ATLAS DE RIESGOS NATURALES DEL MUNICIPIO DE TULUM QUINTANA ROO 2015

SEDATU

SECRETARÍA DE DESARROLLO AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS



ENERO DEL 2015

MUNICIPIO DE TULUM QUINTANA ROO.

ESTE PROGRAMA ES DE CARÁCTER PÚBLICO, NO ES PATROCINADO NI PROMOVIDO POR PARTIDO POLÍTICO ALGUNO Y SUS RECURSOS PROVIENEN DE LOS IMPUESTOS QUE PAGAN TODOS LOS CONTRIBUYENTES. ESTA PROHIBIDO EL USO DE ESTE PROGRAMA CON FINES POLÍTICOS, ELECTORALES, DE LUCRO Y OTROS DISTINTOS A LOS ESTABLECIDOS. QUIEN HAGA USO INDEBIDO DE LOS RECURSOS DE ESTE PROGRAMA DEBERÁ SER DENUNCIADO Y SANCIONADO DE ACUERDO CON LA LEY APLICABLE Y ANTE LA AUTORIDAD COMPETENTE.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES 5
1.1. INTRODUCCIÓN 5
1.2 ANTECEDENTES (ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE PELIGROS O RIESGOS) 6
1.3 OBJETIVO 10
CAPÍTULO 2. DETERMINACIÓN DE NIVELES DE ANÁLISIS Y ESCALAS DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA 10
2.1 DETERMINACIÓN DE NIVELES DE ANÁLISIS Y ESCALAS DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA 10
CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL MEDIO NATURAL 16
3.1. FISIOGRAFÍA 16
3.2. GEOMORFOLOGÍA. 20
3.3. GEOLOGÍA. 22
3.4. EDAFOLOGÍA 25
3.5. HIDROLOGÍA 28
3.6. CLIMA 31
3.7. USO DE SUELO Y VEGETACIÓN 39
3.8. ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS 43
3.9. SITIO RAMSAR. 46
CAPÍTULO 4. CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS SOCIALES, ECONÓMICOS Y DEMOGRÁFICOS 48
4.1. ELEMENTOS DEMOGRÁFICOS: DINÁMICA DEMOGRÁFICA, PROYECCIÓN DE POBLACIÓN AL 2030, DISTRIBUCIÓN DE POBLACIÓN, DENSIDAD DE POBLACIÓN PIRÁMIDE DE EDADES, MORTALIDAD. 48
4.2. CARACTERÍSTICAS SOCIALES 59
4.3 PRINCIPALES ACTIVIDADES ECONÓMICAS EN LA ZONA. 72
4.4 CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA 72
4.5 HACINAMIENTO 73
4.6. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE VULNERABILIDAD SOCIAL DE ACUERDO A LOS INDICADORES DE CENAPRED. 75
- SALUD. 76
- EDUCACIÓN 77
- VIVIENDA. 78

- EMPLEO E INGRESOS..... 79
- POBLACIÓN..... 80

CAPITULO 5. NIVELES DE ANÁLISIS DE LOS RIESGOS NATURALES PARA EL ATLAS DE RIESGO DEL MUNICIPIO DE TULUM..... 84

5.1 MÉTODOS, EVIDENCIAS E INDICADORES DE VULNERABILIDAD ANTE FENÓMENOS NATURALES. 84

5.2 MÉTODOS, EVIDENCIAS E INDICADORES DE VULNERABILIDAD ANTE FENÓMENOS GEOLÓGICOS..... 85

5.2.1 VULCANISMO..... 85

5.2.2 SISMOS. 86

5.2.3 TSUNAMIS O MAREMOTOS. 91

5.2.4 DESLIZAMIENTOS. 98

5.2.5 FLUJOS..... 100

5.2.6 DERRUMBES (CAÍDOS)..... 100

5.2.7. CREEP o REPTACIÓN. 105

5.2.8. AVALANCHA DE DETRITOS..... 105

5.2.9. HUNDIMIENTOS. 105

5.2.10. FALLAS Y FRACTURAS..... 110

5.2.11. EROSIÓN HIDRICA. 114

5.2.12. EROSIÓN EÓLICA..... 114

5.2.13. EROSIÓN MARINA..... 115

5.2.14. EROSIÓN KÁRSTICA..... 123

5.2.15. AGRIETAMIENTO. 128

5.2.16. SUBSIDENCIA..... 129

5.3. MÉTODOS, EVIDENCIAS E INDICADORES DE VULNERABILIDAD ANTE FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS. 130

5.3.1. TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS EXTREMAS. 130

5.3.2. SEQUÍAS. 134

5.3.3. HELADAS..... 138

5.3.4. TORMENTAS DE GRANIZO..... 139

5.3.5. TORMENTAS DE NIEVE. 140

5.3.6. HURACANES. 141

5.3.7. CICLONES TROPICALES. 153
5.3.8. TORNADOS 158
5.3.9. TORMENTAS ELÉCTRICAS 159
Nacimiento 160
Madurez 160
Disipación 160
5.3.10. LLUVIAS EXTREMAS. 163
5.3.11. INUNDACIONES. 165
5.3.12. VIENTOS. 167
CAPÍTULO 6. IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS, PELIGROS, VULNERABILIDAD Y RIESGOS ANTE FENÓMENOS PERTURBADORES DE ORIGEN NATURAL 172
6.1. PROCESOS PERTURBADORES Y SU RANGO DE PELIGROSIDAD DENTRO DEL MUNICIPIO DE TULUM 185
6.2. CAUSALIDAD DEL PELIGRO NATURAL EN EL MUNICIPIO DE TULUM, QUINTANA ROO. 189
7. RECOMENDACIONES GENERALES. 200
“GLOSARIO” 200
ÍNDICE DE TABLAS 208
INDICE DE MAPAS 210
INDICE DE IMÁGENES. 211
=ANEXOS= 212

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

1.1. INTRODUCCIÓN

El presente documento se muestra las zonas y sitios que por su desarrollo presentan condiciones naturales específicas que pueden representar estadios de Vulnerabilidad hacia la población o a los elementos naturales que conforman el entorno del Municipio de Tulum en el Estado de Quintana Roo. La elaboración de un material principalmente cartográfico requirió la combinación e interpretación de diversos materiales cartográficos mediante los cuales fue posible reconocer aquellos rasgos de evidentes procesos que produjeran condiciones de riesgo o que revelaran áreas hasta donde se hubiesen presentado afectaciones de calamidades pasadas. Esta misma información permitirá a las autoridades municipales en conjunto con el personal de protección civil, verter los lineamientos básicos para proponer políticas públicas encaminadas a disminuir los impactos, tanto a la población, como a la infraestructura existente en el municipio.

Este Atlas, proporciona la información necesaria para establecer planes o medidas preventivas que garanticen la seguridad de la población o de la infraestructura en una situación de emergencia. Para la realización del presente Atlas, se tomaron en cuenta las Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgos, de la SEDATU, así mismo, se consideraron los preceptos metodológicos aplicados en ocasiones anteriores para evaluar situaciones de riesgo y definir procedimientos para mitigarlos.

La metodología aplicada en la realización del presente Atlas, permitió complementar el marco conceptual propuesto por la SEDATU, con lo que se obtuvo una mejor concepción sobre todo de los procesos o eventos riesgosos pasados que quedaron registrados en los diferentes rasgos del entorno natural existente en el municipio.

Esta metodología, proporcionó las bases conceptuales para indicar en la cartografía elaborada para que la información se quede de manera definitiva en la plataforma del sistema de información geográfica ArcView, permitiendo su observación en diversas escalas contemplando la superficie total del municipio en espacio regional, zonal y hasta lograr una cartografía de los espacios básicos como es a nivel de calle o manzana.

Por sus orígenes geológicos, la ubicación del Municipio de Tulum, sufre ante todo de dos importantes riesgos potenciales, los hidrometeorológicos y los antrópicos. De los cuales, el segundo proceso riesgoso es el que mayor crecimiento presenta en el municipio aumentando la vulnerabilidad del entorno natural que al verse afectado por eventos tales como Huracanes o ciclones, crece el potencial de afectación por lo que la identificación de zonas vulnerables o amenazadas proporciona información gráfica que debe permitir la identificación de la magnitud potencial de afectación y en consecuencia obtener la cuantificación de zonas, viviendas, infraestructura o ambiental.

En cuanto a los primeros, fundamentalmente se deben a las afectaciones que históricamente han afectado a la Península de Yucatán en general y en particular al Estado de Quintana Roo. La destrucción de huracanes o ciclones se produce fundamentalmente por elevar al nivel de mar, vientos violentos asociados a intensas precipitaciones pluviales, son la combinación perfecta para producir procesos de riesgo y mejor dicho de peligro, tales como erosión de la playa y arrecifes, erosión kárstica, colapso de terrenos, inundaciones, caídas de árboles, líneas eléctricas etc.

1.2 ANTECEDENTES (ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE PELIGROS O RIESGOS)

La ubicación geográfica del Municipio de Tulum, hace que su mayor afectación de manera directa o indirecta sea por los fenómenos meteorológicos que se forman en el Mar Caribe cuyas dimensiones pueden ser hasta de toda la superficie de la plataforma calcárea yucateca, por lo que, cualquier fenómeno de esa naturaleza puede azotar la costa oriental de la península y por consecuencia a la porción geográfica correspondiente al Municipio de Tulum.

Esta afectación ha afectado a los pobladores de la península desde tiempos remotos, teniendo en las deidades de la lluvia prueba fiel del respeto y temor que las culturas Mesoamericanas tenía por estos fenómenos naturales, siendo probable que una de las hipótesis sobre el declinar de la extraordinaria cultura Maya asentada en la Península de Yucatán haya tenido gran influencia de una etapa de fuertes desastres naturales que motivaron a la migración y dispersión de la población.

Al momento de escribir este informe preliminar, solo se cuenta con información de las afectaciones históricas por huracanes en la Península de Yucatán desde el año de 1955, por los huracane Hilda y Janet, posteriormente en 1974, Carmen azoto fuertemente la parte oriental de la península causando fuetes daños la Ciudad de Chetumal. En 1988, el huracán Gilberto afecto enormemente la parte nororiente de Yucatán, dicha afectación pudo haber sido una de las causas de los incendios forestales registrados un año después. Para 1994, Roxana produjo grandes inundaciones afectando a las vías de comunicación y la producción agrícola. En el 2002, el huracán Isidoro ocasionó un estado de emergencia dejando miles de pérdidas en materiales y producción agrícola.

En cuanto a la vulnerabilidad de los geosistemas que conforman el entorno natural dentro del Municipio de Tulum, depende de la sensibilidad de los mismos para cambiar. Tanto el grado de respuesta como el grado de adaptación o absorción a los cambios o trastornos que alteren a los sistemas definen al grado de vulnerabilidad. Por lo tanto, los sistemas naturales a lo largo de la costa de Quintana Roo tienen la capacidad de absorber con respecto al potencial aumento en el nivel de mar generado por el cambio climático, tal y como lo han hecho durante los últimos miles de años como una respuesta a los cambios graduales suscitados durante el Holoceno Tardío. Su respuesta al futuro incremento en el nivel de mar, no será simplemente inundación, como se ha proyectado anteriormente, sino se deberá presentar una reorganización de la dinámica física de los materiales sedimentarios, ya que deberá presentarse un cambio en la línea de playa produciendo alteraciones en el suministro de arenas y en consecuencia en el gradiente costero. Un factor que altera con relativa frecuencia a la costa de Quintana Roo, son los procesos hidro meteorológicos, los cuales producen erosión en la barrera natural consistente en arrecifes tal y como pudo ser observada durante la afectación del huracán Wilma en 2005, en la acreción de los 80.30 kilómetros de línea de costa como resultado de la movilización de los sedimentos lagunares.

Otro sistema natural altamente vulnerable es el conformado por el Mangle, teniendo para Quintana Roo, un reporte de 64,755 has consistentes en mangles rojo, negro. Blanco y el conocido como botoncillo siendo predominantemente de borde con una zona de playa hacia el mar, con alturas de los árboles menores y una mayor exposición a la dinámica costera. Así mismo, el mangle, al igual que los arrecifes, es alterado por acción de los fenómenos hidrometeorológicos, ya que durante su acción, aumenta la salinidad ejerciendo una mayor presión ambiental sobre esta especie.

La vulnerabilidad social, económica, política y ambiental de los países de las regiones de América Latina y del Caribe no son novedades, éstas han sido descritas en muchos trabajos de investigación referentes a estas condiciones. Las crecientes brechas entre ricos y pobres, la degradación ambiental, las frágiles economías y democracias (especialmente en países pequeños) hacen que las sociedades sean más vulnerables a la hora de resistir la furia de la naturaleza. En términos climatológicos, el año de 1998 fue el más caliente desde que se empezaron a realizar mediciones hace ya unos 150 años, además, los 14 años más ardientes de ese período han tenido lugar durante los últimos 20 años, probablemente debido al calentamiento global causado por la emisión excesiva de gases de carbón (Desastres en la región, 1999).

Los expertos predicen un incremento en la actividad ciclónica en el Caribe para las próximas décadas. Según datos de la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y la Media Luna Roja, ha ocurrido tres veces más cantidad de desastres en este decenio que hace veinte años. Estos desastres naturales debido a condiciones climáticas extremas no pueden considerarse sólo un accidente natural; ponen a la vista que la combinación de los peligros ambientales con la situación socioeconómica magnifican las consecuencias desastrosas posibles para miles de millones de personas, tanto en el mundo en desarrollo como en el industrializado (De Sousa, 2004).

La vulnerabilidad de la gente a los desastres naturales tiene su relación con el espacio geográfico. Esto se acentúa principalmente en las islas en donde, debido a la fragilidad de su medio ambiente y economía, éstas se ven sumamente expuestas a los devastadores efectos de las condiciones hidrometereológicas y los desastres geológicos. El desarrollo costero agresivo también eleva la vulnerabilidad humana a los desastres naturales. Los países caribeños son igual de vulnerables a las tormentas tropicales, puesto que sus principales centros de población, zonas agrícolas, puertos y centros de actividad comercial e industrial están ubicados mayormente en la costa, y el turismo (un importante pilar de muchas de las economías caribeñas) también se concentra principalmente en tierras costeras. El deterioro ambiental también eleva la vulnerabilidad a las tormentas tropicales. El blanqueamiento de los corales y la pérdida de manglares, por ejemplo, hacen las costas más propensas a inundaciones. De igual manera, la deforestación contribuye a sequías, inundaciones repentinas y desprendimientos de tierra.

Pero no sólo destrozos y muertes están dejando la seguidilla de huracanes, también están avivando una fuerte polémica. En la respuesta a la pregunta de por qué se producen tantos, intensos y seguidos sobrevuela un tema que, en la mesa de discusión de la política internacional, enfrenta a los países: el cambio climático. Las razones del aumento y frecuencia de los huracanes son variadas, las más son las que, se apoyan en el hecho de que los huracanes son cada vez más letales debido al calentamiento global, atribuído a la acumulación de gases en la atmósfera por la quema de combustibles fósiles. Sin embargo, hay quienes sostienen que la fuerza de las tormentas tropicales obedece a ciclos naturales que se manifiestan desde hace miles de años en el planeta.

El calentamiento global del planeta puede contribuir a un aumento futuro en el número y la intensidad de los huracanes que azotan la zona del Caribe y el sur de los Estados Unidos, aunque los científicos no se ponen de acuerdo sobre los efectos concretos de dicho fenómeno. Estudios recientes sugieren que, debido a la mayor concentración atmosférica de gases de efecto de invernadero, para 2080 el calentamiento de los mares podría incrementar la intensidad de un huracán normal en medio nivel adicional, en base a la escala Saffir-Simpson. La intensidad de la precipitación en un radio de hasta 100 Km. de distancia del núcleo de la tormenta también podría elevarse hasta cerca del 20% (De Sousa, 2004).

En el centro de la polémica está el efecto invernadero que provoca que la temperatura del planeta, continentes y aguas incluídas, se eleve. La hipótesis para explicar el cambio climático es la acumulación de energía en el sistema, que tiene que expresarse de algún modo. Una de esas consecuencias son los huracanes, ya que serán más intensos o más frecuentes. El efecto invernadero, al subir la temperatura media calienta también a los océanos.

Los seguidores de la teoría de aumento en el número de huracanes debido a ciclos naturales se basan en estudios documentales, como son las historias que se narraban acerca de éstos durante los viajes de la conquista. El uso de fuentes documentales es una técnica de alta resolución establecida para reconstruir el clima durante los últimos siglos, sobre todo por la falta de datos instrumentales disponibles. Este material documental se ha utilizado para estudiar un determinado número de fenómenos climáticos, tales como El Niño (oscilación meridional ENSO) y la oscilación del atlántico Norte (NAO), y ha sido utilizado para describir como ha variado el clima en regiones determinadas. Los huracanes son de particular importancia para el estudio con fuentes históricas, ya que los acontecimientos extremos que dejaban consecuencias serias para las comunidades que las experimentaban se registraron a menudo en expedientes escritos.

La investigación paleoclimática reciente revela que con respecto a los últimos 5000 años el milenio más reciente ha sido un período de menos actividad intensa de huracanes en la cuenca del Atlántico. Está actualmente en curso la realización de un mayor trabajo para examinar tanto la frecuencia y la intensidad de los acontecimientos severos de las tormentas, para determinar cómo ha sido el siglo XX en el contexto de los últimos siglos y del último milenio. Para obtener una perspectiva de huracanes previos, los investigadores estudian datos tales como las capas de arena depositadas por las tormentas detrás de las islas de barrera, los cambios en la química de los corales, las variaciones en los patrones de los anillos de crecimiento de los árboles en áreas costeras, y los documentos históricos que incluyen los registros y diarios de los barcos. Estas fuentes de información están comenzando a construir un panorama de la actividad ciclónica del pasado para los últimos 100 a 1000 años.

Aun cuando los huracanes pueden formarse desde principios de mayo en el Mar Caribe o en el Golfo de México, la temporada oficial de huracanes comienza el primero de junio y termina el 30 de noviembre. En la zona este del Pacífico Oriental, la temporada comienza oficialmente el 15 de mayo y termina el 30 de noviembre. En la cuenca del Atlántico (la parte norte del Atlántico, el Golfo de México y el Mar Caribe) la temporada de huracanes llega a su punto más alto desde mediados de agosto hasta octubre. La mayoría de huracanes toca tierra en septiembre aunque esto no significa que no ocurran poderosas tormentas durante otros meses de la temporada.

Un huracán puede ocurrir en cualquier punto de la costa este de los Estados Unidos, el Golfo de México, las islas de Hawái y, muy raramente, la costa de California. Otras regiones que son susceptibles a los sistemas tropicales incluyen el Pacífico, el Caribe y la costa de México por el lado del Golfo de México. La bahía de Campeche es el lugar donde usualmente se empiezan a formar tormentas a comienzos de la temporada (junio y julio) y toda la región del Caribe está expuesta a este riesgo durante este tiempo.

Los huracanes no eran tan frecuentes en décadas pasadas. Las estadísticas muestran que, en los últimos 20 años, hubo un aumento en sus apariciones. Durante el período entre 1995 y 1998 se registraron 33 huracanes (sumando los registrados en el Atlántico, Mar Caribe y Golfo de México), la mayor cantidad anotada en un lapso de 4 años desde principio de siglo.

Cada año más de 100 depresiones tropicales o huracanes en potencia son monitoreados, pero solamente unos diez llegan a cobrar la fuerza de una tormenta tropical y de estos seis se convierten en huracanes. Estos promedios generales sugieren que la actividad es uniforme de año en año pero los registros históricos indican un alto grado de variaciones con largos períodos de tranquilidad y de actividad.

La cuenca del Atlántico tiene la mayor variabilidad estacional. La predicción es difícil debido a que los ciclos varían en periodicidad y duración. Los adelantos recientes en los pronósticos, relacionan los niveles de actividad de los huracanes con El Niño y la Oscilación Cuasi-bienal. Esto ha hecho posible predecir la variación en la actividad estacional de los huracanes en el Atlántico, con una precisión del 40 a 50 por ciento, pero este nivel de precisión si bien es considerado alto de acuerdo a las normas meteorológicas, no es lo suficientemente bueno para los planificadores que tratan de desarrollar sistemas apropiados de respuesta a las emergencias. http://www.oas.org/usde/ publications/Unit/oea65s/ch17.htm#referencias).

Del total de huracanes registrados en el siglo XX, los huracanes de la categoría cinco (el más severo en una escala de 1-5) solo han ocupado o registrado el 1 por ciento del total, los huracanes de categoría cuatro registran el 9 por ciento mientras que los de categoría tres ocupan alrededor del 30 por ciento de todos los acontecimientos ciclónicos. Durante las décadas de los años 70, 80 y principios de los 90, los huracanes intensos fueron menos frecuentes que en décadas anteriores. Sin embargo, a partir de 1995, los huracanes intensos han sido mucho más frecuentes. Es posible que este aumento marque el principio de una era de condiciones ciclónicas activas que pueden durar de 10 a 40 o más años debido al factor multidecadal del atlántico.

Los huracanes son fenómenos normales en nuestra zona de estudio, y aunque desde el punto de vista humano “causan daños”, debemos considerar que las comunidades biológicas que se encuentran en el área se han adaptado a estas condiciones, que se presentan desde hace más de 60,000 años, cuando emergió la placa peninsular; es decir, desde el punto de vista biológico no podemos catalogarlos como fenómenos dañinos (Pereira, et al. 2000).

Para los mayas los huracanes eran el misterio del "corazón del cielo", simbolizado por el rayo y el trueno y representado por la constelación de Orión. De acuerdo con los antiguos mayas, los espíritus creadores, que recibían colectivamente el nombre de huracán, eran a su vez los cuatro "Balames" que sostenían al mundo sobre sus hombros. Quizá por ello muchos guías de turistas de la zona arqueológica de Tulum, Quintana Roo, aseguran que las dos estructuras que se ubican sobre el acantilado, a un costado del peñasco principal, servían para medir la intensidad de los vientos que entran a tierra desde el Mar Caribe. Según cuentan, en la medida en que la fuerza del viento aumenta, el silbido, provocado por el contacto con las estructuras, les advertía sobre la proximidad de un huracán.

La afluencia de los ciclones del Atlántico hace que en la región de la Península de Yucatán se registren las más elevadas precipitaciones. Es por eso que la península se encuentra en una región ciclónica de muy alto riesgo. Por otro lado, los registros de la Comisión Nacional del Agua (CNA), revelan que durante los últimos cien años más de 400 huracanes entraron a tierra por la zona costera de los estados de Baja California Sur, Sinaloa, Michoacán, Guerrero, Quintana Roo y Tamaulipas. Es decir, cada año cerca de cuatro huracanes entran a territorio mexicano, ya sea por el Océano Pacífico, el Golfo de México o el Mar Caribe. Durante el siglo pasado, los estados de la península registraron el ingreso de huracanes en el siguiente orden: Quintana Roo, con 86 impactos; seguido por Yucatán con 38 y Campeche con 37, según los datos estadísticos de la CNA y el Servicio Meteorológico Nacional.

Los ciclones tropicales más intensos que han penetrado en el territorio nacional son, "Isidore", que devastó en el 2002 a Yucatán después de una errática trayectoria y "Gilberto", clasificado como categoría 5 en la escala de Saffir-Simpson, que azotó en 1988 en Quintana Roo con vientos de hasta 270 kilómetros por hora con impacto en Puerto Morelos. La presencia de "Gilberto" afectó también a Yucatán con vientos de hasta 240 kilómetros por hora, aunque impactó como categoría 4. En 1955 Campeche registró la llegada de "Janet", con vientos de hasta 240 kilómetros por hora como categoría 4; impactó en Sabancuy. Otros huracanes destructivos fueron "Opalo" y "Roxana", que impactaron en 1995, y que causaron uno de los daños más intensos de los últimos años ya que su trayectoria errática afectó a gran parte de la península.

Algunas otras tormentas tropicales y huracanes que se han aproximado o cruzado en la península son Debbie, en 1965, con 90 kilómetros por hora (km/h); Inés, en 1966 (200 km/h); Beulah, 1967 (180 km/h); Ella, 1970 (70); Edith, 1971 (55); Brenda, 1973 (100); Carmen, 1974 (120); Eloisa, 1974 (65). Asimismo, Allen, 1980 (270); Hermine, 1980 (111); Alberto, 1982 (139); Danny, 1985 (148); Keith, 1988 (120); y Mitch, 1995 (80).

De acuerdo con el recuento estadístico de la CNA, ningún otro punto en el país es tan propenso al impacto de huracanes como la Península de Yucatán. En conjunto, en los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo, y de acuerdo con cifras del Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Informática (INEGI), casi cuatro millones de personas están en riesgo por los efectos que los meteoros pueden dejar a su paso. Por ello, la dimensión de los riesgos para los frentes costeros de la Península de Yucatán, y particularmente para Quintana Roo, tienen mayor significado. Históricamente en los últimos 100 años sólo cuatro huracanes han tocado tierra por Quintana Roo, en los meses de junio a agosto, mientras que de septiembre a noviembre poco más de 29 ingresó a tierra por la costa oriental de la península.

Según datos obtenidos de la base de datos de UNISYS, de 1900 al 2002 un total de 58 ciclones, entre tormentas tropicales (12) y huracanes (46, que se desarrollaron durante su trayectoria pudiendo o no pasar como huracán), han tocada tierra en algún punto de la Península de Yucatán, en el. El periodo comprendió todos los meses de la temporada de huracanes registrado en la bibliografía (de junio a noviembre); los meses con mayor número de eventos fueron los de septiembre con 23, agosto con 14 y, en menor medida, junio y octubre, ambos con ocho.

Según Pereira et al. (2000), cuando se analiza la frecuencia de los impactos, se ve de manera más o menos clara la existencia de 5 regiones en la península, esto también lo podemos observar en los mapas elaborados de las trayectorias. Estas cinco zonas son la Bahía de Chetumal, la Riviera Maya, la zona costera de Yucatán y la Sonda de Campeche, asimismo, la quinta zona es el centro de la península, pero ésta tiene relación directa con la de la Riviera Maya. De acuerdo con estas regiones hay un incremento de frecuencia de impacto hacia el noreste de la península siguiendo el contorno de la misma y con un gradiente que pasa por el centro hacia la región del Punto Put.

Sin embargo, estos fenómenos tienen un efecto particular sobre las comunidades vegetales y animales en la zona en que se presentan, así vemos que los huracanes han configurado un tipo de vegetación muy particular en la Península de Yucatán, la cual entre otras características, posee ahora, después de mucho tiempo de adaptación la posibilidad en zonas poco alteradas de recuperarse con cierta prontitud de los impactos causados por los huracanes. Las formas en que un huracán afecta las comunidades terrestres es variada, en primer lugar uno de los elementos que mayor daño produce, es el viento. Este puede alcanzar para los huracanes de menor intensidad desde 120 km/h sostenidos con rachas que van más allá de esa velocidad, para los huracanes más fuertes, tenemos vientos que sobrepasan los 200 km/h con rachas aún más fuertes.

Con relación a los fenómenos del Niño y Niña, el comportamiento de los huracanes que han impactado la península, permite precisar que existe una alta correlación entre la fase de Niña y el número de huracanes en la península. De acuerdo al número de huracanes impactados en la península y

la relación de años Niño y Niña encontrados en la literatura, nos permite inferir que durante eventos Niño se presentaron sólo 11 huracanes mientras que en fases de Niña hubo un total de 34 fenómenos, de los 58 registrados para el período de análisis.

Para terminar, a pesar de los avances logrados con las imágenes de los satélites, datos meteorológicos y de los aviones cazadores de huracanes, aún es muy difícil predecir con cierto grado de certeza la trayectoria de estos fenómenos, particularmente cuando se acercan a tierra firme. Según los expertos en huracanes tropicales, sus pronósticos están en relación a que existe una tendencia a aumentar el número y al mismo tiempo a ser más intensos. Esta predicción está basada en una correlación entre la lluvia en el oeste de Sahel en África y la

presencia de huracanes en el Atlántico (Capurro, 2001). Cuando la lluvia en esta región es abundante, se desarrollan huracanes más violentos en el Atlántico, que llegan al continente americano.

Según esto, se espera que estemos entrando a una fase de huracanes más frecuentes y más intensos, ya que el calentamiento global y las condiciones de eventos meteorológicos, como el Niño y la Niña, propiciarán cambios a nivel atmosférico que dejarán condiciones adecuadas para el desarrollo de éstos fenómenos naturales. Según el meteorólogo estadounidense William Gray se pronostica que durante la temporada ciclónica en el Atlántico de 2005 puede haber quince tormentas tropicales. De ellas ocho pueden convertirse en huracanes, cuatro de los cuales pueden ser "mayores"(de categoría tres o mayor en la escala Saffir-Simpson). Otros pronósticos señalan que habrá siete tormentas tropicales, cuatro huracanes de categoría 1 o 2 y 4 de categoría mayor.

Dentro del municipio se encuentra parte de la zona de Reserva de la Biosfera conocida como Arrecifes de Sian Kaán, parte del área de protección de flora y fauna Otoch Maáx.

1.3 OBJETIVO

Establecer los lineamientos básicos para diagnosticar, ponderar y detectar amenazas, peligros, vulnerabilidades y estimar los riesgos en el espacio geográfico a través de criterios estandarizados, catálogos y bases de datos homologadas, compatibles y complementarias.

CAPÍTULO 2. DETERMINACIÓN DE NIVELES DE ANÁLISIS Y ESCALAS DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA

2.1 DETERMINACIÓN DE NIVELES DE ANÁLISIS Y ESCALAS DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA

DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO.

TULUM: Fundado el 19 de mayo del 2008, con una extensión territorial de 2,040.94 km^2 cuyo código de INEGI es 23009, gentilicio TULUMENSE y coordenadas 20°13'00" latitud Norte, 87°28'00" latitud Oeste.

El Municipio de Tulum es uno de los diez municipios del estado mexicano de Quintana Roo. Se localiza en la zona centro-norte del estado, en la llamada Riviera Maya, su cabecera es la Ciudad de Tulum y su territorio fue segregado del Municipio de Solidaridad en el año 2008.

Tulum se localiza en la zona centro-norte del territorio de Quintana Roo, sus límites son al norte con el Municipio de Solidaridad y al sur con el Municipio de Felipe Carrillo Puerto, al extremo este limita con el Estado de Yucatán, en particular con el Municipio de Valladolid.

De la misma manera no existen corrientes de agua superficiales, debido a que la composición del suelo es de roca calcárea sumamente permeable, lo que causa que las aguas que caen por lluvia no puedan ser retenidas en la superficie.

En la zona sur del municipio existen numerosas lagunas litorales ubicadas entre la Ciudad de Tulum y Punta Allen separadas del Mar Caribe por una delgada franja de tierra, la laguna Caapechen, la Laguna Boca Paila, la Laguna San Miguel, la Laguna Xamach y la Laguna Catoche; así mismo en la zona oeste del municipio se encuentran la Laguna Cobá, la Laguna Verde y la Laguna Nochacam en las inmediaciones de la zona arqueológica de Cobá.

Como en todo el territorio continental del Estado de Quintana Roo, el clima que se registra en el Municipio de Tulum se encuentra clasificado como Cálido subhúmedo con lluvias en verano, caracterizándose por sus elevadas temperaturas y humedad durante gran parte del año, la temperatura media anual que se registra en la zona interior del municipio es 25.45 ° C (según datos del SMN), la precipitación promedio anual en casi todo el territorio es de 1,223.35 mm (según datos del SMN).

Vías de comunicación.

La Carretera Federal 307 es la principal vía de comunicación del municipio, corre paralela a la costa en sentido norte-sur, a lo largo de su recorrido se encuentran las principales poblaciones del municipio como la cabecera, Tulum, Akumal, Ciudad Chemuyil, así como los grandes hoteles y complejos turísticos del municipio y que forman parte de la Riviera Maya. La carretera, es actualmente de cuatro carriles y por ser federal no es de cuota, de tal manera favorece no solo a la población del municipio sino también al turista tanto en el no pago en concepto de peaje así como en la seguridad que en todos los aspectos brinda, circular por la misma.

Además de la carretera 307 existen en el municipio otras carreteras de carácter estatal que comunican las localidades del interior del territorio, la principal de ellas es la que partiendo de la Ciudad de Tulum en sentido Sureste-Noroeste comunica el interior del municipio, principalmente con las localidades de Macario Gómez, Francisco Uh May y Cobá, esta última la segunda zona arqueológica en importancia del estado, desde Cobá la carretera continúa hacia el Estado de Yucatán culminando en la población de Chemax. Otra carretera que corre en forma perpendicular a esta, comunica a Cobá hacia el norte con poblaciones como Tres Reyes y termina en Nuevo X-Can en el Municipio de Lázaro Cárdenas; y hacia el sur con Chanchén, Chanchén Palmar y San Silverio , así como nuevamente con el Estado de Yucatán.

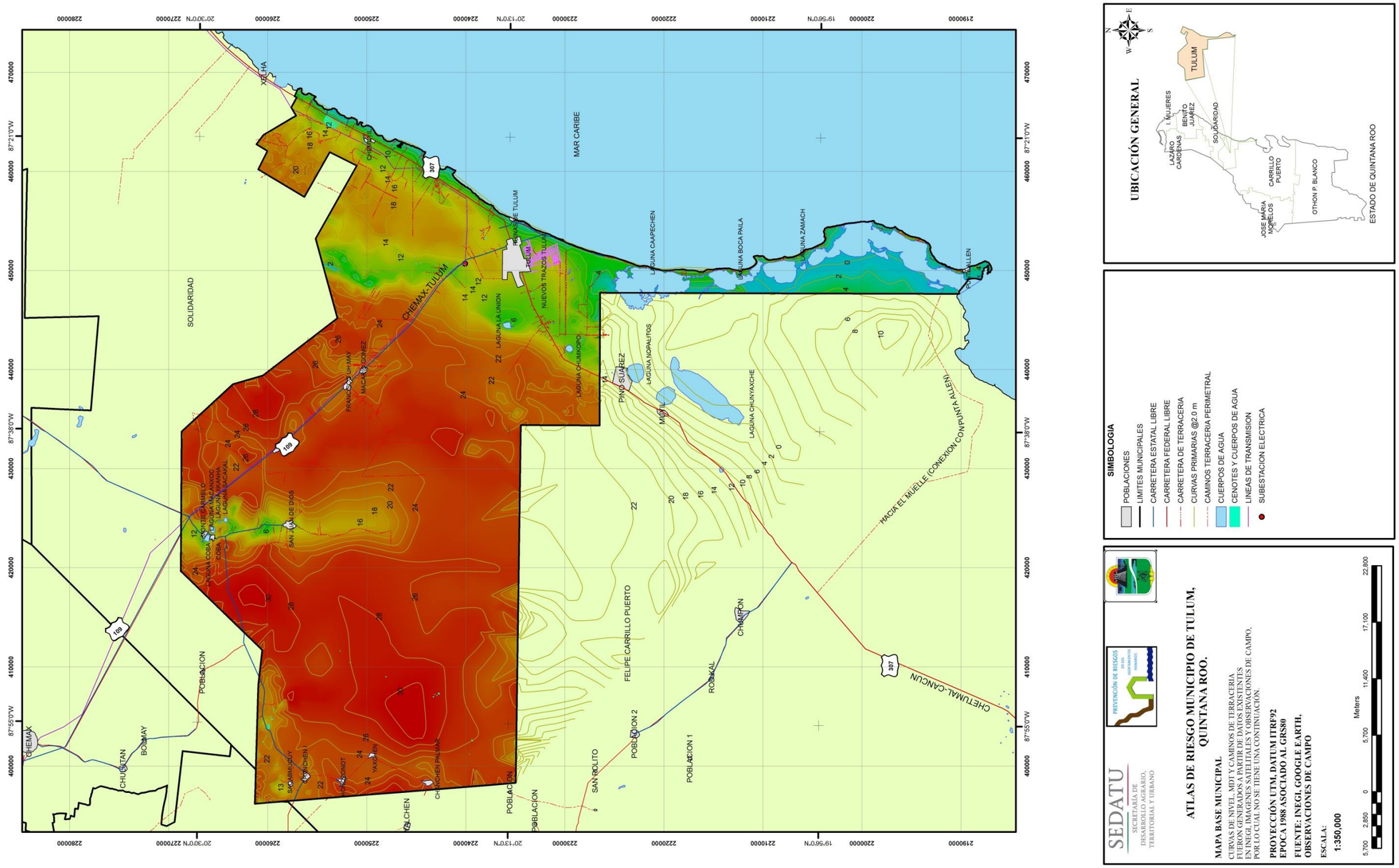
Finalmente existe un importante camino no pavimentado que comunica el extremo sur de la Riviera Maya, partiendo de la Ciudad de Tulum hacia el sur, une a las comunidades de Boca Paila y Punta Allen, donde culmina, este camino transita por un estrecha faja de tierra situada entre el Mar Caribe y lagunas litorales.

El principal aeródromo ubicado en el municipio está en la Ciudad de Tulum, es utilizado principalmente por avionetas pequeñas que hacen recorridos de tipo turístico así como para la comunicación con otras aeropistas situadas en otras comunidades del municipio, como son Cobá y Akumal.

TABLA 1. NIVEL DE ANÁLISIS Y ESCALA CARTOGRÁFICA

FENÓMENOS GEOLÓGICOS.			
	INDICADOR	NIVEL DE ANÁLISIS	ESCALA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA
1.	VULCANISMO	1	
2.	SISMOS	1	1:3,000,000
3.	TSUNAMIS	1	1:5,000,000
4.	INESTABILIDAD DE LADERAS	1	
5.	FLUJOS	1	
6.	CAÍDOS O DERRUMBES	1	1:95,000
7.	HUNDIMIENTOS.	1	1:350,000
8.	SUBSIDENCIA	1	
9.	AGRIETAMIENTOS	1	1:350,000
FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS.			
10.	TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS	1	1:350,000
11.	SEQUÍAS.	1	1:350,000
12.	HELADAS	1	
13.	TORMENTAS DE GRANIZO	1	
14.	TORMENTAS DE NIEVE.	1	
15.	CICLONES TROPICALES	1	1:2,200,000
16.	TORNADOS	1	
17.	VIENTOS	1	1:350,000
18.	TORMENTAS ELÉCTRICAS	1	1:350,000
19.	LLUVIAS EXTREMAS	1	1:350,000
20.	INUNDACIONES, PLUVIALES, FLUVIALES, COSTERAS Y LACUSTRES	1	1:350,000

Tabla 1: niveles de análisis



Mapa 1. Mapa base Municipio de Tulum, fuente INEGI-GOOGLE EARTH PRO, Proyección UTM, datum ITRF92 1988, asociado al GRS80.

En el mapa anterior se colocó el MODELO DIGITAL DEL TERRENO el cual fue procesado a partir de los datos obtenidos de la topografía modelado en el programa GLOBAL MAPPER con 110,575 puntos procesados los cuales son anexados en la subcarpeta MDT de la carpeta III proyectos en un formato TXT, en este modelo digital se logran visualizar las zonas de mayor riesgo en que se ve involucrado el municipio, en donde los colores tenues como son azul, verde y amarillo son las zonas más bajas relacionadas con hundimientos, siendo muy factible la inundación en éstas.

Las partes altas corresponden a los colores en rojo con cotas que van hasta los 30.00 m.s.n.m. y se ubican principalmente al Noroeste de la carretera 307 así como al sureste del Cobá.

De igual manera se logra observar en el modelo digital del terreno la franja de suelo que corresponde a la trayectoria que va de Tulum a Punta Allen, donde la altura máxima oscila entre los 7 y 8 msnm con afectaciones severas debido al tipo de suelo y a la abundante presencia de agua, por un lado el mar y por el otro las lagunas.

En el plano base antes mostrado se montaron las CURVAS DE NIVEL, las cuales se obtuvieron a partir de los puntos que se muestran en la carta topográfica del INEGI así como en el GOOGLE EARTH, de la misma manera fueron corroborados dichos puntos con un GPS de la marca GARMIN en campo, esto para ratificar los valores máximos y mínimos en los casos en que se requirieron.

Una vez que se definió el conjunto de puntos que comprenderían la base para la generación de la triangulación y curvas de nivel, se procedió a su procesado, corrección y purga de datos con el programa AUTOCAD CIVIL 3D, con la colaboración del programa CIVILCAD, en donde se obtuvieron las curvas a cada 1.0 m de altura, definiendo a las curvas maestras cada 2.0 m, las cuales fueron transformadas a capas SHAPES con sus respectivas proyecciones para su manipulación en ARCVIEW.

Mediante el apoyo de las curvas de nivel se visualizan las curvas cuya altimetría máxima con respecto al nivel medio del mar llegan hasta los 30.0 msnm, así mismo se tienen cotas desfavorables dentro del territorio que favorecen el desarrollo de inundaciones como por ejemplo las zonas correspondientes a Cobá y Monte Carmelo.

En el plano base se montaron todos los caminos que se lograron ubicar siendo los principales la carretera 109 que va de Tulum hacia Chemax, la 307 que atraviesa al municipio en dirección a Chetumal Y Cancún, los caminos que se encuentran en excelentes condiciones para transitar debido a las reparaciones que aparentemente se realizaron hace poco tiempo es la que se ubica al noreste del municipio y que conecta a Cobá con Chanchen I y Sacabmucuy, así mismo la carretera que va a San Juan De Dios, los demás caminos son brechas y caminos terciarios que comunican a pequeñas poblaciones.

Como se muestra en el plano base los principales cuerpos de agua que se hacen visibles en la superficie, se ubican en Cobá estos de igual manera se puede manejar como un cenote, las lagunas que se ubican al sur como son la Unión, Caapechén, Boca Paila entre otras.

En general dicho mapa base será la principal herramienta en conjunto con la topografía y el MDT, así como la distribución de población para la determinación de los principales riesgos a los que la población, vegetación y territorio estarán sometidos.



SIMBOLOGIA

- CAMINO DE TERRACERIA
- NUEVOS TRAZOS DE AMPLIACIÓN
- CARRETERA ESTATAL LIBRE
- CARRETERA FEDERAL LIBRE
- CURVAS SECUNDARIAS @ 2.0 m
- CURVAS PRIMARIAS @2.0 m

SEDATU
SECRETARÍA DE DESARROLLO AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO

ATLAS DE RIESGO MUNICIPIO DE TULUM, QUINTANA ROO.

MAPA BASE URBANO

FUENTE: INEGI

PROYECCIÓN UTM, DATUM ITRF92 EPOCA 1988 ASOCIADO AL GRS80

ESCALA:
1:16,000

Meters
200 100 0 200 400 600 800

Mapa 2. Mapa base urbano Municipio de Tulum, Proyección UTM, datum ITRF92 1988, asociado al GRS80

CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL MEDIO NATURAL

3.1. FISIOGRAFÍA.

El Municipio de Tulum se ubica en la provincia fisiográfica (según la CONABIO) correspondiente a la zona 62 del "KARST YUCATECO", donde la importancia de esta clasificación se basa en el tipo de suelo.

Definición de KARST: procedente de Karst, (nombre alemán de la región eslovena de Carso) relieve kárstico, []Karst o carso se conoce a una forma de relieve originada por meteorización química de determinadas rocas, como la caliza, dolomía, yeso, etc., compuestas por minerales solubles en agua.

El relieve de estas zonas está condicionado principalmente por la disolución de las rocas; es lo que se llama karstificación. Las reacciones químicas responsables de la disolución de los carbonatos son las siguientes:

- Disolución del dióxido de carbono:

  $CO2 + H2O \leftrightarrows H2CO3$

- Disociación acuosa del ácido carbónico:

  $H2CO3 + H2O \rightleftarrows H3O+ + HCO3-$

- Ataque ácido de carbonatos ("calcáreos"):

  $H3O+ + CaCO3 \leftrightarrows Ca2+ + HCO3- + H2O$

- Ecuación de balance:

  $CO2 + H2O + CaCO3 \leftrightarrows Ca2+ + 2\ HCO3-$

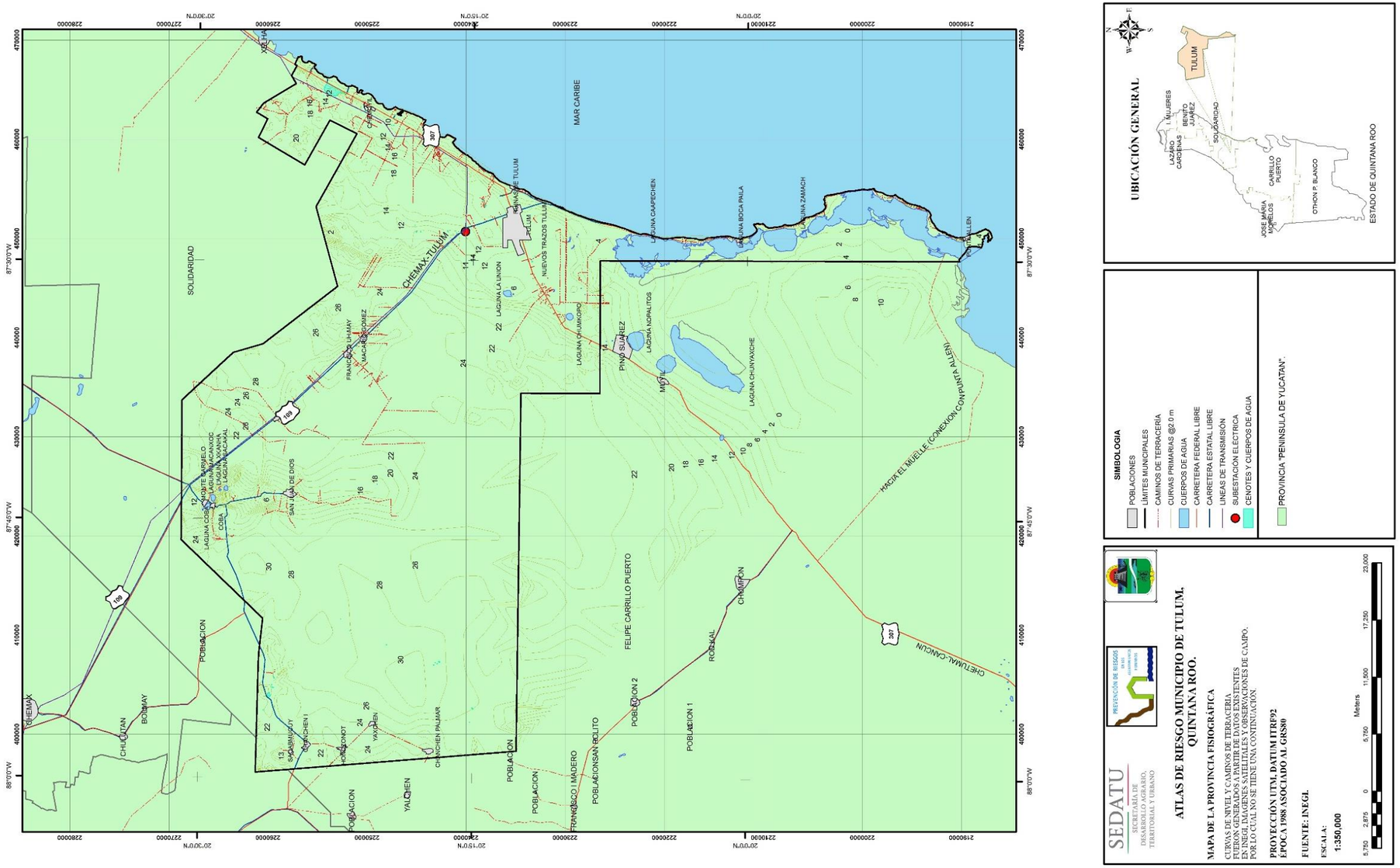
Se observa que el contenido de hidrógeno carbonato, un átomo de carbono proviene de la matriz de calcárea y el otro proviene del dióxido de carbono (principalmente de origen biogénico ya que la concentración de este último en el suelo es mucho mayor que en la atmósfera). Estas dos fuentes también son diferenciables por sus niveles de isótopos de carbono (segregación de carbono 13 en los seres vivos).

La disolución y por lo tanto la formación del relieve kárstico, se ve favorecida por:

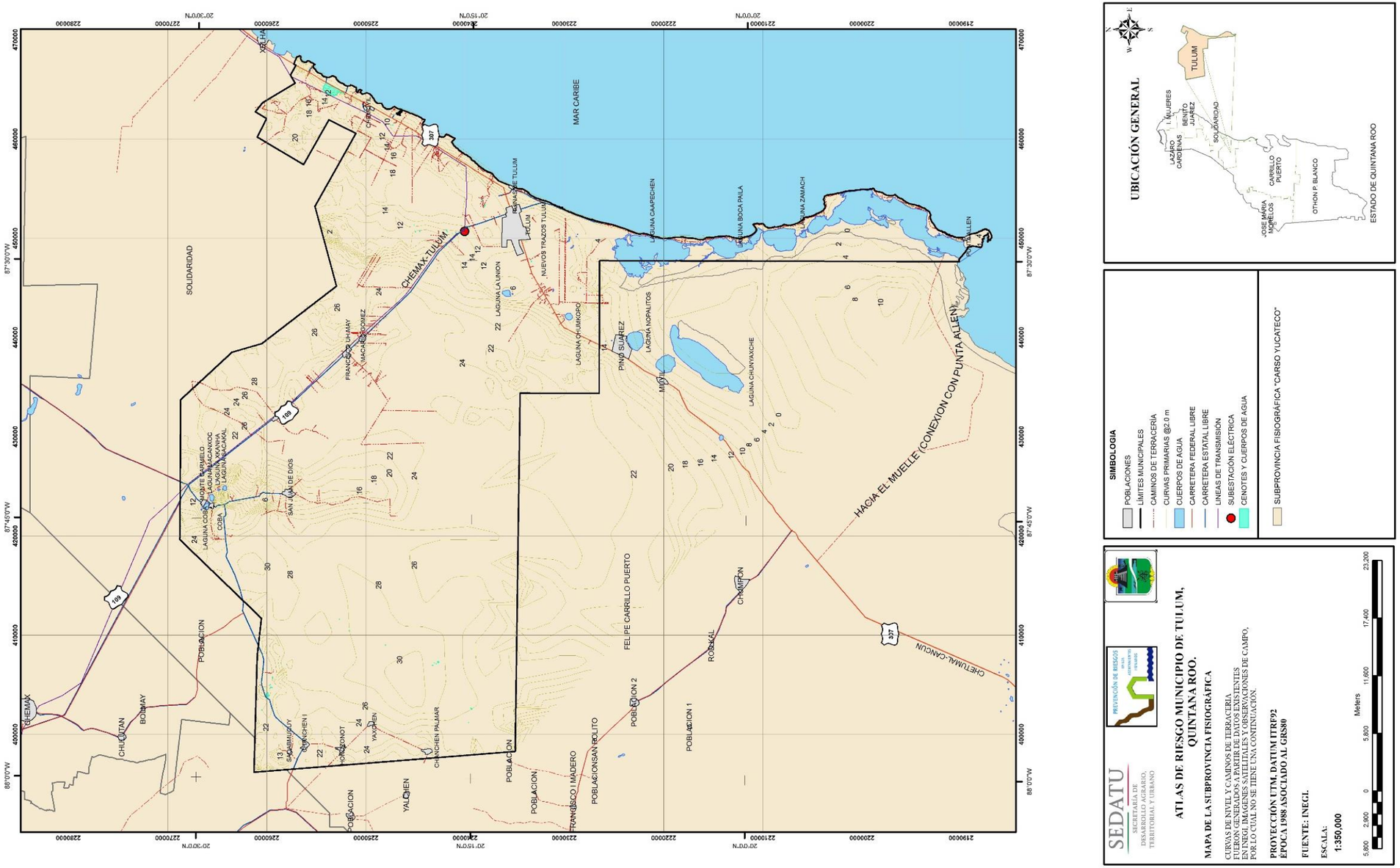
- La abundancia de agua.
- La concentración de CO2 en el agua (que aumenta con la presión).
- La baja temperatura del agua (cuanto más fría este el agua, contiene mayor cantidad de CO2).
- Los seres vivos (que emiten CO2 en el suelo por la respiración, lo que aumenta considerablemente su contenido).
- La naturaleza de la roca (fracturaciones, composición de los carbonatos, etc.).

- El tiempo de contacto agua-roca.

Una región fría, húmeda y calcárea, por tanto, es más propensa a desarrollar un relieve kárstico. Sin embargo, se encuentra este relieve en todo el globo, tanto en regiones cálidas como húmedas.



Mapa 3. Mapa de las Provincia fisiográfica del Municipio de Tulum, fuente INEGI, Proyección UTM, datum ITRF92 1988, asociado al GRS80



Mapa 4. Mapa de las Subprovincias fisiográficas del Municipio de Tulum, fuente INEGI, Proyección UTM, datum ITRF92 1988, asociado al GRS80.

3.2. GEOMORFOLOGÍA.

La Península de Yucatán muestra dos unidades morfológicas principales:

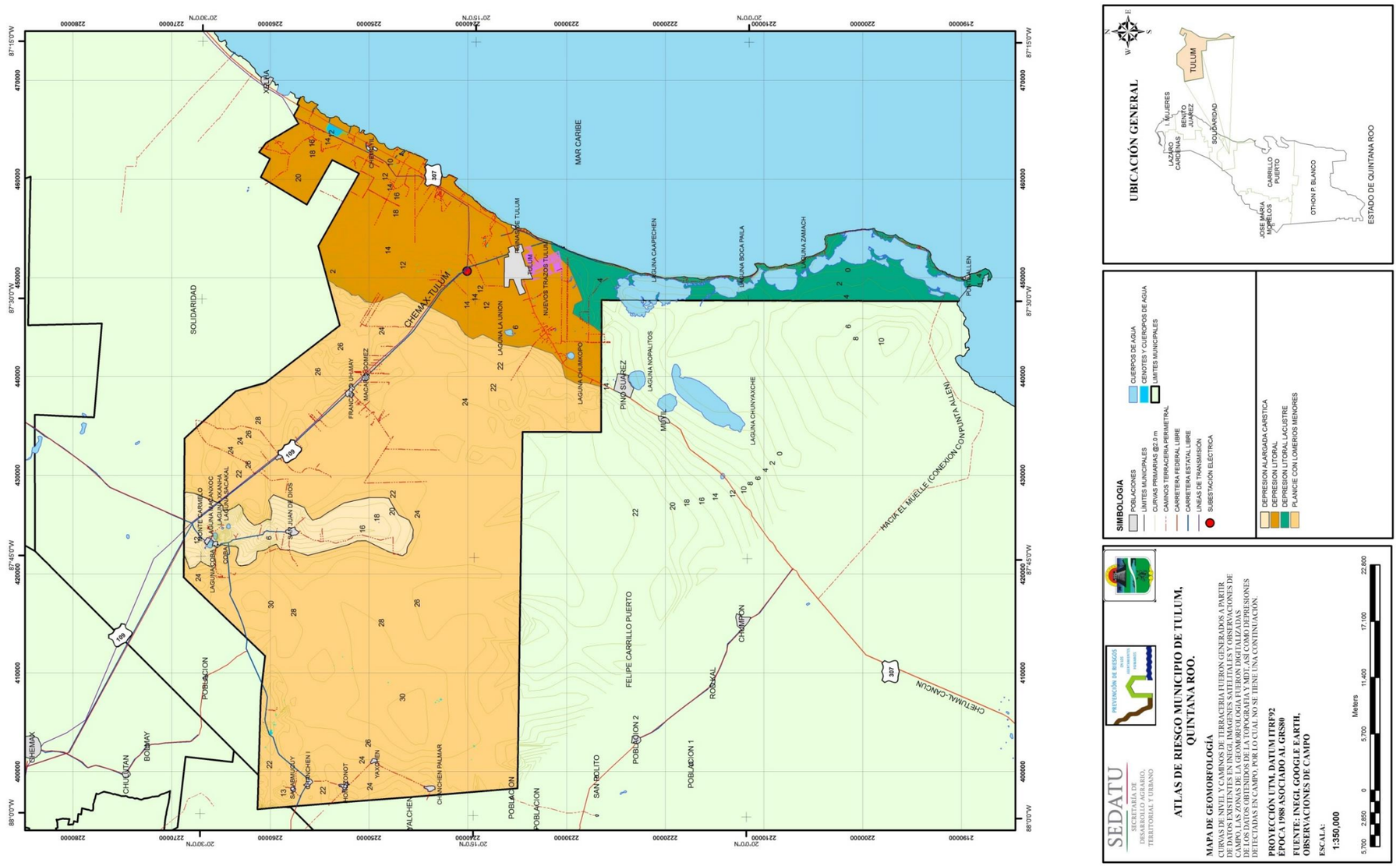
La primera está ubicada al norte, y en ella predominan las planicies y las rocas sedimentarias neogénicas; en el sur, las planicies alternan con lomeríos de hasta 400 m s.n.m. en rocas sedimentarias oligogénicas. Esta configuración expresa un levantamiento a partir del mioceno en la porción meridional, misma que continua en el Plioceno y en el Cuaternario en dirección al NE. Lo anterior permite suponer que el levantamiento de mayor duración en la parte meridional esté afectado en mayor grado por una erosión diferencial que origina un relieve de lomas y planicies; mientras que en el norte se produce un relieve muy joven de planicies basculadas y, por su constitución de rocas muy resistentes, una disección en el suelo, controlada por la fractura de rocas, resultando un sistema completo de formas kársticas.

La estructura general del relieve de la península tiene una relación estrecha con la estructura geológica profunda, aparentemente constituida en dos grandes bloques.

En lo que respecta al Municipio de Tulum, la geomorfología del sitio (de manera local), fue desarrollada a partir de las observaciones realizadas en campo, de igual manera de la topografía y modelo digital del terreno, esto en función de las modificaciones que el suelo ha sufrido a lo largo del tiempo por los efectos del clima, lluvia, hundimientos e inundaciones, por lo que fue dividida en 4 tipos que a continuación se mencionan.

TABLA 2. GEOMORFOLOGÍA

TIPO	ÁREA (Km^2)	PORCENTAJE
DEPRESIÓN ALARGADA KÁRSTICA	106.85	5.24%
DEPRESIÓN LITORAL	403.278	19.76%
DEPRESIÓN LITORAL LACUSTRE	172.7	8.46%
PLANICIE CON LOMERÍOS MENORES	1358.112	66.54%



Mapa 5. Mapa de geomorfología Municipio de Tulum, fuente INEGI, Proyección UTM, datum ITRF92 1988, asociado al GRS80

3.3. GEOLOGÍA.

El Municipio de Tulum se encuentra comprendida en dos eras Geológicas la primera de ellas es nombrada en el mapa Geológico como (Q) la cual corresponde a la era Cenozoica y período Cuaternario.

Geológicamente, el Cenozoico es la época en que los continentes se trasladaron a sus posiciones actuales. Australia-Nueva Guinea se separaron de Gondwana y derivaron al norte y se acercaron al Sureste de Asia. La Antártida se trasladó a su actual emplazamiento sobre el Polo Sur. El Océano Atlántico se ensanchó, y más tarde, Sudamérica se unió a Norteamérica con la formación del Istmo de Panamá, un período de enfriamiento a largo plazo

La segunda corresponde a la letra (N) en el mapa geológico y se refiere al Cenozoico Terciario, de piso Plioceno Y Mioceno, La erosión favorecida por estas orogénesis originó sedimentos y depósitos de petróleo en zonas que eran cuencas marinas de poca profundidad

El Cenozoico es la última de las cinco grandes eras del tiempo geológico, empezó hace 65 millones de años y llega hasta nuestros días. Planicie de origen marino, formada por rocas sedimentarias de la Era Cenozoica (Plioceno a Pleistoceno). Las rocas dominantes son calizas y granulosas, que le dan a la península su relieve característico.

Los estudios geológicos más detallados de la Península de Yucatán son los de Butterlin (1958), Bonet (1963) y López Ramos (1975, la plataforma de rocas sedimentarias mesozoicas y cenozoicas presentan un grosor de incluso más de 3,500 m, descansando sobre un basamento paleozoico. Encima de este se inicia la columna con rocas jurásicas, reconocidas en el subsuelo profundo de la porción centro septentrional de Belice (López Ramos, op.cit.). El Cretácico forma parte de la plataforma, en especial con la llamada Evaporitas Yucatán.

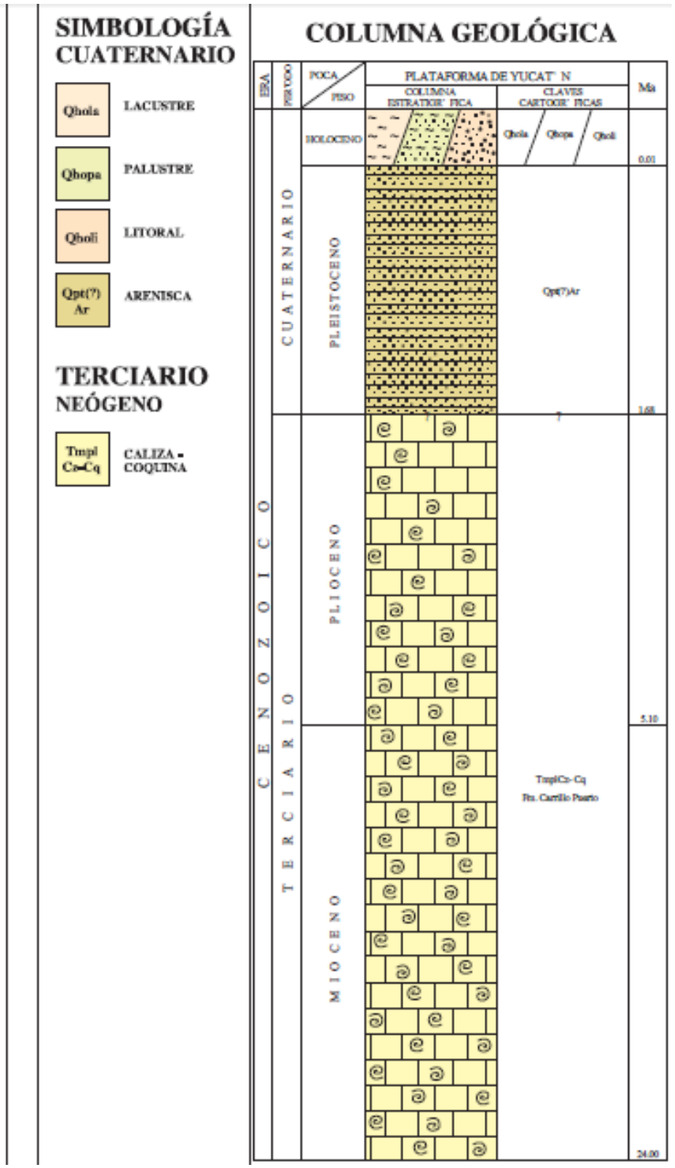
El espesor de las Evaporitas Yucatán demuestra que estas tuvieron su origen en dos cuencas principales. La primera, en el sur de la península y con extensión hacia Guatemala, donde el grosor de más de 2,000 m refleja un prolongado hundimiento-subsidencia que se reduce gradualmente hacia el norte, siendo el espesor de unos 1,000 m hacia el centro de la península y menor que 500 m en el oriente de la misma. Las isopacas indican un hundimiento más intenso-basculamiento de sur a norte en su parte suroccidental y otro en sentido nororiental en la otra región de la península.

La secuencia de rocas paleogénicas se encuentra en todo el subsuelo y consiste principalmente en caliza, arenisca y evaporita (López Ramos, op.cit.)Del Paleoceno y Eoceno. El Oligoceno está ausente, excepto en la parte nororiental (caliza y lutita), donde se reconoce a los depósitos marinos del Neógeno y las calizas de la formación Carrillo Puerto. Durante el Mioceno, fueron depositados los sedimentos calcáreos de la formación Río Dulce en el oriente del Estado de Quintana Roo.

En las zonas de relieve más alto, las capas cretácicas están a menor profundidad 500 m lo mismo que en la planicie nororiental. En las zonas interiores continentales, estos valores aumentan a 1,000-1,500 m. es muy probable que estas irregularidades sean producto de la configuración de los bloques del basamentos, de acuerdo con López Ramos (1975).

Tabla 3. Distribución geológica dentro del polígono municipal.

