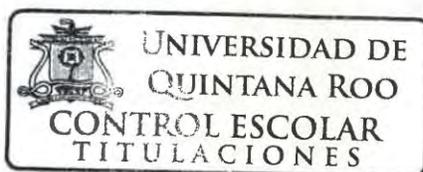
Manejo de residuos sólidos urbanos ante desastres por huracanes: una  
contribución a la resiliencia urbana-costera en la ciudad de Tulum,  
Quintana Roo

**TESIS**  
**PARA OBTENER EL GRADO DE**  
**Ingeniero Ambiental**

**PRESENTA**  
Randy Mauricio Martínez Torres

**DIRECTORA DE TESIS**  
**Dra. María Luisa Hernández Aguilar**

**ASESORES**  
**Dra. Norma Angélica Oropeza García**  
**M. en P. María Angélica González Vera**  
**Dr. José Manuel Camacho Sanabria**  
**M. I. A. Juan Carlos Avila Reveles**



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, JUNIO DE 2018



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

TRABAJO DE TESIS TITULADO  
"MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS ANTE DESASTRES POR HURACANES: UNA  
CONTRIBUCIÓN A LA RESILIENCIA URBANA-COSTERA EN LA CIUDAD DE TULUM, QUINTANA  
ROO"

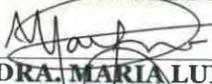
ELABORADO POR  
**RANDY MAURICIO MARTÍNEZ TORRES**

BAJO SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA Y APROBADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO DE:

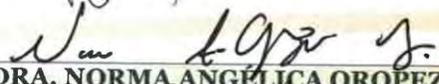
**INGENIERÍA AMBIENTAL**

**COMITÉ DE TESIS**

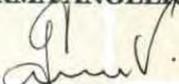
DIRECTOR:

  
DRA. MARÍA LUISA HERNÁNDEZ AGUILAR

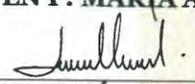
ASESORA:

  
DRA. NORMA ANGÉLICA OROPEZA GARCÍA

ASESORA:

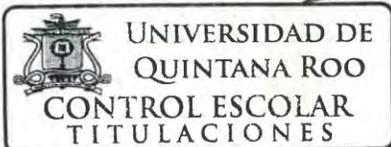
  
M. EN P. MARÍA ANGÉLICA GONZÁLEZ VERA

ASESOR:

  
DR. JOSÉ MANUEL CAMACHO SANABRIA

ASESOR:

  
M. I. A. JUAN CARLOS AVILA REVELES



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, JUNIO DE 2018



## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradezco a la Universidad de Quintana Roo que fortaleció mi carrera profesional de la mejor manera posible brindándome los conocimientos de sus docentes y sus instalaciones, particularmente el Centro de Información Geográfica que me permitió realizar mi servicio social, enseñándome técnicas innovadoras para la realización de proyectos.*

*Agradezco a mi honorable comité de tesis por guiarme en el desarrollo de este trabajo de investigación y aportarme con su profesionalismo, conocimientos que enriquecieron el documento de tesis.*

*Asimismo, un agradecimiento especial para la Dra. María Lourdes Castillo Villanueva Q.E.P.D. por sus atinados consejos, llamadas de atención y motivarme a realizar este trabajo de investigación.*

*Agradezco a mi familia por apoyarme incondicionalmente en mis estudios, principalmente a mis padres Eva Torres Sánchez y Juan Martínez Rodríguez, por confiar en mí, motivarme a cumplir mis metas y sobre todo tener mucha paciencia.*

*Agradezco de igual forma a mis amigos que me estuvieron presionando para terminar la tesis, por sus consejos y por estar presentes en este proceso.*

## CONTENIDO

	Pág.
Introducción.....	6
1. Contexto Geográfico	
1.1. La ciudad de Tulum.....	9
1.1.1. Condiciones físico-naturales.....	13
1.1.2. Parque Nacional Tulum.....	24
1.1.3. Dinámica demográfica.....	27
1.1.4. Actividades económicas.....	32
1.2. Revisión Histórica de Eventos Hidrometeorológicos.....	34
1.2.1. Huracán “Emily”.....	41
2. La gestión de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en México	
2.1. Definición de Residuos Sólidos Urbanos.....	45
2.2. Manejo de los RSU.....	48
2.3. Marco legal e institucional aplicable al manejo de los RSU.....	53
2.4. Manejo de los RSU en caso de desastres naturales en México.....	56
2.5. Efectos adversos al ambiente y la sociedad en el manejo de los RSU.....	58
2.6. Manejo de los RSU en la ciudad de Tulum.....	62
3. Riesgo y Resiliencia	
3.1. Vulnerabilidad, amenaza y riesgo.....	73
3.2. Resiliencia ante desastres.....	77
4. Metodología	

4.1. Cálculo del grado de resiliencia en el manejo de Residuos Sólidos Urbanos de la ciudad de Tulum.....	83
4.1.1. Estimación de la Amenaza ( $V_A$ ).....	85
4.1.2. Estimación de la Vulnerabilidad ( $V_V$ ).....	90
4.1.3. Estimación de la Capacidad de Adaptación ( $V_{CA}$ ).....	97
5. Conclusiones y Recomendaciones	
5.1. Conclusiones.....	104
5.2. Recomendaciones.....	106

## LISTA DE MAPAS

	<b>Pág.</b>
<b>Mapa 1.1</b> Ubicación del Municipio de Tulum.....	10
<b>Mapa 1.2</b> División de la ciudad de Tulum de acuerdo a zonas de actividades turísticas.	12
<b>Mapa 1.3</b> Subtipos de climas del Estado de Quintana Roo.....	14
<b>Mapa 1.4</b> Precipitación Media Anual del estado de Quintana Roo.....	16
<b>Mapa 1.5</b> Fisiografía del Municipio de Tulum.....	18
<b>Mapa 1.6</b> Regiones y cuencas hidrológicas del Estado de Quintana Roo.....	17
<b>Mapa 1.7</b> Tipo de vegetación en el Municipio de Tulum.....	22
<b>Mapa 1.8</b> Ubicación del Parque Nacional Tulum.....	25
<b>Mapa 1.9</b> Distribución de población de la zona urbana de la ciudad de Tulum.....	29
<b>Mapa 1.10</b> Principales corrientes migratorias interestatales de la República Mexicana, periodo 2005 – 2010.....	30
<b>Mapa 1.11</b> Trayectoria de huracanes intensos que han tocado el Estado de Quintana Roo.....	39

<b>Mapa 1.12</b> Ciclones tropicales que se han presentado dentro de la zona del Municipio de Tulum. Periodo 1858 al 2015.....	40
<b>Mapa 2.1</b> Generación de Residuos Sólidos Urbanos por entidad federativa: Año 2012.....	59
<b>Mapa 2.2</b> Días de recolección de los Residuos Sólidos Urbanos de la ciudad de Tulum.....	64
<b>Mapa 2.3</b> Ubicación del Relleno Sanitario de Tulum.....	68

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.1</b> Población económicamente activa e inactiva del Municipio de Tulum.....	32
<b>Tabla 1.2</b> Infraestructura hotelera del Municipio de Tulum, 2010 al 2015.....	32
<b>Tabla 1.3</b> Afluencia de los sitios arqueológicos del Municipio de Tulum, 2010-2015.....	33
<b>Tabla 1.4</b> Escala de daño potencial de Saffir-Simpson.....	37
<b>Tabla 1.5</b> Huracanes que impactaron el Estado de Quintana Roo, de acuerdo a su categoría y año de formación.....	38
<b>Tabla 1.6</b> Principales características del huracán “Emily”.....	42
<b>Tabla 1.7</b> Resumen de daños que provocó el huracán “Emily” en el Estado de Quintana Roo (en miles de pesos).....	43
<b>Tabla 2.1</b> Definiciones utilizadas en algunos países e instituciones internacionales.....	45
<b>Tabla 2.2</b> Clasificación de los residuos.....	47
<b>Tabla 2.3</b> Tipos de tratamiento para Residuos Sólidos Urbanos.....	51
<b>Tabla 2.4</b> Problemática general de los basureros a cielo abierto.....	60

<b>Tabla 2.5</b> Rutas y días de recolección de Residuos Sólidos Urbanos del Municipio de Tulum.....	62
<b>Tabla 2.6</b> Categorías de los sitios de disposición final.....	69
<b>Tabla 2.7</b> Refugios temporales de la ciudad de Tulum.....	71
<b>Tabla 3.1</b> Clasificación de la vulnerabilidad según Wilches-Chaux (1989).....	73
<b>Tabla 3.2</b> Diez aspectos esenciales para lograr ciudades resilientes.....	80
<b>Tabla 4.1</b> Amenaza ( $V_A$ ), componentes e indicadores con sus unidades y/o definición.....	86
<b>Tabla 4.2</b> Cálculo de los indicadores correspondiente a la Amenaza $V_A$ (“Emily”).....	89
<b>Tabla 4.3</b> Vulnerabilidad ( $V_V$ ): Componente e indicadores con sus unidades y/o definición.....	91
<b>Tabla 4.4</b> Descripción de los indicadores de Vulnerabilidad ( $V_V$ ).....	92
<b>Tabla 4.5</b> Cálculo de los indicadores correspondiente a la Vulnerabilidad ( $V_V$ ) para la ciudad de Tulum en el año 2015.....	96
<b>Tabla 4.6</b> Indicadores de la Capacidad de Adaptación ( $V_{CA}$ ) con sus unidades y/o definición.....	97
<b>Tabla 4.7</b> Descripción de indicadores de Capacidad de Adaptación ( $V_{CA}$ ).....	98
<b>Tabla 4.8</b> Cálculo correspondiente a la Capacidad de Adaptación ( $V_{CA}$ ).....	101
<b>Tabla 4.9</b> Rangos de clasificación del Grado de Resiliencia.....	103

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.1</b> Ilustración de los efectos del oleaje.....	35
<b>Figura 1.2</b> Ilustración de la marea de tormenta cercana a las costas.....	35
<b>Figura 1.3</b> Imagen de satélite GOES-E en canal infrarrojo IRA, del impacto del huracán “Emily” sobre la Península de Yucatán.....	41
<b>Figura 1.4</b> Precipitación observada en México del día 17 al 18 de julio a las 8:00 horas, asociadas al impacto del huracán <i>Emily</i> en la península de Yucatán.....	42
<b>Figura 2.1</b> Flujograma de un sistema de manejo de Residuos Sólidos Urbanos.....	48
<b>Figura 2.2</b> Ubicación de los contenedores para los Residuos Sólidos Urbanos de la ciudad de Tulum.....	65
<b>Figura 2.3</b> Ubicación del tiradero a cielo abierto del Municipio de Tulum.....	67
<b>Figura 2.4</b> Camino al basurero a cielo abierto del Municipio de Tulum.....	68
<b>Figura 2.5</b> Acciones preventivas ante un desastre natural en la ciudad de Tulum.....	70
<b>Figura 4.1</b> Modelo metodológico para el cálculo de la resiliencia en el manejo de Residuos Sólidos Urbanos.....	84

## INTRODUCCIÓN

Tulum es una ciudad costera mexicana ubicada en el Estado de Quintana Roo, posee características como maravillosas playas, riqueza cultural, monumentos arqueológicos, diversidad de flora y fauna, entre otros. En ese sentido, Tulum es objeto de gran interés para impulsar el desarrollo económico por medio de actividades turísticas.

El desarrollo turístico se considera un generador de oportunidades, capaz de crear negocios y ofrecer empleo, pero trae consigo diversos problemas asociados como el proceso acelerado de crecimiento poblacional provocando un aumento, no sólo en el consumo de los recursos sino también en la necesidad de mayor infraestructura.

Uno de los principales inconvenientes de los asentamientos humanos con una urbanización descontrolada es la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), problema que se incrementa en proporción directa al tamaño de la población. La situación con los RSU es que si no ejecuta una eficiente recolección, transporte, tratamiento, reciclaje y disposición final provoca un impacto ambiental, deteriorando los recursos naturales al ser contaminado el aire, agua, suelo; alterando las condiciones del ecosistema y la calidad de la salud humana.

Por otra parte, la ciudad Tulum es una de las ciudades que se encuentra expuesta al riesgo de desastre ante la formación de huracanes durante los meses de junio a noviembre. Los efectos negativos de un huracán dependen de la velocidad del viento, intensidad de las lluvias y el tiempo de duración; causando inundaciones, destrucción de infraestructura, pérdida de vegetación y entorpeciendo la dinámica de la población afectada.

En situación de emergencia ante un posible desastre producido por el impacto de un huracán, uno de los servicios de saneamiento más afectado, y que por lo general no atendido con la prioridad debida, es el sistema de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos. Posiblemente la recolección de los residuos sea interrumpido provocando la acumulación de basura en estado de descomposición, las inundaciones desentierran y arrastran residuos dispersándolos de un área a otra aumentando las posibilidades de contaminación.

En el caso de la ciudad e Tulum, presentan un manejo de sus RSU insuficiente, primeramente la cantidad de residuos que genera la población rebasa la capacidad de

almacenamiento de su sitio de disposición final, no cuentan con el equipo necesario para recorrer y recolectar toda la basura de la ciudad, pero principalmente no cuentan con programa ante situaciones de desastre.

Es posible resguardar a las comunidades de situaciones de desastres mediante la reducción de sus vulnerabilidades y el aumento de la resiliencia, orientando las capacidades, habilidades y recursos para prevenir, mitigar y preparar cualquier situación de estrés. En cuanto al Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos es necesario trabajar con los gobiernos nacionales y locales que permitan fortalecer las infraestructuras, elaborar programas de protección y sensibilizar a la población en relación al cuidado del ambiente.

Una manera de medir el aumento de la resiliencia de la ciudad de Tulum es por medio de indicadores que evalúan las tareas realizadas, calificando la eficiencia en cuanto al Manejo de Residuos Sólidos Urbanos antes desastre por huracanes. Estas tareas deben estar acorde a características de la ciudad y si alguna no funciona deberá ser modificada o eliminada.

Por tal motivo esta investigación tiene como objetivo general el siguiente:

### **OBJETIVO GENERAL**

- Determinar el grado de resiliencia en el manejo de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de la ciudad de Tulum a partir de la estimación de la amenaza, vulnerabilidad y capacidad de adaptación.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Describir el contexto urbano-geográfico de la ciudad de Tulum, así como los principales efectos de los fenómenos hidrometeorológicos a través de su historia.
- Analizar el manejo y gestión de los Residuos Sólidos Urbanos en México, particularmente en zonas costeras como la ciudad de Tulum.
- Identificar y comprender los conceptos de riesgo, vulnerabilidad y resiliencia urbano-costera ante huracanes.

## JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, el impacto que han provocado los huracanes en México ha sido alarmante. La historia de estos fenómenos en el Estado de Quintana Roo es recurrente; solo en la última década los huracanes “*Emily*” y “*Wilma*” afectaron en el año 2005 a ciudades costeras turísticas y provocaron grandes pérdidas en infraestructura (Palafox y Frausto, 2008).

Los huracanes afectan en mayor grado a las comunidades que no tienen una buena planificación urbana y que están establecidas en áreas vulnerables, como son las zonas costeras. El caso de la ciudad de Tulum, la cual presenta un crecimiento poblacional descontrolado causando limitaciones en el acceso de algunos servicios públicos sobre todo en las regiones donde se desarrollaron asentamientos ilegales y de difícil acceso.

En un escenario de desastre por huracanes, uno de los servicios afectados sería la recolecta de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), ocasionando problemas de contaminación. Esta es una situación que demanda atención, a fin de minimizar los riesgos para la salud humana y el ambiente.

De esta manera, la elaboración de este trabajo enlistará los problemas que se producen en el manejo de los RSU de la ciudad de Tulum, a su vez se recomendarán estrategias para el aumento de la resiliencia después de evaluar las acciones que se realizan en cuanto al manejo de RSU ante desastre por huracanes, con la finalidad de conservar el entorno ambiental y la salud de la población.

Así mismo, se conocerá la capacidad que tiene la ciudad de Tulum para afrontar los conflictos relacionados en el manejo de RSU ante la presencia de un huracán, sus debilidades y fortalezas para conseguir el mínimo de afectaciones antes, durante y después del fenómeno climático.

## CAPÍTULO 1. CONTEXTO GEOGRÁFICO

En este primer capítulo se pueden apreciar los aspectos territoriales de importancia que enmarcan a la ciudad de Tulum, mencionando desde su climatología, tipo vegetación, tipo de suelo y otros aspectos naturales. También describe como las actividades turísticas afectan su dinámica poblacional.

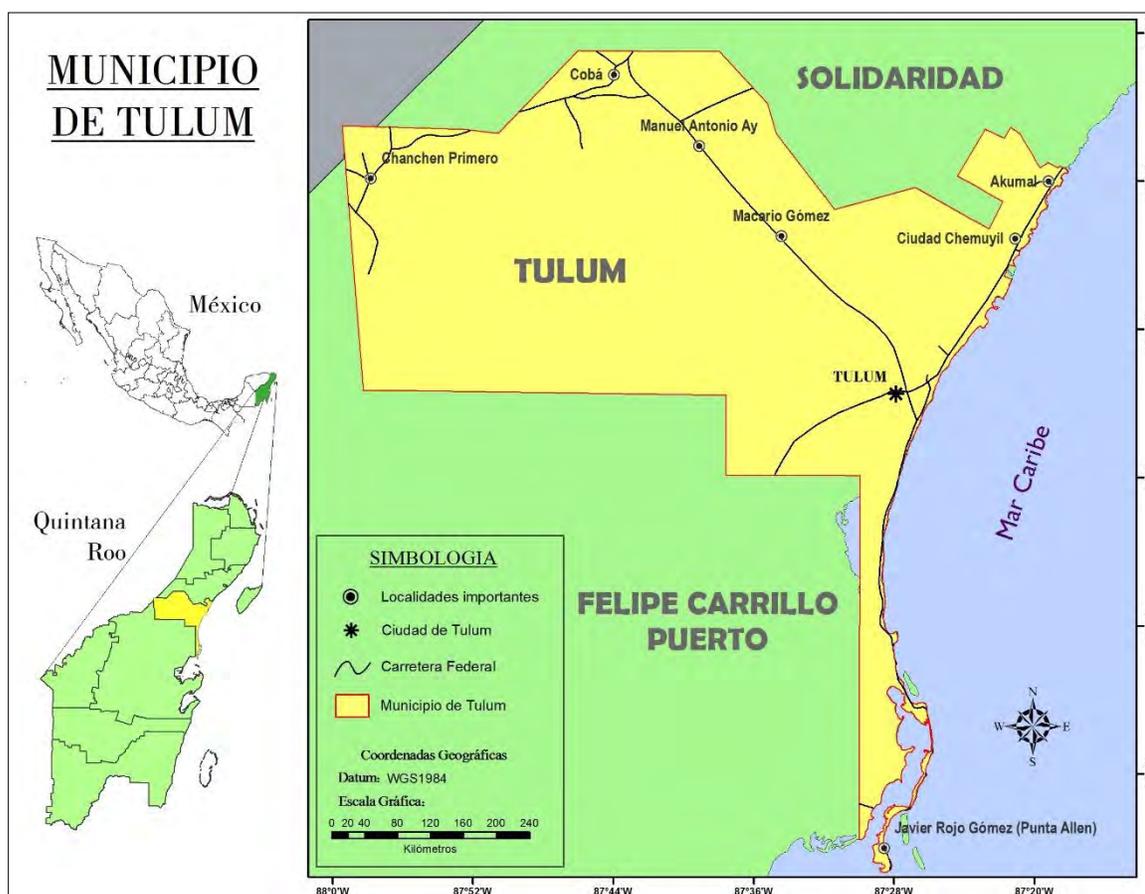
Igualmente se mencionan componentes económicos, sociales y culturales que sobresalen de la ciudad y pueden ser afectados por los huracanes, por tal motivo, se enmarcan históricamente los principales ciclones tropicales que han impactado en las cercanías de la ciudad de Tulum para conocer el riesgo en el que está expuesto.

### 1.1 - La ciudad de Tulum

El 13 de marzo de 2008 la XI Legislatura del Estado aprobó por unanimidad el dictamen de minuta del proyecto de decreto por el que se crea el Municipio de Tulum, convirtiéndose en el onceavo Municipio del Estado mexicano de Quintana Roo.

Se localiza en la zona centro-norte del Estado y su territorio fue disgregado del Municipio de Solidaridad. Su integración territorial está compuesta por 170 localidades, en donde sólo 17 localidades son las más representativas del Municipio por su tamaño de población y las actividades turísticas, artesanales y agrícolas que realizan, distinguiéndose la ciudad de Tulum como cabecera municipal.

El **mapa 1.1** representa geográficamente al Municipio de Tulum que se localiza al sureste de México, en el Estado de Quintana Roo entre las latitudes 88° 00' y 87° 20', con longitudes entre los 19° 46' y 20° 31'. Colinda al norte con el municipio de Solidaridad, al sur con Felipe Carrillo Puerto, al extremo sureste limita con el municipio de Valladolid, Yucatán y al oeste con la costa del mar Caribe. Abarca una extensión territorial de 2 040.94 km<sup>2</sup> que ocupa el 9.4% de la superficie del estado de Quintana Roo (INEGI, 2010).

**Mapa 1.1** Ubicación del Municipio de Tulum

**Fuente:** Elaboración propia con datos geográficos obtenidos del INEGI (2012).

Con respecto a la etimología, el nombre de “*Tulum*” significa “muralla o fortificación” en alusión a los vestigios arqueológicos de asentamientos de la civilización maya que se encuentran en la ciudad; aunque según crónicas del siglo XVI, el nombre original sería “*Zamá*”, que significa “mañana o amanecer”, por su ubicación junto a la costa del mar Caribe.

Tulum es una ciudad emblemática de la costa del Estado de Quintana Roo no sólo desde el punto de vista histórico-cultural, sino también en su aspecto físico-geográfico y socioeconómico. Entre los elementos físico-geográficos más relevantes se encuentran los sistemas de playa-dunas, de agua color turquesa y sus finas arenas blancas; y la red de ríos subterráneos que desembocan en los cenotes de la región.

Por lo anterior, y basado en el alto potencial paisajístico que ofrecen sus diversas playas, en la década de los noventa comenzó un cambio en la orientación de la economía local

hacia una participación creciente de actividades turístico-recreativas. En consecuencia se conforma el “Corredor turístico Cancún-Tulum”, nombre que cambiaría en 1999 al conocido “Riviera Maya”, resultando actualmente en la base del crecimiento económico y demográfico acelerado de todo el Estado de Quintana Roo, surgiendo como una zona clave para el desarrollo turístico de México.

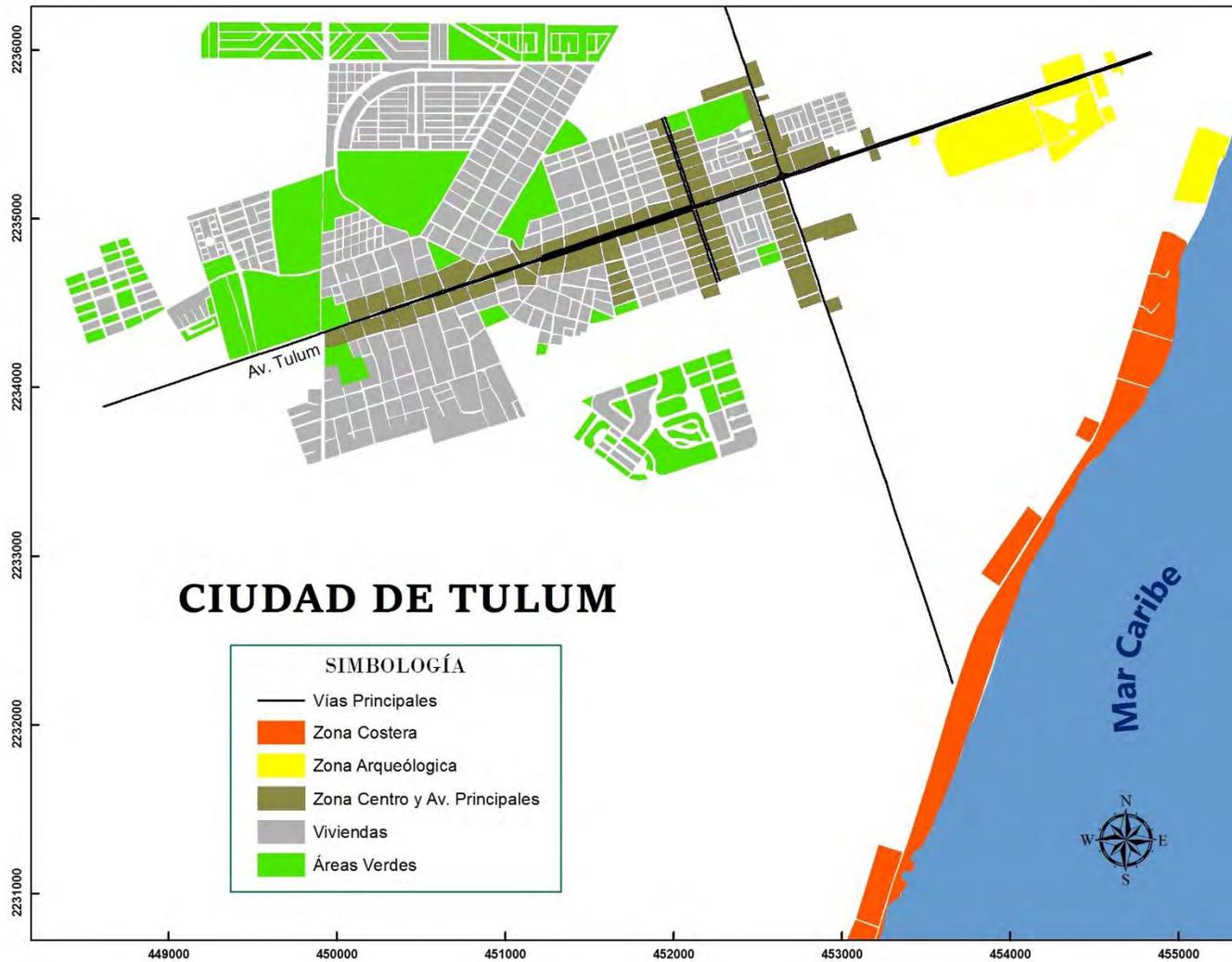
Dicha dinámica turística favorece al crecimiento de negocios, adaptados a cumplir con las exigencias de los extranjeros, que se han establecido a lo largo de la costa y centro de la ciudad provocando cambios en la estructura urbana que se ve reflejado en las desigualdades de los grupos sociales.

Como manera de representación de los grupos sociales que se desenvuelven en actividades turísticas en relación al área urbana de la ciudad de Tulum, se dividirían en tres claras zonas (**mapa 1.2**):

- a) Estaría constituida por la zona costera, donde se localizan las áreas de playa y los principales servicios turísticos (hoteles, restaurantes, tours en lancha, entre otros) frente al mar, por lo que es una zona muy concurrida por población local y extranjera.
- b) La zona arqueológica, que día con día recibe cientos de visitantes para conocer los emblemáticos templos de la cultura maya, por lo que es considerado el principal centro arqueológico del municipio de Tulum.
- c) Zona centro y avenidas principales, teniendo a la Avenida Tulum como una de las principales vías de comunicación para la operación de establecimientos turístico-comerciales, también se ubican a lo largo de la avenida edificios de importancia como el palacio municipal, bancos, terminal de autobuses, hospitales, entre otros.

Así mismo, las viviendas de los pobladores que están localizadas en la zona norte y periferias de la ciudad muestran la falta de infraestructura, equipamiento y restricciones en el uso de los servicios públicos.

**Mapa 1.2** División de la ciudad de Tulum de acuerdo a zonas de actividades turísticas



**Fuente:** Elaboración propia con base cartográfica del INEGI e imágenes de *Google Earth* (2015).

### 1.1.1 Condiciones físico-naturales

#### CLIMA

México presenta una gran variedad de climas, para el norte del territorio predominan los áridos, en el sur-sureste los cálidos húmedos y subhúmedos. Para regiones elevadas se observan climas fríos o templados. De acuerdo con las cartas climatológicas elaboradas por el INEGI, Quintana Roo abarca cinco subtipos climáticos: Am (f), Aw0 (x'), Aw1, Aw1 (x') y Aw2 (x'), se distribuyen en el Estado como ilustra el **mapa 1.3**.

El clima que representa el municipio de Tulum, de acuerdo a la clasificación de Köppen modificado por García, es de tipo Aw, es decir, cálido subhúmedo con lluvias en verano, registrando altas temperaturas y humedad durante gran parte del año. El rango de temperatura oscila entre los 20°C a 31°C, obteniendo temperaturas medias alrededor de 26°C (CONAGUA, 2010).

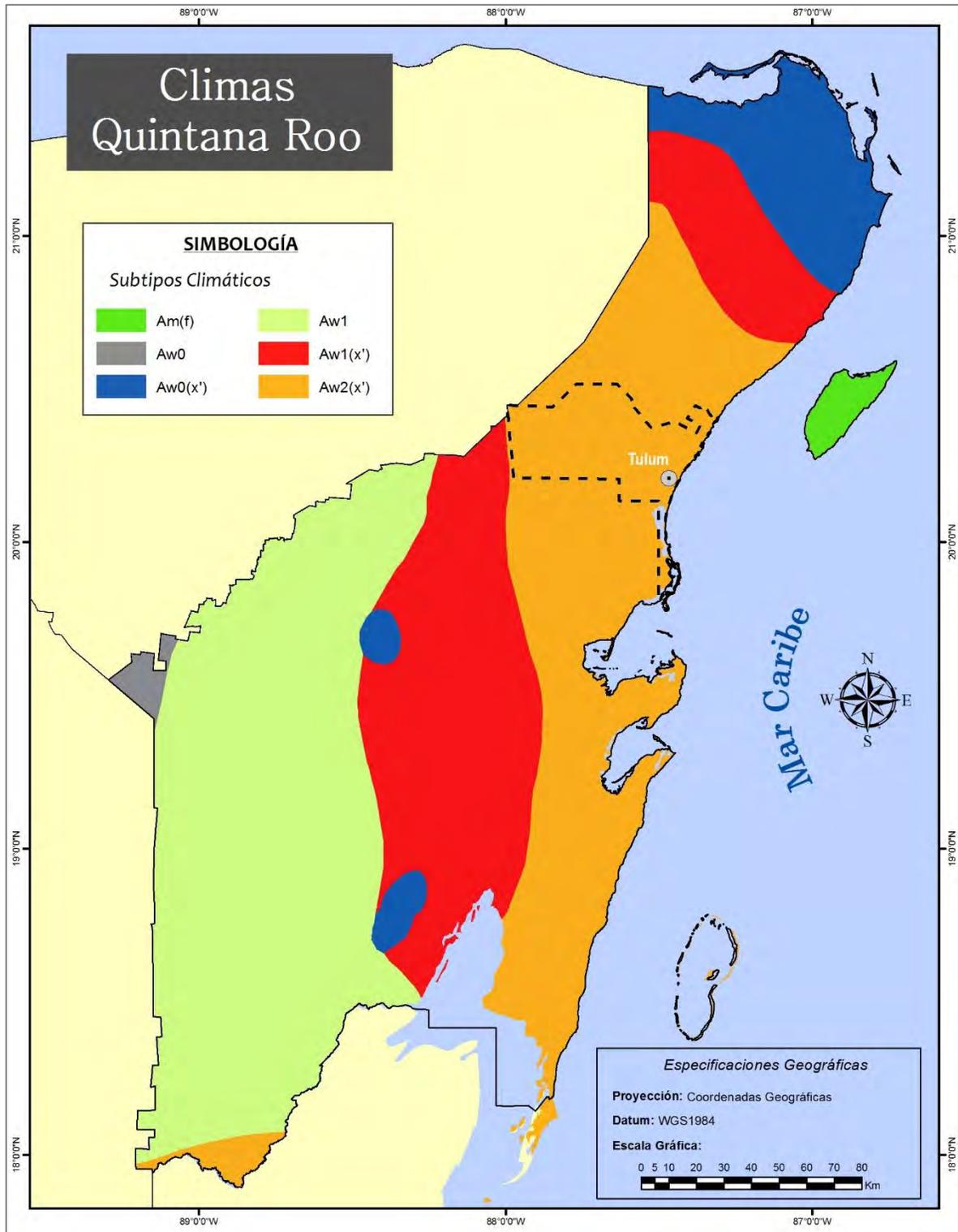
Con base en los datos de la estación climatológica de Tulum (periodo 1981-2010), se registró la temperatura máxima normal anual alcanzando los 31.4 °C, indicando los meses de julio y agosto como los más calientes, mientras que la temperatura mínima normal registró los 20.0 °C, mostrando que enero es el mes más frío.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Temperatura Máxima (°C)	29.4	30.2	31.1	32.0	32.5	32.2	32.7	32.7	32.0	31.3	30.6	29.7	<b>31.4</b>
Temperatura Media (°C)	23.3	24.2	25.3	26.2	26.9	27.1	27.1	27.0	26.5	25.8	24.8	23.8	<b>25.7</b>
Temperatura Mínima (°C)	17.3	18.1	19.6	20.5	21.2	22.0	21.5	21.2	21.0	20.3	19.0	18.0	<b>20.0</b>

**Fuente:** Información climatológica por Estado (CONAGUA, 2010).

Los vientos dominantes son los alisios provenientes del sureste, se presentan de febrero a julio, con velocidades promedio de 10 km/h y durante perturbaciones tropicales alcanzan hasta 30 km/h. En los meses de invierno se presentan vientos del norte, los cuales pueden alcanzar velocidades entre 80 a 90 km/h, lo que ocasiona que la temperatura normal descienda considerablemente, provocando lluvias, grandes oleajes y marejadas.

**Mapa 1.3** Subtipos de climas del Estado de Quintana Roo



**Fuente:** Elaboración propia con datos climatológicos del INEGI (2008).

*PRECIPITACIÓN*

La distribución de la lluvia en México presenta grandes diferencias de una región a otra, las zonas más lluviosas con precipitaciones superiores a 1,500 mm se encuentran al sur del paralelo 22° N, principalmente comprende las pendientes montañosas, el sur del país que se inclinan al Golfo de México y los que se encuentran directamente expuestas a los vientos húmedos del mar asociados con los alisios, los nortes y ciclones tropicales (García, 2003).

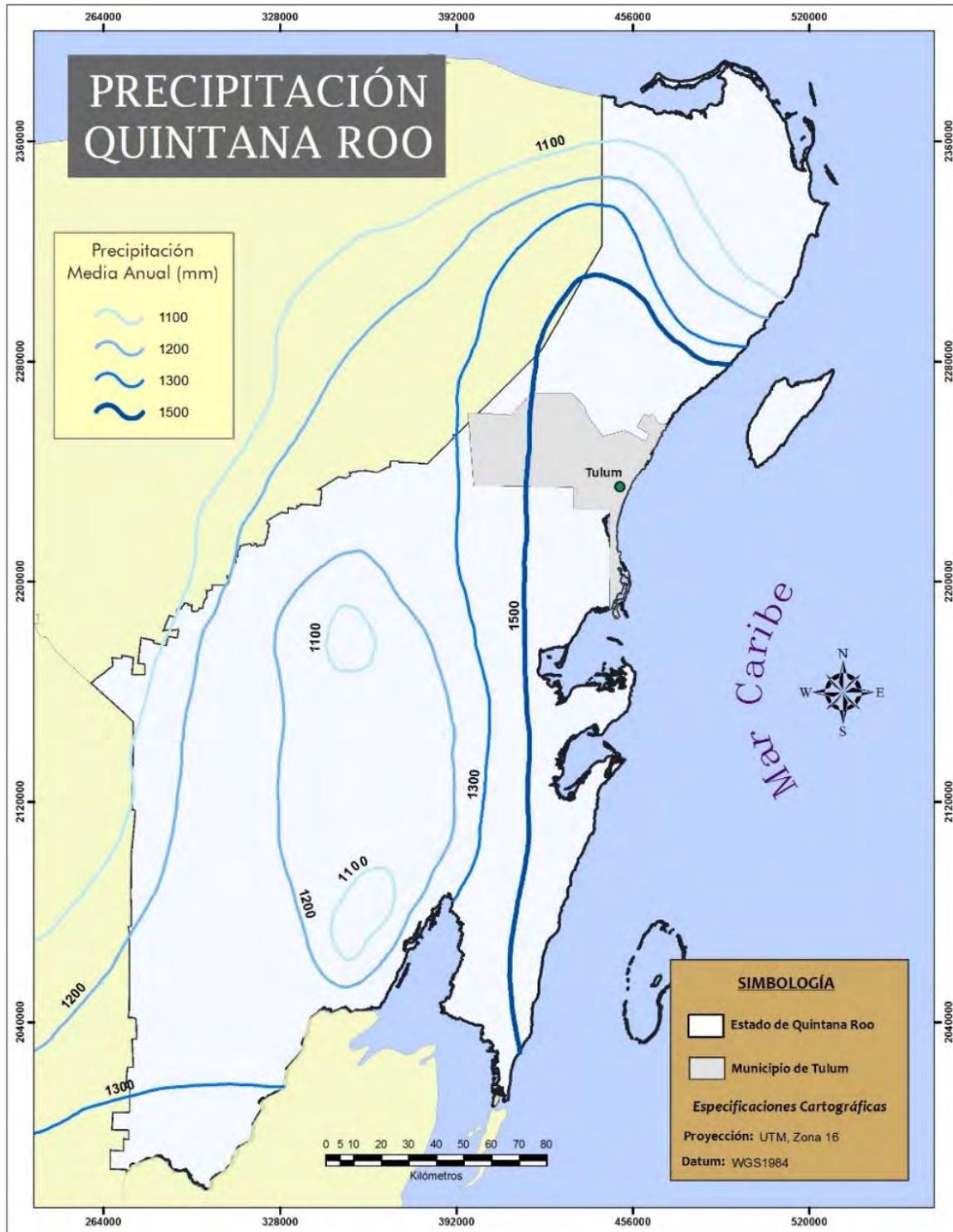
Mientras tanto, la Península de Yucatán, la cual es casi plana, recibe menos precipitación que la parte de la llanura costera del Golfo, la precipitación decrece de 1,500 mm de sur a 500 mm en el noroeste. Tal como presenta la carta de precipitación media anual del INEGI, para la cual se encuentra el Estado de Quintana Roo. El Municipio de Tulum muestra una precipitación media anual alrededor de los 1,500 mm (**mapa 1.4**).

Por su parte, los registros de precipitación normal de la estación climatológica de Tulum (1981 – 2010), resultaron con 1,124.6 mm, en donde el mes más lluvioso fue octubre con 162.6 mm y el más seco fue marzo con 29.4 mm (CONAGUA, 2010). Así mismo se observa que los veranos son más lluviosos que los inviernos en la ciudad de Tulum.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Precipitación Normal (mm)	63.1	47.0	29.4	39.6	109.5	151.3	114.2	99.3	160.7	162.6	89.8	58.1	1,124.6

**Fuente:** Información climatológica por Estado (CONAGUA, 2010).

**Mapa 1.4** Precipitación Media Anual del Estado de Quintana Roo



**Fuente:** Elaboración propia con datos climatológicos del INEGI (2007).

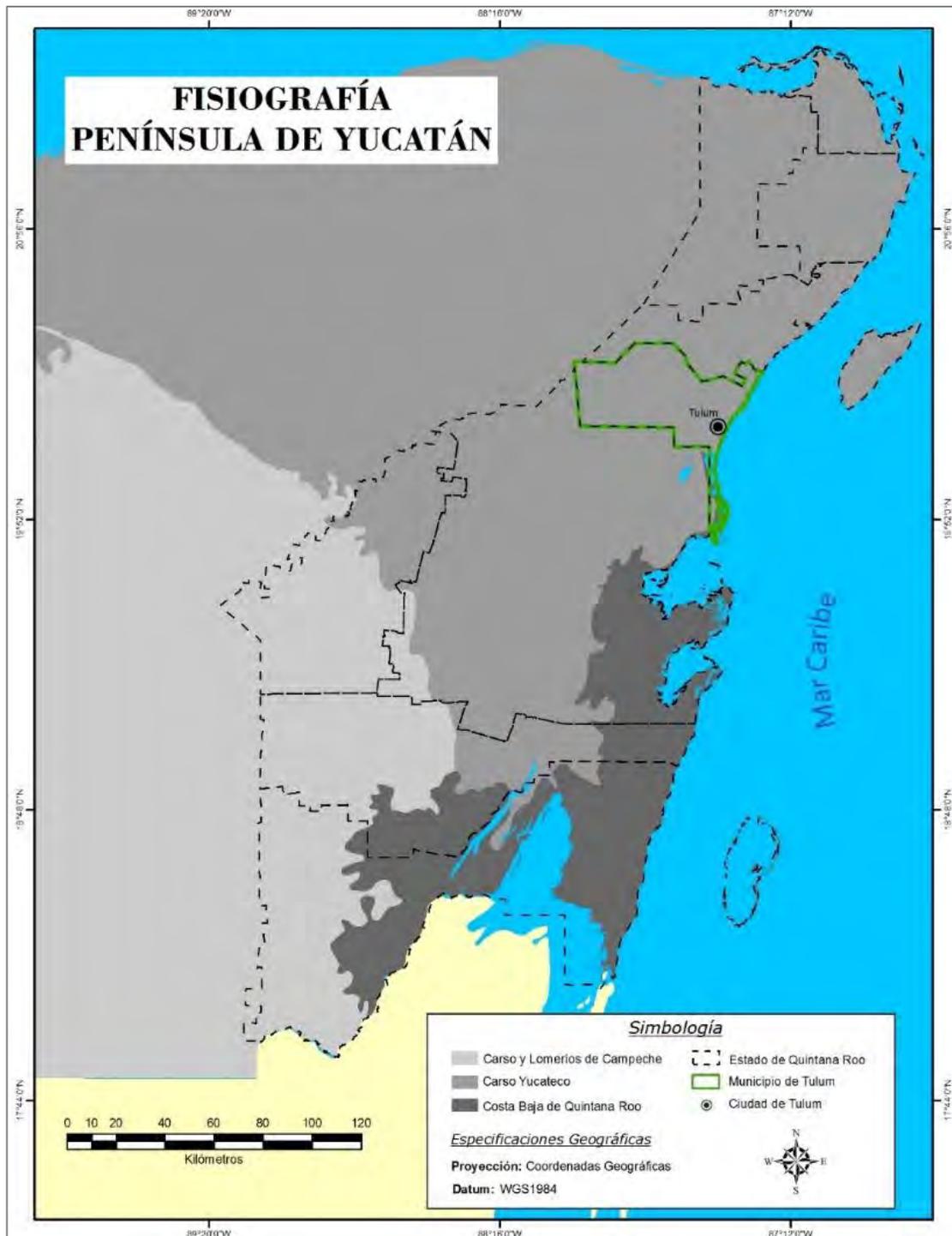
*FISIOGRAFÍA*

La mayor parte de las regiones fisiográficas están formadas desde cadenas montañosas hasta grandes planicies que dan lugar a terrenos muy accidentados o a paisajes con suaves pendientes, en México es extraordinariamente variado por lo que para una mejor comprensión y estudio, la Dirección General de Geografía del INEGI estableció una división de 15 regiones fisiográficas; Península de Baja California, Llanura Sonorense, Sierra madre Occidental, Sierras y Llanuras del Norte, Sierra Madre Oriental, Grandes Llanuras de Norteamérica, Llanura Costera del Pacífico, Llanura Costera del Golfo Norte, Mesa del Centro, Eje Neovolcánico, Península de Yucatán, Sierra Madre del Sur, Llanura Costera del Golfo Sur, Sierra de Chiapas y Guatemala, y Cordillera Centroamericana.

Dentro de la división se encuentra la Península de Yucatán que abarca la totalidad del Estado de Quintana Roo, Yucatán y la mayor parte de Campeche. El terreno es predominantemente plano con una altitud promedio de 50 metros sobre el nivel del mar, el agua de lluvia se filtra por su suelo calcáreo favoreciendo a la formación de cenotes, grutas y ríos subterráneos.

De igual modo, la región de la Península de Yucatán está dividida en tres subprovincias denominadas: Carso y Lomeríos de Campeche, Costa Baja de Quintana Roo y Carso Yucateco; la ciudad de Tulum está inmersa en esta última (**mapa 1.5**). La subprovincia Carso Yucateco es una gran llanura de roca caliza con presencia de hondonadas al centro y en la parte oeste colindando con Campeche se tiene una zona con llanura costera con ciénagas, por la franja litoral se presentan playas salinas inundables.

Mapa 1.5 Fisiografía del Municipio de Tulum



Fuente: Elaboración propia con datos geográficos del INEGI (2014).

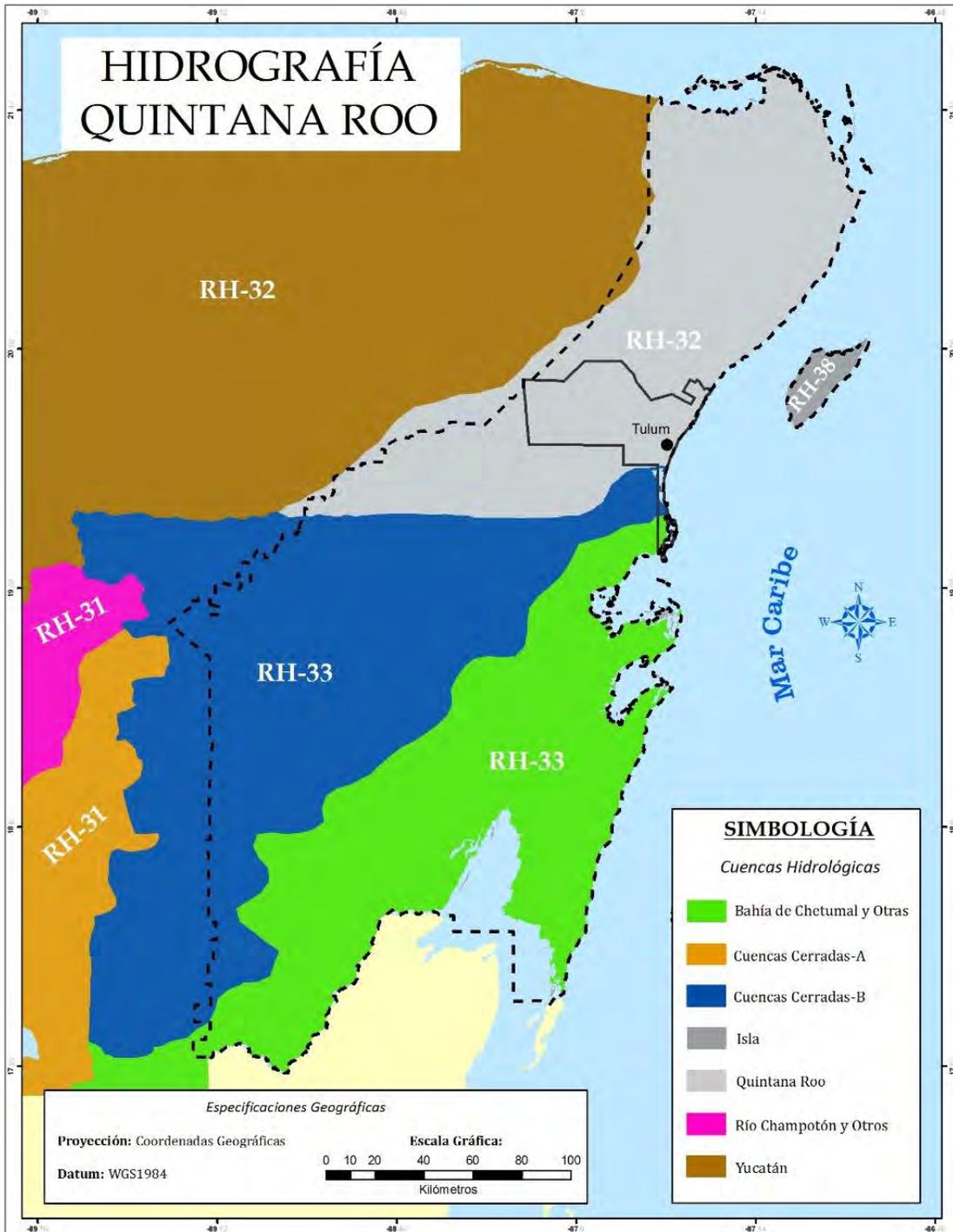
*HIDROLOGÍA SUPERFICIAL*

La Comisión Nacional del Agua, con el propósito de administrar las aguas mexicanas, ha definido 731 cuencas hidrológicas, que se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas (RH) divididas por los límites naturales de las grandes cuencas de México, a su vez, las RH se agrupan en 13 regiones hidrológico-administrativas (RHA).

La península de Yucatán se conforma por tres regiones hidrológicas, 31-Yucatán Oeste con una extensión de 25 443 km<sup>2</sup> incluyendo dos cuencas, 32-Yucatan Norte con una extensión de 58 135 km<sup>2</sup> incluyendo dos cuencas y 33-Yucatán Este con una extensión de 38 308 km<sup>2</sup> incluyendo dos cuencas (CONAGUA, 2015)

Por lo anterior, la ciudad de Tulum se encuentra ubicada en la Región Hidrológica 32-Yucatán Norte dentro de la cuenca 32A-Quintana Roo (**mapa 1.6**); Dicha cuenca se localiza al norte del Estado ocupando un 31% del territorio estatal, presenta una carencia total de corrientes superficiales por las características de alta filtración en el terreno y el escaso relieve. Además de falta de cuerpos de agua de gran importancia; solo contando con pequeñas lagunas como la de Coba, Punta Laguna y La Unión, incluyendo las que se forman junto al litoral como son la de Conil, Chamochuk y Nichupté.

Mapa 1.6 Regiones y cuencas hidrológicas del Estado de Quintana Roo



Fuente: Elaboración propia con datos geográficos de CONABIO (2016).

## VEGETACIÓN Y USO DE SUELO

En el territorio mexicano se distribuye una gran diversidad de formaciones vegetales naturales como los bosques que generalmente se localizan en regiones templadas; selvas localizadas en climas tropicales; matorrales que se ubican principalmente en zonas secas o semisecas; y pastizales que predominan sobre el centro norte del país. Otros tipos de vegetación también presentes en el país aunque en una menor proporción y restringidos frecuentemente a condiciones ambientales muy específicas son los manglares y la vegetación halófila y gipsófila (SEMARNAT, 2005).

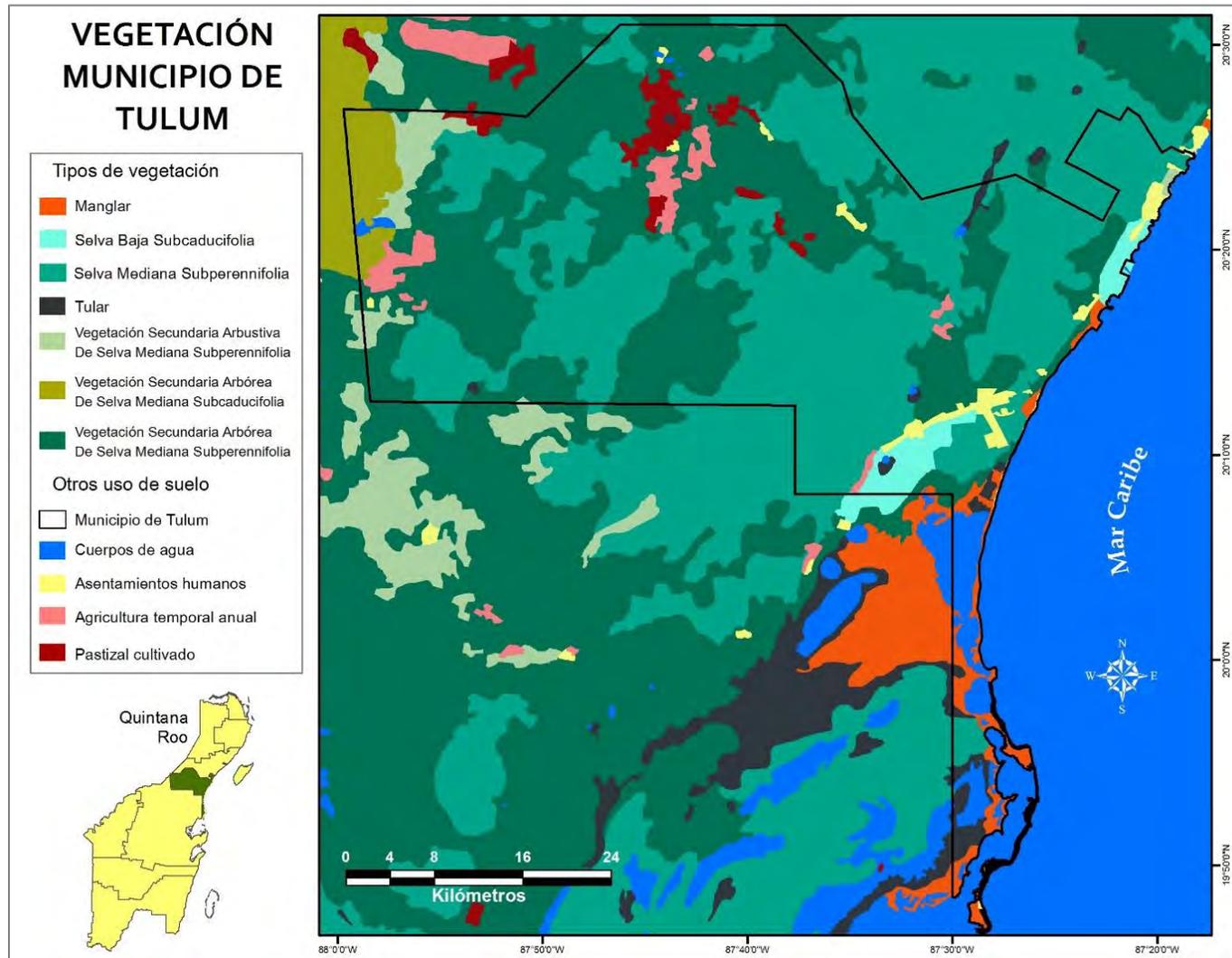
A las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal se les conoce como “uso de suelo”, por ejemplo: los espacios dedicados a la agricultura, ganadería, acuícolas y zonas urbanas. El objetivo del uso de suelo es adquirir recursos naturales para satisfacer las necesidades de población ocasionando que la intensidad en que se modifica la cubierta vegetal conduzca a una inestabilidad ambiental.

Uno de los instrumentos utilizados en México para mostrar la distribución de los diferentes tipos de vegetación natural y los cambios de uso de suelo es la carta producida por el INEGI llamada Uso de Suelo y Vegetación Serie V, elaborada entre el año 2011 y 2013. De acuerdo a esta carta, el tipo de vegetación que cubre la mayor parte de la extensión del Municipio de Tulum es la Selva Mediana Subperennifolia (**mapa 1.7**).

La Selva Mediana Subperennifolia (SMQ) se desarrolla en lugares con climas cálidos húmedos y subhúmedos con temperaturas típicas entre 20 y 28 °C, con una precipitación total anual entre 1000 a 1600 mm. Los árboles de esta comunidad tienen una altura media de 25 a 30 m, se distinguen tres estratos arbóreos, de 4 a 12 m, de 12 a 22 m y de 22 hasta 30. Dentro de los estratos se encuentran variados tipos de palmas.

Se registran especies importantes como: *Lysiloma latisiliquum*, *Brosimum malic astrum* (ox, ramón, capomo), *Bursera simaruba* (chaka', palo mulato, jiote, copal), *Manilkara zapota* (ya', zapote, chicozapote), *Lysiloma spp.* (tsalam, guaje, tepeguaje), *Vitex gaumeri* (ya'axnik), *Bucida buceras* (pukte'). Las epífitas más comunes son algunos helechos y musgos, abundantes orquídeas y bromeliáceas y aráceas.

Mapa 1.7 Tipo de vegetación en el Municipio de Tulum



Fuente: Elaboración propia con datos vectoriales de uso de suelo y vegetación del INEGI (2011).

De igual manera, dentro del Municipio de Tulum se presentan otros tipos de vegetación como la Selva Baja Subcaducifolia y Manglar, también se encuentran diferentes usos de suelo como agricultura temporal y pastizal cultivado.

La Selva Baja Subcaducifolia (SBS) se distribuye al norte de Quintana Roo y en la Costa Maya en climas de tipo semicálido subhúmedo y seco semicálido con temperaturas que oscilan entre los 16 °C y los 36 °C. El estrato superior lo componen elementos con 5 a 6 metros de altura como *checén negro*, *tsalam*, *pamolche'*, *chaka'* y *zapote*; en el estrato intermedio contiene elementos de 2 a 3 metros de altura como *nancen*, *flor de mayo*, *palma kuka'* y *palma de wano*; en el estrato inferior se encuentran especies de 1 a 2 metros de altura como *subin*, *pata de vaca* y *subinche'*.

El Manglar (VM) se distribuye en zonas de muy baja altitud con climas cálidos húmedos y subhúmedos. Se desarrollan en los márgenes de las lagunas costeras y esteros, en desembocaduras de ríos y arroyos, pero también en las partes bajas y fangosas de las costas; sobre suelos profundos, en sitios inundados sin fuerte oleaje. La altura de los mangles puede variar de 1 hasta 30 metros, en México predominan cuatro especies: mangle rojo, mangle blanco, mangle salado y mangle botoncillo.

La Agricultura Temporal se refiere en donde el ciclo vegetativo de los cultivos que se siembran depende del agua de lluvia, por lo que su éxito depende de la precipitación y de la capacidad del suelo para retener el agua. Pueden ser áreas de monocultivo o de policultivo, pueden combinarse con pastizales o bien estar mezclados con zonas de riesgo, lo que conforma un mosaico complejo pero que generalmente presenta dominancia de los cultivos.

El Pastizal Cultivado o Inducido (PI) aparece como consecuencia del desmonte de cualquier tipo de vegetación; también pueden establecerse en áreas agrícolas abandonadas o bien como producto de áreas que se incendian con frecuencia. Casi siempre se ven en las cercanías de los poblados y se encuentran intensamente pastoreados que durante la mayor parte del año la cubierta vegetal herbácea no pasa de una altura media de 5 cm.

### 1.1.2 Parque Nacional Tulum

Como una estrategia para proteger el patrimonio natural y cultural que existe en la costa de la ciudad de Tulum, ante el avance de desarrollo urbano costero se planeó la creación de un Parque Nacional a principios del año de 1980. Los días 23 y 30 de abril de 1981 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Decreto en el que se declara Parque Nacional con el nombre de Tulum a una superficie de 664 hectáreas, cuya extensión alberga diversas especies de flora y fauna nativas (CONANP, 2007).