GEOLOGÍA		
TIPO	ÁREA Km2	PORCENTAJE
FORMACIÓN CENOZOICO CUATERNARIO	168.93	8.27%
FORMACIÓN CENOZOICO TERCIARIO	1,872.01	91.73%



Estratigráficamente se encuentra dentro de la provincia geológica denominada plataforma de Yucatán, que comprende un paquete de rocas carbonatadas, de edades que abarcan desde el Cretácico al Reciente. La unidad más antigua expuesta en la zona corresponde a la formación Carrillo Puerto (TMPLcZ-Cq, que está constituída por una secuencia de caliza y boundstone (coquina) de edad Mioceno-Plioceno. Existen afloramientos en Chemax, Chan Cenote, San Pedro Chemax, X-Can, Ignacio Zaragoza, Leona Vicario, Cobá, Tulum Y Chumpon, cubriendo la unidad anterior se desarrollaron depósitos cuaternarios de arenisca semiconsolidadas, constituídas principalmente por fragmentos de gasterópodos, pelecípodos, ostras y calcita de edad Pleistoceno. Se presentan también depósitos lacustres (Qhola) constituidas por arcilla, lodo calcáreo, arena y limo de color negro con alto contenido de materia orgánica que se observa principalmente en los alrededores de pequeños lagos de la zona arqueológica de Cobá y Punta Laguna.

Depósitos Palustres (Qhopa) formados por limo y arcilla mezclados con materia orgánica, se observan en áreas aisladas, los depósitos del litoral están constituidos por arena blanca compuesta principalmente de fragmentos angulosos a sub angulados de ostras, bivalvos y gasterópodos en la franja costera del mar caribe.

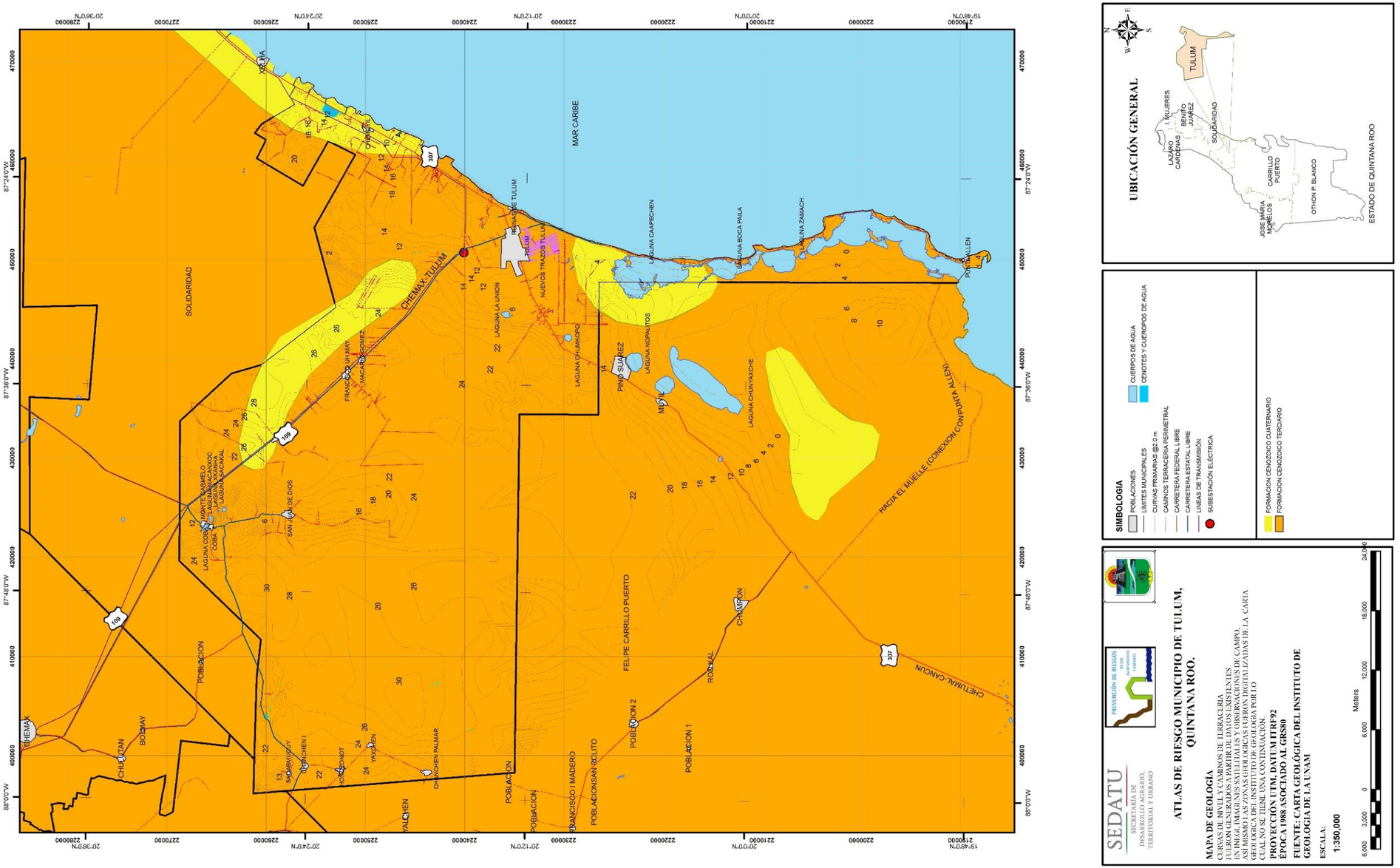
La evolución geológica denominada Plataforma De Yucatán está ligada a la apertura del Golfo de México, iniciado en el triásico superior, con la ruptura del súper continente Pangea, en la margen sur de la placa de Norteamérica, evento que continuo durante el Jurásico inferior y Medio. Durante el Kimmeridgiano, del bloque Yucatán se desplaza hacia el SE a través de un sistema de fallas dextrales que separaban las plataformas de Yucatán y Florida, propiciando condiciones para la acumulación de carbonatos; en el Tithoniano se depositan las facies de carbonatos arcillosos, en el Cretácico Inferior en aguas más o menos profundas se depositan calizas.

Entre el Cretácico Medio y Superior acontece una gran transgresión marina por casi todo México, mientras que en el Bloque Yucateco se depositaba un paquete potente de rocas evaporíticas los efectos de la orogenia Larámide no se registran en las rocas de la plataforma de Yucatán, en la misma época se depositaron predominantemente carbonatos con cantidades menores de evaporitas (particularmente en el Paleoceno y Eoceno) alcanzando espesores que varían de 100 a 2,000 m.

Desde el Terciario hasta el Reciente, el nivel del mar ha oscilado varias veces, como consecuencia de ello las faces sedimentarias depositadas varían entre plataformas someras hasta evaporitas restringidas, en ambiente supramarea.

Durante el Pleistoceno y Holoceno los efectos de una transgresión ha dado lugar a depósitos recientes caracterizados por zonas de pantanos y bioclastos derivados de las unidades más antiguas.

Imagen 1. Estratigrafia del subsuelo.



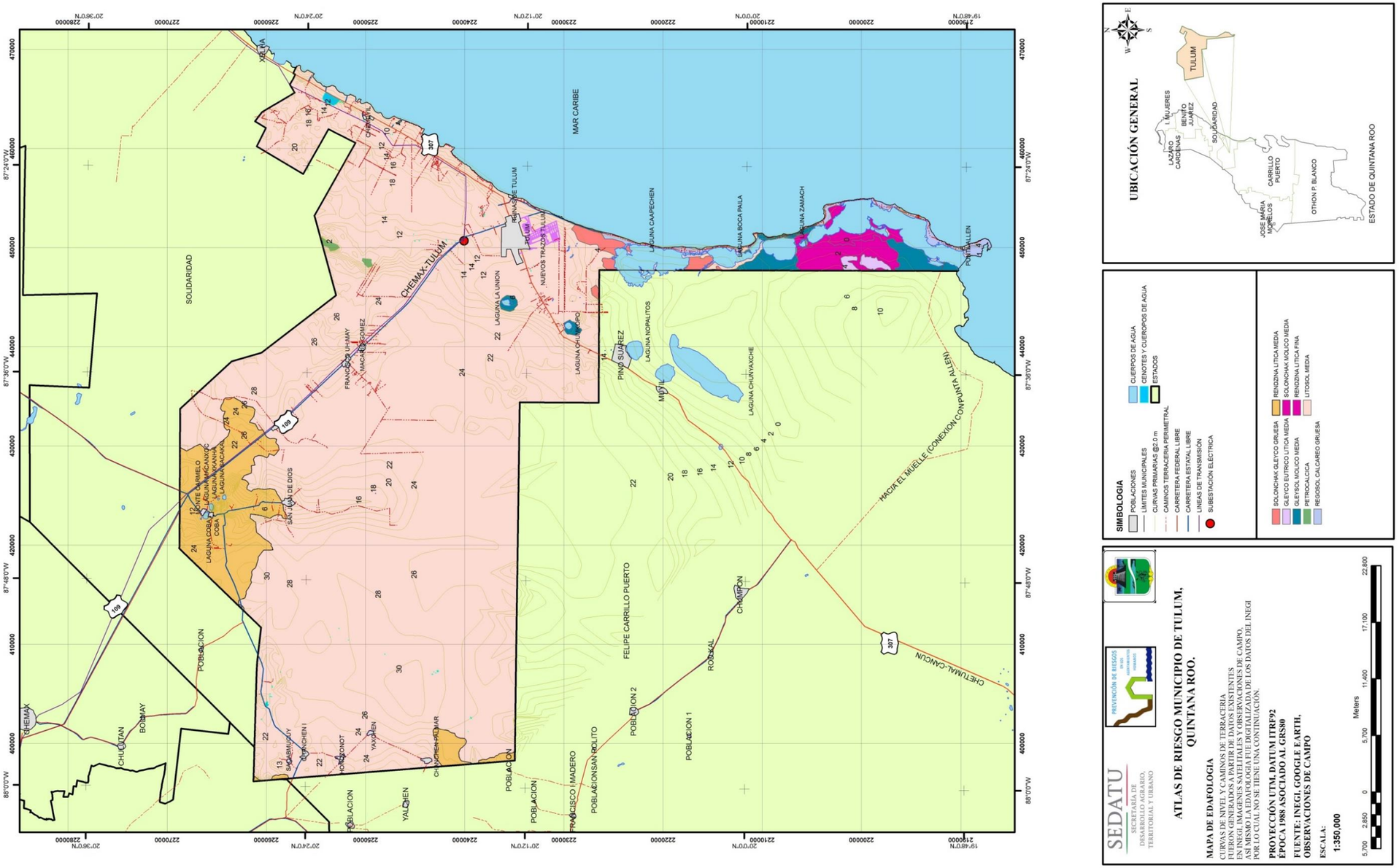
Mapa 6. Mapa de Geología Municipio de Tulum, fuente INSTITUTO DE GEOLOGÍA DE LA UNAM, Proyección UTM, datum ITRF92 1988, asociado al GRS80

3.4. EDAFOLOGÍA

En el estado predominan las redzinas rojas, con manchones aislados de litosoles y regosoles. En el norte hay una franja de aridisoles. Los principales tipos de suelos de acuerdo con la terminología maya son: Tsek´el en las partes altas y laderas con buen drenaje; K´ankab al pie de las elevaciones, donde el drenaje no es total y Ak´alché en las partes bajas, con mal drenaje. Los suelos en Sian Ka´an son generalmente más pobres que los del resto de la Península; son también más jóvenes y poco evolucionados, pedregosos, someros, fácilmente degradables y con potencial forestal. Dentro de la clasificación de FAO (1974), dichos suelos corresponden a los tipos litoral y rendzina. El subsuelo está íntegramente formado por calizas blancas, arenosas, llamadas saskab, no mineralizadas, que por intemperismo se endurecen y forman placas en la superficie conocidas como lajas. La formación de un horizonte arcilloso es común en suelos antiguos, horizonte que aflora cuando las quemas o la intemperie destruyen la capa de suelo negro, dando lugar a los suelos rojos de los tipos Chac-luum o K´ankab.

Tabla 4. Tipos de suelos de acuerdo a los datos del INEGI.

TIPO	ÁREA km²	PORCENTAJE
GLEYSOL EUTRICO LÍTICA MEDIA	5.88	0.29%
PETROCÁLCICA	8.09	0.40%
RENDZINA LÍTICA FINA	63.37	3.10%
REGOSOL CALCÁREO GRUESA	22.36	1.10%
SOLONCHAK MÓLICO MEDIA	13.46	0.66%
SOLONCHAK GLEYCO GRUESA	35.78	1.75%
RENDZINA LÍTICA MEDIA	140.90	6.90%
GLEYSOL MÓLICO MEDIA	45.85	2.25%
LITOSOL MEDIA	1705.24	83.55%



Mapa 7. Mapa de Edafología Municipio de Tulum, fuente: INEGI, Proyección UTM, datum ITRF92 1988, asociado al GRS80

3.5. HIDROLOGÍA

Debido a las características fisiográficas del Municipio de Tulum, así como la distribución topográfica, no se tienen cuerpos correspondiente a ríos, más sin embargo, se presentan diferentes cuerpos siendo los principales Cenotes Y Laguas, por lo que se mencionan a continuación algunos de éstos, siendo los más importantes debido al tamaño que presentan.

EL GRAN CENOTE: se encuentra a unos 3.5 km de Tulum sobre la carretera que va hacia las ruinas mayas de Cobá, este maravilloso cenote es el más famoso del área cuya forma es circular, en su interior se encuentran formaciones denominadas estalactitas y estalagmitas, con una profundidad máxima de 10.0 m con gran cantidad de luz natural.

CENOTE DE LA CALAVERA: debe su nombre a que en el fondo puede verse un cráneo humano, aunque también se relaciona con los 3 orificio que en su cúpula se encuentran y simulan la cara de una calavera se ubica entre la selva y es semi abierto.



Imagen 2. Cenote Calavera, http://www.en-yucatan.com.mx/tulum/cenotes-tulum.php

CENOTE CAR WASH: es de fácil acceso y por esta bondad en un principio fue utilizado como lavadero de taxis hasta que se convirtió en parador turístico ofreciendo a sus visitantes un paisaje completamente natural y debido a esto se le quedo ese nombre. Con una extensión de 50 metro y una profundidad de 2 a 3 metros, se encuentra conectado con varios pasajes subacuáticos en los que se ven increíbles formaciones de estalactitas.

CENOTE CRISTAL: cenote abierto rodeado de naturaleza muy próximo Tulum.

CENOTE ZAZIL-HA: que en español significa “agua clara”, fue descubierto aproximadamente hace 30 años y ha sufrido diversos cambios para lograr activarlo como un complejo ecoturístico, tiene una profundidad de 2.5 a 3.0 m, con una caverna que llega a una cámara conocida como Las Lágrimas llamada así por sus estalactitas en forma de gotas, con una profundidad de 8 hasta 35 metros cubre una distancia de 2 kilómetros en los cuales se comunica con otros cenotes como el Car Wash y el Calavera.

CENOTE ESCONDIDO: ubicado a 3 km de la salida Sur de Tulum rodeado completamente por la naturaleza se encuentra enfrente al Cenote Cristal.

En la zona sur del municipio existen numerosas lagunas litorales ubicadas entre la Ciudad de Tulum y Punta Allen separadas del Mar Caribe por una delgada franja de tierra, estas son la Laguna Caampechen, la Laguna Boca Paila, la Laguna San Miguel, la Laguna Xamach y la Laguna Catoche; así mismo en la zona oeste del municipio se encuentran la Laguna Cobá, la Laguna Verde y la Laguna Nochacam en las inmediaciones de la zona arqueológica de Cobá.

Las aguas de la Reserva de la Biosfera son por lo general muy transparentes por su dureza y por la oligotrofia, debidas éstas a la presencia de un lecho calcáreo y poco soluble. Otro factor que contribuye a la transparencia es la poca proliferación de algas y plancton.
La precipitación media anual promediada de las diferentes estaciones meteorológicas cercanas al municipio presenta una precipitación media anual que comprende al periodo de 1951 al 2010 de 1,223.35 mm, en donde se tomaron en cuenta las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional de Cobá, Tulum, Carrillo Puerto Y Playa Del Carmen.

El agua de lluvia se filtra en la porosidad de la roca calcárea y da origen a las corrientes subterráneas que se manifiestan en los múltiples cenotes, lagunas y aguadas a lo largo de la Reserva. El agua de lluvia se filtra a través del sustrato poroso y corre lentamente bajo la superficie en dirección SW-NE. El nivel freático es muy cercano a la superficie se encuentra como máximo a 8 m y en las partes más bajas puede aflorar formando lagunas someras, o bien zonas inundables durante las lluvias. La superficie inundada a finales de la temporada lluviosa es superior al 70% en la parte terrestre. En la época seca un 20% de ésta permanece inundada y corresponde a las zonas de manglar chaparro donde la concentración salina es elevada.

LAGUNA CAAPECHEN: Esta laguna está dentro de la reserva de la biósfera de Sian Ka´an, con coordenadas 20°5'42"N 87°29'49"W, de color verde esmeralda que cambia de tonalidad a cada momento en cuyo centro hay un gran cenote de agua dulce que la alimenta, la laguna se extiende hasta el horizonte, puede recorrerse en lancha o kayak, para conocer las rutas de comercio maya a través de sus intrincados canales al tomar un tour de observación de aves de la región.

Tabla 5. Calidad del agua en las principales playas.

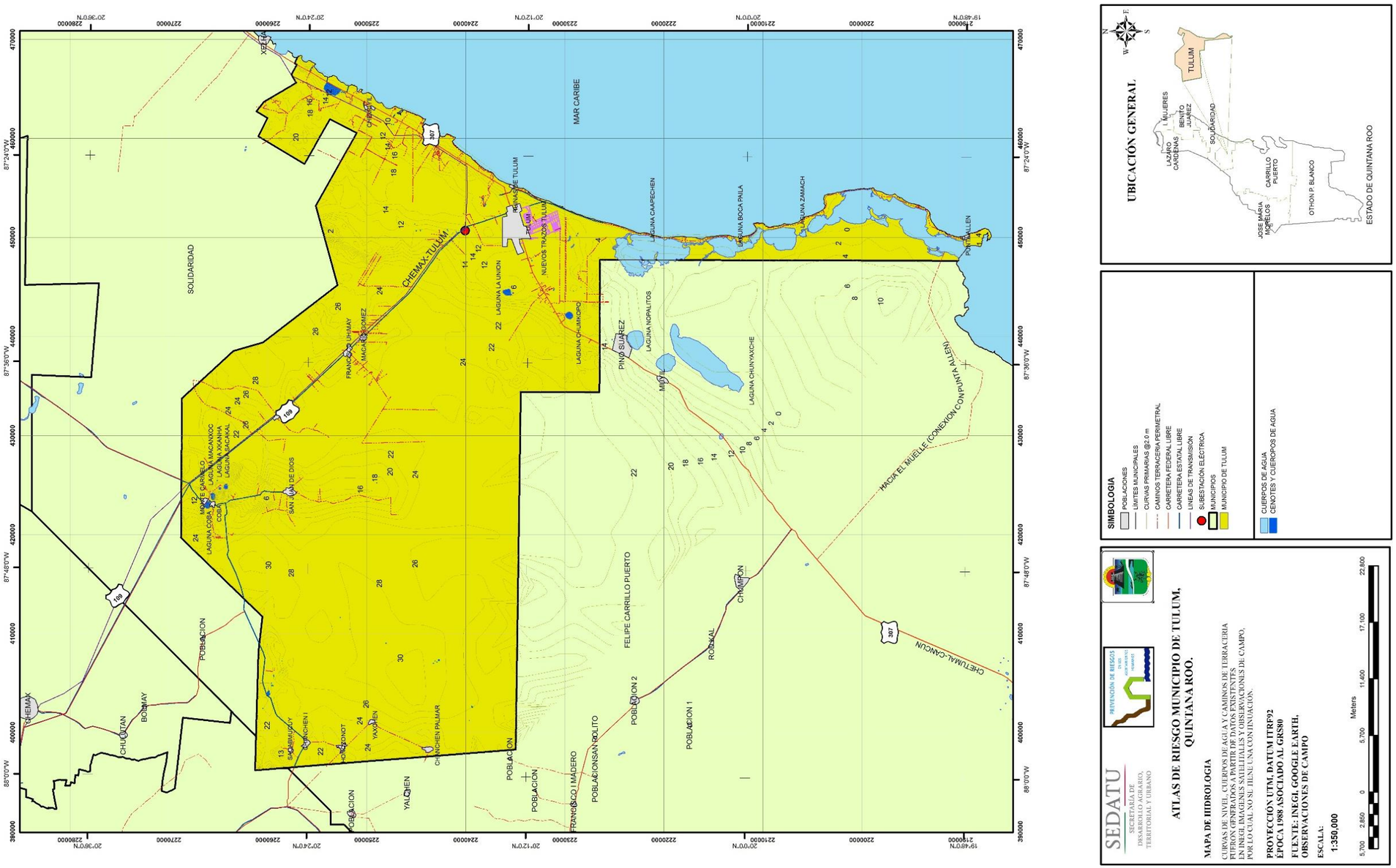
TULUM			
PLAYA	Sitio de Muestreo	FEBRERO	CLASIFICACIÓN
		07/02/2013	
Playa Zamas	**Zamas**	<10	**APTA**
Playa Maya	**Maya 1**	<10	**APTA**
	Maya 2	<10	**APTA**
	Maya 3	<10	**APTA**
Playa Xcacel	**Xcacel**	<10	**APTA**

CLASIFICACIÓN DE PLAYAS PARA USO RECREATIVO

NMP Enterococos/100 ml	
De 0 a 200	**APTA**
Mayor de 200	**NO APTA**

LINEAMIENTOS 2013, PROGRAMA: AGUA, PROYECTO: AGUA DE CONTACTO

http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/playas/playas_limpias/Documents/historico/QROO_2013.pdf



Mapa 8. Mapa de Hidrografía Municipio de Tulum, fuente: INEGI, GOOGLE EARTH PRO, Proyección UTM, datum ITRF92 1988, asociado al GRS80

3.6. CLIMA

Las clasificaciones climáticas agrupan características relacionadas con las condiciones atmosféricas más importantes para entender la distribución de los seres vivos y, por otro lado, la disponibilidad o limitación de éstos como recursos naturales para el ser humano. Los elementos climáticos más socorridos son, por lo regular, la temperatura y la precipitación pluvial. A través de las clasificaciones climáticas se describe el comportamiento de estos elementos a lo largo del año, comparando unas regiones con otras. La descripción del clima de una zona o región sintetiza en forma de letras o siglas sus características más importantes. A partir de 1964 Enriqueta García adaptó para las condiciones de México la clasificación mundial de Wilhelm Köppen. Ésta ha recibido el denominativo de sistema de Köppen modificado por García y ha sido usado oficialmente en el país, cuyos mapas a varias escalas han sido publicados por el actual INEGI y la Conabio. Básicamente, el sistema modificado consiste en que a la clasificación original se adicionaron algunos parámetros que son muy importantes para diferenciar los climas en México, los que se organizaron en grupos, tipos, subtipos y variantes climáticas. Los grupos climáticos originales de Köppen son los A cálidos húmedos tropicales; los B subdivididos en los subtipos BW secos desérticos y BS secos esteparios; los C templados; los D templados fríos, y los E subdivididos en los ET fríos de tundra o páramos y los EF muy fríos con nieves permanentes. Los regímenes de lluvia posibles en México son con lluvias en verano (w); abundantes todo el año (f); escasas todo el año (x'), y con lluvia en invierno (s). El caso de la península de Yucatán, en la que para el sistema original de Köppen se presentarían solamente dos tipos de climas: el seco estepario en el Noroeste y en todo el resto, el cálido con lluvias en verano. Sin embargo, se puede observar que la realidad es otra y que se presenta un importante gradiente de lluvia, mismo que además se denota por la transición de vegetación desde selva baja en el Norte a selva alta en el Sur; por lo tanto, es insuficiente la descripción climática de Köppen original. Las adiciones hechas al sistema modificado por García han sido: límites en las condiciones de temperatura, P/T, porcentaje de lluvia invernal, sequía intraestival, oscilación térmica (diferencia de temperatura entre el mes más cálido y el mes más frío). Así, cuando aparecen algunas letras del sistema modificado, éstas se encuentran en paréntesis para diferenciarlo del original de Köppen. La tabla que se presenta a continuación explica los colores y las siglas usadas.

Tabla 6. Clima del Municipio de Tulum.

POR SU HUMEDAD / TEMPERATURA	SUBHÚMEDOS						RÉGIMEN
	EL MÁS HÚMEDO		INTERMEDIO		EL MÁS SECO		
CÁLIDO T. media anual De 22 a 26ºC		Aw2 Aw2(w)		Aw1 Aw1(w)		Aw0 Aw0(w)	V
		Aw2(x´) Aw2(x´)w2		Aw1(x´) A(x´)w1		Aw0(x´) Ax´(w0)	I

Fuente: http://www.cambioclimatico.yucatan.gob.mx/atlas-cambio-climatico/pdf/tipos_climas.pdf

Datos del Servicio Meteorológico Nacional.

El clima en el Municipio de Tulum de acuerdo a los datos que se obtuvieron de los registros de diferentes estaciones climatológicas del servicio meteorológico nacional, presenta una temperatura media anual de 25.45°C, la cual se obtuvo como un promedio de cuatro diferentes estaciones meteorológicas tomándose en cuenta la estación de Cobá, Tulum, Carrillo Puerto Y Playa Del Carmen, con ello se logra abarcar de manera satisfactoria las variaciones que se presentan en el municipio, de acuerdo a los datos obtenidos se tiene una evaporación media de 1,546.03 mm, tanto la temperatura como la evaporación corresponden a periodos de 1951 al 2010.

La unidad climática de acuerdo a los datos del INEGI, el clima del Municipio de Tulum es cálido subhúmedo con lluvias en verano Aw2 (x'), cuya descripción de la nomenclatura se hace mención al inicio del apartado.

Los climas tropicales se extienden de norte a sur a partir del Trópico de Cáncer, a lo largo de las llanuras costeras del Golfo de México y del Océano Pacífico, así como en el Istmo de Tehuantepec y en gran parte de la Península de Yucatán. Estos climas se caracterizan porque su temperatura media anual es mayor a 18°C y llueve de 800 a 4 000 mm al año. La región está comprendida dentro de la zona ciclónica tropical del Caribe, y los vientos dominantes tienen una dirección este-sureste. Exceptuando la presencia eventual de los ciclones. (http://www.cambioclimatico.yucatan.gob.mx/atlas-cambio-climatico/pdf/tipos_climas.pdf).

Los valores de las tablas que se muestran a continuación, serán tomados en cuenta para la obtención de las temperaturas medias anuales, así como precipitación, evaporación, niebla, granizo y tormentas eléctricas, para la verificación del comportamiento de las ondas cálidas y gélidas la información se ampliará a otras estaciones próximas al municipio para obtener datos más precisos a cerca del comportamiento de las mismas.

Tablas 7. Estaciones Meteorológicas.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL
NORMALES CLIMATOLÓGICAS
ESTADO DE: QUINTANA ROO PERÍODO: 1951-2010

ESTACIÓN: 00023012 COBA LATITUD: 20°29'19" N. LONGITUD: 087°44'15" W. ALTURA: 5.0 MSNM.

ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MÁXIMA													
NORMAL	26.6	27.8	29.2	30.9	32.0	32.1	32.3	32.4	31.2	29.3	28.7	27.5	30.0
MÁXIMA MENSUAL	30.5	32.0	33.2	34.3	35.7	35.6	35.5	35.2	35.0	33.5	32.3	32.5	
AÑO DE MÁXIMA	1972	2001	1973	2006	1978	1973	1971	2008	2008	2009	1972	2005	
MÁXIMA DIARIA	33.5	34.5	38.0	39.5	40.0	39.0	39.5	40.0	38.5	37.0	35.5	34.5	
FECHA MÁXIMA DIARIA	28/1973	27/1975	14/1974	03/1975	07/1978	19/1972	25/1971	10/1974	15/2008	01/1973	03/1972	03/2005	
AÑOS CON DATOS	24	25	25	25	24	25	26	24	25	24	23	25	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	20.6	21.4	22.9	24.6	25.9	26.7	26.7	27.0	26.1	24.5	23.2	21.6	24.3
AÑOS CON DATOS	24	25	25	25	24	25	26	24	25	24	23	25	
TEMPERATURA MÍNIMA													
NORMAL	14.7	15.1	16.6	18.4	19.9	21.3	21.1	21.7	21.0	19.7	17.1	15.6	18.5
MÍNIMA MENSUAL	5.6	5.1	5.6	5.9	7.5	8.8	10.2	19.5	8.8	7.3	4.1	10.0	
AÑO DE MÍNIMA	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2002	2007	2007	2007	2003	
MÍNIMA DIARIA	2.0	1.0	1.5	2.5	5.5	7.5	8.5	17.0	7.0	1.5	0.0	6.5	
FECHA MÍNIMA DIARIA	29/2007	16/2007	05/2007	16/2007	11/2007	06/2007	23/2007	16/1971	22/2007	24/2007	09/2007	12/1973	
AÑOS CON DATOS	24	25	25	25	24	25	26	24	25	24	24	26	
PRECIPITACIÓN													

NORMAL	52.7	38.2	40.4	59.9	99.7	138.2	106.5	152.3	194.4	134.9	66.4	36.6	1,120.2
MÁXIMA MENSUAL	171.0	119.5	177.5	372.9	293.8	344.9	250.8	323.5	359.1	431.1	132.4	197.7	
AÑO DE MÁXIMA	1994	2002	1990	2010	2001	1993	2005	2000	1994	1998	1997	1972	
MÁXIMA DIARIA	60.0	78.7	69.0	103.8	112.0	100.0	87.0	86.7	84.8	80.0	117.3	78.3	
FECHA MÁXIMA DIARIA	01/1974	11/2008	19/1990	21/2010	27/2001	16/1993	21/2005	19/1973	03/1974	10/1995	30/2001	31/1972	
AÑOS CON DATOS	24	25	25	25	24	25	26	24	25	24	24	26	

EVAPORACIÓN TOTAL

NORMAL	90.0	105.9	149.0	172.1	176.4	142.3	149.7	144.7	119.5	114.1	88.6	81.1	1,533.4
AÑOS CON DATOS	24	24	24	24	23	24	24	22	23	23	23	25	

NUMERO DE DÍAS CON

LLUVIA	4.3	2.9	2.8	3.0	4.7	7.5	7.2	9.5	12.4	9.3	6.1	3.5	73.2
AÑOS CON DATOS	24	25	25	25	24	25	26	24	25	24	24	26	

NIEBLA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AÑOS CON DATOS	24	25	25	25	24	25	26	25	25	25	24	26	

GRANIZO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AÑOS CON DATOS	18	19	19	19	19	19	20	20	20	20	19	19	

TORMENTA E.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.4
AÑOS CON DATOS	24	25	25	25	25	25	26	25	25	25	24	26	

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL
NORMALES CLIMATOLÓGICAS
ESTADO DE: QUINTANA ROO PERÍODO: 1951-2010

ESTACIÓN: 00023025 TULUM LATITUD: 20°13'32" N. LONGITUD: 087°27'29" W. ALTURA: 10.0 MSNM.

ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MÁXIMA													
NORMAL	29.3	29.8	30.9	31.4	32.2	32.0	32.3	32.4	31.8	31.2	30.5	29.4	31.1
MÁXIMA MENSUAL	32.2	33.4	35.7	34.0	37.9	34.6	34.4	35.1	34.3	33.2	36.0	32.1	
AÑO DE MÁXIMA	1975	1975	1976	2009	1981	1978	1999	1988	2008	1974	1974	1983	
MÁXIMA DIARIA	37.5	39.0	41.5	42.0	43.0	45.0	38.0	44.0	41.0	39.0	39.5	37.0	
FECHA MÁXIMA DIARIA	08/1976	09/2008	26/2007	19/2009	08/1980	03/2005	19/1979	20/1983	05/1988	14/2005	09/1970	13/1976	
AÑOS CON DATOS	36	33	32	31	33	33	37	35	35	39	38	38	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	23.5	24.0	25.4	26.2	27.0	27.2	27.0	27.1	26.6	25.9	24.9	23.8	25.7
AÑOS CON DATOS	36	33	32	30	33	33	37	35	35	39	38	38	
TEMPERATURA MÍNIMA													
NORMAL	17.8	18.2	19.8	21.1	21.8	22.5	21.7	21.7	21.4	20.6	19.4	18.2	20.4
MÍNIMA MENSUAL	11.3	11.4	13.8	14.6	13.5	16.1	10.7	16.0	11.8	8.2	14.1	12.6	
AÑO DE MÍNIMA	1992	1991	1992	1992	1992	1995	1975	1992	1992	1992	1991	2010	
MÍNIMA DIARIA	7.0	4.3	7.2	7.1	8.2	11.2	9.0	10.0	5.3	4.4	9.0	7.0	
FECHA MÍNIMA DIARIA	02/1980	10/1991	06/1991	29/1992	08/1992	24/1992	13/1975	07/1992	29/1992	22/1992	02/1992	30/1980	
AÑ0S CON DATOS	36	33	32	30	33	33	37	35	35	39	38	38	
PRECIPITACIÓN													
NORMAL	60.7	48.3	31.2	38.8	103.6	156.5	102.0	101.7	167.2	178.1	83.7	65.0	1,136.8
MÁXIMA MENSUAL	180.0	249.3	92.6	116.4	380.0	410.8	417.1	369.5	411.0	464.4	260.2	172.4	
AÑO DE MÁXIMA	1986	2002	1987	1992	2010	1988	2005	1973	1988	2008	1997	1991	
MÁXIMA DIARIA	120.5	100.0	54.8	70.0	198.0	150.0	164.5	140.0	200.0	140.0	80.0	94.1	
FECHA MÁXIMA DIARIA	17/1986	10/2002	05/1989	09/2003	19/2010	26/2010	18/2005	20/1973	14/1988	07/1971	28/2000	03/1985	
AÑOS CON DATOS	36	33	32	31	33	33	37	34	35	38	37	37	
EVAPORACIÓN TOTAL													
NORMAL	101.3	113.9	143.0	160.2	165.8	149.9	158.1	155.2	134.8	123.6	111.3	98.3	1,615.4

AÑOS CON DATOS	31	29	26	26	28	25	27	26	26	27	28	28	
NUMERO DE DÍAS CON LLUVIA	7.2	4.7	3.3	3.3	6.1	9.7	8.5	9.1	12.8	11.4	8.5	7.1	91.7
AÑOS CON DATOS	36	33	32	31	33	33	37	34	35	38	37	37	
NIEBLA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AÑOS CON DATOS	36	34	32	31	34	33	37	36	35	39	38	38	
GRANIZO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AÑOS CON DATOS	30	28	26	25	28	28	32	30	29	33	32	32	
TORMENTA E.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.5
AÑOS CON DATOS	36	34	32	31	34	33	38	36	35	39	38	38	

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL
NORMALES CLIMATOLÓGICAS
ESTADO DE: QUINTANA ROO PERÍODO: 1951-2010

ESTACIÓN: 00023003 FELIPE CARRILLO PUERTO (DGE) LATITUD: 19°34'32" N. LONGITUD: 088°02'42" W. ALTURA: 17.0 MSNM.

ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MÁXIMA													
NORMAL	28.8	29.9	31.7	33.2	34.0	33.1	33.2	33.4	33.0	31.8	30.3	29.0	31.8
MÁXIMA MENSUAL	31.7	32.1	34.7	36.6	37.9	37.3	35.2	36.3	35.6	34.5	32.0	31.5	
AÑO DE MÁXIMA	2004	1960	1964	1964	1980	1980	2004	2004	2006	1966	1987	1986	
MÁXIMA DIARIA	37.0	39.0	42.0	44.0	40.5	40.0	39.0	38.5	40.0	38.0	37.5	39.5	
FECHA MÁXIMA DIARIA	13/1969	27/1958	28/1984	20/1964	03/1964	26/2004	25/1975	27/1958	10/2008	19/1966	01/1985	29/1978	
AÑOS CON DATOS	57	56	56	56	56	56	56	57	57	56	56	55	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	22.9	23.6	25.2	26.7	28.0	27.8	27.9	27.8	27.7	26.5	24.8	23.3	26.0
AÑOS CON DATOS	57	56	56	56	56	56	56	57	57	56	56	55	
TEMPERATURA MÍNIMA													
NORMAL	17.0	17.2	18.7	20.3	22.0	22.5	22.5	22.2	22.4	21.2	19.2	17.7	20.2
MÍNIMA MENSUAL	13.4	13.6	14.0	16.0	19.9	10.3	19.9	10.7	19.9	18.3	14.5	13.7	

AÑO DE MÍNIMA	2010	1968	2010	1971	1971	1953	2008	1954	2007	2010	2008	1973	
MÍNIMA DIARIA	4.5	7.0	8.0	10.0	13.5	5.0	15.5	6.0	17.0	11.5	9.0	7.5	
FECHA MÍNIMA DIARIA	22/1981	08/1968	14/1968	14/1971	10/1958	23/1953	18/1958	14/1954	15/2007	24/1999	30/1966	15/1968	
AÑOS CON DATOS	57	56	56	56	56	56	56	57	57	56	56	55	
PRECIPITACIÓN													
NORMAL	54.4	50.2	38.5	40.4	117.0	171.8	150.2	160.3	210.4	170.8	84.2	57.0	1,305.2
MÁXIMA MENSUAL	156.9	264.0	144.5	115.7	360.1	387.0	506.9	322.4	495.3	422.0	443.8	173.8	
AÑO DE MÁXIMA	1994	1982	1996	1995	2010	1957	1981	2000	1981	1983	1997	2006	
MÁXIMA DIARIA	80.4	133.0	132.4	74.0	145.4	133.5	100.0	111.0	244.0	161.5	114.8	78.8	
FECHA MÁXIMA DIARIA	18/1980	28/1982	03/1996	23/1959	18/2010	25/1957	15/1960	21/1959	14/1988	05/1954	23/1997	12/1972	
AÑOS CON DATOS	58	57	57	57	56	56	56	57	57	57	57	56	
EVAPORACIÓN TOTAL													
NORMAL	87.2	104.9	150.0	165.6	167.6	144.8	145.9	133.2	114.5	106.1	88.4	81.1	1,489.3
AÑOS CON DATOS	45	44	39	40	36	39	40	43	42	43	45	45	
NUMERO DE DÍAS CON													
LLUVIA	8.4	5.7	4.1	3.6	7.8	13.6	13.9	14.9	17.2	15.4	10.4	8.9	123.9
AÑOS CON DATOS	58	57	57	57	56	56	56	57	57	57	57	56	
NIEBLA	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.5
AÑOS CON DATOS	58	57	57	57	56	55	55	57	57	57	57	55	
GRANIZO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AÑOS CON DATOS	51	50	50	50	50	50	50	51	51	51	51	49	
TORMENTA E.	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.4	0.0	0.3	0.0	0.0	1.2
AÑOS CON DATOS	58	57	57	57	56	55	55	57	57	57	57	55	

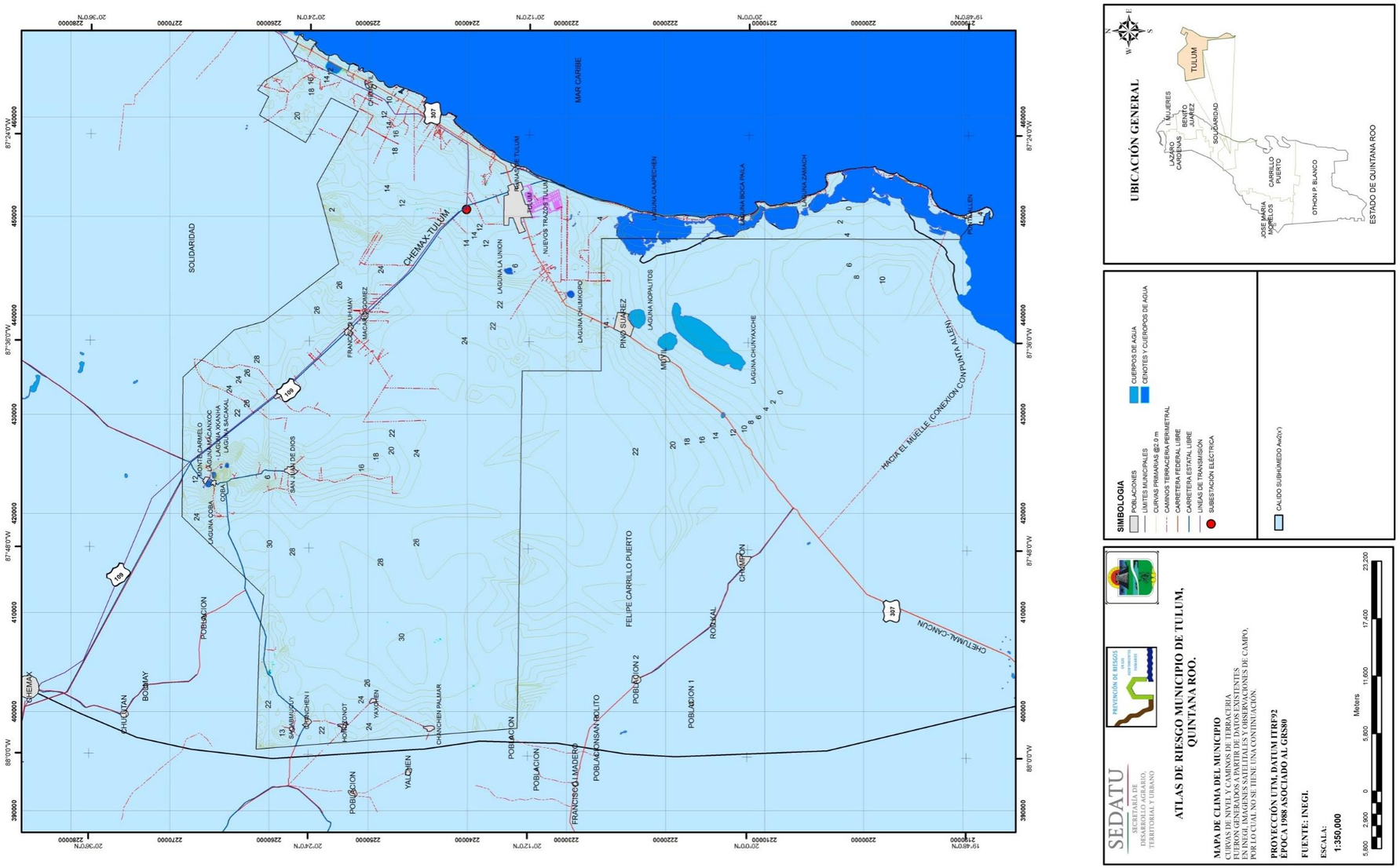
SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL
NORMALES CLIMATOLÓGICAS
ESTADO DE: QUINTANA ROO PERÍODO: 1951-2010
ESTACIÓN: 00023163 PLAYA DEL CARMEN LATITUD: 20°38'04" N. LONGITUD: 087°04'40" W. ALTURA: 9.0 MSNM.

ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MÁXIMA													
NORMAL	27.8	28.5	29.6	30.8	31.7	32.0	32.5	32.9	32.6	30.8	29.3	28.6	30.6
MÁXIMA MENSUAL	29.2	29.3	30.9	32.8	32.9	33.0	33.5	33.9	33.2	31.8	31.8	31.1	
AÑO DE MÁXIMA	1999	2001	1998	1998	1999	1998	2000	2004	1998	2004	2001	2001	
MÁXIMA DIARIA	37.5	33.0	34.0	39.0	40.0	39.0	39.0	39.5	39.0	34.0	35.0	39.0	
FECHA MÁXIMA DIARIA	04/1999	23/1998	28/2007	03/1998	01/2005	01/1998	30/2004	20/1999	15/2010	04/1998	23/2001	25/1998	
AÑOS CON DATOS	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	22.8	23.4	24.3	26.1	27.3	27.9	28.0	28.0	27.9	26.3	24.4	23.4	25.8
AÑOS CON DATOS	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	
TEMPERATURA MÍNIMA													
NORMAL	17.9	18.3	19.0	21.3	22.9	23.7	23.5	23.2	23.1	21.7	19.4	18.2	21.0
MÍNIMA MENSUAL	13.8	15.8	15.1	18.5	19.2	20.2	19.9	20.7	20.5	18.4	16.4	15.5	
AÑO DE MÍNIMA	2001	2000	1998	2000	2001	2001	2000	1998	2000	2000	1999	2000	
MÍNIMA DIARIA	8.0	7.0	5.0	10.0	15.0	14.0	13.0	15.0	14.0	13.5	11.0	9.0	
FECHA MÍNIMA DIARIA	05/2001	08/1998	13/1998	24/1998	08/2001	26/2001	16/2000	01/1998	05/2000	26/1999	18/1999	21/2000	
AÑOS CON DATOS	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	
PRECIPITACIÓN													
NORMAL	61.2	50.5	28.1	51.2	78.1	153.0	126.3	126.3	168.8	284.3	130.3	73.1	1,331.2
MÁXIMA MENSUAL	174.9	162.7	71.0	286.0	218.0	556.0	335.0	388.8	391.6	538.0	275.1	230.0	
AÑO DE MÁXIMA	1998	2007	2006	2010	1998	2004	2010	2006	2000	2005	2009	2001	
MÁXIMA DIARIA	48.0	60.0	58.0	81.6	64.0	283.0	117.0	160.8	177.0	240.0	75.3	88.0	
FECHA MÁXIMA DIARIA	14/2008	26/2006	04/2001	14/2010	27/2001	12/2004	06/2010	08/2006	14/2000	21/2005	06/2009	17/2001	
AÑOS CON DATOS	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	
NUMERO DE DÍAS CON LLUVIA	7.7	4.4	3.8	3.7	6.5	10.6	9.3	9.6	14.5	15.9	9.5	7.3	102.8
AÑOS CON DATOS	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	

NIEBLA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.5
AÑOS CON DATOS		10	11	11	11	11	11	11	8	10	10	10	11

Tablas obtenidas del servicio meteorológico nacional.

Hidrológicamente casi todo el territorio pertenece a la Región Hidrológica Yucatán Norte (Yucatán) y a la Cuenca Quintana Roo, sólo dos pequeñas porciones del extremo sur del municipio limítrofes con el de Carrillo Puerto se encuentran en la Región Hidrológica Yucatán Este (Quintana Roo) y en las cuencas Cerradas y Bahía de Chetumal.



Mapa 9. Mapa de Clima del Municipio de Tulum, fuente INEGI, SMN, Proyección UTM, datum ITRF92 1988, asociado al GRS80

3.7. USO DE SUELO Y VEGETACIÓN.

Selva mediana subcaducifolia, selva baja inundable, palmar inundable y sabana

Flora característica: Acacia globulifera, tasiste Acoelorrhaphe wrightii, Annona glabra, Atriplex cristata, Bactris balanoidea, Bucida buceras, chaca Bursera simaruba, Caesalpinia gaumeri, Cameraria latifolia, Capparis flexuosa, C. incana, Coccoloba reflexiflora, C. uvifera, palmas nakax Coccothrinax readii y Pseudophoenix sargentii, Cordia sebestena, Crescentia cujete, Curatella americana, Cyperus planifolius, Dalbergia glabra, Eugenia lundellii, palo tinte Haematoxylum campechianum, Hampea trilobata, Hyperbaena winzerlingii, Ipomoea violacea, chechén Metopium brownei, Pouteria campechiana, P. chiricana, Roystonea dunlapiana. La flora fitoplanctónica de los cenotes generalmente está dominada por diatomeas como Amphora ovalis, Cocconeis placentula, Cyclotella meneghiniana, Cymbella turgida, Diploneis puella, Eunotia maior, E. monodon, Gomphonema angustatum, G. lanceolatum, Nitzchia scalaris, Synedra ulna y Terpsinoe música.

Selvas bajas inundables. Las selvas bajas inundables son endémicas o exclusivas de la Península de Yucatán y en Sian Ka´an están presentes en reholladas y ak´alchés (una planicie con pendientes menores donde se localizan pequeños manchones aislados de suelos que en la terminología maya se denominan Akalchés) dispersos e inundables, con alturas variables de 6 a 14 m. Las especies dominantes son chechem negro (Metopium brownei), chicozapote, pucté (Bucida buceras) y dzalam en las partes más altas, y en aquellas más inundables son característicos el tinte (Haematoxilon campechianum), el pucté enano (Bucida spinosa), Dalbergia glabra, la jícara (Crescentia cujete) y otros arbolillos resistentes a la inundación periódica del suelo.

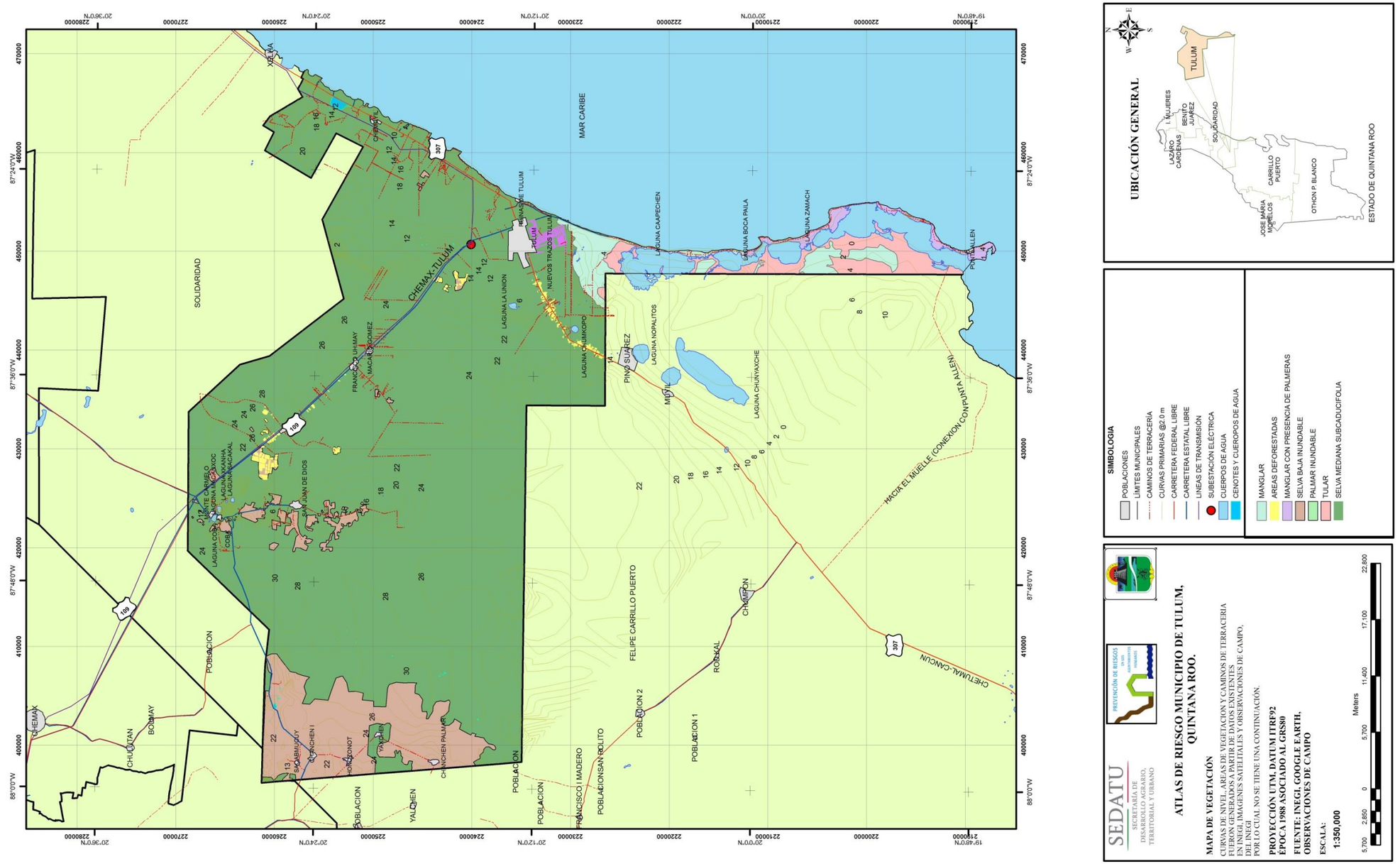
Petenes. Son formaciones exclusivas de la región que incluye principalmente a las Penínsulas de Yucatán y Florida. Son islas de selva entre las marismas, formadas por parches de suelo algo más elevado y por tanto a salvo de la inundación, de la intrusión salina. Sus tamaños varían de unas pocas decenas de metros de diámetro hasta más de 1 Km. Los más grandes suelen presentar un cenote en su centro. Existen dos tipos petenes, los inundables y los no inundables, de acuerdo al tipo de suelo donde se desarrollan. En Sian Ka´an existen centenares de petenes, posiblemente más que en ninguna otra área protegida del mundo.

Problemática:

Modificación del entorno: turismo excesivo y deforestación, contaminación por aguas residuales.

Sian Ka´an incluye las principales comunidades propias de la Península de Yucatán y el Caribe y se sitúa como una zona de transición que permite la diversidad de ambientes en donde se desarrollan organismos tanto mesoamericanos como antillanos. Las principales comunidades son:

- Selvas tropicales con 4 subtipos (selva mediana subperennifolia, selva baja subcaducifolia, selva baja caducifolia y selva baja inundable).
- Vegetación inundable que comprende cayos, manglares de franja, manglares chaparros, marismas de zacate, tasistales y comunidades inundables arboladas con dosel abierto.
- Comunidades arbustivas que incluyen acahuales (vegetación secundaria), quemadales, vegetación de dunas costeras y áreas perturbadas.
- Cuerpos de agua como cenotes, lagunas interiores, las lagunas costeras y canales de escorrentía.
- Bahías representadas por cuerpos de agua marina someros con influencia de agua dulce.
- Plataforma arrecifal que abarca hasta la isobata de 50 m hacia mar abierto.



Mapa 10. Mapa de Vegetación del Municipio de Tulum, fuente INEGI-GOOGLE EARTH PRO, Proyección UTM, datum ITRF92 1988, asociado al GRS80.

En el mapa anterior correspondiente a la vegetación, se observa la distribución de ésta (color verde), el amarillo representa zonas donde se carece de vegetación debido a las inundaciones que se presentan, así mismo el color en morado representan zonas de deforestación, al norte y noreste del municipio principalmente en las zonas correspondientes a Chanchen, Chanchen Palmar, Sacabmucuy, Hondzonot y San Juan, presentan zonas de cultivo.

Los tipos de vegetación más importantes son, de acuerdo con Miranda (1959): selva mediana subperennifolia, selva mediana subcaducifolia y selva baja caducifolia (Cabrera, et al.), 1982). También existen asociaciones de menor extensión, de distribución irregular como manglar, sabana, tintal, chechenal, tasistal, carrizal-sabal-tular y dunas costeras. Biogeográficamente, la flora en general presenta una gran similitud con la de la provincia de la costa del Golfo de México, pero destaca un número considerable de endemismos y una estrecha relación con las Antillas, mayores que cualquier otra parte de la República Mexicana La flora de Sian Ka´an es variada. Actualmente se tienen clasificadas 800 especies. Todas estas especies se agrupan en un mosaico formado por diferentes comunidades o tipos de vegetación que dependen de las condiciones edáficas e hídricas.

USO DEL SUELO.

Actividades agrícolas (maíz, fríjol, camote, calabaza, yuca, macal, chile, sandía, plátano, jícama, otras), forestales (madera para durmientes, tabla, postes, hojas de palma para techado, extracción de chicle, miel), cacería de autoconsumo (venado, jabalí, tepescuintle, tejón, pavo ocelado, chachalaca), pesca (langosta, escama), turismo y desarrollo costero (http://ramsar.conanp.gob.mx/docs/sitios/FIR_RAMSAR/Quintana_Roo/Sian%20Ka'an/Sian%20Ka'an.pdf.

Tabla 8. Distribución de vegetación.

TIPO	ÁREA km2	PORCENTAJE
área deforestada	12.05	0.59%
Mangle	18.307	0.89%
selva baja inundable	192.55	9.43%
palmar inundable	3.31	0.162%
Tular	50.65	2.481%
selva mediana subcaducifolia	1,764.07	86.43%

3.8. ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS.

RESERVA DE LA BIÓSFERA SIAN KA'AN:

Sian Ka'an se localiza entre las coordenadas 19º 05' - 20º 07' de latitud norte, y 87º 22' - 88º 02' de longitud oeste. Ocupa una superficie de 528 mil 147 hectáreas, que pertenecen a los municipios quintanarroenses de Felipe Carrillo Puerto y Tulum. Los ejidos que colindan con la Biósfera son el de Pino Suárez, Chunyaxché, Felipe Carrillo Puerto, X-Hazil Sur y Andrés Quintana Roo.

La Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an (cuyo nombre en maya significa Puerta del Cielo) forma parte de la provincia geológica de la Península de Yucatán, cuya principal característica es la plenitud de su relieve y que su superficie está constituida principalmente por piedra caliza, misma que impide la formación de corrientes superficiales de agua y favorece el afloramiento de cenotes en México. Frente a la costa de Sian Ka'an, en el Mar Caribe , se ubica un complejo de arrecifes coralinos que constituyen el segundo más amplio en su tipo, después de la Gran Barrera de Arrecifes, al oriente de la costa de Australia.

En la costa de esta Reserva de la Biósfera se localizan amplias playas de arena blanca, pequeñas bahías y manglares, entre otros sistemas ecológicos. Cada uno de estos espacios alberga distintos tipos de fauna. El clima es cálido subhúmedo, y la época de lluvias se presenta durante el verano. Debido a su ubicación frente a las costas del Caribe, Sian Ka'an está expuesta a los huracanes que tienen lugar en el mar Caribe entre los meses de junio y noviembre. Debido al deficiente drenaje natural de la zona, en la época de lluvias buena parte de su superficie permanece anegada en el verano. Se pueden encontrar 4 tipos de manglares que son el mangle rojo, mangle negro, mangle blanco y mangle gris.

Un ecosistema muy peculiar en los humedales de Sian Ka'an es el de los llamados petenes, unas masas de árboles que pueden medir hasta treinta metros de altura y que se levantan entre las hierbas de los pantanos. Estas formaciones vegetales son casi únicas en el mundo, pues fuera de la península de Yucatán, no existen más que en el estado norteamericano de Florida, donde se les conoce como hammocks y en Cuba, donde se les llama cayos de monte. En su mayoría tienen forma oval o circular y su tamaño varía desde unas decenas de metros hasta casi dos kilómetros de diámetro. Se generan debido a la presencia de manantiales de agua dulce, que brotan en medio de los pantanos de agua salobre.

Hay 23 yacimientos arqueológicos en la reserva, incluyendo a Muyil y Tampak, entre otros.

En 1993 es editado el programa de manejo de la reserva que incluye diversos componentes a ejecutar, así como sus normas de uso y zonificación. Entre los principales componentes se pueden citar el de conservación que incluye inspección y vigilancia, prevención y combate de incendios forestales, así como restauración ecológica. El de desarrollo social sostenible que incluye el manejo de recursos naturales; el de uso público dividido en participación local, patrimonio arqueológico y cultural, recreación y educación ambiental y promoción. Así como la promoción de la investigación científica y la administración.

La Reserva es administrada por el gobierno federal de México por conducto de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas que colabora muy estrechamente con organizaciones no gubernamentales, organizaciones de productores, instituciones de investigación y la iniciativa privada.

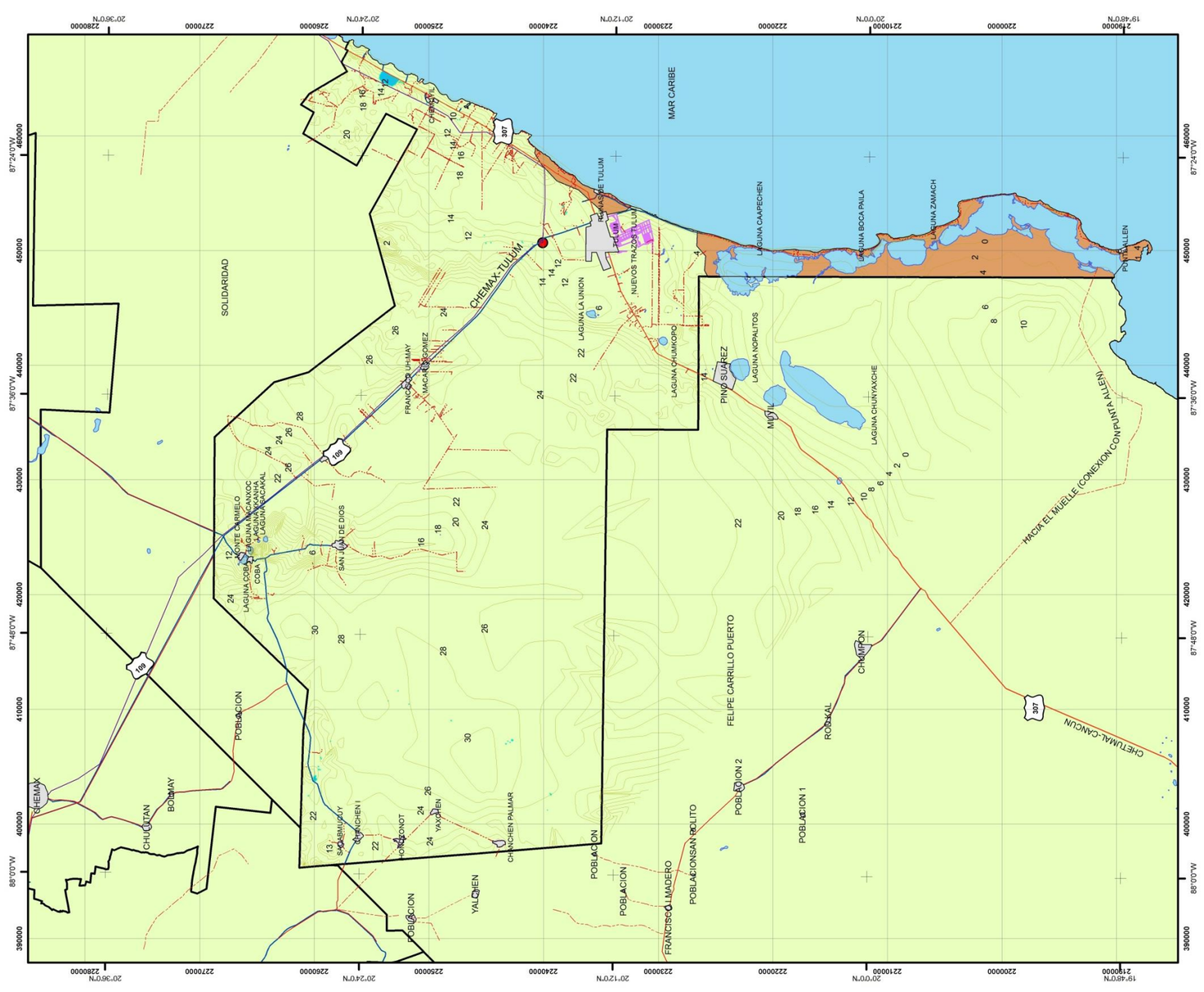
Quintana Roo se ha convertido en uno de los principales destinos turísticos de México en las últimas décadas. En el territorio de éste que es el estado más oriental del país se ubican importantes centros turísticos como Cancún, Cozumel e Isla Mujeres. Aunque la afluencia de turistas a Sian Ka'an es todavía limitada, la presencia de esos importantes polos de atracción constituye un factor que amenaza el equilibrio ecológico en la reserva de la biosfera si no se imponen algunas restricciones al turismo en la zona.

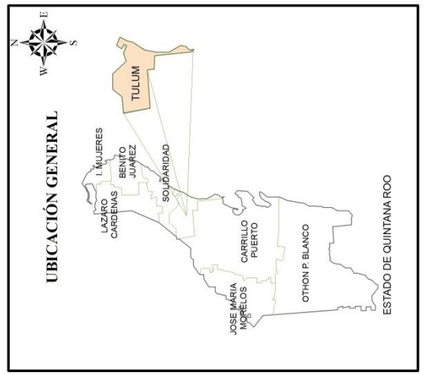
Por otra parte, los ecosistemas de la región han sido afectados por la actividad humana en los últimos años. Algunas zonas de la reserva han sido deforestadas para extraer de ellas especies maderables. La devastación de la flora original ha propiciado la introducción de especies extrañas como la casuarina. Por otra parte, el tráfico marítimo ha puesto en peligro la barrera de arrecifes y los ecosistemas asociados. Wiki

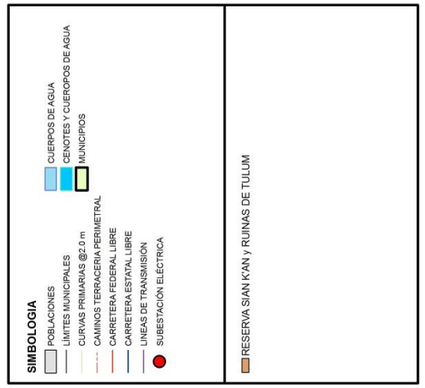
PARQUE NACIONAL TULUM.

El Parque Nacional Tulum tiene una extensión de 664 hectáreas, las cuales se distribuyen principalmente a lo largo de la zona costera y El Parque colinda hacia el este con la zona federal marítima terrestre y al oeste con la Carretera Federal 307, se encuentra en el estado de Quintana Roo, en el Municipio de Tulum. El Parque Nacional Tulum constituye la única Área Natural Protegida (ANP) terrestre en el corredor Cancún-Tulum (Riviera Maya) y está ubicado alrededor de la zona arqueológica conocida como la zona “amurallada” de Tulum.

A pesar de ser un área relativamente pequeña posee una gran variedad de tipos de ambientes, como los manglares de singular belleza, que en su interior albergan diversas especies de flora y fauna características de la región, las playas y los cenotes. Los diversos ambientes de esta ANP son el hábitat de plantas y animales representativos del corredor Cancún-Tulum (algunas de ellas en estatus de riesgo, endémicas, amenazadas y en peligro de extinción), como es el caso de las tortugas marinas, blanca y caguama que anidan en las playas del Parque y están protegidas por el Gobierno Federal Mexicano. (http://tulum.conanp.gob.mx/)







SEDATU
SECRETARÍA DE DESARROLLO AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO

PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS

ATLAS DE RIESGO MUNICIPIO DE TULUM, QUINTANA ROO.

MAPA DE AREAS NATURALES PROTEGIDAS
CURVAS DE NIVEL Y CAMINOS DE TERRACERIA
FUERON GENERADAS A PARTIR DE LOS SIGUIENTES
EN INEGI, IMAGENES SATELITALES Y OBSERVACIONES DE CAMPO,
ASÍ MISMO LAS AREAS NATURALES PROTEGIDAS FUERON
DIGITALIZADAS DE LOS DATOS DE LA CONABIO
POR LO CUAL NO SE TIENE UNA CONTINUACIÓN.
PROYECCION UTM, DATUM ITRF92
ÉPOCA 1988 ASOCIADO AL GRS80

FUENTE: CONABIO

ESCALA:
1:350,000

5,750 2,875 0 5,750 11,500 17,250 23,000
Meters

PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS

Mapa 11. Mapa de las Áreas Naturales Protegidas del Municipio de Tulum, Proyección UTM, datum ITRF92 1988, asociado al GRS80.

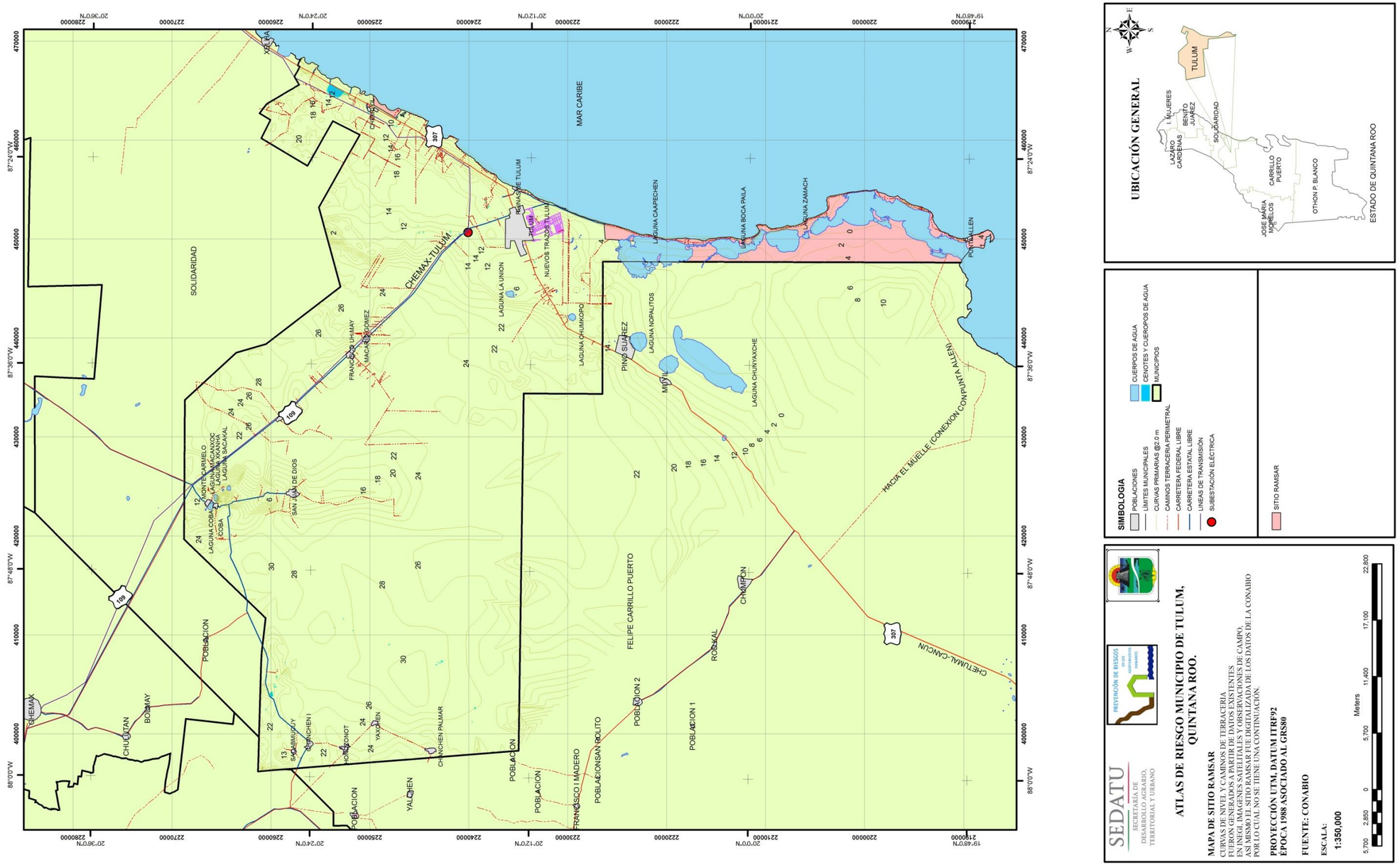
3.9. SITIO RAMSAR.

Porción oriental de la Península de Yucatán y Mar Caribe, en el Municipio de Felipe Carrillo Puerto, Estado de Quintana Roo, México. Se estima una población de 1,000 habitantes al interior del humedal. Existen 2 pequeñas comunidades (Col. Javier Rojo Gómez, Punta Allen) y Punta Herrero, y un campamento pesquero (María Elena) asentados en el área. Ciudades y pueblos en el Área de Influencia: Felipe Carrillo Puerto ubicado a 40 Km. al poniente del humedal y Tulum ubicado a 10 Km. al norte del humedal.
Altitud: (media y/o máx. y mín.) 0- 5 m.s.n.m

Sian Ka'an posee una superficie de 652,193 ha que comprende a la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an (528,147 ha), Reserva de la Biósfera Arrecifes de Sian Ka'an (34,927 ha) y el Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil (89,118 ha).
Sian ka'an contiene los hábitats naturales de mayor importancia para la conservación de la biodiversidad in situ, incluyendo especies amenazadas o en peligro de extinción con valor excepcional universal desde el punto de vista de la ciencia o la conservación. Especies de plantas amenazadas o en peligro de extinción: Palmas chit (Thrinax radiata), nakax (Coccothrinax readii), tasiste (Acoelorraphe wrightii) y kuka (Pseudophoenix sargentii), despeinada (Beaucarnea ameliae) (NOM 059).

Tabla 9. Distribución de Zonas protegidas y sitio ramsar.

TIPO	ÁREA KM^2	PORCENTAJE
ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS	153.25	7.50%
SITIO RAMSAR	145.88	7.14%



Mapa 12. Mapa de Sitio Ramsar del Municipio de Tulum, Proyección UTM, datum ITRF92 1988, asociado al GRS80.

CAPÍTULO 4. CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS SOCIALES, ECONÓMICOS Y DEMOGRÁFICOS.

4.1. ELEMENTOS DEMOGRÁFICOS: DINÁMICA DEMOGRÁFICA, PROYECCIÓN DE POBLACIÓN AL 2030, DISTRIBUCIÓN DE POBLACIÓN, DENSIDAD DE POBLACIÓN PIRÁMIDE DE EDADES, MORTALIDAD.

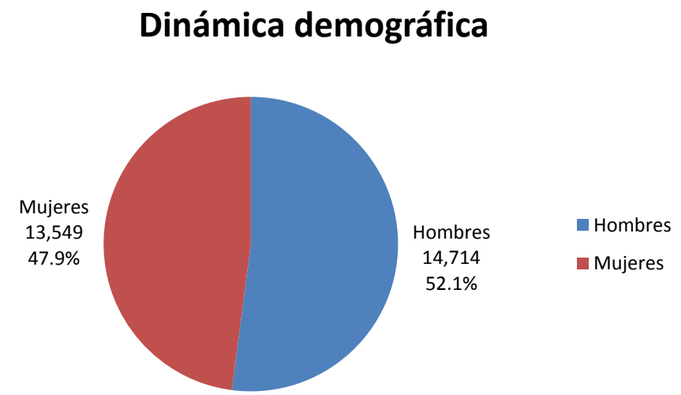
POBLACIÓN DEL MUNICIPIO CON RESPECTO AL ESTADO DE QUINTANA ROO.

De acuerdo a los censos de realizados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el Estado de Quintana Roo al 2010 presentan una población total de 1,325,578 habitantes de los cuales 28,263 pertenecen al Municipio de Tulum, lo cual representa un 2.132% de la distribución, en el estado hay 673,220 hombres y 652,358 mujeres, en el municipio de acuerdo a los censos existen 14,714 hombres y 13,549 mujeres lo cual representa el 2.18% y 2.07% respectivamente en comparación con las cifras estatales.

DINÁMICA DEMOGRÁFICA.

Tabla 10. Distribución de población por género.

Población	Habitantes
Población total, 2010	28,263.00
Población total hombres, 2010	14,714.00
Población total mujeres, 2010	13,549.00



TASA DE CRECIMIENTO GEOMÉTRICO

También conocido como interés compuesto, esta tasa supone un crecimiento porcentual constante en el tiempo. Dicha tasa mantiene constante el porcentaje de crecimiento por unidad de tiempo y no el monto (cantidad) por unidad de tiempo, por tanto, se puede usar para períodos largos. La fórmula para la tasa de crecimiento poblacional bajo el supuesto geométrico pueden ser varias, veamos:

$$r = \left(\frac{P^{t+n}}{P^{t}}\right)^{\frac{1}{a}} - 1$$

$$r = \sqrt[a]{\left(\frac{P^{t+n}}{P^{t}}\right)} - 1$$

r= Tasa de crecimiento anual regional.

P^{t+n}= Población al momento actual.

P^{t}= Población al momento inicial o población base o población inicial.

a= la amplitud o distancia de tiempo entre las dos poblaciones de referencia.

Tabla 11. Resumen del crecimiento de la población en el Municipio de Tulum.

Municipio	año	Habitantes
TULUM	1,990	3,603
	1,995	6,733
	2,005	14,790
	2,010	28,263

$$r = \sqrt[a]{\left(\frac{P^{2010}}{P^{2005}}\right)} - 1$$

$$r = \sqrt[5]{\left(\frac{3,603}{28,263}\right)} - 1$$

$$r = \sqrt[5]{(7.844)} - 1$$

$$r = 1.108 - 1$$
$$r = .108\ X\ 100 r = 10.85\ \%$$

NOTA: La tasa de crecimiento del municipio de Tulum es de 10.85 % anual
PROYECCIÓN DE POBLACIÓN AL 2030

Tabla 12. Proyección de población.

Proyección de población 2030 en Tulum			
Año	Habitantes	Año	Habitantes
1990	3,603	2011	31,329
1991	3,994	2012	34,728
1992	4,427	2013	38,495
1993	4,907	2014	42,671
1994	5,440	2015	47,300
1995	6,733	2016	52,431
1996	7,463	2017	58,118
1997	8,273	2018	64,423
1998	9,170	2019	71,411
1999	10,165	2020	79,158
2000	11,268	2021	87,745
2001	12,490	2022	97,264
2002	13,845	2023	107,815
2003	15,347	2024	119,510
2004	17,012	2025	132,475
2005	14,790	2026	146,846
2006	16,394	2027	162,776
2007	18,173	2028	180,433
2008	20,144	2029	200,007
2009	22,329	2030	221,703
2010	28,263		

Los resultados obtenidos muestran que para el año 2030, se proyecta en el Municipio de Tulum una población total de 221,703 Habitantes, de esta población se proyecta 115,421 hombres y 106,282 mujeres. La información nos permite observar que los porcentajes de población masculina y femenina son del 52.06% y 47.94% por lo que por cada 100 mujeres habrá 108.59 hombres.

DISTRIBUCIÓN DE POBLACIÓN.

El Municipio de Tulum tiene una población de 28,263.00 habitantes de acuerdo al Censo de Población y Vivienda de 2010 realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Es junto con Benito Juárez y Solidaridad, de los municipios de mayor crecimiento demográfico en el país, el principal motivo es la inmigración de población atraída por la oferta de empleo y desarrollo económico propiciado por el turismo que es la actividad económica básica. En relación a esto, Tulum, ofrece al turismo nacional e internacional y como actividad principal, hostelería ecológica, que guarda intacta, las tradiciones del pasado maya en su arquitectura y que se fusionan con la modernidad del presente en cuanto a servicios. Además, posee las mejores playas del estado y a nivel internacional, con sus blancas arenas y paradisíacas lugares del Caribe Mexicano. Tanto en la zona hotelera de playas así como en el centro de la ciudad, el turista puede disfrutar de excelentes restaurantes que ofrecen comida regional e internacional de excelente calidad. En el municipio, la hospitalidad hacia el turismo es la vocación de toda su gente.

La Ciudad de Tulum, es hoy la ciudad a nivel nacional de mayor crecimiento poblacional y en referencia a esto, su cabecera municipal, la Ciudad de Tulum pasó de 6,733 habitantes en 2000 a 14,790 en 2005. El crecimiento poblacional fue la principal razón de la creación del municipio separándolo de Solidaridad.

Tabla 13. Principales localidades del Municipio de Tulum.

Localidad	Habitantes
Total Municipio	28.263
Tulum	18,233
Ciudad Chemuyil	1,377
Akumal	1,310
Cobá	1,278
Chanchen Primero	875
Francisco Uh May	655
San Juan	599
Macario Gómez	510
Punta Allen	469

Tabla 14. Distribución y densidad de población 2010 (1 de 2)

Nombre de la localidad	Habitantes total	Nombre de la localidad	Habitantes total	Nombre de la localidad	Habitantes total
Chanchén Palmar	469	Balam Canché	5	Kirabo	2
Sahcab Mucuy	456	Shamicala Petit	1	Lol Beh	5
Yaxché	335	El Retiro	1	Luna y las Estrellas	2
San Nazarén	14	Las Cabañas	4	El Manatí	3
Tankah Pueblo	41	Cabañas Tulum	2	Maya Tadeo	1
Boca Paila	9	Caleta Tankah	1	Casa Enrique	2
Chanchen Primero	875	SCT [Campamento]	1	Azúcar	1
Cobá	1278	Ak'iin	2	Noh Áaktun	7
Doña Leonor	13	Ixchel	2	El Paraíso	1
Dos Palmas	12	Casa del Sol	4	Pedro Paila	3
Francisco Uh May	655	Cayetano Nieto Colín	2	Pesca Maya	2
Hondzonot	368	Las Chachalacas	1	Playa Selva	3
Laguna Madera	8	Chan Chemuyil	57	Playa Xkanan	1
Macario Gómez	510	Ciudad Chemuyil	1377	Los Gatos Negros	1
Manuel Antonio Ay	407	Playa Manatí	3	Casa de los Pelícanos	2
Paso Juana	7	Crucero de las Ruinas de Tulum	6	Rancho Alegre	2
San Juan	599	Bahía Xamach	3	Jade	3
Xcacel	18	Dos Ceibas	1	Rancho Mariposa	1
Las Dos Luces	7	Las Dos Hermanas	3	Retiro Maya	1
Tulum	18233	Dos Ojos	5	San Agustín	1
El Abadejo	2	Ek Che	11	San Isidro	3
Águila Azteca	2	Ahau [Hotel]	5	San José	3
Akumal	1310	La Esperanza	2	San Juan	2
Akumal Beach Resorts	15	Houston	7	San Martín	10
Akumal Sur	37	El Jaguar	4	Santa Cruz	6
Los Arrecifes	1	Javier Rojo Gómez (Punta Allen)	469	Santa Librada	24
La Ley del Monte	3	Jorge Portilla Manica	4	Santa Martha Fracción Cinco	5
Ave Fénix	4	Kaape Ha	2	Santa Teresa	8
Aventuras Akumal	17	El Lagunero	9	Sol Maya	3
Gran Bahía Príncipe	68	El Pequeño Paraíso	10	Dreams Tulum	9

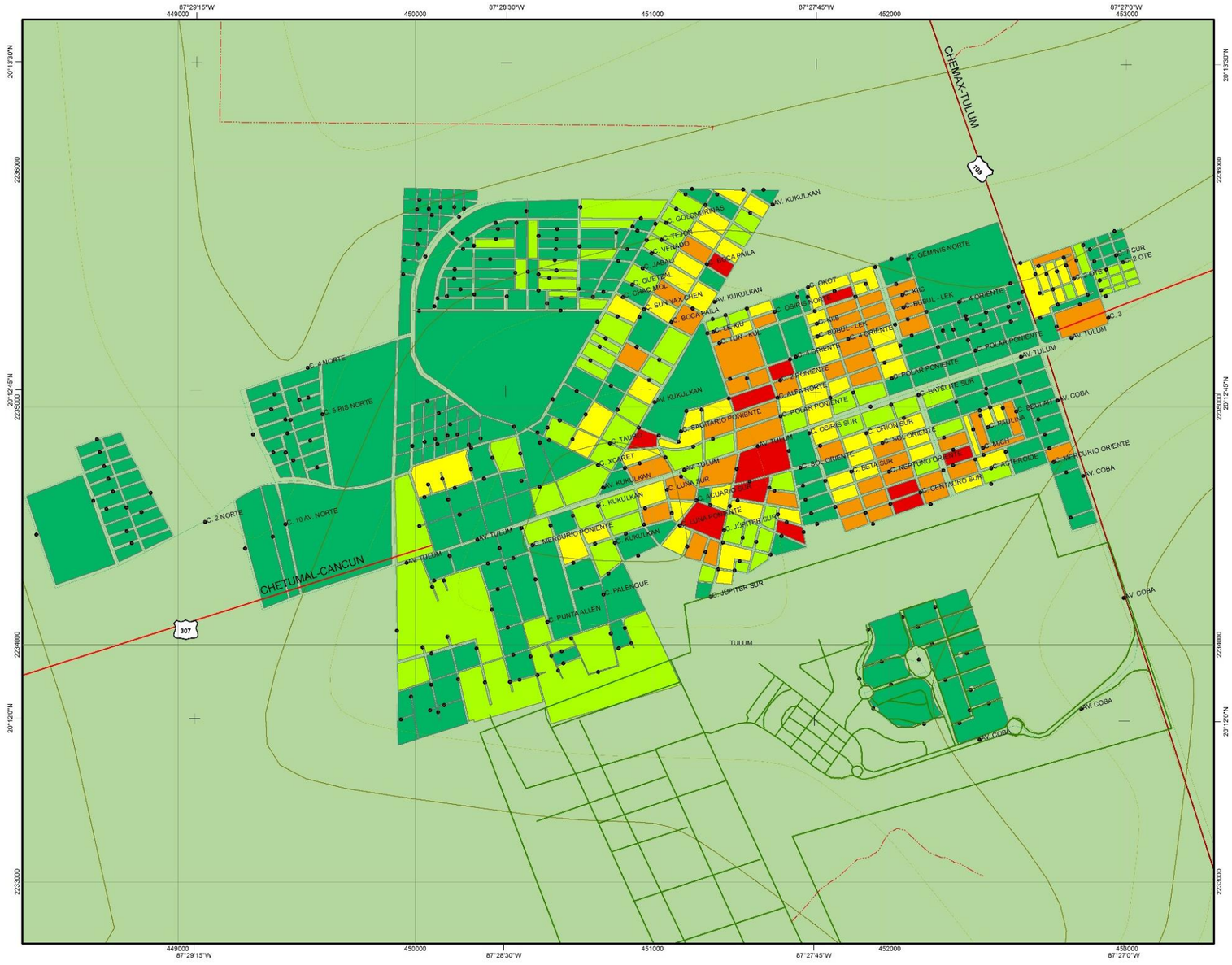
Tabla 15. Distribución y densidad de población 2010 (2 de 2)

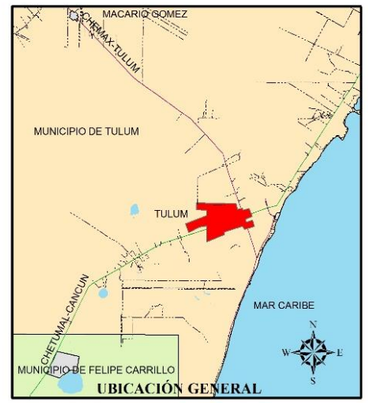
Nombre de la localidad	Habitantes total	Nombre de la localidad	Habitantes total	Nombre de la localidad	Habitantes total
Tankah Cuatro	68	El Álamo	2	Pino Suárez	1
Tankah Tres	76	Alebrijes	6	San Antonio	5
Tankah Uno	3	Aluxes	1	Santo Domingo	1
La Teresita	3	Las Amarantas	2	T. Cañón	4
Tita Tulum	1	Antonio Pool	5	Tres Hermanos (Emilio)	5
El Viejo del Mar	1	El Árbol	1	Tres Vírgenes	6
Las Villas Akumal	3	Balam Luum	3	Vivero Jardín	3
La Hamaca Loca	3	Los Capulines	3	Ranitas [Vivero]	5
Xamach Dos	2	La Casa de las Mariposas	2	Zhunaan Ha	2
Xbecal	5	Casa del Niño	1	No identificado	39
Casa Godi	3	La Ceiba	1		
Casa Tucán	1	Cenote Calavera	6	**Total=**	**28,263**
Cenote Kape-Ha	3	Colorado	4		
Chávez Camping	2	La Consentida	3		
Cibal-Yumtzil	6	Los Delfines (Xamach Uno)	1		
La Esperanza	1	Dos Ojos	5		
Estrella, Sol y Luna	5	La Herencia	1		
La Guadalupana	5	India Blanca	3		
Hombre de Piedra	4	Kukulkán	6		
Los Jaguares	2	Le Hoxu'ul Haltun	1		
Pablo Ramos	2	La Lunita	2		
Playa Morena de Mar	1	El Maguey	1		
Rescate Malix	1	El Manantial	6		
Samasati	4	Maya Art	3		
San Judas Tadeo	5	Mi Lu'um	2		
Sian Ka'an Artistas	1	Nuevo	2		
El Teterete	3	El Palomar	1		
La Vía Láctea	2	Las Palomas	1		
Villa Destini	2	Paso Lágrimas	2		
Xi-Cho	2	El Pedregal	1		

Densidad de población (hab./km²)	14.0
Total de localidades:	170

Localidades con mayor población	
Tulum	18 233
Ciudad Chemuyil	1 377
Akumal	1 310

En cuanto a los valores de distribución de población en la zona urbana (Tulum) se muestra el siguiente mapa de distribución por manzana.





SIMBOLOGIA

- CAMINO DE TERRACERIA
- NUEVOS TRAZOS DE AMPLIACIÓN
- CARRETERA ESTATAL LIBRE
- CARRETERA FEDERAL LIBRE
- CURVAS SECUNDARIAS @ 2.0 m
- CURVAS PRIMARIAS @2.0 m

DISTRIBUCIÓN DE POBLACIÓN

- 0 a 21
- 22 a 58
- 59 a 101
- 102 a 151
- 152 a 361

SEDATU
SECRETARÍA DE DESARROLLO AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO

ATLAS DE RIESGO MUNICIPIO DE TULUM, QUINTANA ROO.

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE POBLACIÓN

FUENTE: INEGI

PROYECCIÓN UTM, DATUM ITRF92
EPOCA 1988 ASOCIADO AL GRS80

ESCALA:
1:16,000

Meters
200 100 0 200 400 600 800

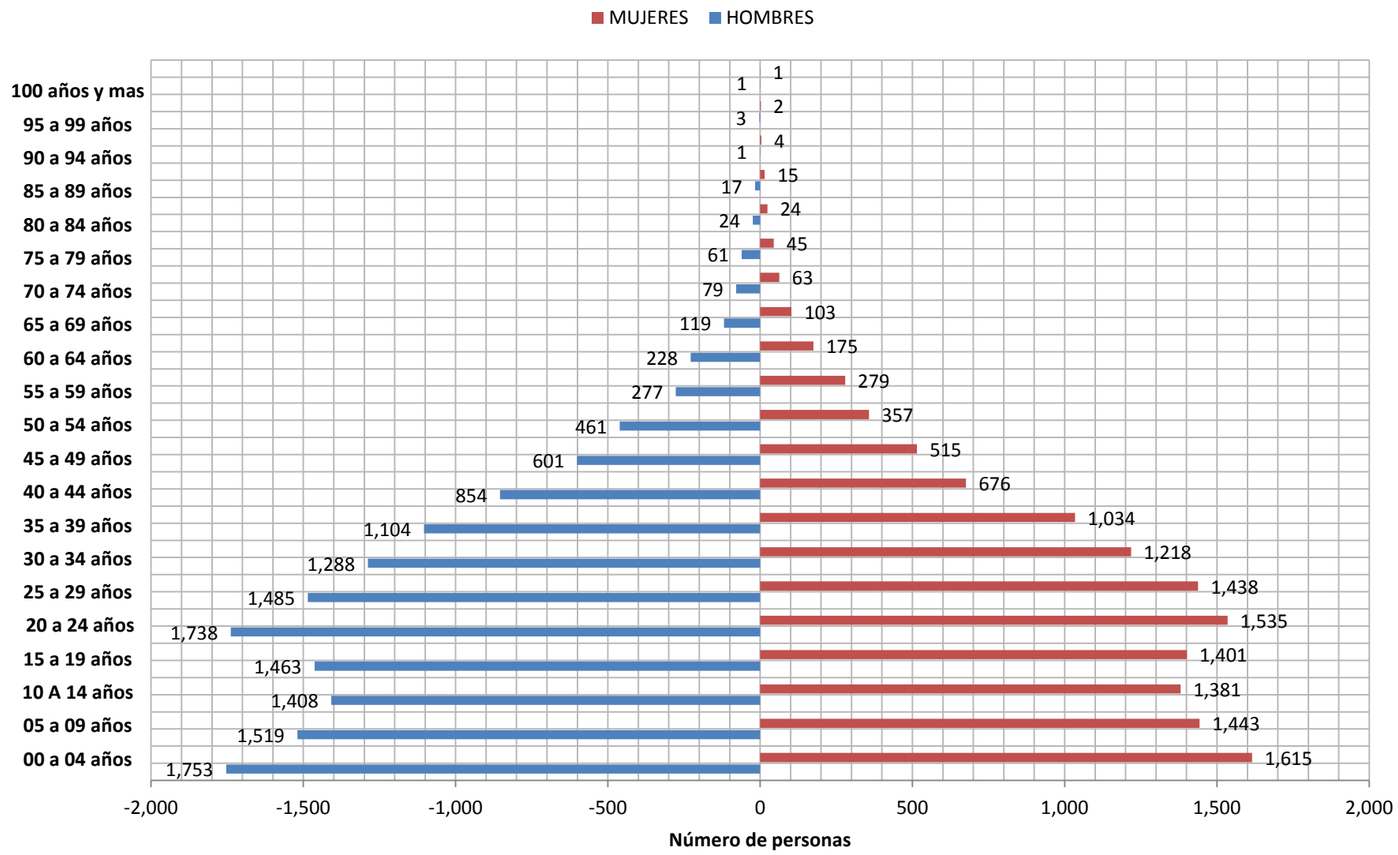
PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS

Mapa 13. Mapa de distribución de población zona urbana del Municipio de Tulum, Proyección UTM, datum ITRF92 1988, asociado al GRS80.

Tabla 16. Pirámide de edades 2010.

SEXO	RANGO DE EDAD	HOMBRES		SEXO	RANGO DE EDAD	MUJERES
Hombres	00-04 años	1,753		Mujeres	00-04 años	1,615
Hombres	05-09 años	1,519		Mujeres	05-09 años	1,443
Hombres	10-14 años	1,408		Mujeres	10-14 años	1,381
Hombres	15-19 años	1,463		Mujeres	15-19 años	1,401
Hombres	20-24 años	1,738		Mujeres	20-24 años	1,535
Hombres	25-29 años	1,485		Mujeres	25-29 años	1,438
Hombres	30-34 años	1,288		Mujeres	30-34 años	1,218
Hombres	35-39 años	1,104		Mujeres	35-39 años	1,034
Hombres	40-44 años	854		Mujeres	40-44 años	676
Hombres	45-49 años	601		Mujeres	45-49 años	515
Hombres	50-54 años	461		Mujeres	50-54 años	357
Hombres	55-59 años	277		Mujeres	55-59 años	279
Hombres	60-64 años	228		Mujeres	60-64 años	175
Hombres	65-69 años	119		Mujeres	65-69 años	103
Hombres	70-74 años	79		Mujeres	70-74 años	63
Hombres	75-79 años	61		Mujeres	75-79 años	45
Hombres	80-84 años	24		Mujeres	80-84 años	24
Hombres	85-89 años	17		Mujeres	85-89 años	15
Hombres	90-94 años	1		Mujeres	90-94 años	4
Hombres	95-99 años	3		Mujeres	95-99 años	2
Hombres	100 años y más	1		Mujeres	100 años y más	1
Hombres	No especificado	230		Mujeres	No especificado	225
	TOTAL DE HOMBRES=	14,714			TOTAL DE MUJERES=	13,549

PIRÁMIDE DE EDADES 2010.



MORTALIDAD.

Tabla 17. Tasas de mortalidad por edad específica 2010

RANGO DE EDAD	MUERTES X RANGO DE EDAD	POBLACIÓN X RANGO DE EDAD	TASA DE MORTALIDAD
0-4 años	0	3,368	0.00%
5-9 años	0	2,962	0.00%
10-14 años	0	2,789	0.00%
15-19 años	1	2,864	0.03%
20-24 años	10	3,273	0.31%
25-29 años	3	2,923	0.10%
30-34 años	2	2,506	0.08%
35-39 años	3	2,138	0.14%
40-44 años	6	1,530	0.39%
45-49 años	8	1,116	0.72%
50-54 años	4	818	0.49%
55-59 años	3	556	0.54%
60-64 años	5	403	1.24%
65-69 años	3	222	1.35%
70-74 años	3	142	2.11%
75-79 años	6	106	5.66%
80-84 años	3	48	6.25%
85 años y más	4	44	9.09%
No identificado		455	



4.2. CARACTERÍSTICAS SOCIALES

ESCOLARIDAD PRESENTE EN EL MUNICIPIO.

Tabla 18. Escolaridad del municipio 2010 (1 de 4)

NIVEL EDUCATIVO	SERVICIO EDUCATIVO	LOCALIDAD	CLAVE	TURNO	ÁMBITO	CENTRO EDUCATIVO	TOTAL DE DOCENTES	TOTAL DE ALUMNOS	TOTAL DE GRUPOS	AULAS EXISTENTES
PREESCOLAR	PREESCOLAR GENERAL	AKUMAL	23DJN0122B	MATUTINO	RURAL	MALINTZIN	3	84	3	3
PREESCOLAR	PREESCOLAR GENERAL	AKUMAL	23PJN0153Z	MATUTINO	RURAL	CENTRO COMUNITARIO OTOCH PAAL MONTESSORI	2	38	3	2
PRIMARIA	PRIMARIA GENERAL	AKUMAL	23DPR0274X	MATUTINO	RURAL	FRANCISCO SARABIA	7	269	7	7
SECUNDARIA	TELESECUNDARIA	AKUMAL	23ETV0130Z	MATUTINO	RURAL	JOSÉ VASCONCELOS	5	89	5	5
PREESCOLAR	PREESCOLAR INDÍGENA	CHANCHÉN PALMAR	23DCC0048V	MATUTINO	RURAL	JOSEFA ORTIZ DE DOMÍNGUEZ	1	26	2	1
PRIMARIA	PRIMARIA INDÍGENA	CHANCHÉN PALMAR	23DPB0103C	DISCONTINUO	RURAL	JUAN JOSÉ MARTÍNEZ	3	90	6	3
SECUNDARIA	TELESECUNDARIA	CHANCHÉN PALMAR	23ETV0133W	MATUTINO	RURAL	EMILIANO ZAPATA	4	77	4	4
PREESCOLAR	PREESCOLAR INDÍGENA	CHANCHEN PRIMERO	23DCC0058B	MATUTINO	RURAL	VICENTE GUERRERO	2	48	2	2
PRIMARIA	PRIMARIA INDÍGENA	CHANCHEN PRIMERO	23DPB0015I	MATUTINO	RURAL	CRISTÓBAL COLON	6	160	6	7
SECUNDARIA	TELESECUNDARIA	CHANCHEN PRIMERO	23ETV0050N	MATUTINO	RURAL	EDUARDO MEDINA LORIA	7	140	7	7
BACHILLERATO	BACHILLERATO GENERAL	CHANCHEN PRIMERO	23EMS0014L	MATUTINO	RURAL	CHANCHEN I	5	183	5	5
PREESCOLAR	PREESCOLAR GENERAL	CIUDAD CHEMUYIL	23DJN0212U	MATUTINO	RURAL	CHEMUYIL	3	91	3	4
PRIMARIA	PRIMARIA GENERAL	CIUDAD CHEMUYIL	23DPR0575T	CONTINUO (TIEMPO COMPLETO)	RURAL	MATILDE MONTOYA	6	213	6	6
SECUNDARIA	TELESECUNDARIA	CIUDAD CHEMUYIL	23ETV0113I	MATUTINO	RURAL	ELEUTERIO LLANES PASOS	6	94	6	6

PREESCOLAR	PREESCOLAR INDÍGENA	COBÁ	23DCC0122M	MATUTINO	RURAL	DOROTEO ARANGO	1	25	2	1

Tabla 19. Escolaridad del municipio 2010 (2 de 4)

NIVEL EDUCATIVO	SERVICIO EDUCATIVO	LOCALIDAD	CLAVE	TURNO	AMBITO	CENTRO EDUCATIVO	TOTAL DE DOCENTES	TOTAL DE ALUMNOS	TOTAL DE GRUPOS	AULAS EXISTENTES
PREESCOLAR	PREESCOLAR GENERAL	COBÁ	23DJN0098S	MATUTINO	RURAL	JACINTO CANEK	2	47	3	2
PRIMARIA	PRIMARIA GENERAL	COBÁ	23DPR0072A	MATUTINO	RURAL	21 DE MARZO	3	82	6	3
PRIMARIA	PRIMARIA GENERAL	COBÁ	23DPR0493J	CONTINUO (TIEMPO COMPLETO)	RURAL	JUANA DE ASBAJE	6	133	6	6
SECUNDARIA	TELESECUNDARIA	COBÁ	23ETV0054J	MATUTINO	RURAL	PASCUAL CORAL HEREDIA	6	137	6	6
BACHILLERATO	BACHILLERATO GENERAL	COBÁ	23EMS0012N	MATUTINO	RURAL	COBA	5	117	5	5
PREESCOLAR	PREESCOLAR INDÍGENA	FRANCISCO UH MAY	23DCC0121N	MATUTINO	RURAL	SIMÓN BOLÍVAR	2	80	3	2
PRIMARIA	PRIMARIA GENERAL	FRANCISCO UH MAY	23DPR0461R	MATUTINO	RURAL	GONZALO GUERRERO	6	181	6	6
SECUNDARIA	TELESECUNDARIA	FRANCISCO UH MAY	23ETV0129J	MATUTINO	RURAL	IGNACIO MARÍA DE ALLENDE	4	91	4	4
PREESCOLAR	PREESCOLAR INDÍGENA	HONDZONOT	23DCC0134R	MATUTINO	RURAL	LEONA VICARIO	1	17	3	1
PRIMARIA	PRIMARIA INDÍGENA	HONDZONOT	23DPB0066P	DISCONTINUO	RURAL	GENERAL VICENTE GUERRERO	2	57	6	3
PREESCOLAR	PREESCOLAR CONAFE	JACINTO PAT	23KJN0171U	MATUTINO	RURAL	CURSOS COMUNITARIOS PREESCOLAR	1	6	1	0
PRIMARIA	PRIMARIA CONAFE	JACINTO PAT	23KPR0188K	MATUTINO	RURAL	CURSOS COMUNITARIOS PRIMARIA	1	11	4	0
PREESCOLAR	PREESCOLAR GENERAL	JAVIER ROJO GÓMEZ (PUNTA ALLEN)	23DJN0123A	MATUTINO	RURAL	LOS ARRECIFES	1	25	3	2
PRIMARIA	PRIMARIA GENERAL	JAVIER ROJO GÓMEZ (PUNTA ALLEN)	23DPR0102E	MATUTINO	RURAL	IGNACIO RAMÍREZ	2	67	6	2
SECUNDARIA	TELESECUNDARIA	JAVIER ROJO GÓMEZ (PUNTA ALLEN)	23ETV0116F	MATUTINO	RURAL	ELIEZER ECHEVERRÍA GAMBOA	2	15	3	2

PREESCOLAR	PREESCOLAR INDÍGENA	MACARIO GÓMEZ	23DCC0039N	MATUTINO	RURAL	BENITO JUÁREZ	2	52	3	2
PRIMARIA	PRIMARIA INDÍGENA	MACARIO GÓMEZ	23DPB0001F	MATUTINO	RURAL	IGNACIO ZARAGOZA	3	88	6	3
PREESCOLAR	PREESCOLAR INDÍGENA	MANUEL ANTONIO AY	23DCC0141A	MATUTINO	RURAL	NICOLÁS BRAVO	1	24	3	1
PRIMARIA	PRIMARIA INDÍGENA	MANUEL ANTONIO AY	23DPB0126N	MATUTINO	RURAL	JOSÉ FRANCISCO MAY	3	77	6	3
PRIMARIA	PRIMARIA INDÍGENA	SAHCAB MUCUY	23DPB0014J	DISCONTINUO	RURAL	EMILIANO ZAPATA	3	73	6	3

Fuente: SECRETARIA DE EDUCACIÓN PUBLICA.

Tabla 20. Escolaridad del municipio 2010 (3 de 4)

NIVEL EDUCATIVO	SERVICIO EDUCATIVO	LOCALIDAD	CLAVE	TURNO	AMBITO	CENTRO EDUCATIVO	TOTAL DE DOCENTES	TOTAL DE ALUMNOS	TOTAL DE GRUPOS	AULAS EXISTENTES
PREESCOLAR	PREESCOLAR INDÍGENA	SAHCAB MUCUY	23DCC0139M	MATUTINO	RURAL	SALVADOR ALVARADO	1	25	2	1
PREESCOLAR	PREESCOLAR INDÍGENA	SAN JUAN	23DCC0052H	MATUTINO	RURAL	VICENTE GUERRERO	1	52	3	1
PRIMARIA	PRIMARIA INDÍGENA	SAN JUAN	23DPB0009Y	DISCONTINUO	RURAL	JUAN DE LA BARRERA	5	106	6	5
SECUNDARIA	TELESECUNDARIA	SAN JUAN	23ETV0161S	MATUTINO	RURAL	VASCO DE QUIROGA	3	55	3	3
PREESCOLAR	PREESCOLAR CONAFE	SAN PEDRO	23KJN0232R	MATUTINO	RURAL	CURSOS COMUNITARIOS PREESCOLAR	1	9	1	0
PRIMARIA	PRIMARIA CONAFE	SAN PEDRO	23KPR0227W	MATUTINO	RURAL	CURSOS COMUNITARIOS PRIMARIA	1	16	6	0
PREESCOLAR	PREESCOLAR GENERAL	TULUM	23PJN0093B	MATUTINO	URBANA	INTER DE LA RIVIERA	2	22	3	3
PREESCOLAR	PREESCOLAR GENERAL	TULUM	23PJN0169A	MATUTINO	URBANA	CENTRO EDUCATIVO MONTESSORI XAMAN EK	2	9	3	3
PREESCOLAR	PREESCOLAR GENERAL	TULUM	23DJN0190Z	MATUTINO	URBANA	TULUM	6	168	6	6
PREESCOLAR	PREESCOLAR GENERAL	TULUM	23DJN0279B	MATUTINO	URBANA	SACBE	6	171	6	6
PREESCOLAR	PREESCOLAR GENERAL	TULUM	23DJN0298Q	MATUTINO	URBANA	TUN-BEN ZAZIL	6	175	6	6
PREESCOLAR	PREESCOLAR GENERAL	TULUM	23DJN0348H	VESPERTINO	URBANA	TULUM	3	91	3	6

PREESCOLAR	PREESCOLAR GENERAL	TULUM	23DJN0075H	MATUTINO	URBANA	ESTADO DE QUINTANA ROO	6	179	6	6
PRIMARIA	PRIMARIA GENERAL	TULUM	23DPR0087C	MATUTINO	URBANA	JULIO RUELAS	12	398	12	12
PRIMARIA	PRIMARIA GENERAL	TULUM	23DPR0513G	VESPERTINO	URBANA	JULIO RUELAS	12	414	12	12
PRIMARIA	PRIMARIA GENERAL	TULUM	23DPR0560R	MATUTINO	URBANA	OCTAVIANO SOLÍS AGUIRRE	12	420	12	12
PRIMARIA	PRIMARIA GENERAL	TULUM	23DPR0658B	VESPERTINO	URBANA	OCTAVIANO SOLÍS AGUIRRE	12	386	12	12
PRIMARIA	PRIMARIA GENERAL	TULUM	23DPR0685Z	MATUTINO	URBANA	FORD 198	12	386	12	12
PRIMARIA	PRIMARIA GENERAL	TULUM	23DPR0709S	CONTINUO (TIEMPO COMPLETO)	URBANA	GREGORIO PÉREZ CAUICH	12	403	12	12
PRIMARIA	PRIMARIA GENERAL	TULUM	23PPR0111R	MATUTINO	URBANA	INSTITUTO VITTORIO MONTEVERDI DE TULUM	6	101	6	6

Fuente: SECRETARIA DE EDUCACIÓN PUBLICA.

Tabla 21. Escolaridad del municipio 2010 (4 de 4)

NIVEL EDUCATIVO	SERVICIO EDUCATIVO	LOCALIDAD	CLAVE	TURNO	AMBITO	CENTRO EDUCATIVO	TOTAL DE DOCENTES	TOTAL DE ALUMNOS	TOTAL DE GRUPOS	AULAS EXISTENTES
PRIMARIA	PRIMARIA GENERAL	TULUM	23PPR0137Z	MATUTINO	URBANA	INTER DE LA RIVIERA	3	43	6	3
PRIMARIA	PRIMARIA GENERAL	TULUM	23PPR0159K	MATUTINO	URBANA	KOÏOX KANIK XOOK TULUM	3	124	6	7
PRIMARIA	PRIMARIA GENERAL	TULUM	23DPR0755D	VESPERTINO	URBANA	FORD 198	6	197	6	12
SECUNDARIA	SECUNDARIA GENERAL	TULUM	23DES0022M	MATUTINO	URBANA	ZAMNA	31	588	16	18
SECUNDARIA	TELESECUNDARIA	TULUM	23ETV0037T	MATUTINO	URBANA	ERICK PAOLO MARTÍNEZ	18	492	18	18
SECUNDARIA	SECUNDARIA GENERAL	TULUM	23PES0074X	MATUTINO	URBANA	KOÏOX KANIK XOOK TULUM	11	69	4	6
BACHILLERATO	BACHILLERATO TÉCNICO	TULUM	23ETC0003O	MATUTINO	URBANA	COLEGIO DE ESTUDIOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS UNIDAD TULUM	29	437	11	11

BACHILLERATO	BACHILLERATO TÉCNICO	TULUM	23ETC0003O	VESPERTINO	URBANA	COLEGIO DE ESTUDIOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS UNIDAD TULUM	0	371	10	0
BACHILLERATO	BACHILLERATO GENERAL	TULUM	23PBH0048W	MATUTINO	URBANA	KOOX KANIK XOOK TULUM	14	44	3	11
C. P/TRABAJO	FORMACIÓN P. TRABAJO	TULUM	23EIC0006P	DISCONTINUO	URBANA	UNIDAD DE CAPACITACIÓN PARA EL TRABAJO	10	2319	140	0
USAER	USAER	TULUM	23FUA0030L	MATUTINO	URBANA	UNIDAD DE SERVICIOS DE APOYO A LA EDUCACIÓN REGULAR	6	129	0	0
LICENCIATURA	LIC. UNIV. Y TEC.	TULUM	23PSU0023H	DISCONTINUO	URBANA	CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES ULQ ALIAT TULUM	10	16	0	6
PREESCOLAR	PREESCOLAR INDÍGENA	YAXCHÉ	23DCC0015D	MATUTINO	RURAL	RAFAEL RAMÍREZ CASTAÑEDA	1	18	2	1
PRIMARIA	PRIMARIA INDÍGENA	YAXCHÉ	23DPB0106Z	DISCONTINUO	RURAL	FRANCISCO SARABIA	2	36	6	3

Fuente: SECRETARIA DE EDUCACIÓN PUBLICA.

Tabla 22. Resumen de las escuelas en el Municipio de Tulum.

NÚMERO DE ESCUELAS EN TULUM 2010		
NUMERO DE ESCUELAS	NIVEL EDUCATIVO	AULAS EXISTENTES
22	PREESCOLAR	59
24	PRIMARIA	154
2	SECUNDARIAS	24
9	TELESECUNDARIAS	55
5	BACHILLERATO	32
1	LICENCIATURA	6
63		330

ESCUELAS EN TULUM POR LOCALIDAD 2010		
LOCALIDAD	PLANTELES	AULAS
Akumal	4	17
Chanchen	7	29
Ciudad Chemuyil	3	16
Cobá	6	23
Francisco Uh May	3	12
hondzonot	2	4
Jacinto pat	2	0

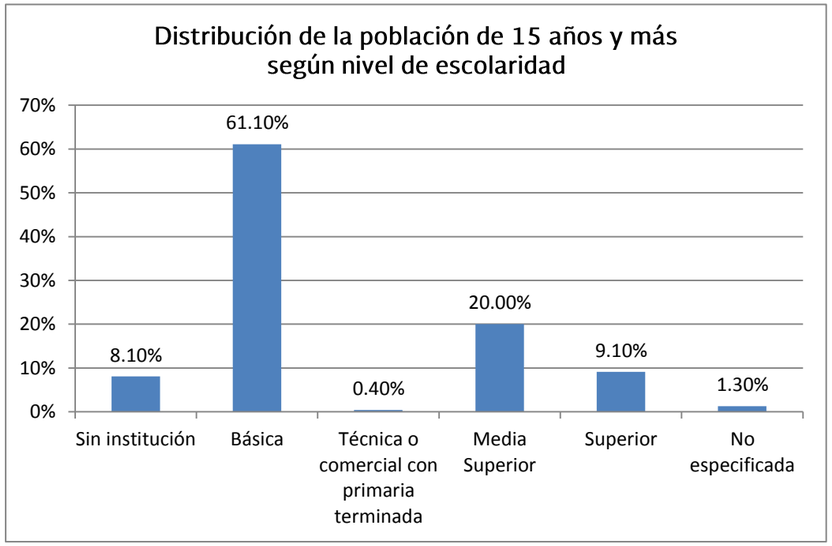
Punta Allen	3	6
Marco Gómez	2	4
San Juan	3	9
San Pedro	2	0
Tulum	24	206
Yaxché	2	4
	63	330

EDUCACIÓN

Tasa de alfabetización por grupo de edad:
15-24 años 97.50%
25 años y más 86.30%
De cada 100 personas entre 15 y 24 años, 98 saben leer y escribir un recado.

Asistencia escolar por grupo de edad:	
Rango de edad	porcentaje
3-5 años	51.00%
6-11 años	95.60%
12-14 años	92.10%
15-24 años	23.90%

De cada 100 personas entre 6 y 11 años, 96 asisten a la escuela.



De cada 100 personas de 15 años y más, 9 tienen algún grado aprobado en educación superior.

DISCAPACIDAD POR POBLACIÓN.

La población con algún tipo de limitación en el municipio de Tulum, representa el 2.70% del censo obtenido en el 2010, de cada 100 personas 3 reportan alguna limitación física o mental, siendo la limitación más importante ante la presencia de alguno de los fenómenos naturales la población limitada para moverse o caminar, esto se muestra en el siguiente mapa con los valores por manzana.



Mapa 14. Mapa de población con discapacidad del Municipio de Tulum, Proyección UTM, datum ITRF92 1988, asociado al GRS80.

CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA.

Equipamiento, pobreza y marginación:

Tabla 23. Vivienda, equipamiento, pobreza y marginación 2010 (1 de 3)

Nombre de la localidad	Viviendas particulares habitadas	Sin agua entubada	Sin drenaje	Sin energía eléctrica	Con piso de Tierra	Viviendas particulares habitadas que no disponen de sanitario o excusado	Grado de marginación de la localidad	Grado de Rezago Social
Chanchén Palmar	91	20	69	19	25	66	Muy alto	Medio
Sahcab Mucuy	97	20	97	16	19	93	Muy alto	Alto
Yaxché	70	1	68	2	17	65	Muy alto	Medio
San Nazarén	3	3	0	3	1	0	Muy alto	Alto
Tankah Pueblo	12	0	3	8	0	11	Muy alto	Medio
Boca Paila	4	3	0	3	0	1	Alto	Bajo
Chanchen Primero	181	8	156	4	53	130	Alto	Medio
Cobá	303	71	86	8	31	51	Alto	Bajo
Doña Leonor	3	3	1	0	0	0	Alto	Medio
Dos Palmas	4	1	2	0	0	1	Alto	Medio
Francisco Uh May	130	5	33	10	12	26	Alto	Bajo
Hondzonot	78	6	68	9	38	57	Alto	Medio
Laguna Madera	3	2	2	2	1	0	Alto	Medio
Ninguno	3	2	3	0	0	1	Alto	Bajo
Macario Gómez	119	1	24	2	7	26	Alto	Bajo
Manuel Antonio Ay	87	7	23	6	4	11	Alto	Bajo
Paso Juana	5	5	0	4	0	2	Alto	Medio
San Juan	135	54	97	3	16	63	Alto	Medio
Xcacel	2	1	0	0	1	0	Alto	Bajo
Las Dos Luces	3	3	1	0	1	0	Alto	Medio
Tulum	5037	432	47	113	79	162	Medio	Muy bajo

Tabla 24. Vivienda, equipamiento, pobreza y marginación 2010 (2 de 3)

Nombre de la localidad	Viviendas particulares habitadas	Sin agua entubada	Sin drenaje	Sin energía eléctrica	Con piso de Tierra	Viviendas particulares habitadas que no disponen de sanitario o excusado	Grado de marginación de la localidad	Grado de Rezago Social
El Abadejo	0	0	0	0	0	162		
Águila Azteca	0	0	0	0	0	162		
Akumal	363	0	5	0	4	7	Medio	Muy bajo
Akumal Beach Resorts	11	0	0	0	0	0	Medio	Muy bajo
Akumal Sur	12	0	0	0	0	0	Muy bajo	Muy bajo
Aventuras Akumal	6	0	0	0	0	0	Muy bajo	Muy bajo
Gran Bahía Príncipe	30	1	0	0	0	0	Muy bajo	Muy bajo
Chan Chemuyil	23	0	0	0	0	0	Muy bajo	Muy bajo
Ciudad Chemuyil	325	0	0	0	1	3	Bajo	Muy bajo
Playa Manatí	0	0	0	0	0	3		
Crucero de las Ruinas de Tulum	0	0	0	0	0	3		
Bahía Xamach	0	0	0	0	0	3		
Dos Ceibas	0	0	0	0	0	3		
Las Dos Hermanas	0	0	0	0	0	3		
Dos Ojos	0	0	0	0	0	3		
Ek Che	0	0	0	0	0	3		
Ahau [Hotel]	0	0	0	0	0	3		
La Esperanza	0	0	0	0	0	3		
Houston	0	0	0	0	0	3		
El Jaguar	0	0	0	0	0	3		
Javier Rojo Gómez (Punta Allen)	128	3	9	0	5	6	Medio	Muy bajo
Jorge Portilla Manica	0	0	0	0	0	6		
Kaape Ha	0	0	0	0	0	6		
El Lagunero	0	0	0	0	0	6		
El Pequeño Paraíso	0	0	0	0	0	6		
Kirabo	0	0	0	0	0	6		
Lol Beh	0	0	0	0	0	6		
Luna y las Estrellas	0	0	0	0	0	6		
El Manatí	0	0	0	0	0	6		
Maya Tadeo	0	0	0	0	0	6		
Casa Enrique	0	0	0	0	0	6		

Tabla 25. Vivienda, equipamiento, pobreza y marginación 2010 (3 de 3)

Nombre de la localidad	Viviendas particulares habitadas	Sin agua entubada	Sin drenaje	Sin energía eléctrica	Con piso de Tierra	Viviendas particulares habitadas que no disponen de sanitario o excusado	Grado de marginación de la localidad	Grado de Rezago Social
Azúcar	0	0	0	0	0	6		
Noh Áaktun	0	0	0	0	0	6		
El Paraíso	0	0	0	0	0	6		
Pedro Paila	0	0	0	0	0	6		
Pesca Maya	0	0	0	0	0	6		
Playa Selva	0	0	0	0	0	6		
Playa Xkanan	0	0	0	0	0	6		
Los Gatos Negros	0	0	0	0	0	6		
Casa de los Pelícanos	0	0	0	0	0	6		
Rancho Alegre	0	0	0	0	0	6		
Jade	0	0	0	0	0	6		
Rancho Mariposa	0	0	0	0	0	6		
Retiro Maya	0	0	0	0	0	6		
San Agustín	0	0	0	0	0	6		
San Isidro	0	0	0	0	0	6		
San José	0	0	0	0	0	6		
San Juan	0	0	0	0	0	6		
San Martín	0	0	0	0	0	6		
Santa Cruz	0	0	0	0	0	6		
Santa Librada	4	1	1	0	0	0	Bajo	Muy bajo
Dreams Tulum	7	0	0	0	0	0	Muy bajo	Muy bajo
Tankah Cuatro	23	22	0	0	0	0	Medio	Muy bajo
Tankah Tres	27	27	0	0	0	0	Medio	Muy bajo

INEGI 2010.

Para la ubicación y zonificación de las viviendas de escasos recursos en donde el piso de las casas es de tierra, se obtuvieron del INEGI los datos del último censo realizado por manzana en donde la distribución se muestra en el siguiente mapa.



Mapa 15. Plano de viviendas con piso de tierra en zona urbana Municipio de Tulum, Proyección UTM, datum ITRF92 1988, asociado al GRS80.

En lo que respecta al grado de marginación particularmente en la zona urbana se muestra en el siguiente mapa, la distribución e intensidad que se tiene con respecto a la marginación en la cabecera del municipio, comprende viviendas particulares habitadas que no disponen de radio, televisión, refrigerador, lavadora, automóvil, computadora, teléfono, internet, comprende viviendas particulares clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, cuarto de vecindad o cuarto de azotea y las que no se especifican.



Mapa 16. Mapa de marginación de Municipio de Tulum, Proyección UTM, datum ITRF92 1988, asociado al GRS80.

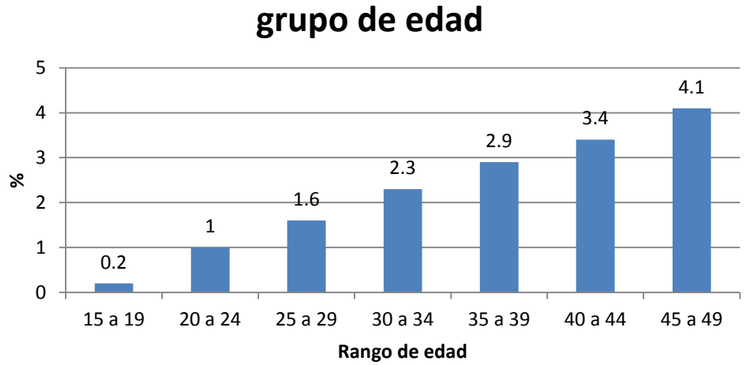
LENGUA INDÍGENA, AÑO 2010.

	Habitantes
Población de 5 años y más que habla alguna lengua indígena.	9216.00
Hay 9 216 personas de 5 años y más que hablan alguna lengua indígena, lo que representa 38% de la población de 5 años y más municipal.	
Población de 5 años y más que habla alguna lengua indígena pero no habla español	1066
De cada 100 personas de 5 años y más que hablan alguna lengua indígena, 12 no hablan español.	

Lenguas indígenas más frecuentes:	
Maya	95.30%
Tzeltal (tseltal)	1.40%
De cada 100 personas de 5 años y más que hablan alguna lengua indígena, 95 hablan maya.	

Tabla 26. Nacimientos, Año 2010.

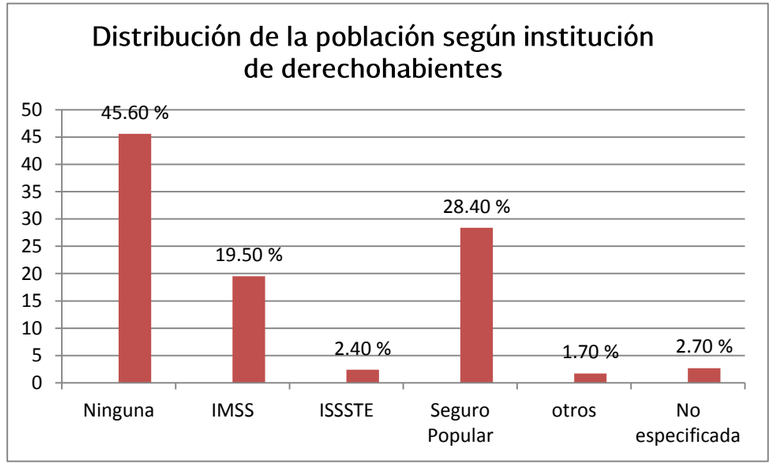
Rango de edad	Porcentaje
15 a 19	0.2
20 a 24	1
25 a 29	1.6
30 a 34	2.3
35 a 39	2.9
40 a 44	3.4
45 a 49	4.1



A lo largo de su vida, las mujeres entre 15 y 19 años han tenido en promedio 0.2 hijos nacidos vivos; mientras que este promedio es de 4.1 para las mujeres entre 45 y 49 años.

- SALUD, AÑO 2010.

Población derechohabiente			52%
De cada 100 personas, 52 tienen derecho a servicios médicos de alguna institución pública o privada			
	institución	Porcentaje	
	Ninguna	45.60%	
	IMSS	19.50%	
	ISSSTE	2.40%	
	Seguro Popular	28.40%	
	otros	1.70%	
	No especificada	2.70%	



4.3 PRINCIPALES ACTIVIDADES ECONÓMICAS EN LA ZONA.

El municipio de Tulum tiene una población de 28,263 habitantes de acuerdo al Censo de Población y Vivienda de 2010 realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Es junto con Benito Juárez y Solidaridad, de los municipios de mayor crecimiento demográfico en el país, el principal motivo es la inmigración de población atraída por la oferta de empleo y desarrollo económico propiciado por el turismo que es la actividad económica básica. En relación a esto, Tulum, ofrece al turismo nacional e internacional y como actividad principal, hostelería ecológica, que guarda intacta, las tradiciones del pasado maya en su arquitectura y que se fusionan con la modernidad del presente en cuanto a servicios. Además, posee las mejores playas del estado y a nivel internacional, con sus blancas arenas y paradisíacas lugares del Caribe Mexicano. Tanto en la zona hotelera de playas así como en el centro de la ciudad, el turista puede disfrutar de excelentes restaurantes que ofrecen comida regional e internacional de excelente calidad.

4.4 CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA

Tabla 27. Población económicamente activa.

Población de 12 años y más	Total	Hombres	Mujeres
Económicamente activa	59.10%	80.40%	35.60%
Ocupadas	97.90%	97.50%	98.60%
No Ocupadas	2.10%	2.50%	1.40%

De cada 100 personas de 12 años y más, 59 participan en las actividades económicas; de cada 100 de estas personas, 98 tienen alguna ocupación.

Población de 12 años y más	Total	Hombres	Mujeres
No económicamente activa	39.60%	18.10%	63.20%

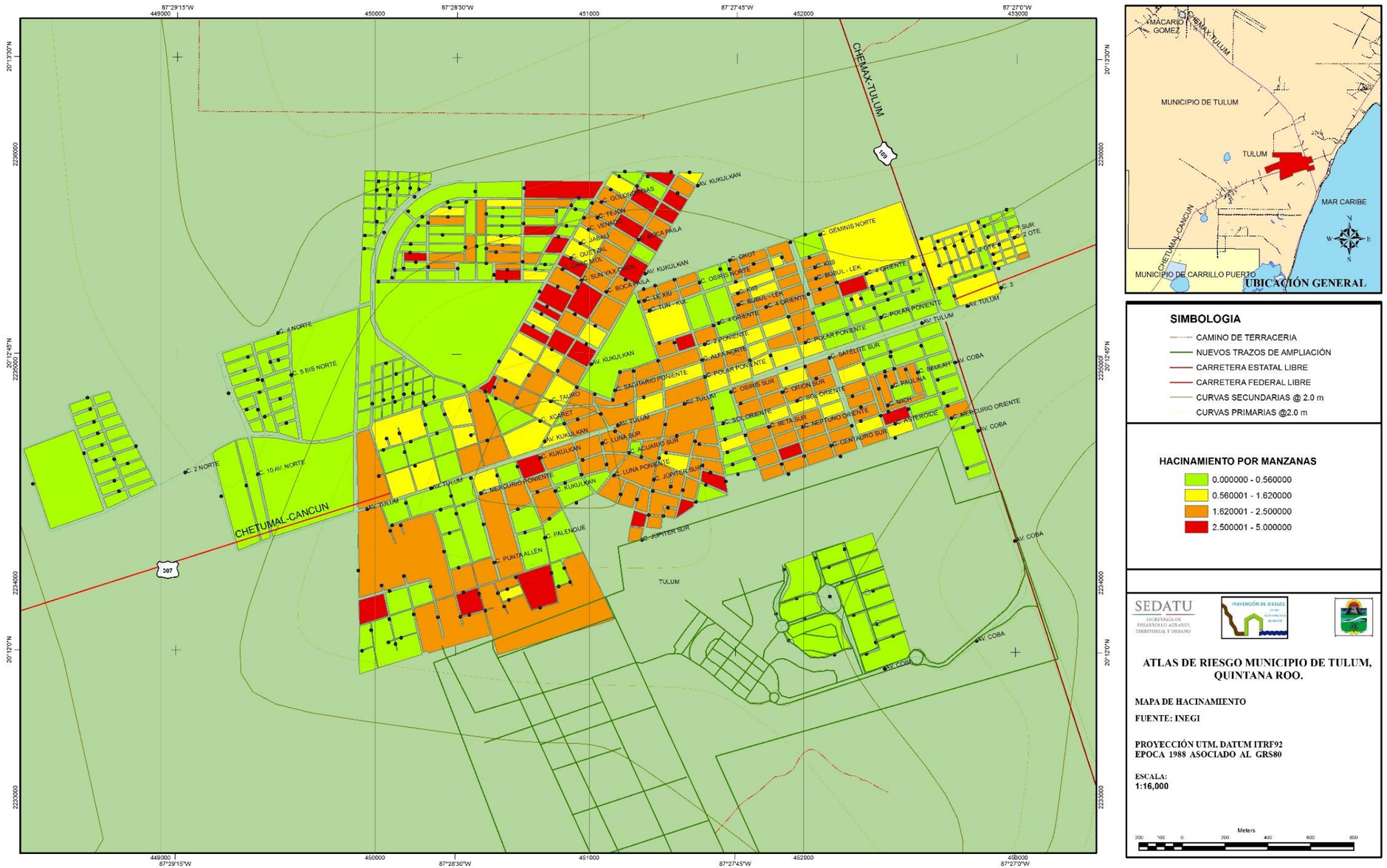
De cada 100 personas de 12 años y más, 40 no participan en las actividades económicas.