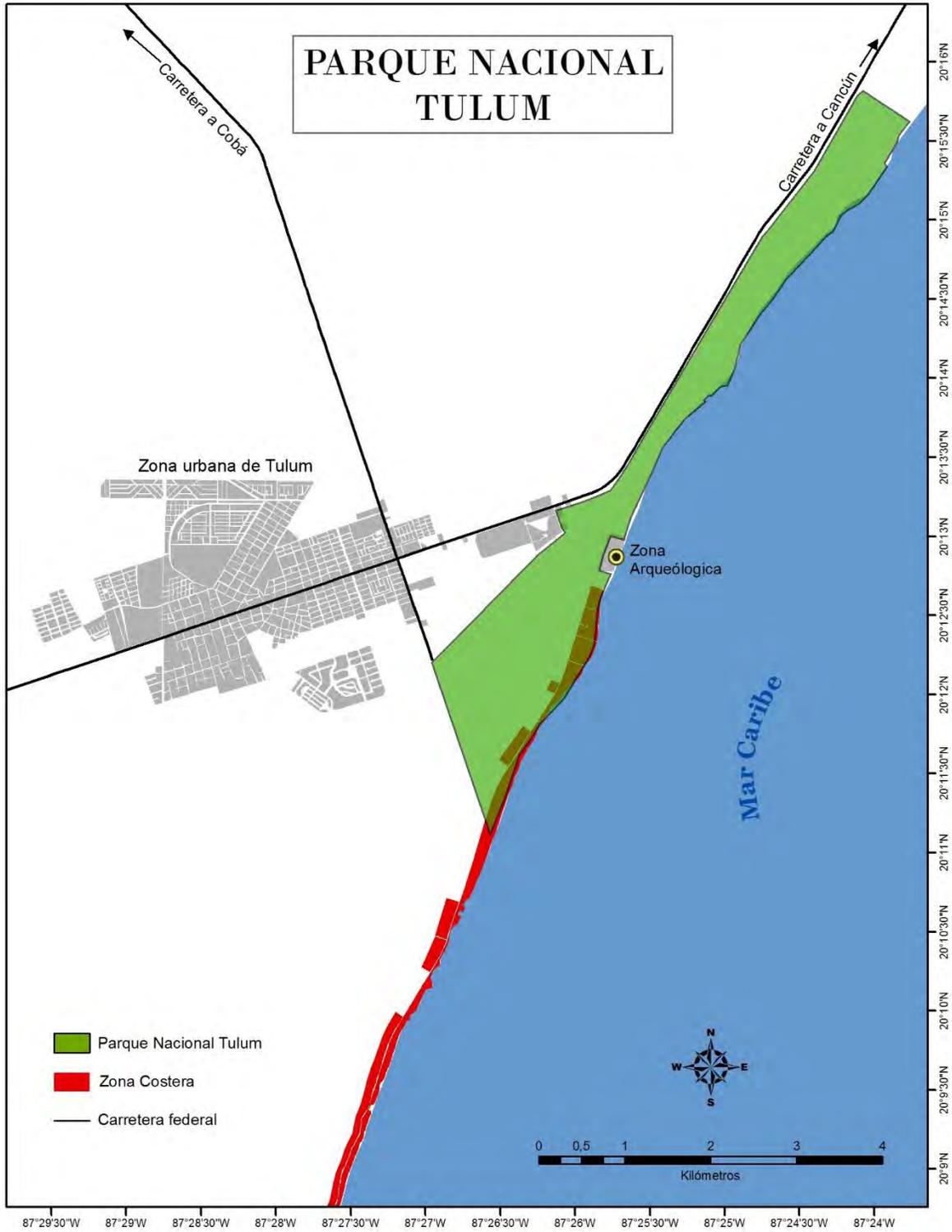
El Parque Nacional Tulum se delimita al norte por la latitud  $20^{\circ} 15' 55''$ , hacia el este por la longitud  $87^{\circ} 24' 34''$ , hacia el sur por la latitud  $20^{\circ} 11' 00''$  y hacia el oeste por la longitud  $87^{\circ} 27' 00''$ . El área se distribuye fundamentalmente al norte de la zona costera de la ciudad de Tulum (**mapa 1.8**).

Aunque la extensión del Parque Nacional Tulum es relativamente pequeña, en su interior presenta una gran variedad de tipos de ambiente, incluyendo selva mediana, humedales, vegetación costera, playas y cenotes, donde se desarrollan una diversidad de plantas y animales representativos de la región; también se encuentran especies con estatus de riesgo, endémicas y en peligro de extinción, que es conveniente proteger.

Debido al valor paisajístico y el contexto histórico en el que se encuentra el Parque Nacional Tulum es de esperarse una especial atención para las actividades turísticas orientadas a la naturaleza, de tal manera, el objetivo de la creación del parque es mantener el acervo genético natural y fomentar el desarrollo sustentable de los recursos, permitiendo conjuntamente la práctica de actividades recreativas dentro de los límites impuestos para no afectar la capacidad de los ecosistemas.

En relación a lo anterior, una de las principales problemáticas que enfrenta el Parque Nacional Tulum es el desarrollo explosivo del turismo, que ha ido reduciendo la zona costera natural con la aparición de construcciones de alojamiento y hospedaje, tal como se observa en el mapa existen edificios que sobrepasan el límite del área protegida con el argumento de que se dedican aparentemente al ecoturismo y que no atentan con la integridad del Parque Nacional Tulum pero es todo lo contrario.

Mapa 1.8 Ubicación del Parque Nacional Tulum



Fuente: Elaboración propia con base en CONABIO (2012).

Como consecuencia a la falta de vigilancia y escasa presencia de instituciones responsables de regular las actividades que se llevan a cabo dentro del Parque Nacional se han otorgado autorizaciones para obras y construcciones de inmuebles de hospedaje y vivienda afectando alrededor de un 7% de la superficie del Parque Nacional Tulum (CONANP, 2012).

En relación con las actividades turísticas realizadas en el Parque Nacional Tulum mediante el aprovechamiento sustentable de sus recursos y conservación de monumentos arqueológicos ligados con la cultura e identidad del pueblo, el gobierno municipal en conjunto con la Secretaria de Turismo propuso a la Ciudad de Tulum para ingresar al Programa de Pueblos Mágicos y Destinos Prioritarios.

Dicho Programa se estableció para otorgar subsidios a las entidades federativas con el objetivo de diversificar y mejorar la calidad de estos destinos, productos y servicios turísticos, así como estimular y fomentar la inversión pública y privada, para generar derrama económica, empleo, desarrollo social y económico en beneficio de la comunidad receptora, así como mejorar la infraestructura e imagen urbana de las localidades (SECTUR, 2015).

De esa manera, para el año 2015 la ciudad de Tulum se incorpora al Programa de Pueblos Mágicos y Destinos Prioritarios, con el objetivo de ayudar a renovar turísticamente a un conjunto de poblaciones con atributos simbólicos, historia y un encanto peculiar. La ciudad de Tulum encaja perfectamente en el concepto de pueblo mágico, ya que, conserva y valora su herencia histórica, cultural y natural mediante el aprovechamiento de sus recursos, atractivos turísticos y fortalece la calidad de sus servicios e infraestructura, con el fin de incrementar los visitantes nacionales y extranjeros.

### 1.1.3 Dinámica demográfica

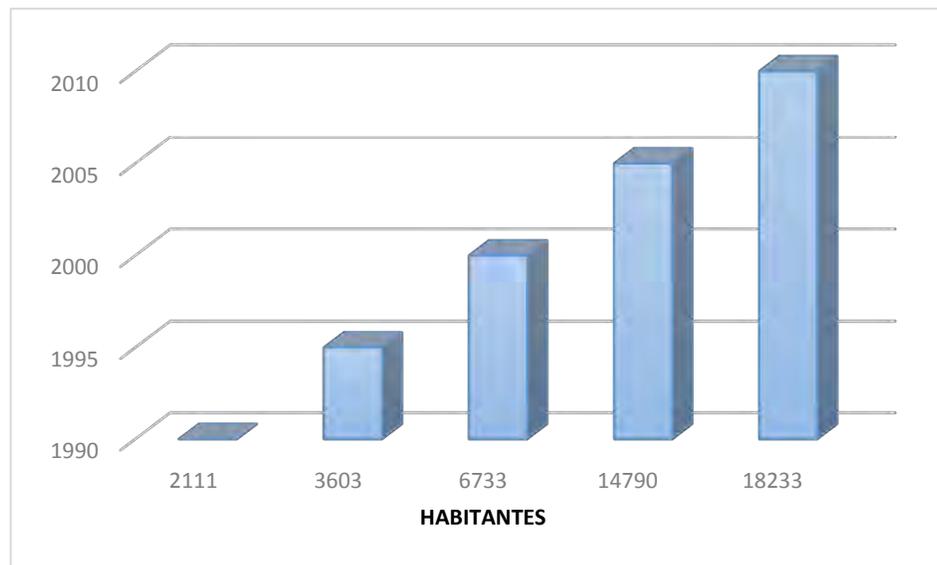
El Estado de Quintana Roo, en términos de crecimiento poblacional, se encuentra en un rápido desarrollo, en los últimos años ha duplicado su población, de 493,277 habitantes al inicio de 1990 a 1,325,578 para el año 2010; colocándose como la entidad federativa que incremento exponencialmente su población (INEGI 2010).

Sin embargo, este constante incremento poblacional no es homogéneo entre las localidades del Estado de Quintana Roo, algunas crecen más rápido que otras. Localidades que antes presentaban pequeñas poblaciones como Bacalar, Puerto Morelos y Tulum, actualmente favorecidas por la migración y sus actividades turísticas se han convertido en importantes ciudades.

En el caso de Tulum, que anteriormente era una localidad que pertenecía al Municipio de Solidaridad, las estimaciones realizadas en el censo del INEGI de 1995 indicaron para el Municipio de Solidaridad, una población total de 28,747 habitantes, de los cuales 3,603 residían en la localidad de Tulum.

Para el año 2000 la localidad de Tulum elevó su cifra a 6,733 habitantes y de acuerdo al II Censo General de Población y Vivienda del 2005, la población siguió aumentando al número de 14,790 habitantes, con un total de hombres y mujeres de 7,575 y 7,215 respectivamente. El crecimiento de la localidad de Tulum tuvo una tasa anual promedio en el periodo 1995 a 2005 de 15.2 % (INEGI, 2005).

Se tiene que para el Censo de Población y Vivienda 2010, ya conformado como Municipio de Tulum, se registró una población municipal total de 28,263 habitantes, de los cuales el 64.5% residían en la ciudad de Tulum (cabecera municipal). Resalta claramente un crecimiento exponencial de la población de la ciudad de Tulum en los últimos 20 años (**gráfica 1.1**), generando una tasa de crecimiento de 4.2 para el periodo 2005-2010, la cual resulta ser menor a la de años anteriores, un 15.7 para el periodo 2000-2005 (INEGI 2010)

**Grafica 1.1** Crecimiento demográfico de la ciudad de Tulum del periodo 1990-2010.

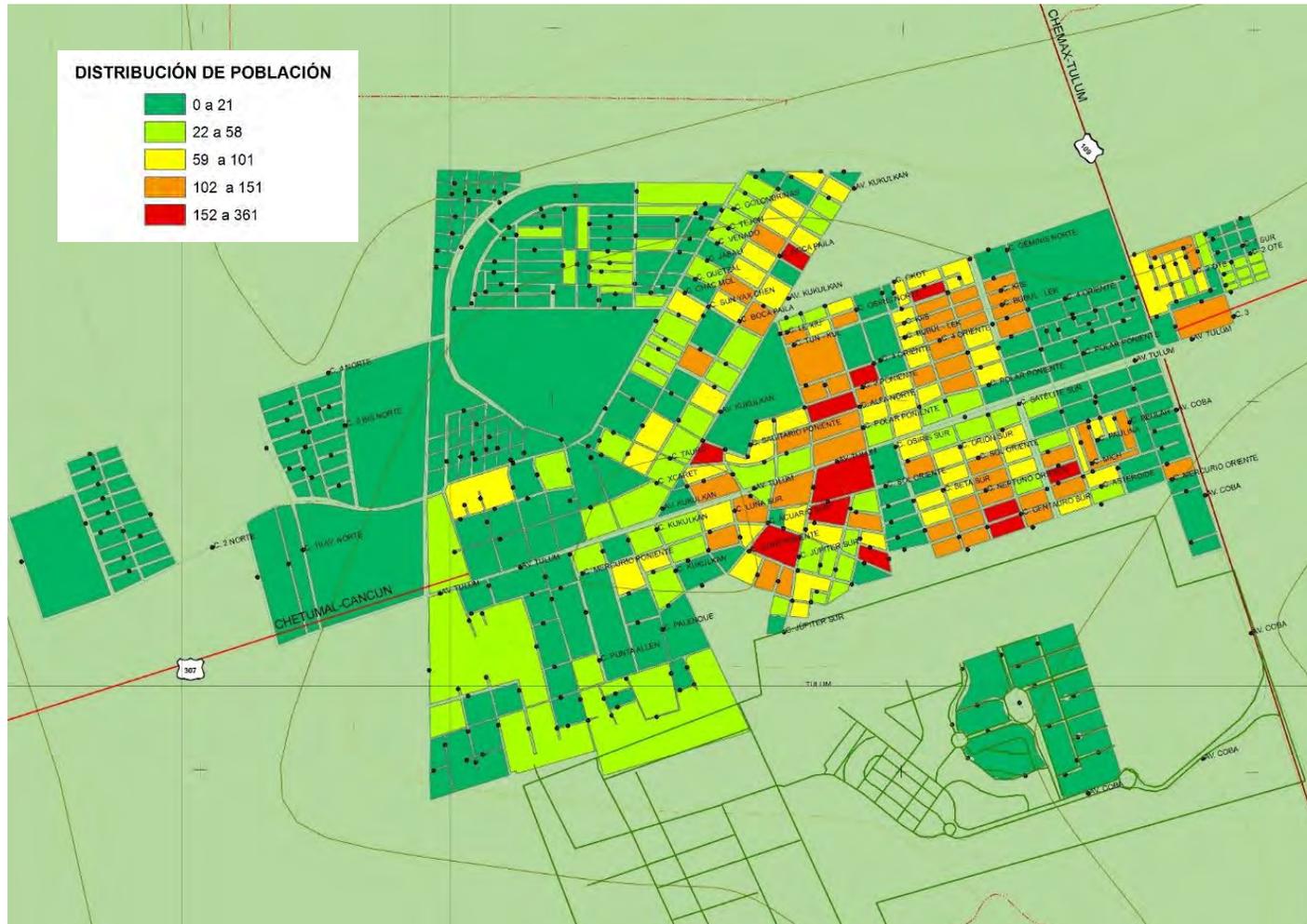
**Fuente:** Censo de Población y Vivienda INEGI 1995, 2000, 2005 Y 2010

Tal comportamiento ha impulsado cambios en el territorio y estructura urbana que se ven reflejado en algunas desigualdades de grupos sociales y en la desigualdad distribución de la población de la zona urbana de la ciudad de Tulum provocando ausencia de diferentes bienes y servicios.

En ciudades turísticas es frecuente observar espacios para visitantes y espacios para la población local (Bringas, 1999), la ciudad de Tulum no es la excepción, por una parte, cuenta con equipamiento e infraestructura específica para actividades turísticas, por otra, los habitantes locales ocupan áreas que representan diferencias socio-económicas.

Como se puede observar en el **mapa 1.9** la zona más habitada se encuentra en el centro de la ciudad justamente donde se encuentran los comercios turísticos e infraestructura urbana importante. Así mismo, las zonas menos habitadas se localizan alejadas del centro de la ciudad, son nuevos asentamientos de pobladores que regularmente carecen de transporte, luz, agua y seguridad.

**Mapa 1.9** Distribución de población de la zona urbana de la ciudad de Tulum



**Fuente:** Atlas de riesgo del Municipio de Tulum con base en INEGI, 2010.

*PROCESOS MIGRATORIOS*

Uno de las principales causas del crecimiento exponencial de la ciudad de Tulum es el proceso migratorio dirigido hacia el Estado de Quintana Roo. En los años setenta la creación de Cancún como un polo de desarrollo turístico, provocó un sitio de atracción, desarrollando una dinámica económica muy importante para el Estado, creando fuentes de trabajo y empleo; de esa manera impulsando permanentemente una corriente migratoria procedente principalmente de Yucatán, Veracruz, Tabasco, Chiapas y Campeche en busca de mejores condiciones de vida (**mapa 1.10**).

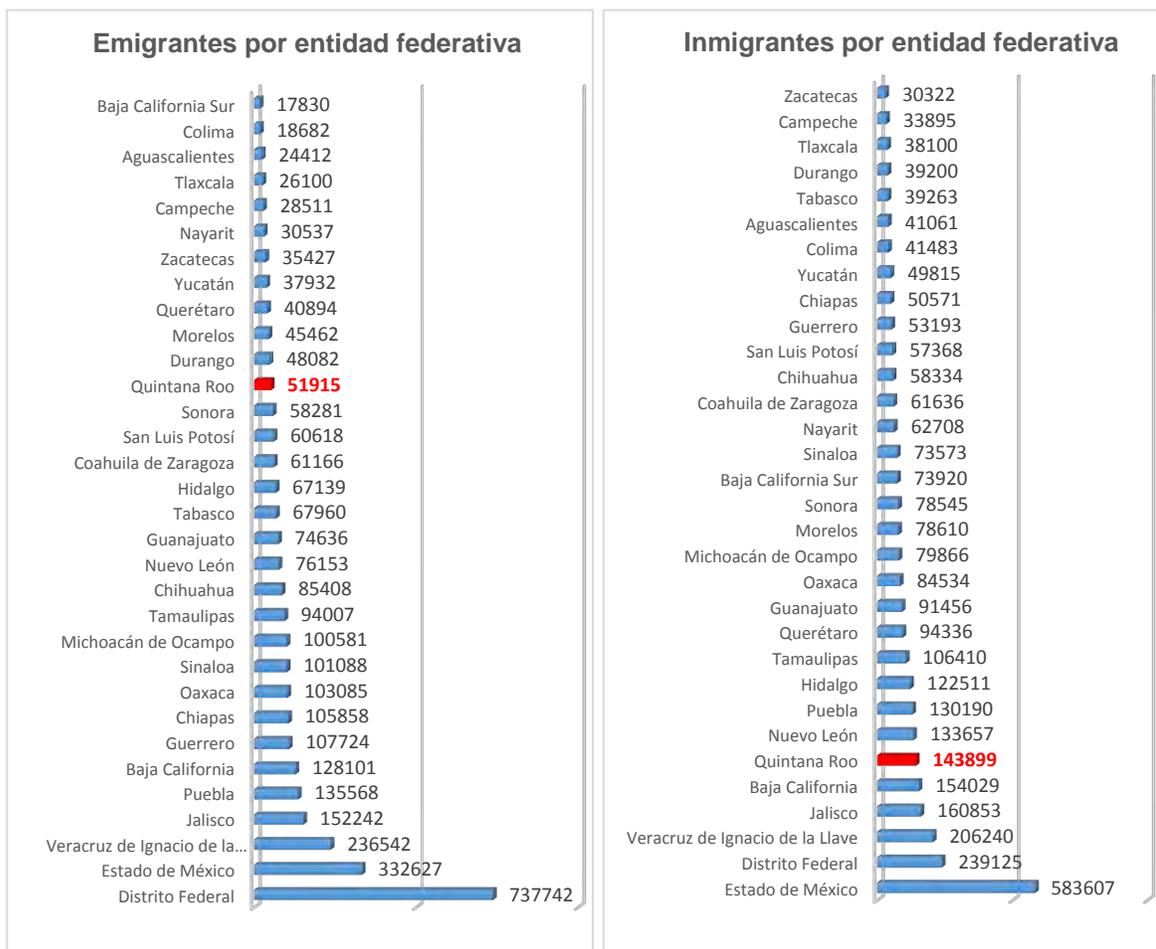
**Mapa 1.10** Principales corrientes migratorias interestatales de la República Mexicana, periodo 2005 – 2010



**Fuente:** Estimaciones del CONAPO con base en el INEGI (2010) y Censo de Población y Vivienda 2010.

De acuerdo a los datos del Censo de Población y Vivienda 2010 se registró que llegaron en total 143 mil 899 personas a vivir a Quintana Roo; mientras que salieron 51 mil 915 personas de la entidad federativa (**gráfica 1.2**).

**Grafica 1.2.** Movimientos migratorios de los estados de la República Mexicana



**Fuente:** Elaboración propia con base en INEGI (2010).

Por tal motivo el Estado de Quintana Roo presenta un Índice de Intensidad Migratorio negativo, es decir, que acoge más población de la que expulsa. Anualmente llegan en promedio 20,000 migrantes interestatales y 5,000 extranjeros, lo que sumado a casi 26,000 nacimientos promedio que se registran al año, se obtiene que la entidad de Quintana Roo crece a un 4.6 % anual (COESPO, 2010).

### 1.1.4 Actividades económicas

De acuerdo a datos de la Secretaría de Desarrollo Económico, para el 2010, la población económicamente activa en el Estado de Quintana Roo se dedica principalmente a actividades del sector terciario (79%), correspondientemente al comercio, restaurantes y servicios de alojamiento y transporte; seguidamente por actividades del sector secundario (14%) correspondientes a la industria manufacturera y de construcción; y por último actividades del sector primario (7%) relacionados con la agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca.

A continuación se muestran datos sobre la población económicamente activa e inactiva para el Municipio de Tulum (**tabla 1.1**).

**Tabla 1.1** Población económicamente activa e inactiva del Municipio de Tulum

<b>Municipio de Tulum (2010)</b>	
<i>Población económicamente activa</i>	11,967
<i>Población ocupada</i>	11,711
<i>Población desocupada</i>	256
<i>Población económicamente inactiva</i>	8,040
<i>No especificado</i>	272

**Fuente:** Elaboración propia con base en INEGI (2010)

Indiscutiblemente las actividades terciarias, representadas por el turismo, es el sector económico predominante en el Estado de Quintana Roo, tan sólo con observar los registros de crecimiento de la infraestructura hotelera que han conservado un aumento continuo a lo largo de los últimos años (**tabla 1.2**).

**Tabla 1.2** Infraestructura hotelera del Municipio de Tulum; 2010 - 2015

<b>Infraestructura Hotelera</b>		
<i>Año</i>	<i>Hoteles</i>	<i>Cuartos</i>
Enero 2010	121	5407
Enero 2012	130	6009
Diciembre 2015	144	7060

**Fuente:** SEDETUR 2015.

Otra de las fuentes importantes de ingresos para la entidad de Tulum resultan ser sus zonas arqueológicas, la de Tulum y Cobá principalmente. A pesar de que estos sitios están separados solamente por 40 kilómetros, no representan una similitud en cuanto al número de visitantes que reciben diariamente.

De acuerdo a estadísticas del Instituto Nacional de Antropología e Historia. El sitio arqueológico de Tulum es el más importante desde el punto de vista económico por su enorme afluencia de visitantes (**tabla 1.3**). Para el 2005 se rebasó el millón de visitantes, de los cuales 65.32 % correspondían a extranjeros y el resto 34.67 % al turismo nacional.

**Tabla 1.3** Afluencia de los sitios arqueológicos del Municipio de Tulum, 2010-2015

**Zonas Arqueológicas**

<i>Año</i>	<i>Tulum</i>	<i>Cobá</i>
2010	1,046,125	323,079
2011	1,085,288	400,641
2012	1,199,312	473,259
2013	1,289,343	422,370
2014	1,391,542	417,141
2015	1,508,847	434,043

**Fuente:** Instituto Nacional de Antropología e Historia (2015).

## 1.2 – Revisión Histórica de Eventos Hidrometeorológicos

Para comprender mejor los fundamentos sobre ciclones tropicales es necesario indicar ciertos conceptos importantes, características tales como como la propia definición del fenómeno, sus parámetros mesurables y los principales efectos que causa.

Un ciclón tropical es una gran masa de aire cálido y húmedo con fuertes vientos que giran en forma de espiral alrededor de una zona de baja presión. Se originan en el mar entre las latitudes 5° a 15°, tanto en el hemisferio norte como en el sur, en la época en que la temperatura del agua es mayor o igual a 26° C. Cuando éstos se ubican en el hemisferio norte, giran en el sentido contrario a las manecillas del reloj. Los ciclones tropicales tienen un área casi circular con la presión más baja en el centro, transportan gran cantidad de humedad y frecuentemente se trasladan con velocidades comprendidas entre 10 a 40 km/h (Rosengaus et al., 2002).

Cabe mencionar que el Centro Nacional de Huracanes (NHC, por sus siglas en inglés) define a un huracán como un ciclón tropical que ha alcanzado características específicas, por lo tanto, ciclón tropical es el término científico empleado para estos fenómenos meteorológicos.

Dentro de los elementos que caracterizan a un ciclón tropical que, por separado o en conjunto, causan severos daños a la población y a su infraestructura están el viento, el oleaje, la marea de tormenta y la precipitación.

*Vientos:* La velocidad de los vientos máximos sostenidos (rango < 62 a > 250 km/h) es una manera de clasificar a los ciclones tropicales. Los vientos de una depresión tropical son usualmente débiles y sólo son capaces de ocasionar daños en estructuras frágiles o en cultivos de poca raíz y amplio follaje; mientras que, las intensidades de vientos de un huracán pueden destruir fácilmente una casa o un edificio con estructura de mala calidad.

*Oleaje:* La formación del oleaje se produce cuando el viento pasa por la superficie del agua y la fuerza de fricción ocasiona que se formen ondas. Una característica importante del oleaje es la altura de sus olas que ocasionan principalmente la erosión de playas (**figura 1.1**).

**Figura 1.1** Ilustración de los efectos del oleaje

**Fuente:** CENAPRED (2006)

*Marea de tormenta:* Consiste en la elevación temporal del nivel del mar causado por el agua impulsada sobre tierra debida principalmente a la fuerza de los vientos del ciclón tropical hacia la costa. Representan mayor amenaza a comunidades costeras ya que afectan las áreas bajas varios kilómetros tierra adentro (**figura 1.2**).

**Figura 1.2** Ilustración de la marea de tormenta cercana a las costas

**Fuente:** <https://huracanes.fiu.edu/aprende-sobre-huracanes/marejada-ciclonica/index.html>, (2015)

*Precipitaciones:* Las lluvias que acompañan a los huracanes son extremadamente variables y difíciles de predecir, pueden ser muy fuertes y durar varios días o se pueden disipar en horas (ECLA/UNEP, 1979). La fuerte precipitación causa estragos debido a la infiltración del agua a las casas y edificios dañando sus estructuras; a su vez provoca inundaciones que pone en riesgo a la vegetación e instalaciones de transporte tales como carreteras y puentes.

En cuanto a la clasificación de los ciclones tropicales, se basa de acuerdo a la velocidad de sus vientos y con la presión que existe en su centro. Para eso existe una clasificación conocida como: “La escala de Saffir-Simpson”, que ha sido utilizada por los oficiales de

los Estados Unidos de América como una estimación de daño potencial por viento y marea de un ciclón tropical próximo. Ahora, también adoptado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres en México.

Para poder evaluar la magnitud e intensidad de los efectos, así como para poder pronosticar un ciclón tropical, es necesario medir ciertos parámetros que son básicamente la presión mínima central, los vientos máximos sostenidos, así como la dirección y velocidad de translación (Rosengaus et al. 2002).

A continuación, en la **tabla 1.4** se muestra la clasificación de los ciclones tropicales, según la escala Saffir-Simpson y algunos de los efectos potenciales posibles. De igual manera, se especifican los rangos de algunos parámetros importantes.

**Tabla 1.4** Escala de daño potencial de Saffir-Simson

<b>Categoría</b>	<b>Presión central (mb)</b>	<b>Vientos (km/h)</b>	<b>Marea de tormenta (m)</b>	<b>Posibles daños materiales e inundaciones</b>
<b>Depresión Tropical</b>	1004.1 a 1008	< 62	-----	Localmente destructivo
<b>Tormenta Tropical</b>	985.1 a 1004	62.1 a 118	1.1	Tiene efectos destructivos
<b>Huracán Categoría 1</b>	980.1 a 985	118.1 a 154	1.5	Potencial Mínimo. Ningún daño efectivo a los edificios. Daños principalmente a casas rodantes no ancladas, arbustos, follaje y árboles. Ciertos daños a señales pobremente construidas. Algunas inundaciones de carreteras costeras en sus zonas más bajas y daños leves en los muelles. Ciertas embarcaciones pequeñas son arrancadas de sus amarres en puertos expuestos
<b>Huracán Categoría 2</b>	965.1 a 980	154.1 a 178	2.0 a 2.5	Potencial Moderado. Daños considerables a arbustos y a follaje de árboles, inclusive, algunos de ellos son derribados. Daño extenso a señales pobremente construidas. Ciertos daños en los techos de casas, puertas y ventanas. Daño grave a casas rodantes. Carreteras costeras inundadas de 2 a 4 h antes de la entrada del centro del huracán. Daño considerable a muelles, inundación de marinas. Las pequeñas embarcaciones en puertos sin protección rompen amarras. Evacuación de residentes que viven en la línea de costa.
<b>Huracán Categoría 3</b>	945.1 a 965	178.1 a 210	2.5 a 4.0	Potencial Extensivo. Follaje arrancado de los árboles; árboles altos derribados. Destrucción de prácticamente todas las señales pobremente construidas. Ciertos daños en los techos de casas, puertas y ventanas. Algunos daños estructurales en pequeñas residencias. Destrucción de casas rodantes. Las inundaciones cerca de la costa destruyen las estructuras más pequeñas; los escombros flotantes y el embate de las olas dañan a las estructuras mayores cercanas a la costa. Los terrenos planos sobre 1.5 m del nivel del mar, pueden resultar inundados hasta 13 km tierra adentro (o más) desde la costa.
<b>Huracán Categoría 4</b>	920.1 a 945	210.1 a 250	4.0 a 5.5	Potencial Extremo. Arbustos y árboles derribados; todas las señales destruidas. Daños severos. Daño extenso a los techos de casas, puertas y ventanas. Falla total de techos en residencias pequeñas. Destrucción completa de casas móviles. Terrenos de planicie a 3 m sobre el nivel del mar pueden inundarse hasta 10 km tierra adentro de la costa. Grave daño a la planta baja de estructuras cercanas a la costa por inundación, embate de las olas y escombros flotantes. Erosión importante de las playas.
<b>Huracán Categoría 5</b>	< 920	> 250	> 5.5	Potencial Catastrófico. Derribamiento de arbustos y árboles, caída total de señales. Daño muy severo y extenso en ventanas y puertas. Falla total de techos en muchas residencias y edificios industriales. Vidrios destruidos de manera extensiva en ventanas y puertas. Algunas edificaciones con falla total. Pequeñas edificaciones derribadas o volcadas. Destrucción completa de casas móviles. Daños graves en plantas bajas de todas las estructuras situadas a menos de 4.6 m por encima del nivel del mar y a una distancia de hasta 460 m de la costa.

**Fuente:** Rosengaus et al. (2002).

Por su extensa línea de costa, la configuración del territorio que se encuentra rodeado por aguas oceánicas y su ubicación intertropical, México es una de los países más afectados por los ciclones tropicales. Sólo con observar las estadísticas, durante el periodo de 1970 a 2011, se han registrado un total de 186 ciclones tropicales con impacto directo en México, de los cuales 50 fueron depresiones tropicales, 67 tormentas tropicales, 49 huracanes moderados (categorías de I-II) y 20 huracanes intensos (categorías III-IV-V) de acuerdo a la Escala Saffir-Simpson (CONAGUA, 2012).

Lo anterior resulta en un promedio anual de afectación directa de ciclones tropicales en México de 4.5; de los ciclones que se presentaron, 115 se originaron en el Pacífico y 71 en el Atlántico. Ahora bien, los estados de mayor riesgo a impactos por huracanes son Baja California Sur con 39 ciclones, seguido por Sinaloa con 37, Quintana Roo con 36, Tamaulipas 30, Jalisco, Michoacán y Veracruz con 26 (CONAGUA, 2012).

Gran variedad de ciclones tropicales han impactado las costas de Quintana Roo, pero los de categoría superiores a huracán son los que representan mayor importancia por su magnitud y posibles daños que puedan causar a una región afectada, es por eso que a continuación se enmarcan los principales huracanes que se han presentado en el Estado (tabla 1.5).

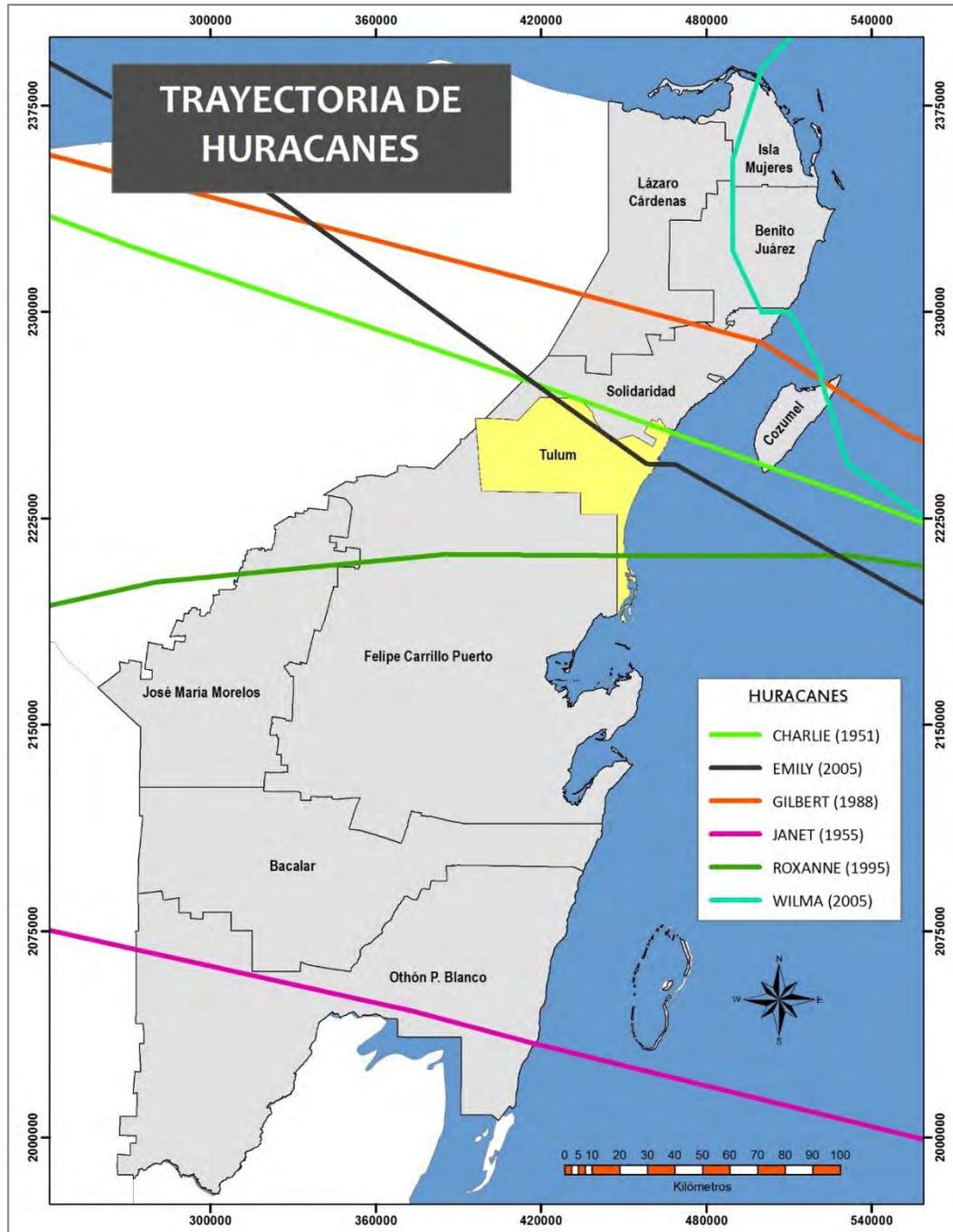
**Tabla 1.5** Huracanes importantes que impactaron el Estado de Quintana Roo, de acuerdo a su categoría y año de formación

NOMBRE	AÑO	CATEGORÍA	MUNICIPIO
Gilbert	1988	Huracán 5	Cozumel, Solidaridad
Janet	1955	Huracán 5	Othón P. Blanco
Charlie	1951	Huracán 4	Cozumel, Solidaridad
Emily	2005	Huracán 4	Tulum
Wilma	2005	Huracán 4	Cozumel, Solidaridad y Benito Juárez
Roxanne	1995	Huracán 3	Felipe Carrillo Puerto

**Fuente:** Elaboración propia con base en la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2016).

Se puede observar que la trayectoria de estos huracanes se presenta en su mayoría el norte del Estado afectando a los municipios de Solidaridad, Benito Juárez, Cozumel y a la localidad de Tulum (mapa 1.11). Además, los huracanes más recientes son “Wilma” y “Emily” ambos del año 2005 y de categoría 4 al momento de tocar tierra.

**Mapa 1.11** Trayectoria de huracanes intensos que han tocado el Estado de Quintana Roo

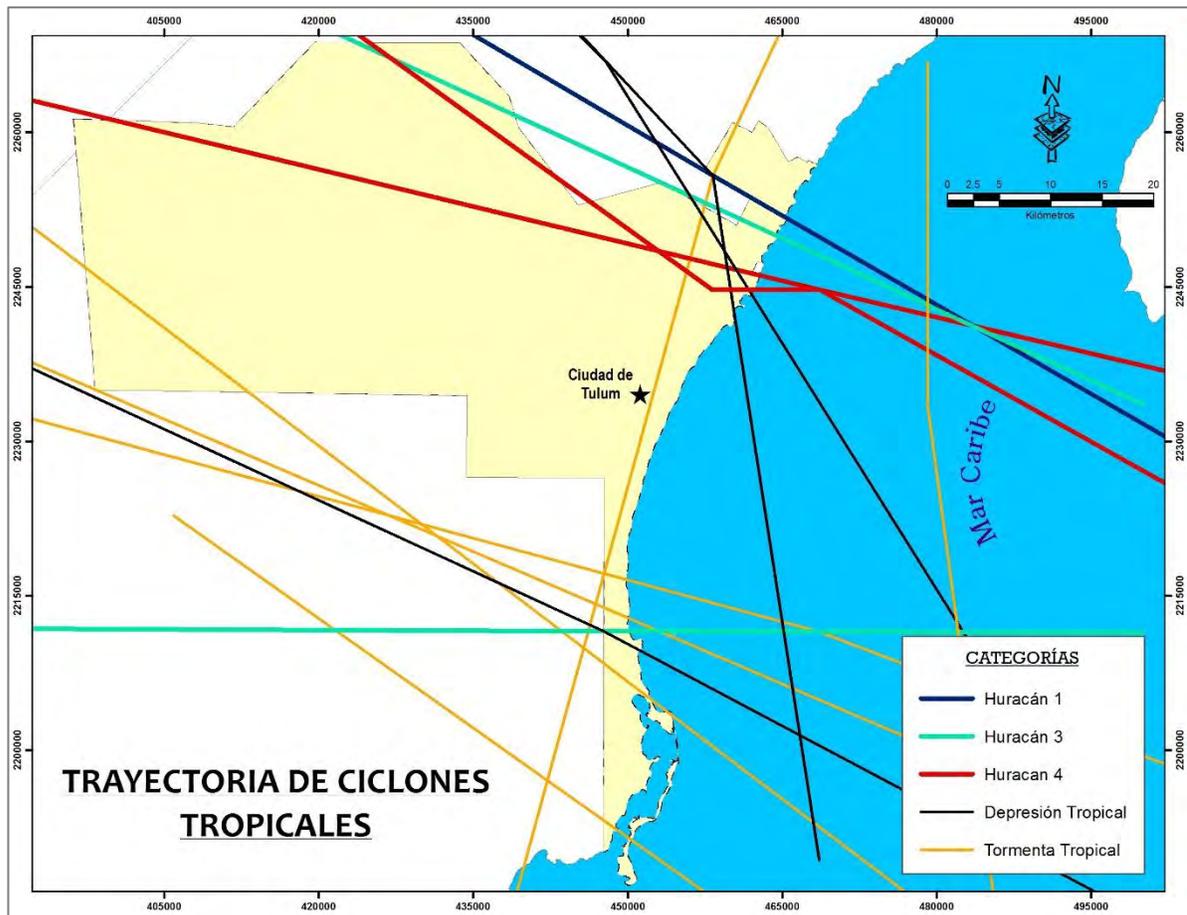


Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration (2015).

Cabe mencionar que Tulum no era considerado Municipio en los años anteriores al 2008, por lo que ha manera de ilustración y no causar controversias se consideró poner el polígono municipal actual en el mapa para una mayor comprensión de la relación territorial con la trayectoria de los huracanes.

Por lo tanto, Tulum es una de los municipios que se encuentra expuesto al riesgo de desastres, al presentar dentro y a las cercanías de su extensión huracanes de elevadas categorías. Para entender mejor lo anterior, se enseñan los ciclones tropicales que han tocado tierra en las proximidades de la ciudad de Tulum (**mapa 1.12**).

**Mapa 1.12** Ciclones tropicales que se han presentado dentro de la zona del Municipio de Tulum. Periodo 1858 - 2015.



**Fuente:** National Oceanic and Atmospheric Administration (2015).

De todos los ciclones tropicales registrados, sobresalen los de gran intensidad y que han provocado daños a la población y a su infraestructura por medio de lluvias intensas, inundaciones, oleaje y vientos fuertes; siendo el huracán “*Emily*” uno de ellos.

### 1.2.1 Huracán “*Emily*”

De acuerdo con el *National Hurricane Center* el huracán “*Emily*” fue el quinto ciclón tropical del Océano Atlántico de la temporada 2005. Para el día 18 de julio “*Emily*” tocó tierra desplazándose a unos 20 kilómetros al norte de la ciudad de Tulum, con una categoría 4 de la escala Saffir-Simpson (**figura 1.3**).

**Figura 1.3** Imagen de satélite GOES-E en canal infrarrojo IRA, del impacto del huracán “*Emily*” sobre la Península de Yucatán



**Fuente:** CONAGUA (2005).

La **tabla 1.6** representa un resumen de algunas características que se registraron para el huracán “*Emily*” al momento del impacto. Por ejemplo, la zona de vientos máximos se situó entre las ciudades de Tulum y Playa del Carmen con valores mayores a 200 km/h.

**Tabla 1.6** Principales características del huracán “*Emily* (2005)”

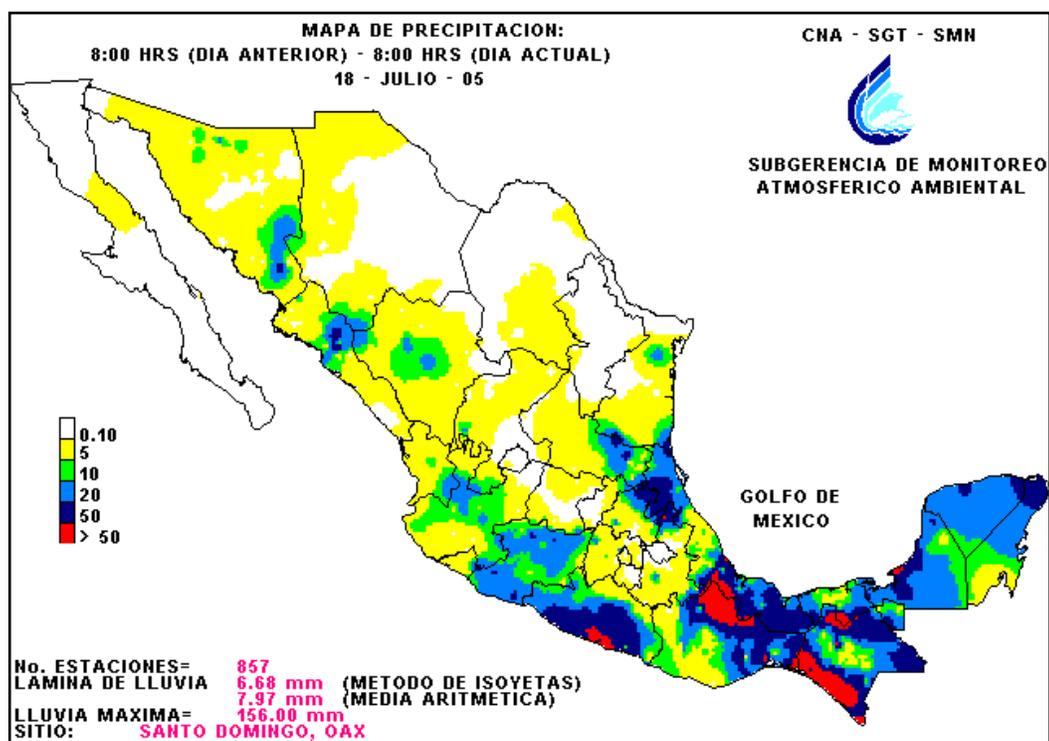
Nombre	Categoría (Impacto)	Vientos Máximos (Impacto)	Presión (Impacto)	Lluvias Máximas Registradas	Periodo (Inicio-fin)
Emily	Huracán IV	215 km/h	955 mb	124.46 mm en Cozumel, Q. Roo	10 al 21 Julio

**Fuente:** CONAGUA y *National Hurricane Center* (2005).

En cuestión del oleaje, el huracán “*Emily*” formó olas de más de 3 metros de altura cerca de las costas de Quintana Roo. La marea de tormenta principalmente en la región de Cozumel fue aproximadamente de 4 metros, mientras que para el municipio de Solidaridad la marea no excedió 1 metro de altura (CONAGUA, 2006).

Las lluvias que generó “*Emily*” no fueron de mucha consideración, 33.5 mm en 24 horas el día 18 de julio de acuerdo a la estación climatológica de Cancún (**figura 1.4**).

**Figura 1.4** Precipitación observada en México del día 17 al 18 de julio a las 8:00 horas, asociadas al impacto del huracán *Emily* (2005) en la península de Yucatán



**Fuente:** CENAPRED (2006).

En general, se puede decir que los daños causados por el huracán “*Emily (2005)*” fueron, en gran medida, atribuibles a los efectos del viento ya que las precipitaciones no fueron mayores a la de otros ciclones tropicales que han tocado tierra en el Estado de Quintana Roo.

Con respecto a los daños que ocasionó sobre la población y sus bienes CENAPRED (2006) señala que, en cuestiones económicas el total causado por el huracán “*Emily*” sumó alrededor de 1,111 millones de pesos. Y que los mayores daños ocurrieron en la actividad turística del Estado de Quintana Roo, estimando aproximadamente 946,699 millones de pesos (**tabla 1.7**), ocasionados particularmente por la disminución en los niveles de demanda hotelera.

**Tabla 1.7** Resumen de daños que provocó el huracán “*Emily*” en el Estado de Quintana Roo (en miles de pesos).

CONCEPTO	DAÑOS DIRECTOS	DAÑOS INDIRECTOS	TOTAL	PORCENTAJE DEL TOTAL
<b>Infraestructura Social</b>				
Vivienda	26,912	1,056	27,969	2.5
Educación	3,580	1,896	5,476	0.5
Salud	6,721	451	7,172	0.6
Infraestructura Hidráulica, CONAGUA	0	2,725	2,725	0.2
<b>Subtotal</b>	<b>37,241</b>	<b>6,128</b>	<b>43,342</b>	<b>3.9</b>
<b>Infraestructura Económica</b>				
Infraestructura urbana y medio ambiente	26,271	1,682	27,952	2.5
Sector eléctrico	50,132	1,504	51,636	4.6
<b>Subtotal</b>	<b>76,403</b>	<b>3,186</b>	<b>79,588</b>	<b>7.2</b>
<b>Sectores Productivos</b>				
Sector Agropecuario	10,128	1,960	12,088	1.1
Sector Turismo	307,400	639,229	946,699	85.2
<b>Subtotal</b>	<b>317,528</b>	<b>641,259</b>	<b>958,787</b>	<b>86.3</b>
Atención a la emergencia	0	29,134	29,134	2.6
<b>Total General</b>	<b>431,145</b>	<b>679,706</b>	<b>1,110,851</b>	<b>100</b>

Fuente: CENAPRED, 2006).

Las afectaciones en las instalaciones turísticas provocaron que establecimientos permanecieran cerrados por un lapso de tiempo, mientras se realizaban las actividades de

recuperación y reconstrucción, causando que los visitantes turísticos cancelaran sus reservaciones de hospedaje presentando bajos niveles de ingreso económico.

También causó daños en el sector agrícola por pérdidas de cosechas de maíz, frutales y apicultura, en la infraestructura del sector eléctrico por la gran cantidad de postes y líneas caídas. Las pérdidas mínimas fueron en los sectores de salud, hidráulico y educación.

Cabe mencionar que el huracán “*Emily (2005)*”, ocasionó ciertos daños al medio ambiente que no pudieron ser reflejados en términos monetarios; se refiere a la pérdida de selva, milpas y áreas agrícolas con una superficie de 5,400 hectáreas en los municipios de Lázaro Cárdenas y Solidaridad (CENAPRED, 2006).

## CAPÍTULO 2. LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) EN MÉXICO

Se presenta en este capítulo conceptos básicos relacionados con la gestión y manejo de Residuos Sólidos Urbanos, para contar con una serie de referencias y entender mejor los aspectos relacionados al tema.

Se describen también, los aspectos negativos que ocasionan al ambiente la generación de residuos si no se cuenta con un buen manejo y gestión de los mismos. Para evitar lo anterior, es importante conocer las bases legales, normativas y guías en materia de RSU siguiendo las especificaciones que vienen en ellas.

Asimismo, para tener una perspectiva general de la situación actual del manejo de los RSU en la ciudad de Tulum, se menciona la dinámica que se lleva a cabo para recolectar los residuos y transportarlos al sitio de disposición final.

### 2.1 – Definición de Residuos Sólidos Urbanos

Las diversas características que pueden presentar los residuos sólidos hacen necesario que los países tengan en su legislación una clara definición de los residuos. Por tal motivo, es importante definir conceptos básicos relacionados con esta problemática a fin de entender las diferencias propias de cada uno de ellos y obtener una serie de referentes importantes (tabla 2.1).

**Tabla 2.1** Definiciones utilizadas en algunos países e instituciones internacionales

DEFINICIÓN	PAÍS O INSTITUCIONES INTERNACIONALES
<b>Residuo:</b> se refiere a objetos móviles de los cuales el dueño desea desembarazarse o está obligado a desecharlo para asegurar el bienestar de la comunidad.	Alemania  Ley Federal, 1972
<b>Residuo:</b> se refiere a cualquier desecho, sustancia, material, producto u objeto movable generado en un proceso de producción, procesamiento o utilización, que es descartado o que su propietario tiene intención de descartar.	Francia  Ley No.75-633, 1975

<b>Residuo:</b> se refiere a cualquier sustancia u objeto que el propietario dispone o está obligado a disponer según lo estipule la legislación nacional.	Comisión Económica Europea (CEE), 1978
<b>Residuos:</b> se refiere a todos los objetos y sustancias dispuestos después de su uso, y de poco o ningún valor, así como a otros objetos o sustancias que han sido recolectadas o han sido llevadas a lugares reservados para residuos, para su transporte, almacenamiento, detoxificación u otro tratamiento.	Finlandia Ley No. 673, 1978
<b>Residuo:</b> se refiere a cualquier sustancia u objeto producto de la actividad humana o de eventos naturales, que son descartados o se tiene intención de descartar.	Italia Decreto No. 915, 1982
<b>Residuo:</b> Se refiere a cualquier material considerado como desecho o legalmente definido como residuo en el país donde está ubicado.	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), 1984
<b>Residuo:</b> se refiere a cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó.	México Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), 1988

**Fuente:** “Guía para la definición y clasificación de residuos peligrosos”, CEPIS/OPS (1993).

Aparte de la LGEEPA, en México se encuentra una normativa más detallada en cuanto a los residuos sólidos: la Ley General Para La Prevención Y Gestión Integral De Los Residuos (LGPGIR), que entiende por residuo como:

*“Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible a ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final”.*

De acuerdo a la LGPGIR, en el artículo 5, clasifican a los residuos en tres categorías (**tabla 2.2**), una de ellas son los Residuos Sólidos Urbanos definición que utiliza para este trabajo de investigación.

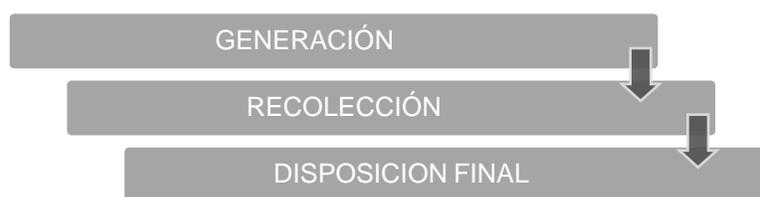
**Tabla 2.2** Clasificación de los residuos

<b>Residuo Sólido Urbano</b>	<b>Residuo de Manejo Especial</b>	<b>Residuo Peligroso</b>
<p>Son los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos.</p>	<p>Son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos (mayor a 10 toneladas al año).</p>	<p>Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio.</p>

**Fuente:** Elaboración propia con información obtenida del Artículo 5, fracción XXX, XXXII y XXXIII de la LGPGIR (2015).

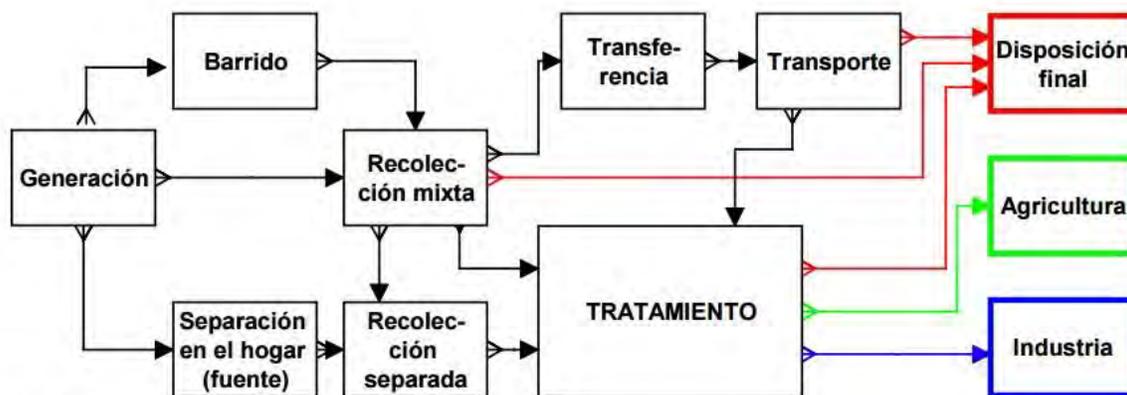
## 2.1 – Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos

Un sistema adecuado utilizado para un correcto manejo de los residuos sólidos urbanos generados por una población comprende componentes concatenados entre sí, desde su origen hasta su disposición final. En este sentido los componentes pueden tener muchas variaciones pero siempre deben adaptarse a las condiciones de cada situación local, por ello de manera muy simple el manejo de los RSU se puede clasificar en 3 grades elementos básicos (SEMARNAT/GTZ, 2006).



Dentro de esos elementos se pueden incluir una serie de procesos adicionales con la finalidad de optimizar el sistema y reducir posibles impactos negativos al ambiente (**figura 2.1**).

**Figura 2.1** Flujograma de un sistema de manejo de Residuos Sólidos Urbanos



© G. Wehenpohl, A.L. F. dos Santos; 2004

**Fuente:** SEMARNAT/GTZ (2006).

A continuación se tratarán algunos de los componentes del sistema anterior para obtener mayor comprensión sobre cada uno y para poder implementar en un sistema de manejo de RSU según sea la situación actual.

**Generación.** Las actividades diarias generan una diversidad de residuos sólidos urbanos, de donde el volumen generado depende de factores tales como el nivel de vida de la población, la estación del año, la zona donde se habita y el nivel de consumo, entre otros.

De acuerdo a lo anterior, la SEMARNAT (2001) menciona que, “un aumento en el nivel de vida provoca el incremento de residuos relacionados a botes de conserva, plásticos, papeles y cartones; por el contrario, disminuyen los residuos de tipo orgánico. En cuanto a las estaciones del año es lógico pensar que en verano se produzcan más residuos orgánicos, y en invierno se produzcan mayor cantidad de residuos inorgánicos quizá por ser época de fiestas decembrinas.”

En zonas urbanas es mucho mayor la generación de residuos que en zonas rurales por la extensión territorial, número de habitantes y el nivel de consumo referente a las costumbres de los habitantes.

**Barrido.** Es una fase del sistema de recolección la cual tiene por objetivo mantener limpia y en condiciones estéticas a la ciudad, principalmente las avenidas, calles y parques de mayor interés de la comunidad. Por lo general, se llevan a cabo el barrido después de eventos especiales como ferias, festivales, desfiles, actividades políticas, etc. Aunque también se realizan de forma periódica durante algunos días de la semana.

El barrido se puede efectuar a través de dos modalidades: manual y mecánica. El primer caso es el método predominante en las ciudades, para la cual se emplea la mano de obra de personal utilizando equipo como: carritos con tambos, escobas, cepillos, recogedores, entre otros. Mientras que, para el barrido mecánico se emplean barredoras o aspiradoras mecánicas para trabajar con grandes áreas y fácil acceso a vehículos, este método se observa en ciudades grandes que dispongan de recursos económicos suficientes para adquirir el equipo y darle el mantenimiento adecuado (Wehenpohl y Hernández, 2006).

Para elegir el tipo de barrido se deben considerar ciertas características del lugar, como la accesibilidad, alumbrado, tráfico de vehículos y peatones. También es importante determinar las rutas y frecuencia de barrido, el costo del personal y equipo necesario para el servicio.

**Recolección.** Es uno de los elementos más importantes en el manejo de RSU, ya que está ligada a preservar la salud pública mediante la correcta recogida de los residuos generados y trasladarlos al sitio de tratamiento o disposición final de manera eficiente y a un costo apropiado. Como indica Wehenpohl y Hernández, 2006, conforme al tipo de tratamiento posterior se pueden hacer una:

Recolección mixta o mezclada. Es la más común que se realiza en las comunidades, ya que no se realiza una separación de productos reciclables desde la fuente y no requiere de cambios en los hábitos de los generadores. Por otro lado, este tipo de recolección incentiva a los trabajadores de los camiones a hacer una pre-separación de los residuos para obtener un ingreso extra por la venta de material reciclable, pero afectando el proceso de separación en cuestión de la velocidad y eficiencia del servicio.

Recolección selectiva o separada. Implica que los residuos sean separados desde la fuente, tales como materia orgánica, los reciclables y los que no se pueden recuperar. Favoreciendo al ampliar el mercado para la venta de materiales reciclables y de composta. Una manera recomendable para realizar este tipo de recolecta es por partes, es decir, un día se recolecta material orgánico, otro día residuos reciclables y el otro los restantes, claro se puede ajustar dependiendo de la composición y volumen de los residuos generados. Una de las desventajas o limitaciones es que los generadores tienen que participar separando sus residuos y no todos están dispuestos a cambiar sus hábitos.

Con el fin de elaborar un sistema adecuado de recolección se deben tomar en cuenta ciertos parámetros técnicos y demográficos. Uno de ellos es la selección del tipo vehículo para poder realizar la recolecta el cual será en base a la posibilidad de acceso a la zona, la capacidad de residuos sólidos urbanos a recoger y el presupuesto disponible.

**Transferencia y transporte.** Esta fase consiste en trasladar los residuos sólidos urbanos recogidos por los vehículos recolectores a otro vehículo con mucha mayor capacidad de carga para luego ser transportados al sitio de disposición final; esto sucede cuando se cuenta con una planta de transferencia y es necesario recorrer grandes distancias.

Una planta de transferencia depende mucho de su localización, ya que si están ubicadas dentro de la mancha urbana se requieren medidas de protección especiales para minimizar ruidos por la operación y paso de camiones, reducción de olores y cualquier otro problema que pueda causar a la población aledaña (Wehenpohl y Hernández, 2006).

**Tratamiento.** Se enfoca básicamente en el aprovechamiento de una parte de los residuos sólidos con el fin de obtener beneficios sanitarios y económicos, se realizan mediante métodos físicos, químicos o biológicos (**tabla 2.3**).

**Tabla 2.3** Tipos de tratamiento para Residuos Sólidos Urbanos

<b>Tratamiento</b>	<b>Descripción</b>
Mecánico	Se refiere a la actividad de separar subproductos que se encuentran en los RSU, que son susceptibles a reusar, reciclar o comercializar.
Biológico	Se caracteriza en la transformación bioquímica de la porción de los residuos orgánicos presentes en los RSU, hasta convertirlos en composta, la cual sirve para fertilizar los suelos y puede ser usada en la agricultura.
Mecánico-Biológico	Como su nombre indica, en un proceso de dos fases. La etapa mecánica consiste en homogeneizar los RSU recolectados y la biológica en la degradación por microorganismos.

**Fuente:** García, F. (2008).

**Disposición Final.** Se refiere al depósito permanente de los residuos sólidos urbanos económicamente no aprovechables. Ésta puede ser en condiciones adecuadas para evitar daños al ambiente, o en tiraderos a cielo abierto con impactos negativos a la salud y al ambiente.

Las condiciones adecuadas y controladas se realizan mediante un relleno sanitario, la cual es una obra de infraestructura que involucra métodos de ingeniería para la disposición final de los RSU, a través de la compactación al menor volumen posible para cubrirlos con material natural y/o sintético. Además se deben considerar los mecanismos de control que deben estar de acuerdo con los requisitos normativos vigentes. En México existe la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, la cual establece “Especificaciones de

protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial”.