Población de 12 años y más	Total	Hombres	Mujeres
Condición de actividad no especificada	1.30%	1.50%	1.20%

INEGI, 2010.

4.5 HACINAMIENTO.

En lo que respecta al hacinamiento, se utilizó el dato correspondiente al promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas en la zona urbana del municipio de Tulum, de acuerdo a los registros del INEGI, de donde la distribución por manzanas de dicha información generó el siguiente mapa, donde se observa que existen 26 manzanas con presencia de hacinamiento alto.



SIMBOLOGIA

- CAMINO DE TERRACERIA
- NUEVOS TRAZOS DE AMPLIACIÓN
- CARRETERA ESTATAL LIBRE
- CARRETERA FEDERAL LIBRE
- CURVAS SECUNDARIAS @ 2.0 m
- CURVAS PRIMARIAS @2.0 m

HACINAMIENTO POR MANZANAS

- 0.000000 - 0.560000
- 0.560001 - 1.620000
- 1.620001 - 2.500000
- 2.500001 - 5.000000

SEDATU
SECRETARÍA DE DESARROLLO AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO

ATLAS DE RIESGO MUNICIPIO DE TULUM, QUINTANA ROO.

MAPA DE HACINAMIENTO

FUENTE: INEGI

PROYECCIÓN UTM, DATUM ITRF92 EPOCA 1988 ASOCIADO AL GRS80

ESCALA:
1:16,000

Meters
200 100 0 200 400 600 800

Mapa 17. Mapa de hacinamiento Municipio de Tulum, Proyección UTM, datum ITRF92 1988, asociado al GRS80

4.6. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE VULNERABILIDAD SOCIAL DE ACUERDO A LOS INDICADORES DE CENAPRED.

VULNERABILIDAD SOCIAL, se refiere al conjunto de características sociales y económicas de la población que limita la capacidad de desarrollo de la sociedad; en conjunto con la capacidad de prevención y respuesta de la misma frente a un fenómeno y la percepción local del riesgo.
Para estimar la vulnerabilidad social se empleó la guía básica de elaboración del atlas de riesgo del CENAPRED, en donde únicamente se tomaron en cuenta las condiciones sociales y económicas de datos estadísticos según los siguientes indicadores:

TABLA 28. RESUMEN DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA DEL INEGI.

RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DE POBLACIÓN	
POBLACION TOTAL	28,263.00
HOMBRES	14,714.00
MUJERES	13,549.00
MORTALIDAD MENORES DE UN AÑO	8.00
POBLACION 15 Y MAS	19,144.00
POBLACION ANALFABETA DE 15 AÑOS Y MAS	1,551.00
PORCENTAJE DE ANALFABETISMO	8.10
HOGARES	7,482.00
VIVIENDAS TOTALES	7,628.00
PROMEDIO DE OCUPANTES POR VIVIENDA	3.72
VIVIENDAS CON AGUA ENTUBADA	6,517.00
VIVIENDAS CON DRENAJE	6,450.00
VIVIENDAS CON ENERGIA ELECTRICA	7,089.00
UNIDADES MEDICAS	5.00
MEDICOS	16.00
HABITANTES POR UNIDAD MEDICA	5,652.60
HABITANTES POR MEDICO	1,766.44
DERECHOHABIENTES	14,601.00
NO DERECHOHABIENTES	13,662.00
PROPORCION DE MEDICOS	0.57
PORCENTAJE DE POBLACION NO DERECHOHABIENTE	48.34
DEFICIT DE VIVIENDA	6.78
VIVIENDAS SIN AGUA ENTUBADA	1,111.00
VIVIENDAS SIN DRENAJE	1,178.00
VIVIENDAS CON PISO DE TIERRA	663.00
POBLACION DE 0 14	9,119.00

DE 65 Y MAS	1,017.00
DE 15 A 64	18,127.00
RAZON DE DEPENDENCIA	55.92

- SALUD.

TABLA 29. MEDICOS POR CADA 1000 HABITANTES.

INDICADOR	MEDICOS POR CADA 1000 HABITANTES	CONDICION DE VULNERABILIDAD	VALOR ASIGNADO
RANGOS	De 0.20 a 0.39 Médicos por cada 1,000 habitantes	Muy Alta	1
	De 0.4 a 0.59 Médicos por cada 1,000 habitantes	Alta	0.75
	De 0.6 a 0.79 Médicos por cada 1,000 habitantes	Media	0.5
	De 0.8 a 0.99 Médicos por cada 1,000 habitantes	Baja	0.25
	Uno o más Médicos por cada 1,000 habitantes	Muy Baja	0

TABLA 30. TASA DE MOSTALIDAD INFANTIL.

INDICADOR	TASA DE MORTALIDAD INFANTIL	CONDICION DE VULNERABILIDAD	VALOR ASIGNADO
RANGOS	57.0 ó más	Muy Alta	1
	De 47.1 a 56.9	Alta	0.75
	De 37.1 a 47.0	Media	0.5
	De 27.2 a 37.0	Baja	0.25
	De 17.2 a 27.1	Muy Baja	0

TABLA 31. PORCENTAJE DE POBLACIÓN NO DERECHOHABIENTE.

INDICADOR	Porcentaje de la población que no cuenta con derechohabiencia a servicios de salud	CONDICION DE VULNERABILIDAD	VALOR ASIGNADO
RANGOS	83.52 ó más	Muy Alta	1
	De 67.05 a 83.51	Alta	0.75
	De 50.58 a 67.04	Media	0.5
	De 34.11 a 50.57	Baja	0.25
	De 17.63 a 34.10	Muy Baja	0

- EDUCACIÓN

TABLA 32. PORCENTAJE DE ANALFABETISMO

INDICADOR	PORCENTAJE DE ANALFABETISMO	CONDICION DE VULNERABILIDAD	VALOR ASIGNADO
RANGOS	60.20 ó más	Muy Alta	1
	De 45.42 a 60.19	Alta	0.75
	De 30.64 a 45.41	Media	0.5
	De 15.86 a 30.63	Baja	0.25
	De 1.07 a 15.85	Muy Baja	0

TABLA 33. PORCENTAJE DE POBLACIÓN QUE ASISTE A LA ESCUELA.

INDICADOR	Porcentaje de la población de 6 a 14 años que asiste a la escuela.	CONDICION DE VULNERABILIDAD	VALOR ASIGNADO
RANGOS	De 42.72 a 54.17	Muy Alta	1
	De 54.18 a 65.62	Alta	0.75
	De 65.63 a 77.07	Media	0.5
	De 77.08 a 88.52	Baja	0.25
	88.53 ó más	Muy Baja	0

TABLA 34. GRADO PROMEDIO DE ESCOLARIDAD.

INDICADOR	GRADO PROMEDIO DE ESCOLARIDAD	CONDICION DE VULNERABILIDAD	VALOR ASIGNADO
RANGOS	De 1 a 3.2	Muy Alta	1
	De 3.3 a 5.4	Alta	0.75
	De 5.5 a 7.6	Media	0.5
	De 7.7 a 9.8	Baja	0.25
	De 9.9 o más	Muy Baja	0

- VIVIENDA.

TABLA 35. VIVIENDAS SIN AGUA ENTUBADA.

INDICADOR	PORCENTAJE DE VIVIENDAS NO CUENTAN CON AGUA ENTUBADA.	CONDICION DE VULNERABILIDAD	VALOR ASIGNADO
RANGOS	79.85 ó más	Muy Alta	1
	De 59.89 a 79.84	Alta	0.75
	De 39.93 a 59.88	Media	0.5
	De 19.97 a 39.92	Baja	0.25
	De 0 a 19.96	Muy Baja	0

TABLA 36. VIVIENDAS SIN DRENAJE

INDICADOR	Porcentaje de viviendas no cuentan con drenaje.	CONDICION DE VULNERABILIDAD	VALOR ASIGNADO
RANGOS	80.22 ó más	Muy Alta	1
	De 60.47 a 80.21	Alta	0.75
	De 40.72 a 60.46	Media	0.5
	De 20.97 a 40.71	Baja	0.25
	De 1.21 a 20.96	Muy Baja	0

TABLA 37. VIVIENDAS QUE NO CUENTAN CON ELECTRICIDAD

INDICADOR	Porcentaje de viviendas no cuentan con electricidad.	CONDICION DE VULNERABILIDAD	VALOR ASIGNADO
RANGOS	79.05 ó más	Muy Alta	1
	De 59.29 a 79.04	Alta	0.75
	De 39.53 a 59.28	Media	0.5
	De 19.77 a 39.52	Baja	0.25
	De 0 a 19.76	Muy Baja	0

TABLA 38. VIVIENDAS CON PISO DE TIERRA.

INDICADOR	VIVIENDAS CON PISO DE TIERRA	CONDICION DE VULNERABILIDAD	VALOR ASIGNADO
RANGOS	78.73 ó más	Muy Alta	1
	De 59.43 a 78.72	Alta	0.75
	De 40.13 a 59.42	Media	0.5
	De 20.83 a 40.12	Baja	0.25
	De 1.52 a 20.82	Muy Baja	0

TABLA 39. DEFICIT DE VIVIENDA.

INDICADOR	DEFICIT DE VIVIENDA	CONDICION DE VULNERABILIDAD	VALOR ASIGNADO
RANGOS	78.73 ó más	Muy Alta	1
	De 59.43 a 78.72	Alta	0.75
	De 40.13 a 59.42	Media	0.5
	De 20.83 a 40.12	Baja	0.25
	De 1.52 a 20.82	Muy Baja	0

- EMPLEO E INGRESOS.

TABLA 40. PORCENTAJE DEL PEA QUE RECIBE MENOS DE DOS SALARIOS MINIMOS.

INDICADOR	Porcentaje de la PEA que recibe menos de dos salarios mínimos	CONDICION DE VULNERABILIDAD	VALOR ASIGNADO
RANGOS	82.78 ó más	Muy Alta	1
	De 66.69 a 82.77	Alta	0.75
	De 50.60 a 66.68	Media	0.5

	De 34.51 a 50.59	Baja	0.25
	De 18.41 a 34.50	Muy Baja	0

TABLA 41. TAZA DE DESEMPLEO.

INDICADOR	TAZA DE DESEMPLEO ABIERTO	CONDICION DE VULNERABILIDAD	VALOR ASIGNADO
RANGOS	12.37 ó más	Muy Alta	1
	De 9.28 a 12.36	Alta	0.75
	De 6.19 a 9.27	Media	0.5
	De 3.10 a 6.18	Baja	0.25
	De 0 a 3.09	Muy Baja	0

TABLA 42. RAZON DE DEPENDENCIA DE LA PEA.

INDICADOR	RAZON DE DEPENDENCIA DE LA PEA	CONDICION DE VULNERABILIDAD	VALOR ASIGNADO
RANGOS	117.60 ó más	Muy Alta	1
	De 97.64 a 117.60	Alta	0.75
	De 77.67 a 97.63	Media	0.5
	De 57.70 a 77.66	Baja	0.25
	De 37.72 a 57.69	Muy Baja	0

- POBLACIÓN.

TABLA 43. POBLACION PREDOMINANTEMENTE INDIGENA.

INDICADOR	POBLACION PREDOMINANTEMENTE INDÍGENA	CONDICION DE VULNERABILIDAD	VALOR ASIGNADO
RANGOS	Más del 40% de la población	Predominantemente indígena	1
	Menos del 40% de la población	Predominantemente no indígena	0

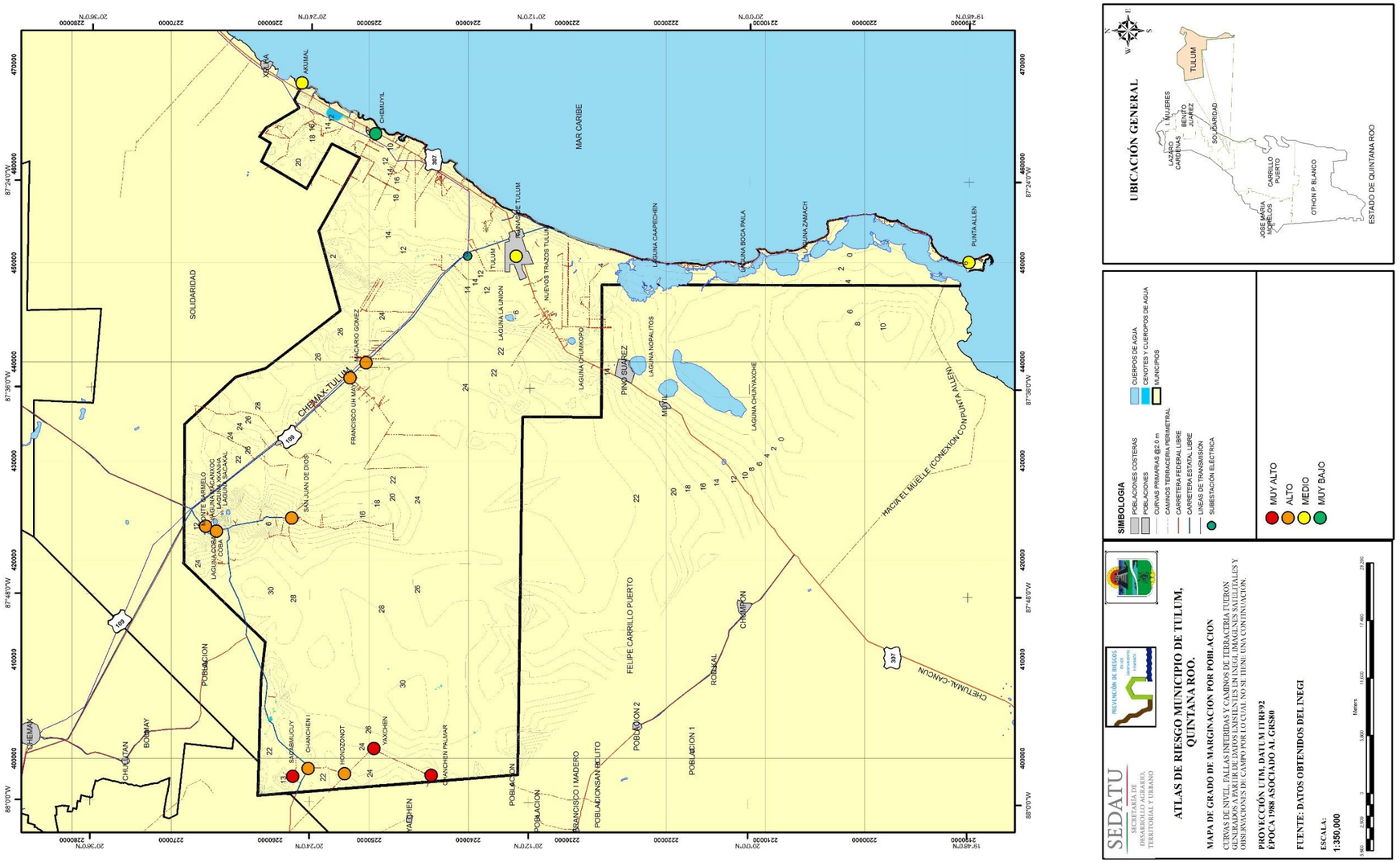
TABLA 44. DENSIDAD DE POBLACIÓN.

INDICADOR	DENSIDAD DE POBLACION	CONDICION DE VULNERABILIDAD	VALOR ASIGNADO
RANGOS	Más de 5,000 habitantes por km2	Muy Alta	1
	De 1,000 a 4,999 Habitantes por km2	Alta	0.75
	De 500 a 999 Habitantes por km2	Media	0.5
	De 100 a 499 Habitantes por km2	Baja	0.25
	De 1 a 99 Habitantes por km2	Muy Baja	0

TABLA 45. DISPERSIÓN DE POBLACIÓN.

INDICADOR	DISPERSIÓN DE POBLACIÓN	CONDICION DE VULNERABILIDAD	VALOR ASIGNADO
RANGOS	40 o más	Muy Alta	1
	de 30 a 39.9	Alta	0.75
	de 20 a 29.9	Media	0.5
	de 10 a 19.9	Baja	0.25
	de 0 a 9.9	Muy Baja	0

El valor promedio de los valores obtenidos anteriormente nos da 0.17 lo cual nos indica que el grado de vulnerabilidad social asociada a desastres es MUY BAJA esto evaluado a nivel municipal, dicho coeficiente no fue afectado por la formula GVS = (R1*0.50) + (R2*0.25) + (R3*0.25), ya que no fueron determinados los valores de la capacidad de prevención y respuesta así como de la percepción local de riesgo.



Mapa 18. Mapa Grado de marginación por población en el municipio de Tulum, fuente: datos obtenidos del INEGI.

CAPITULO 5. NIVELES DE ANÁLISIS DE LOS RIESGOS NATURALES PARA EL ATLAS DE RIESGO DEL MUNICIPIO DE TULUM.

5.1 MÉTODOS, EVIDENCIAS E INDICADORES DE VULNERABILIDAD ANTE FENÓMENOS NATURALES.

Las clasificación de los diferentes niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo descritos de manera general y con el propósito de describir de manera detalla cada uno de los fenómenos perturbadores que pueden afectar al territorio del Municipio de Tulum, Quintana Roo, se presenta a continuación los Métodos, Evidencias e Indicadores de Vulnerabilidad para los Riesgos de tipo Geológico e Hidrometeorológico considerados dentro de las Bases para la Elaboración de los Atlas de Riesgo.

Por lo que, se encontrará a continuación las características específicas de actuación o discriminación de los procesos de riesgo de acuerdo al listado siguiente:

A. Peligros Geológicos.

Vulcanismo.
Sismos
Tsunamis y Maremotos
Deslizamientos (Inestabilidad de Laderas)
Flujos (Inestabilidad de Laderas)
Derrumbes o Caídos (Inestabilidad de Laderas)
Hundimientos
Subsidencias
Fallas y Fracturas
Erosión

B. Peligros Hidrometeorológicos.

Temperaturas Máximas Extremas (Ondas Cálidas y Gélidas)
Sequías
Masas de Aire (Heladas)
Masas de Aire (Tormentas de Granizo)
Masas de Aire y Frentes (Tormentas de Nieve)
Ciclones Tropicales. Huracanes
Ciclones Tropicales. Ondas Tropicales
Tornados
Tormentas Eléctricas
Lluvias Extremas
Inundaciones (Pluviales, Costeras y Lacustres)
Vientos

Nota: La clasificación y el orden de los peligros antes enlistados es responsabilidad de las Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgos y Catálogo de Datos Geográficos para Representar en Riesgo, 2014, de la SEDATU.

5.2 MÉTODOS, EVIDENCIAS E INDICADORES DE VULNERABILIDAD ANTE FENÓMENOS GEOLÓGICOS.

Se deberá considerar que los riesgos geológicos serán aquellos "procesos y fenómenos relacionados con los materiales de la corteza terrestre, su dinámica y los sistemas con los que relacionan en la superficie del planeta, tanto de origen natural como en el que interviene el ser humano", definición establecida dentro de las Bases para la Estandarización en la Elaboración de Riesgos, por lo que, y de acuerdo al lineamiento conceptual anterior, se establece que además será necesario considerar que gran parte del territorio nacional está considerado dentro de un entorno geológico-tectónico muy dinámico, ya que existe una zona subductiva activa ubicada hacia la costa del Océano Pacífico, lo que produce procesos que exponen al territorio nacional a diferentes peligros principalmente relacionados con la actividad sísmica, fallamientos tectónicos y vulcanismo, los cuales, se asocian con áreas propensas a tsunamis o maremotos en sus dos zonas costera.

Dentro de estos procesos se consideran las afectaciones que el ser humano origina al entorno geológico, asociados a la extracción excesiva de recursos naturales del subsuelo, tales como agua subterránea, petróleo y minerales, lo que puede generar daños a obras de infraestructura urbana, casas habitación e infraestructura industrial, por la aparición de fracturas y fallas producto de hundimiento diferencial del terreno principalmente en valles aluviales o lacustres.

Estas afectaciones de carácter antrópico se están viendo aceleradas actualmente ya que además del marco geológico antes mencionado, es importante considerar que la mayor parte del territorio nacional desde el punto de vista de su origen o desarrollo morfológico el cual, es de muy reciente generación, lo que dota a los diferentes geosistemas naturales de una alta vulnerabilidad debido a la falta de equilibrio en sus elementos y condiciones, por lo que, el desmedido aumento demográfico y su consecuente generación de áreas socioeconómicas producen circunstancias en el medio físico que facilitan la presencia de nuevos peligros que antes eran solo procesos insignificantes y que ahora desencadenan peligros que por su naturaleza no se han estudiado y por lo tanto, no existen mediadas para su prevención o mitigación.

Tal es el caso del aumento en el hundimiento de terrenos, inundaciones o los deslizamientos de laderas, todos como el producto de la combinación de los factores geológicos con fenómenos de índole gravitacional y atmosférica.

Por lo que de acuerdo a los conceptos y premisas anteriores, se presenta a continuación las características particulares a considerar dentro de los peligros de origen geológico determinados para el territorio del Municipio de Tulum, Quintana Roo.

5.2.1 VULCANISMO.

Por su ubicación geográfica, el Municipio de Tulum los peligros de tipo volcánicos son prácticamente inexistentes o de muy remota posibilidad de afectación, ya que de los catorce volcanes activos registrados hasta ahora en la República Mexicana, solo dos volcanes serían los más cercanos al territorio tulumense; El Chichonal y Tacaná, ambos en el estado de Chiapas, los cuales se encuentran a 683 y 731 kilómetros de distancia, por lo que, solo bajo condiciones verdaderamente extraordinarias, el único peligro potencial de afectación al municipio sería bajo presencia de polvos y cenizas volcánicas en un muy bajo nivel, por lo que de acuerdo a los parámetros establecidos dentro de las bases que rigen la formulación de criterios de evaluación y análisis, este fenómeno no debe ser considerado como generador de peligros y en consecuencia de riesgos por lo que se deberá considerar en la misma condición para la determinación de los indicadores de vulnerabilidad.

Tabla 46. Vulcanismo.

MÉTODO NIVEL 1	EVIDENCIAS
NO CONSIDERADO	SIN REGISTRO



Imagen 3. Se muestra la ubicación de los dos Volcanes considerados activos, así como, el radio de 100 kilómetros de un punto del centro de la Ciudad de Tulum, lo cual, fue considerado de esta forma, ya que dicha ciudad es la que mayor población presenta dentro del municipio.

5.2.2 SISMOS.

La sismicidad es una actividad casi inexistente en el Municipio de Tulum, ya que hasta ahora el registro de sismos registrados dentro de su territorio había sido nulo, pero debido a la reciente presencia de un sismo que creo dentro de la población una experiencia que fue ante todo extraordinaria por el estigma de los antecedentes históricos de catástrofes acontecidas dentro del territorio nacional, que por la intensidad de la actividad sísmica suscitada. Pero la cual, sin lugar a dudas representa un registro de un proceso que por sí solo

puede no tener importancia, pero si este proceso se interrelaciona con otros procesos tal y como se establece dentro de la propuesta metodológica aplicada para la elaboración del presente Atlas, la actividad sísmica se convierte en un proceso que podrá desencadenar la presencia de peligros con una fenomenología sin que hasta ahora hayan sido considerados incluso en toda la Península Yucateca.

Por lo que y, tal como es posible observar en el apartado siguiente, el cual, corresponde al comunicado presentado por el Servicio Sismológico Nacional con respecto al registro del sismo del día 12 de enero del presenta año, la actividad sísmica para el Municipio de Tulum, podrá ser más común de lo que se cree.

SISMICIDAD EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN.

Por lo regular, la actividad sísmica en la Península de Yucatán es poco numerosa y de baja magnitud. Sin embargo, sí se llegan a registrar sismos como puede verse en la Tabla de la **página 90**. En el año 2002 se presentó otro sismo en la misma región que el sismo del 12 de enero de 2015, el sismo del 2002 tuvo una magnitud de 4.7. Existe información histórica de sismos ocurridos en la región, como el del 15 de noviembre de 1908 a las 09:25 hrs, que fue sentido fuertemente en un amplio territorio de la zona de Quintana Roo y Yucatán (García y Suárez, 1996). Toda la corteza terrestre está sujeta a grandes esfuerzos debido a que las placas tectónicas se encuentran en movimiento. Este movimiento produce grandes deformaciones. Aunque estas deformaciones y movimientos son muy notorios en los límites entre placas, también se presentan en el interior de las placas tectónicas produciendo gran cantidad de fallamiento.

En particular en esta región vemos que los sismos, si bien son escasos, no son excepcionales. Los sismos que ocurren al interior de las placas tectónicas, como es el caso del sismo del 12 de enero de 2015 en Quintana Roo, se denominan “sismos intraplaca”. Como se aprecia en la **Figura 4**, la geología de la Península de Yucatán en compleja, en ella encontramos rocas de todos tipos, tanto sedimentarias, como ígneas y metamórficas, lo cual es un indicio de una importante actividad geológica y tectónica.

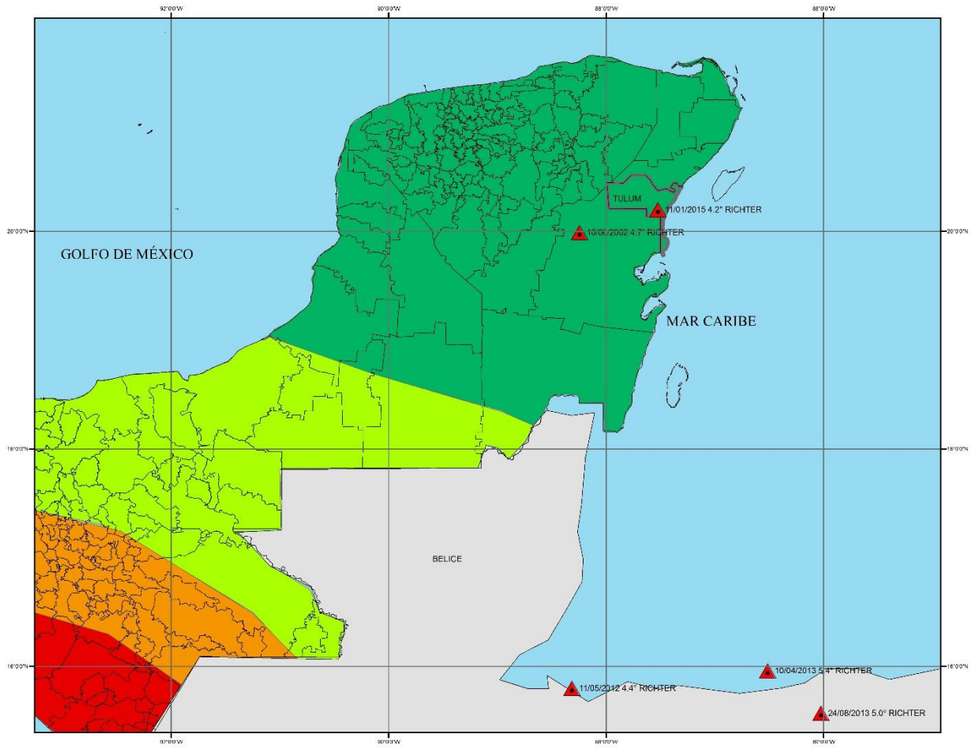
Se ha propuesto (Mann, 1999) un modelo evolutivo que considera el desarrollo de un proceso de colisión secuencial entre la placa del Caribe y los márgenes de Yucatán. Estos eventos posiblemente se relacionan a escala regional con la compresión que ha sufrido la placa del Caribe en su deriva hacia el Este entre las placas de Norteamérica y Sudamérica, estando además afectados desde el Oligoceno por el proceso de transcurrencia del Caribe Noroccidental.

Si bien es cierto la mayoría de los sismos que se registran en nuestro país, sobre todo los susceptibles de generar catástrofes se asocian a la zona activa de la costa del Pacífico, pero para el territorio tulumiense, se trata de sismos conocidos como intraplaca, es decir sismos “inducidos”, los cuales, pueden ser el producto de actividad volcánica y reactivación de fallas activas, pero también, pueden ser producto de alteraciones al relieve por parte del hombre, tal es el caso de movimientos del relieve por hundimientos repentinos de tipo regional por explotación de los recursos del subsuelo, construcción de embalses en presas, explosiones nucleares, o, como muy posiblemente esté sucediendo en el Municipio de Tulum, por hundimiento progresivo debido al rompimiento del balance geohidrológico.

Tabla 47. Sismos reportados por el Servicio Sismológico Nacional con epicentro en el Estado de Quintana Roo, entre los años 1998 y 2015.

FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROFUNDIDAD	MAGNITUD	REGIÓN EPICENTRAL
2015-01-11	21:49	20.20	-87.53	3.00	4.2	67 Km, AL SW DE PLAYA DEL CARMEN
2002-06-10	00:36	19.04	-88.08	19.00	4.7	17 Km AL SE DE SAN ANDRÉS Q. ROO

Cabría agregar a este factor genético la constitución litológica de la plataforma, la cual, es de composición predominantemente calcárea, lo que agrega un factor relevante para complementar un escenario para generar una geodinámica en el terreno principalmente superficial en toda la península, pero sobre todo en los bloques geológicos estructurales ubicados en el extremo sureste, dentro de los cuales, está el bloque de Chetumal, el cual, tal y como se ha hecho mención en apartados anteriores, se encuentra actualmente en un equilibrio dinámico desde el punto de vista tectónico, lo que puede hacer que se registren movimientos que por el contexto tectónico de ascenso de la península, puedan ser principalmente de hundimiento, lo que genera como una consecuencia fracturas de tensión, lo que explica la potencial actividad sísmica cuyos epicentros estarán en puntos poco profundos.



Mapa 19. Regionalización Sísmica de México según CFE, así mismo, se muestran los cinco epicentros sísmicos obtenidos de la revisión documental realizada para elaborar el presente Atlas.

Ante estas consideraciones, se deberá esperar que la actividad sísmica aunque escasa cuando se presente puede desencadenar peligros asociados fundamentalmente a dislocación de bloques por generación de grietas y fracturas muchas de estas por hundimiento regional, por lo que, este fenómeno perturbador estará clasificado de acuerdo a las siguientes consideraciones:

Tabla 48. Evidencias sísmicas en el Municipio de Tulum.

MÉTODO NIVEL 1	EVIDENCIAS
PARA REALIZAR ESTE ANÁLISIS SE UBICÓ AL MUNICIPIO DE TULUM, DENTRO DE LA ZONA DE REGIONALIZACIÓN SÍSMICA PARA MÉXICO, ELABORADO POR LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD. ASÍ MISMO, SE CONSULTO AL INVENTARIO DE SISMOS DEL SERVICIO SISMOLÓGICO NACIONAL. IDENTIFICACIÓN DE LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITE TIPO LANDSAT ETM EN BANDAS 742. INTERPRETACIÓN DE LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES PARA DEFINIR LOS BLOQUES ESTRUCTURALES EN CUANTO A SU CONTEXTO GEODINÁMICA REGIONAL.	SE DEBE CONSIDERAR QUE ESTE FENÓMENO POR SÍ MISMO NO PRESENTA EVIDENCIAS FÁCTICAS, PERO COMO SE HA PLANTEADO EN EL TEXTO, SU PRESENCIA ESPORÁDICA PUEDE ACELERAR LA GENERACIÓN DE OTROS PELIGROS, TALES COMO: 1. HUNDIMIENTOS 2. COLAPSOS DE SUELOS 3. AGRIETAMIENTOS

INDICADORES DE VULNERABILIDAD.

Debido a la prácticamente nula actividad sísmica registrada en el Municipio de Tulum, no existe una sensibilidad social ni gubernamental ante la presencia de un sismo. Por lo que, se deberá implementar un programa de sensibilización acerca de la potencial presencia de un sismo, pero deberá considerarse que en caso de que se presente un sismo, el mayor riesgo se asocia a su presencia, más que a su acción en particular, ya que los daños susceptibles pueden ser producto de diversos factores, tales como:

a) La Intensidad y Duración.
b) Profundidad del epicentro.
c) Estabilidad, Características y Composición del Subsuelo.
d) Diseño y materiales de las construcciones.
e) Hora en la que se produzca el sismo.
f) Densidad de la Población.
g) Desarrollo Socioeconómico en la zona.

Estos factores se interrelacionan o interactúan para generar daños directos e indirectos; dentro de los primeros, se encuentran los movimientos del suelo, la ruptura del suelo, la licuefacción o las elevaciones y hundimientos del terreno, mientras que en los segundos daños, tenemos a los maremotos y los movimientos de laderas, así como aquellos que pueden ser producidos por afectaciones directas a instalaciones u obras de infraestructura.

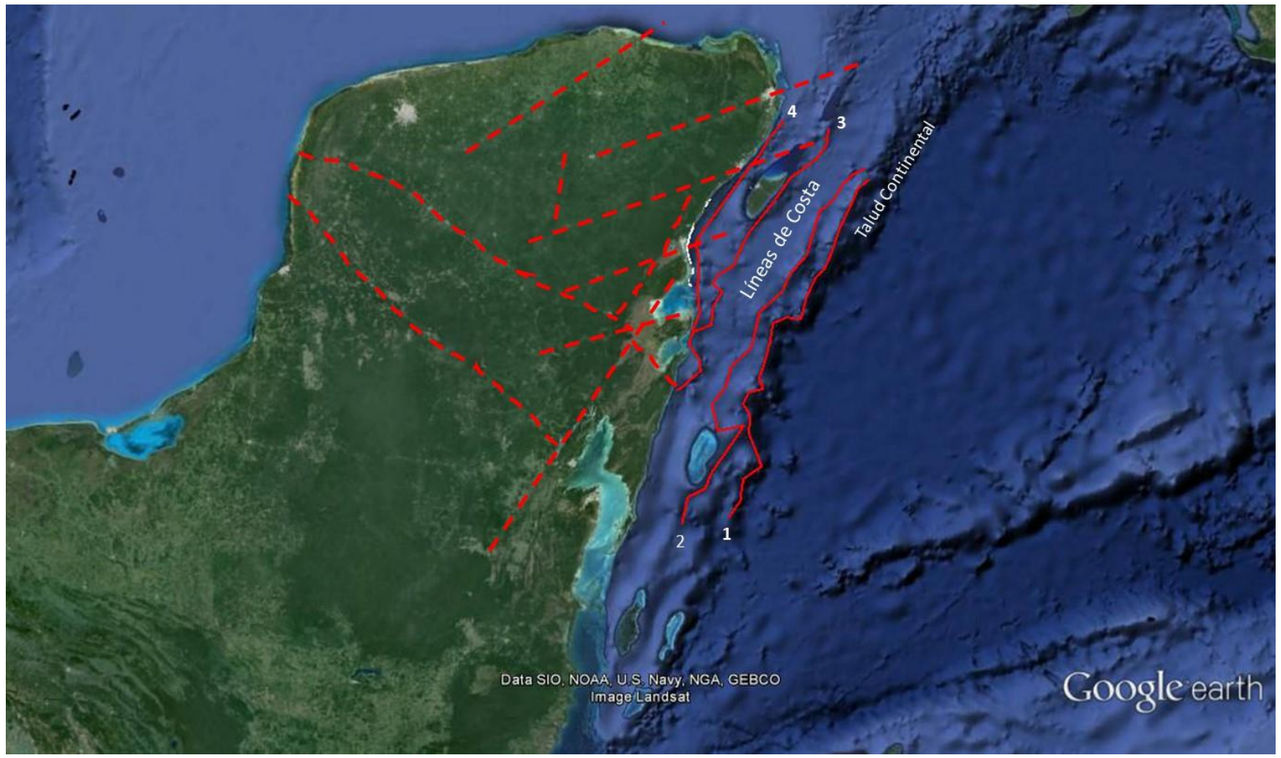


Imagen 4. Identificación de los elementos estructurales regionales que definen las condiciones geológicas estructurales del territorio tulumense. Así mismo, se muestran las cuatro líneas de evolución costera, destacando cuatro líneas, las cuales, presentan las distancias con la línea de costa actual siguientes.

Tabla 49. Características geográficas de la evolución de la línea de costa oriental de la Península de Yucatán.

LÍNEA	LONGITUD KM.	DISTANCIA A LA COSTA ACTUAL KM.	PROFUNDIDAD M.	
			MÁXIMA	MÍNIMA
1	327	ENTRE 86 Y 104 KM.	-2,225	-3,117
2	369	ENTRE 72 Y 84 KM.	-1,022	-2,333

3	270	ENTRE 36 Y 40 KM.	-283	-911
4	190	ENTRE 4 Y 8 KM.	-24	-261

5.2.3 TSUNAMIS O MAREMOTOS.

Debido a que el Municipio de Tulum cuenta con una costa de 96.09 kilómetros la susceptibilidad de que esta costa sea afectada por un tsunami, es muy remota debido fundamentalmente a los principios genéticos de los tsunamis, por lo que para comprender de manera adecuada esta percepción a continuación se enuncia las consideraciones teórico prácticas establecidas dentro del Atlas de Riesgos 2015 del CENAPRED.

El término tsunami es japonés; internacionalmente se usa para designar el fenómeno que en español se denomina maremoto. Es una secuencia de olas que se generan cuando cerca o en el fondo del océano ocurre un terremoto; a las costas pueden arribar con gran altura y provocar efectos destructivos: pérdida de vidas y daños materiales. La gran mayoría de los tsunamis se originan por sismos que ocurren en el contorno costero del Océano Pacífico, en las zonas de hundimiento de los bordes de las placas tectónicas que constituyen la corteza del fondo marino.

En la gran mayoría de los casos, el movimiento inicial que provoca la generación de los tsunamis es una dislocación vertical de la corteza terrestre en el fondo del océano, ocasionada por un sismo, En el transcurso del siglo veinte, éste ha sido el origen de aproximadamente el 94% de los 450 tsunamis ocurridos en el Océano Pacífico, Otros agentes causales menos frecuentes han sido: erupciones de volcanes sumergidos, impacto de meteoritos, deslizamientos submarinos y explosiones nucleares.

En su zona de generación, mientras se desplazan por aguas profundas mar afuera, las olas de los tsunamis son de gran longitud (cientos de kilómetros) y exigua altura (centímetros). No obstante que se propagan a gran velocidad (cientos de kilómetros/hora), visualmente esto los hace indetectables desde embarcaciones y aviones. Sus periodos (lapso de tiempo entre el paso de dos olas sucesivas) son de 15 a 60 minutos. NO se les ha de confundir con las olas cortas de tormentas generadas por el viento, que comúnmente llegan a las costas, ni con las ondas mucho más extensas de las mareas, que una a dos veces arriban todos los días.

Para que un sismo genere un tsunami, es necesario que:

a) El epicentro del sismo, o una parte mayoritaria de su área de ruptura, esté bajo el lecho marino a una profundidad menor a 60 km (sismo superficial).

b) Ocurra en una zona de hundimiento de borde de placas tectónicas; es decir que la falla tenga movimiento vertical: que no sea solamente de desgarre, con movimiento lateral.

c) En cierto lapso de tiempo el sismo libere suficiente energía, y que ésta se transmita eficientemente.

El estado actual del conocimiento científico acerca de la condición c) es insuficiente; aún no existe algún modelo teórico ni método operacional totalmente satisfactorio que permita determinar si un sismo es generador de tsunami, ni de qué tamaño (magnitud, intensidad o altura de olas) será el tsunami generado. Como indicador de certeza de generación de maremotos, tradicionalmente se había aceptado que la magnitud del sismo (Ms) fuera mayor que 7.5 Escala de Richter; sin embargo para terremotos muy grandes o de gran duración (mayor que 20 segundos), este indicador no es confiable. En efecto, movimientos telúricos de Ms menor que 7.0 Escala de Richter y de gran duración han provocado tsunamis

anormalmente grandes respecto de lo esperable (se denominan sismo tsunamis); un ejemplo es el ocurrido en la Fosa Mesoamericana frente a Nicaragua en septiembre de 1992, que fue destructivo.

Actualmente hay consenso en que el valor del momento sísmico (Mo), que es proporcional al área de ruptura y a la dislocación vertical de la falla, determinado de los registros sismográficos de banda ancha es el mejor parámetro para estimar la probabilidad de generación de tsunamis para (Mo) mayor que 10 E 22 newton-metros.
Los tsunamis se clasifican en lugar de arribo a la costa según la distancia (o el tiempo de desplazamiento) desde su lugar de origen, en:

- Tsunamis Locales. El lugar de arribo a la costa está muy cercano o dentro de la zona de generación (delimitada por el área de dislocación del fondo marino) del maremoto; por tiempo de desplazamiento: a menos de una hora.

Ejemplo: el generado por un sismo en la Fosa Mesoamericana frente a Michoacán el 19 de septiembre de 1985, que tardó sólo 30 segundos para llegar a Lázaro Cárdenas, y 23 minutos a Acapulco.

- Tsunamis regionales. El litoral invadido está a no más de 1,000 km a pocas horas de viaje de la zona de generación.

Ejemplo: el provocado por un sismo en las costas de Colombia el 12 de diciembre de 1979, que tardó 4 horas para llegar a Acapulco.

- Tsunamis lejanos (remotos, transpacíficos o teletsunamis). El sitio de arribo está muy alejado, en el Océano Pacífico, a más de 1,000 km de distancia de la zona de generación, a aproximadamente medio día o más de viaje.

Ejemplos: el ocurrido tras un sismo en Chile el 22 de mayo de 1960; tardó unas 13 horas en llegar a Ensenada (México) y el maremoto generado en Japón el 16 de mayo de 1968; demoró 14 horas en arribar a Manzanillo México.

Propagación y tiempo de desplazamiento de tsunamis.

La longitud de las olas de los maremotos (varios cientos de kilómetros) es mucho mayor que la profundidad de las aguas oceánicas por las que se desplazan. Esta propiedad (denominada de onda superficial) hace que, en primera aproximación, su velocidad de propagación dependa exclusivamente de la profundidad. Esto permite determinar la velocidad de propagación correspondiente a todos los puntos oceánicos de los que se tengan datos batimétricos (profundidad), y a su vez cuantificar el tiempo de desplazamiento del tsunami entre dos lugares (en particular el origen y el arribo a la costa), a lo largo de una trayectoria que una esos puntos. La más cercana a la realidad es el arco de círculo máximo común a ambos puntos.

La forma de la áreas de ruptura de los sismos en fosas como la mesoamericana es aproximadamente elíptica alongada; esto propicia que la mayor parte de la energía del tsunami se propague perpendicularmente a su eje longitudinal: hacia la costa cercana y hacia su opuesta en el otro extremo del Océano Pacífico, y la minoría se desplace paralelamente a ese eje: a lo largo del litoral. La evolución de todos los maremotos generados en la Fosa Mesoamericana frente a México se ajusta a este modelo; frente a su origen, a lo largo de la línea de costa hacia el Norte y hacia el Sur desde el punto del litoral, las olas paulatinamente disminuyen su altura y sus efectos destructivos.

De los tsunamis lejanos, este fenómeno de direccionalidad permite también, para las costas de México, que las zonas de ruptura sísmica frente a las Islas Filipinas, las Islas Solomón, Tonga y Samoa representan el mayor riesgo potencial de generación de tsunamis transpacíficos de efectos destructivos.



Imagen 5. Arribo, evolución y efectos de los tsunamis.

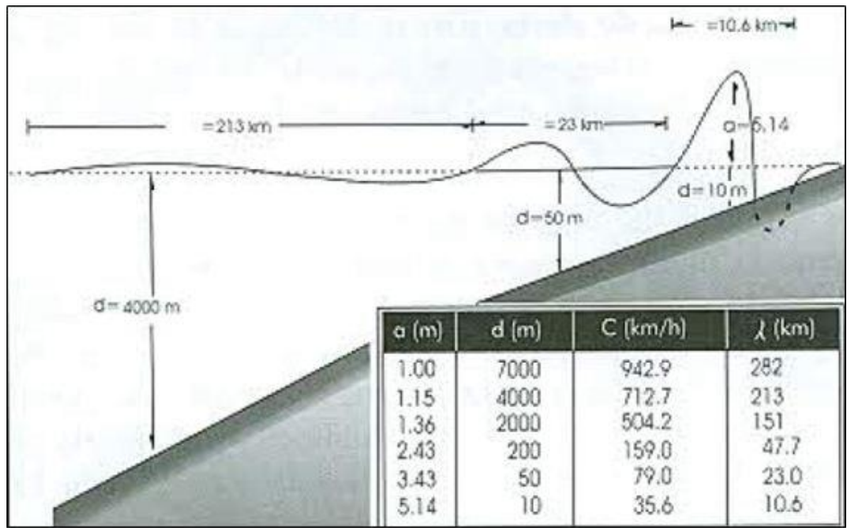
Como se explicó anteriormente, al acercarse las olas de los tsunamis a una costa de pendiente suave (por ejemplo una playa), a medida que disminuye la profundidad del fondo marino también decrece su velocidad, las longitudes de onda se acortan, la energía se concentra y la altura se incrementa, con potencialidad destructiva. En la siguiente figura y su tabla anexa (calculadas mediante una teoría sencilla), este incremento de altura de las olas por disminución de la profundidad (asomeramiento) se ilustra numéricamente, para una ola de tsunami con periodo de 18 minutos, que al propagarse desde 4,000 hasta 10 metros de profundidad, su altura aumenta de 1.15 a 5.14 metros.

Sin embargo, la interacción de las olas de los tsunamis con la costa es mucho más compleja que este asomeramiento.

En la costa la altura de los tsunamis depende de:

a) Las características de las olas en mar abierto.
b) La batimetría.
c) La pendiente del fondo marino.
d) La configuración del contorno de la costa.
e) La refracción.
f) La reflexión.
g) El atrapamiento de sus olas en las diversas formaciones fisiográficas costeras: bahías, golfos, penínsulas, islas, cabos, deltas fluviales, lagunas costras, etc.

La multiplicidad de los factores anteriores hace que la evaluación del comportamiento local de arribo de un tsunami sea un problema complejo y que, aun en distancias cortas, la altura máxima de sus olas varíe considerablemente a lo largo de la costa.



a (m)	d (m)	C (km/h)	λ (km)
1.00	7000	942.9	282
1.15	4000	712.7	213
1.36	2000	504.2	151
2.43	200	159.0	47.7
3.43	50	79.0	23.0
5.14	10	35.6	10.6

Imagen 6. Llegada de los tsunamis a la costa.

Al llegar el tsunami a la costa, su incremento de altura por asomeramiento provoca retiro o resaca del agua ante el frente de la ola (véase la parte superior derecha de la figura anterior); grandes extensiones del fondo marino quedan al descubierto (secas). Es una aviso de que pocos minutos después llegará una ola a gran velocidad. No se acerque a la playa a mirar este retiro del mar ni a recoger peces y mariscos; cuando vea llegar la ola será demasiado tarde para huir. Antes del arribo del tsunami, en muy pocos casos no se ha producido este recogimiento del agua del mar.

Un tsunami no es una sola ola, sino una secuencia o tren de olas que cada 10 a 40 minutos se suceden una tras otra durante un lapso de medio día, un día o más. Comúnmente, la ola de mayor altura y potencial destructiva NO es la primera ni la segunda, sino las siguientes: tercera, etc.

Si como resultado de una alerta autorizada el lugar donde usted se encontraba lo han evacuado, no regrese a los lugares inundables hasta que una autoridad responsable le indique que la perturbación marina y la amenaza ya han terminado.

En bahías semicerradas (con forma semejante a una herradura) las olas del tsunami experimentan en el interior reflexiones múltiples sucesivas en las costas opuestas, amplificándose su oscilación y la altura con que invaden las costas. Este fenómeno se denomina amplificación resonante por formación de ondas estacionarias; se genera en las olas de tsunami cuya longitud sea igual o múltiplo de las dimensiones horizontales (longitud y anchura) de la bahía. Es semejante al derrame que en un plato de sopa o en una taza de café sucede cuando el líquido se excita por oscilación.

Por análisis de los registros mareográficos, se ha inferido la ocurrencia de amplificación resonante de las olas de tsunamis en Ensenada, La Paz, Acapulco y Manzanillo, que son bahías semicerradas. Debido a este fenómeno, al arribo de los maremotos provenientes de Chile en 1960 y de Alaska en 1964 las alturas máximas de ola registradas en el mareógrafo de Ensenada, B.C., fueron aproximadamente el triple de las ocurridas en la costa abierta de la vecina localidad de La Jolla, California (USA), y mayores a las de otros puertos mexicanos. Contrariamente a una difundida creencia, la presencia de islas en la boca de las bahías de Ensenada y de Acapulco no las protege de los tsunamis; estas islas incrementan el cerco y la extensión del contorno costero, que por reflexión interna amplifica las olas del maremoto, y limitan el escape de su energía hacia mar afuera a través de la boca.

Las olas de los tsunamis pueden penetrar en ríos, esteros, arroyos y/o lagunas costeras, y viajar a gran velocidad hasta varios kilómetros tierra adentro; se les denomina bores. Por ejemplo; las olas que el 19 de septiembre de 1985 se propagaron aguas arriba por el Río Balsas, inundaron la zona portuaria de Lázaro Cárdenas; en tan sólo 18 minutos llegaron hasta el segundo puente de la ciudad, distante 8 kilómetros de la boca del río. Por lo tanto, al ocurrir un tsunami hay que alejarse de ríos, esteros, arroyos y lagunas costeras.

A su arribo, los daños materiales pueden ser:

Primarios: causados directamente por la acción estática del agua (inundación, presión, flotación) en las estructuras, o por su acción dinámicas (corrientes, fuerzas de arrastre), y rompimiento de las olas o rebasado de sus aguas en muelles rompeolas.

Secundarios: ocasionados por:

Impacto de objetos flotantes o arrastrados por las aguas (embarcaciones, vehículos, etc.) en estructuras fijas.

Incendios o explosiones, inducidos por el impacto de tales objetos flotantes en tanques de almacenamiento de combustible.

Líneas eléctricas caídas.

Derrumbe de edificaciones, por escurrimiento del material térreo de soporte de sus cimientos.

Contaminación por líquidos y/o gases tóxicos, al romperse los recipientes o envases.

Social, pues producen:

a) Decesos y heridos.
b) Destrucción de construcciones.

c) Daños en vías de comunicación, hospitales y escuelas.
d) Interrupción de servicios públicos (electricidad, telefonía, etc.)
e) Pérdida de viviendas, desplazamiento y reubicación de asentamientos humanos.

Actividades cotidianas de la población.

Referencia: Farreras Salvador F., Domínguez Mora Ramón, Gutiérrez M. Carlos A. (2005).

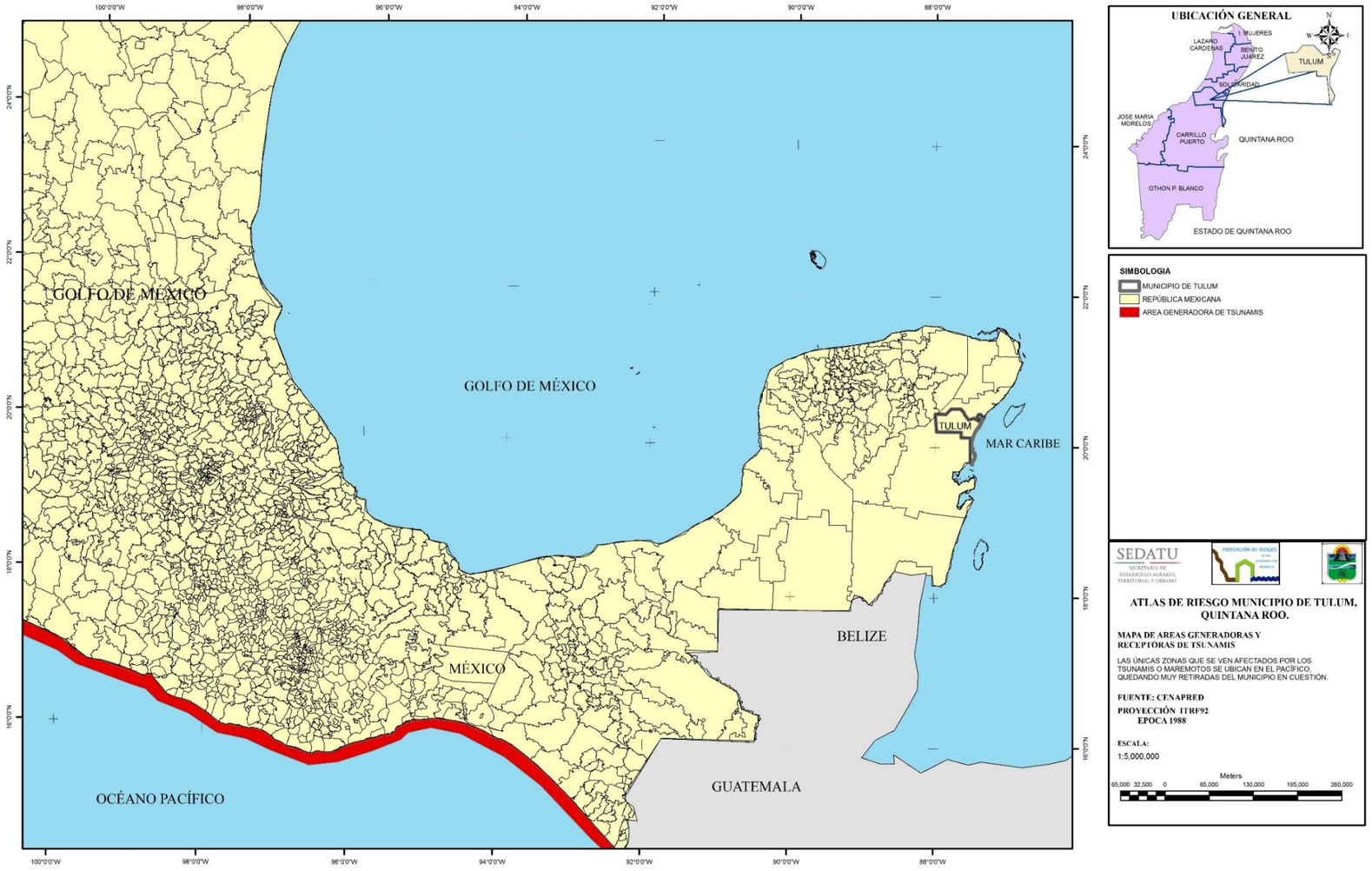
De acuerdo a las consideraciones anteriores, es posible entonces clasificar a la costa tulumense como de muy baja susceptibilidad de ser afectada por un fenómeno tal como los tsunamis, ya que hasta ahora, solo se tiene registro que en el Mar Caribe se han presentado cinco fenómenos de este tipo.

Está muy baja susceptibilidad por afectación de un fenómeno por tsunamis, se fortalece en función de la baja presencia de sismos por el contexto morfoestructural en el que se localiza la región marina del caribe, así mismo, se deberá considerar que en caso de la extraordinaria posibilidad de que se registre un tsunami, la barrera de coral localizada por todo el frente de la costa tulumense, sería la que sufriría la mayor afectación disminuyendo la fuerza del oleaje y por lo tanto el impacto a la costa y la población asentada en la misma.

Por lo tanto, para este fenómeno perturbador se consideran las siguientes características de riesgo:

Tabla 50. Evidencias tsunamis en el Municipio de Tulum.

MÉTODO NIVEL 1	EVIDENCIAS
NO CONSIDERADO	SIN REGISTRO

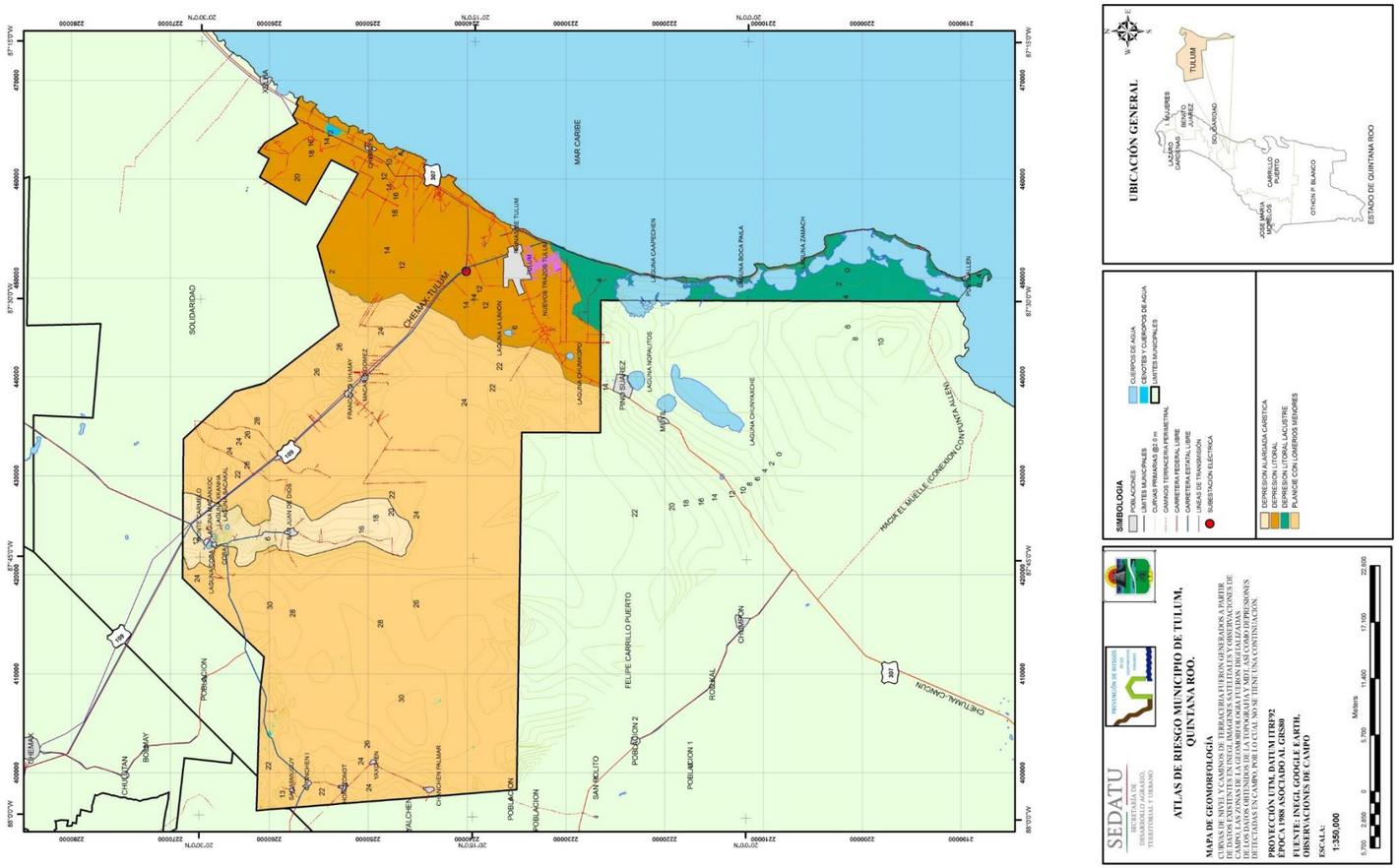

100°0'0"W
98°0'0"W
96°0'0"W
94°0'0"W
92°0'0"W
90°0'0"W
88°0'0"W
24°0'0"N
22°0'0"N
20°0'0"N
18°0'0"N
16°0'0"N
GOLFO DE MEXICO
GOLFO DE MÉXICO
TULUM
MAR CARIBE
BELIZE
MÉXICO
GUATEMALA
OCÉANO PACÍFICO
UBICACIÓN GENERAL
N
W
E
S
LAZARO CARDENAS
ISLA MUJERES
BENITO JUAREZ
TULUM
SOLIDARIDAD
JOSE MARIA MORELOS
CARRILLO PUERTO
QUINTANA ROO
OTHON P. BLANCO
ESTADO DE QUINTANA ROO
SIMBOLOGIA
MUNICIPIO DE TULUM
REPÚBLICA MEXICANA
AREA GENERADORA DE TSUNAMIS
SEDATU
SECRETARÍA DE DESARROLLO AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO
ATLAS DE RIESGO MUNICIPIO DE TULUM, QUINTANA ROO.
MAPA DE AREAS GENERADORAS Y RECEPTORAS DE TSUNAMIS
LAS ÚNICAS ZONAS QUE SE VEN AFECTADOS POR LOS TSUNAMIS O MAREMOTOS SE UBICAN EN EL PACÍFICO, QUEDANDO MUY RETIRADAS DEL MUNICIPIO EN CUESTIÓN.
FUENTE: CENAPRED
PROYECCIÓN ITRF92
EPOCA 1988
ESCALA:
1:5,000,000
Meters
65,000 32,500 0 65,000 130,000 195,000 260,000

Mapa 20. Mapa de la zona generadora y receptora de tsunamis, en donde se observa que el Municipio de Tulum no se ve afectado por este fenómeno, fuente CENAPRED.

5.2.4 DESLIZAMIENTOS.

Referente a uno de los diversos procesos asociados a la gravedad terrestre, este tipo de fenómenos puede presentarse en el relieve de forma rápida o lenta, en general, para la realización del presente Atlas, y debido a que para que se desarrolle o presenten este tipo de fenómenos, se requiere que exista una diferencia de alturas en el terreno que pueda posibilitar que pequeñas o grandes zonas del suelo puedan comenzar a presentar deslizamientos inicialmente diferenciales para después, en cuanto los factores entran en una interrelación con condiciones específicas, se pueda desarrollar un movimiento rápido y de muy grandes dimensiones, provocando catástrofes que por su dinámica generalmente cobra muchas vidas.

Definidos como “el desplazamiento de una masa de suelo a partir de una o varias superficies de rotura, con velocidades variables y donde la masa deslizada conserva caso su forma original”.



Mapa 21. Morfología que conforma al relieve del Municipio de Tulum, donde se destaca la planicie semiplana con lomeríos de muy suave pendiente prácticamente imperceptible delimitando depresiones alargadas de laderas suaves.

Tal y como es posible observar en el mapa anterior, las cotas mayores apenas rebasan los 30.00 m.s.n.m., y se localizan en la parte noroeste y centro oeste del municipio, por lo que, la altitud que se presenta en el relieve no representa una condición propicia para aumentar en el terreno una condición fundamental para el desarrollo de este tipo de procesos, la energía potencial que se almacena en los materiales que conforman las laderas facilitando en consecuencia la susceptibilidad de la misma para registrar procesos de riesgo por deslizamiento.

Siendo una condición determinante las diferentes alturas y formas del relieve para que se presente este tipo de fenómenos y, debido a que en el territorio del Municipio de Tulum, no existe esta condición del terreno, este tipo de procesos no representa un peligro y mucho menos representa riesgo alguno, por lo que;

Tabla 51. Evidencias de deslizamiento en el Municipio de Tulum.

MÉTODO NIVEL 1	EVIDENCIAS
NO CONSIDERADO	SIN REGISTRO

5.2.5 FLUJOS.

FLUJOS DE LODO O TIERRA Y SUELO, LAHARES.

Al igual que los deslizamientos de suelo o roca antes comentados, estos procesos guardan una semejanza causal, ya que se requiere además de la gravedad, los suelos o los depósitos aluviales donde pueden presentarse los procesos de flujos de lodo, tierra o suelos, siempre y cuando exista otra condición fundamental, la presencia de agua. Agua que deberá saturar a los terrenos los cuales, a su vez, deberán presentar un gradiente topográfico propicio para que pueda entonces presentarse un movimiento, el cual, muchas veces es casi imperceptible debido a que puede registrarse en escalas regionales.

Para el Municipio de Tulum, no existe la posibilidad de registrarse cualquiera de estos procesos, ya que el terreno en general, está constituído por rocas calcáreas, las cuales, no están saturadas de agua y el gradiente topográfico regional es de menos de 1°, en cuanto al suelo, de acuerdo a lo observado en campo, se trata principalmente de litosoles y renzinas con horizontes de escaso desarrollo, condiciones que por lo tanto, son totalmente inadecuadas para el registro de este tipo de fenómenos.

Este tipo de procesos no representa un peligro y mucho menos representa riesgo alguno, por lo que;

Tabla 52. Evidencias de flujos en el Municipio de Tulum.