Por otra parte, los sitios no controlados y tiraderos a cielo abierto, son lugares inadecuados que no cumplen con las especificaciones normativas. Décadas atrás, esta actividad no era vista como un problema serio, porque la cantidad que se producía y las características de los residuos eran relativamente mínimos que permitían su reintegración a la naturaleza sin daños aparentes. Pero en la actualidad con la expansión territorial, el aumento de habitantes, las costumbres de consumo, el tipo de composición y volumen generado de los RSU presentan un sobrecupo en los tiraderos a cielo abierto, ocasionando focos de contaminación (en agua, aire y suelo) y un alto riesgo para la salud pública de la comunidad.

En relación a lo económico, la construcción de un relleno sanitario generalmente es más caro que la de un tiradero a cielo abierto, pero si se consideran los costos causados por los impactos ambientales, los daños a la salud y la restauración de los sitios de disposición final inadecuados (tiraderos), estos resultan ser mucho más caros que la implementación de un relleno sanitario.

### 2.3 – Marco legal e institucional aplicable al manejo de los Residuos Sólidos Urbanos

El aspecto normativo nacional e internacional en cuestión del manejo de los residuos sólidos urbanos, principalmente tiene que ver con la conservación del ambiente y los ecosistemas posiblemente afectados.

Ejemplo de ello, argumentando preocupaciones relacionadas al deterioro ambiental y el agotamiento de los recursos no renovables, se celebra la Conferencia de la Naciones Unidas sobre Medio Ambiente Humano, que tuvo lugar en Estocolmo del 5 al 16 de junio de 1972. Se establecen una serie de criterios y principios, 26 en total, en donde el principio 6 declara:

*“Deben poner fin a la descarga de sustancias tóxicas o de otras materias y a la liberación de calor, en cantidades o en concentraciones tales que el medio no pueda neutralizarlas, para que no se causen daños graves irreparables a los ecosistemas. Debe apoyarse la justa lucha de los pueblos de todos los países contra la contaminación”.*

Posteriormente en la conferencia denominada “Cumbre de la Tierra”, también conocida como “Río ‘92” o “LaEco ‘92”, que se llevó a cabo en la ciudad de Río de Janeiro del 3 al 14 de junio de 1992. Se trataron temas relacionados al medio ambiente y desarrollo sostenible, y como resultado se plasmaron los siguientes documentos: Carta de la Tierra, Agenda XXI y Convenio sobre la Diversidad Biológica.

De la Carta de la Tierra se enlistan 16 principios, de los cuales se ha de destacar el número siete que habla acerca de:

*“Adoptar patrones de producción, consumo y reproducción que salvaguarden las capacidades regenerativas de la Tierra, los derechos humanos y el bienestar comunitario, por medio de reducir, reutilizar y reciclar los materiales usados en los sistemas de producción y consumo y asegurar que los desechos residuales puedan ser asimilados por los sistemas ecológicos”.*

La Agenda XXI contempla las acciones a impulsar en las dimensiones sociales y económicas, en la conservación y gestión de los recursos para el desarrollo. De tal manera, en su capítulo 21 “gestión ecológicamente racional de los desechos sólidos y cuestiones relacionadas con las aguas cloacales” menciona:

*“Estabilizar o reducir, en un plazo convenido, la producción de desechos destinados a su eliminación definitiva, formulando objetivos sobre la base del peso, volumen y la composición de los desechos y promover la separación para facilitar el reciclado y la reutilización de los desechos”.*

En México, el artículo 115, inciso C, fracción III de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, establece que el servicio de limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final es responsabilidad de las instancias municipales.

Sin embargo, el artículo 115 no hace referencia hacia las acciones de prevención de los impactos de los residuos que se producen sobre el ambiente, por lo que se han creado diversas leyes para reforzar los problemas de impacto ambiental y que se especializan en aspectos específicos. Tal es el caso de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) de 1998, que en sus artículos especifica:

Artículo 7, párrafo VI. *“La regulación de los sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos de conformidad con lo dispuesto por el artículo 137 de la presente ley”.*

Artículo 137. *“La SEMARNAT expedirá las normas a que deberán sujetarse a los sitios, el diseño, la construcción, la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de los residuos sólidos urbanos”.*

Artículo 134, párrafo III. *“Es necesario prevenir y reducir la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; incorporar técnicas y procedimientos para su reúso y reciclaje, así como regular su manejo y disposición final eficientes”.*

El instrumento jurídico que habla de manera más específica el tema de residuos, es la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), publicada en el 2003, que tiene como objetivo general:

*“Garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente adecuado y propiciar el desarrollo sustentable a través de prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial”.*

A manera de resumen sobre la normatividad en materia de RSU, existen leyes, normas y reglamentos con objetivos específicos, tales como reducir la producción de desechos, la regulación de un sistema de recolección hasta las reglas de operación de un sitio de disposición final con el fin de mantener un entorno sano y conservar el ambiente.

## 2.4 – Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos en caso de desastres naturales en México

La Organización Mundial de Salud menciona que, el manejo de los residuos sólidos urbanos en situaciones normales no es tan eficiente como se desea y que es fácil imaginar cómo puede afectar una catástrofe a un sistema que ni siquiera antes era satisfactorio; es probable que ocurra la generación adicional de residuos por malezas, escombros, animales muertos, entre otros.

Inclusive la recolección de los residuos podría ser interrumpido, ya que los vehículos recolectores se encontrarán con obstáculos, por ejemplo, caminos obstruidos, inundados o simplemente con una afectación en las calles que no permita el acceso.

Para poder combatir los problemas anteriores, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos faculta a las autoridades ambientales federales con competencia en la materia, a establecer y operar, en el marco del Sistema Nacional de Protección Civil, en coordinación con los gobiernos de las entidades federativas y de los municipios, el sistema para la prevención y control de contingencias y emergencias ambientales relacionadas a la gestión de residuos (SEMARNAT, 2012).

Tal es el caso de Tabasco, como experiencias resultantes de las inundaciones del año 2007, fue una de las primeras entidades federativas en contar con un manual para el manejo de residuos sólidos en situación de desastre. Posteriormente, en el año 2009, el Estado de Quintana Roo con apoyo de la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ) desarrolló un plan de acción de residuos sólidos en caso de desastres naturales, como acción preventiva a la alta vulnerabilidad de las poblaciones costeras por la amenaza de impacto de huracanes, el cual tiene como finalidad:

*“Definir las acciones y tareas que se tengan que efectuar para recolectar, almacenar, tratar y disponer los residuos sólidos adecuadamente”.*

En lo relacionado con el sitio de disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos, la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, en la sección 7, características constructivas y operativas del sitio de disposición final, describe que:

*“7.5 – El sitio de disposición final deberá contar con un área de emergencia para la recepción de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, cuando alguna eventualidad, desastre natural o emergencia de cualquier orden no permitan la operación en el frente de trabajo; dicha área debe proporcionar la misma seguridad ambiental y sanitaria que las celdas de operación ordinarias”.*

Otro aspecto que se debe tomar en cuenta ante un posible riesgo a desastre es el desplazamiento de la población vulnerable a albergues, estos edificios deben mantener la seguridad de las personas alejados de cualquier peligro físico o biológico, por lo que una de las actividades de las que se requiere control en estos sitios es la generación y almacenamiento de residuos sólidos urbanos.

En México, el Centro Nacional para la Prevención de Accidentes presenta una guía de *“Prevención de accidentes en caso de desastres”*, en la cual menciona que el manejo de los RSU en los albergues debe realizarse de una forma adecuada y pone énfasis en los residuos sólidos que se deben mantener almacenados el menor tiempo posible; y si el sistema de recolección se encuentra interrumpido será necesario enterrar los residuos en un lugar apropiado.

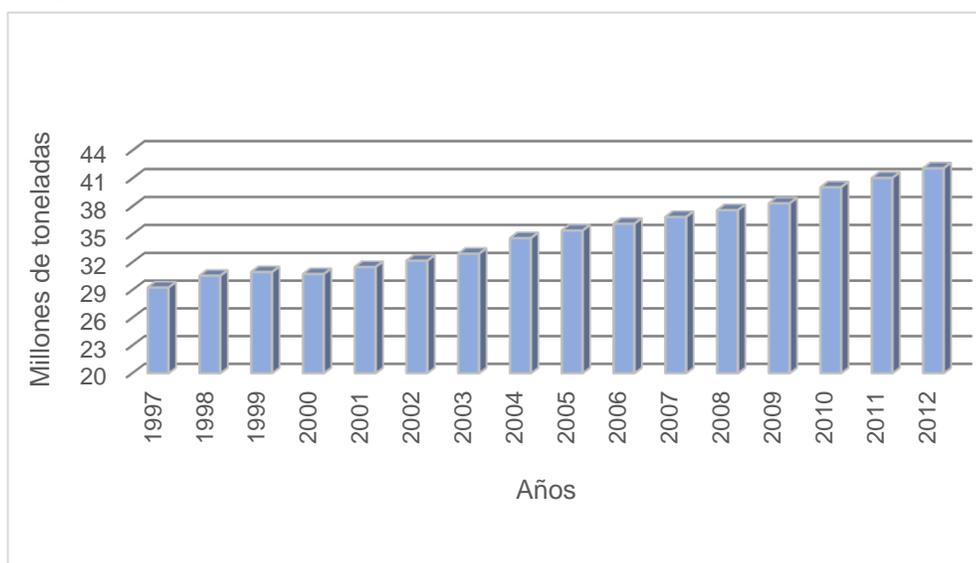
Para lograr lo anterior se construye una fosa de 1.5 m de ancho, 1.5 m de longitud y 2 m de profundidad. Al final de cada día se cubre los RSU con 15 cm de tierra y se comprime. La duración de esta trinchera es de diez días para una población de 200 personas, para poblaciones mayores se debe aumentar proporcionalmente el área de la trinchera hasta una dimensión máxima de 3 x 3 m. Antes de que la trinchera esté llena hay que cubrirla con una capa de 40 cm de tierra, aplanándola con el propósito de que quede al nivel del terreno natural (CENAPRA, 2012).

## 2.5 – Efectos adversos al ambiente y la sociedad en el manejo de los Residuos Sólidos Urbanos

Los residuos sólidos urbanos son una fuente de contaminación, ya que contienen sustancias, organismos patógenos y materia orgánica que pueden ocasionar problemas al ambiente y de salud pública, de tal manera representan un riesgo que es preciso evaluar, prevenir y controlar.

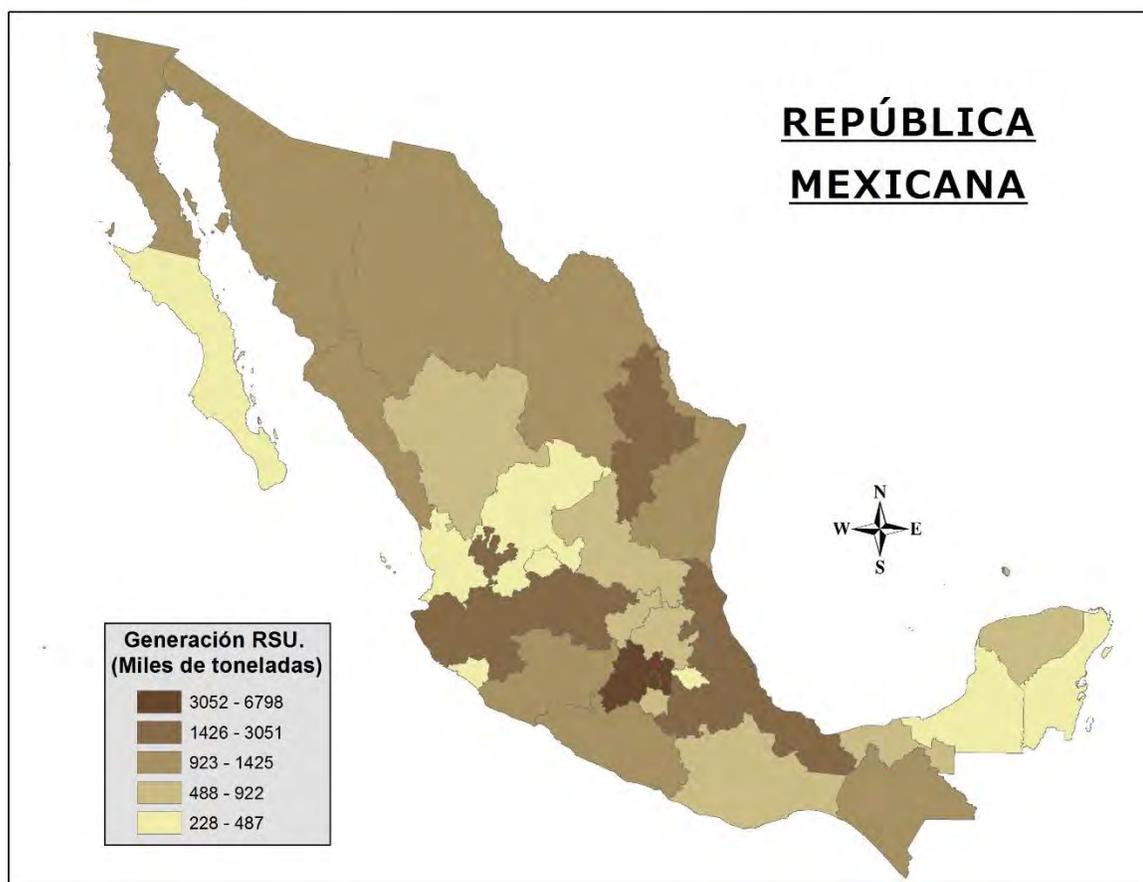
El principal problema es la excesiva cantidad de residuos sólidos urbanos que se generan sin un tratamiento apropiado, a nivel nacional se ha reportado un incremento notable en los últimos años, tan sólo entre 1997 y 2012 creció un 43.8% (**grafica 2.1**), pasando de 29.3 a 42.1 millones de toneladas como resultado del crecimiento urbano, el desarrollo industrial, las modificaciones tecnológicas y el cambio en los patrones de consumo (SEDESOL, 2013).

**Grafica 2.1** Generación total de Residuos Sólidos Urbanos en México



**Fuente:** Datos de la Secretaría de Desarrollo Social, (2013).

A nivel de entidades federativas, los que generaron mayores volúmenes de RSU en 2012 fueron el estado de México (6.789 millones de toneladas), Distrito Federal (4.949 millones de toneladas) y Jalisco (3.051 millones de toneladas); mientras los que registraron menores volúmenes fueron Baja California Sur y Campeche (259 y 271 mil toneladas respectivamente). Para Quintana Roo se registró un volumen de 487.28 mil toneladas (**mapa 2.1**).

**Mapa 2.1** Generación de Residuos Sólidos Urbanos por entidad federativa: Año 2012

**Fuente:** Elaboración propia con base en SEDESOL, (2013).

Por lo anterior, la disposición final de los residuos sólidos urbanos se convierte en un reto difícil a resolver, ya que para el 2010 en el estado de Quintana Roo se tenían 8 sitios de disposición final, de los cuales 4 eran rellenos sanitarios y 4 tiraderos al cielo abierto. A su vez, la gran cantidad de residuos sólidos almacenados en un basurero a cielo abierto, sin un apropiado control de ingreso de RSU, puede ocasionar incidentes como la producción de incendios que afectan negativamente al ambiente a través de la generación de sustancias químicas dañinas a la atmósfera, como el monóxido de carbono, dióxido de azufre, material particulado y el dióxido de carbono, gas de efecto invernadero que causa el cambio climático.

Esos contaminantes tiene efectos inmediatos a la salud de la población, causando ardor en los ojos, irritación de las vías respiratorias, y pueden ocasionar a mediano y largo plazo ocasiona, enfisema pulmonar, cáncer, entre otros.

Por otra parte, considerando que los basureros a cielo abierto no cuentan con una cubierta impermeable que impida la filtración del agua al suelo, existen sustancias generadas en los procesos de descomposición biológica de la materia orgánica presente en los RSU, produciendo un líquido altamente contaminante conocido como lixiviado, que contiene una variedad de elementos y sustancias tóxicas como son los metales pesados, detergentes, plaguicidas, cuyas concentraciones varían de acuerdo a diferentes factores. Estas sustancias pueden afectar a la flora y fauna desde la bioacumulación hasta la muerte por intoxicación aguda en numerosas especies.

Estos lixiviados pueden dirigirse hacia las aguas superficiales o filtrarse a las aguas subterráneas dependiendo de las condiciones topográficas, geológicas e hidrológicas del sitio, poniendo en riesgo la salud de la población cuando el agua contaminada es utilizada como fuente de abastecimiento de una localidad.

Otra molestia que se presenta en la acumulación de residuos sólidos urbanos en los basureros a cielo abierto es la proliferación de fauna nociva. Entre los organismos más abundantes se encuentran los insectos rastreros y voladores (moscas, mosquitos y cucarachas), los roedores (ratas y ratones), las aves (zopilotes, gaviotas y garzas) y los mamíferos (perros, gatos, cerdos, etc.). Muchos de estos son portadores de diversas enfermedades que pueden afectar a la salud pública (SEDESOL, 2001).

De igual manera el impacto visual negativo que ocasiona la presencia de un basurero a cielo abierto muestra en primera instancia un deterioro en la imagen del paisaje, que a su vez, se incrementa por la presencia de polvos, humos, la dispersión de papeles y bolsas ligeras, así como la existencia de fauna nociva.

**Tabla 2.4** Problemática general de los basureros a cielo abierto.

Problemas	Causas
<i>Deterioro del paisaje.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Acumulación de residuos sólidos urbanos sobre carreteras, caminos vecinales, asentamientos humanos y cuerpos de agua.</li> <li>❖ Incendios, dispersión de materiales ligeros y polvos.</li> </ul>

<i>Contaminación del aire.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Olores desagradables propios de la descomposición de los residuos sólidos urbanos.</li> <li>❖ Incendios, suspensión de partículas, generación de gases tóxicos y humos.</li> </ul>
<i>Contaminación de cuerpos de agua.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Ubicación de sitios en suelos permeables.</li> <li>❖ Carencia de un sistema de impermeabilización y control de lixiviados.</li> <li>❖ Carencia de obras de desvío de aguas pluviales.</li> <li>❖ Cercanía de cuerpos de agua superficial y subterráneo.</li> </ul>
<i>Contaminación del suelo.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Ubicación de sitios en suelos permeables.</li> <li>❖ Carencia de un sistema de impermeabilización y control de lixiviados.</li> <li>❖ Falta de cobertura diaria y final.</li> <li>❖ Falta de control de materiales ligeros.</li> </ul>
<i>Impactos en la salud.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Proliferación de fauna nociva</li> <li>❖ Contacto directo con los residuos sólidos urbanos.</li> <li>❖ Migración y movilidad de contaminantes generados en los sitios, a través de aire, agua y suelo.</li> </ul>
<i>Impacto Social.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Abandono o falta de control de los sitios de disposición final.</li> <li>❖ Crecimiento de la mancha urbana.</li> </ul>

Fuente: SEDESOL, (2001).

## 2.6 – Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos en la ciudad de Tulum

Según datos del H. Ayuntamiento de Tulum, en cooperación con la Dirección de Servicios Públicos Municipales, durante el año 2014 se recolectó alrededor de 22, 636.5 m<sup>3</sup> de RSU en la ciudad de Tulum, con un promedio diario de 62 m<sup>3</sup>. Mientras que para el 2015 aumentó a 25,606.50 m<sup>3</sup> de RSU colectados, promediando 70.1 m<sup>3</sup> diarios.

En lo referente a la recolección de los residuos sólidos urbanos, la Dirección de Servicios Públicos cuenta con rutas y días establecidos para cubrir diferentes zonas de la ciudad de Tulum dependiendo de la infraestructura, colonias, actividades que se realizan y proyecciones de los RSU que se generen (**tabla 2.5**).

**Tabla 2.5** Rutas y días de recolección de Residuos Sólidos Urbanos del Municipio de Tulum

Recolección Diaria		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Av. Blvd Tulum.</li> <li>• Mercados Municipales.</li> <li>• Boxito.</li> <li>• Zona Arqueológica y zona comercial.</li> <li>• Avenida Satélite y Osiris.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calle Andrómeda.</li> <li>• Zona Costera y/o hotelera.</li> <li>• Súper San Francisco.</li> <li>• Bodega Aurrera.</li> <li>• Chedraui.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escuelas.</li> <li>• Parques.</li> <li>• Cadi Tulum.</li> <li>• Agencia Coca-Cola.</li> <li>• Hoteles de Tulum.</li> <li>• Oxxos.</li> </ul>
Lunes, miércoles y viernes		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fracc. Huracanes.</li> <li>• Fracc. Villas Tulum.</li> <li>• Fracc. Guerra de Castas.</li> <li>• Colonia La Croc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colonia Centro Sur.</li> <li>• Colonia Centro Norte.</li> <li>• Colonia Maya Pax.</li> <li>• Colonia La Luna.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colonia Lakin.</li> <li>• Akumal Playa y Hotelera.</li> <li>• Akumal Pueblo.</li> <li>• Ciudad Chemuyil 1 y 2.</li> </ul>
Martes, jueves y sábado		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crim.</li> <li>• Colonia La Veleta.</li> <li>• Colonia Xul Kah.</li> <li>• Colonia Ejido Norte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zona residencial de Casa Cenote.</li> <li>• Zona residencial de Bahía Punta Solimán.</li> <li>• Xcachelito.</li> <li>• Clínica Chemuyil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoteles de Aventuras Akumal.</li> <li>• Akumal Sur.</li> <li>• Beach Akumal.</li> <li>• Condominios Yalku.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fraccionamiento las Palmas 1 y 2.</li> <li>• Hotel Dreams.</li> <li>• Restaurant Oscar y Lalo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DIF Aventuras.</li> <li>• Colonia Tuben Kah.</li> <li>• Artesanías Mexico Lindo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cenote Aktun Chen.</li> <li>• Artesanías 2 Ojos.</li> <li>• Cenote Hiden Word.</li> </ul>
<b>Miércoles y Sábado</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• San Juan.</li> <li>• Cobá.</li> <li>• Manuel Antonio Hay.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Francisco Uh May</li> <li>• Macario Gómez</li> </ul>	
<b>Jueves</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• San Pedro.</li> <li>• Chanchen 1.</li> <li>• Sacabmukuy.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hondzonot.</li> <li>• Yaxche.</li> <li>• Chancén Palmar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yalchen.</li> <li>• San Silverio.</li> <li>• Pino Suarez.</li> </ul>
<b>Viernes</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Punta Allen</li> </ul>		

**Fuente:** Dirección de Servicios Públicos Municipales de Tulum, (2016).

En relación a la tabla anterior, se puede observar las zonas de la ciudad que más generan RSU por la periodicidad con la que se recolectan sus residuos, tal es el caso de las avenidas principales que incluyen instalaciones como restaurantes, pequeños hoteles, tiendas de artesanías y oficinas, a su vez se encuentran las colonias con mayor población de la ciudad.

Otras zonas de jerarquía que se necesitan atender por su importancia turística y económica son la zona arqueológica y la zona costera, ya que deben mantener una imagen limpia ante la gran cantidad de turistas nacionales y extranjeros que visitan estas áreas.

Por otra parte, las colonias donde residen los habitantes de la ciudad son atendidas tres días a la semana y en ocasiones menos días por falta de equipamiento, tiempo u otras circunstancias ocasionando problemas de acumulación de residuos, por consiguiente molestias a la comunidad.

A continuación se muestra la distribución de las rutas y días de recolección de RSU que se realizan en la ciudad de Tulum mediante el **mapa 2.2** para conocer los recorridos que deben hacer los camiones diariamente.

**Mapa 2.2** Días de recolección de los Residuos Sólidos Urbanos de la ciudad de Tulum



**Fuente:** Elaboración propia en base a la Dirección de Servicios Públicos Municipales de Tulum, (2016).

En cuanto al método de recolección de los RSU en la ciudad de Tulum se realiza de una manera mixta, es decir, para las avenidas principales y zona costera se ubican estratégicamente tambos de 200 litros para colocar los residuos generados por las infraestructuras cercanas; mientras que para las zonas de viviendas colocan sus RSU afuera de sus casas sobre la calle o banqueta en recipientes o simplemente en bolsas, a la espera del día que debe pasar el camión recolector (**figura 2.2**).

**Figura 2.2** Ubicación de los contenedores para los Residuos Sólidos Urbanos de la ciudad de Tulum



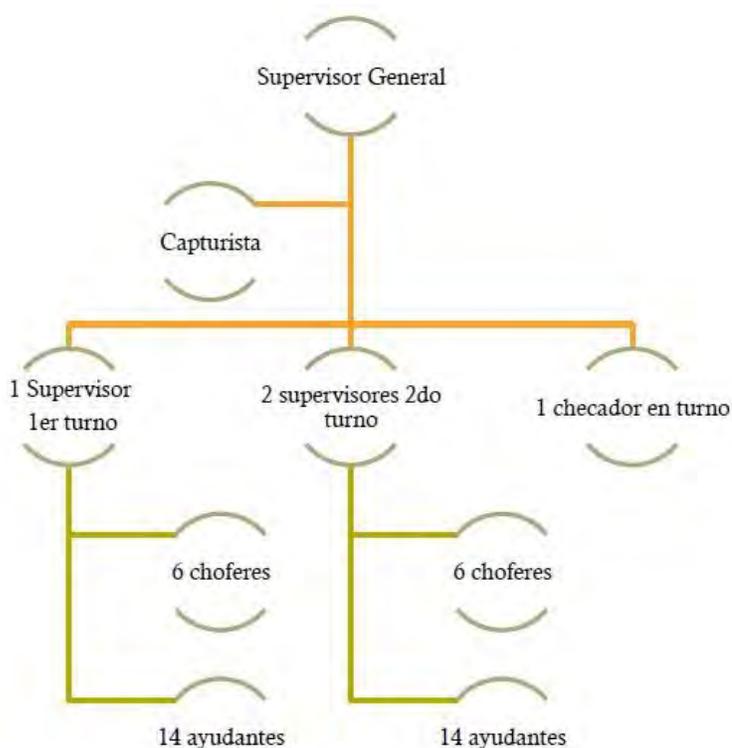
**Fuente:** Imágenes obtenidas de *Google Maps* de la ciudad de Tulum, 2016.

De acuerdo a la Dirección de Servicios Públicos Municipales de Tulum, para enero de 2016 se utilizaban 8 vehículos compactadores para la recolección de los RSU con capacidad de 20 yd<sup>3</sup> (15.29 m<sup>3</sup>) que se distribuían conforme a los días y rutas antes mencionas para cubrir todo el municipio, pero solamente 2 camiones eran asignados a recorrer toda la ciudad de

Tulum. Cabe mencionar, que por su antigüedad algunos camiones recolectores sufren deterioros y se averían, por lo que no pueden realizar su ruta de recolección ocasionando interrupciones en el sistema de recolecta de los residuos.

Para llevar a cabo los trabajos de recolección y disposición final de los residuos sólidos urbanos, la dirección de servicios públicos cuenta con dos horarios: un primer turno de 4:00 am a 12:00 pm y el segundo de 12:00 pm a 8:00 pm, en los cuales se distribuye al recurso humano de acuerdo al **diagrama 2.1**.

**Diagrama 2.1** Organigrama del área de recolección de Residuos Sólidos Urbanos.



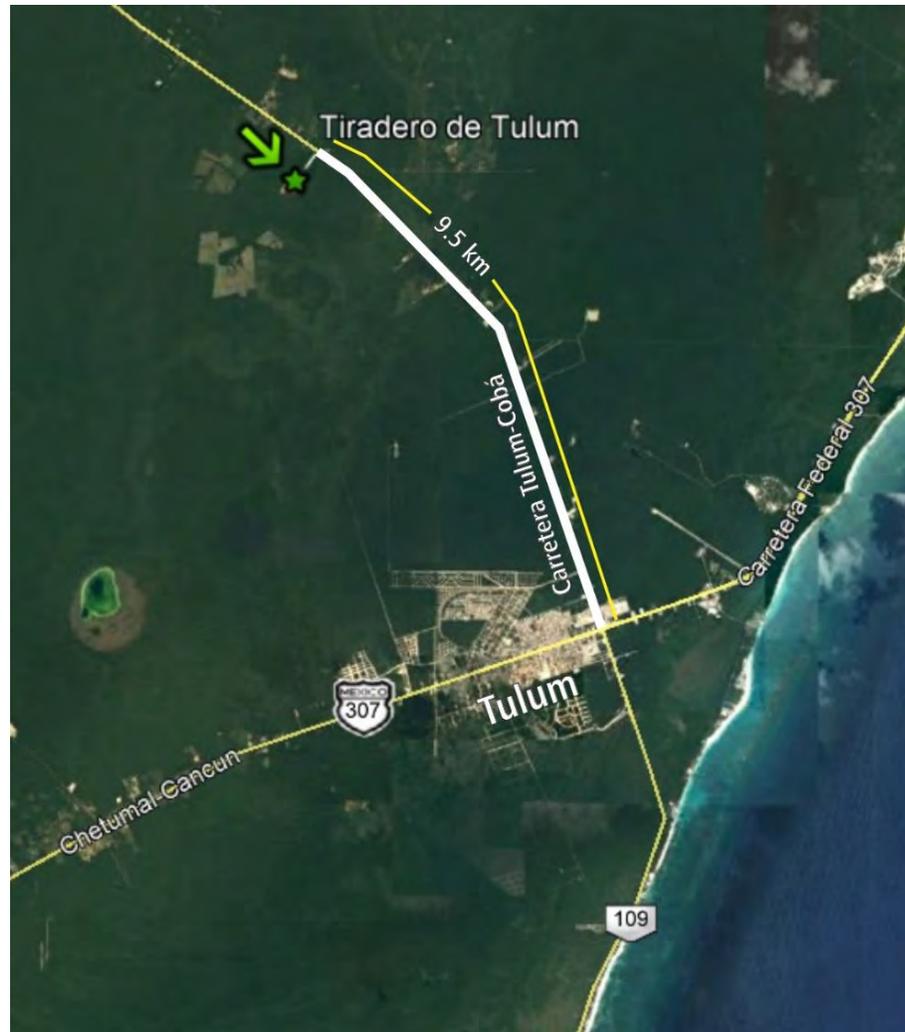
**Fuente:** Dirección de Servicios Públicos Municipales de Tulum, (2016).