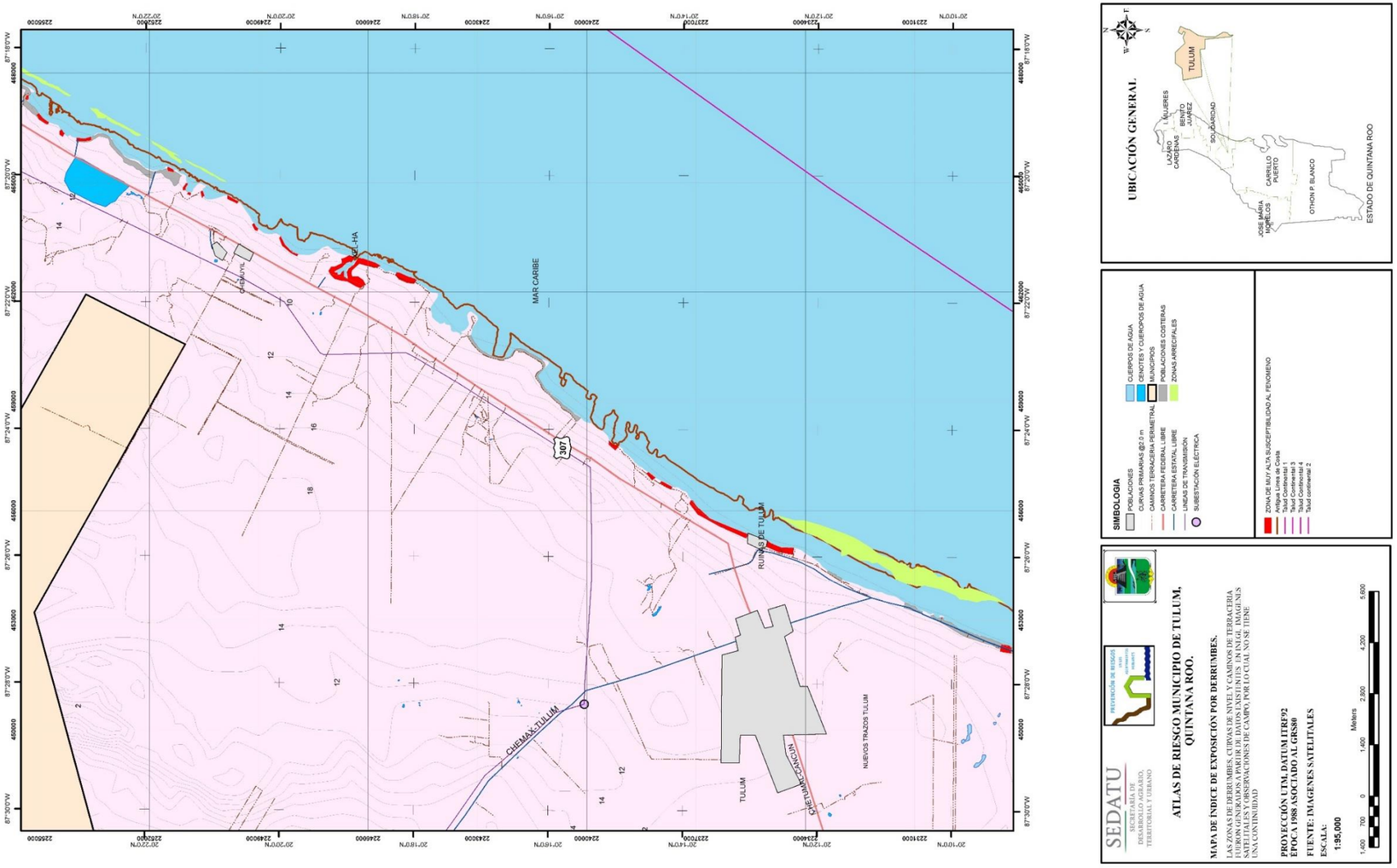
MÉTODO NIVEL 1	EVIDENCIAS
NO CONSIDERADO	SIN REGISTRO

5.2.6 DERRUMBES (CAÍDOS).

Este otro proceso que es parte de los conocidos como procesos de origen gravitacional, tampoco es posible se registre dentro del territorio Municipal de Tulum, ya que al igual que los anteriores, se requiere de diferencias radicales del terreno, lo que para este caso no se presentan. Aunque, cabría mencionar que existen condiciones propicias para que se lleven a cabo derrumbes en partes de la línea de costa clasificada en este documento como costa abrasiva.

Para ejemplificar de manera adecuada este proceso, se debe mencionar los bloques y caídos que se pueden apreciar en la playa que la zona Arqueológica de Tulum, debiendo aclarar que la diferencia de origen con respecto a los derrumbes y caídos definidos dentro de las bases para elaborar los Atlas, estos derrumbes y caídos se deben a erosión costera, por lo tanto, la abrasión y corrosión juegan un papel determinante en la generación de este tipo de procesos.

Como es posible observar en la siguiente figura, la cartografía realizada para determinar las diferentes alturas de la línea de costa clasificada como de tipo abrasiva y la cual, presenta características de playas con pendiente abrupta o en partes en cortes del tipo acantilado, permitiendo no solo la erosión química de la roca, sino también, el desprendimiento de fragmentos rocosos de diversas dimensiones, procesos semejante causalmente al referido en la especificaciones del manual para la elaboración de los Atlas, por lo que, se consideró dentro de este apartado señalar las zonas donde la línea de costa en la rompiente de oleaje presenta de 3.00 a 9.00 metros de altura, lo que determina que existen dentro de la línea de costa en el Municipio de Tulum, 24.44 kilómetros susceptibles a presentar procesos de riesgo por derrumbes o caídos de rocas, los cuales, se localizan principalmente hacia la parte norte y centro de la línea de costa del municipio.



Mapa 22. Mapa de índice de exposición por derrumbes o caídos.

Otro punto donde se registran principalmente caídos aislados, son los cenotes o donde está en desarrollo la formación de un cenote, siendo este proceso el registro de puntos de peligro que en caso de que se encuentre el cenote en un uso como el que actualmente se registra en el municipio, es decir, de área de recreación turística, se convierte en un punto con susceptibilidad de riesgo.

Este tipo de procesos representa un peligro de mediano a alto nivel, mientras que a su vez, representa zonas de riesgo con niveles de bajo a medio, aunque por las características de evolución de la línea de costa, se deberá considerar que existe una alta susceptibilidad a elevar el nivel de riesgo en un plazo relativamente inmediato, por lo que;

Tabla 53. Evidencias de derrumbes o caídos en el Municipio de Tulum.

MÉTODO NIVEL 1	EVIDENCIAS
IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RIESGO POR CAÍDOS EN LÍNEA DE COSTA MEDIANTE INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE EN EL GOOGLE EARTH A DIFERENTES ESCALAS, PARA POSTERIORMENTE SELECCIONAR PUNTOS DE OBSERVACIÓN DIRECTA CON EL OBJETO DE LEVANTAR REGISTROS FOTOGRÁFICOS. ASÍ MISMO, SE CONSIDERARON LOS FACTORES SIGUIENTES: 1. TIPO DE ROCA: CALCÁREA 2. TIPO DE SUELO: LITOSOL 3. DENSIDAD VEGETATIVA: MEDIA A BAJA 4. GEOMORFOLOGÍA: LOMERÍO Y COSTA ABRASIVA. 5. USO ACTUAL DEL SUELO: PRINCIPALMENTE HABITACIONAL O TURÍSTICO 6. KARSTICIDAD. UN FACTOR DE SUMA IMPORTANCIA EN ESTE NIVEL DE ANÁLISIS ES LA OBTENCIÓN DE EVIDENCIAS POR DAÑOS, TANTO A LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS, COMO A LA INFRAESTRUCTURA, LO QUE DEBERÁ SER CONSIDERADO DENTRO DEL NIVEL DE ANÁLISIS 2.	NO EXISTE REGISTRO, NI BASE CARTOGRÁFICA QUE PERMITA REALIZAR ANÁLISIS CONCRETOS DE LA PRESENCIA DE DERRUMBES Y/O CAÍDOS PRINCIPALMENTE HACIA LA LÍNEA DE COSTA PERTENECIENTE AL MUNICIPIO DE TULUM, PERO DEBIDO A QUE CERCA DEL 25.43% DE DICHA LÍNEA DE COSTA PRESENTA CORTES CON FUERTE PENDIENTE, SE DEBERÁ CONSIDERAR QUE EXISTEN ZONAS CON PELIGRO A PRESENTAR DESPRENDIMIENTOS DE ROCA. ESTE TIPO DE PELIGRO, SE ASOCIA A LA ZONA DONDE ACTUALMENTE SE DESARROLLA UNA ALTA ACTIVIDAD TURÍSTICA, LO QUE DEBERÁ CONSIDERARSE PARA REALIZAR EN UN PERÍODO CORTO, TRABAJOS DE LEVANTAMIENTO DE FRACTURAS Y GRIETAS, ASÍ COMO, DE PRESENCIA DE CAVERNAS, SOBRE TODO EN LAS ZONAS CON MAYOR CRECIMIENTO O DE ACTIVIDAD TURÍSTICA, YA QUE EN UN CORTO PLAZO, ES POSIBLE SE PRESENTEN COLAPSOS O DESPRENDIMIENTO DE BLOQUES ROCOSOS PONIENDO EN RIESGO A PERSONAS E INFRAESTRUCTURA EXISTENTE.

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD.

De acuerdo a las condiciones de peligro y riesgo consideradas anteriormente, se deberá establecer dentro del análisis de vulnerabilidad principalmente a los indicadores siguientes:

Tabla 54. Análisis de vulnerabilidad por derrumbes o caídos.

MÉTODO NIVEL 1	INDICADORES OBSERVADOS
IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RIESGO POR CAÍDOS EN LÍNEA DE COSTA MEDIANTE INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE EN EL GOOGLE EARTH A DIFERENTES ESCALAS, PARA POSTERIORMENTE SELECCIONAR PUNTOS DE OBSERVACIÓN DIRECTA CON EL OBJETO DE LEVANTAR REGISTROS FOTOGRÁFICOS. PARA EL DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD AL NIVEL 1, SE LLEVARON A CABO LOS TRABAJOS SIGUIENTES: 1. IDENTIFICACIÓN DE LAS LÍNEAS DE COSTA MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITE DEL GOOGLE EARTH. 2. IDENTIFICACIÓN DE LAS LÍNEAS ARRECIFALES INMEDIATAS A LA COSTA. 3. IDENTIFICACIÓN DE PLAYAS DE TIPO ABRASIVAS. 4. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE LA COSTA QUE PRESENTARAN ALTURAS MAYORES A LOS 3.00 METROS SOBRE EL NIVEL DE MAR EN SU PUNTO DE ROMPIENTE DE OLEAJE. 5. SELECCIÓN DE PUNTOS PARA REGISTRO DE FOTOGRAFÍAS	FÍSICOS: 1. BLOQUES DE ROCA EN LA ZONA ARQUEOLÓGICA DE TULUM. 2. BLOQUES CAÍDOS EN LA PLAYA DEL SITIO CONOCIDO COMO PLAYA PELICANO 3. BLOQUES CAÍDOS Y DISLOCADOS EN LA PLAYA DE AKUMAL 4. REVISAR EL SITIO DE LA CALETAS DE TANKAH, XCACELITO Y XEL-HA. SOCIAL: 1. NO EXISTE DOCUMENTACIÓN RELACIONADA CON EVENTOS OBSERVADOS QUE PUEDAN SENSIBILIZAR A LA POBLACIÓN. 2. POR TRATARSE DE UN DESARROLLO SOCIOECONÓMICO RELATIVAMENTE NUEVO, NO EXISTE A NIVEL DE PROTECCIÓN CIVIL UN PLAN DE EMERGENCIA ANTE ESTE FENÓMENO. 3. POR EL TIPO DE COSTA Y POR NO EXISTIR ALGÚN TIPO ANTECEDENTE, LAS CONSTRUCCIONES EXISTENTES NO CUENTAN CON MATERIALES Y DISEÑOS DE CONSTRUCCIÓN ADECUADOS PARA PREVER ESTE TIPO DE PROCESOS.

Por lo tanto, en cuanto a la vulnerabilidad existente por este tipo de fenómeno perturbador, se deberá considerar de media a alta vulnerabilidad.

5.2.7. CREEP o REPTACIÓN.

Siendo la reptación otro de los movimientos que se presenta en laderas con la gravedad como el factor determinante, para lo cual, es necesario que exista la condición en el terreno de una pendiente mínima para que el suelo se deslice lentamente ladera abajo. Este proceso requiere en consecuencia una ladera con pendiente adecuada para que pueda desencadenarse un movimiento del suelo, lo que para el territorio tulumense, no es posible se presente este tipo de fenómeno, ya que la condición geomórfica presente es de una llanura con muy suave pendiente. Por lo tanto, la reptación no se considera dentro de este Atlas, como uno de los procesos que puedan presentarse como peligrosos o con susceptibilidad de riesgo.

Tabla 55. Evidencia de creep o reptación.

MÉTODO NIVEL 1	EVIDENCIAS
NO CONSIDERADO	SIN REGISTRO

5.2.8. AVALANCHA DE DETRITOS.

Debido a las características geomórficas existentes en el territorio tulumense, no fue posible observar la presencia de este tipo de fenómeno perturbador, ya que los lomeríos existentes presentan suaves pendientes y la disposición de los estratos rocosos es casi horizontal, por lo que, si se considera que debería presentarse la caída de fragmentos rocosos o de suelo o, vegetación suelta, en la base de las laderas acumulándose ladera abajo constituyendo montículos, lo que durante los trabajos de elaboración de este Atlas, no fue posible registro alguno, por lo que.

Tabla 56. Evidencia de avalancha de detritos.

MÉTODO NIVEL 1	EVIDENCIAS
NO CONSIDERADO	SIN REGISTRO

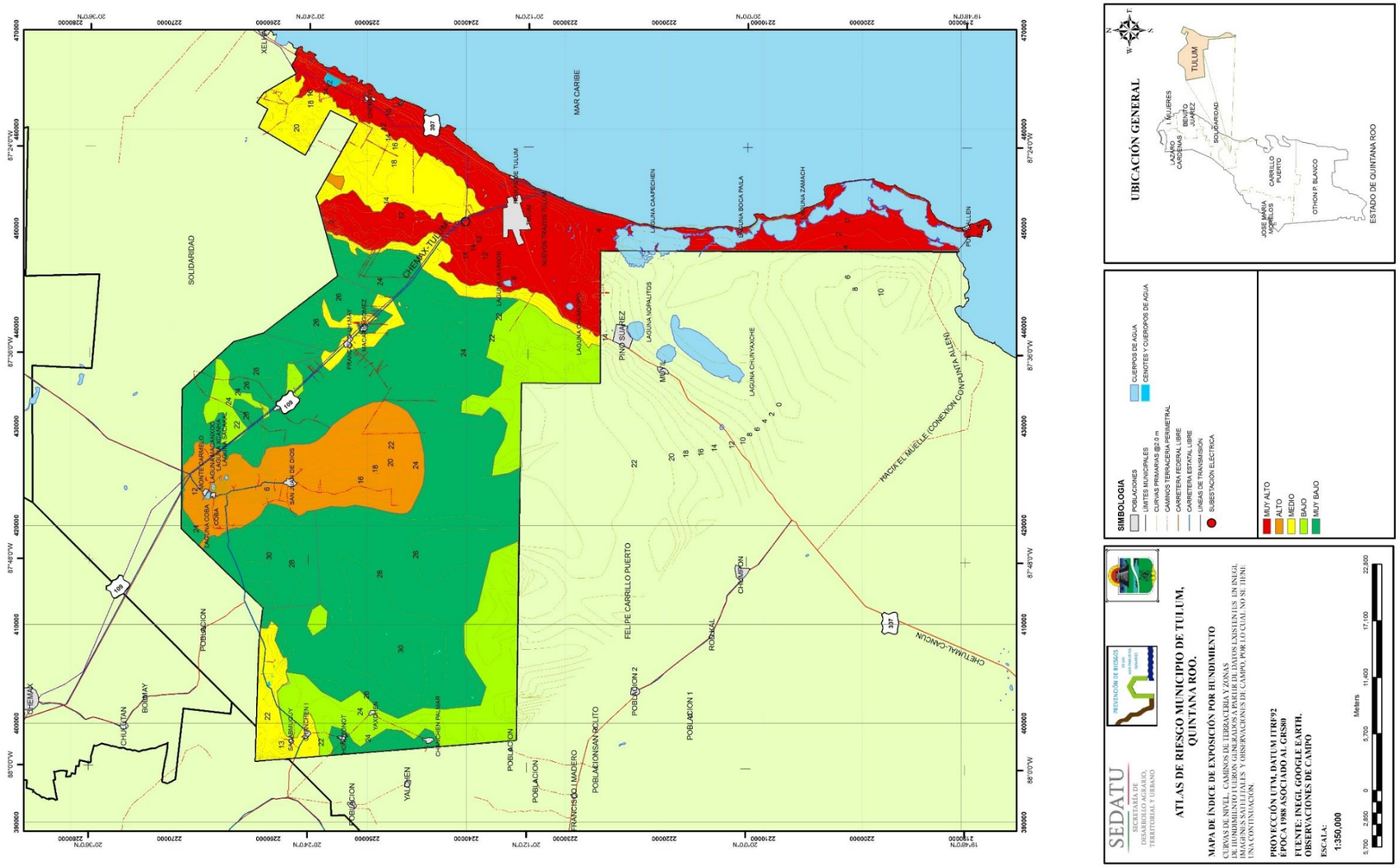
5.2.9. HUNDIMIENTOS.

Los hundimientos pueden definirse como movimientos lentos o rápidos descendentes del terreno, provocados por condiciones de inestabilidad de los materiales subyacentes, generando la apertura de oquedades en la superficie de dimensiones y geometría variable, que puede ser colmatada generando formas del relieve embudiformes, como es el caso de los procesos con mayor presencia dentro del territorio Municipal de Tulum.

Los hundimientos se pueden generar por causas fundamentalmente naturales, pero eventualmente pueden ser generados por actividades humanas. Para el caso del hundimiento observado en el territorio tulumense, se trata sobre todo de hundimientos por el desarrollo de procesos de karstificación, ya que las rocas carbonatadas conforman prácticamente todo el terreno municipal, lo que determina el desarrollo de formas, tales como; dolinas, úvalas, cenotes y de numerosas cavidades en el subsuelo. Con el paso del tiempo, el techo de estas cavidades puede ceder, desarrollándose dolinas "pozo" o incluso simas de tamaño y morfología sumamente variable. Una característica sobresaliente que se presenta dentro del terreno del Municipio de Tulum, es que estas formas kárticas alcanzaron el nivel de aguas freáticas configurando los cenotes y las dolinas inundadas algunas como las lagunas: Laguna Verde y La Unión, en la zona de Cobá, o las lagunas La Unión y Chumkopo ubicadas dentro de la depresión donde se ubica la Ciudad de Tulum. El hundimiento se puede acelerar o desencadenarse si se construye sobre terrenos kársticos, ya que se produce una sobrecarga inducida lo que puede estar registrándose en zonas de la costa y dentro del límite urbano principalmente de la Ciudad de Tulum.

Como es posible observar en la figura siguiente, este proceso se registra principalmente hacia la zona costera del Municipio de Tulum, donde se determinó como zona con MUY ALTO GRADO DE RIESGO (en color rojo), teniendo una superficie de 428.02 kilómetros cuadrados, lo que representa el 20,97% del territorio, esta zona comienza su desarrollo a partir de la cota 14.00 m.s.n.m., su importancia radica en que en esta zona se encuentra prácticamente el 75.67% de la población del municipio, así mismo, se localiza la zona con el desarrollo turístico y la mayor infraestructura urbana y de comunicación, por lo que se debe desarrollar cuanto antes las políticas de prevención de riesgos por hundimientos, debiendo considerar que dentro de los factores causales de este tipo de fenómenos perturbadores tenemos que las construcciones pueden acelerar al proceso.

Otra zona de importancia, es la señalada como de Alto Riesgo (en color naranja), es la depresión de Cobá, zona con 218.85 kilómetros cuadrados, el 10.72% de la superficie municipal, con una altura que va de los 26.00 m.s.n.m. hasta los 6.00 m.s.n.m., su importancia radica en que en esta depresión se localiza la importante Zona Arqueológica de Cobá. Así mismo, en esta depresión se localizan dos cuerpos de agua de dimensiones importantes, los cuales, desbordan sus agua inundando una superficie considerable de la Ciudad de Cobá, así como a la carretera que comunica a esta localidad con la carretera 109, proceso de inundación que se verá en desarrollo debido a que se debe considerar que el hundimiento de esta depresión se debe acelerar, ya que actualmente se está llevando a cabo la tala de la selva motivando una mayor afectación por karsticidad y su consecuente colapso del terreno. Es urgente considerar implementar medidas que mitiguen tanto la karsticidad, como la inundación, ya que la acumulación de agua provocará la presencia de zonas de colapso con desarrollo rápido poniendo en riesgo a la población y sus diferentes actividades sociales y económicas. De acuerdo al Anuario Estadístico para Quintana Roo, los habitantes registrados para las dos poblaciones ubicadas dentro de esta depresión, Cobá y San Juan de Dios, fue de 1,877 habitantes, lo que representa el 6.64%. Por lo que entre la zona costera y esta depresión, se estima que se encuentran en riesgo el 82.31% de la población municipal.



Mapa 23. Mapa de Índice de Exposición por Hundimiento.

De no menos importancia se observa a las zonas bajo procesos de hundimiento con niveles de riesgo medio, bajo y muy bajo, en colores, naranja, verde claro y verde correspondientemente, cuyas superficies son de 228.46, 278.46 y 887.11 kilómetros cuadrados representando el 11.20%, 13.64% y 43.47% del territorio municipal.

A pesar de que el 43.47% de la superficie municipal se registra como con muy bajo nivel de riesgo por hundimiento, es importante hacer mención que el proceso de hundimiento que se registra en el territorio municipal de Tulum, se está acelerando por la falta de medidas preventivas que tienen que ver para este caso en específico, con la tala de la selva y su consecuente descubrimiento del lecho rocosos, aumentando la superficie de intemperización y por lo tanto acelerando la generación de karsticidad y por lo tanto, mayores superficies de ser susceptibles de hundirse o colapsarse.

De acuerdo a lo observado durante los recorridos para la elaboración del presente Atlas, fue posible evidenciar que las calles de la Ciudad de Tulum, las carreteras y los caminos, pero sobre todo el camino que va de Tulum a Punta Allen, presentan serios rasgos de averías por hundimiento del terreno, lo que hace pensar que se está desarrollando una etapa de acelere del proceso de riesgo por hundimiento, por lo que, es urgente se desarrollen trabajos de campo que permitan evaluar de mejor manera a este proceso buscando establecer las medidas para prever o mitigar los efectos de este fenómeno perturbador.

ESQUEMA EVOLUTIVO DEL RIESGO POR HUNDIMIENTO EN EL TERRITORIO DEL MUNICIPIO DE TULUM



Tabla 57. Evidencias de hundimiento en el Municipio de Tulum.

MÉTODO NIVEL 1	EVIDENCIAS
PARA REALIZAR LA IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS CON PELIGRO Y RIESGO POR EL PROCESO DE HUNDIMIENTO DEL TERRENO, FUE NECESARIO REALIZAR LAS ACTIVIDADES SIGUIENTES: 1) ELABORACIÓN DE UN PLANO TOPOGRÁFICO RECTIFICADO EN CAMPO DIRECTAMENTE. 2) IDENTIFICACIÓN DE CENOTES Y ZONAS CON EVIDENTES RASGOS DE HUNDIMIENTO, COMO DEPRESIONES CERRADAS E INUNDADAS. ESTA IDENTIFICACIÓN SE REALIZÓ MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITE DEL GOOGLE EARTH EN DIFERENTES ESCALAS. 3) SELECCIÓN DE PUNTOS PARA VERIFICACIÓN EN CAMPO. 4) VERIFICACIÓN DE PUNTOS EN CAMPO. 5) REGISTRO FOTOGRÁFICO	NO SE PUDO REGISTRAR ESTUDIOS ESPECÍFICOS SOBRE EL PROCESO DE HUNDIMIENTO DENTRO DEL MUNICIPIO DE TULUM. CON EL USO DE LOS PLANOS MORFOMÉTRICOS DE CIMAS Y NIVELES BASE DE EROSIÓN, EDITADOS POR EL INSTITUTO DE GEOGRAFÍA DE LA UNAM, DE DONDE SE CONSIDERÓ LA RELACIÓN ALGEBRAICA DE LOS NIVELES MÁXIMO Y MÍNIMOS DE CIMAS, ASÍ COMO LOS NIVELES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE LOS NIVELES BASE DE EROSIÓN, SE OBTUVO EL VALOR POSITIVO Y NEGATIVO DE LOS CUATRO BLOQUES ESTRUCTURALES DEFINIDOS PARA LA PLATAFORMA DE YUCATÁN, DONDE SE DETERMINÓ QUE EL MUNICIPIO DE TULUM SE ENCUENTRA DENTRO DE UN BLOQUE ESTRUCTURAL CON TENDENCIA HACIA EL HUNDIMIENTO. ESTE HUNDIMIENTO REGIONAL COMO SE VERA EN EL APARTADO DE SUBSIDENCIA CONDICIONA LAS CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICOS EN EL TERRITORIO MUNICIPAL, YA QUE LA VELOCIDAD DE HUNDIMIENTO ES PRÁCTICAMENTE IMPERCEPTIBLE. CON LA INTEGRACIÓN DE UN MAPA DE LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES, CON INFORMACIÓN DOCUMENTAL Y DE LA IDENTIFICACIÓN EN IMÁGENES DE SATÉLITE, SE RATIFICA EL CONTROL DE LA KARSTICIDAD EN EL TERRITORIO MUNICIPAL DE TULUM. SE REALIZÓ LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS EN LA COSTA DONDE SE REGISTRAN PLAYAS TIPO ACANTILADO O ABRASIVAS CON ALTURAS MÁXIMAS DE 3.00 METROS CON RESPECTO A LA ROMPIENTE DE OLAS, LO QUE RECONOCE QUE EL 25.43% DE LA COSTA PRESENTA CARACTERÍSTICAS DE DESARROLLO POR HUNDIMIENTO.

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD.

De acuerdo a los trabajos ejecutados para la elaboración del presente Atlas, y, en cuanto a los grados de vulnerabilidad identificados en el Municipio de Tulum, tenemos;

Tabla 58. Evidencias de vulnerabilidad por hundimiento en el Municipio de Tulum.

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	EVIDENCIAS

FÍSICA: HUNDIMIENTO REGIONAL.	EN EL MUNICIPIO DE TULUM SE LOCALIZAN TRES GRANDES DEPRESIONES; DOS ORIENTADAS NORTE-SUR Y OTRA LIGERAMENTE AL NNE-SSW. EN CUANTO A LAS DOS PRIMERAS, ÉSTAS SE LOCALIZAN HACIA EL INTERIOR DEL CONTINENTE AMBAS DE FORMAS TRANSVERSALMENTE ANGOSTAS Y LONGITUDINALMENTE ALARGADAS, LA PRIMERA DENOMINADA COMO DEPRESIÓN DE CHANCHEN EN EL EXTREMO OESTE Y LA DEPRESIÓN DE COBÁ O DE IGNACIO ZARAGOZA AL CENTRO NORTE DEL MUNICIPIO, Y, LA MÁS IMPORTANTE, LA DEPRESIÓN DE TULUM.
ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	EVIDENCIAS
HUNDIMIENTO COSTERO	EL GRADO DE VULNERABILIDAD PARA ESTAS DEPRESIONES VA DE MEDIO PARA LAS DEPRESIONES DE CAHNCHEN Y COBÁ, MIENTRAS QUE PARA LA DEPRESIÓN DE TULUM ES ALTO. DE ACUERDO A LO OBSERVADO DURANTE LOS TRABAJOS DE CAMPO, FUE POSIBLE EVIDENCIAR LA CONSTANTE PRESENCIA DE DEFORMACIONES EN EL TERRENO, LO CUAL, TIENE SU ORIGEN EN HUNDIMIENTOS RÁPIDOS DEL TERRENO, LOS CUALES, DEFORMAN A LOS CAMINOS AL GRADO DE PRESENTAR CORTE MUY ABRUPTOS EN LOS LÍMITES DE ESTOS HUNDIMIENTOS AL GRADO DE PRESENTAR AGRIETAMIENTO. LAS LAGUNAS CAAPECHEN, BOCA PAILA Y ZAMACH, SON EVIDENCIAS DEL DESARROLLO COSTERO QUE HA GENERADO LA BARRERA ARRECIFAL ACTUAL. DICHAS LAGUNAS, LAS CUALES, DEBEN SU FORMACIÓN A HUNDIMIENTOS DEL TERRENO SON PRODUCTO DE LA HERENCIA MORFOLÓGICA DE UNA REGIÓN AFECTADA POR EL PROCESO SUBSIDENTE. ESTE HUNDIMIENTO COSTERO AFECTA A LA ZONA CON MAYOR DESARROLLO SOCIAL Y ECONÓMICO DEL MUNICIPIO, POR LO QUE, LAS DIVERSAS ACTIVIDADES ANTRÓPICAS HACEN QUE ESTA ZONA ADQUIERA UN ALTO GRADO DE VULNERABILIDAD.

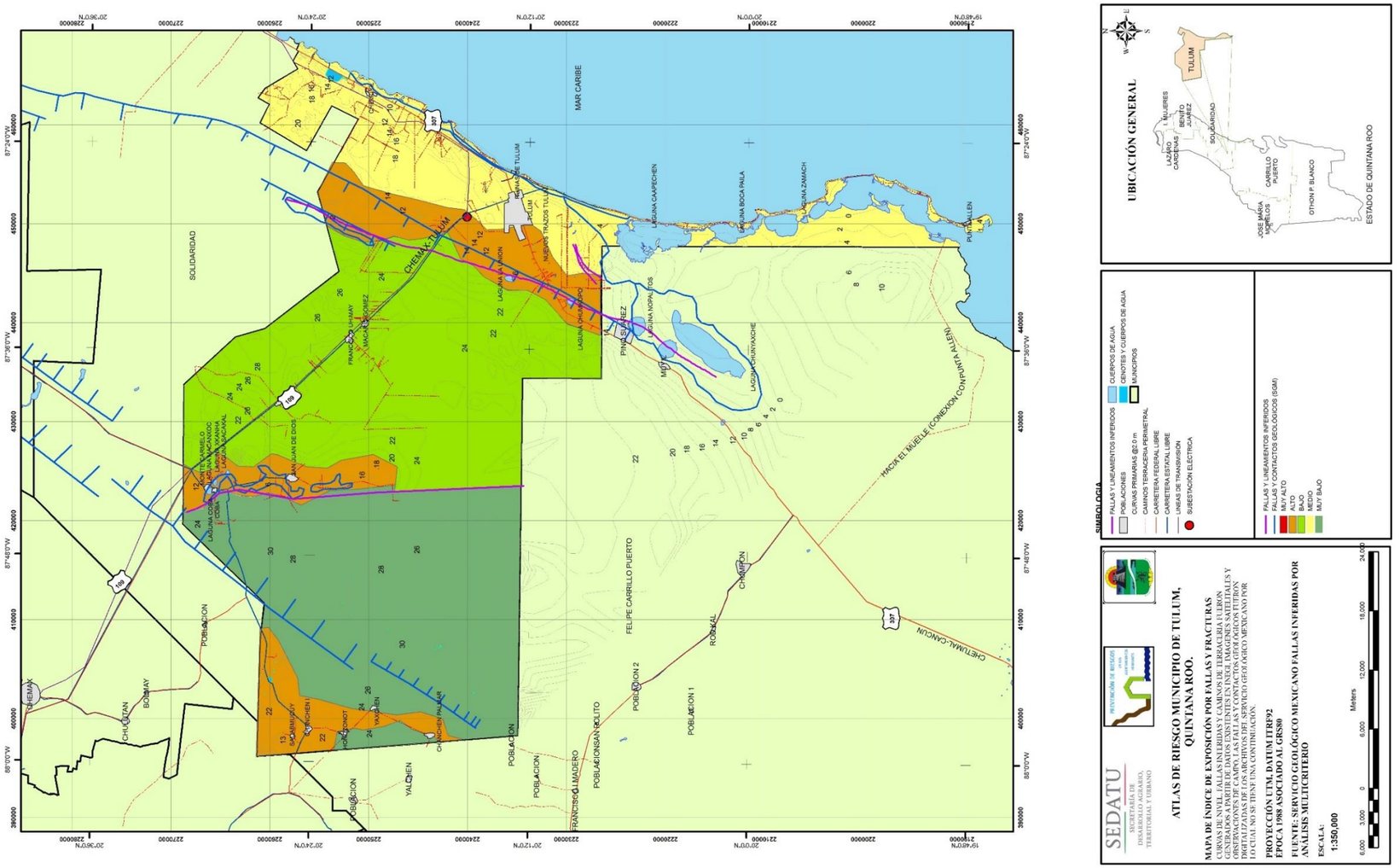
5.2.10. FALLAS Y FRACTURAS

Este fenómeno geológico es de gran importancia dentro de los procesos que generan no sólo los peligros y riesgos dentro del territorio municipal de Tulum, ya que por el contexto litológico que constituye al terreno la presencia de falla y fracturas vulnera a las rocas calcáreas acelerando su disolución y por lo tanto se intensifica la presencia de cavidades subterráneas que pueden colapsar poniendo en riesgo no sólo a la población, sino también, a la infraestructura con la que cuenta el municipio.

Hasta ahora no existen estudios que puedan mostrar la condición de peligro inminente o potencial, no sólo de los colapsos por crecimiento de las cavernas en el subsuelo, las cuales, tal y como es posible observar en trabajos realizados por investigadores de la UNAM, así como por la identificación de los rasgos estructurales para la elaboración de este Atlas, las fallas

juegan un papel de gran relevancia en la configuración del paisaje kárstico del terreno municipal, ya que no sólo las depresiones descritas, sino también, la costa en general son el producto de procesos geológicos estructurales.

Las fallas registradas junto con el relieve casi plano del territorio, son el marco geológico propicio para controlar la posición de las formas kársticas, ya que en ellas se produce la disolución con mayor intensidad (Lugo-Hubp, 1992).



Mapa 24. Mapa de índice de exposición por fallas y fracturas del Municipio de Tulum.

En el mapa anterior muestra los lineamientos geológico estructurales identificados por Servicio Geológico Mexicano, en color azul, y en color rojo, el lineamiento inferido por la presencia de cenotes y cuerpos de agua. Un dato importante a destacar en cuanto a los lineamientos geológicos estructurales, es, que éstos se ubican en los dos puntos donde se inicia la disminución de alturas en el terreno, siendo esta condición topográfica la que mejor se nota en los lineamientos ubicados hacia la que se ha denominado como depresión costera.

Este tipo de procesos no representa un peligro significativo, pero si representa riesgo alguno, por lo que;

Tabla 59. Evidencia de fallas y fracturas en el Municipio de Tulum.

MÉTODO NIVEL 1	EVIDENCIAS
EL RIESGO DETERMINADO EN CUANTO AL FENÓMENO DE FALLAS Y FRACTURAS, RADICA FUNDAMENTALMENTE EN QUE LA PRESENCIA DE ÉSTAS, INCREMENTAN LA DISOLUCIÓN DE LOS CUERPOS CARLCAREOS FACILITANDO LA PRESENCIA DE CAVERNAS O CENOTES CON SU CORRESPONDIENTE COLAPSO O HUNDIMIENTO DEL TERRENO. ES IMPORTANTE CONSIDERAR QUE LAS FALLAS GEOLÓGICAS NORMALMENTE SE PRESENTAN COMO SISTEMAS, POR LO QUE, EL RIESGO PRODUCTO DE LA PRESENCIA DE LAS MISMAS, SE LIMITA A UNA ZONA A LO LARGO DEL TERRENO DONDE SE TRAZÓ A ESTOS FENÓMENOS. PARA DETERMINAR LAS ZONAS Y EL NIVEL DE RIESGO ALTO, MEDIO Y BAJO, SE REALIZARON LAS ACTIVIDADES SIGUIENTES: 1. ELABORACIÓN DEL MAPA TOPOGRÁFICO. 2. REVISIONES BIBLIOGRÁFICAS Y CARTOGRÁFICAS 3. IDENTIFICACIÓN DE LOS RASGOS ESTRUCTURALES EN IMÁGENES DE SATÉLITE 4. IDENTIFICACIÓN DE CENOTES Y FORMAS KÁRSTICAS MAYORES 5. INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN	FUNDAMENTALMENTE SE REALIZÓ LA BÚSQUEDA DE FORMAS KÁRTICAS, TALES COMO CENOTES Y ÚVALAS QUE FUERON PREVIAMENTE IDENTIFICADAS POR IMÁGENES DE SATÉLITE Y POSTERIORMENTE SE VISITARON EN CAMPO. ASÍ MISMO, SE REALIZÓ UN RECORRIDO POR LA BARRERA COSTERA DE TULUM, DONDE SE PUDO OBSERVAR LA PRESENCIA DE GRIETAS ASOCIADAS A HUNDIMIENTOS DEL TERRENO.

En cuanto al análisis de vulnerabilidad se considera que ésta se tiene desde el punto de vista físico, a un nivel de afectación a construcciones se debe considerar como muy susceptible a presentar estas afectaciones, ya que solamente es posible observar que tanto en la Ciudad de Tulum, como en la carretera costera, se presentan hundimientos afectando a las vías terrestres.

La vulnerabilidad social es alta, ya que debido a la falta de trabajos para determinar la susceptibilidad del riesgo por presencia de fallas, la sociedad en general desconoce que pueda registrarse afectación a sus propiedades o infraestructura, por lo que, no existen políticas preventivas al respecto de éstos fenómenos y su relevante asociación con los hundimientos del terreno.

5.2.11. EROSIÓN HIDRICA.

En cuanto a este tipo de fenómeno perturbador, se considera que se produce mediante erosión laminar por lluvias, ya que el relieve prácticamente plano no genera las condiciones para que se presenten corrientes fluviales, por lo que, la erosión hídrica de acuerdo a como los plantean las base para el desarrollo de los atlas, en cuanto al Modelo Cualitativo de Erosión-Deposición, no es posible aplicarlo, ya que el producto de la intemperización química de las rocas carbonatadas es un precipitado químico muy fino, el cual, forma parte de las esculturas conocidas como estalactitas y estalagmitas en cavernas y cenotes.

Debido a que el relieve es prácticamente horizontal, la escorrentía no representa peligro y riesgo alguno, por lo que, la erosión hídrica no deber ser considerada como un fenómeno perturbador dentro de este atlas.

Este tipo de procesos no representa un peligro y mucho menos representa riesgo alguno, por lo que;

Tabla 60. Evidencias de erosión hídrica.

MÉTODO NIVEL 1	EVIDENCIAS
NO CONSIDERADO	SIN REGISTRO

5.2.12. EROSIÓN EÓLICA.

Este fenómeno no representa peligro y riesgo alguno en el territorio municipal de Tulum, ya que la cobertera vegetativa protege al escaso suelo, además de que se debe considerar que la mayor erosión presente dentro del terreno municipal es la kárstica. Donde pudiese presentarse este tipo de erosión, sería en la costa, pero debido a que el litoral por playa acumulativa apenas es de unos cuantos metros, y los sedimentos arenosos están envueltos en limos el viento proveniente del mar no transporta sedimentos de manera considerable, por lo que, este proceso natural no representa peligro, ni riesgo alguno en el municipio.

Pudiese pensarse que la erosión eólica se incrementa de manera extraordinaria durante la acción de los ciclones tropicales, pero debido a que la playa se ha desarrollado a partir de afloramientos rocosos, la erosión se limita solamente a playas principalmente hacia el sur de la barra de Punta Allen, zona que solamente presenta esporádicos asentamientos humanos, de los cuales, en su mayoría son destinados a la ocupación turística y por lo tanto, la vulnerabilidad, tanto física, como social es media y más bien deberá considerarse como susceptible a ser vulnerable.

Este tipo de procesos no representa un peligro y mucho menos representa riesgo alguno, por lo que;

Tabla 61. Evidencias de erosión eólica.

MÉTODO NIVEL 1	EVIDENCIAS
NO CONSIDERADO	SIN REGISTRO

5.2.13. EROSIÓN MARINA.

Este apartado se deberá entender como el que haga referencia a la erosión costera, ya que el termino marina tendría que hacer mención aquellos fenómenos naturales que se dan principalmente en el medio marino, no siendo así, a lo que en realidad se hace referencia dentro de las bases para elaboración de los atlas de riesgo. Por lo que, a continuación, se deberá entender que este apartado habrá de establecer de manera concreta, pero objetiva sobre aquellos procesos naturales que se desarrollan en la línea de playa y que por su interrelación e interactuación estén en facultades de considerarse como fenómenos perturbadores, no sólo al medio físico, sino también, a los habitantes.

La erosión costera es el proceso con mayores factores dinámicos dentro del territorio del Municipio de Tulum, ya que si se considera que la playa o también denominado como el litoral, es el medio de transición entre el medio continental y el medio marino, por lo que dentro de su morfogénesis intervienen procesos terrestres que interrelacionan e interactúan con procesos marinos, generando formas que estarán sujetas a cambios estacionales que convierten al sistema costero en uno de los que mayor dinámica y, por lo tanto, se consideran como los sistemas que mejor evidencia pueden presentar en cuanto a los cambios geológicos y climáticos por los que ha pasado el planeta.

Durante los últimos años, la llamada Riviera de Tulum ha experimentado una transformación muy significativa, ya que amplios espacios se están viendo obligados a soportar una fuerte tensión ambiental, lo que provoca importantes desequilibrios en los sistemas naturales, principalmente generado por un crecimiento descontrolado, mal planificado y con una visión a corto plazo, generando entre otros efectos; un incremento en la vulnerabilidad física, alteración de la dinámica litoral, alteración de las masas de agua y, por lo tanto, degradación de los ecosistemas y hábitats.

Si consideramos que en la bibliografía tradicional se considera a la erosión marina como el avance del mar con respecto al continente, el cual, debería ser medido durante un período de tiempo suficientemente amplio para poder eliminar todas aquellas variaciones ocasionadas por fluctuaciones extraordinarias de tipo climáticas. Este proceso natural se ha incrementado a consecuencia del cambio climático, pero sobre todo por la actividad humana. Provocando, pérdidas de superficies con elevado valor social, económico y ecológico, vulnerando a las playas ante fenómenos hidrometeorológicos extraordinarios, como los ciclones tropicales, desencadenando inundaciones estacionales deteriorando los hábitats litorales.

A pesar de que se registra un incremento en la frecuencia e intensidad de los huracanes por el cambio climático, la costa del Municipio de Tulum, presenta tasas de erosión y depósito muy bajas, lo cual, se debe principalmente a la presencia de playas de tipo acantilado con afloramientos rocosos, así como de una línea arrecifal que protege a la costa de oleajes extraordinarios.

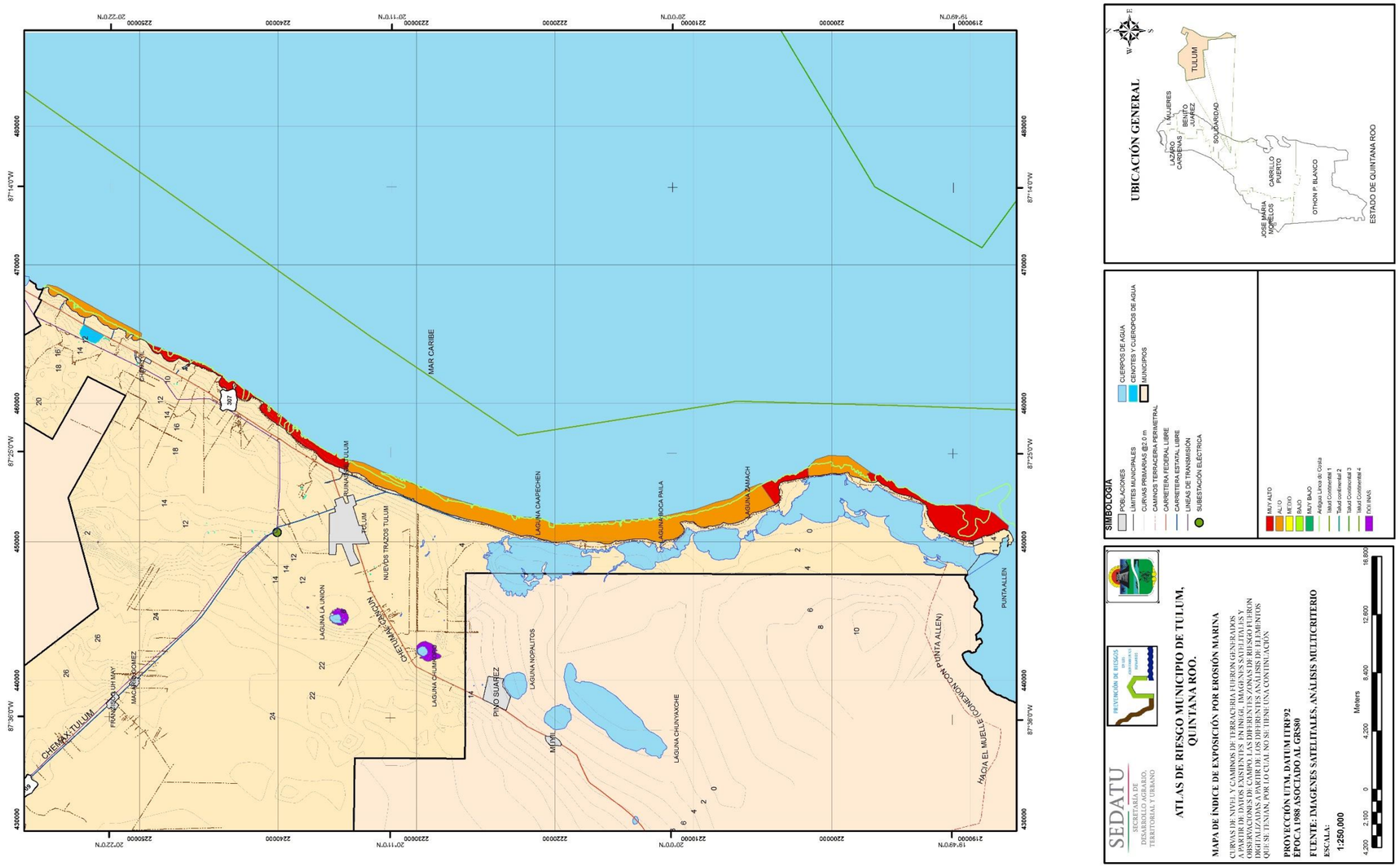
Los cambios en el nivel del mar que se han registrado a nivel mundial causan uno de los mayores efectos en la geología, ecología y desarrollo urbano en las costas, provocando mayores daños por erosión de la línea de costa, se estima que para 2025 el nivel de mar tendrá un ascenso de entre 26 a 39 centímetros. Lo cual, se verá reflejado en el incremento de superficies de terreno inundadas pero la mayor afectación sería por el fenómeno de intrusión salina y erosión de las costas, generando a su vez pérdidas de humedales y de barreras costeras que protegen a la costa contra mareas y oleajes de tormentas.

Para el caso de la costa correspondiente al Municipio de Tulum, los arrecifes, y la erosión del litoral rocoso son las fuentes de los sedimentos que forman la escasa línea de playa, por lo que es de urgente realizar estudios que permitan conocer la dinámica sedimentaria de las playas con el objeto de evaluar adecuadamente las medidas que permitan la ejecución de medias que mitiguen los impactos principalmente de los ciclones.

Actualmente no existen estudios detallados para poder establecer criterios de evaluación de peligros, riesgos y por lo tanto la vulnerabilidad, por lo que, se tomó como base fundamental para la elaboración de este atlas, la identificación de playas. Para lo cual, se consideró dos tipos de playas, las playas abrasivas y las playas acumulativas, tomando en cuenta que dentro de las primeras tenemos que existe una longitud de apenas el 16% de los casi 100 kilómetros de playa aproximadamente, se pudo conocer por la revisión de la escasa bibliografía existente, que se ha registrado un crecimiento de la línea de playa en la zona de Chemuyil, de unos 38 metros (1.40 centímetros/año) a lo largo de 11.50 kilómetros, mientras que para la costa en la zona de Akumal, se han perdido 17 metros de costa (0.62 centímetros/año) en 14 kilómetros, estos datos se establecen durante un período de 27 años (Márquez-García, 2010), por lo que, de acuerdo a los datos reportados se considera que a pesar de que la costa de Tulum se encuentra en la trayectoria de los huracanes, éstos no son los procesos que mayor impacto causan sobre la línea de costa, por lo que, tal y como se hace mención en el apartado correspondiente a la presencia de derrumbes y caídos, es la erosión kárstica, junto con la intensa actividad turística los procesos que mayor impacto generan para que en la costa de Tulum se registre la erosión costera.

Una información importante que debe ser considerada para evitar que las costa del Municipio de Tulum sea afectada durante los períodos de tormentas tropicales son los arrecifes, los cuales se extienden a lo largo de 42.14 kilómetros sobre la línea de costa, y se deberá considerar establecer medias de conservación y protección de tan importante elemento natural.

De acuerdo a la morfodinámica observada durante los trabajos de campo en puntos específicos de la costa, fue posible evidenciar que en la costa de tipo abrasivo se ´presenta un crecimiento de la playa a partir de colapsos de terreno por intrusión de agua marina, proceso que se convierte a su vez en un proceso de contaminación de agua dulce por salinidad, aunque los alcances de elaboración del presente atlas no considera la realización de muestreo y análisis de las aguas, principalmente de agua en cenotes y cuerpos de agua ubicados cerca de la línea de costa, por lo que, este peligro sólo fue posible observarlo en la caleta de Xel-ha, donde el agua marina se introduce al continente por la condición del desarrollo avanzado del Karst.



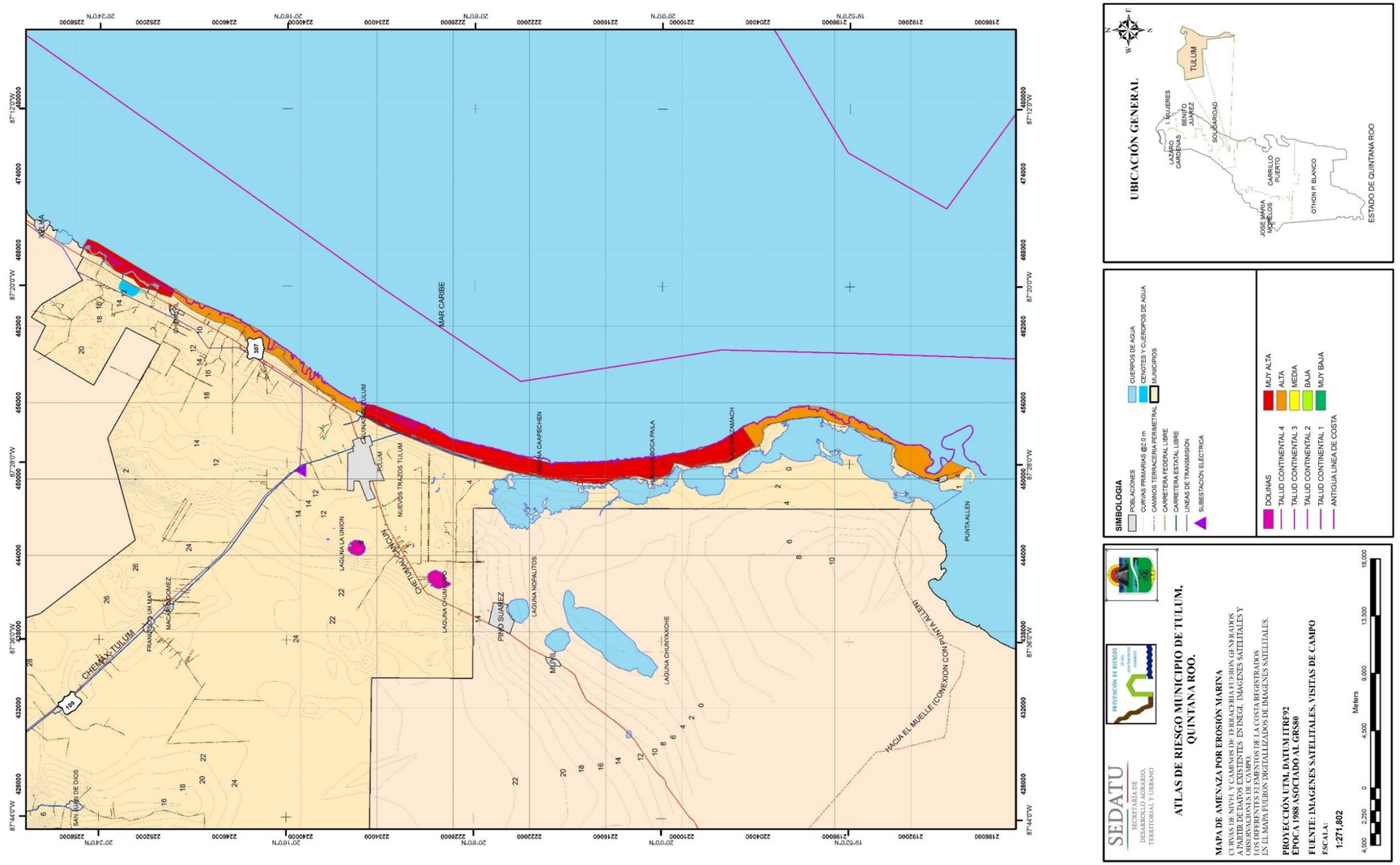
Mapa 25. Mapa de índice de exposición por erosión marina.

Tabla 62. Tabla de Evidencias por erosión.

MÉTODO NIVEL 1	EVIDENCIAS
CON EL OBJETO DE IDENTIFICAR LAS ZONAS CON NIVELES DE RIESGO POR LA EROSIÓN "MARINA", SE REALIZARON LOS TRABAJOS SIGUIENTES: IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE PLAYA; ACUMULATIVA O ABRASIVA. ESTA IDENTIFICACIÓN SE REALIZÓ MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITE A DIFERENTES ESCALAS. EN IMÁGENES DE SATÉLITE SE IDENTIFICARON LAS LÍNEAS DE COSTA CON EL OBJETO DE RECONSTRUIR EL DESARROLLO DE LA COSTA EROSIONADA. SE UBICARON PUNTOS DE VERIFICACIÓN EN CAMPO RECORRIDOS EN CAMPO DE LOS PUNTOS PARA VERIFICACIÓN FÍSICA. SE REALIZÓ UN REGISTRO FOTOGRÁFICO.	SE REVISÓ INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA DE DONDE FUE POSIBLE OBTENER EL ARTÍCULO "CAMBIO EN LA LÍNEA DE COSTA EN LA RIVIERA MAYA DEBIDO A FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS EXTREMOS, ¿CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICOS GLOBAL? DE MÁRQUEZ., BOLONGARO, C. Y TORRES, R., 2010. DONDE SE ESTABLECE QUE PARA LOS DOS PUNTOS DE LA LÍNEA DE PLAYA ANALIZADOS EN EL MUNICIPIO DE TULUM; AKUMAL Y CHEMUYIL, PARA UN PERÍODO DE 27 AÑOS SE OBTUVIERON VALORES DE: AKUMAL CON UN CRECIMIENTO DE 9.19 METROS, CON UN PROMEDIO DE 0.34 METROS/AÑO. CHEMUYIL, CON UN CRECIMIENTO DE 38.34 METROS, CON UN PROMEDIO DE 1.42 METROS/AÑO. ASÍ MISMO, SE REPORTAN VALORES DE EROSIÓN COSTERA PARA AMBOS SITIOS CON LOS VALORES SIGUIENTES: AKUMAL, CON UNA EROSIÓN DE 17.44 METROS, CON UN PROMEDIO DE 0.65 METROS/AÑO. CHEMUYIL, CON UNA EROSIÓN DE 9.29 METROS Y UN PROMEDIO DE 0.34 METROS/AÑO. CON RESPECTO AL SITIO ANALIZADO EN AKUMAL, TAL Y COMO ES POSIBLE OBSERVAR EN EL MAPA ELABORADO PARA ESTE ATLAS, CON RESPECTO AL TIPO DE COSTA EXISTENTE, SE PUEDE APRECIAR QUE DICHA PLAYA ES FUNDAMENTALMENTE DE TIPO ABRASIVA CARACTERIZADA POR UNA LÍNEA DE COSTA ROCOSA TENIENDO SU MÁXIMO RETROCESO EN LA ZONA DONDE LA BARRERA ARRECIFAL PERMITE AFECTACIÓN DEL OLEAJE. MIENTRAS QUE PARA EL SITIO DE CHEMUYIL, ES POSIBLE OBSERVAR QUE SU CRECIMIENTO ES EL PRODUCTO DE LA EROSIÓN DE LA COSTA ROCOSA, YA QUE NO EXISTE UNA BARRERA ARRECIFAL QUE EVITE AFECTACIÓN DEL OLEAJE. POR LO TANTO, EL MEJOR CRITERIO PARA ASIGNAR NIVELES DE RIESGO POR EROSIÓN COSTERA SERÁ A PARTIR DE LA PRESENCIA DE LA BARRA ARRECIFAL. SE ASIGNAN DOS NIVELES DE RIESGO MARINO A LO LARGO DE LA LÍNEA DE COSTA EN TULUM; MUY ALTO Y ALTO, YA QUE NO SÓLO SE CONSIDERA A LA BARRA ARRECIFAL COMO FACTOR DETERMINANTE, SINO TAMBIÉN, EL TIPO DE COSTA Y LA PRESENCIA DE DERRUMBES O CAÍDOS.

Tabla 63. Indicadores de Vulnerabilidad.

INDICADORES	EVIDENCIAS
VULNERABILIDAD FÍSICA: VULNERABILIDAD SOCIAL	EN GENERAL LA LÍNEA DE PLAYA ES MUY ANGOSTA, SU CONFIGURACIÓN VA DE VERTICAL O ABRUPTA A PENDIENTE MEDIA, SU GRANULOMETRÍA ES DE GRUESA A FINA. POR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN GENERAL SE DEBE CONSIDERAR A LA LÍNEA DE PLAYA DE TULUM, COMO MORFOGENÉTICAMENTE DE DESARROLLO RECIENTE, LO QUE QUIERE DECIR QUE LA LÍNEA DE COSTA ES ALTAMENTE VULNERABLE, DEBIDO A QUE ES UN SISTEMA NATURAL AUN EN DESEQUILIBRIO, POR LO TANTO, CUALQUIER PROCESO NATURAL QUE SE VEA ALTERADO DESENCADENA CASI DE INMEDIATO PROCESOS DE RIESGO. LA FALTA DE ESTUDIOS DEL MEDIO FÍSICO Y MAS ESPECÍFICAMENTE DE LA LÍNEA DE COSTA PROPICIA QUE LA POBLACIÓN QUE HABITA O FRECUENTA A LA PLAYA DENTRO DEL MUNICIPIO DE TULUM, IGNORE LA AFECTACIÓN SUSCEPTIBLE A LA QUE SOMETE A LA PLAYA, ASÍ MISMO, TODA LA INFRAESTRUCTURA HOTELERA Y TURÍSTICA QUE SE DESARROLLA ACTUALMENTE SE CONSTRUYE SIN LAS MEDIADAS PREVENTIVAS O DE MITIGACIÓN NECESARIAS PARA DISMINUIR EL IMPACTO QUE A ÉSTA SE SOMETE. POR ULTIMO, SE VE QUE NO EXISTE EN EL MUNICIPIO UN ORDENAMIENTO REGIONAL QUE MARQUE LOS LINEAMIENTOS EN LA NORMATIVIDAD URBANA Y TURÍSTICA. ANTE ESTE ESCENARIO, SE DETERMINA QUE LA VULNERABILIDAD AL IGUAL QUE EL RIESGO SON ALTO Y MUY ALTO.



Mapa 26. Mapa de amenaza por erosión marina.

5.2.14. EROSIÓN KÁRSTICA.

El escenario geográfico es el adecuado para el desarrollo de la erosión kárstica en la superficie municipal de Tulum, ya que como ha sido posible observar en apartados anteriores, la geología está caracterizada por la presencia de rocas calcáreas dispuestas en estratos casi horizontales con una cobertera vegetativa que junto con las condiciones climáticas producen el marco adecuado para que se lleve a cabo la disolución de las rocas conformando una superficie irregular típica de relieves calcáreos.

Para que los procesos kársticos se desarrollen se requieren condiciones climáticas menos extremas que las presentes en el territorio municipal de Tulum, ya que en cuanto a las temperaturas medias anuales se tiene 25.45°C y las precipitaciones medias anuales 1,223.35 mm no serían las propicias para la producción de procesos kársticos, pero debido a la fuerte clastación que se produce por la incidencia de los rayos solares en la mayor parte del año, fracturando a la roca caliza, debilitando a la superficie e intensificando la presencia de pequeñas simas y de formas de lapiaz por escorrentía, que en conjunto generan una superficie de terreno muy rugosa.

Esta rugosidad juega un papel determinante durante la presencia de precipitaciones pluviales, ya que junto con la topografía prácticamente plana favorecen a la filtración de agua hacia el subsuelo, generando cavidades horizontales que aumentan su tamaño hasta que la gravedad produce evidentes hundimientos circulares en la superficie hasta que el terreno superficial presenta fracturas de varios centímetros producto de esfuerzos por tensión hasta el punto de ruptura y se produce el colapso.

Esta fenomenología kárstica se intensifica actualmente por dos causas, ambas por influencia humana; la deforestación de la selva y, el aumento de asentamientos. Es importante hacer mención de otro proceso que puede estar pasando paro debido a la falta de información al respecto solo puede inferirse, y, es el que se relaciona con el manejo del agua en los cenotes y cavernas, ya que, habrá de recordar que la formación de este tipo de unidades morfológicas se está produciendo a la profundidad donde se registra el nivel de aguas freáticas, por lo que, la alteración del agua puede generar que se intensifique la presencia de áreas de colapso, al interior del continente, mientras que a la zona costera se deberá producir la contaminación del agua por salinización, ya que se crearán la condiciones propicias para se produzca la intrusión de aguas del mar. Este proceso es posible observarlo en un sitio de particular belleza, Xel-ha, ya que no solo es posible observar de manera clara la evolución de la costa por la combinación de procesos continentales y marinos, sino también, de procesos kársticos avanzados con características particulares de la costa occidental de la Península de Yucatán.

De acuerdo a las características antes expuesta en cuanto al desarrollo del fenómeno kárstico se tienen los niveles de riesgo siguientes:

Tabla 64. Evidencias de la erosión Kárstica.

MÉTODO NIVEL 1	EVIDENCIAS
PARA DEFINIR LAS ZONAS CON DIFERENTE NIVEL DE RIESGO, SE REALIZARON LOS SIGUIENTES TRABAJOS; MATERIALES CARTOGRÁFICOS. MAPA TOPOGRÁFICO A DETALLE IDENTIFICACIÓN DE DEPRESIONES, DOLINAS Y ZONAS CON HUNDIMIENTO. ESTA IDENTIFICACIÓN SE REALIZÓ EN IMÁGENES DE SATÉLITE DEL GOOGLE EARTH. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CON CUERPOS DE AGUA Y ASOCIADOS A DEPRESIONES DEL TERRENO. ESTE MATERIAL CARTOGRÁFICO SE REALIZÓ EN MAPAS E IMÁGENES DE SATÉLITE DEL GOOGLE EARTH. SE IDENTIFICARON EN IMÁGENES DE SATÉLITE LOS LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES, FALLAS, FRACTURAS, ESCARPES Y DOLINAS MEDIANTE MAPAS E IMÁGENES DE SATÉLITE. SE REALIZÓ UN MAPA DE ZONAS DEFORESTADAS. SE REALIZÓ UN MAPA DE SUELO. SE REALIZÓ UN MAPA DE VEGETACIÓN. SE ELABORÓ UN MAPA DE ZONAS GEOMORFOLÓGICAS. REVISIONES DOCUMENTALES: ESTADÍSTICAS MENSUALES DE CLIMA, TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN. REVISIONES BIBLIOGRÁFICAS GENERALES. DETERMINACIÓN DE PUNTOS O ZONAS DE VERIFICACIÓN EN CAMPO	SE IDENTIFICARON LOS RASGOS DEL RELIEVE SIGUIENTES: SE IDENTIFICARON 51 DOLINAS DISTRIBUIDAS PRÁCTICAMENTE EN TODO EL TERRITORIO MUNICIPAL. LAS DEPRESIONES ALARGADAS PRODUCTO DE HUNDIMIENTO REGIONAL DEBEN SU FORMA A COLAPSOS PROGRESIVOS PRODUCTO DE LA DISOLUCIÓN DE LA LITOLOGÍA Y LA PRESENCIA DE FALLAS GEOLÓGICAS. LA CIUDAD DE COBÁ SE LOCALIZA DENTRO DE UN COLAPSO EL CUAL, SE HA VISTO AFECTADO POR INUNDACIONES QUE AUMENTAN EN EXTENSIÓN CADA AÑO. SE VISITARON LOS CENOTES QUE NO REPRESENTABAN INVERSIÓN ECONÓMICA IMPORTANTE, YA QUE ACTUALMENTE LOS CENOTES SE USAN COMO CENTROS RECREATIVOS, CASI TODOS ELLOS DE PARTICULARES O EJIDALES. EN BASE A RECORRIDOS POR EL MUNICIPIO, FUE POSIBLE OBSERVAR PRESENCIA DE HUNDIMIENTOS QUE AFECTAN PRINCIPALMENTE A LAS VÍAS TERRESTRES. EN BASE A TODO LO ANTERIOR, SE DETERMINÓ QUE EXISTEN 12 ZONAS DE RIESGO DENTRO DEL MUNICIPIO DE TULUM: 1 DE MUY ALTO RIESGO CON, 296.95 KM. SIENDO EL 14.54% DE LA EXTENSIÓN MUNICIPAL. LA CUAL, SE UBICA PRINCIPALMENTE HACIA LA COSTA Y ABARCA LA DEPRESIÓN DE TULUM. 2 DE ALTO RIESGO CON UNA EXTENSIÓN DE 268.56 KM., REPRESENTANDO EL 13.15%, ESTANDO UNA, HACIA LA COSTA EN EL EXTREMO NORTE DEL MUNICIPIO Y, LA OTRA FORMA PARTE DEL CENTRO Y NORTE DE LA DEPRESIÓN DE COBÁ. 7 ZONAS CON RIESGO MEDIO, DISTRIBUIDAS EN CASI TODO EL MUNICIPIO DESTACANDO LA QUE SE ENCUENTRA ASOCIADA A LA DEPRESIÓN DE TULUM. ASÍ COMO LA QUE ENVUELVE A LA ZONA DE ALTO RIESGO EN LA DEPRESIÓN DE COBÁ. LA EXTENSIÓN CON ESTE NIVEL DE RIESGO, ES DE 529.99 KM., LO QUE REPRESENTA EL 25.96% DEL TERRITORIO MUNICIPAL. 2 ZONAS CON UN NIVEL DE RIESGO BAJO, CON 945.43 KM., CORRESPONDIENDO EL 46.35% DEL TERRITORIO, POR SU UBICACIÓN, ESTAS DOS ZONAS DEBERÍA FORMAR UNA SOLA, YA QUE SE TRATA DE LA UNIDAD GEOMORFOLÓGICA DENOMINADA COMO DE PLANICIE CALCÁREA CON LOMERÍOS, ESTANDO PRINCIPALMENTE EN

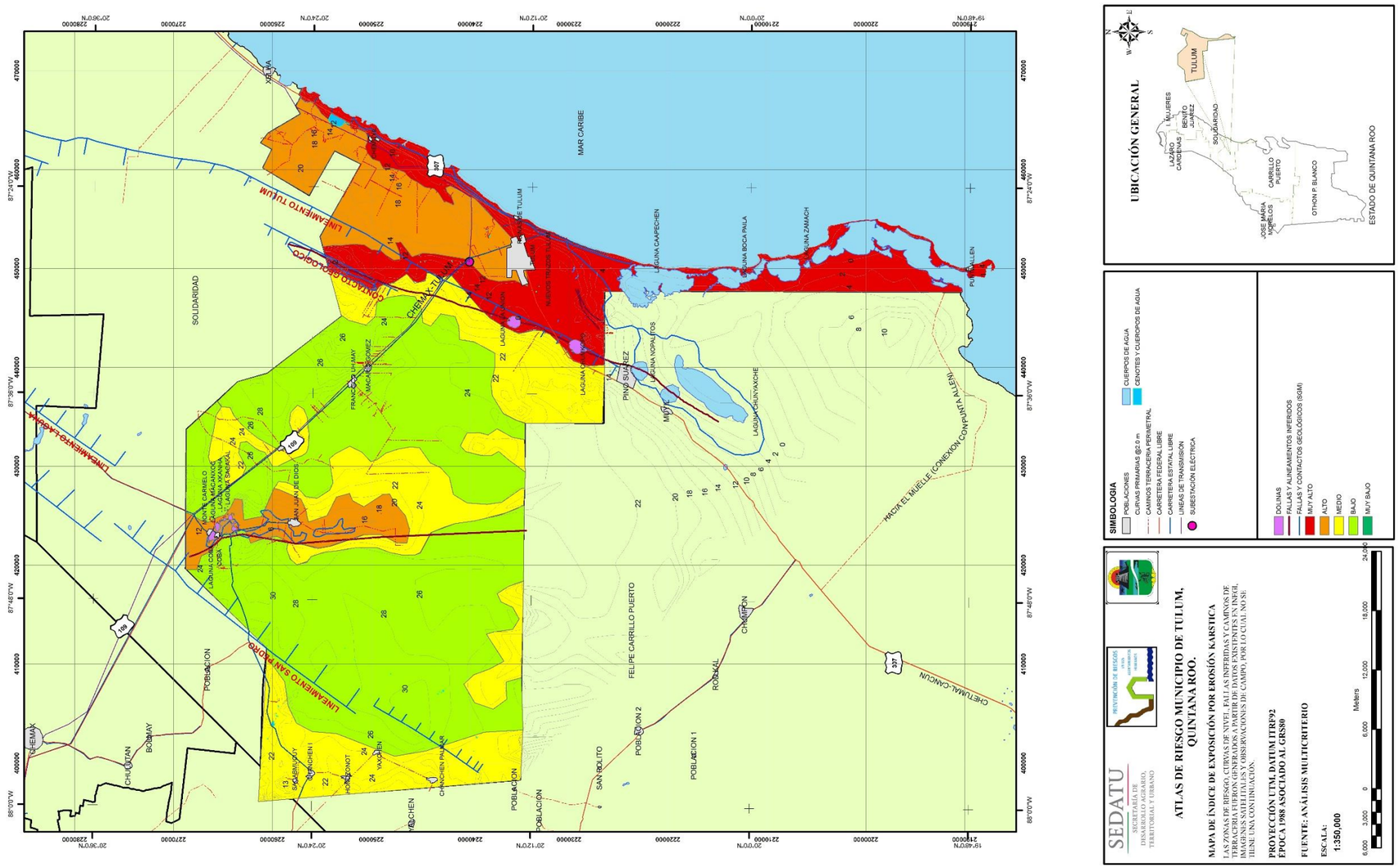
RECORRIDOS EN CAMPO. REGISTRO FOTOGRÁFICO.	LA ZONA CENTRAL DEL MUNICIPIO, POR SER LA ZONA CON MAYOR EXTENSIÓN Y QUE CORRESPONDE A LA UNIDAD CON MAYOR COBERTERA VEGETATIVA, SE DEBE CONSIDERAR QUE ES LA ZONA DONDE LOS PELIGROS POR HUNDIMIENTO SON SUSCEPTIBLES DE CRECER Y GENERAR CONDICIONES DE RIESGO POTENCIAL.

En cuanto al análisis de vulnerabilidad determinado para las zonas de riesgo y en general para el territorio tulumense, se tiene:

Tabla 65. Evidencias de Vulnerabilidad por erosión kárstica.

VULNERABILIDAD	EVIDENCIAS
FÍSICA. DE ACUERDO A LOS RASGOS ESTABLECIDOS DENTRO DE LAS BASES PARA ELABORACIÓN DE LOS ATLAS, SE CONSIDERA QUE PARA DETERMINAR EL GRADO DE VULNERABILIDAD DE TIPO FÍSICA, SE DEBERÁ CONSIDERAR LA PRESENCIA DE ASENTAMIENTOS PROGRESIVOS ASOCIADOS A GEOMETRÍAS DEFINIDAS PRINCIPALMENTE POR COLAPSOS DEL TERRENO. POR LO QUE, SE CONSIDERA QUE DE ACUERDO A LA CARTOGRAFÍA ELABORADA PARA ESTE ATLAS, SE TIENE QUE EXISTEN TRES ZONAS CON DIFERENTE GRADO DE VULNERABILIDAD, UN ASPECTO DE GRAN RELEVANCIA A CONSIDERAR DENTRO DE ESTE TIPO DE VULNERABILIDAD, SERÁ QUE EN TODO EL TERRITORIO SE PUDO OBSERVAR QUE EXISTE UNA ALTERACIÓN A LOS SISTEMAS NATURALES CON LO CUAL, SE AUMENTA EL POTENCIAL DE QUE	SE CONSIDERA EXISTEN TRES GRANDES ZONAS DONDE EL GRADO DE VULNERABILIDAD FÍSICA SE PRESENTA CON MUY ALTA, ALTA Y MEDIA. CORRESPONDIENDO A LA ZONA DE LA COSTA NORTE DEL MUNICIPIO Y LA DEPRESIÓN DE TULUM, COMO LA QUE PRESENTA MAYOR ALTERACIÓN A LOS SISTEMAS NATURALES, POR LO QUE SE CONSIDERA CON UN GRADO MUY ALTO DE VULNERABILIDAD. YA QUE EN ESTA ZONA, SE REGISTRA LA PRESENCIA DE HUNDIMIENTOS DE TERRENO NO SÓLO POR KÁRSTICIDAD, SINO POR EVIDENTE ACCIÓN HUMANA, QUIEN HA GENERADO ÁREAS QUE DEBIERON TENER SALIDA DEL AGUA Y QUE ACTUALMENTE POR LA CONSTRUCCIÓN DE DESARROLLOS TURÍSTICOS SE QUEDA ACUMULADA MOTIVANDO LA DISOLUCIÓN Y POSTERIOR ASENTAMIENTO. LA ZONA ASIGNADA COMO CON ALTO GRADO DE VULNERABILIDAD ES LA UBICADA DENTRO DE LA PARTE NORTE DE LA DEPRESIÓN DE COBÁ, LO CUAL, QUEDA EVIDENCIADO DE ACUERDO A LA MANCHA DE INUNDACIÓN QUE ABARCA DESDE LA CIUDAD DE COBÁ, HASTA EL ENTRONQUE CON LA CARRETERA TULUM-VALLADOLID. POR ÚLTIMO, DEBIDO A LA ESCASA PRESENCIA DE SUELO Y EL AUMENTO EN LA TALA DE LA SELVA, LA DISOLUCIÓN SE VERÁ EN AUMENTO EN LOS PRÓXIMOS AÑOS, LO QUE HARÁ QUE SE CONECTEN LAS DOS ZONAS DE RIESGO LIMÍTROFES A LAS DOS PRINCIPALES DEPRESIONES PRESENTES DENTRO DEL MUNICIPIO, GENERANDO UNA ZONA CON GRADO MEDIO DE VULNERABILIDAD, UBICADA EN EL CENTRO ORIENTE DEL MUNICIPIO. POR LAS MISMAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS QUE LA ANTERIOR ZONA, SÓLO QUE EL ESCENARIO ES UN TANTO MENOR, DEBIDO A LA POCA PRESENCIA DEL SER HUMANO, PERO SÍ DE SEMEJANTE CONDICIÓN DE TALA DE LA SELVA, SE DETERMINA QUE AL CENTRO PONIENTE DEL MUNICIPIO SE ENCUENTRA LA ZONA CON BAJO GRADO DE VULNERABILIDAD. CABE SEÑALAR QUE EN ESTAS DOS ZONAS, ES POSIBLE QUE SE PRESENTE UN AUMENTO EN LA SUSCEPTIBIDAD A LA PRESENCIA DE PROCESOS DE RIESGO POR KÁRTICIDAD. LA CARENCIA ACERCA DE ESTUDIOS QUE INFORMEN SOBRE EL GRADO DE ALTERACIÓN EN LOS GEOSISTEMAS NATURALES EXISTENTES DENTRO DE LA SUPERFICIE MUNICIPAL, ADEMÁS DE QUE HASTA AHORA SE ACREDITA A CAVIDADES EL HUNDIMIENTO REPENTINO DEL TERRENO, SIN QUE EXISTA MAYOR EXPLICACIÓN. ASÍ COMO TAMBIÉN, A LA ESCASA INFORMACIÓN CON RESPECTO A PÉRDIDAS DE VIDAS DURANTE LA PRESENCIA DE ESTOS HUNDIMIENTOS. LA SOCIEDAD QUE EN SU MAYORÍA SE TRATA DE POBLACIÓN FLOTANTE,

EN EL FUTURO, LAS ZONAS CON RIESGO MEDIO A BAJO, PRESENTEN GRADO DE VULNERABILIDAD EN AUMENTO, YA QUE HABRÁ DE RECORDAR QUE TODO SISTEMA NATURAL AL SER ALTERADO, SU ENERGÍA AUMENTA DE MANERA EXPONENCIAL.	DESCONOCE LA RELEVANCIA Y SIGNIFICADO DE EL HUNDIMIENTO DE LOS TERRENO, POR LO QUE NO EXISTE NORMATIVIDAD, POLÍTICAS PUBLICAS, MEDIDAS PREVENTIVAS O PARA MITIGAR ESTE TIPO DE FENÓMENOS PERTURBADORES, POR LO QUE, SE DEBE CONSIDERAR QUE LA VULNERABILIDAD SOCIAL ES DE ALTO Y BAJO GRADO. TENIENDO QUE LA VULNERABILIDAD SOCIAL ALTA SE REGISTRA NUEVAMENTE HACIA LA ZONA DE LA COSTA, LA DEPRESIÓN DE TULUM Y LA PARTE NORTE DE LA DEPRESIÓN DE COBÁ. LA RESTANTE SUPERFICIE MUNICIPAL DEBE SER CONSIDERADA COMO CON BAJO GRADO DE VULNERABILIDAD.



Mapa 27. Mapa de índice de exposición por erosión Kárstica.

5.2.15. AGRIETAMIENTO.

Este fenómeno se ha tratado en apartados correspondientes al peligro, vulnerabilidad y riesgo, como un proceso consecuente a la acción de otros procesos, tal y como se define en el Atlas de Riesgo del CENAPRED, donde;

El agrietamiento del terreno es la manifestación superficial, y en ocasiones a profundidad, de una serie esfuerzos de tensión y distorsiones que se generan en el subsuelo debido a las fuerzas y deformaciones inducidas por el hundimiento regional, la desecación de los suelos, los deslizamientos de laderas, la aplicación de sobrecargas, la ocurrencia de sismos, la presencia de fallas geológicas, la licuación de suelos, la generación de flujos subterráneos, las excavaciones subterráneas, entre otros. Se trata de un fenómeno que difícilmente podría ocurrir de manera espontánea, por lo que su origen siempre está ligado a otro fenómeno que lo detona.

El hundimiento y el agrietamiento del terreno son fenómenos difíciles de predecir debido a que su determinación requiere del conocimiento preciso de las propiedades mecánicas de resistencia y deformación del subsuelo, de su distribución estratigráfica, del conocimiento de las variaciones o anomalías subterráneas, de la determinación de la forma y distribución del basamento, del conocimiento del nivel freático y de su variación con el tiempo y de la determinación de las propiedades hidráulicas del terreno, entre otras. (2)

2. (2001), "Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México", CENAPRED.

De los conceptos anteriores es posible comentar que este concepto de agrietamiento se limita principalmente a terrenos con depósitos aluviales, no siendo el caso para el terreno Municipal de Tulum, ya que en éste, la presencia de grietas en el terreno se debe fundamentalmente a mecanismos físicos relacionaos con las deformaciones que sufren las rocas calcáreas afectadas principalmente por hundimiento, lo cual, genera esfuerzos por tensión en los límites de los terrenos cóncavos afectados por el colapso del techo en presencia de cavernas, así mismo, el descubrimiento de la roca facilita la dilatación y contracción de la misma, produciendo ruptura superficial de escasos centímetros, diferenciándose de las producidas por tensión, fracturas que pueden ser profundas y de decímetros de apertura.

La importancia de este tipo de procesos dentro del terreno municipal, radica en que estas fracturas (grietas), generalmente discontinuas, facilitan la filtración de agua aumentando la formación de cavernas que vulneran al terreno produciendo condiciones propicias para el hundimiento o el colapso del suelo.

Para el análisis, caracterización y evaluación de los niveles de riesgo asociados al agrietamiento, es necesario se considere la realización de proyectos específicos donde se incluya exploración geológica, geofísica y geotécnica de carácter específicos con el objeto de determinar de manera concreta las zonas donde las amenazas y peligros pongan en riesgo a la población, por lo que, se sugiere se implemente de manera urgente este tipo de estudios o proyectos principalmente hacia la zona caracterizada como de hundimiento costero, la cual, es la que más potencial presenta en sus condiciones naturales para registrar riesgos por agrietamiento en el suelo.

5.2.16. SUBSIDENCIA.

Tal y como ya se puede ver en apartados varios dentro del presente documento, donde se ha descrito a la subsidencia como un proceso eminentemente geológico referente al hundimiento lento que afecta a grandes bloques de rocas y que por su naturaleza se convierte en el proceso que determina a largo plazo una condición de movilidad en el terreno.

Por lo que solamente se reitera que el territorio Municipal de Tulum, se localiza dentro de lo que se le ha denominado Bloque de Chetumal, el cual, actualmente está bajo condición de hundimiento muy lento con una velocidad de hundimiento aproximada de 0.81 mm/año, pero con un desarrollo extremo reciente.

Esta velocidad de hundimiento fue determinada a partir de la información obtenida durante la elaboración del Atlas de México de 1992, por el Instituto de Geografía de la UNAM, específicamente de los mapas morfométricos de Niveles base de Erosión y Niveles de cimas, de donde se establece una relación algebraica con resultados positivos y negativos con analogía a valores del proceso geológico conocido como isostasia. De esta expresión se determinó que el Bloque de Chetumal, inicia un periodo de hundimiento con velocidades lentas.

Esta información puede relacionarse con los hallazgos antropo-arquelógicos del cenote de Las Palmas, de donde se estableció para los restos fósiles humanos de la denominada La Mujer de La Palma, para los cuales, se calculó una edad de aproximadamente 13,600 años, por lo que, a la fecha con el valor de la velocidad calculada, se tiene que el hundimiento total a la fecha sería de 11.00 metros. Lo cual, se relaciona con los límites de la zona de hundimiento costero señalado dentro del presente Atlas.

5.3. MÉTODOS, EVIDENCIAS E INDICADORES DE VULNERABILIDAD ANTE FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS.

5.3.1. TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS EXTREMAS.

Para la descripción del comportamiento de las temperaturas en el municipio se obtuvo del Servicio Meteorológico Nacional de nueve estaciones climatológicas en donde se tomó el periodo más largo que se tiene con datos, esto es, datos comprendidos de 1951 al 2010 de las estaciones de Cobá (00023012), Tulum (00023025), Playa Del Carmen (00023163), Felipe Carrillo Puerto (00023003), Laguna Kana (00023163), Victoria (00023027), Tampak (00023007), Ideal (00023157), Valladolid (00031036) , esto para tener una interpolación más exacta, se presentan a continuación los valores que se utilizaron en las interpolaciones:

Tabla 66. Temperaturas máximas y mínimas para el Municipio de Tulum.

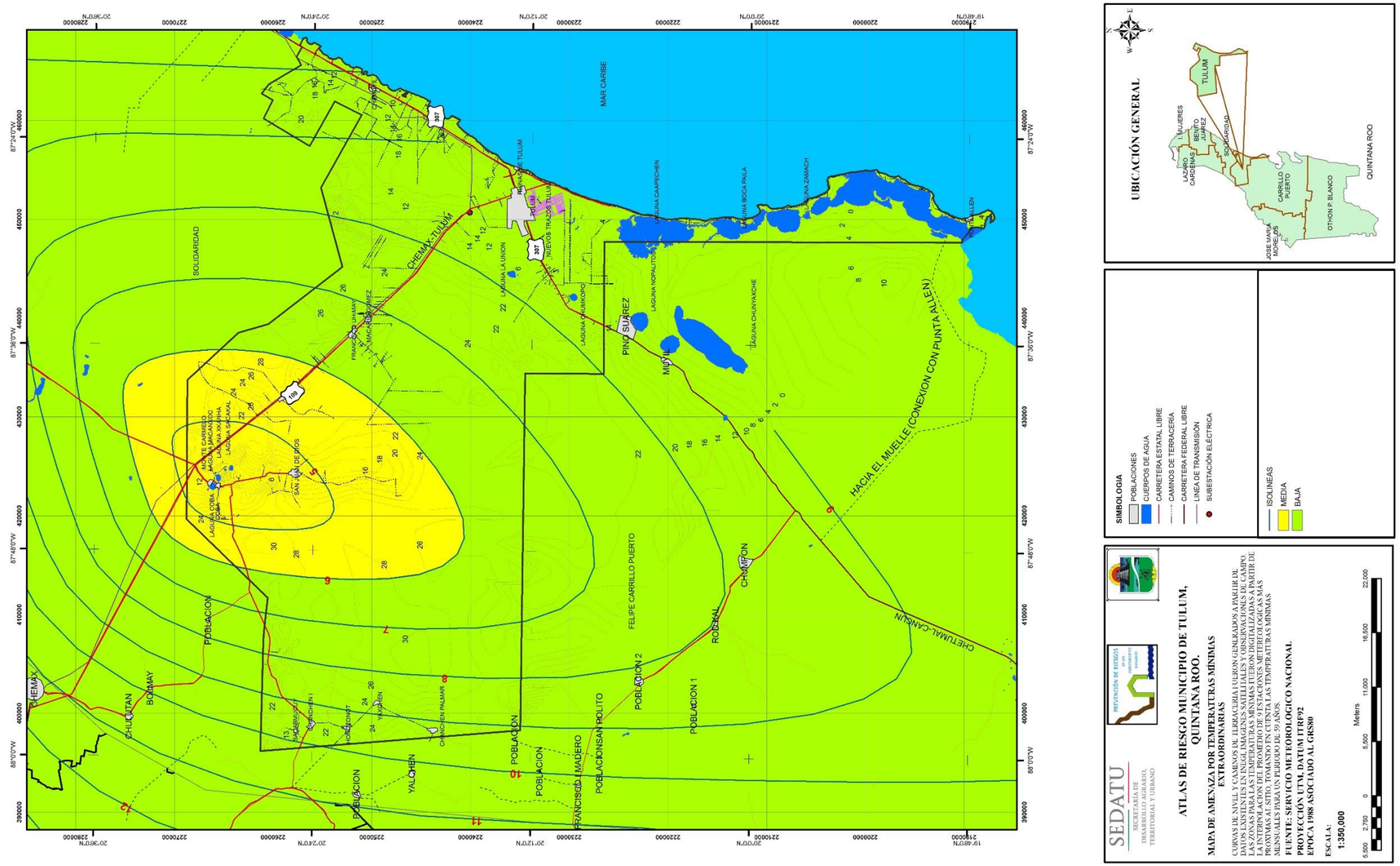
PERIODO	ESTACIÓN	TEMPERATURA MENSUAL (°C)	
		MÁXIMA	MÍNIMA
1951-2010	COBÁ	35.7	4.1
1951-2010	TULUM	37.9	8.2
1951-2010	FELIPE C.P.	37.9	10.3
1951-2010	PLAYA DEL CARMEN	33.9	13.8
1951-2010	LAGUNA KANA	33.9	9.2
1951-2010	VICTORIA	38.3	10.6
1951-2010	TAMPAK	38.4	8
1951-2010	IDEAL	35.8	13
1951-2010	VALLADOLID	40.9	14.3

Resumen de datos de temperaturas: fuente Servicio Meteorológico Nacional.

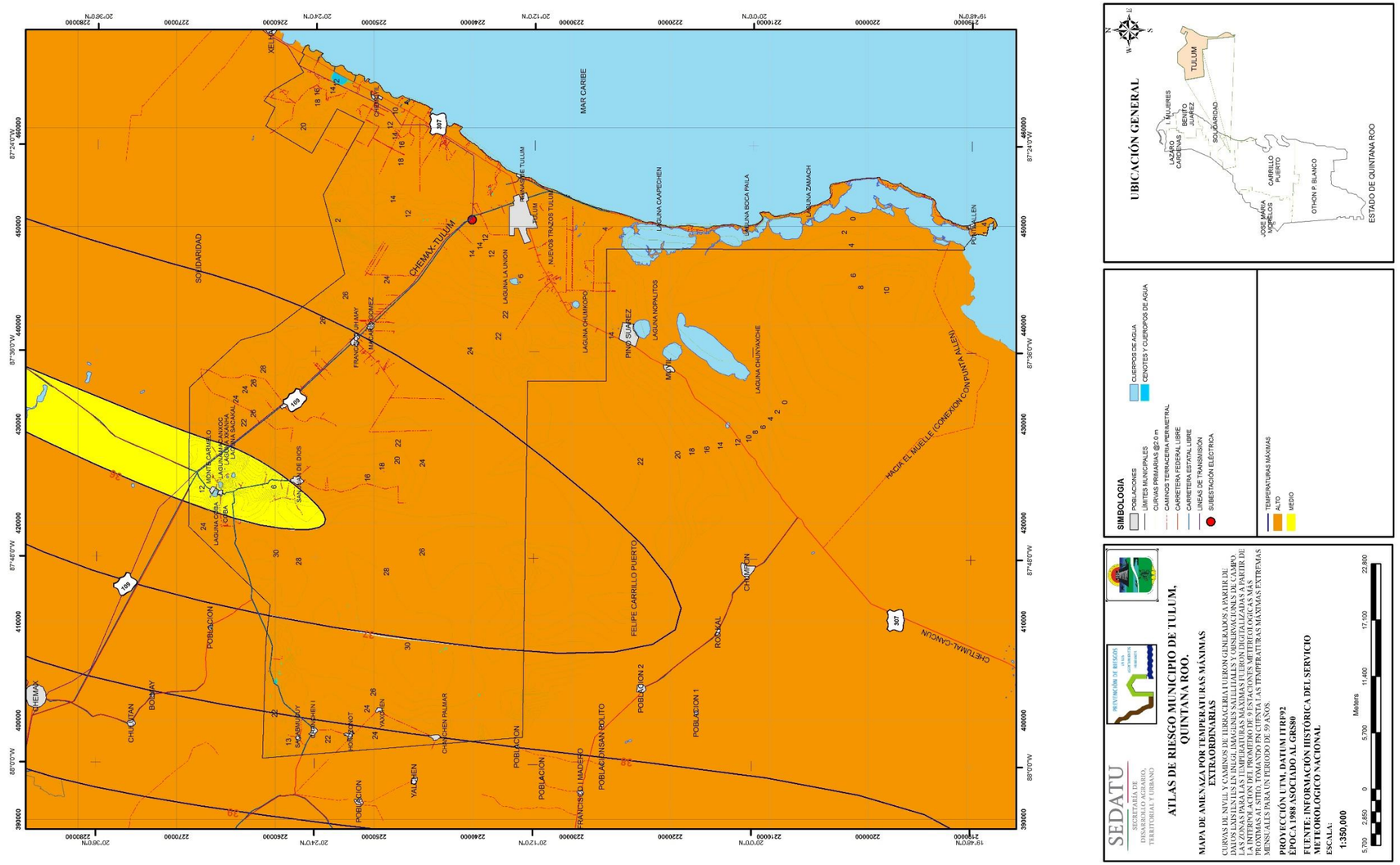
Los siguientes mapas que a continuación se muestran corresponden a las temperaturas mínimas y máximas extremas mensuales correspondientemente los cuales se crearon de los registros de las estaciones climatológicas más próximas al sitio de estudio (antes mencionadas), de donde se realizaron interpolaciones con los valores de las temperaturas con sus estaciones ubicándolas de acuerdo a las coordenadas que le corresponden geográficamente, de la interpolación se obtuvieron isolíneas donde se muestra su distribución espacial, con registros meteorológicos de 59 años.

En los mapas correspondientes a temperaturas mínimas y máximas, los intervalos para las temperaturas fueron tomadas de las cartas del Instituto de Geografía de la UNAM.

De acuerdo a los indicadores de vulnerabilidad que se mencionan en las bases, la temperatura correspondiente a 35°C es el límite superior de tolerancia en donde se producen golpes de calor, con inconciencia en algunas personas y aumento de enfermedades.



Mapa 28. Mapa de amenaza por temperaturas mínimas, fuente: interpolación de temperaturas mínimas mensuales de 9 estaciones meteorológicas del SMN próximas al sitio del período correspondiente a 1951 a 2010.



Mapa 29. Mapa de amenaza por temperaturas máximas extremas, fuente: interpolación de temperaturas máximas extremas mensuales de 9 estaciones meteorológicas próximas al sitio del período correspondiente a 1951 a 2010.

En lo que respecta a la amenaza por temperaturas máximas y mínimas las principales afectaciones a las personas se refieren a las temperaturas máximas extremas mensuales, las cuales sobrepasan el límite superior establecido como indicador en donde la temperatura de menor valor es de 35.7°C para la estación de COBÁ y 37.9°C para la estación ubicada en Tulum, por lo que todo el municipio es vulnerable ante esta situación.

La temperatura más baja registrada de 1951 a 2010 se ubica en la zona correspondiente a Cobá siendo esta de 4.1° C.

Tabla 67. Evidencias de amenaza por temperaturas máximas y minimas.

NIVEL 1	EVIDENCIAS
Vulnerabilidad.	Los datos históricos de temperaturas máximas extremas mensuales se obtuvieron del Servicio Meteorológico Nacional en el período correspondiente de 1951 al 2010 de donde se obtuvieron los mapas antes mostrados, de los cuales el mapa correspondiente a temperaturas máximas extremas representa vulnerabilidades que se pueden clasificar como media y alta. La vulnerabilidad de acuerdo a los datos históricos del servicio meteorológico se incrementan en los meses de abril a septiembre, estos datos de acuerdo a las estaciones de Coba, Tulum Y Playa Del Carmen. Las afectaciones por temperaturas extremas mensuales se dan en todo el municipio ya que el límite superior de tolerancia es de 35°C la cual es superada de acuerdo a la distribución de temperaturas obtenidas de las interpolaciones, esto pueden producir golpes de calor y el aumento de enfermedades. Estas temperaturas elevadas aumentan la evapotranspiración de las plantas lo cual provoca que se marchiten, afectando a cultivos.

OBTENCIÓN DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS EXTREMAS PARA PERIODOS DE RETORNO DE 5, 10, 25 Y 50 AÑOS.

Para la determinación de las temperaturas máximas extremas en los periodos antes mencionados, se ha utilizado la distribución de Gumbel, por lo que a continuación se muestran los diferentes cálculos realizados:

Tabla 68. Registros históricos.

PERIODO	ESTACIÓN	TEMPERATURA MENSUAL	
		MÁXIMA	(x1-xm)2
1951-2010	COBA	35.7	1.604444444
1951-2010	TULUM	37.9	0.871111111
1951-2010	FELIPE C.P.	37.9	0.871111111
1951-2010	PLAYA DEL CARMEN	33.9	9.404444444
1951-2010	LAGUNA KANA	33.9	9.404444444
1951-2010	VICTORIA	38.3	1.777777778
1951-2010	TAMPAK	38.4	2.054444444
1951-2010	IDEAL	35.8	1.361111111
1951-2010	VALLADOLID	40.9	15.47111111

	SUMATORIA.	332.7	42.82

Media de los datos 36.9666666

Desviación estándar 2.3135470

α=1.8038

μ=35.9254

Realizando los cálculos correspondientes se tiene que la temperatura media máxima para un periodo de retorno de 5 años con los registros históricos obtenidos del Servicio Metereológico Nacional es de 38.63°C.

Para un periodo de retorno de 10 años la temperatura máxima extrema será de 39.9°C, para 25 y 50 años será de 41.69 y 42.96°C respectivamente.

5.3.2. SEQUÍAS.

La sequía es un fenómeno meteorológico que ocurre cuando la precipitación en un período de tiempo es menor que el promedio, y cuando esta deficiencia de agua es lo suficientemente grande y prolongada como para dañar las actividades humanas. Cada vez con mayor frecuencia se presentan en el mundo y es considerado uno de los fenómenos naturales que más daños causan en lo que se refiere al aspecto económico ya que grandes hectáreas de cultivos se pierden por las sequías y numerosas cabezas de ganado mueren durante las mismas. La magnitud, duración y severidad de una sequía se pueden considerar como relativos, ya que sus efectos están directamente relacionados con las actividades humanas, es decir, si no hay requerimientos por satisfacer, aun habiendo carencia total del agua, la sequía y su presencia son discutibles desde un punto de vista de sus efectos.

El reconocimiento de la sequía como fenómeno hidrológico extremo, dista mucho de tener las características de otros eventos como las grandes avenidas; por ejemplo; se ha llegado a mencionar que la sequía es un "no evento" debido a que su ocurrencia, sobre todo en su inicio, no es fácilmente detectable como tal, sino que se le reconoce por los efectos que provoca

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

En términos generales, el gran efecto de la sequía puede reducirse a una sola palabra: hambruna, y en su última consecuencia, a la muerte, tanto de seres humanos como de los animales y plantas, de las cuales obtienen su sustento y sus medios de vida.

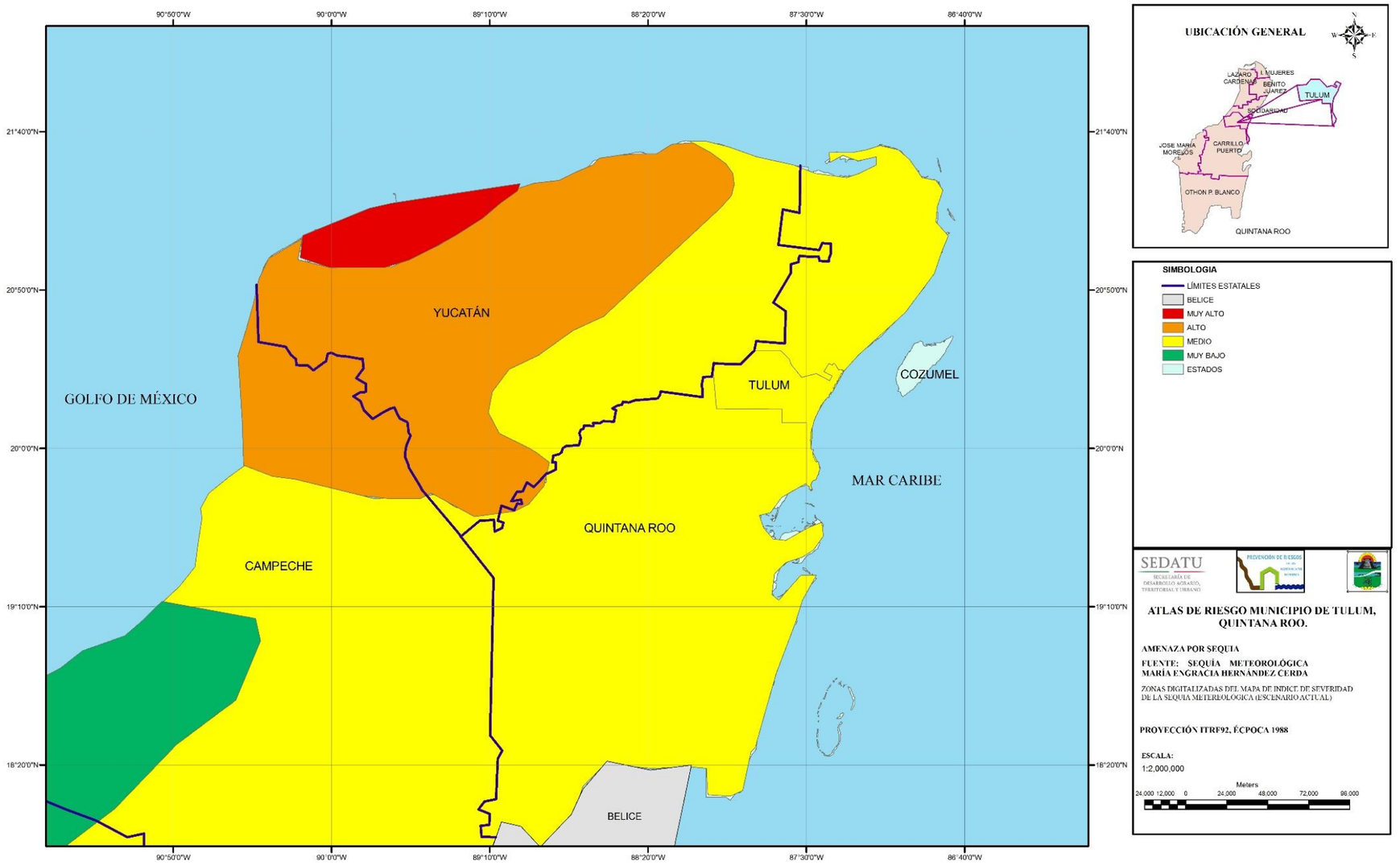
Actualmente, los efectos más desastrosos de una sequía se dejan sentir en el aspecto económico y social, ya que las enormes pérdidas en cosechas, animales, paro en la producción industrial, etc., ocasionan, entre otras cosas, reducción del poder adquisitivo de la población, migración obligada de la fuerza laboral hacia otras regiones menos afectadas, provocando un desequilibrio en la oferta-demanda de las fuentes de trabajo, retroceso en el nivel de vida y aspiraciones de la población afectada.

Existen razones de sospechar que las sequías se pueden autoperpetuar en cierto grado, ya que una vez que la superficie del suelo está libre de vegetación, una mayor cantidad de calor sensible es devuelta a la atmósfera como calor latente; además, la microturbulencia generada por un mayor calentamiento de la superficie, origina un mayor abastecimiento de núcleos de condensación procedentes del suelo mezclados a mayor profundidad en la atmósfera y esto conduce finalmente a un predominio de nubes de tipo cúmulus continentales sobre las marítimas, lo cual contribuye a la persistencia de la sequía.

Las sequías pueden presentarse en cualquier tiempo y en cualquier lugar, pero existen áreas específicas sensibles al fenómeno, definidas básicamente por su localización geográfica, como lo es la latitud, ya que a partir de la línea del Ecuador hacia los polos, en forma alterna, se presentan las franjas de baja y alta presión atmosférica, donde las primeras corresponden a las áreas lluviosas y húmedas en el planeta, desde el Ecuador hacia los 60° de latitud Norte y Sur y las segundas, corresponden a zonas donde los vientos son secos y descendentes, que no proporcionan lluvia y están alrededor de los 30° Norte y Sur, y en los polos (CENAPRED).

México, por su localización geográfica, es sumamente vulnerable a la acción desastrosa de las sequias, en los últimos años la sequía ha adquirido una gran relevancia por los daños que ocasiona, que con frecuencia superan en magnitud a los que producen otros fenómenos hidrometeorológicos y se torna más amenazador por el calentamiento atmosférico asociado al cambio global, entre cuyas secuelas el aumento en la frecuencia de sequías en determinadas zonas del planeta.

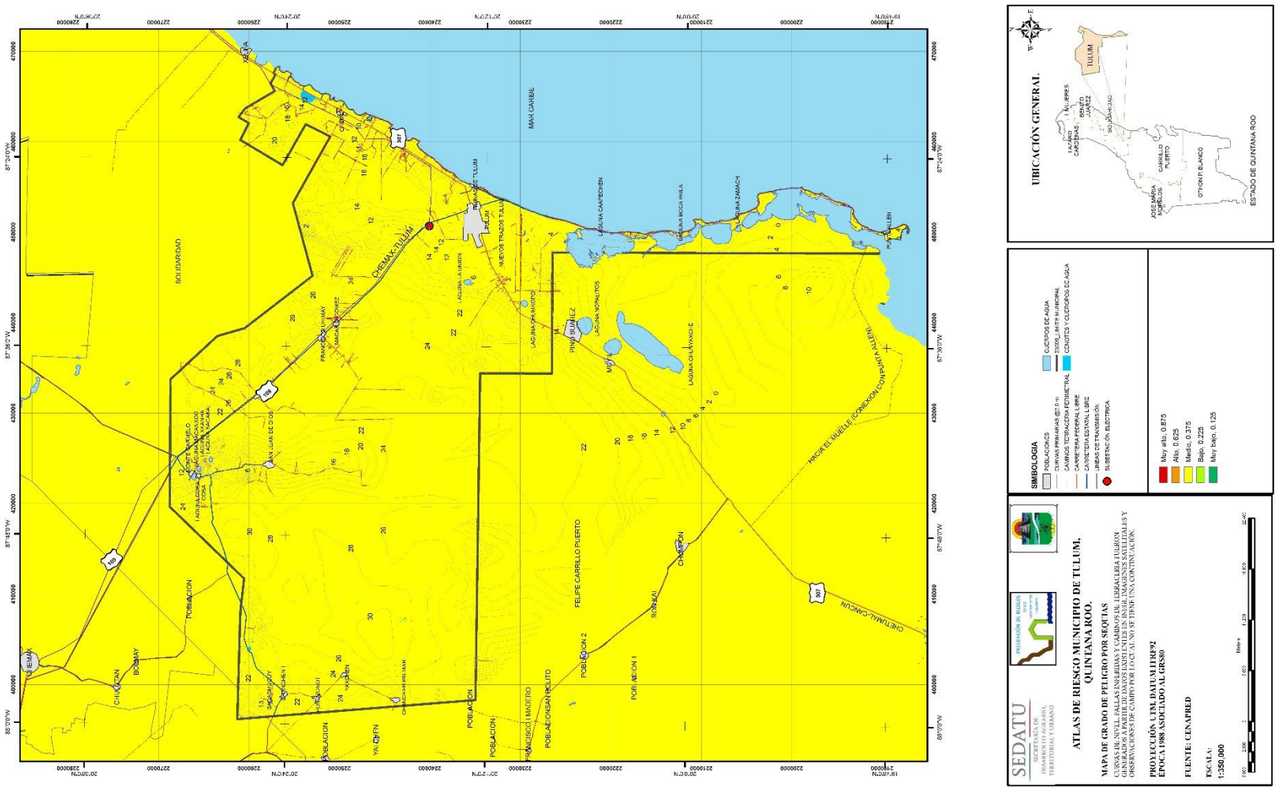
En el mapa se muestra que el país no tiene zonas que no sean afectadas por la sequía. En lo que respecta al índice de severidad designado como leve, se localizan tres áreas, la primera, sobre la llanura tabasqueña comprende parte de los siguientes estados: sur de Veracruz, norte de Oaxaca, la mayor parte de Tabasco y sur de Campeche; la segunda, en el extremo oriente de la cuenca del Balsas; y la tercera, en el Bajío donde abarca parte del estado de Jalisco y noroeste de Michoacán. Ocupan 6.3% de la superficie total del país. Por otro lado, cinco áreas del país tienen sequía severa: la de mayor extensión se ubica en el noreste de México y abarca el desierto chihuahuense y una prolongación, hacia el sur, que llega al estado de Guanajuato. Otra zona se localiza en el centro norte del estado de Sonora, y una más en la costa oriente de Baja California Sur. Las otras dos áreas, de menor extensión, se localizan: una sobre la costa oaxaqueña y otra en la costa noreste del estado de Yucatán. Todas ellas abarcan 24.4% de la superficie del país. Las áreas con severidad fuerte que también comprenden 24.4% del territorio nacional, se ubican en la mitad sur del país, y en una pequeña porción del norte del estado de Sinaloa.



Mapa 30. Mapa de sequías meteorológicas (María Engracia Hernández Cerda del Instituto de Geografía de la UNAM).

Tabla 69. Peligro por sequía.

NIVEL 1	EVIDENCIAS
PELIGRO	De acuerdo a la información disponible y a la zonificación mostrada en el mapa, el municipio se encuentra con un nivel de amenaza medio, de acuerdo a los recorridos realizados en campo, este fenómeno se refleja principalmente en la zona noroeste del municipio, en los poblados de SACABMUCUY, CHANCHEN I, HONDZONOT, YAXCHEN, CHANCHEN PALMAR, donde la deforestación que se presenta en estas zonas aumentan la vulnerabilidad por sequía, no se detectan otras zonas de consideración en el municipio.



Mapa 31. Grado de peligro por sequias, obtenido del atlas municipal de CENAPRED.

5.3.3. HELADAS.

La helada es la disminución de la temperatura del aire a un valor igual o inferior al punto de congelación del agua 0°C. La cubierta de hielo, es una de sus formas producida por la sublimación del vapor de agua sobre los objetos; ocurre cuando se presentan dichas temperaturas.

Las heladas se presentan particularmente en las noches de invierno por una fuerte pérdida radiactiva. Suele acompañarse de una inversión térmica junto al suelo, donde se presentan los valores mínimos, que pueden descender a los 2°C o aún más. Desde el punto de vista agroclimático, es importante considerar a dicho fenómeno, dados sus efectos en el sector agrícola. Pero es relevante, aunque en menor grado, las afectaciones a la salud de la población que es influenciada por las olas de frío.

En el norte y centro de la República Mexicana, durante los meses fríos del año (noviembre-febrero), se presentan temperaturas menores de 0 ° C debido al ingreso de aire polar continentales, generalmente secas, provenientes de Estados Unidos.

Las heladas más intensas están asociadas al desplazamiento de las grandes masas polares que desde finales del otoño, se desplazan de norte a sur sobre el país.

En México, la distribución de las heladas se manifiesta, principalmente en dos grandes regiones, la primera y la más extensa está sobre las sierras Tarahumara, de Durango y Tepehuanes, que comprende a los estados de Chihuahua, Durango, Sonora y Zacatecas; la segunda, aunque no de menor importancia se localiza en la parte centro del país, que incluye los estados de Michoacán, Estado de México, Distrito Federal, Tlaxcala, Puebla e Hidalgo, región que limita con el Sistema Volcánico Transversal. Otras áreas expuestas a bajas temperaturas se localizan en las Sierras de San Pedro Mártir y de Juárez, Baja California. Una más cubre algunas porciones de los estados de San Luis Potosí y Zacatecas, en todas estas regiones existen cerca de 120 días con heladas. En cambio, las zonas costeras poseen ausencia de este fenómeno; como la vertiente del golfo de México, el sur del río Pánuco y hasta la península de Yucatán, e incluso el istmo de Tehuantepec, además de la llanura del océano Pacífico (CENAPRED).

De acuerdo a las 9 estaciones climatológicas que se han manejado para la obtención de los registros históricos en lo que respecta al clima, no se tienen registros sobre este fenómeno meteorológico para ser evaluado en el municipio.

TABLA 70. Evidencias de las temperaturas Máximas y Mínimas.

MÉTODO NIVEL 1	EVIDENCIAS
SE OBTUVIERON LOS DATOS CLIMATOLÓGICOS DE LAS ESTACIONES DEL SMN MÁS PROXIMAS AL MUNICIPIO DEL PERIODO DE 1951 AL	NO SE TIENEN REGISTROS CON TEMPERATURAS IGUALES O MENORES A 0°C., LA TEMPERATURA MÁS BAJA REGISTRADA EN 9 ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS FUE DE 4°C Y SE PRESENTA EN COBA.

2010	

5.3.4. TORMENTAS DE GRANIZO.

El granizo es un tipo de precipitación en forma de piedras de hielo y se forma en las tormentas severas cuando las gotas de agua o los copos de nieve formados en las nubes de tipo cumulunimbus son arrastrados por corrientes ascendentes de aire.

Origen y Características

El granizo se forma durante las tormentas eléctricas, cuando las gotas de agua o los copos de nieve formados en las nubes de tipo cumulonimbo son arrastrados verticalmente por corrientes de aire turbulento características de las tormentas. Las piedras de granizo crecen por las colisiones sucesivas de estas partículas de agua muy enfriada, esto es, de agua que está a una temperatura menor que la de su punto de solidificación, pero que permanece en estado líquido. Esta agua queda suspendida en la nube por la que viaja. Cuando las partículas de granizo se hacen demasiado pesadas para ser sostenidas por las corrientes de aire, caen hacia el suelo. Las piedras de granizo tienen diámetros que varían entre 2 mm y 13 cm, y las mayores pueden ser muy destructivas. A veces, varias piedras pueden solidificarse juntas formando grandes masas informes y pesadas de hielo y nieve.

Zonas de Afectación

La magnitud de los daños que puede provocar la precipitación en forma de granizo depende de su cantidad y tamaño. En las zonas rurales, los granizos destruyen las siembras y plantíos; a veces causan la pérdida de animales de cría. En las regiones urbanas afectan a las viviendas, construcciones y áreas verdes. En ocasiones, el granizo se acumula en cantidad suficiente dentro del drenaje para obstruir el paso del agua y generar inundaciones durante algunas horas. Las zonas más afectadas de México por tormentas de granizo son el altiplano de México y algunas regiones de Chiapas, Guanajuato, Durango y Sonora (CENAPRED).

Tabla 71. Evidencias de Tormentas de Granizo.

MÉTODO NIVEL 1	EVIDENCIAS
SE OBTUVIERON LOS DATOS CLIMATOLÓGICOS DE LAS ESTACIONES DEL SMN MÁS PROXIMAS AL MUNICIPIO DEL PERIODO DE 1951 AL 2010	NO SE TIENEN REGISTROS CON DIAS DE GRANIZO EN LASS 9 ESTACIONES MÁS PROXIMAS AL SITIO DE ESTUDIO.

Tabla 72. Registro de días con granizo, fuente: SMN.

REGISTROS DE DIAS CON GRANIZO			
ESTACIÓN	UBICACIÓN	PERIODO	DIAS CON GRANIZO
23163	PLAYA DEL CARMEN	1951-2010	0
23012	COBA	1951-2010	0
23025	TULUM	1951-2010	0
23003	F. CARRILLO PUERTO	1951-2010	0
23162	LAGUNA CANA	1951-2010	0
23027	VICTORIA	1951-2010	0
23007	TAMPAK	1951-2010	0
23157	IDEAL	1951-2010	0
31036	VALLADOLID	1951-2010	0

5.3.5. TORMENTAS DE NIEVE.

Las nevadas, también conocidas como tormentas de nieve, son una forma de precipitación sólida en forma de copos. Un copo de nieve es la aglomeración de cristales transparentes de hielo que se forman cuando el vapor de agua se condensa a temperaturas inferiores a la de solidificación del agua. La condensación de la nieve tiene la forma de ramificaciones intrincadas de cristales hexagonales planos en una variedad infinita de patrones.

Los copos de nieve tienen diferentes formas y tamaño, ello depende de la temperatura y humedad de la atmósfera, aunque todos presentan estructuras hexagonales, ver imagen, debido a la manera en cómo se agrupan las moléculas de oxígeno e hidrógeno al congelarse el agua.

Los fenómenos meteorológicos que provocan las nevadas son los que ocurren generalmente durante el invierno, como son las masas de aire polar y los frentes fríos, que en algunas ocasiones llegan a interactuar con corrientes en chorro, líneas de vaguadas, y entrada de humedad de los océanos hacia tierra. Estos fenómenos provocan tormentas invernales que pueden ser en forma de lluvia, aguanieve o nieve.

Debido a la situación geográfica de nuestro país son pocas las regiones que padecen de nevadas, siendo más acentuado este fenómeno en regiones altas como montañas o sierras, principalmente, durante el invierno. Un caso extraordinario ocurrió en el invierno de 1967, donde aproximadamente el 50% del territorio nacional resultó afectado por una nevada, incluso en el Valle de México.

Las nevadas principalmente ocurren en el norte del país y en las regiones altas, y rara vez se presentan en el sur. Durante la estación invernal en las sierras del estado de Chihuahua suceden en promedio más de seis nevadas al año, mientras que en algunas regiones al norte de Durango y Sonora, las nevadas tienen una frecuencia de tres veces al año.

También se han registrado nevadas que han afectado a las ciudades del centro del país, como las de Toluca, México, Puebla, Tlaxcala y San Luis Potosí. Eventualmente pueden formarse nevadas en el altiplano de México por la influencia de las corrientes frías provenientes del norte del país. Históricamente las zonas donde su ocurrencia es más frecuente son los volcanes como el Pico de Orizaba, Popocatépetl, Iztaccíhuatl y Nevado de Toluca; también en las sierras de Chihuahua, Durango, Sonora, Coahuila, Baja California y Nuevo León y, en menor frecuencia, en la zona del Bajío (Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato y Jalisco), así como en las partes altas del Valle de México, como es el Ajusco (CENAPRED).

Tabla 73. Evidencias de Tormentas de Nieve.

MÉTODO NIVEL 1	EVIDENCIAS
NO SE TIENEN REGISTROS	SIN EVIDENCIA

5.3.6. HURACANES.

CICLONES 2002.

En el Atlántico, durante la temporada de ciclones del año 2002, se generaron dos depresiones tropicales, ocho tormentas tropicales y cuatro huracanes. De estos últimos, los más intensos fueron “Lili” e "Isidore" con categoría IV y III respectivamente, en la escala de intensidad Saffir-Simpson y les siguieron "Gustav" y "Kyle", ambos con categoría I.

Durante esta temporada, sólo uno de los ciclones que se generaron en la cuenca del Atlántico afectó directamente en territorio de México. El intenso huracán “Isidore” afectó fuertemente sobre la península de Yucatán y posteriormente como tormenta tropical en el Sur de Estados Unidos.

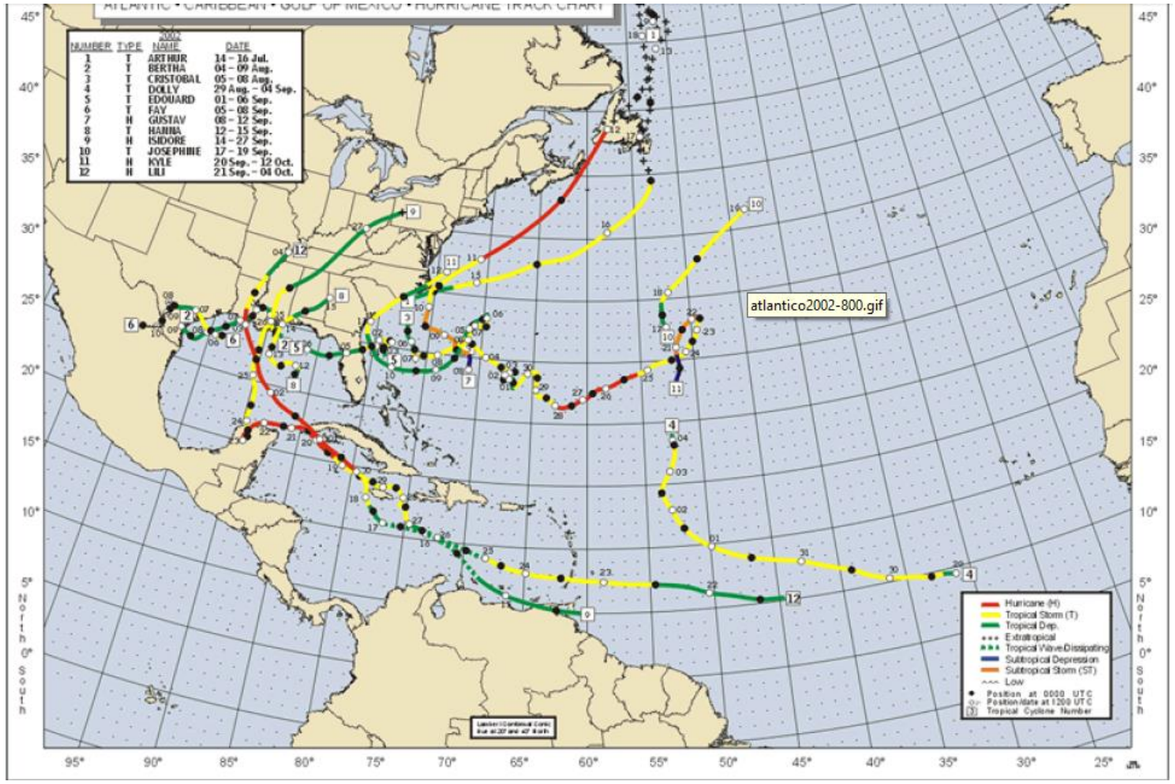


IMAGEN 7. TRAYECTORIA DE HURACANES 2002 NATIONAL URRICANE CENTER.

CICLONES 2003

En el Atlántico, durante la temporada de ciclones del año 2003, se generaron cinco depresiones tropicales, diez tormentas tropicales y seis huracanes. De estos últimos, los más intensos fueron "Isabel", de categoría V, "Fabián" de categoría IV y "Kate" de categoría III, en la escala de intensidad Saffir-Simpson, seguidos de "Juan", de categoría II y "Claudette", "Danny" y "Erika" de categoría I.

Durante esta temporada, tres de los ciclones que se generaron en el Atlántico afectaron directamente en territorio de México.

El primero de los ciclones que afectó las costas de México por el lado del Atlántico, fue el huracán "Claudette", cuya trayectoria se desarrolló del 8 al 16 de julio. En la madrugada del día 11 de julio, todavía como tormenta tropical, "Claudette" tocó tierra en la costa del estado de Quintana Roo, a 25 km al Sur-Suroeste de Cancún, Q. R., con vientos máximos sostenidos

de 90 km/h y rachas de 110 km/h. Después de atravesar el extremo Noreste de la Península de Yucatán, salió al Golfo de México y siguió su trayectoria con rumbo predominante hacia el Noroeste

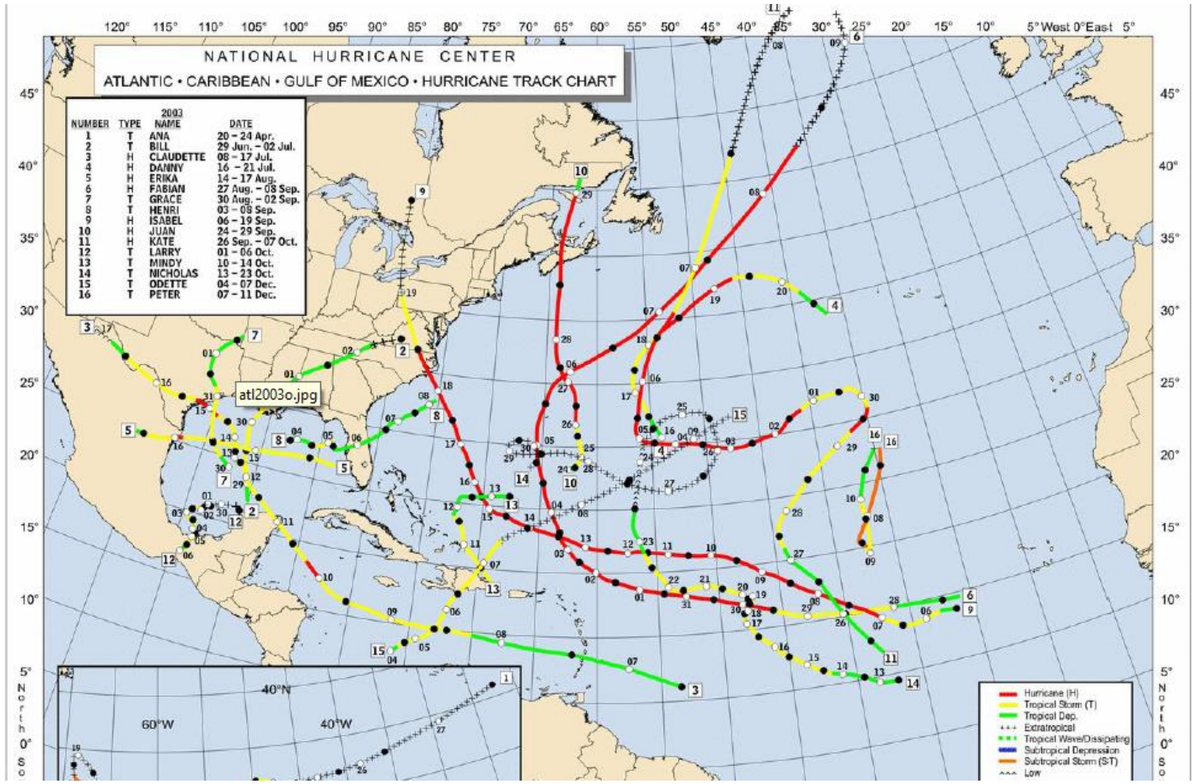


IMAGEN 8. TRAYECTORIA DE HURACANES 2003 NATIONAL URRICANE CENTER.

CICLONES 2004

En el Atlántico, la temporada ciclónica se desarrolló desde el 31 de julio hasta el 2 de diciembre, generándose un total de una depresión tropical, siete tormentas tropicales y ocho huracanes, de los cuales seis fueron huracanes intensos, siendo el mayor de ellos, el huracán “Iván” de categoría V en la escala de intensidad de Saffir-Simpson, con vientos máximos sostenidos de 270 km/h, seguido de “Charley”, “Francés” y “Karl” de categoría IV y por “Alex” y “Jeanne” de categoría III

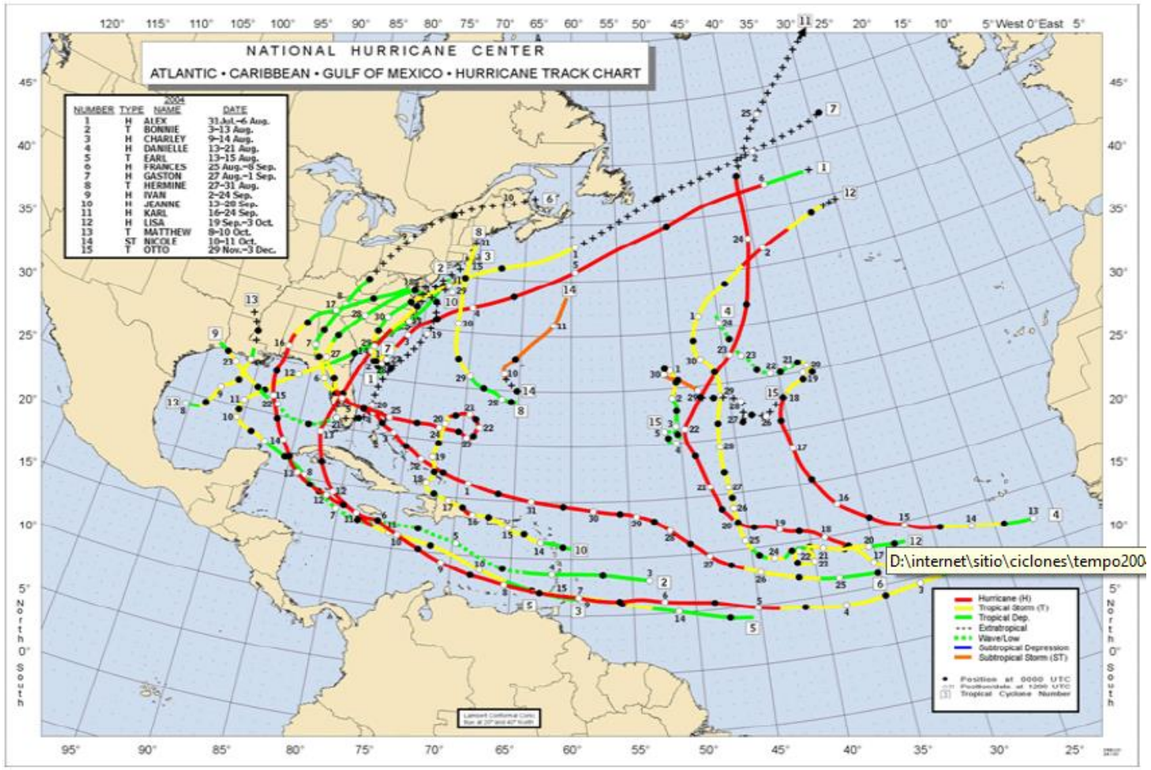


IMAGEN 9. TRAYECTORIA DE HURACANES 2004 NATIONAL URRICANE CENTER.

CICLONES 2005

En el Atlántico, durante la temporada de ciclones del año 2005, se generaron 14 huracanes, 13 tormentas tropicales y 3 depresiones tropicales. De los huracanes, los más intensos fueron “Emily”, “Katrina”, “Rita” y “Wilma” de categoría V, “Dennis”, de categoría IV y “María” y “Beta” de categoría III, en la escala de intensidad SaffirSimpson.