En un principio la ciudad de Tulum colocaba sus residuos sólidos urbanos en un tiradero a cielo abierto, que funcionaba desde el año 2005; se localiza aproximadamente a unos 10 km de la ciudad de Tulum sobre la carretera federal 109 Tulum-Cobá, con las siguientes coordenadas geográficas; latitud: 20° 16' 43" y longitud: 87° 30' 08" (**figura 2.3**).

Para el 2010 el tiradero a cielo abierto recibía en promedio 70 toneladas diarias, provenientes de todas las localidades del Municipio de Tulum, cifra que al pasar de los

años fue aumentado, provocando problemas de sobrecupo de residuos que rebasaron los límites de extensión establecidos para del tiradero.

**Figura 2.3** Ubicación del tiradero a cielo abierto del Municipio de Tulum



**Fuente:** Google Earth, (2016).

De acuerdo a notas periodísticas locales, en los últimos 4 años, el basurero a cielo abierto de Tulum ha provocado problemas de escasa capacidad de almacenamiento, ya que principalmente, en las temporadas vacacionales supera sus límites de carga ocasionando que los camiones recolectores depositen los RSU a un costado del camino que conduce hacia el tiradero a cielo abierto (**figura 2.4**), generando molestias a la población que se encuentra a los alrededores y al sistema de recolección que se detiene por varios días mientras que la maquinaria realiza trabajos de compactación de los RSU.

**Figura 2.4** Camino al basurero a cielo abierto del municipio de Tulum

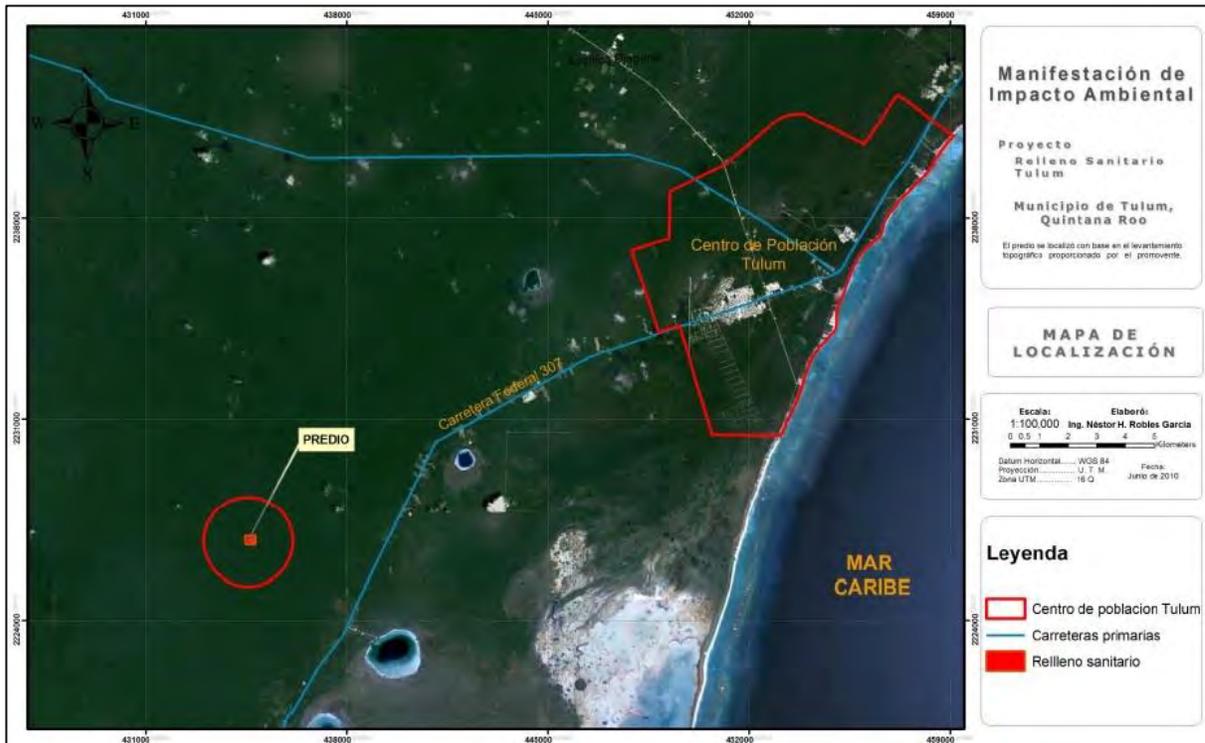


Fuente: NOTICARIBE, (2016).

Fuente: QUEQUI, (2016).

Para resolver la problemática del tiradero a cielo abierto de Tulum, las autoridades municipales en el 2010 empezaron las gestiones para la realización de un relleno sanitario que cumpla con la normativa mexicana, el cual se ubicaría fuera del centro de población de Tulum, aproximadamente a 18 km al sur de la ciudad sobre la carretera federal 307 Chetumal-Cancún (**mapa 2.3**).

**Mapa 2.3** Ubicación del Relleno Sanitario de Tulum



Fuente: Municipio de Tulum, (2010).

A pesar de que el nuevo relleno sanitario concluyó las obras de construcción a mediados del año 2015, fue hasta en octubre del 2016 cuando empezó a operar de manera regular

debido a dificultades de equipamiento y concesión a la empresa que ejecutara los trabajos de operación.

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana, NOM-083-SEMARNAT-2003, los sitios de disposición final se catalogan de acuerdo a la cantidad de Residuos Sólidos Urbanos que ingresan cada día (**tabla 2.6**).

**Tabla 2.6** Categorías de los sitios de disposición final

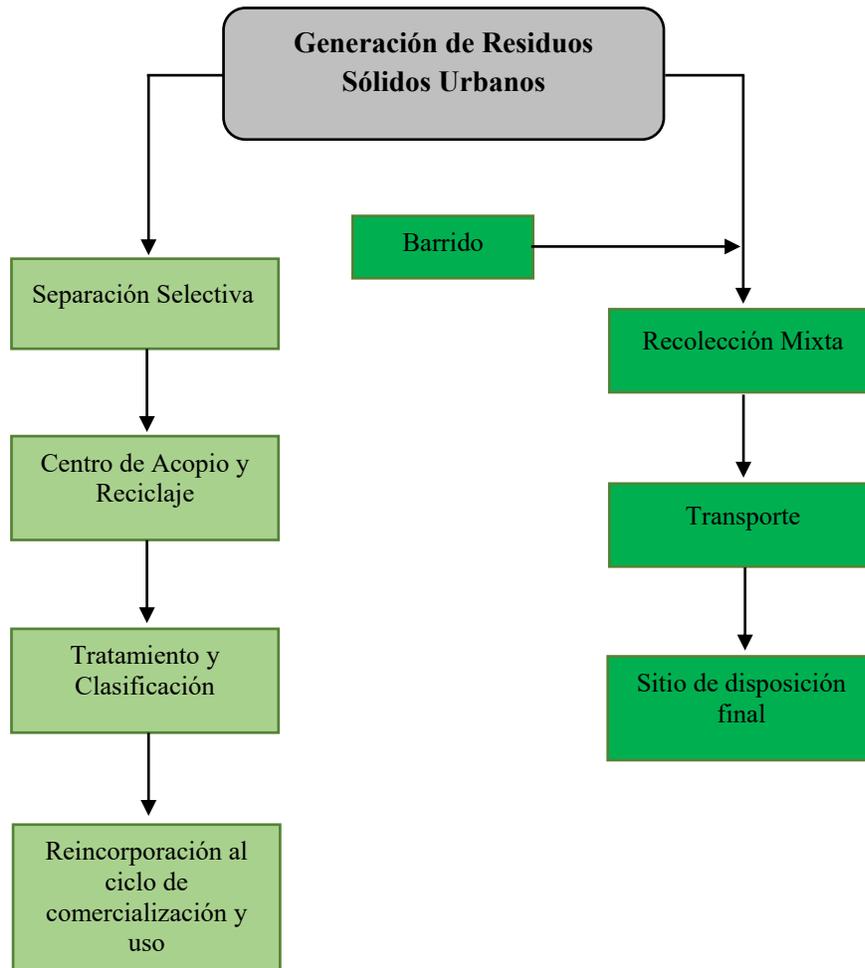
TIPO	TONELAJE RECIBIDO (TON/DÍA)
A	Mayor a 100
B	50 hasta 100
C	10 y menor de 50
D	Menor a 10

**Fuente:** Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003

En este sentido, el relleno sanitario del Municipio de Tulum recibe entre 100 y 120 ton/día de residuos sólidos, característica que lo coloca en la categoría A, el cual debe contar con ciertas especificaciones desde la selección del sitio hasta detalles de construcción y operación.

En resumen, el proceso de manejo de los Residuos Sólidos Urbanos en la ciudad de Tulum es simple, empieza por la generación de residuos de las diferentes fuentes posibles y toma dos direcciones. La primera continúa con la recolección de la basura de manera mixta, es decir, sin ninguna separación previa de residuos, que en conjunto con los desechos procedentes de los barridos esporádicos de las calles son transportadas por los camiones recolectores hacia el basurero a cielo abierto, que es generalmente lo que sucede en la ciudad. En el segundo escenario los residuos son separados seleccionando los que tienen importancia económica (plásticos y cartón) para ser almacenados en un centro de reciclaje que posteriormente los clasifica y los envía a instituciones encargadas de ejecutar un tratamiento para devolverles su ciclo de uso y comercialización (**Diagrama 2.2**).

**Diagrama 2.2.** Proceso del sistema de manejo de RSU de la ciudad de Tulum



Ahora bien, en cuestiones de contingencia ante la presencia de un posible riesgo a ser afectados por un desastre natural, por ejemplo un huracán, la Dirección de Servicios Públicos Municipales de Tulum, en coordinación con la Dirección de Protección Civil toman acciones preventivas tales como:

*Poda de árboles:* se podan árboles de denso follaje que presenten un riesgo a ser derribados por fuertes vientos, con el objetivo de evitar afectaciones a las líneas de suministro de energía eléctrica y así mismo evitar que las coladeras se obstruyan por las hojas y ramas caídas.

*Desazolve de pozos:* Por las lluvias que puedan ocasionar la presencia de ciclones tropicales, es necesario contar con pozos en óptimas condiciones para garantizar el rápido

desagüe del agua acumulada en las calles y evitar inundaciones que no permitan la circulación de la población.

*Recolecta de basura que obstruyen los pozos:* la acumulación de basura en las rejillas de los pozos es otro factor que impide su buen funcionamiento, por tal motivo, es importante su limpieza para que fluya el agua sin ninguna dificultad.

**Figura 2.5** Acciones preventivas ante un desastre natural en la ciudad de Tulum



**Fuente:** Dirección de Servicios Públicos Municipales de la ciudad de Tulum, (2016).

Asimismo durante la temporada de huracanes se instala el Comité Operativo Especializado en Fenómenos Hidrometeorológicos, que tiene como objetivo prevenir o mitigar daños que pudiera ocasionar la presencia de dichos eventos ciclónicos. Una de las actividades que realiza el Comité es la verificación de los refugios temporales revisando la calidad de sus estructuras, y además que cuenten con un área destinada para el almacenamiento de RSU debido a la cantidad de personas que van a ser auxiliadas. El Municipio de Tulum cuenta con un total de 58 instalaciones, 13 de ellas se encuentran en la ciudad con la capacidad de albergar 1,455 personas (**tabla 2.7**).

**Tabla 2.7** Refugios temporales de la ciudad de Tulum

Nombre	No. de Aulas	Tipo	Capacidad Total	DOMICILIO EDIFICIO
Jardín de Niños Estado de Quintana Roo	4	Escuela	120	Calle Sol entre Júpiter
Erick Paolo Martínez	4	Escuela	120	Calle Júpiter
Julio Ruelas	11	Escuela	330	Calle Júpiter Sur
Jardín de Niños Tulum	5	Escuela	100	2 Ote. por Beta Norte
Primaria Octaviano Solis	7	Escuela	210	2 Ote. por Beta Norte
Secundaria Federal Zamna	10	Escuela	105	4 Poniente por Alfa Norte
Jardín de Niños Tun Ben Zacil	3	Escuela	105	Fraccionamiento Tun Ben Kah
Plantel CECYTE		Escuela	CENTRO DE ACOPIO	4 Poniente por Alfa Norte
Arca de Noe		Templo	25	Calle Polar Norte entre Júpiter y Alfa Norte
Santos de los Últimos Días		Iglesia	70	Calle Saturno Norte esquina Polar Norte
Iglesia de Dios de la Profecía		Templo	60	Calle Polar entre Osiris y Beta Norte
UNTRAC		Casa Ejidal	100	Calle Júpiter Norte Esquina Sagitario
Emmanuel		Templo	50	Calle Beta Norte Entre Polar y Sagitario
Adventista del 7 Día		Templo	60	Avenida Tulum entre Alfa y Júpiter Norte

**Fuente:** Dirección Municipal de Protección Civil de Tulum, (2016).

### CAPITULO 3. RIESGO Y RESILIENCIA

En este capítulo se describen los conceptos de riesgo, vulnerabilidad y amenaza con el fin de entender su relación con la resiliencia, y como se integran en los sistemas socio-ecológicos para abordar la problemática del manejo de los RSU ante huracanes en ciudades costeras.

#### 3.1 – Vulnerabilidad, amenaza y riesgo

El término vulnerable etimológicamente, del latín *vulnerabilis*, expresa la susceptibilidad o posibilidad de ser herido, de recibir un daño o de ser afectado, conmovido o vencido por algo. Según Andrew Maskrey (1993) define la vulnerabilidad como: “*una relación compleja entre población, medio ambiente, relaciones, formas y medios de producción*”.

Para Blaikie (1994) entiende la vulnerabilidad como: “*las características de una persona o grupo de ella en relación con su capacidad de anticipar, enfrentar y resistir y recuperarse de un desastre*”.

Por otra parte, Cardona (2001) describe a la vulnerabilidad como *la predisposición, susceptibilidad o factibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad de ser afectado o de sufrir daños en caso de que un fenómeno desestabilizador de origen natural o antrópico se manifieste, dicha comunidad carece entonces de la capacidad para adaptarse o ajustarse a determinadas circunstancias*.

La vulnerabilidad puede analizarse desde diferentes sectores (físico, social, político, tecnológico, cultural y educativo, ambiental e institucional). Wilches-Chaux (1989) sostiene que una sociedad puede enfrentar distintas vulnerabilidades y las clasifica de la siguiente manera (**tabla 3.1**):

**Tabla 3.1** Clasificación de la vulnerabilidad según Wilches-Chaux (1989)

<b>Vulnerabilidad Natural</b>	La vulnerabilidad natural de los ecosistemas se incrementó provocando la resistencia humana a circunstancias ambientales severas y a veces haciéndola más vulnerable frente a ellas, dado que la población necesita de ciertas condiciones para poder desarrollarse.
<b>Vulnerabilidad Física</b>	Se refiere a la localización de la población en áreas de riesgo, en razón de la pobreza y la falta de oportunidades para conseguir una ubicación mejor

(condiciones ambientales desfavorables, localización de asentamientos en zonas expuestas).

<b><i>Vulnerabilidad Ecológica</i></b>	Se relaciona a la forma de convivencia con el ambiente (vulnerabilidad de los ecosistemas frente a los efectos directos o indirectos de la acción humana y a los riesgos provocados por las comunidades que los explotan o habitan).
<b><i>Vulnerabilidad Social</i></b>	Se produce cuando hay deficiencias de organización y cohesión interna de la sociedad bajo riesgo, que limita su capacidad de prevenir, atenuar o responder a situaciones adversas (difícil acceso al saneamiento ambiental, desnutrición infantil, carencia de servicios básicos, escasa capacidad de recuperación ante la adversidad)
<b><i>Vulnerabilidad Económica</i></b>	Existe una relación indirecta entre los ingresos y el impacto de los fenómenos físicos extremos. Es decir, la pobreza aumenta el riesgo (vulnerabilidad de los sectores más deprimidos, desempleo, insuficiencia de ingresos, explotación, inestabilidad laboral, dificultad de acceso a los servicios de educación, salud, ocio, etc.)
<b><i>Vulnerabilidad Cultural</i></b>	Refiere a la forma en que los individuos y la sociedad reaccionan ante la información relacionada con el ambiente y la realidad de los hechos (influencia de la personalidad de los habitantes identificados con un modelo de sociedad y con el papel que juegan los medios masivos de comunicación en la consolidación de estereotipos ante la ocurrencia de los riesgos)
<b><i>Vulnerabilidad educativa</i></b>	La falta de programas educativos, que proporcionen información sobre el ambiente, sus desequilibrios y las formas apropiadas de comportamiento individual o colectivo en caso de riesgo o de situación de desastre, provocan el limitado conocimiento de las realidades locales y regionales para hacer frente a los problemas.
<b><i>Vulnerabilidad Política</i></b>	Ocurre ante la excesiva concentración del poder, el centralismo en la organización gubernamental y la debilidad en la autonomía regional, local y comunitaria, que impide afrontar los problemas.
<b><i>Vulnerabilidad Técnica</i></b>	Se refiere a la incapacidad de control y manejo de las tecnologías, a las inadecuadas técnicas utilizadas en la construcción de edificios y en la falta de infraestructura básica en áreas de riesgo.
<b><i>Vulnerabilidad Ideológica</i></b>	Alude a la concepción del mundo y del medio donde se habita y se relaciona y a la posibilidad de enfrentar problemas. La pasividad, el fatalismo, los mitos, aumentan la vulnerabilidad de la población.
<b><i>Vulnerabilidad Institucional</i></b>	Se refiere a la rigidez y obsolescencia de las instituciones, en las cuales la burocracia, la influencia de criterios personalistas y el predominio de las decisiones políticas, impiden respuestas adecuadas y ágiles a las realidades existentes y demoran el tratamiento de los riesgos o sus efectos.

**Fuente:** Foschiatti, (2009).

En el caso de la ciudad de Tulum, su vulnerabilidad física es por ubicación, además por situaciones como erosión de playas, aumento del nivel del mar, inundaciones y el incremento de huracanes. Fenómenos que desequilibran ciertas actividades efectuadas por la población provocando estrés y conflicto a instituciones e individuos, en particular.

Una de las actividades afectadas es el manejo de Residuos Sólidos Urbanos, un deficiente manejo y tratamiento pondrían a la población en un escenario de vulnerabilidad por los diversos contaminantes que se generan en el entorno de la basura que son dañinos para la salud humana y el ecosistema.

En todo lo referente al concepto de vulnerabilidad, es de suma importancia hacer énfasis en dos elementos que van de la mano a tal concepto, uno de ellos son las **amenazas** y el otro es el **riesgo**. Se entiende por **amenaza**, **peligro** o **peligrosidad** a la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado (UNDRO, 1980).

Por su parte, Cardona (1993) describe a la amenaza o peligro como un factor de riesgo externo de un sujeto o un sistema, representado por un peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural, tecnológico o provocado por el hombre, que puede manifestarse en un sitio específico y en un tiempo determinado, produciendo efectos adversos en las personas, los bienes, y/o al ambiente. Matemáticamente, se expresa como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad, en un sitio específico y en un periodo de tiempo determinado.

Encontramos que la amenaza es definida como la probabilidad de que suceda un evento negativo, entonces, es considerada como un fenómeno que se tiene cierto nivel de conocimiento y que tiene atribuciones de anticipación y prevención, por lo que se pueden elaborar medidas precautorias ante ellos.

En general, se puede decir que, una amenaza es un evento anormal o extremo presente en el ambiente natural o construido, que afecta desfavorablemente a la vida de las personas o sus actividades a tal grado de causar un desastre. En este sentido, por su condición de ciudad costera existen diversos tipos de eventos amenazantes para Tulum, uno de ellos es

la formación de huracanes que con sus fuertes vientos e intensas lluvias provocaría un escenario desastroso.

El **riesgo**, a su vez, se puede dividir en dos: *riesgo específico*, que es el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un suceso particular y como una función de la amenaza y la vulnerabilidad. *Riesgo total*, que se define como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un desastre (UNDRO, 1980).

De una manera más exacta, el riesgo o daño es obtenida de la convolución de la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a tales amenazas, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas y sociales en cierto sitio y en cierto período de tiempo (Spence, 1990).

El riesgo en sí mismo constituye un enfoque directamente asociado a los estudios relacionados a la salud y las actividades humanas, por lo tanto, desde un ángulo del ambiente urbano se encuentran los siguientes tipos de riesgo:

*Los riesgos de tipo biológico*, se refieren la proliferación de bacterias, de insectos vectores de enfermedades y los peligros de tipo sanitario que representan.

*Los riesgos físico-químicos*, son los asociados a la contaminación del aire, del agua y suelo, considerando las consecuencias en la salud humana o las actividades urbanas (Bouvet, 1991).

*Los riesgos tecnológicos*, son considerados a la contaminación industrial, fallas técnicas, vulnerabilidad de las redes, dependencia del funcionamiento urbano con relación a una multiplicidad de redes cada vez más complejas (Lavigne, 1998).

*Los riesgos morfo-climáticos*, son en especial aquellos ligados al crecimiento urbano, a la ocupación del suelo, al manejo o la falta de manejo del sitio urbano, como inundaciones y desbordamientos (Peltre, 1992).

*Los riesgos naturales*, se refieren principalmente a los sismos, erupciones volcánicas, ciclones tropicales y sus implicaciones sociales e institucionales.

La diferencia fundamental entre la amenaza y el riesgo está en que la amenaza se relaciona con la probabilidad de que se manifieste un evento natural o un evento provocado, mientras que el riesgo está relacionado con la probabilidad de que se manifiesten ciertas consecuencias, las cuales están íntimamente relacionados no sólo con el grado de exposición de los elementos sometidos, sino también con la vulnerabilidad que tienen dichos elementos a ser afectados por el evento (Fournier, 1985).

De acuerdo a las definiciones anteriores, no se puede ser vulnerable si no existe una condición de amenaza para un sistema o elemento, a la cual corresponde un valor probable de riesgo. Y una amenaza en condiciones de mucha vulnerabilidad puede convertirse en un desastre.

Sin embargo, si se está consciente de las vulnerabilidades de una comunidad ante las amenazas existentes, se pueden tomar medidas para que dichas amenazas no se conviertan en un desastre. Para ello la Gestión del Riesgo de Desastres nos permite la prevención, reducción y control ante situaciones de desastre mediante la implementación de políticas y estrategias en materia económica, ambiental, de seguridad y territorial.

A partir de las definiciones anteriores, para esta investigación entenderemos los conceptos de amenaza y vulnerabilidad de la siguiente manera:

**Amenaza:** Se refiere a los efectos negativos que trae consigo el impacto de un ciclón tropical en ciudades costeras, como pueden ser vientos fuertes y lluvias intensas.

**Vulnerabilidad:** Se refiere a la exposición de la población y ecosistemas a situaciones de ineficaz manejo de los Residuos Sólidos Urbanos que puedan provocar escenarios dañinos derivados por los efectos de un huracán.

### 3.2 – Resiliencia ante desastres

El origen etimológico del término resiliencia proviene del latín, “*resilio*”, que significa volver atrás, volver de un salto, resaltar, rebotar. El concepto de resiliencia en realidad abarca muchos aspectos, tiene variedad de definiciones de acuerdo a la temática que aborde, es decir, se le asigna una definición más concreta según la situación expuesta.

Dicho término ha sido adaptado a las ciencias físicas para exponer la propiedad de un material para retomar su forma inicial después de recibir un impacto. La psicología utiliza la resiliencia para describir las capacidades y los fenómenos psíquicos que permiten a un individuo recuperar su integridad psicológica tras sufrir un estrés traumático y en las ciencias sociales para caracterizar aquellas personas que, a pesar de nacer y vivir en situaciones de alto riesgo, se desarrollan psicológicamente sanas y con éxito (Rutter, 1993).

El término se ha aplicado en distintos ámbitos incluyendo reducción de riesgo, adaptación al cambio climático, planeación urbana, sistemas ecológicos, entre otros. Con respecto a las comunidades la Fundación Rockefeller define a la resiliencia urbana como la *capacidad de individuos, comunidades, instituciones, negocios y redes dentro de una ciudad para sobrevivir, adaptarse y crecer sin importar los tipos de tensiones crónicas o impactos agudos que se presenten.*

La definición anterior, habla de tensiones crónicas que dentro de una ciudad se entiende por situaciones constantes como desempleo, violencia o falta de alimentos, mientras que los impactos agudos se refieren a eventos desastrosos repentinos como terremotos, inundaciones y huracanes. Dichas tensiones e impactos suelen estar interconectadas provocando que las acciones de respuesta sean aún más complejas y necesarias.

Por su parte, en los sistemas ecológicos se denominó a la resiliencia como la habilidad para absorber cambios o disturbios generados por eventos aleatorios, con la posibilidad de mantener las mismas relaciones entre poblaciones y variables presentes antes del fenómeno (Holling, 1973). De esa manera la resiliencia de un ecosistema es recuperarse después de haber sido perturbado sus variables ecológicas por causas naturales o antrópicas.

La resiliencia también ha sido asociada con el cambio climático y ha comenzado a utilizarse para dimensionar procesos más complejos que los naturales, como los relacionados con la acción humana y con la escala espacial, temporal y social (Cimmin, 2011).

Por otra parte, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (2014), define a la resiliencia como la capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales de afrontar un suceso, tendencia o perturbación peligrosa respondiendo o

reorganizándose de modo que mantengan su función esencial, su identidad y su estructura, y conservando al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación.

Para Chardon (2002) la resiliencia es un componente más en la gestión de riesgo, en primer lugar, se trata de estimar en qué medida la sociedad es capaz de absorber la ocurrencia del fenómeno natural, de resistirle y adaptarse a él (resistencia); para luego adaptarse a los cambios de toda índole que éste genera a fin de recuperarse y restablecer sus medios de vida (resiliencia); dado que existe una probabilidad de que un sujeto o elemento expuesto a una amenaza sufra daños y pérdidas humanas como materiales, en el momento del impacto, teniendo además dificultad en recuperarse de ello a corto, mediano o largo plazo (vulnerabilidad).

En cuestiones de riesgo a desastres el concepto ha ido ampliándose, de tal manera, hoy en día el término resiliencia está más presente en investigaciones, seminarios, libros y artículos, tomando importancia en temas internacionales.

A escala internacional uno de los principales documentos representado por las Naciones Unidas, que hablan acerca de la “resiliencia” es el Marco de Acción de Hyogo, el cual, orientó sus metas entre 2005-2015, en el aumento de la resiliencia de las naciones y comunidades ante los desastres; enfocándose en la integración de políticas, planes y programas de desarrollo con énfasis principal en la prevención y mitigación de los desastres, a su vez, incitando la participación de los ciudadanos y las comunidades.

De la misma forma, como instrumento sucesor del Marco de Acción de Hyogo se presentó el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, que se basa en elementos que garantizan la continuidad del trabajo hecho por los Estados miembros de la ONU y otras partes interesadas en relación de comprender mejor el riesgo de desastres en todas sus dimensiones relativas a la exposición, la vulnerabilidad y características de las amenazas.

Dicho Marco prioriza el “Invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia”, por medio de inversiones públicas y privadas para la prevención y reducción del riesgo de desastres mediante medidas estructurales y no estructurales son esenciales para aumentar

la resiliencia económica, social, sanitaria, ambiental y cultural de las personas, las comunidades y los países.

Asimismo, anterior a lo señalado, en el 2010, la Estrategia Internacional de Reducción de Desastres (EIRD) de las Naciones Unidas lanzó una campaña mundial para la Reducción de Desastres 2010-2011, que lleva por nombre: “Desarrollando ciudades resilientes, mi ciudad se está preparando”. Con tal campaña se pretende que las comunidades urbanas sean sostenibles y resilientes mediante la concientización a los gobiernos y ciudadanos de las ventajas de la reducción de riesgos urbanos y asignando presupuestos a planes de desarrollo urbano relacionados a la protección de infraestructura en caso de desastre.

Por lo tanto, para entender cómo sería una comunidad con la capacidad de resistir y recuperarse ante un desastre, las Naciones Unidas como una contribución a la campaña de Reducción a Desastres describen diez aspectos esenciales para ciudades resilientes (**tabla 3.2**).

**Tabla 3.2** Diez aspectos esenciales para lograr ciudades resilientes

<i>1. Marco Institucional y Administrativo</i>	Establecer la organización y la coordinación necesaria para comprender y reducir el riesgo de desastre dentro de los gobiernos locales, con base en la participación de los grupos de ciudadanos y de la sociedad civil. Que todos los departamentos comprendan su papel y la contribución que pueden hacer a la reducción del riesgo de desastres y a la preparación en caso de éstos
<i>2. Financiamiento y Recursos</i>	Asignar un presupuesto para la reducción del riesgo de desastres y ofrezca incentivos a los propietarios de viviendas, las familias de bajos ingresos, las comunidades, los negocios y el sector público para que inviertan en la reducción de los riesgos que enfrentan.
<i>3. Evaluación de Riesgos Multiamenaza</i>	Mantener información actualizada sobre las amenazas, las vulnerabilidades, evaluaciones del riesgo y utilícelas como base para los planes y las decisiones relativas al desarrollo urbano. Que esta información y los planes para la resiliencia de su ciudad estén disponibles a todo el público y que se converse acerca de estos propósitos en su totalidad.
<i>4. Protección y Mejoramiento de la Infraestructura</i>	Invertir y mantener una infraestructura que reduzca el riesgo, tales como desagües para evitar inundaciones y, según sea necesario, ajústela de forma tal que pueda hacer frente al cambio climático.