Durante esta activa temporada en el Atlántico, siete ciclones impactaron directamente en las costas de México, el primero de ellos fue la tormenta tropical “Bret”, que tocó tierra en las cercanías de la población de Tuxpan, Ver., en las primeras horas del día 29 de junio con vientos máximos sostenidos de 65 km/h, afectando al estado de Veracruz, además de Tamaulipas, San Luis Potosí e Hidalgo.

El segundo ciclón de la temporada que afectó en México fue la depresión tropical “Cindy”; tocó tierra al Sureste de Felipe Carrillo Puerto, Q. R. en la madrugada del día 4 de julio, localizándose un poco después a 10 km al Oeste de esa misma población.

El tercer ciclón que impacto a México fue el huracán “Emily”; el día 18 de julio, un poco después de las 2:00 de la mañana, “Emily” tocó tierra en las inmediaciones de Tulum, Q. R., como huracán de categoría IV de la escala de intensidad SaffirSimpson, con vientos máximos sostenidos de 215 km/h. Después de avanzar sobre la parte Noreste de la Península de Yucatán, “Emily” salió al Golfo de México, el cual cruzó con rumbo Noroeste, y así, aproximadamente a las 9:00 horas del día 20 de julio, tocó tierra por segunda vez, ahora entre las poblaciones de El Mezquite y Carboneras del municipio de San Fernando,
Tamaulipas, como huracán de categoría III, con vientos máximos sostenidos de 205 km/h.

El huracán “Stan”, vigésimo ciclón de la temporada en el Atlántico, fue el sexto que afectó directamente las costas nacionales por el Oriente del país; tocó la costa de Quintana Roo, como tormenta tropical, aproximadamente a las 7:00 horas del día 2 de octubre, a 33 km al Este Noreste de Felipe Carrillo Puerto con vientos máximos sostenidos de 75 km/h y rachas de 95 km/h. Después de cruzar la Península de Yucatán siguió su trayectoria sobre el Golfo de México con rumbo hacia la costa de Veracruz y, poco antes de las 10:00 horas local del día 4 de octubre “Stan” impactó tierra entre Punta Roca Partida y Monte Pío, Ver., a 20 km al Noreste de San Andrés Tuxtla, Ver., con vientos máximos sostenidos de 130 km/h, como huracán de categoría I.

El último ciclón tropical que afectó directamente las costas de México por el lado del Atlántico fue el intenso huracán “Wilma”. El día 19 de octubre por la mañana, cuando estaba a 520 km al Este–Sureste de Punta Allen, mantenía vientos máximos sostenidos de 280 km/h y registró la presión más baja en toda la historia de los ciclones en el Atlántico con 882 hPa.

El día 21 octubre a partir del mediodía avanzó sobre la isla de Cozumel, la cual, tres horas después, quedó rodeada por el ojo del huracán, mientras mantenía vientos máximos sostenidos de 230 km/h, aproximadamente a las 20:30 horas impacto tierra sobre la población de Puerto Morelos, Q. R., con vientos máximos sostenidos de 220 km/h y rachas de 270 km/h, como huracán de categoría IV.

El día 24 octubre en la madrugada, cuando se encontraba frente a la costa Sur de la Península de La Florida, a 90 km al Suroeste de Naples, Florida, el huracán “Wilma” alcanzó vientos máximos sostenidos de 205 km/h con rachas de 250 km/h, misma fuerza con la que aproximadamente a las 6:30 horas golpeo la costa
Suroeste de La Florida.

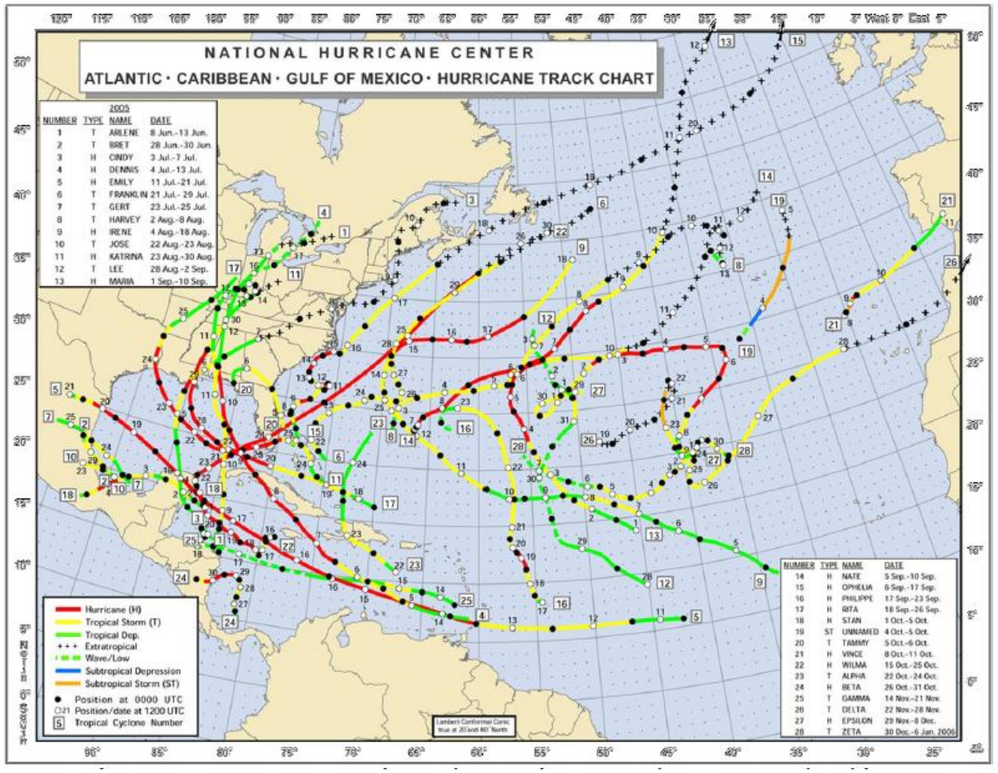


IMAGEN 10. TRAYECTORIA DE HURACANES 2005 NATIONAL URRICANE CENTER.

Ciclones 2006

En el Atlántico, durante la temporada de ciclones del año 2006, se generaron 9 ciclones. De los cuales, cinco alcanzaron intensidad de huracanes y cuatro fueron tormentas tropicales. De los huracanes, los más intensos fueron “Helene” y “Gordon”, ambos de categoría III en la escala Saffir-Simpson, con vientos máximos sostenidos de 205 km/h y 185 km/h, respectivamente.

Durante la temporada del año 2006, en el Atlántico ningún ciclón impactó directamente en las costas de México.

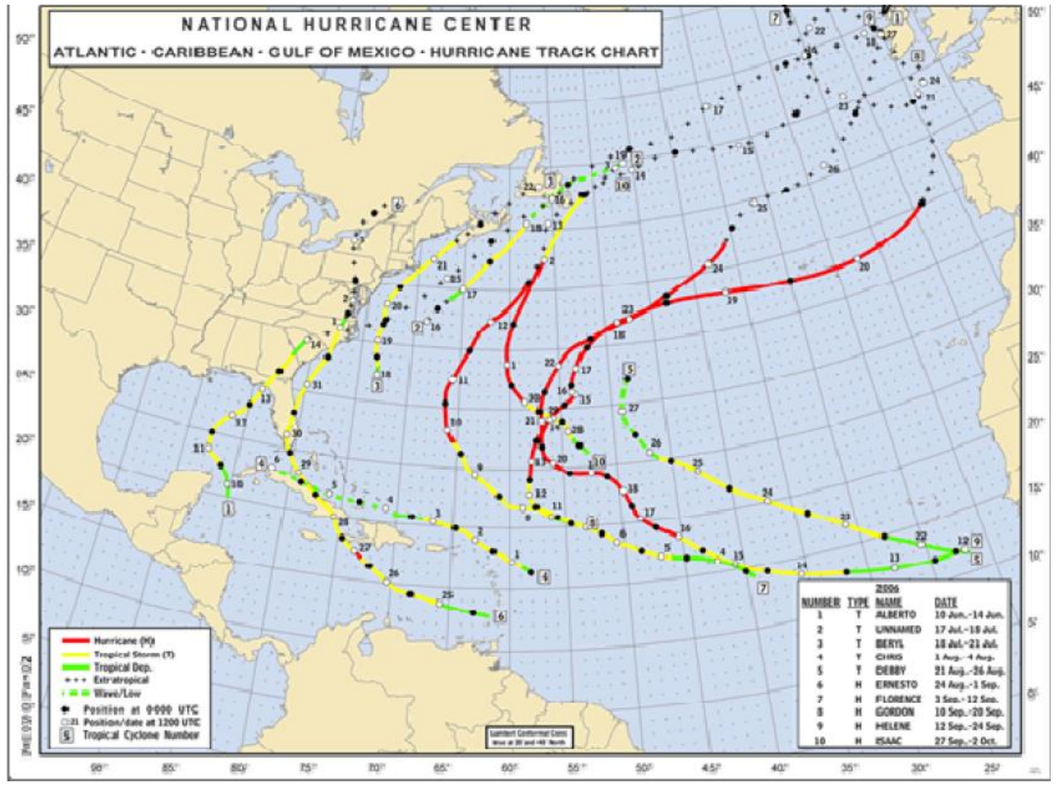


IMAGEN 11. TRAYECTORIA DE HURACANES 2006 NATIONAL URRICANE CENTER.

CICLONES 2008

En el Atlántico, durante la temporada de ciclones del año 2008, se generaron 17 ciclones, de los cuales, ocho alcanzaron intensidad de huracanes, ocho se desarrollaron a tormentas tropicales y una sólo alcanzó la etapa de depresión tropical. Los huracanes más intensos fueron, por orden de aparición, “Gustav”, con vientos máximos sostenidos de 240 km/h y rachas de 295 km/h, “Ike”, con vientos máximos sostenidos de 215 km/h y rachas de 260 km/h y “Paloma”, con vientos máximos sostenidos de 230 km/h y rachas de 275 km/h, los tres de categoría IV en la escala Saffir-Simpson, además, los huracanes “Bertha”, con vientos máximos sostenidos de 195 km/h y rachas de 240 km/h y “Omar” con vientos máximos sostenidos de 205 km/h y rachas de 250 km/h, ambos de categoría III.

Tres ciclones impactaron a México durante la temporada 2008, generados en el Atlántico.

El primero de ellos fue la tormenta tropical “Arthur”, la cual presentó un recorrido sobre el Sur de Quintana Roo, Campeche y Oriente de Tabasco, durante su evolución de tormenta a depresión tropical, durante el 31 de mayo y 1 de junio. Los remanentes de “Arthur” ocasionaron lluvias intensas en el Sureste de México, con una acumulación máxima en 24 horas de 212 mm en Pijijiapan, Chiapas. No se reportaron daños significativos ni decesos asociados con “Arthur” en México.

El segundo de los ciclones que afectaron las costas orientales de México fue la tormenta tropical “Dolly”, el cual tocó tierra por la parte Sur de la Laguna de Nichupté, al Sur de Cancún, Quintana Roo, aproximadamente a las 01:30 horas local del día 21 de julio, con vientos máximos sostenidos de 85 km/h y rachas de 100 km/h. Después de cruzar el Golfo de México, llegó nuevamente a territorio de México, cruzando la frontera con Estados Unidos en las cercanías de la población de Nuevo Laredo, Tamaulipas, con vientos máximos sostenidos de 65 km/h y rachas de 85 km/h, el día 24 de julio a las 11:45 horas local. “Dolly” afectó con lluvias fuertes a los estados de Quintana Roo y Yucatán en su primer recorrido sobre México, y posteriormente con lluvias intensas en Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila en su segundo impacto. La lluvia máxima en 24 horas fue de 162.2 mm en Matamoros, Tamaulipas. No se reportaron muertes asociadas con “Dolly” en territorio mexicano.

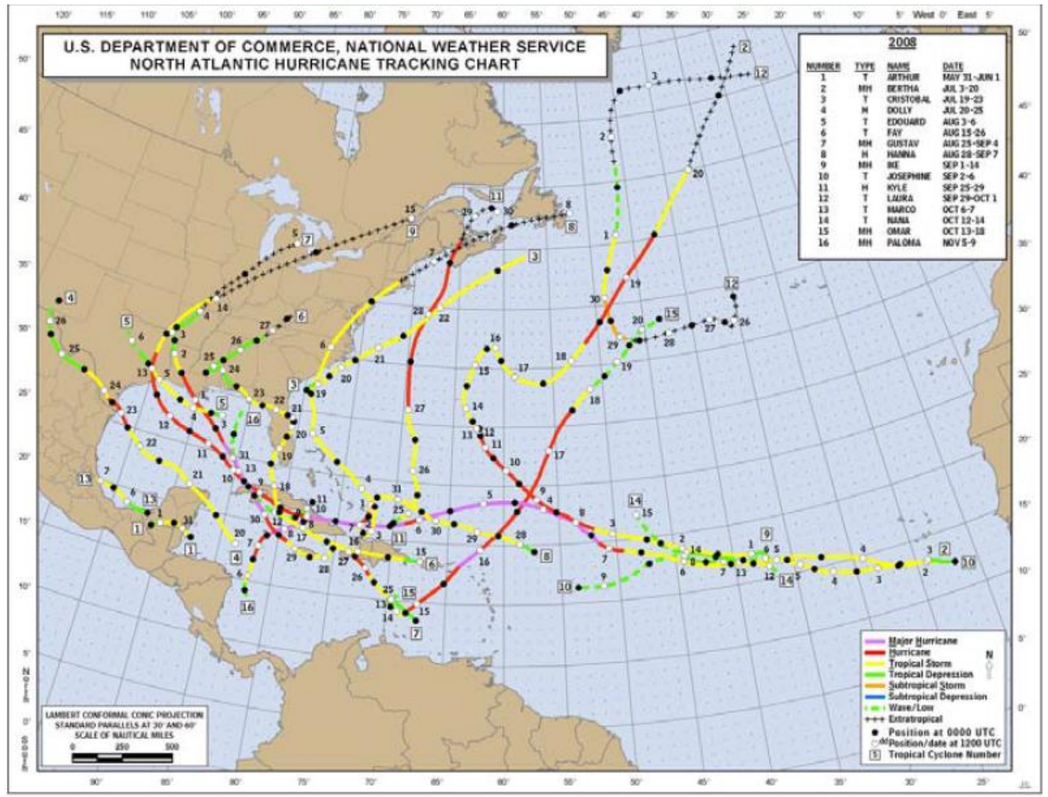


IMAGEN 12. TRAYECTORIA DE HURACANES 2008, NATIONAL URRICANE CENTER.

CICLONES 2009

En el Atlántico, durante la temporada de ciclones del año 2009, se generaron 11 ciclones, de los cuales, 3 alcanzaron intensidad de huracanes, 6 se desarrollaron a tormentas tropicales y 2 alcanzaron la etapa de depresión tropical. El huracán más intenso fue “Bill” con vientos máximos sostenidos de 215 km/h y rachas de 260 km/h de categoría IV en la escala Saffir-Simpson. También “Bill” fue el de mayor recorrido con
8,100 km y el de mayor duración con 216 horas.

La temporada de ciclones 2009 en el Atlántico, tuvo un inicio temprano con la presencia del primero de los ciclones el 28 de mayo y llama la atención los meses de junio y julio por su falta de actividad ciclónica. La temporada terminó el 9 de noviembre.

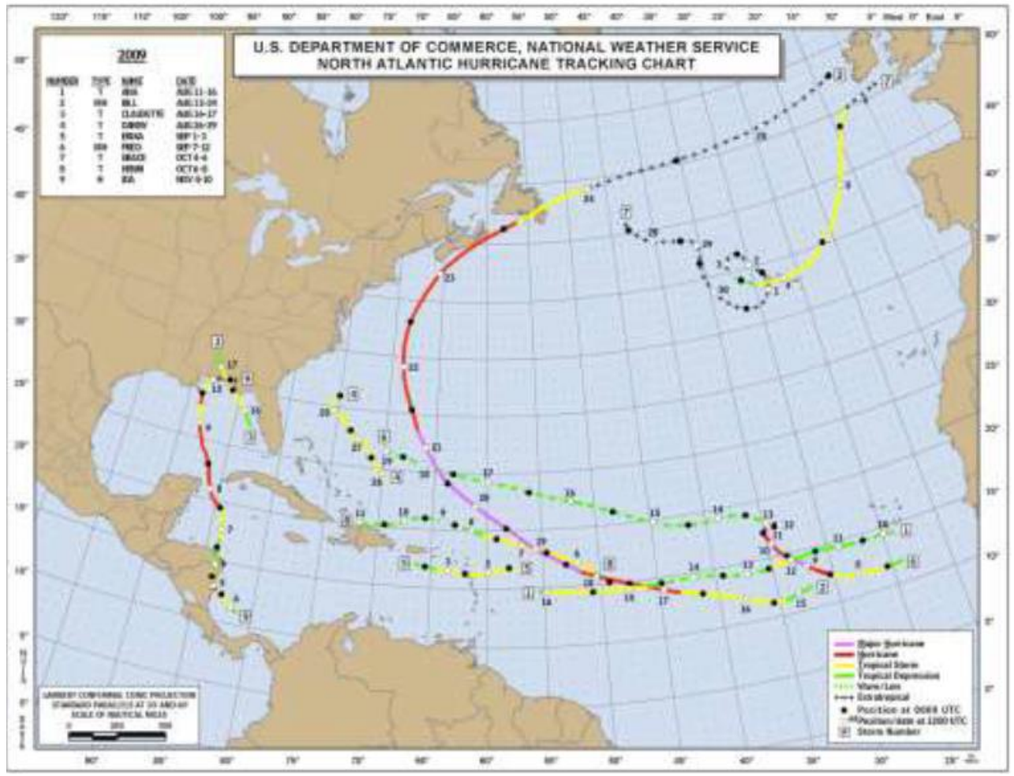


IMAGEN 13. TRAYECTORIA DE HURACANES 2009, NATIONAL URRICANE CENTER.

CICLONES 2010.

En el Atlántico, durante la temporada del año 2010, se generaron un total de 21 ciclones tropicales, de los cuales 19 tuvieron un nombre y de éstos, siete llegaron a la categoría de tormenta tropical y once alcanzaron intensidad de huracán, complementándose el total con dos depresiones tropicales. De los huracanes, el más intenso fue "Igor", de categoría IV en la escala Saffir-Simpson, con vientos máximos sostenidos de 240 km/h y rachas de 295 km/h.

De los ciclones que se generaron en la cuenca del Océano Atlántico durante la temporada del año 2010, seis tocaron tierra directamente en las costas de México, en primer lugar "Alex", ciclón que tocó territorio de México, el día 26 de junio, aproximadamente a las 21:30 horas local en el extremo Suroeste del estado de Quintana Roo, como tormenta tropical, a 90 km al Suroeste de Chetumal, Quintana Roo, con vientos máximos sostenidos de 95 km/h y rachas de 110 km/h.

"Karl" fue el cuarto ciclón que llegó a territorio de México, también impactó en dos ocasiones, primero como tormenta tropical, a 15 km al Sur-Suroeste de Puerto Bravo, Quintana Roo, con vientos máximos sostenidos de 100 km/h y rachas de 120 km/h el día 15 de septiembre, a las 7:45 horas local tiempo del Centro de México. Impactó en tierra firme por segunda vez, en la población de Playa Chachalacas, a 15 km al Norte de la ciudad de Veracruz, Veracruz, con vientos máximos sostenidos de 185 km/h y rachas de 230 km/h, a las 12:00 horas local, del día 15 de septiembre, como un huracán extremadamente peligroso, de categoría III.

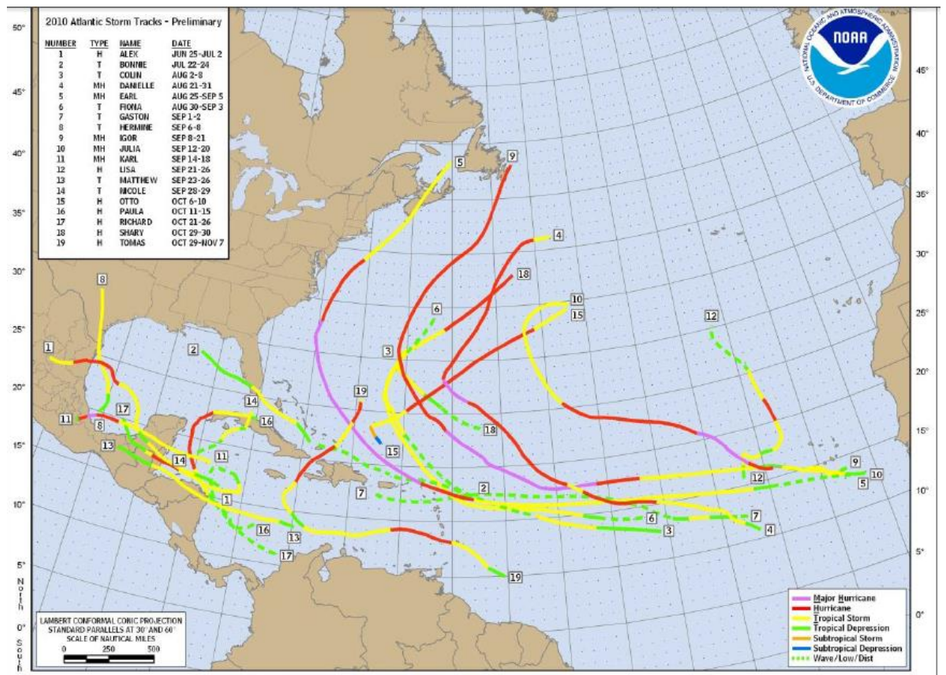


IMAGEN 14. TRAYECTORIA DE HURACANES 2010, NATIONAL URRICANE CENTER.

CICLONES 2011.

En el Atlántico se desarrollaron 5 huracanes, 3 tormentas tropicales y una depresión tropical. De los huracanes, el más intenso fue “Ophelia”, de categoría IV en la escala Saffir-Simpson, con vientos máximos sostenidos de 220 km/h y rachas de 275 km/h.
Cuatro ciclones impactaron directamente a México durante la temporada 2011, generados en el Golfo de México o el Mar Caribe.

A su vez, la tormenta tropical “Rina”, el cuarto meteoro que impactó en territorio mexicano, se aproximó a 30 km al Oeste de la isla de Cozumel, Quintana Roo, durante el día 27 de octubre, con vientos máximos de 95 km/h. Se reportó una lluvia máxima de 234.5 mm en Cozumel, Q Roo. No se reportaron decesos ni daños materiales significativos.

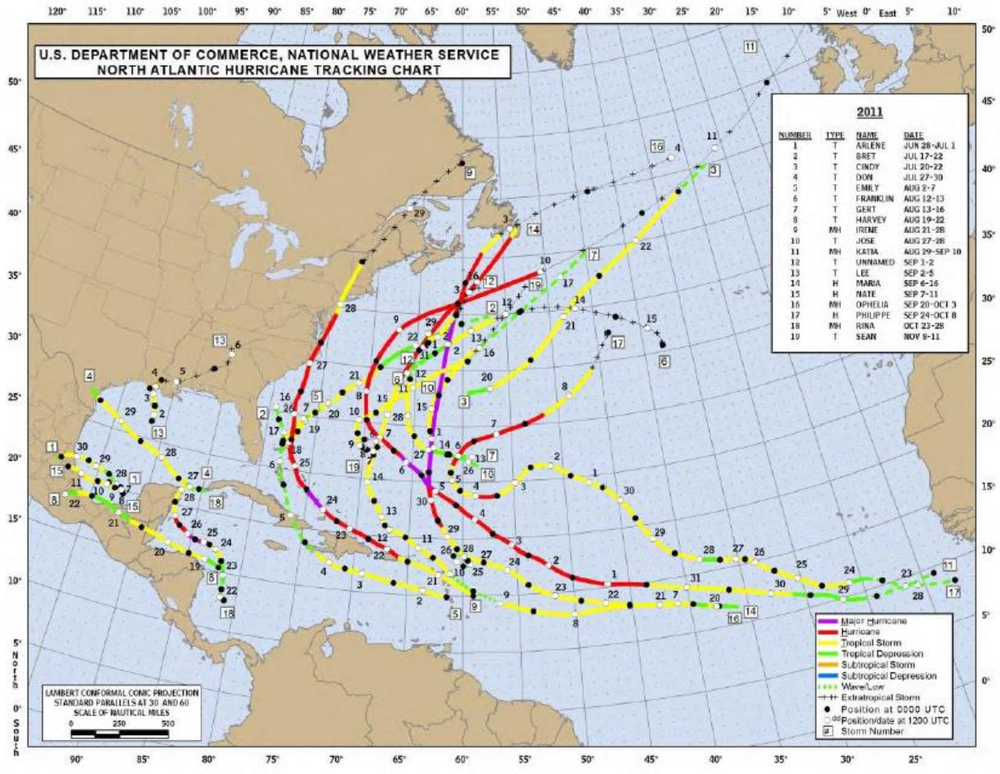


IMAGEN 15. TRAYECTORIA DE HURACANES 2011, NATIONAL URRICANE CENTER.

CICLONES 2012.

Huracán “Ernesto”

El día 1° de agosto por la tarde se formó la depresión tropical No. 5 de la temporada de ciclones 2012 en la cuenca del Océano Atlántico. Se inició a 1,300 km al Este de las Antillas Menores y a 4,200 km al Este de las costas de Quintana Roo, con vientos máximos sostenidos de 55 km/h y rachas de 75 km/h, misma fuerza con la que se mantuvo hasta la tarde del día 2, cuando se desarrolló a tormenta tropical con el nombre de “Ernesto”, alcanzando vientos máximos sostenidos de 85 km/h y rachas de 100 km/h a una distancia de 3,345 km al Este de la costa de Quintana Roo.

Mientras seguía su trayecto hacia el Oeste viajando en la periferia Sur de la amplia circulación anticiclónica de las Azores, la tormenta tropical “Ernesto” siguió fortaleciéndose y así, el día 7 de agosto a las 13:00 horas local, tiempo de México, después de haber atravesado a todo lo largo del Mar Caribe, se intensificó a huracán con vientos máximos sostenidos de 130 km/h y rachas de 160 km/h a 295 km al Este de Chetumal, Q.R.

Ya como huracán, “Ernesto” siguió aumentando su fuerza y a las 22:00 horas, tiempo del centro de México se encontraba sobre la línea de costa, en las inmediaciones de la población de Majahual, Quintana Roo y a 65 km al Este-Noreste de Chetumal, Quintana Roo con vientos máximos sostenidos de 140 km/h y rachas de 165 km/h.

Los huracanes son frecuentes en el Caribe y Sian Ka´an presenta un frente amplio a su trayectoria, 12 de ellos han entrado por sus costas en los últimos 88 años. Los últimos huracanes se registraron en 1974, 1987 y 1995. Las consecuencias destructivas de los huracanes para los asentamientos humanos y los cultivos de litoral han sido una de las causas por las que Sian Ka´an se encuentra despoblado.

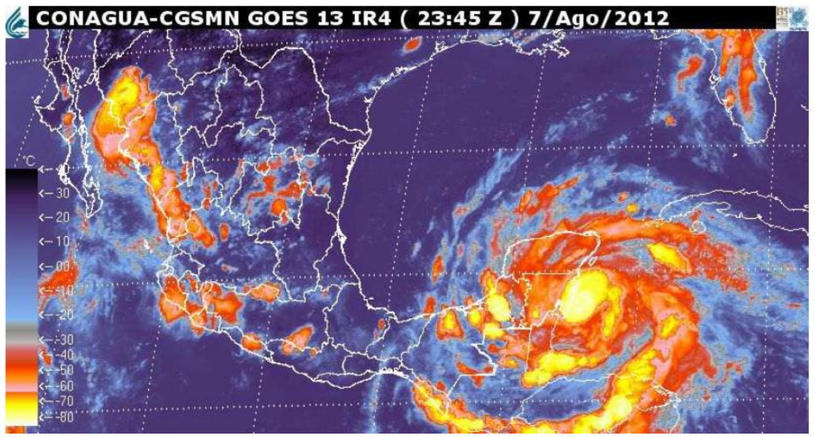


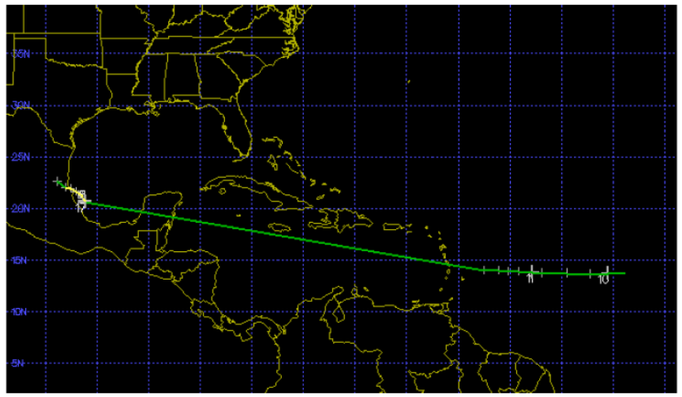
IMAGEN 16. IMAGEN DE SATÉLITE: FUENTE CONAGUA-CGSMN.

5.3.7. CICLONES TROPICALES.

RESEÑA DE LA TORMENTA TROPICAL “HELENE” DEL OCÉANO ATLÁNTICO

El día 9 de agosto por la tarde, a partir de una onda tropical asociada con un sistema de baja presión, se formó la depresión tropical No. 7 de la temporada de ciclones tropicales en el Océano Atlántico; se inició a 1,860 km al Este de las Antillas Menores y a 4,515 km al Este de las costas de Quintana Roo, con vientos máximos sostenidos de 55 km/h, rachas de 75 km/h y desplazamiento hacia el Oeste a 32 km/h.

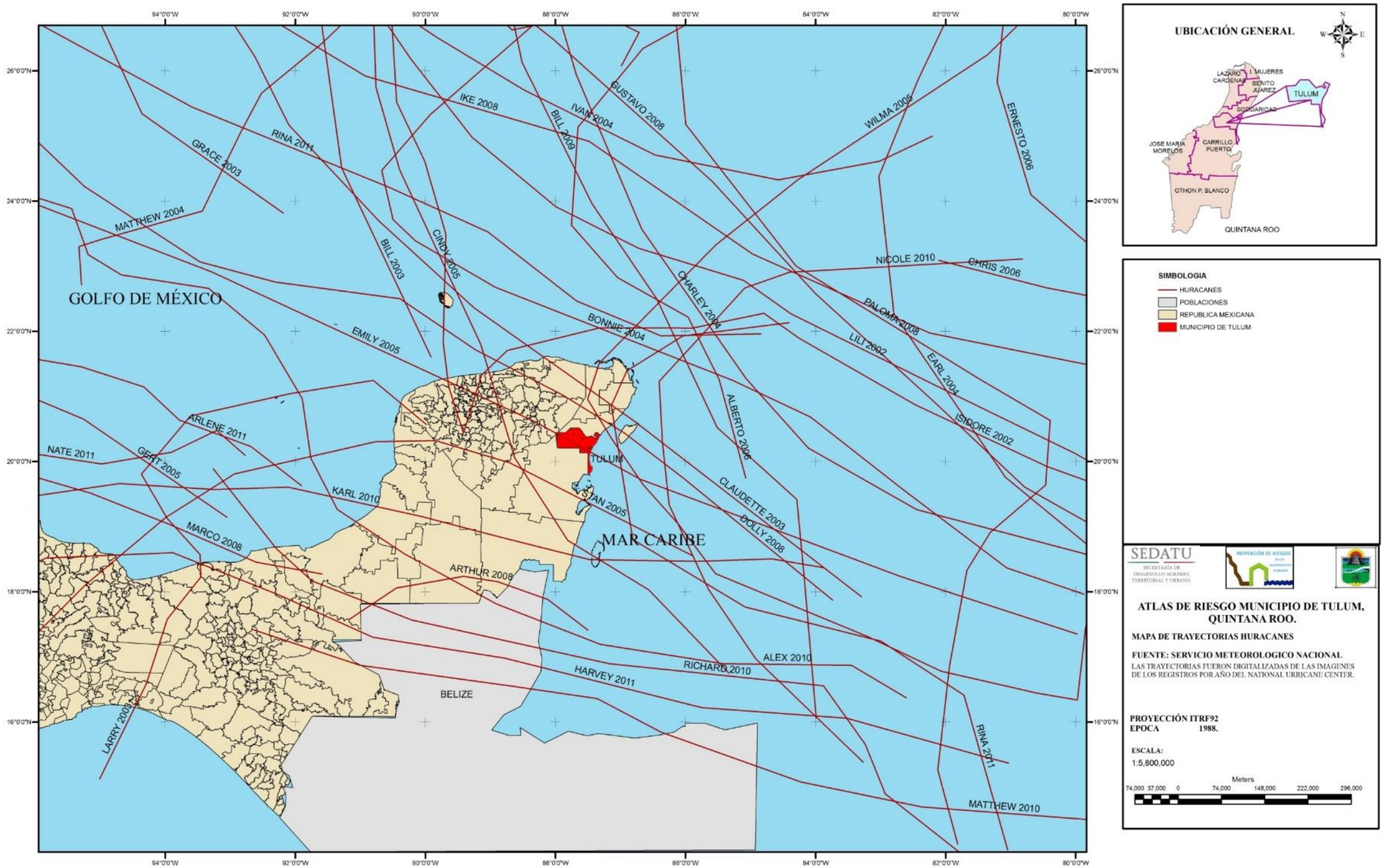
La DT-7 continuó su trayecto hacia el Oeste, sin embargo, al no encontrar condiciones favorables para su desarrolló, el día 11 de agosto por la mañana, cuando se encontraba a 65 km al Este de Barbados, en las Antillas Menores y a 3,085 km al Este de Cancún, Quintana Roo, se debilitó a una activa onda tropical que continuó su trayectoria hacia el Oeste, asociada con nublados de fuerte convección, características que mantuvo durante su trayecto a lo largo del Mar Caribe y la Península d Yucatán.



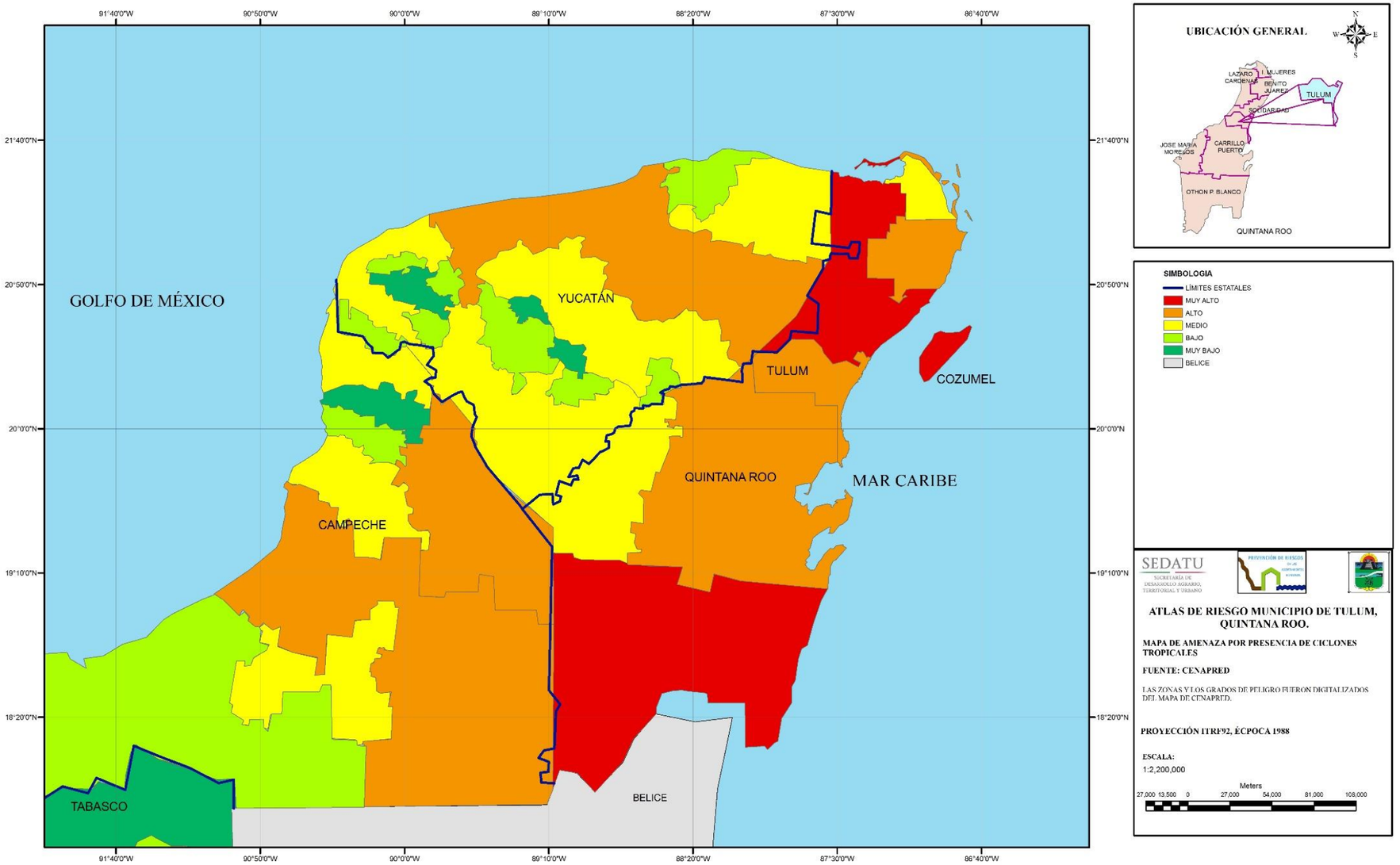
IMEGEN 17. Trayectoria final de la tormenta tropical “Helene” Fuente: Unisys.

Tabla 74. Clasificación de los ciclones tropicales de Saffir-Simpson.

Categoría	Presión central (mb)	Vientos (km/h)	Marea (m)	Características
Perturbación tropical	1008.1 a 1010			Ligera circulación de vientos
Depresión tropical	1004.1 a 1008	<62		Localmente destructivo
Tormenta tropical	985.1 a 1004	62.1 a 118	1.1	Tiene efectos destructivos
Huracán categoría 1	980.1 a 985	118.1 a 154	1.5	Altamente destructivo
Huracán categoría 2	965.1 a 980	154.1 a 178	2.0 a 2.5	Altamente destructivo
Huracán categoría 3	945.1 a 965	178.1 a 210	2.5 a 4.0	Extremadamente destructivo
Huracán categoría 4	920.1 a 945	210.1 a 250	4.0 a 5.5	Extremadamente destructivo
Huracán categoría 5	< 920	> 250	> 5.5	El más destructivo



Mapa 32. Trayectoria de huracanes que afectaron al Estado de Quintana Roo, Fuente: SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL.



Mapa 33. Amenaza por presencia de ciclones, fuente: CENAPRED

Tabla 75. Amenaza por presencia de Huracanes.

NIVEL 1	EVIDENCIAS
Amenaza.	Los mapas anteriores corresponden a las trayectorias históricas de los huracanes en la península de Yucatán obtenidas del Servicio Meteorológico Nacional, así mismo el mapa de amenaza por presencia de huracanes, por la cercanía a la costa el nivel de amenaza por presencia de huracanes es alto, debido a la geomorfología del municipio, las trayectorias de los huracanes no se modifican considerablemente una vez que llega a tierra, los ecosistemas más expuestos son las zonas de arrecifes ya que son la primer barrera que se encuentra un huracán en su trayectoria al municipio. La población con un grado de alto a muy alto de amenaza por este fenómeno es Punta Allen debido a su lejanía con partes céntricas del municipio, a la poca elevación del suelo, así como a las constantes afectaciones que tiene el camino que une a dicho poblado con Tulum, por lo que deberá ser uno de los principales objetivos al presentarse algún fenómeno en función de su geomorfología y número de turistas presentes.

5.3.8. TORNADOS

Un tornado es la perturbación atmosférica más violenta en forma de vórtice, el cual aparece en la base de una nube de tipo cumuliforme, resultado de una gran inestabilidad, provocada por un fuerte descenso de la presión en el centro del fenómeno y fuertes vientos que circulan en forma ciclónica alrededor de éste. De acuerdo con el Servicio Meteorológico de los EUA (NWS, 1992), los tornados se forman cuando chocan masas de aire con diferentes características físicas de densidad, temperatura, humedad y velocidad.

Cuando se observa un tornado se puede distinguir una nube de color blanco o gris claro, mientras que el vórtice se encuentra suspendido de ésta; cuando el vórtice hace contacto con la tierra se presenta una nube de un color gris oscuro o negro debido al polvo y escombros que son succionados del suelo por la violencia del remolino.

Estos vórtices llamados también chimeneas o mangas, generalmente rotan en sentido contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio norte y al contrario en el hemisferio sur. En algunas ocasiones se presentan como un cilindro, con dimensiones que pueden ser desde decenas de metros hasta un kilómetro; el diámetro puede variar ligeramente entre la base de la nube y la superficie del suelo.

Algunos tornados están constituidos por un solo vórtice, mientras que otros forman un sistema de varios de ellos que se mueven en órbita alrededor del centro de la circulación más grande del tornado. Estos vórtices se pueden formar y desaparecer en segundos.

En la tabla, se presentan las diferencias que existen entre un tornado, un huracán y un remolino, con el fin de dejar claro que son fenómenos distintos. Dentro de un huracán se pueden registrar tornados, pero no viceversa, con lo cual se marca la primera gran diferencia; un huracán tiene una mayor escala de desarrollo y un tornado es de carácter local (la rapidez con la que ocurre lo hace más peligroso). Es importante señalar que el remolino no se deriva de una tormenta severa.

Los tornados pueden ser locales, pero la rapidez con que se desarrollan los hace muy peligrosos para la gente. Los daños que ocasionan son diversos, entre los que destacan: pérdidas económicas a la agricultura, a las viviendas, a la infraestructura urbana, lesiones, cortaduras e incluso, pérdidas humanas.

Existen varias escalas para medir la intensidad de un tornado, pero la aceptada universalmente es la Escala de Fujita (también llamada Fujita-Pearson Tornado Intensity Scale), elaborada por Tetsuya Fujita y Allan Pearson de la Universidad de Chicago en 1971. Esta escala se basa en la destrucción ocasionada a las estructuras realizadas por el hombre y no al tamaño, diámetro o velocidad del tornado. Por lo tanto, no se puede calcular su intensidad a partir de la observación directa; se deben evaluar los daños causados por el meteoro. Hay seis grados (del 0 al 5) y se antepone una F en honor del autor. A diferencia de los Estados Unidos de América, en México no existe sistema alguno que permita alertar la presencia de este fenómeno hidrometeorológico; sin embargo, ya comienza a haber instrumentación capaz de detectar superceldas y, tal vez, tornados, como es el caso del radar Doppler "Mozotal", recientemente instalado en el estado de Chiapas, operado por el Servicio Meteorológico Nacional, y cuya imagen puede ser consultada en la página de internet de esta institución (fuente: http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/index.php/riesgos-hidrometeorologicos/tornados)

Tabla 76. Evidencias de presencia de tornados.

MÉTODO NIVEL 1	EVIDENCIAS
NO EXISTEN REGISTROS DE TORNADOS EN EL MUNICIPIO	SIN EVIDENCIAS.

5.3.9. TORMENTAS ELÉCTRICAS

Una tormenta eléctrica es un fenómeno meteorológico caracterizado por la presencia de rayos y sus efectos sonoros en la atmósfera terrestre denominados truenos.[] El tipo de nubes meteorológicas que caracterizan a las tormentas eléctricas son las denominadas cumulonimbus. Las tormentas eléctricas por lo general están acompañadas por vientos fuertes, lluvia copiosa y a veces nieve, granizo, o sin ninguna precipitación. Aquellas que producen granizo son denominadas granizadas. Las tormentas eléctricas fuertes o severas pueden rotar, en lo que se denomina superceldas. Mientras que la mayoría de las tormentas eléctricas se desplazan con la velocidad de desplazamiento promedio del viento en la capa de la tropósfera que ocupan, cortes de viento verticales pueden causar una desviación en su curso de desplazamiento en dirección perpendicular a la dirección de corte del viento.

Para la formación de este tipo de tormentas es necesaria la humedad del aire caliente que se eleva en una atmósfera inestable. La atmósfera se vuelve inestable cuando las condiciones son tales que una burbuja de la subida del aire caliente puede seguir aumentando aún más que el aire del ambiente. El aumento de aire caliente es un mecanismo que intenta restaurar la estabilidad, incluso cuando el aire frío tiende a disminuir y finalmente desaparecen. Si el aire ascendente es lo suficientemente fuerte, el aire se enfría (adiabática) a temperaturas por debajo del punto de rocío y se condensa, liberando el calor latente, que promueve el aumento de aire y "alimenta" a la tormenta. Aislados Cúmulus se forman con gran desarrollo vertical (hasta 10 ó 18 mil pies), alimentado por las corrientes de aire ascendente.

Las tormentas pueden formarse dentro de las masas de aire de la convección del aire elevada, común en las tardes de verano, cuando se calienta la superficie. El efecto orográfico (a barlovento en las grandes montañas) puede estar asociados a los frentes, siendo más intensa en el caso de los frentes fríos.

Las tormentas más fuertes se generan cuando el aire cálido y húmedo se eleva rápidamente, con velocidades que pueden alcanzar 160 kilómetros por hora, hasta altitudes más altas y más frías. En cada momento hay en el orden de 2.000 tormentas eléctricas que tienen lugar en la superficie de la Tierra. Los rayos se producen cuando las partículas de hielo o la nieve empiezan a caer de una nube a gran altura hacia la superficie y corresponden a la liberación de energía debido a la diferencia de carga entre las partículas.

En la vida de una tormenta ordinaria (formado por convección de una masa de aire) por lo general presentan tres fases (cada una dura normalmente de 15 a 30 minutos):

Etapas de una tormenta.

Nacimiento

Las corrientes de aire ascendente causan la formación de cumulonimbos. Si la carga por primera vez es de agua, y no se producen ningún rayo, no será una tormenta eléctrica. En la parte superior de la nube, el proceso de crecimiento de cristales de hielo comienza a producir las partículas.

Madurez

El crecimiento vertical alcanza su máximo y las nubes se acoplan con la forma característica de un yunque. Por lo general esto sucede cuando la inversión de aumento de la temperatura del aire es más estable (tropopausa).

Los vientos dominantes en la alta altitud de las nubes cirrus comienzan a extenderse desde la parte superior de las nubes. Las bases son la parte frontal inferior y los relámpagos comienzan a aparecer en toda la extensión de las nubes. Dentro de las nubes, la turbulencia es intensa e irregular, con un equilibrio entre las corrientes ascendentes y descendentes. El peso de las partículas de la precipitación es suficiente para contrarrestar la corriente ascendente y comienzan a caer, arrastrando el aire que te rodea. Como las consecuencias partículas caen en las partes más calientes de la nube, no hay aire seco que entra al medio ambiente en la nube y puede dar lugar a la evaporación de estas partículas. La evaporación enfría el aire, por lo que es más densa o "pesado". Todo este aire frío que cae a través de la nube y precipitación que se forma la corriente de aire hacia abajo, cuando llegue a la superficie se puede propagar a formar un frente desplazando y reemplazando el aire caliente de la superficie. En esta etapa de la tormenta produce fuertes vientos, relámpagos y lluvias torrenciales.

Disipación

Las nubes comienzan a extenderse hacia los lados, en capas o bordes. Y los vientos descendientes de las corrientes frías son predominante. El aire frío reemplaza el aire más caliente de la superficie, frente a los movimientos al alza en la tormenta. En esta etapa, sólo hay corrientes descendentes y precipitaciones débiles. Eso deja sólo muchas nubes cirrus que incluso pueden contribuir, con su sombra, a frenar el calentamiento de la superficie.

Tabla 77. Registros de días con tormentas eléctricas, SMN.

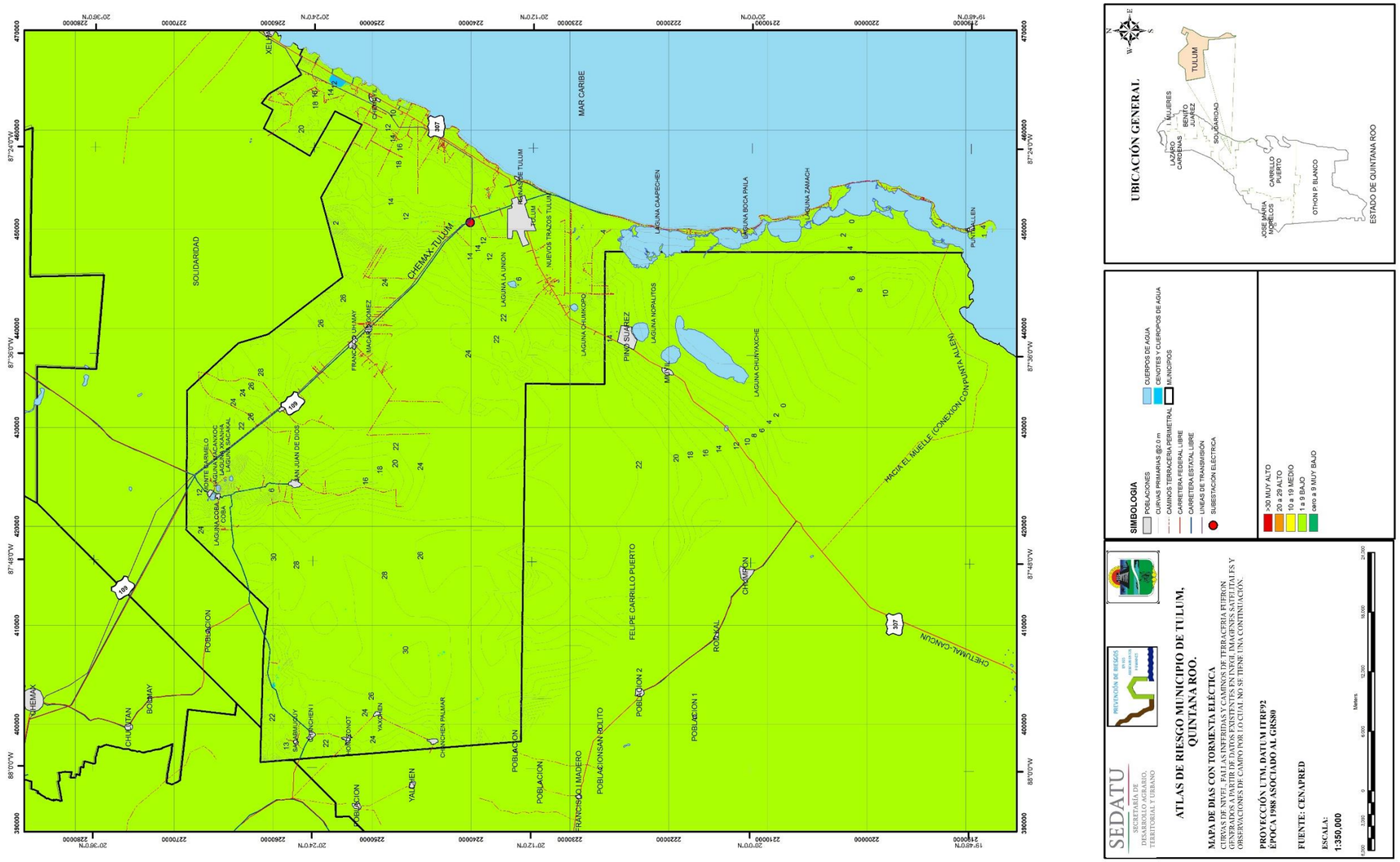
REGISTROS DE TORMENTAS ELECTRICAS			
ESTACIÓN	UBICACIÓN	PERIODO	

23163	PLAYA DEL CARMEN	1951-2010	SIN REGISTROS
23012	COBA	1951-2010	0.4
23025	TULUM	1951-2010	0.5
23003	F. CARRILLO PUERTO	1951-2010	1.2
23162	LAGUNA CANA	1951-2010	SIN REGISTROS
23027	VICTORIA	1951-2010	SIN REGISTROS
23007	TAMPAK	1951-2010	SIN REGISTROS
23157	IDEAL	1951-2010	SIN REGISTROS
31036	VALLADOLID	1951-2010	SIN REGISTROS

TABLA 78. EVIDENCIAS DE TORMENTAS ELECTRICAS.

MÉTODO NIVEL 1	EVIDENCIAS
DE LAS 9 ESTACIONES METEOROLÓGICAS 3 DE ELLAS REGISTRAN LA PRESENCIA DE TORMENTAS ELÉCTRICAS, SIENDO LA DE FELIPE CARRILLO EN DONDE ES MÁS FRECUENTE, EN LAS ESTACIONES DE COBA Y TULUM SE TIENEN VALORES MUY BAJOS (0.4 Y 0.5) PARA REGISTROS DE 24 AÑOS Y 36 RESPECTIVAMENTE, DEBIDO A QUE NO EXISTE UNA CANTIDAD CONSIDERABLE DE DATOS, ASÍ COMO ESTACIONES CON REGISTROS, NO SE PUEDE REALIZAR UNA INTERPOLACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE ISOLÍNEAS DE MANERA OBJETIVA.	SIN EVIDENCIAS.

Debido a que la información de las estaciones es insuficiente para obtener una interpolación adecuada a nivel municipal, se obtuvo del CENAPRED la asignación de valores por municipio respecto al número de días con tormenta eléctrica.



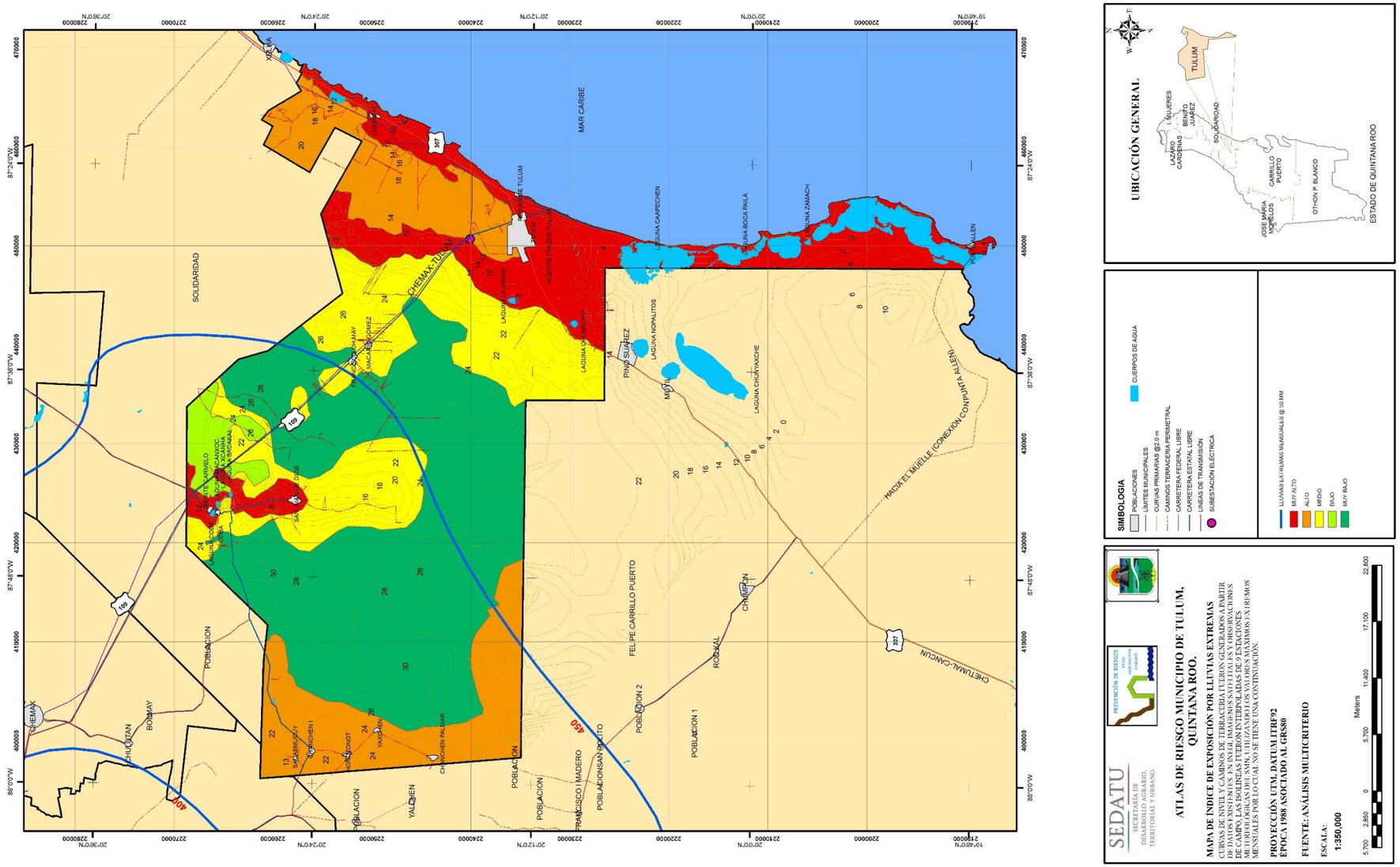
Mapa 34. Peligro por días con presencia de tormentas eléctricas, fuente CENAPRED.

5.3.10. LLUVIAS EXTREMAS.

Para la elaboración del mapa correspondiente a las lluvias extremas en el Municipio de Tulum, se consideraron 9 estaciones climatológicas más próximas al municipio, de estas se tomaron los valores promedio mensuales de las precipitaciones máximas del período comprendido de 1951 al 2010, de donde se realizó la interpolación para generar Isolíneas que describen el comportamiento de las precipitaciones en mm de acuerdo al siguiente mapa:

Tabla 79. Evidencias de lluvias extremas.

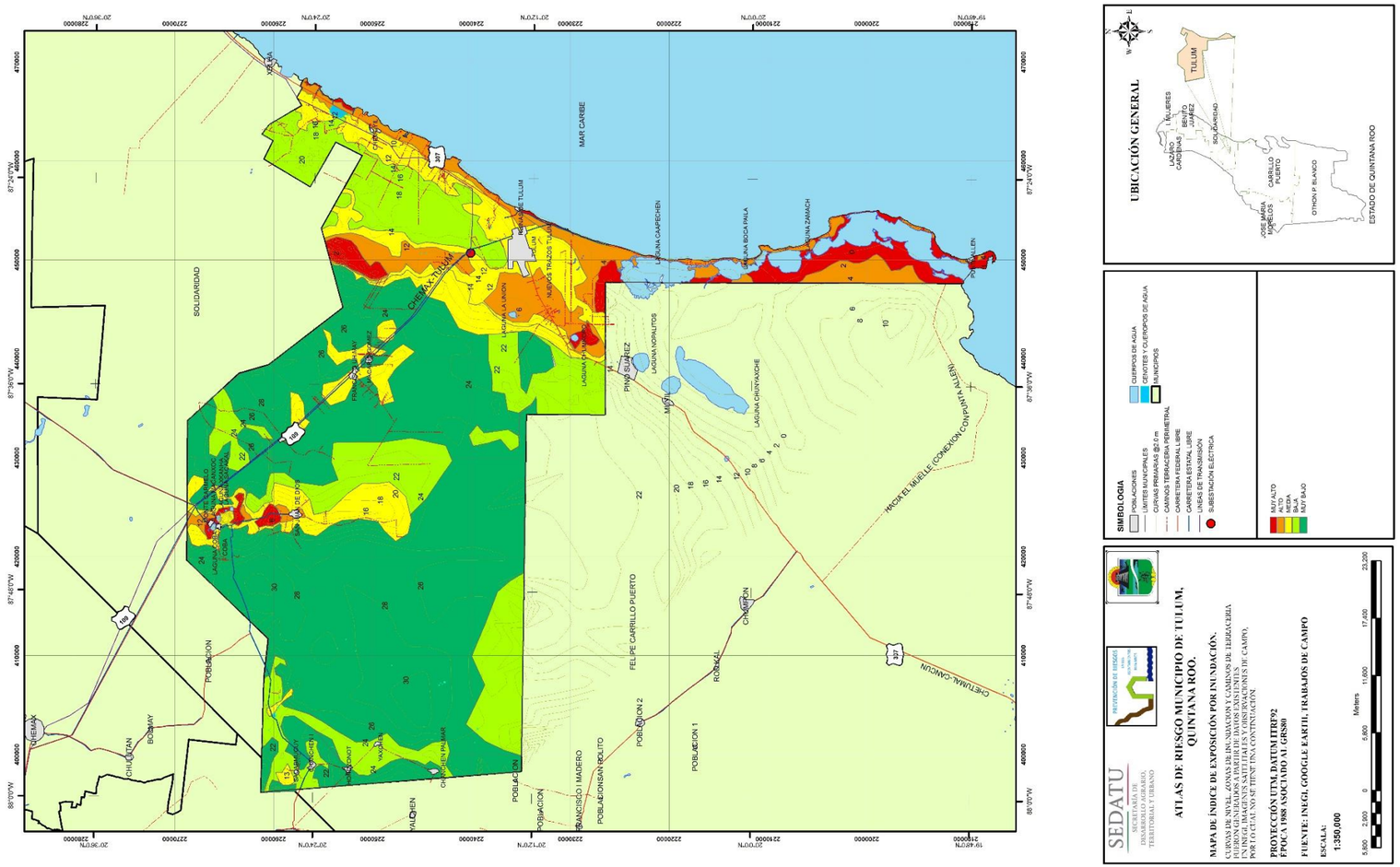
NIVEL 1	EVIDENCIAS
Vulnerabilidad	No se detectan afectaciones en el municipio por lluvias extremas, más sin embargo las depresiones y cubetas naturales pueden llegar a inundarse debido a una lluvia de larga duración las cuales eminentemente culminarían como inundaciones que es la manera en que este fenómeno puede reflejarse.



Mapa 35. Índice de exposición por lluvias extremas, fuente: análisis multicriterio.

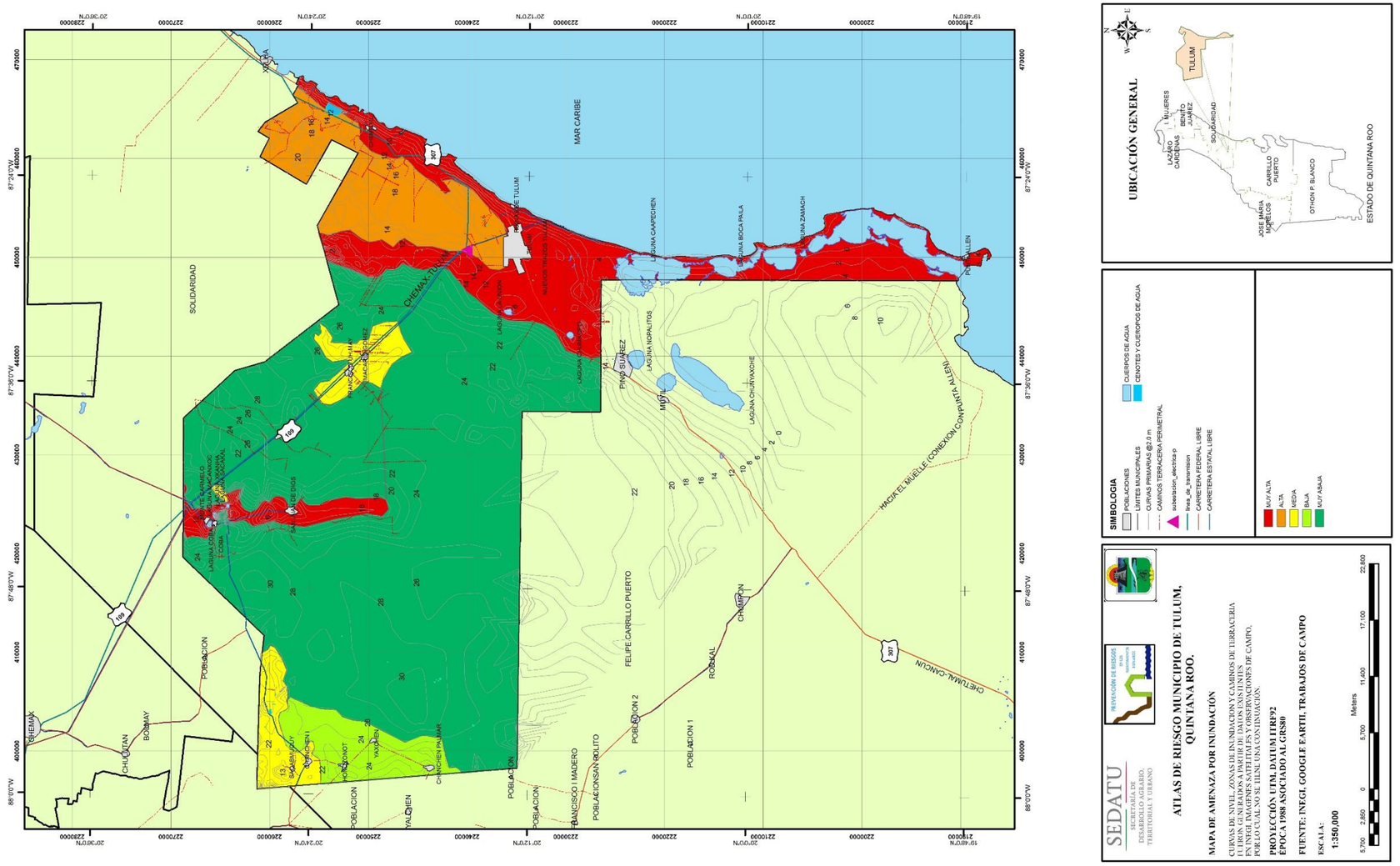
5.3.11. INUNDACIONES.