<i>5. Protección de las Instalaciones Vitales</i>	Evaluar la seguridad de todas las escuelas e instalaciones de salud y mejórelas cuando sea necesario.
<i>6. Reglamento de Construcción y Planificación Territorial.</i>	Aplicar y hacer cumplir reglamentos de construcción y principios para la planificación del uso del suelo que sean realistas y que cumplan con los aspectos relativos al riesgo. Identifique terrenos seguros para los ciudadanos de bajos ingresos y, cuando sea factible, modernizar los asentamientos informales.
<i>7. Capacitación, Educación y Concientización Pública</i>	Crear y conservar programas educativos y de capacitación sobre la reducción del riesgo de desastres, tanto en las escuelas como en las comunidades locales.
<i>8. Protección del Ambiente y Fortalecimiento de los Ecosistemas</i>	Proteger los ecosistemas y las zonas naturales de amortiguamiento para mitigar las inundaciones, las marejadas ciclónicas y otras amenazas a las que su ciudad podría ser vulnerable.
<i>9. Preparación, Alerta Temprana y Respuesta Eficaz</i>	Instalar sistemas de alerta temprana y desarrollar las capacidades para la gestión de emergencias en su ciudad, y llevar a cabo con regularidad simulacros para la preparación del público en general, en los cuales participen todos los habitantes.
<i>10. Recuperación y Reconstrucción de Comunidades</i>	Después de un desastre, enfocar que las necesidades de los sobrevivientes se sitúen al centro de los esfuerzos de reconstrucción, y apoyar a las organizaciones comunitarias para el diseño y la aplicación de respuestas, lo que incluye la reconstrucción de sus hogares y sus medios de sustento.

**Fuente:** UNISDR (2012).

El manejo de Residuos Sólidos urbanos es una vulnerabilidad de la comunidad que se puede enmarcar en algunos de los 10 aspectos anteriores, principalmente, en la protección del ambiente, ya que su principal característica es la generación de residuos contaminantes. Por lo tanto, para decir que se es resiliente en el manejo de RSU se debe contar con un tratamiento óptimo de los residuos controlando lo más posible los agentes contenientes que se produzcan en la basura.

Localmente, se están realizando trabajos enfocados en resiliencia, tal es el caso de la investigación realizada por investigadores de la Universidad de Quintana Roo: “Resiliencia en ciudades costeras del caribe mexicano ante desastre por huracanes: Chetumal, Tulum y Playa del Carmen” *proyecto CONACYT 248375*, de donde se deriva esta tesis, que describe

una ciudad o comunidad resiliente puede ser considerada como “aquella que es capaz de hacer frente a eventos extremos sin sufrir pérdidas devastadoras y daños en sus sistemas físicos (ambiente natural y ambiente construido) o que sus habitantes experimenten una reducción en su calidad de vida”.

Enfocarse en la resiliencia significa poner énfasis en qué es lo que las comunidades pueden hacer por sí mismas, y cómo se pueden fortalecer sus capacidades ante eventos perturbadores, ninguna comunidad podrá estar completamente protegida de amenazas naturales, pero si se puede diseñar y construir un contexto de una comunidad lo más segura posible.

Enlazando el concepto de resiliencia con el manejo de Residuos Sólidos Urbanos ante desastres provocados por huracanes, se puede decir que es la capacidad de las comunidades de evitar daños en la función y estructura de la población vulnerable mediante la implementación de acciones objetivas que mantengan un sistema de manejo de RSU eficiente antes, durante y después del desastre.

## CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA

En este capítulo se define los procedimientos estadísticos y metodológicos para el cálculo del grado de resiliencia en el Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en la ciudad de Tulum, a partir de los conceptos definidos en capítulos anteriores y metodologías base para este cálculo.

### 4.1 Cálculo del grado de resiliencia en el manejo de RSU de la ciudad de Tulum

La metodología que se presenta se desarrolló partiendo de ecuaciones basadas en los conceptos de riesgo, amenaza, vulnerabilidad y capacidad de adaptación. Por una parte tenemos que la *United Nations Disaster Relief Organization* (UNDRO), junto con la *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO) en 1980 derivó una fórmula para la evaluación del riesgo:

$$\mathbf{Riesgo\ total\ (Rt) = Exposición\ (E) * Amenaza\ (H) * Vulnerabilidad\ (V)}$$

Sin embargo, en 1985 Cardona propuso eliminar la variable *Exposición (E)* por considerarla implícita en la *Vulnerabilidad (V)*, sin que esto modificara la concepción original (Cardona, 1993). Resultando la fórmula de la siguiente manera:

$$\mathbf{Riesgo = Amenaza * Vulnerabilidad}$$

Por otra parte, apoyado de la fórmula de riesgo, en el 2013 Henao expone la siguiente ecuación para la medición de la resiliencia agroecológica en sistemas de cultivos.

$$\mathbf{Riesgo = \left( \frac{Vulnerabilidad}{Capacidad\ de\ respuesta} \right) * Amenaza} \quad (\text{Henao, 2013})$$

A partir del análisis de las ecuaciones anteriores se deriva la siguiente ecuación para facilitar una aproximación cualitativa que será usada para el Cálculo del Grado de Resiliencia en relación al manejo de Residuos Sólidos Urbanos de la ciudad de Tulum.

$$\mathbf{Resiliencia = (Amenaza * Vulnerabilidad) - Capacidad\ de\ Adaptación}$$

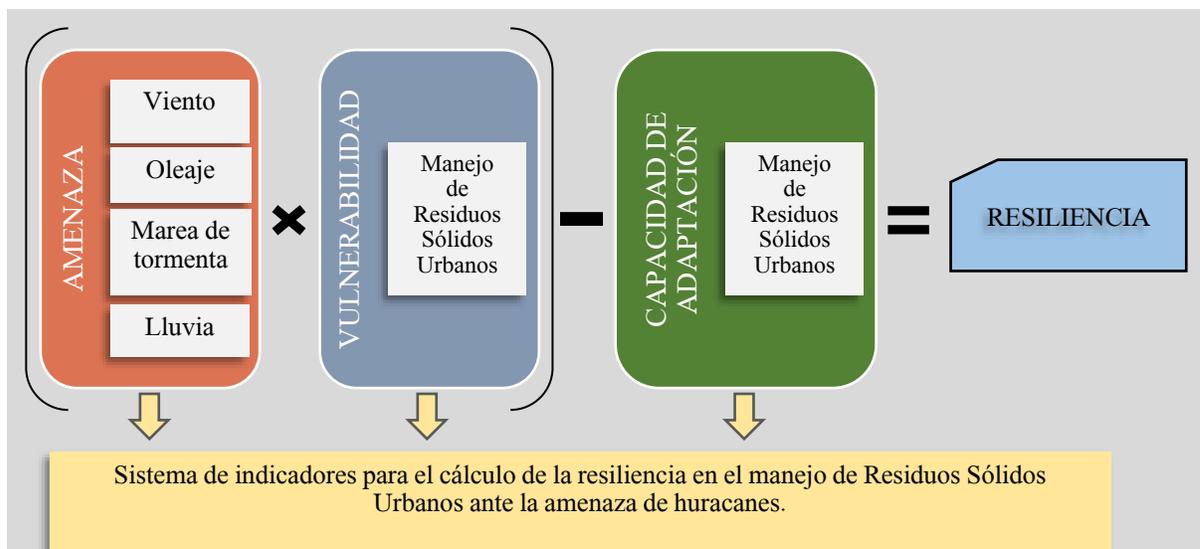
Cabe señalar que la ecuación obtenida está vinculada con los talleres de investigación que se llevaron a cabo por investigadores especialistas que participan en el Proyecto

CONACYT 248375: “Resiliencia en ciudades costeras del caribe mexicano ante desastre por huracanes: Chetumal, Tulum y Playa del Carmen”.

En dichos talleres se establecieron los criterios de evaluación para la *Amenaza*, *Vulnerabilidad* y *Capacidad de Adaptación*. A su vez, se construyeron indicadores para la medición de los componentes en base a la “Guía de resiliencia urbana” (SEDATU, 2016), y se aplicaron cuestionarios estructurados que identifican aspectos más específicos en cuestiones sociales y ecológicas.

La información fue analizada y validada resultando el siguiente modelo metodológico para el cálculo del grado de resiliencia en relación al manejo de RSU (**figura 4.1**):

**Figura 4.1** Modelo metodológico para el cálculo de la resiliencia en el manejo de Residuos Sólidos Urbanos



Para la obtención del grado de resiliencia se calculó cada componente: *Amenaza*, *Vulnerabilidad* y *Capacidad de Adaptación*, procesando los datos mediante la base metodológica implementada por Hernández (2014), y a partir del modelo metodológico, los cálculos se realizaron en tres etapas: *Estimación de la Amenaza*, *Estimación de la Vulnerabilidad* y *Estimación de la Capacidad de Adaptación* de la ciudad de Tulum.

- I. En una primera fase, el análisis enmarca el estudio de la *Amenaza* de la ciudad costera de Tulum con respecto a los elementos destructivos de un huracán (viento, lluvia, y marea de tormenta).
- II. En la segunda, se presenta las *Vulnerabilidades* de la ciudad costera de Tulum ante el paso de un huracán, en relación a las afectaciones posibles del sistema de manejo de Residuos Sólidos Urbanos.
- III. Por último, para el estudio de la *Capacidad de Adaptación* se enmarcan los atributos, estrategias y actividades que permiten reducir los riesgos, y mejorar el manejo de los Residuos Sólidos Urbanos de la ciudad de Tulum.

### I. Estimación de la Amenaza ( $V_A$ )

El en caso de **Amenaza ( $V_A$ )**, tenemos que, para la clasificación de riesgos y peligros del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2001), considera a los huracanes como un riesgo hidrometeorológico que se define como:

*“Un fenómeno natural capaz de modificar el paisaje teniendo como elementos perturbadores principales el agua y el viento”.*

Para poder entender y evaluar los efectos negativos de los elementos perturbadores de un huracán se utilizó un sistema de indicadores que permitió establecer una medición a posibles daños relacionados a los huracanes. De tal manera, se integraron 4 componentes y un total de 11 indicadores para la Amenaza ( $V_A$ ).

Los indicadores se distribuyeron en una tabla que expresa características en las diferentes columnas de acuerdo a la metodología de Hernández (2014), los cuales son: *tipo de relación, peso, valor mínimo, valor máximo y unidades/definición*; que se detallan a continuación.

La columna **“tipo de relación”** describe a los indicadores que reflejan un mayor riesgo con un signo positivo (+), y para lo que representen un menor riesgo con un signo negativo (-).

En la columna **“peso”**, se asigna un valor de acuerdo a la importancia o jerarquía del indicador, considerando que la suma de los pesos dentro de cada componente deber ser 1. Cabe mencionar que a los componentes también se les asigna un peso (ponderación) y que la suma de todos los componentes debe ser 1.

Las columnas de “*valor mínimo y máximo*” definen el rango de valores para cada indicador en base a datos oficiales, eventos históricos de relevancia y cifras ya establecidas en estudios de acuerdo a la misma naturaleza del indicador.

Por último, la columna “*unidades/definición*” establece el sistema de medida empleado y la descripción de cada indicador.

De lo anterior, la integración y análisis de todas las partes se construyó de la siguiente manera (tabla 4.1):

**Tabla 4.1** Amenaza ( $V_A$ ), componentes e indicadores con sus unidades y/o definición

Componente	Indicador	Tipo de relación	Peso	Valor mínimo	Valor máximo	Unidades/Definición
Viento ( $A_1$ )	Categoría huracán	(+)	0.5	1	5	Escala Saffir-Simpson
	Velocidad del viento	(+)	0.3	100	300	Km/h
	Presión central	(+)	0.2	800	1,050	Mbar
Oleaje ( $A_2$ )	Amplitud	(+)	0.4	0	30	m
	Altura	(+)	0.5	0	25	m
	Longitud de onda	(+)	0.1	1	200	m
Marea de tormenta ( $A_3$ )	Marea de tormenta	(+)	1	0.5	20	m
Lluvia ( $A_4$ )	Intensidad	(+) 0.3	1	5	Curvas IMM o de Intensidad Media Máxima. Parámetro conocido como índice de la precipitación.	
					(1.Prácticamente constante); 0.0 – 0.20	
					(2.Débilmente variable); 0.20 – 0.40	
					(3.Variable); 0.40 – 0.60	
					(4.Moderamente variable); 0.60 – 0.80	
(5.Fuertemente variable); 0.80 – 1						

	Duración	(+)	0.3	0	24	horas
	Altura o profundidad	(+)	0.3	1	500	mm
	Frecuencia	(+)	0.1	5	500	Tiempo de retorno

**Fuente:** Con base en Hernandez, (2014).

Para la obtención de los datos de la *amenaza*, se tomó como referencia el último ciclón tropical significativo que afecto a la ciudad de Tulum, de esa manera, de entre los distintos huracanes que han presentado efectos destructivos notables a la ciudad de Tulum se eligió el huracán “*Emily* (2005)” por ser el más actual y que su información se encuentra publicada en documentos y hojas estadísticas por la CONAGUA y el NOAA.

“*Emily*” fue el quinto ciclón tropical de la temporada 2005, tocando las costas de Quintana Roo con una categoría de Huracán IV, que se formó en el Océano Atlántico y se desplazó a unos 20 km al norte de la ciudad de Tulum. Los datos obtenidos del huracán “*Emily*” se representan en la columna llamada “*Dato E*” en la tabla de estimación.

Para poder tener un mejor manejo numérico de la tabla, es necesario que los valores de los datos obtenidos sean estandarizados de acuerdo a la **fórmula 3.1**, en el caso de la amenaza comprenden un rango entre 0 y 1.

### Fórmula 3.1

Indicador positivo (+): Se utiliza, **Valor estandarizado** =  $\frac{E - MIN_E}{MAX_E - MIN_E}$

Donde:

*E*: Valor de cada indicador obtenido del huracán “*Emily*”

*MIN<sub>E</sub>*: Valor mínimo del indicador.

*MAX<sub>E</sub>*: Valor máximo del indicador.

A continuación para el cálculo de los indicadores correspondientes a la Amenaza (*V<sub>A</sub>*), se crean y anexan nuevas columnas a la tabla 3.3, para realizar las operaciones matemáticas correspondientes.

Primeramente se agregan los datos obtenidos de cada indicador presentes en el huracán “Emily” colocándolos en la columna “*Dato E*”, continuando con la estandarización de los indicadores e insertando los resultados en la columna nombrada “*Valor estandarizado (X)*”.

Posteriormente se calculó la columna llamada “*valor del indicador (P\*X)*”, el cual, se obtiene del producto de las columnas nombradas “*peso indicador (p)*” y “*valor estandarizado (X)*”.

Finalmente la columna “*Valor de la componente*” corresponde a la suma del campo “*Valor del indicador*” de cada componente y se multiplica por el campo “*Peso componente*” que comprende cada componente.

Por ejemplo: tenemos que para el componente Viento ( $A_1$ ) las siguientes cifras.

$$(0.38 + 0.17 + 0.12) * 0.35 = \mathbf{0.24}$$

De esa manera la variable *Amenaza ( $V_A$ )* se calcula mediante la suma ponderada de cada “*Valor de la componente*”, con esta última operación se construye la tabla para la estimación de la *Amenaza ( $V_A$ )* (**tabla 4.2**).

**Tabla 4.2** Cálculo de los indicadores correspondiente a la Amenaza  $V_A$  (“Emily”)

Componente	Peso componente	Indicador	Tipo de relación	Peso Indicador (P)	Valor mínimo	Valor máximo	Dato E (Emily)	Valor estandarizado (X)	Valor del indicador (P * X)	Valor de la componente
<b>Viento (A<sub>1</sub>)</b>	0,35	Categoría huracán	(+)	0.5	1	5	4	0.75	0.38	<b>0.24</b>
		Velocidad del viento	(+)	0.3	100	300	215	0.58	0.17	
		Presión central	(+)	0.2	800	1,050	955	0.62	0.12	
<b>Oleaje (A<sub>2</sub>)</b>	0,1	Amplitud	(+)	0.5	0	30	2	0.07	0.03	<b>0.01</b>
		Altura	(+)	0.5	0	25	3	0.12	0.06	
<b>Marea de tormenta (A<sub>3</sub>)</b>	0,25	Marea de tormenta	(+)	1	0.5	20	1.5	0.05	0.05	<b>0.01</b>
<b>Lluvia (A<sub>4</sub>)</b>	0,3	Intensidad	(+)	0.3	1	5	2	0.25	0.08	<b>0.14</b>
		Duración	(+)	0.3	0	24	24	1.00	0.30	
		Altura o profundidad	(+)	0.3	1	500	124.5	0.25	0.07	
		Frecuencia	(+)	0.1	5	500	155	0.30	0.03	
<b>Valor para la amenaza (V<sub>A</sub>)=</b>									<b>0.40</b>	

## II. Estimación de la Vulnerabilidad ( $V_v$ )

En lo referente a la **Vulnerabilidad ( $V_v$ )** tenemos que, los **Residuos Sólidos Urbanos** son elementos desechados por la sociedad, representado un riesgo a la población en términos de impacto sobre el ambiente urbano, los ecosistemas y la salud pública; de tal manera que, la presencia de RSU son causantes de vulnerabilidad porque exponen a la población a riesgos sanitarios y ambientales.

Por tanto, la vulnerabilidad debida a la generación de residuos sólidos urbanos debe estar relativizada en función de la calidad del servicio público de colecta y disposición final de los residuos (Metzger, 1996).

Para dar seguimiento al cumplimiento de metas y objetivos de programas ambientales se usan indicadores, que también han sido empleados para evaluar el desempeño de programas de manejo de residuos, basado en el análisis de los procesos desde la generación de los residuos hasta su disposición final (Sartor, 2008).

Para la construcción y definición de indicadores evaluadores del desempeño de manejo de los **Residuos Sólidos Urbanos** se hizo a partir de criterios, variables y factores descritos en literatura especializada considerados para medir el éxito de programas de manejo de residuos sólidos de acuerdo a los “*Indicadores básicos del desempeño ambiental, Residuos Sólidos*” proporcionados por la SEMARNAT. Y también de los resultados obtenidos por Hernández (2014).

Como resultado del análisis se obtuvieron 5 indicadores para medir los efectos de vulnerabilidad relacionados al manejo de los Residuos Sólidos Urbanos, que cubren los aspectos importantes que se desean medir, como a su vez, la disponibilidad de obtener la información es viable.

Los indicadores construidos para la *Vulnerabilidad ( $V_v$ )*, se distribuyen en una tabla similar a la de la *Amenaza ( $V_A$ )*, con la misma serie de columnas: *tipo de relación, peso, valor mínimo, valor máximo y unidades/definición*; que se muestra a continuación. (**tabla 4.3**).

**Tabla 4.3** Vulnerabilidad (V<sub>v</sub>): Componente e indicadores con sus unidades y/o definición.

Componente	Indicador	Tipo de relación	Peso	Valor mínimo	Valor máximo	Unidades/Definición
RSU	Generación de Residuos sólidos urbanos	(+)	0.2	5	550	Generación en: Ton/día
	Residuos sólidos urbanos per cápita	(+)	0.3	0	6	Producción de residuos por habitante (kg/hab/día)
	Falta de cobertura de recolección	(+)	0.2	0	100	Falta de recolección de RSU en relación a la población (%)
	Disposición final de los RSU	(-)	0.15	1	3	Técnicas para la gestión de RSU: 1: Tiraderos a cielo abierto 2: Rellenos de tierra controlados 3: Relleno sanitario
	Eficiencia de los camiones recolectores	(-)	0.15	0	100	Porcentaje de vehículos recolectores en relación al número de viajes realizados al sitio de disposición final.

**Fuente:** *Elaboración propia con base a Hernández (2014).*

Para establecer los valores mínimos y máximos de algunos indicadores, en cuestión de RSU, se tomó como base de referencia la ciudad de Playa del Carmen ubicada en el Estado de Quintana Roo, porque es una ciudad costera con un gran crecimiento poblacional, es amenazada constantemente por huracanes y presenta problemas en el manejo de RSU. Situaciones que la ciudad de Tulum comparte y proyecta dentro de unos años si no se realiza una planificación y gestión urbana adecuada.

Para cada indicador se construyó una ficha descriptiva con los datos obtenidos de las autoridades encargadas del manejo de los residuos, principalmente, de la Dirección General de Servicios Públicos Municipales de Tulum del año 2015. Con el fin de mostrar la

importancia de cada indicador y sus particularidades para representar las vulnerabilidades del manejo de RSU de la ciudad de Tulum (tabla 4.4).

**Tabla 4.4** Descripción de los indicadores de Vulnerabilidad (V<sub>v</sub>)

**Indicador: Generación de Residuos Sólidos Urbanos.**

**Definición:** Generación de Residuos Sólidos Urbanos en toneladas/día.

**Importancia:** El volumen creciente de los RSU y su manejo inadecuado promueven la proliferación de tiraderos sin control que generan riesgos al ambiente y a la salud humana. Este indicador muestra tanto la demanda de infraestructura, como la magnitud de un riesgo potencial ante el manejo inadecuado de los residuos urbanos.

**Fuente de información:** Dirección General de Servicios Públicos Municipales de Tulum.

En el municipio de Tulum se generan aproximadamente 100 toneladas diarias que incrementa a 120 toneladas en temporada de vacaciones, de las cuales en la ciudad de Tulum se generan 70 toneladas diarias.

**Indicador: Residuos Sólidos Urbanos per cápita.**

**Definición:** Producción de RSU por habitante en kilogramo/habitante/día.

**Importancia:** Se utiliza para dimensionar la cantidad generada de residuos urbanos por habitante. Es un indicador dinámico que va cambiando su valor en el tiempo de acuerdo a situaciones de tipo socioeconómicas.

**Fuente de Información:** Censo de Población y Vivienda 2010, INEGI. Dirección General de Servicios Públicos Municipales de Tulum.

**Cálculo / Fórmula:**

Variables:      -Población total de la ciudad de Tulum  
                              -Cantidad de RSU generados en kilogramos/día

Para estimar la población total en la ciudad de Tulum del 2015 se utilizó una función de crecimiento con los años 2005 y 2010 dando como resultado: 22,478 habitantes.

$$RSU \text{ per cápita} = \frac{\text{Cantidad de RSU generado}}{\text{Población total}}$$

$$RSU \text{ per cápita} = \frac{70,000}{22,478} = 3.11$$

#### Indicador: Falta de cobertura de recolección.

**Definición:** Porcentaje de RSU no recolectados en relación a la población.

**Importancia:** Permite identificar la cantidad de población que no cuenta con un servicio de recolección, a su vez, ayuda a programar acciones para mejoras al servicio de recolecta de RSU.

**Fuente de información:** Censo de Población y Vivienda 2010, INEGI. Dirección General de Servicios Públicos Municipales de Tulum.

#### Cálculo / Fórmula:

Variables:      -Población total de la ciudad de Tulum  
                          -Población que no cuenta con servicio de recolecta

$$\text{Falta de cobertura de recolección} = \frac{\text{Población sin servicio de recolecta}}{\text{Población total}} * 100$$

De acuerdo con el Director de Servicios Públicos, la población que no cuenta con el servicio de recolecta de RSU es aproximadamente el 15% de la población debido a la creación de colonias irregulares que no cuentan con un óptimo acceso vial y no hay suficientes camiones recolectores para cubrir la ruta.

#### Indicador: Disposición final de los RSU.

**Definición:** Técnica empleada para la gestión de los RSU.

**Importancia:** Se refiere al depósito o confinamiento permanente de los RSU en sitios e instalaciones que permitan evitar su presencia en el ambiente y las posibles afectaciones a la salud de la población y de los ecosistemas.

**Fuente de información:** Dirección General de Servicios Públicos Municipales de Tulum.

Para el año 2015 la ciudad de Tulum aún depositaba sus RSU en un tiradero a cielo abierto.

**Indicador: Eficiencia de los camiones recolectores.**

**Definición:** Porcentaje de vehículos recolectores en relación al número de viajes realizados al sitio de disposición final.

**Importancia:** La elección del camión recolector, así como la distribución de rutas para dar un servicio a toda la población son factores importantes para lograr un eficiente manejo de los RSU.

**Fuente de información:** Dirección General de Servicios Públicos Municipales de Tulum.

**Fórmula:**

Variables:      -Total de toneladas recolectadas por día  
                           -Capacidad del camión recolector en toneladas  
                           -Número de viajes al sitio de disposición final

$$Eficiencia = \frac{Total\ de\ residuos\ recolectados}{(Capacidad\ del\ camión\ recolector * Número\ de\ viajes\ al\ sitio\ de\ disposición\ final)} * 100$$

**Cálculo:**

Toneladas recolectadas al día: 70

Flota: 2 camiones de 8 toneladas de capacidad.

Número de viajes al sitio de disposición final: 5 veces al día.

$$Eficiencia = \frac{70\ ton}{(16\ ton * 5)} * 100 = 87.5\ %$$

---

**Fuente:** Elaboración propia con datos de la Dirección General de Servicios Públicos Municipales de Tulum, (2015).

Una vez establecido los indicadores para estimar la *Vulnerabilidad* ( $V_V$ ), al igual como en el cálculo de la *Amenaza* ( $V_A$ ), es necesario que los valores de los indicadores sean estandarizados, en este caso tienen un rango entre 0 a 100.

Algunos de los indicadores presentan **Tipo de relaciones** positivas (+) cuando el valor del indicador exprese una mayor vulnerabilidad, y otras negativas (-) cuando el valor del

indicador implica una menor vulnerabilidad. Por lo que es necesario utilizar las siguientes **Fórmulas 3.2** dependiendo de cada caso:

**Fórmulas 3.2:**

Indicador positivo (+): **Valor estandarizado** =  $\frac{X - MIN_X}{MAX_X - MIN_X} * 100$

Indicador negativo (-): **Valor estandarizado** =  $\frac{MAX_X - X}{MAX_X - MIN_X} * 100$

Donde:

$X$ : Valor de cada indicador de vulnerabilidad

$MIN_X$ : Valor mínimo del indicador.

$MAX_X$ : Valor máximo del indicador.

Continuando con el cálculo, los datos obtenidos de cada indicador son colocándolos en la columna "**Dato**", prosiguiendo con la estandarización de los indicadores e insertando los resultados en la columna nombrada "**Valor estandarizado (X)**".

Posteriormente se calcula la columna llamada "**valor del indicador (P\*X)**", el cual, se obtiene del producto de las columnas nombradas "**peso indicador (p)**" y "**valor estandarizado (X)**".

De esa manera la componente *Vulnerabilidad (V<sub>v</sub>)* se calcula mediante la suma ponderada de cada "**Valor del indicador**", y con esta última operación se construye la tabla para la estimación de la *Vulnerabilidad (V<sub>v</sub>)* (**tabla 4.5**).

**Tabla 4.5** Cálculo de los indicadores correspondientes a la Vulnerabilidad ( $V_v$ ) para la ciudad de Tulum en el año 2015.

Componente	Indicador	Tipo de relación	Peso	Valor mínimo	Valor máximo	Dato (Tulum)	Valor estandarizado (X)	Valor del indicador (P * X)
<b>Residuos Sólidos Urbanos</b>	Generación de residuos sólidos urbanos	(+)	0.3	5	450	70	14.61	4.38
	Residuos sólidos per cápita	(+)	0.2	0	5	3.11	62.20	12.44
	Falta de cobertura de recolección	(-)	0.1	0	100	15	15.00	1.50
	Disposición final de los RSU	(-)	0.2	1	3	1	100	20.00
	Eficiencia de los camiones recolectores	(-)	0.2	0	100	87.5	12.50	2.50
<b>Valor para la Vulnerabilidad (<math>V_v</math>) =</b>								<b>40.82</b>

### III. Estimación de la Capacidad de Adaptación ( $V_{CA}$ )

Las actividades relacionadas con la *resiliencia* tienen objetivos muy diversos, uno de ellos: mejorar los procesos de gestión del riesgo asociado a los fenómenos climáticos extremos proporcionando estrategias específicas de adaptación.

Por medio de indicadores se evalúan las estrategias de adaptación con el fin de medir el éxito de las actividades centradas en aumentar la resiliencia. Estos indicadores son construidos para examinar las actividades relacionadas en el manejo de RSU cuyo efecto intervenga en los bienes materiales, salud humana y conservación ambiental.

Para el cálculo de la *Capacidad de Adaptación* ( $V_{CA}$ ) se consideraron 5 indicadores que buscan evaluar los atributos, las estrategias y manejos de los Residuos Sólidos Urbanos que emplean las autoridades de la ciudad de Tulum para poder sobrevivir, resistir y recuperarse de los daños causados por huracanes (**tabla 4.6**).

**Tabla 4.6** Indicadores de la capacidad de adaptación ( $V_{CA}$ ) con sus unidades y/o definición.

Componente	Indicador	Tipo de relación	Peso	Valor mínimo	Valor máximo	Unidades / Definición
RSU	Recuperación de Residuos sólidos urbanos generados	(+)	0.3	0	70	Recuperación en: Ton/día
	Número de plantas o centros de acopio y reciclaje	(+)	0.1	0	5	Total de centros de acopio y reciclaje
	Cobertura de recolección	(+)	0.1	0	100	Porcentaje de recolección de RSU en relación a la población (%)
	Programa de manejo de RSU ante desastre	(+)	0.2	1	2	Cuentan con un programa o plan de manejo de RSU: 1: NO 2: SI

	Eficiencia del servicio de recolecta	(+)	0.3	0	100	Porcentaje de vehículos en operación en relación al total de vehículos.

**Fuente:** Elaboración propia.

Para cada indicador propuesto que representan la *Capacidad de Adaptación (VCA)* se elaboró una ficha descriptiva que muestra su importancia y su relación con el Manejo de Residuos Sólidos Urbanos de la ciudad de Tulum (**tabla 4.7**).

**Tabla 4.7** Descripción de indicadores de Capacidad de Adaptación (**VCA**).

**Indicador: Recuperación de RSU generados.**

**Definición:** Recuperación de RSU en relación del total que se generaron.

**Importancia:** Se trata de la separación y acopio de los RSU, se priorizan los residuos con mayor valor económico por ejemplo: papel, vidrio, aluminio y plástico. Ayuda a disminuir los costos de operación de los sitios de disposición final debido a la reducción de volumen de residuos, a su vez, crea conciencia ambiental y un impacto positivo en la opinión pública.

**Fuente de información:** Dirección General de Servicios Públicos Municipales de Tulum y Dirección de Ecología Municipal.

De acuerdo al Director de Servicios Públicos municipales la recuperación de RSU que llevan a cabo principalmente hoteles y comercios de la ciudad de Tulum solamente alrededor del 10% es recuperado.

**Indicador: Número de plantas o centros de acopio y reciclaje.**

**Definición:** Total de centros de acopio y reciclaje.

**Importancia:** La función de los centros de reciclaje es recibir cualquier cantidad de residuos recuperables, ya sea a nivel individual o compañía e institución, para ser reintegrados a un nuevo ciclo de vida útil.

**Fuente de información:** Dirección General de Servicios Públicos Municipales de Tulum y Dirección de Ecología Municipal.

En el año 2015 inauguran un Centro de Acopio y Reciclaje de Tulum como parte de los compromisos del presidente municipal para el cuidado del ambiente.

**Indicador: Cobertura de recolección.**

**Definición:** Porcentaje de recolección de RSU en relación a la población.

**Importancia:** Permite identificar la cantidad de población que cuenta con un servicio de recolección, a su vez, ayuda a programar mejoras al servicio de recolecta de RSU.

**Fuente de información:** Censo de Población y Vivienda 2010, INEGI. Dirección General de Servicios Públicos Municipales de Tulum.

**Cálculo / Fórmula:**

Variables:        -Población total de la ciudad de Tulum  
                          -Población con servicio de recolecta

$$\text{Cobertura de recolección} = \frac{\text{Población con servicio de recolecta}}{\text{Población total}} * 100$$

De acuerdo con el Director de Servicios Públicos la población con la que cuenta servicio de recolecta de RSU es aproximadamente el 85%

**Indicador: Programas de manejo de RSU ante desastres.**

**Definición:** Si cuentan con un programa de manejo de RSU en situaciones de desastre.

**Importancia:** Establece las estrategias y lineamientos para la gestión de los RSU en situaciones de riesgo y desastre con el fin de reducir el impacto ambiental, social y económico producido por la generación y manejo inadecuado de RSU.

**Fuente de información:** Dirección General de Servicios Públicos Municipales de Tulum y Ayuntamiento del municipio de Tulum.

El Municipio de Tulum no aplica un Programa de Manejo de los RSU en situaciones normales y tampoco ante la presencia de huracanes.

**Indicador: Eficiencia de servicio de recolecta.**

**Definición:** Porcentaje de vehículos en operación en relación al total de vehículos.

**Importancia:** La disponibilidad de los vehículos recolectores de RSU son un pilar importante para el eficiente servicio de recolecta, porque al verse disminuido el número habitual de camiones el servicio de recolecta se ve afectado al no cumplir con su recolecta diaria.

**Fuente de información:** Dirección General de Servicios Públicos Municipales de Tulum.

El número de vehículos recolectores que se utilizan para cubrir la ciudad de Tulum son 3, pero solamente se encuentran activos 2 por fallas mecánicas de otro vehículo.

---

**Fuente:** Elaboración propia con datos de la Dirección General de Servicios Públicos Municipales de Tulum, (2015).

Una vez definidos los indicadores para estimar la *Capacidad de Adaptación (VCA)*, al igual que los dos componentes anteriores, es necesario que los valores de los indicadores sean estandarizados, en este caso tienen un rango entre 0 a 100.

Los indicadores referentes a la *Capacidad de Adaptación (VCA)* presentan **Tipo de relaciones** positivas (+) porque atribuyen resultados positivos hacia un buen manejo de los RSU, lo que permite un aumento en la resiliencia. Se utilizar la **Fórmula 3.1**, que se desarrollan a continuación:

**Fórmula:**

$$\text{Indicador positivo (+): } \quad \text{Valor estandarizado} = \frac{X - MIN_X}{MAX_X - MIN_X} * 100$$

Donde:

$X$ : Valor de cada indicador de vulnerabilidad

$MIN_X$ : Valor mínimo del indicador.

$MAX_X$ : Valor máximo del indicador.

Continuando con el cálculo, los datos obtenidos de cada indicador son colocándolos en la columna "**Dato**", prosiguiendo con la estandarización de los indicadores e insertando los resultados en la columna nombrada "**Valor estandarizado (X)**".

Posteriormente se calcula la columna llamada "**valor del indicador (P\*X)**", el cual, se obtiene del producto de las columnas nombradas "**peso indicador (p)**" y "**valor estandarizado (X)**".

De esa manera la variable *Capacidad de Adaptación (VCA)* se calcula mediante la suma ponderada de cada "**Valor del indicador**", y con esta última operación se construye la tabla para la estimación de la *Capacidad de Adaptación (VCA)* (**tabla 4.8**).

**Tabla 4.8** Cálculo correspondiente a la Capacidad de Adaptación ( $V_{CA}$ )

Componente	Indicador	Tipo de relación	Peso	Valor mínimo	Valor máximo	Dato (Tulum)	Valor estandarizado (X)	Valor del indicador (P * X)
<b>Residuos Sólidos Urbanos</b>	Recuperación de RSU generados	(+)	0.3	0	70	8	11.43	3.43
	Número de plantas o centros de acopio y reciclaje	(+)	0.1	0	6	1	16.67	1.67
	Cobertura de recolección	(+)	0.1	0	100	85	85.00	8.5
	Programa de manejo de RSU ante desastres	(+)	0.3	1	2	1	0.00	0.00
	Eficiencia del servicio de recolecta	(+)	0.2	0	3	2	66.67	13.33
<b>Valor para la Capacidad de Adaptación (<math>V_{CA}</math>) =</b>								<b>26.93</b>

Una vez obtenidos los resultados de las dimensiones de *Amenaza* ( $V_A$ ), *Vulnerabilidad* ( $V_V$ ) y *Capacidad de Adaptación* ( $V_{CA}$ ) de la ciudad de Tulum (**Tablas 4.2, 4.5 y 4.8**), se procede a calcular el grado de resiliencia en relación al manejo de Residuos Sólidos Urbanos sustituyendo los valores en la ecuación.

Siguiendo la metodología ejecutada por Hernández (2014), se debe realizar una operación para la dimensión de la *Amenaza* ( $V_A$ ), esto corresponde a manejar un **factor de impacto =  $(1 + V_A)$**  como un coeficiente de potencialización de *Amenaza* ( $V_A$ ).

Entonces, tenemos que en la ciudad de Tulum:

$$\text{Amenaza } (V_A) = 1 + 0.40 = \mathbf{1.40}$$

$$\text{Vulnerabilidad } (V_V) = \mathbf{40.82}$$

$$\text{Capacidad de Adaptación } (V_{CA}) = \mathbf{26.93}$$

Sustituyendo:

$$\text{Grado de Resiliencia} = (\text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad}) - \text{Capacidad de Adaptación}$$

$$\text{Grado de Resiliencia} = (1.40 * 40.82) - 26.93$$

$$\text{Grado de Resiliencia} = 57.15 - 26.93 = \mathbf{30.22 \%}$$

Como medida de comparación, y por ser parte de la zona de estudio del proyecto, se aplicó la metodología anterior también a la ciudad de Chetumal, tomando los valores de indicadores para la *Amenaza* ( $V_A$ ) presentes en el huracán “Dean”, que se formó en el año 2007 y causó daños a la capital del Estado de Quintana Roo. Las tablas de estimación para la *Amenaza* ( $V_A$ ), *Vulnerabilidad* ( $V_V$ ) y *Capacidad de Adaptación* ( $V_{CA}$ ) se encuentran en el **Anexo 1**.

Mientras tanto, los resultados obtenidos de las tablas de estimación se sustituyeron en la ecuación del cálculo de grado de resiliencia en relación al manejo de Residuos Sólidos Urbanos, como se detalla a continuación:

Entonces, tenemos que en la ciudad de Chetumal:

$$\text{Amenaza } (V_A) = 1 + 0.50 = \mathbf{1.50}$$

$$\text{Vulnerabilidad } (V_V) = \mathbf{42.24}$$

$$\text{Capacidad de Adaptación } (V_{CA}) = \mathbf{32.50}$$

Sustituyendo:

$$\text{Grado de Resiliencia} = (\text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad}) - \text{Capacidad de Adaptación}$$

$$\text{Grado de Resiliencia} = (1.50 * 42.24) - 32.50$$

$$\text{Grado de Resiliencia} = 63.36 - 32.50 = \mathbf{30.86 \%}$$

Con la finalidad de representar los resultados categóricamente, se empleó una escala cromática, donde el índice se clasifica en cinco rangos de valores porcentuales para el **Grado de Resiliencia** en relación al manejo de los **RSU**, (**tabla 4.9**).

**Tabla 4.9** Rangos de clasificación del Grado de Resiliencia.

Clasificación	Rango %
Muy Alto	80 - 100
Alto	60 - 80
Medio	40 - 60
Bajo	20 - 40
Muy bajo	0 - 20

## CAPITULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la obtención e interpretación de datos, en este último de capítulo se desarrollan las conclusiones y recomendaciones sobre los resultados obtenidos en la problemática del manejo de los RSU y la aplicación de la metodología sugerida.

Por otra parte, de las diferentes condiciones observadas en el sistemas de recolecta de residuos sólidos urbanos se comentan una serie de recomendaciones para solucionar los inconvenientes actuales y aumentar la resiliencia de la ciudad de Tulum en el manejo de los RSU ante huracanes.

### 4.1 – Conclusiones

Este estudio manifestó que la ciudad de Tulum y Chetumal presentan un **bajo** grado de resiliencia en el manejo de RSU, Tulum refleja un 30.22% mientras que Chetumal un 30.86%, si bien, ambas ciudades tienen características diferentes en cuanto al manejo de RSU ante huracanes, exhiben problemas similares, principalmente, que no cuentan con un programa de manejo de RSU agregando que generan gran cantidad de residuos y el sitio de disposición final no es el adecuado para el tratamiento.

Para entender mejor lo anterior, en la componente de *Vulnerabilidad (V<sub>v</sub>)*, Tulum genera 70 toneladas diarias de RSU produciendo por habitante 3.11 kg/día que se disponen en un tiradero a cielo abierto, mientras que en Chetumal se generan 264 toneladas diarias de RSU produciendo por habitante 1.6 kg/día colocándolos en un relleno de tierra controlada. Por una parte se genera menos residuos con una mayor producción *per cápita* y por otra se generan mayor residuos con una menor *per cápita*, estas condiciones propiciaron que los resultados de vulnerabilidad en ambas ciudades sean similares, Tulum arrojó el valor de 40.82% y Chetumal el valor de 42.24%.

Se observa que a pesar de que Chetumal tiene más habitantes, su producción *per cápita* de residuos no es alta en comparación con la de Tulum, se atribuye a la naturaleza turística que posee la ciudad de Tulum, los restaurantes, hoteles y actividades asociadas al turismo propicia a sus pobladores consumir productos que son fácilmente desechables y no amigables al ambiente, generando cantidades de basura difíciles de tratar en el sitio de disposición final.

En cuanto al componente de la *Amenaza* ( $V_A$ ), para que un huracán se considere como amenaza depende del grado de ocurrencia en una comunidad y para que se convierta en desastre dependerá del nivel de vulnerabilidad que presente la comunidad asociado a la magnitud del fenómeno hidrometeorológico. En este sentido, el nivel de *Amenaza* ( $V_A$ ) provocado por el huracán “*Emily*” en la ciudad de Tulum es de 1.40 debido a que desarrollo la categoría 4 con vientos de 215 km/h y lluvias de 124.5 mm. Por su parte, la ciudad de Chetumal alcanzó el 1.50 de amenaza provocado por el huracán “*Dean*” exponiendo la categoría 5 con vientos de 260 km/h y lluvias de 168.9 mm. Como efecto de la ubicación de geográfica de estas dos ciudades se encuentran en alerta constante durante la temporada de huracanes, época del año en donde se asocian también el aumento de las precipitaciones, por eso la importancia de establecer los huracanes como amenazas con riesgo a desastre.

Por su parte, la componente de *Capacidad de Adaptación* ( $V_{CA}$ ) ayuda a reducir el riesgo a desastre mediante estrategias y manejos para resistir y recuperarse a cualquier daño causado. De esa manera, Tulum presentó un escaso número de centros de reciclaje y la disposición de 2 camiones recolectores que permite cubrir el 85% de la ciudad, porcentaje que va disminuyendo por el crecimiento de la población en asentamientos irregulares que no favorecen al sistema de recolecta de residuos de la Tulum. En cuanto a Chetumal recupera residuos en 3 centros de reciclaje y distribuye 6 camiones recolectores activos cubriendo el 95% de la ciudad, situación que ocasiona el incremento en la *Capacidad de Adaptación* para Chetumal con el 32.5 % en relación al 26.93% de Tulum.

Difícilmente la problemática del manejo de RSU puede ser corregida, no importa si la ciudad es grande, turística, costera, antigua, y con poca o mucha población, siempre se va generar basura. Tal es el caso de estas dos ciudades, que a pesar de contar con rasgos diferentes ambas reflejan un ineficiente sistema de manejo de RSU. Lo que hay que tomar en cuenta para esta situación son las acciones y herramientas que se tienen que utilizar para prevenir que se originen otro tipo de conflictos relacionas a los RSU.

En el caso de la ciudad de Tulum se encontró que no ofrece un servicio de recolecta adecuado y eficiente, agregando que se ve afectado por factores como el crecimiento acelerado del turismo provocando conflictos entre las autoridades y los habitantes por la falta de servicio en unas zonas y la preferencia a otros sectores de la sociedad. Considerada

Tulum una ciudad costera con importancia ecológica, contar con un área natural protegida, ser catalogada como Pueblo Mágico y por su condición de cabecera municipal ha dado más énfasis a la construcción de infraestructura orientada al turismo, dejando de lado otros aspectos de la comunidad como la seguridad, salud y conservación del ambiente.

Por lo anterior, la ciudad de Tulum exhibe una escasa organización en materia de prevención a eventos climatológicos extremos, en este caso huracanes, que puedan llegar a afectar el manejo de RSU por medio de inundaciones y fuertes vientos poniendo en riesgo la salud de la población y zonas de importancia ecológica.

Para poder lograr una ciudad más resiliente en materia de manejo de RSU será necesario relacionar los componentes anteriores, de tal manera, que la ciudad de Tulum conozca sus vulnerabilidades ante la amenaza de huracanes y las afronte con medidas de adaptación mediante el reforzamiento de la infraestructura del servicio, la implementación y cumplimiento de leyes y reglamentos asociados a lo RSU ejerciendo una atención ininterrumpida y responsable tanto de las autoridades involucradas, como de la población en general.

Por último, con esta metodología se percibe la importancia de la prevención de riesgo a desastres, desde un enfoque de resiliencia. Se seleccionaron ciertos indicadores de vulnerabilidad y capacidad de adaptación con el propósito de describir en unos primeros pasos la situación de la gestión y manejo de los RSU ante la amenaza del impacto de huracanes, pero el desarrollo de otros indicadores complementarios podría profundizar y arrojar resultados más detallados.

#### **4.2 – Recomendaciones**

Por medio de la Teoría de Cambio, que se describe como el proceso de un cambio deseado a través de hacer explícito la manera en que pensamos un problema, sus causas estructurales, los cambios a largo plazo que esperamos, y qué debe ocurrir para que se produzca ese cambio (FIU, 2015). Es decir, representa un amplio análisis sobre las actividades que permitirán o impedirán alcanzar un objetivo deseado.

Esta metodología, “Teoría de Cambio”, toma como objetivo principal establecer acciones y estrategias específicas durante un tiempo determinado que contribuyen a cumplir con el

objetivo establecido. Por lo tanto, permite diseñar, ejecutar y evaluar aquellas condiciones, relaciones y resultados que son obligatorios que ocurran para alcanzar el cambio deseado.

Siguiendo la Teoría de Cambio se construye una propuesta enfocada en un Programa de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos ante desastres, específicamente huracanes, aportando consigo varios beneficios desde lo ambiental hasta lo económico; brindará empleos a la población y reducirá la contaminación de suelos, cuerpos de agua y del aire, a su vez mejorará el aspecto visual de la ciudad.

Dicho Programa de Manejo de Residuos Sólidos debe incluir acciones y estrategias tomando en cuenta las características específicas del área, en este caso la ciudad de Tulum; se debe conocer el tipo y la cantidad de RSU que se generan, ubicación de zonas que generan más residuos, la dinámica de las calles para poder elaborar rutas de recolección, entre otros. La elaboración de un programa de tal magnitud implica una serie de acciones concretas, algunas de las cuales deberían ser:

- Impulsar una campaña de educación ambiental (población, escuelas, hoteles, restaurantes, etc.) que sensibilice a la comunidad acerca de reducir la generación de RSU a través del consumo de productos que no sean grandes generadores de desechos.
- Cumplir con las multas y sanciones para los infractores que depositen sus residuos en vías de comunicación públicas (carreteras, calles y brechas) o tiraderos no controlados, aplicando lo que indique las leyes municipales al respecto.
- Habilitar contenedores apropiados para la captación de los RSU, tanto los reciclables y los que no sean reciclables, con el fin de mejorar el almacenamiento y recolección del departamento de Servicios Públicos Municipales de la ciudad de Tulum, tomando en cuenta las condiciones sociales y económicas de la ciudad.
- Contar con un método de recolección que sea eficiente, y a su vez, práctico con un costo económico dentro de las posibilidades financieras del municipio Tulum.
- Realizar de manera adecuada y frecuente el servicio mecánico de los camiones recolectores para ampliar el tiempo de utilidad y operatividad.

- Elaborar rutas de recolección que identifiquen zonas inundables y de difícil acceso, para el conocimiento de los operadores y en algún momento puedan tomar decisiones de rutas alternas en una situación con esas características.
- Contar con el equipamiento correcto para que el personal ejecute el trabajo y, de esa manera, evitar cualquier tipo de accidente.
- Capacitar adecuadamente al personal que realiza la labor de recolección de los RSU en cuanto al aprovechamiento de distintos residuos reciclables, con los que se pueden encontrar durante los recorridos de trabajo, permitiendo obtener un recurso monetario adicional.
- Dentro del sitio de disposición final (relleno sanitario) disponer de una zona de emergencia para el tratamiento de los RSU que se generen a consecuencia de un impacto por huracán.

Por otra parte, se deben realizar otros trabajos para complementar el Programa de Manejo para cubrir otras secciones que pudieran afectar el servicio de recolecta, estas tareas pudieran ser:

❖ Habilitación de centros de acopio y reciclado en la ciudad de Tulum, que cumpla con los reglamentos establecidos ayudaría a contribuir a la conservación del ambiente y al ahorro económico para el ayuntamiento en cuestión de gastos de operación y mantenimiento de los camiones recolectores y del sitio de disposición final.

Con la apertura de un centro de acopio y reciclado se beneficiará a la sociedad con demanda de empleos y la participación de la población en la recuperación de desechos como: papel, plástico, vidrio, cartón que son desechos que están presentes en el entorno diario.

❖ Saneamiento del área que funcionaba como basurero a cielo abierto de la ciudad, el cual se puede aprovechar como una zona de emergencia para el tratamiento de del RSU en caso de desastre.

Después del paso de un huracán los residuos aumentan al incluirse desechos de otro tipo como material de construcción destruida, árboles caídos y basura desenterrada, entre otros. Por eso es necesario construir áreas de emergencia para disponer de los RSU

adicionales que se generen a consecuencia de un impacto por huracán mediante la edificación de celdas de tratamiento complementarias en caso de situaciones de desastre.

- ❖ Implementar refugios temporales con un área específica de almacenamiento de residuos urbanos, que los mantenga fuera de contacto con organismos vectores, y también del agua porque al mezclarse con los líquidos contaminantes de la basura los puede extender sobre el terreno y llegar hasta las aguas subterráneas contaminándolas en el proceso.

- ❖ Efectuar campañas de limpieza de playas para evitar la acumulación de los residuos en las orillas de las playas, para impedir que los fuertes vientos y oleaje que produce un huracán los disperse.

- ❖ Realizar acciones que propicien conciencia positiva acerca del problema del manejo de RSU y la importancia de almacenar separadamente la materia orgánica, papel, vidrio, plástico, etc. principalmente en escuelas, comercios e instalaciones municipales.

Desarrollar educación ambiental para el manejo de RSU implica la realización de procesos y experiencias de aprendizaje que provoque el cambio de conductas y actitudes en la sociedad hacia un manejo sustentable, previniendo su generación, facilitando su aprovechamiento y disposición final ambientalmente adecuada.

- ❖ Impulsar estudios enfocados a las problemáticas ambientales con respecto a los RSU, desde la generación hasta todo el sistema de tratamiento y disposición final con el fin de minimizar costos y optimizar el servicio de recolecta de los residuos.

Estos estudios servirán como base para establecer reglamentos adecuados y bien definidos a fin de cumplir con aspectos específicos de almacenamiento, recolección y transporte de los RSU. La evaluación de la información disponible permite avanzar en el conocimiento y consolida la toma de decisiones de manera lógica y eficaz, optimizando las inversiones para reducir los riesgos.

- ❖ Efectuar un Plan de Desarrollo Urbano que no permita construcciones de asentamientos humanos en zonas inundables o de difícil acceso como medida preventiva para apoyar al sistema de recolecta ante un desastre.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alonzo, E. y Paz, C. (2014). “Generación y Manejo de Residuos Sólidos en Áreas Naturales Protegidas y Zonas Costeras: Caso de Isla Holbox, Quintana Roo”. *Sociedad y Ambiente*, Vol. 1. Pág. 92 – 114. México.
- Altieri, M. & Inés, C. (2013). “Agroecología y Resiliencia al Cambio Climático: Principios y Consideraciones Metodológicas”. *Agroecología*. Vol. 8. No. 1. Pág. 7-20.
- Arroyo, López, Segrado, Serrano y Frausto (2015), “Diferencias socio-territoriales en Tulum: una ciudad organizada a partir del turismo masivo litoral”. *Revista de Cultura e Turismo*. Año 09, n° 02. Pág. 1-28. Brasil.
- Castillo, L. y Velázquez, D. (2015). “Sistemas complejos adaptativos, sistemas socio-ecológicos y resiliencia. Quivera”. Vol. 17. Pág. 11-32. Toluca, México.
- Castillejos, A. (2010). “Desarrollo de un Plan de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos para el municipio de El Espinal”, Oaxaca. Tesis. México.
- CENAPRED (2006), “Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la república mexicana en el año 2005”. Área de estudios económicos y sociales. México
- CENAPRA (2012). “Prevención de accidentes en caso de desastres, guía para personal de salud”. México.
- CEPIS/OPS (1993). “Guía para la definición y clasificación de residuos peligrosos”. Anexo 2. Definiciones utilizadas en algunos países seleccionados y en algunas instituciones internacionales.
- Colín, Chimal e Ihl (2015). “Fenómenos hidrometeorológicos extremos en ciudades turísticas del norte de Quintana Roo”. *Teoría y Praxis*. Número especial. Pág. 84-98. Quintana Roo. México.
- CONANP (2007). “Parque Nacional Tulum”. Programa de Conservación y Manejo. México.

Fernández, J. & Morán, N. (2012). “Cultivar la resiliencia: los aportes de la agricultura urbana a las ciudades en transición”. PAPELES de relaciones ecosociales y cambio global. No. 119. Pág. 131-143. Madrid. España.

FIU (2015). “Curso de Medios de Vida en la Reducción de Riesgos de Desastre”. Florida International University.

Franklin, J. y Brown, D. (2006). “Tropical Cyclone Report, Hurricane Emily”. National Hurricane Center. Florida. Estados Unidos.

Henaó, A. (2013). “Propuesta metodológica de medición de la resiliencia agroecológica en sistemas socio-ecológicos: un estudio de caso en los Andes colombianos”. Agroecología. Vol. 8. No. 1. Pág. 85-91. Universidad de Murcia.

Hernández, M. (2014). “Evaluación del riesgo y vulnerabilidad ante la amenaza de huracanes en zonas costeras de caribe mexicano: Chetumal y Mahahual”. Tesis Doctoral. Universidad de Quintana Roo. México.

Hernández y Cirilo (2005). “Resumen del Huracán Emily del Océano Atlántico”. Comisión Nacional del Agua. Unidad del Servicio Meteorológico Nacional. México.

INEGI (2010). Censo de Población y Vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.

Gutiérrez, V. Ramírez, I. Encarnación, G. y Medina, A. (2012). “Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos”. Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental. México

Jankilevich, S. (2003). “Las cumbres mundiales sobre el ambiente. Estocolmo, Río y Johannesburgo. 30 años de historia ambiental”. Área de Estudios Ambientales y Urbanos, Universidad de Belgrano.

Joaquín, S. y Figueroa A. (2014). “Factores que determinan la resiliencia socio-ecológica para la alta montaña andina”. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Vol.13. No.25. Medellín, Colombia.

LPGGIR (2003). “Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos”. Diario Oficial de la Federación. México.

LGEEPA (1988). “Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente”. Diario Oficial de la Federación. México.

Maskrey, A. (1993). “Los Desastres No Son Naturales”. LA RED. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.

Metzger, P. y Robert, J. (2013). “Elementos de reflexión sobre resiliencia urbana: usos criticables y aportes potenciales”. Territorios, 28. Pág. 21-40. Bogotá, Colombia.

Molin, H. (2012). “Cómo desarrollar ciudades más resilientes, un manual para líderes de los gobiernos locales”. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres. Ginebra.

NOM-083-SEMARNAT-2003. “Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial”. Diario Oficial de la Federación. México.

OPS (2003). “Gestión de Residuos Sólidos en Situación de Desastre”. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

Ortiz, A. y Rivero, G. (2007). “Desmitificando la Teoría del Cambio”. Pact, Bulding Capacity Worlwide.

Puma, A. & Armijo. C. (2011). “Instrumento de Evaluación para los Programas de Manejo de Residuos Domiciliarios”. Investigación ambiental, ciencia y política pública. Vol. 3. No. 1. Pág. 18-29. México.

Rosengaus, Jiménez y Vázquez (2002). “Atlas climatológico de ciclones tropicales en México”. Centro Nacional de Prevención de Desastres. México.

SEDATU (2015). “Atlas de riesgos naturales del municipio de Tulum, Quintana Roo”. Secretaria de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. Quintana Roo. México.

SEDATU (2016). “Guía de resiliencia urbana”. Secretaria de Gobernación. México.

SEDETUR (2015). Indicadores Turísticos. Secretaria de Turismo del Estado de Quintana Roo. México.

SEDESOL (2001). “Manual técnico – administrativo para el servicio de limpia municipal”. México.

Téllez, López y Romo (2013). “Prontuario de migración interna”. Consejo Nacional de Población. México.

Twigg, J. (2007). “Características de una Comunidad Resiliente ante los Desastres”. Disaster Risk Reduction Interagency Coordination Group. Reino Unido.

Wehenpohl, G. y Hernández, C. (2006). “Guía para la elaboración de programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos”. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ). México.

**Anexo 1. Tablas de estimación de las variables *Amenaza (V<sub>A</sub>)*, *Vulnerabilidad (V<sub>V</sub>)* y *Capacidad de Adaptación (V<sub>CA</sub>)* para la ciudad de Chetumal.**

**Tabla A1** Cálculo de los indicadores correspondiente a la Amenaza V<sub>A</sub> (“Dean”)

Componente	Peso componente	Indicador	Tipo de relación	Peso Indicador (P)	Valor mínimo	Valor máximo	Dato E (Dean)	Valor estandarizado (X)	Valor del indicador (P * X)	Valor de la componente
<b>Viento (A<sub>1</sub>)</b>	0.35	Categoría huracán	(+)	0.5	1	5	5	1.00	0.50	<b>0.31</b>
		Velocidad del viento	(+)	0.3	100	300	260	0.80	0.24	
		Presión central	(+)	0.2	800	1,050	992	0.77	0.15	
<b>Oleaje (A<sub>2</sub>)</b>	0.1	Amplitud	(+)	0.5	0	30	1.5	0.05	0.03	<b>0.01</b>
		Altura	(+)	0.5	0	25	4	0.16	0.08	
<b>Marea de tormenta (A<sub>3</sub>)</b>	0.25	Marea de tormenta	(+)	1	0.5	20	2.44	0.10	0.10	<b>0.02</b>
<b>Lluvia (A<sub>4</sub>)</b>	0.3	Intensidad	(+)	0.3	1	5	2	0.25	0.08	<b>0.15</b>
		Duración	(+)	0.3	0	24	24	1.00	0.30	
		Altura o profundidad	(+)	0.3	1	500	168.9	0.35	0.10	
		Frecuencia	(+)	0.1	5	500	155	0.30	0.03	
									<b>Valor para la amenaza (V<sub>A</sub>)=</b>	<b>0.50</b>

**Tabla A2** Cálculo de los indicadores correspondiente a la Vulnerabilidad ( $V_v$ ) para la ciudad de Chetumal en el año 2015.

Componente	Indicador	Tipo de relación	Peso	Valor mínimo	Valor máximo	Dato (Chetumal)	Valor estandarizado (X)	Valor del indicador (P * X)
<b>Residuos Sólidos Urbanos</b>	Generación de residuos sólidos urbanos	(+)	0.3	5	450	264	58.20	17.46
	Residuos sólidos per cápita	(+)	0.2	0	5	1.6	32.00	6.40
	Falta de cobertura de recolección	(-)	0.1	0	100	5	5.00	0.50
	Disposición final de los RSU	(-)	0.2	1	3	2	50.00	10.00
	Eficiencia de los camiones recolectores	(-)	0.2	0	100	60.6	39.40	7.88
<b>Valor para la Vulnerabilidad (<math>V_v</math>) =</b>								<b>42.24</b>

**Tabla A3** Cálculo correspondiente a la Capacidad de Adaptación ( $V_{CA}$ ) de la ciudad de Chetumal

Componente	Indicador	Tipo de relación	Peso	Valor mínimo	Valor máximo	Dato (Chetumal)	Valor estandarizado (X)	Valor del indicador (P * X)
<b>Residuos Sólidos Urbanos</b>	Recuperación de RSU generados	(+)	0.3	0	264	52.8	20.00	6.00
	Número de plantas o centros de acopio y reciclaje	(+)	0.1	0	6	3	50.00	5.00
	Cobertura de recolección	(+)	0.1	0	100	95	95.00	9.50
	Programa de manejo de RSU ante desastres	(+)	0.3	1	2	1	0.00	0.00
	Eficiencia del servicio de recolecta	(+)	0.2	0	10	6	60.00	12.00
<b>Valor para la Capacidad de Respuesta (<math>V_{CR}</math>) =</b>								<b>32.50</b>