La determinación de las zonas de inundación se basó en las observaciones de campo, así como el registro de zonas inundadas por medio de la ayuda de imágenes satelitales, de donde se obtuvieron zonas susceptibles a inundaciones pluviales tal es el caso de Cobá Y Monte Carmelo, así como tramos de la carretera Chemax-Tulum y la carretera de terracería que va de Tulum hacia Punta Allen.



Mapa 36. Índice de exposición por inundación, fuente: Análisis multicriterio y recorridos de campo.

AMENAZA POR INUNDACIÓN.



Mapa 37. Amenaza por inundación, fuente: Análisis multicriterio y recorridos de campo.

La zona correspondiente a Francisco Hu May y Macario Gómez son consideradas para la vulnerabilidad por la existencia de una cota baja que conforma una cubeta natural, la cual tiene la posibilidad de desaguar hacia Tulum pero que dado el caso de lluvias extremas existe la posibilidad de que esta zona se inunde por la planicie que existe en ésta.

Tabla 80. Evidencias de inundación.

NIVEL 1	EVIDENCIAS
Vulnerabilidad	De acuerdo a las curvas de nivel mostradas en los mapas, así como el comportamiento del MDT, fisiografía, geomorfología, presencia de cenotes, cavidades en el subsuelo y depresiones, se presentan zonas de muy alta vulnerabilidad por hundimientos, de donde se observan imágenes satelitales inundaciones en la carretera Tulum-glorieta de Cobá, vegetación baja por inundaciones en COBA, las zonas con riesgo muy alto corresponden a Punta Allen, Cobá Y San Juan De Dios, las zonas con riesgo alto corresponde a la costa, la cabecera municipal presenta un riesgo medio. La vulnerabilidad por inundaciones se extiende a muy alta en toda la línea de costa incluyendo a la cabecera municipal (zona urbana), Coba y San juan de Dios, este grado de vulnerabilidad puede ser provocado por ciclones o frentes fríos que provoquen lluvias durante un tiempo prolongado de donde el agua de la zona norte tienda a salir por la depresión litoral hasta llegar a la zona urbana.

ÍNDICE DE EXPOSICIÓN POR INUNDACIONES

NIVEL	ÁREA KM^2	PORCENTAJE
MUY BAJO	1045.77	51.24%
BAJO	428.59	21.00%
MEDIO	278.31	13.64%
ALTO	159.85	7.83%
MUY ALTO	128.42	6.29%

Tabla 81. Áreas y porcentajes de zonas de riesgo por inundación, comparada contra el área total del municipio.

AMENAZA POR INUNDACIÓN.

NIVEL	ÁREA	PORCENTAJE
MUY ALTO	391.87	19.20%
ALTO	180.98	8.86%
MEDIO	98.52	4.82%
BAJO	86.04	4.21%
MUY BAJO	1283.53	62.91%

Tabla 82. Áreas y porcentajes de áreas de vulnerabilidades.

5.3.12. VIENTOS.

Debido a que la vulnerabilidad de una zona ante los efectos del viento se da en función de la velocidad, cuando esta es inferior a 2 m/s (7.2 km/h) el confort del ser humano es el adecuado, pero al aumentar la velocidad, se presentan condiciones de incomodidad.
Por lo que se presenta a continuación la dirección de los vientos dominantes y las calmas presentes en la estación Carrillo Puerto.

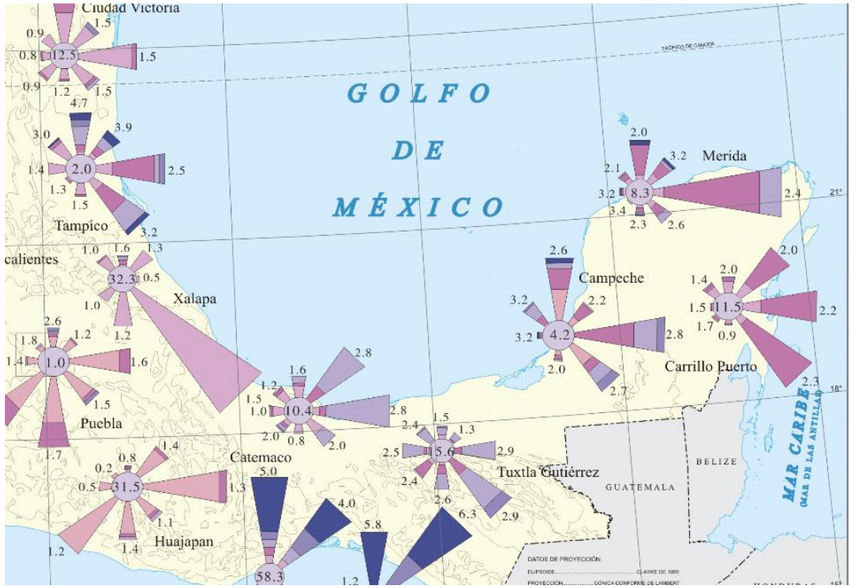


IMAGEN 18. Vientos normales, fuente: Instituto de Geografía de la UNAM.

De acuerdo al mapa anterior, las calmas registradas por la estación Carrillo Puerto (siendo esta la más próxima al Municipio) es alta, además de que la velocidad del viento dominante es de 2 m/s, esto en condiciones normales.

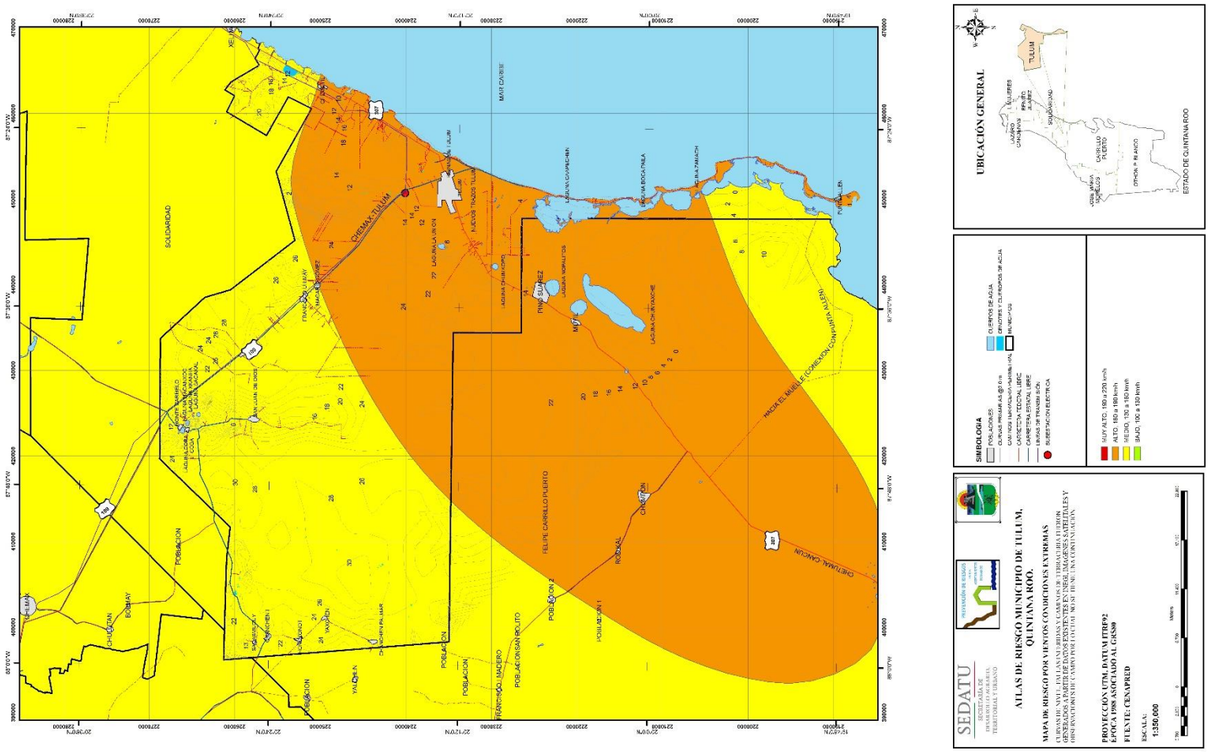
En función de la escala de Beaufort, se presentan las siguientes condiciones en el Municipio:

- Escala 0: Mar como espejo.
- Escala 1: Rizos como escama de pescado pero sin espuma.
- Escala 2: pequeñas olas, crestas de apariencia vítrea sin romperse.

Tabla 83. Evidencias por la presencia de vientos.

MÉTODO NIVEL 1	EVIDENCIAS
PARA IDENTIFICAR LA MANERA Y EFECTOS DEL VIENTO EN EL MUNICIPIO, SE DETERMINARON LOS PATRONES DOMINANTES DE LOS VIENTOS, TOMANDOSE EN CUENTA LOS BOLETINES DEL TIEMPO ATMOSFÉRICO, INTENSIDADES DE LOS HURACANES CUYA TRAYECTORIA INCIDIO SOBRE EL MINUCIPIO, ZONIFICACION EOLICA DE CFE, ASI COMO EL MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES DE CFE.	DEBIDO A LA BAJA INTENSIDAD DE LOS VIENTOS NORMALES, NO SE OBSERVAN EFECTOS QUE DAÑEN LA VEGETACIÓN, CULTIVOS O EDIFICIOS. LOS DAÑOS EN GENERAL TANTO A LA POBLACIÓN COMO AL MUNICIPIO SE DA PRINCIPALMENTE POR LOS VIENTOS GENERADOS POR LOS HURACANES LOS CUALES DETERMINAN EL GRADO DE PELIGRO DEBIDO A ESTE FENÓMENO HIDROMETEREOLÓGICO.

Debido a que las condiciones generadas por los vientos normales de acuerdo a la información histórica no representan riesgo para el Municipio, se tomaron en consideración los vientos generados por los diferentes huracanes o tormentas cuyos registros históricos han afectado a la zona de estudio, por lo que se presenta a continuación el mapa de peligros por viento (valores promedio) obtenido de la ZONIFICACIÓN EÓLICA DE CFE.



Mapa 38. Mapa de vientos con condiciones extremas (promedio).

.

Las afectaciones de las intensidades mostradas en el mapa según la escala de Beaufort corresponde a velocidades de viento de 36 y 44 m/s para la intensidad Media, 44 a 52 m/s para la intensidad ALTA, ambas representan la escala 12 de Beaufort con las siguientes características: Aire lleno de espuma, salpicaduras, mar cubierto de espuma y visibilidad muy reducida.
Estos vientos causan destrozos a cultivos, dañan las viviendas construidas con materiales endebles en techos y paredes, redes de comunicación, vegetación, anuncios, espectaculares.
Todo el municipio es afectado por estos vientos generados por huracanes o tormentas, pero se tiene una mayor afectación de acuerdo al mapa en la zona de la costa incluyendo la zona urbana de Tulum.

Sin embargo, el municipio fue afectado por el huracán EMILY en el 2005 el cual entro a la zona de estudio con categoría IV con vientos máximos sostenidos de 215 km/hr, cuya categoría de acuerdo a la escala de SAFFIR-SIMPSON, presenta una marea de 4.0 a 5.50 m siendo en general extremadamente destructivo.

En conclusión, de acuerdo al mapa de peligros por vientos de las zonificaciones de CFE, así como los antecedentes históricos del paso de huracanes y sus respectivos vientos máximos sostenidos se puede definir al municipio de TULUM como de MUY ALTO RIESGO ante la presencia de vientos máximos generados por los huracanes.

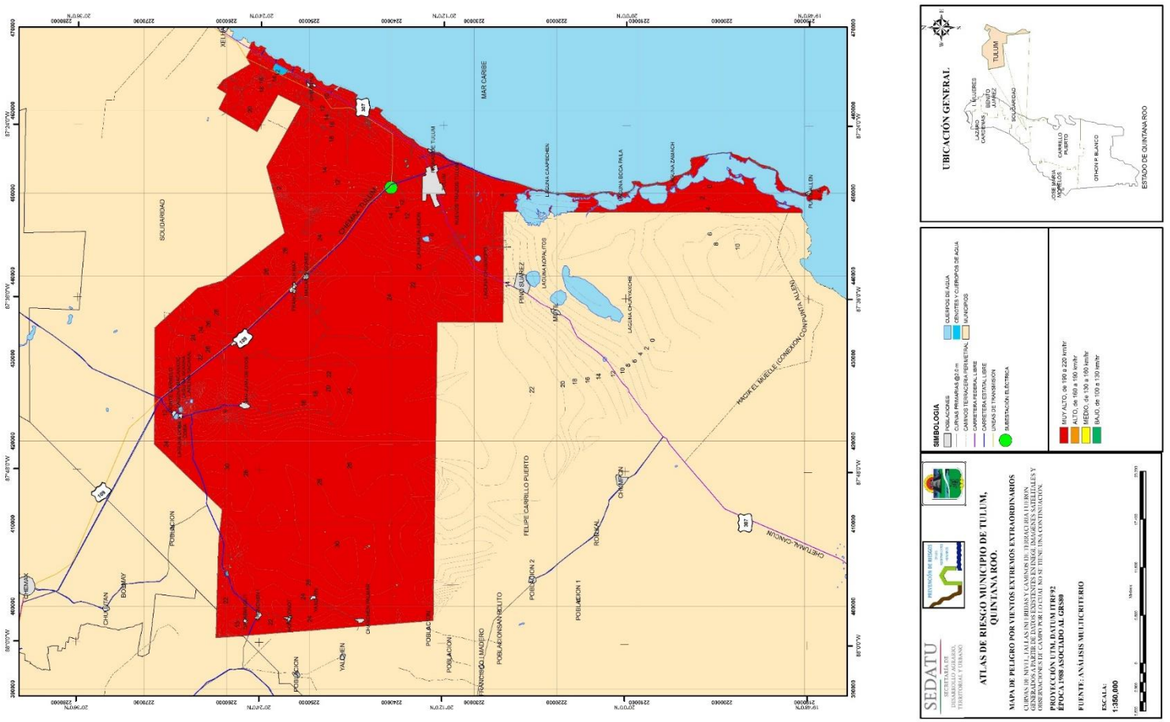
Según lo establecido en el MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES de CFE (diseño por viento), en los mapas de Isotacas el municipio en los diferentes periodos de retorno muestra los siguientes valores.

ISOTACAS PARA PERIODOS DE RETORNO DE 200 AÑOS: las velocidades de viento máximas son de 196 a 284 km/hr.

ISOTACAS PARA PERIODOS DE RETORNO DE 50 AÑOS: las velocidades de viento máximas son de 162 a 232 km/hr.

ISOTACAS PARA PERIODOS DE RETORNO DE 10 AÑOS: las velocidades de viento máximas son de 135 a 171 km/hr

Por lo que de acuerdo a lo anterior, el mapa de vientos en condiciones extremas sería el siguiente:



Mapa 39. Vientos extremos extraordinarios, fuente: análisis multicriterio.

CAPÍTULO 6. IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS, PELIGROS, VULNERABILIDAD Y RIESGOS ANTE FENÓMENOS PERTURBADORES DE ORIGEN NATURAL

A lo largo de la historia de la humanidad se han producido desastres y catástrofes naturales que han transformado los hábitos de vida de la población, pero durante las últimas décadas los eventos catastróficos han originado daños que han aumentado no sólo su impacto social, sino también económico, lo cual, se asocia al vertiginoso crecimiento de la población y su consecuente ocupación de espacios geográficos sumamente peligrosos.

En lo que se refiere a los riesgos de origen geológico, en nuestro país pareciera que no se han incrementado en el número de sucesos anuales, aunque esta apreciación corresponde a una falsa realidad, ya que aún en el país no existe un registro adecuado de las condiciones geológicas existentes que pudiesen generar eminentes o potenciales eventos catastróficos que pongan en peligro o en emergencia a la población. Por lo que, este gran esfuerzo por generar un documento como el presente Atlas, da la oportunidad a las diferentes niveles de gobierno y en este caso al del Municipio de Tulum, de conocer de manera científica y técnica, las diferentes zonas existentes en su territorio que por sus condiciones naturales o inducidas estén o puedan presentar procesos de riesgo que desencadene hacia la generación de eventos catastróficos los cuales han experimentado un crecimiento exponencial obligando a los gobiernos a realizar inversiones económicas cada vez más considerables, y, así estos gobiernos mediante el presente documento puedan establecer las estrategias de prevención, mitigación y contingencia que permitan la disminución de los graves impactos que estos eventos puedan generar en su territorio.

Es importante hacer mención que a pesar de los avances científicos y tecnológicos estamos muy lejos de “controlar” los eventos de riesgo de tipo geológicos, pero lo que si podemos hacer, es realizar análisis metodológicamente adecuados que permitan conocer las causas que generan a estos procesos con el propósito de establecer sus grados de vulnerabilidad, peligrosidad, así como de sus exposición.

Estudios realizados en el mundo han evidenciado que las pérdidas económicas y humanas generadas por los diversos desastres y catástrofes naturales se han multiplicado hasta en 400% en poco menos de una década sin que a la fecha se haya podido disminuir esta tendencia, a pesar de haberse avanzado significativamente en la adopción de medidas preventivas, tales como los sistemas de alerta temprana, los sistemas de alarma sísmica, sin dejar de mencionar los esfuerzos por establecer programas en temas educativos para concientizar a la población y así poder establecer medidas preventivas y políticas de ordenamiento territorial con planificación que considere estas calamidades.

Los riesgos por nuevos desastres son una preocupación debido a que cada vez es más alto el riesgo debido a la vulnerabilidad motivada por la evolución de las condiciones demográficas, tecnológicas y socioeconómicas, la urbanización sin planeación con desarrollos en zonas de altos riesgo, el subdesarrollo, la degradación del medio ambiente en conjunto con las variaciones del clima sumando la condición de cambio climático, así como el aumento en los eventos de origen geológicos, presagian un futuro de amenazas a la economía, la población y su desarrollo sustentable.

Los riesgos naturales se deben entender como un fenómeno natural con rango extraordinario que puede afectar de manera probable un territorio y la población que se asienta en el mismo. En caso de que en un territorio la presencia del hombre sea mínima o que no exista, es posible definir que existe peligrosidad.

El término desastre se refiere a los daños y víctimas causados por un proceso natural en un momento y lugar determinado, mientras que la catástrofe se deberá entender como aquel evento que precisa de ayuda externa para ser superado de parte de la población afectada. Para lo cual, se han establecido los análisis de riesgos, siendo un conjunto de metodologías cuyo objetivo es la identificación, análisis y representación cartográfica de los factores de riesgo natural y tecnológico, con la finalidad de conocer su incidencia sobre el territorio y la población que lo ocupa, por lo que, será necesario que estos análisis muestren de manera clara y objetiva la peligrosidad, exposición y vulnerabilidad.

Por lo que, se deberá entender que la peligrosidad es la probabilidad de que un evento destructivo se produzca en un terreno independientemente del lugar en el que este ocurra y de los daños causados. Mientras que la exposición, se refiere a los bienes expuestos que puedan ser dañados y la vulnerabilidad es el "grado de eficacia de un grupo social determinado para adecuar su organización frente a aquellos cambios en el medio natural que incorporan riesgo" (Calvo García, 1977). Es decir, mientras menos desarrollada sea la sociedad, mayor daño puede padecer.

En ese sentido y de acuerdo a los objetivos planteados en las Bases para la estandarización en la elaboración de Atlas de Riesgo por la SEDATU, siendo;

1. Contar con un documento que represente y zonifique cada uno de los fenómenos naturales perturbadores de manera clara y precisa.
2. Desarrollar y fundamentar una base de datos homologa para cada uno de los fenómenos naturales perturbadores en el municipio de Tulum.
3. Sentar las bases para definir un esquema territorial de ordenamiento, prevención, planeación y gestión del riesgo.

Por lo que, para poder dar cumplimiento a los objetivos esperados, se estableció un esquema de trabajo bajo un sistema abierto de análisis basado principalmente en la concepción de que todo fenómeno natural se rige bajo un estado de equilibrio dinámico que busca fundamentalmente mitigar los efectos de las diversas alteraciones que sufran los geosistemas que interactúan y se interrelacionan bajo un espacio regido por una acción temporal buscando un orden que motive su desarrollo natural.

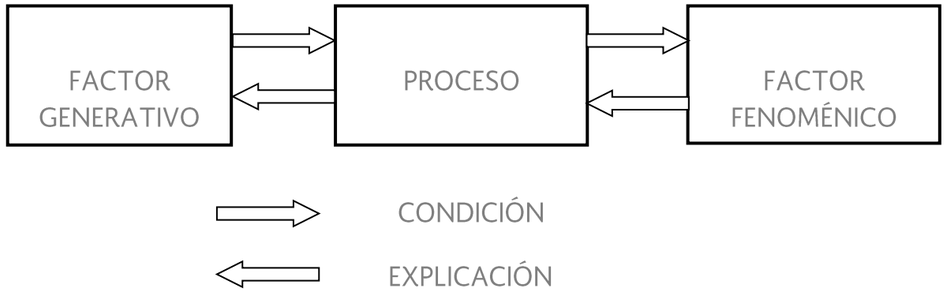
Esta concepción conlleva al establecimiento de una perspectiva analítica del riesgo desde el punto de vista de su "génesis", es decir, se aporta un conocimiento de los riesgo naturales presentes dentro del territorio del Municipio de Tulum, Quintana Roo, desde la perspectiva causal que permite de manera adecuada percibir a los riesgos como procesos dinámicos que reforzarán las diversas medidas y políticas sugeridas evitando la exposición y afectación a la población, medio ambiente y a las diversas relaciones socio económicas.

Cabe señalar que esta perspectiva de análisis no se contrapone con los lineamientos planteados en las Bases de Estandarización señalados, ya que complementa la mejor comprensión de los procesos que interviene en la generación de riesgos, por lo que a continuación, se presentan las bases metodológicas aplicadas en la elaboración del presente Atlas de Riesgo.

METODOLOGÍA.

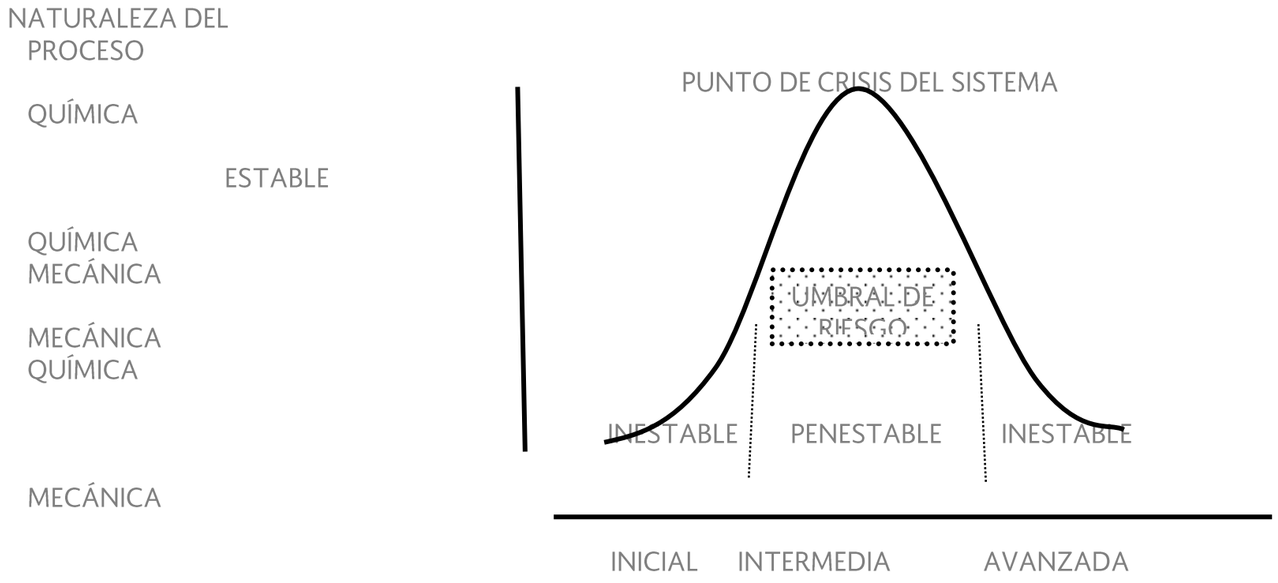
Toda concepción de análisis del riesgo natural que pretenda sobre todo prever afectaciones extraordinarias a la población, deberá estar basada fundamentalmente en la caracterización de los procesos de tipo riesgoso considerando que estos contemplan una acción multivariable que depende de condiciones espacio temporales, para lo cual, será de gran ayuda se considere que esta concepción analítica deberá ser recursiva tal y como se puede apreciar en el esquema causal del riesgo.

RELACIÓN CAUSAL DEL RIESGO



Esta percepción conceptual genética del riesgo se complementa con la suma del factor temporal fundamentada en la premisa que en todo proceso natural se tiende hacia un equilibrio dinámico donde la naturaleza del proceso determina su grado de desarrollo, siendo bien conocido que todo fenómeno natural evoluciona tal y como se muestra en el siguiente diagrama:

DIAGRAMA EVOLUTIVO DE UN SISTEMA MORFOGENÉTICO

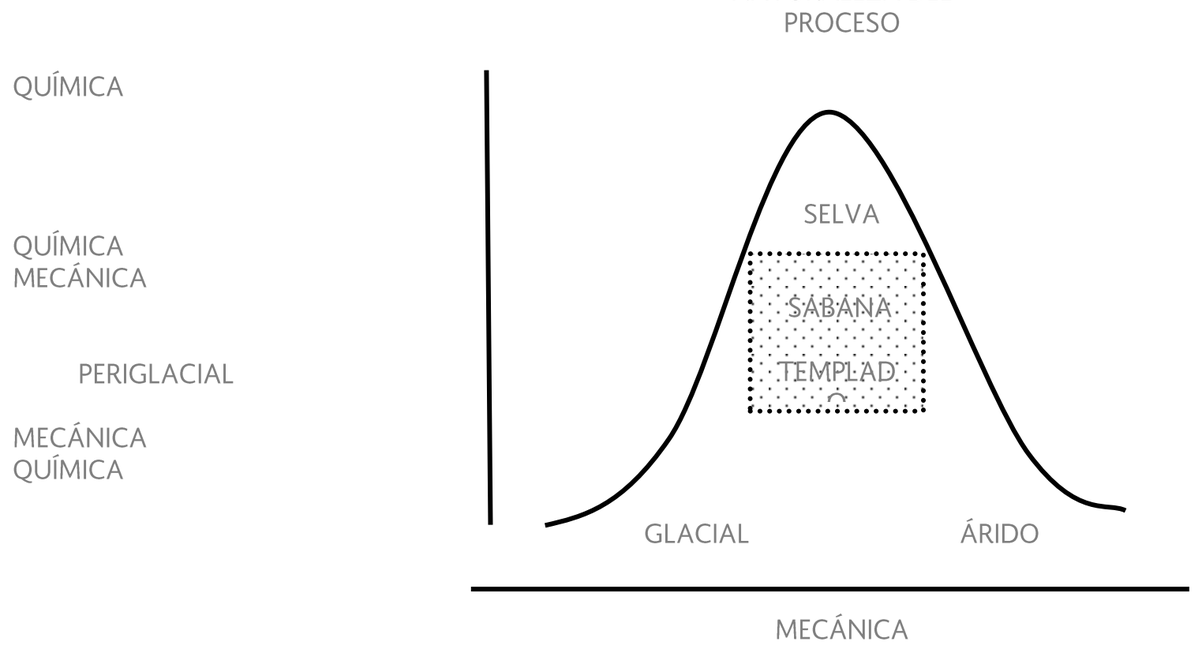


ETAPA EVOLUTIVA DEL SISTEMA

Debe señalarse que las bases metodológicas en las que se fundamenta el presente análisis de riesgo, está incluida dentro de la disciplina geomorfológica, por lo que, se introducen conceptos tales como el de sistema morfogenético, el cual, trata sobre todos aquellos procesos naturales que intervienen en el origen de todas las unidades naturales que conforman al relieve terrestre, así mismo, es posible considerar que en la naturaleza se producen alteraciones que originan estados de "crisis", estas alteraciones se derivan de la interrelación e interactuación de los mismos procesos, lo cual, se contempla dentro del concepto de morfodinámica.

Tanto la morfogénesis, como la morfodinámica, tienen como marco espacial lo que debe entenderse como "dominio", en una analogía a la distribución geográfica de los climas, por lo que el diagrama anterior adquiere las características siguientes:

CONDICIÓN EVOLUTIVA DE LOS DOMINIOS MORFOGENÉTICOS



De donde es posible establecer que de acuerdo a las condiciones geográficas caracterizadas en los capítulos antecedentes, dentro del marco geográfico del municipio de Tulum es posible considerar que se trata de los dominios de selva con fuertes posibilidades de transformarse en sabana principalmente por las alteraciones que está sufriendo la selva por la tala de sus especies arbóreas.

De aquí se entenderá que de acuerdo a la ubicación del desarrollo de estos dos dominios, los cuales, se consideran dentro de la etapa evolutiva intermedia, su vulnerabilidad natural los dota de una alta sensibilidad a las trasformaciones principalmente de tipo antrópicas.

Por lo que, si consideramos que para la generación de un proceso riesgoso intervienen variables, tanto naturales, como antrópicas, las cuales se detallan en el siguiente cuadro:

TABLA 84. CLASES DE VARIABLES DEL RIESGO

VARIABLES NATURALES	VARIABLES ANTRÓPICAS
• GEOLÓGICAS GEODINÁMICA INTERNA LITOLÓGICAS GEODINÁMICA EXTERNA • GEOGRÁFICAS CLIMÁTICAS HIDROGRÁFICAS EDÁFICAS BIOLÓGICAS	• TECNOLÓGICAS INFRAESTRUCTURALES • CULTURALES DEMOGRÁFICAS • ECONÓMICAS SERVICIOS

Ambas variables se integran documentalmente y mediante recorridos en campo se establecen las siguientes etapas de análisis:

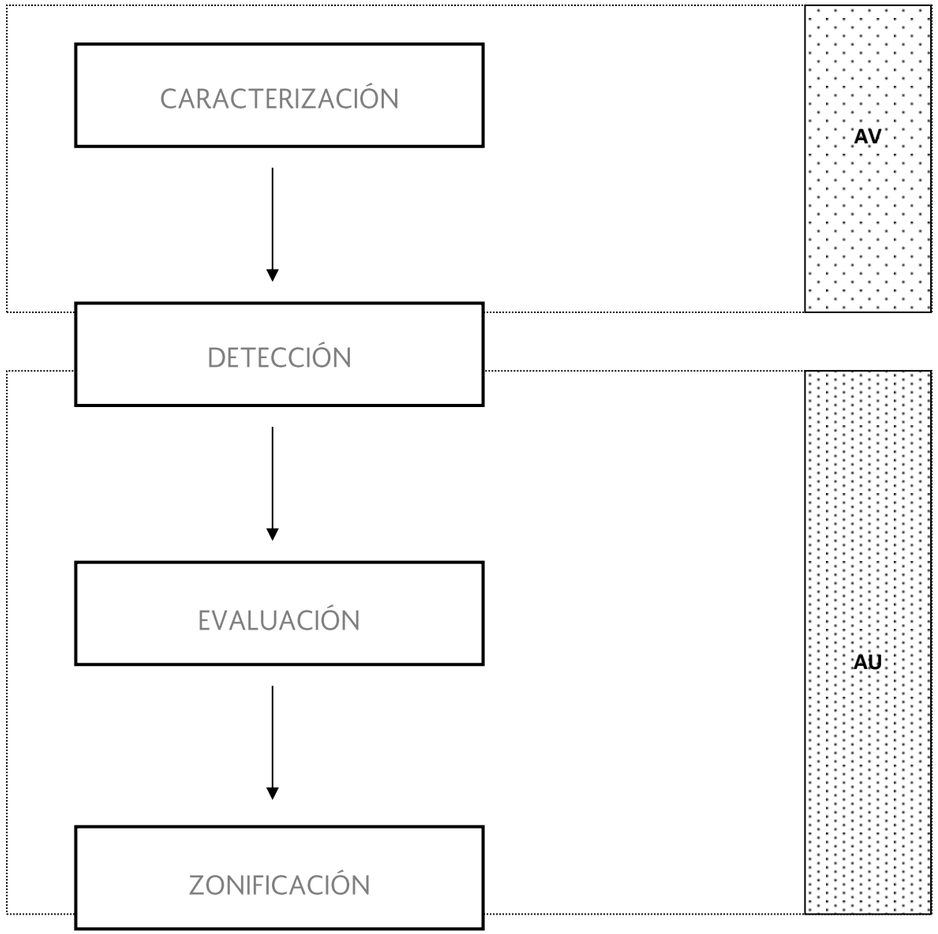
TABLA 85. ETAPAS EN EL ANÁLISIS DEL RIESGO

ANÁLISIS DE VIABILIDAD (AV)	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD (AU)
Caracterización de variables del medio físico, con el	Retoma al Análisis de Viabilidad (AV) y se asocia con las Variables

objeto de conocer la ocurrencia de los diferentes eventos naturales presentes en el sistema	Antrópicas, para generar una formulación de riesgo, mediante el cual, se establece el carácter con el que los procesos naturales inhiben al adecuado desarrollo de las actividades humanas

Al integrar tanto a las variables dentro de las etapas de análisis, se producen sub etapas analíticas mediante las cuales será posible establecer de manera clara el esquema mediante el cual se pueden establecer todas y cada una de las propiedades de los riesgos presentes en un territorio, tal y como es el caso del municipio en cuestión.

ESQUEMA ANALÍTICO PRIMARIO DEL RIESGO APLICADO EN LA ELABORACIÓN DEL ATLAS DE RIESGO PARA EL MUNICIPIO DE TULUM, QUINTANA ROO.



MITIGACIÓN

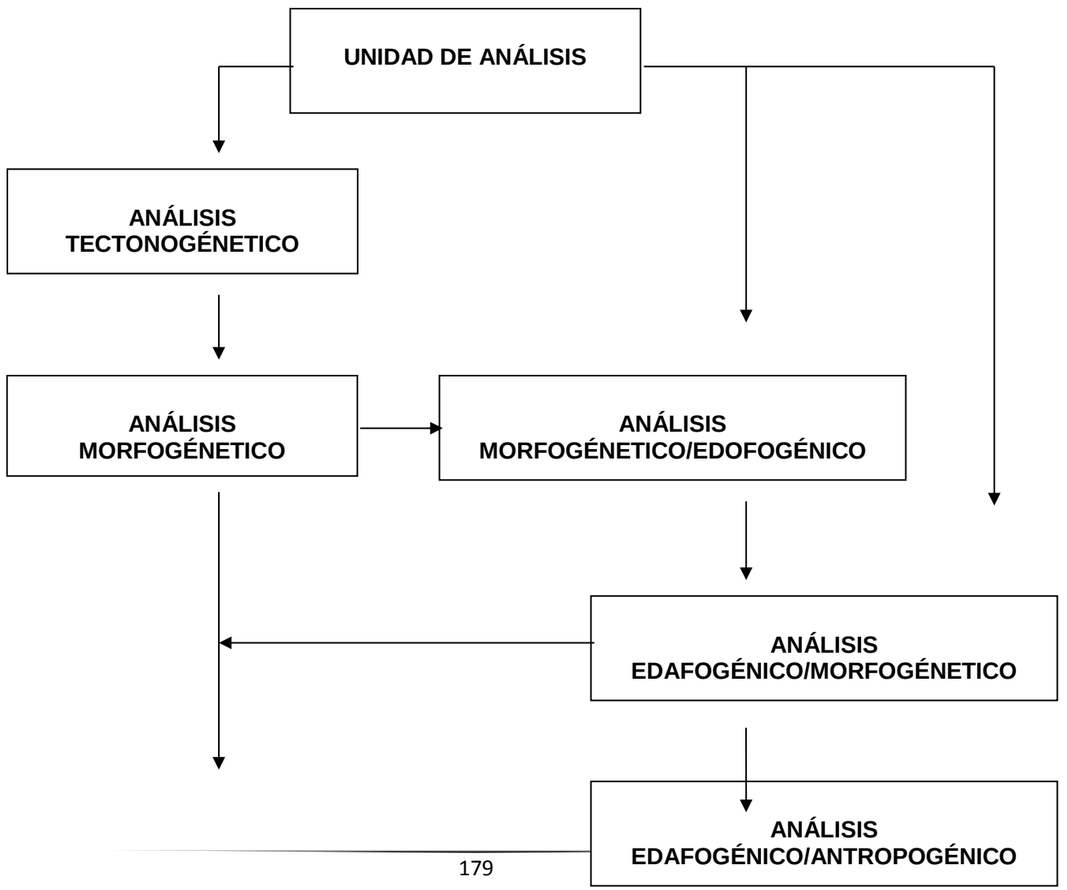
De estas cinco sub etapas, tanto la detección, como la de evaluación, fueron las de mayor importancia para el desarrollo del presente documento, ya que debido al marco físico y más específicamente el relacionado al tipo de roca que conforma al terreno en el municipio de Tulum, no solo se debió revisar la información existente, sino también, se realizó la identificación de los rasgos del relieve mediante imágenes de satélite en diferentes años, lo que permitió una evaluación del desarrollo del terreno y, principalmente de la línea de costa.
Ya que debido a que existen poco más de 120 kilómetros de línea de costa en el municipio, las cuales, están sujetas a una presión extraordinaria debido al fuerte poblamiento durante los últimos años. Esta evaluación se obtuvo considerando la interrelación, tanto del orden temporal, como espacial y su correspondiente nivel de organización evolutiva, tal como se puede observar en el esquema siguiente:

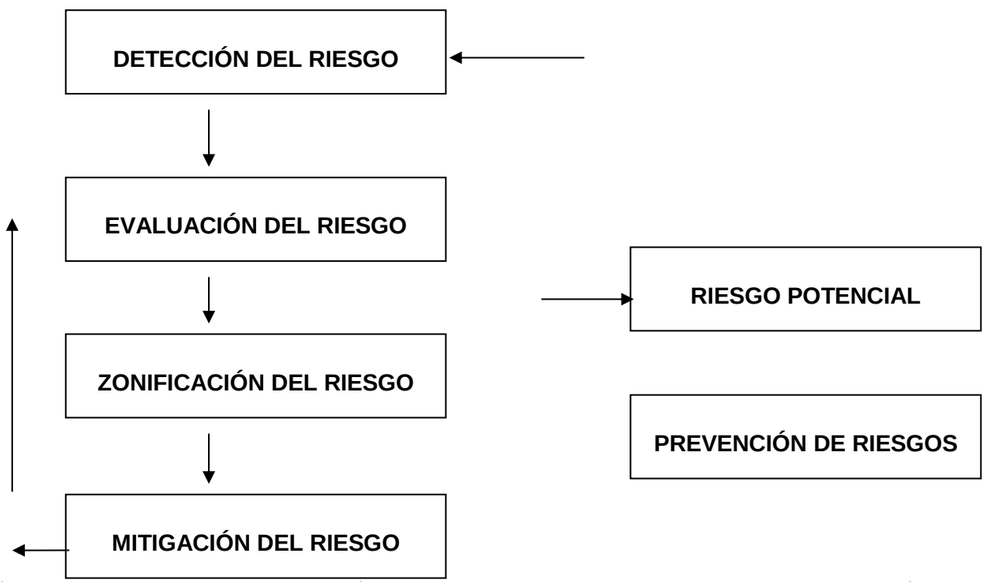
TABLA 86. SISTEMA TEMPORAL/ESPACIAL DEL RIESGO

ORDEN DE INTERRELACIÓN (TEMPORAL/ESPACIAL)	NIVEL DE INTERRELACIÓN (ORGANIZACIÓN)
VARIABLES CONTINUAS Azonales Orden temporal de 106 años	NEOTECTOGÉNESIS Continua y Discontinua
VARIABLES INTERMITENTES Azonales y Zonales Orden temporal de 104 a 102 años	MORFOGÉNESIS/EDAFOGÉNESIS Discontinua de Período largo
VARIABLES ESPONTÁNEAS Zonales y de Sitio Orden Temporal de 104 a 100 años	EDAFOGÉNESIS/ANTROPOGÉNESIS Discontinua de Período Corto

Todo lo anterior se traduce a considerar al riesgo como una condición multivariable y dinámica, por lo que no se rige por una causalidad única, y de un solo nivel de relación, sino del reconocimiento de distintos niveles de interrelación, regida por distintos niveles de jerarquización vinculada a la dinámica de las variables tanto en su ámbito de acción temporal, como el de su afectación espacial. Esta jerarquización se debe entender a que existen variable cuya actuación antecede y condiciona la dinámica del riesgo confluyendo con variables consecuentes conformando los niveles de organización del riesgo. Lo que en concreto se convierte en la única forma de análisis capaz de dotar de una evaluación de tipo preventiva necesaria en el establecimiento de políticas públicas destinadas a mitigar la acción del riesgo.
Por lo que se tuvo que estructurar el siguiente esquema analítico:

SISTEMA ANALÍTICO DEL RIESGO





Con el objeto de complementar al esquema metodológico aplicado para la realización del presente Atlas, se presenta a continuación los procesos morfogenéticos considerados y que por las condiciones geográficas caracterizadas para el Municipio de Tulum.

TABLA 87. MATRIZ DE EVALUACIÓN OPERATIVA DE LOS SISTEMAS MORFOGENÉTICOS EN TULUM, QUINTANA ROO.

PROCESO MORFOGÉNETICO	SISTEMA MORFOGÉNETICO	
	SABANA	SELVA
CORRACIÓN		
HIDROCLASTÍA		
HALOCLASTÍA		
ENCOSTRAMIENTO		
DESAGREGACIONES GRANULARES		
EXCAVACIÓN BIOLÓGICA		
DESECACIÓN		

CONCENTRACIÓN DE SALES METÁLICAS		
ACORAZAMIENTO		
DESACORAZAMIENTO		
DISOLUCIÓN		
HIDRATACIÓN		
CARBONACIÓN		
HIDRÓLISIS		
OXIDACIÓN		
SIALITIZACIÓN		
ARGILIZACIÓN		

	CONTINUO		CONTINUO/DISCONTINUO		TEMPORAL LARGO		TEMPORAL CORTO

Los procesos anteriores se consideran como la parte básica para identificar las diferentes evidencias que permitan cumplir con las bases teóricas establecidas en los Niveles de Análisis para la elaboración de Atlas de Riesgos, por lo que, se establecen como parte de los criterios de clasificación. Ya que siendo el propósito de la estandarización de criterios en la elaboración del Atlas, la cual, se circunscribe a la unificación de cuatro elementos básicos, por lo que, se concibe que los documentos municipales de México posean los mismos razonamientos en cuanto a:

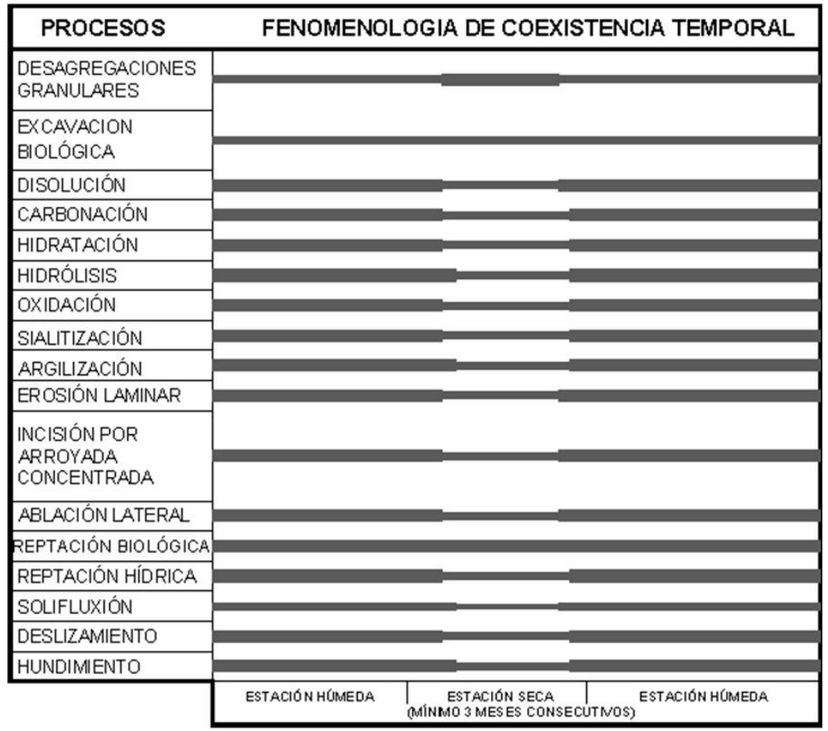
1. Métodos de estudio del sistema perturbador.
2. Jerarquía de complejidad de métodos de estudio.
3. Métodos de representación cartográfica de los sistemas naturales.
4. Especificaciones técnicas para la elaboración de la cartografía.

Cabe señalar que una de las similitudes entre la metodología propuesta y las bases oficiales, es que ambas perspectivas metódicas consideran los lineamientos de carácter dinámico de los agentes y procesos perturbadores que generan riesgos.

Quedando expresada esta condición de desarrollo de los agentes y procesos perturbadores en la matriz de evaluación operativa arriba mostrada, de donde es posible que mediante la asignación de cuatro colores se indica la temporalidad para cada uno de los procesos a considerarse dentro de los dominios para una selva y una sábana.

En consecuencia, se muestra a continuación la intensidad y temporalidad de cada proceso durante las diferentes etapas estacionales en un año bajo condiciones normales.

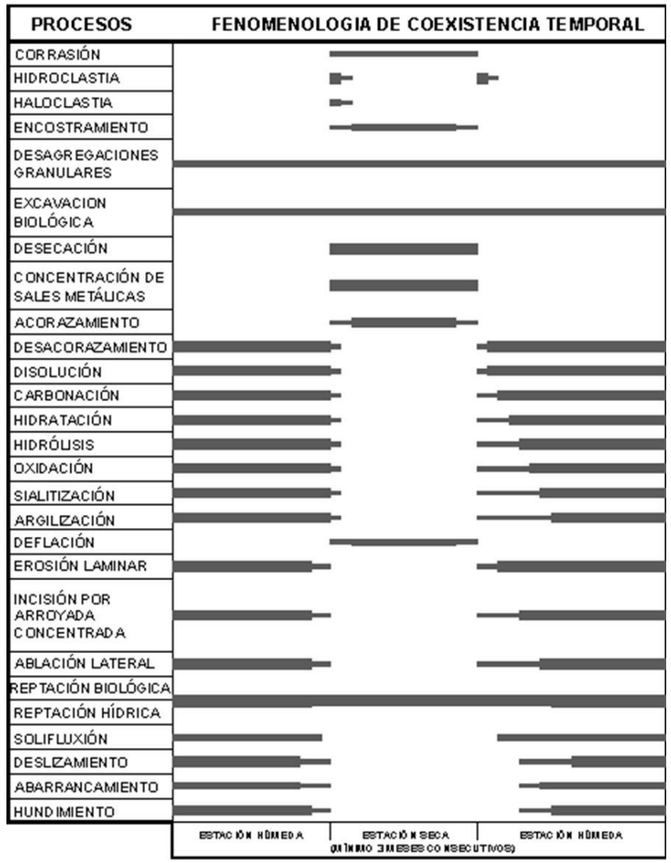
SISTEMA MORFOGENETICO DE LA SELVA



Las barras de mayor grosor indican una mayor intensidad del proceso, destacando que de acuerdo al esquema metodológico aplicado en la elaboración del Atlas, que en un dominio selvático, durante las estaciones húmedas, se produce por coexistencia la potencialidad de que ocurra un evento riesgoso.

Mientras que en caso de que la selva se vea alterada en sus condiciones originales, como es el caso de la zona litoral y la vecina a Cobá en la zona oeste del municipio, donde se consideró que la condiciones sobre todo por el tipo de suelo registrado se presentan similares a las del dominio de sabana, por lo que, se verá que deberá esperar un aumento en la presencia de procesos morfogenéticos, sino también se deberá presentar una doble temporalidad en la coexistencia y por lo tanto, se crean dos umbrales de riesgo, tal y como se puede observar en la ruptura temporal de la mayoría de los procesos creando una ruptura abrupta en el equilibrio dinámico necesario dentro del sistema aumentando con esto la intensidad y magnitud de acción de los procesos perturbadores y, por lo tanto, la generación de riesgos inminentes con aumento en la potencialidad de otros que en cortos plazo puedan producir otras condiciones riesgosas.

SISTEMA MORFOGENETICO DE LA SABANA



De todos los lineamientos anteriores, y de acuerdo a los diferentes fenómenos perturbadores establecidos dentro de las bases para la elaboración de los Atlas, dentro de los cuales, se enlistan los fenómenos de origen natural por analizar dentro del territorio del Municipio de Tulum, Quintana Roo, en el siguiente cuadro.

TABLA 88. FENÓMENOS PERTURBADORES NATURALES	
TIPO	FENÓMENO

GEOLÓGICOS	1. VULCANISMO 2. SISMOS 3. TSUNAMIS 4. INESTABILIDAD DE LADERAS 5. FLUJOS 6. CAÍDOS O DERRUMBES 7. HUNDIMIENTOS 8. SUBSIDENCIA 9. AGRIETAMIENTOS
HIDROMETEOROLÓGICO	10. ONDAS CÁLIDAS Y GÉLIDAS 11. SEQUÍAS 12. HELADAS 13. TORMENTAS DE GRANIZO 14. TORMENTAS DE NIEVE 15. CICLONES TROPICALES 16. TORNADOS 17. TORMENTAS DE POLVO 18. TORMENTAS ELÉCTRICAS 19. LLUVIAS EXTREMAS 20. INUNDACIONES PLUVIALES, FLUVIALES, COSTERAS Y LACUSTRES.
*Modificado de acuerdo a los cambios en la Ley General de Protección Civil (Art. 2 Frac. XXII-XXIII/ Nueva Ley DOF 06-06-2012)	

De los fenómenos perturbadores anteriores, y de acuerdo a lo documentado y registrado durante el desarrollo del presente Atlas de Tulum, sólo es posible considerar los fenómenos siguientes:

TABNLA 89. FENÓMENOS PERTURBADORES NATURALES	
TIPO	FENÓMENO

GEOLÓGICOS	1. SISMOS 2. HUNDIMIENTOS 3. SUBSIDENCIA 4. AGRIETAMIENTOS
HIDROMETEOROLÓGICO	5. CICLONES TROPICALES 6. TORMENTAS ELÉCTRICAS 7. LLUVIAS EXTREMAS 8. INUNDACIONES PLUVIALES, FLUVIALES, COSTERAS Y LACUSTRES.

Esta selección de fenómenos perturbadores a incluir dentro de este documento es el resultado del análisis acerca de los factores y sus condiciones geográficas descritas en los capítulos antecedentes.

Para los fines prácticos del presente Atlas, y, de acuerdo a los ocho fenómenos perturbadores arriba enlistados, se presenta de manera resumida la clasificación del rango de peligro, vulnerabilidad y riesgo, así como el nivel de análisis establecido para el desarrollo del presente Atlas.

6.1. PROCESOS PERTURBADORES Y SU RANGO DE PELIGROSIDAD DENTRO DEL MUNICIPIO DE TULUM.

Retomando que a pesar de que no esté presente población alguna, el peligro de que se produzca un evento riesgoso fundamentalmente se debe a la probabilidad de su acción, lo cual, implica que dependiendo de la coexistencia de los procesos antes expuestos, será posible se presente un evento peligroso. Por lo que, de acuerdo a los factores geográficos revisados, así como a la debida integración de los procesos de las matrices fenoménicas, se considera que debido a la extraordinaria dinámica demográfica a la que se ve sujeto el territorio municipal de Tulum, se establecen condiciones potenciales de que se generen procesos peligrosos principalmente en la zona litoral, por lo que, en la siguiente tabla se señalan los procesos que son analizados y caracterizados de acuerdo a su condición de peligro.

TABLA 90. PROCESOS PERTURBADORES Y SUS RANGOS DE PELIGROSIDAD.

PROCESO	PELIGRO	MÉTOD	EVIDENCIAS

	MUY ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO	MUY BAJO		
SISMOS						NIVEL 1	La herencia morfo estructural que dio origen a la Plataforma sedimentaria que conforma a la Península de Yucatán, ubicada dentro de la zona sísmica A, aparentemente no representa riesgo alguno con respecto a potenciales afectaciones por presencia de procesos sísmicos, pero debido a que los mecanismos tectónicos de tipo distensivo asociados a la apertura y origen del Golfo de México, generan lineamientos estructurales que vulneran la litología produciendo condiciones propicia para acelerar la acción de las fallas existentes y por lo tanto se pueden presentar sismos con poca profundidad en su epicentro, por lo que, su intensidad puede no representar peligro alguno.
HUNDIMIENTOS						NIVEL 4	Asociados a la acción de las fallas antes mencionadas, con el tipo de roca que aflora dentro del territorio en el municipio de Tulum, se presentan puntos y zonas de hundimiento principalmente de origen gravitacional, ya que de acuerdo a la topografía elaborada en el presente documento, se están formando y desarrollando depresiones alargadas de origen semejante a las formaciones kársticas conocidas como úvalas. Estas depresiones se ven fuertemente favorecidas en su desarrollo ya que se está presentando en el territorio municipal la tala de la cobertera arbórea motivando la degradación de las rocas produciendo simas y cavernas con rápido crecimiento propiciando la disminución de los techos los acules, pueden colapsar parcialmente, formando cenotes, o en grandes porciones de terreno tal y como es posible observar actualmente en la región del centro norte del municipio. Estas condiciones naturales propician la presencia de terrenos con alta probabilidad de peligro por hundimiento tanto lento como rápido.
SUBSIDENCIA						NIVEL 4	El hundimiento regional presente hacia la línea de costa, se produce principalmente por el proceso subsidente que se genera como una consecuencia más de la apertura del Golfo de México y posteriormente al ascenso de la plataforma de Yucatán, teniendo en su extremo oriental bloques tectónicos cuyo comportamiento es de un lento y progresivo hundimiento que por su herencia estructural pueden presentarse colapsos de rápida presencia por lo que, existe la probabilidad muy alta de peligros por hundimientos hacia la costa del municipio.

PROCESO PERTURBADOR	PELIGRO						EVIDENCIAS
	MUY ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO	MUY BAJO	MÉTODO	
AGRIETAMIENTOS							Derivado de la alta probabilidad de que se presenten peligros de hundimiento por colapso y por afectaciones subsidentes, se presentan fracturas en la superficie del terreno sin que actualmente hayan sido debidamente cartografiadas y que aumentan la filtración y su consecuente meteorización de las rocas carbonatadas generando potenciales zonas de peligros que pueden afectar viviendas e infraestructura. Estos peligros junto con los derivados del proceso subsidente son de origen natural de tiempo extremo reciente por lo que, no existe documentación que permita analizar de manera adecuada su potencial afectación, requiriendo de manera urgente trabajos de campo por expertos que evalúen estos procesos.
CICLONES TROPICALES						NIVEL 1	La erosión costera, tanto de las playas abrasivas, como de las acumulativas se torna en extremo peligro por rompiente de oleaje durante los ciclones, lo que asociado a la intensa precipitación, permiten la presencia de peligros con alta probabilidad de afectación a la población asentada principalmente en la costa tulumense, estos peligros disminuyen su potencial afectación, sin dejar de tener alta probabilidad de peligro hacia la depresión kárstica ubicada hacia la porción centro norte del municipio, donde se localiza una de las zonas arqueológicas más importantes. Las afectaciones de este tipo de fenómeno pueden ser apreciadas a lo largo de la costa de tipo abrasiva, donde es frecuente la presencia de caídos rocosos y caletas alargadas y profundas.
TORMENTAS ELÉCTRICAS						NIVEL 1	Los peligros asociados a presencia de este tipo de fenómeno se dan más que por incendios forestales por precipitaciones pluviales que pueden inundar depresiones como las que se localizan dentro del municipio.
LLUVIAS EXTREMAS						NIVEL 1	Debido a que dentro del Municipio de Tulum se desarrollan áreas depresivas se generan cubetas naturales que permiten la inundación rápida que se verá acelerada generando torrentes con relativa peligrosidad. Otro de los peligros probables derivados de lluvias

							extremas, serían los hundimientos repentinos los cuales dependerán del volumen de agua acumulada en la depresión.

PROCESO PERTURBADOR	PELIGRO					MÉTODO	EVIDENCIAS
	MUY ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO	MUY BAJO		
INUNDACIONES PLUVIALES, COSTERAS Y LACUSTRES						NIVEL 4	A pesar de no existir una red hidrográfica superficial en el territorio tulumense, la presencia de depresiones tanto interiores, como costeras, generan altas probabilidades de que se presenten inundaciones durante lluvias temporales o de presencia extraordinaria. La peligrosidad por procesos de inundación, representan un peligro fundamentalmente por la ruptura en caminos motivando la irrupción de la movilidad de la población.

Con el objeto de explicar de manera adecuada el significado de cada uno de los peligros inherentes al accionar de cada uno de los fenómenos perturbadores considerados dentro de este Atlas, a continuación se describe la causalidad de la peligrosidad mencionada anteriormente.

6.2. CAUSALIDAD DEL PELIGRO NATURAL EN EL MUNICIPIO DE TULUM, QUINTANA ROO.

El territorio tulumense se localiza dentro de lo que se conoce geológicamente como la plataforma calcárea de Yucatán, la cual, es el producto del ascenso de una morfoestructura de origen marino marginal de grandes dimensiones generando la conformación de un relieve semiplano con lomeríos extendidos y de suave pendiente, su constitución calcárea y morfológica inhiben la presencia de corrientes fluviales a pesar de que en esa región geográfica se presentan periodos extensos de precipitación pluvial.

El origen del ascenso de esta gran plataforma obedece a un período neotectónico asociado a esfuerzos de tipo distensivo que produjeron la formación del Golfo de México, lo que en términos geológicos produce una estructura que puede presentar diversos procesos o accidentes naturales que vulneran a los diversos elementos que constituyen la unidad geomorfológica yucateca.

Este origen reciente de la península cuya movilidad de ascenso es lento y hemos estimado en una velocidad de 0.89 milímetros por año, produce a su vez la presencia de bloques estructurales que están actualmente en condiciones de equilibrio relativo, pero que por su aparente estabilidad pueden desencadenar movimiento rápidos principalmente de hundimiento generando la presencia de áreas subsidentes que transforman al medio físico bruscamente. Tal es el caso del bloque denominado de Chetumal, el cual, ha dejado su etapa de estabilidad aparente para pasar a presentar movimientos subsidentes que dependen de dos factores; estructural y litológico. El primero se refiere a la generación de fallas y fracturas, las cuales principalmente se orientan hacia el noreste y las cuales se asocian a otro sistema orientado al noroeste, que por consecuencia producen otro sistema mucho muy reciente que tiene una orientación oeste-este, este último genera fracturas de tipo distensivo, es decir, estas fracturas pueden presentar inclinaciones casi verticales o con un ángulo con fuerte inclinación.

El factor litológico facilita a la subsidencia debido a que la disposición casi horizontal de los estratos produce bloques uniformes delimitados principalmente por las fracturas generando ligeros basculamientos lo que genera corrimientos de la cobertera sedimentaria y su consecuente generación de relieves suavemente deformados teniendo en sus lomeríos la evidencia de este tipo de movilidad cortical, lo que se asocia a depresiones alargadas conformando así el marco geomorfológico regional que caracteriza a la península de Yucatán y, más específicamente al
territorio tulumense.



Imagen 19. Se muestran los lineamientos estructurales más importantes de tipo regional que afectan la zona donde se ubica el Municipio de Tulum, Quintana Roo.



Imagen 20. Se presenta en esta figura los bloques en color amarillo correspondientes a bloques estructurales con movilidad en ascenso, mientras que los bloques en color gris, se estima han iniciado movimientos subsidentes con rápida y constante movilidad.

Esta mecánica geológica que produce la presencia del proceso subsidente, se asocia con uno de los procesos que dotan a la Península de Yucatán de identidad internacional, l formación de cenotes. Estos cenotes constituyen la evidencia del proceso conocido como karts, el cual, tal y como se hace mención en el capítulo 3 se presenta en zonas donde se localizan rocas de tipo carbonatadas, calizas, las cuales, se modifican en sus características físicas debido a su disolución por agua principalmente pluvial, lo que produce un relieve kárstico que de acuerdo a su contexto tectónico presenta tres etapas de formación.

De acuerdo a las características tectónicas antes descritas, así como a la disposición estructural de los estratos, en el territorio del Municipio de Tulum, podemos encontrar relieve kárstico hasta la segunda etapa de desarrollo, las cuales, son de lapiaz y de formación de dolinas y úvalas.

La superficie de lapiaz se caracteriza por presentar superficies estriadas formadas por disolución diferencial de la superficie rocosa y erosión laminar, estas estrías se desarrollan en el tiempo haciendo que los surcos profundicen hasta llegar a formar estructuras rocosas que sobresalen del relieve pudiendo ser de escasos centímetros hasta de escasos metros de altura.

Durante esta etapa kárstica, se produce la disolución diferencial de la roca de manera puntual, formando pequeños conductos llamados simas, por donde se filtra el agua pluvial hacia zonas donde la roca se disuelve para formar una cavidad. Estas cavidades cuando son muy superficiales facilitan la formación de los relieves de lapiaz. Cabe señalar que en el territorio

municipal de Tulum, la superficie de lapiaz se encuentra con poco desarrollo apreciando que donde se registran estos lapiaz aún se presenta una costra de caliche evidenciando su reciente formación, tal y como se puede ver en la zona central y centro occidente del municipio.

El crecimiento de las simas y cavidades en el subsuelo, producen que por acción de la gravedad se colapse el terreno produciendo depresiones que se tornan gradualmente de forma circular produciendo formas conocidas como dolinas, las cuales, pueden presentarse en dimensiones pequeñas de unos cuantos centímetros, hasta alcanzar varios metros tanto de profundidad, como de apertura, teniendo en los famosos petenes los mejores representantes de la importancia de este tipo de formas kársticas.

Es importante recordar que debido a la disposición de los estratos en el subsuelo, se facilita la formación de este tipo de formas del relieve, produciendo así mismo, sobreposición de formas kársticas hasta lograr derrumbe de los techos y generando la presencia de los famosos cenotes. Todo este desarrollo antes mencionado, se lleva a cabo durante la segunda etapa de evolución del relieve kárstico.

Dentro del municipio de Tulum, esta segunda etapa se encuentra sumamente desarrollada contraponiéndose a los relieves de lapiaz, lo que seguramente revela que han existido varias etapas de desarrollo del karst. Lo que representa un indicio de la alta vulnerabilidad en los sistemas naturales, lo que convierte a todo tipo de peligro en un factor muy dinámico a considerar en los planes y políticas de ordenamiento territorial y de protección civil. Ya que este desarrollo del terreno kárstico, brinda el marco morfogenético propicio para el desarrollo de zonas depresivas que se convierten en verdaderas cubetas potenciales de presentar inundaciones.

Es importante hacer mención a que la dinámica en la que se pueden desarrollar los procesos peligrosos y de riesgo, en el Municipio de Tulum, pueden ser en tiempo relativamente cortos, siendo relevante que los procesos que ahora son potenciales muy pronto se pueden convertir en inminentes, factor que es considerado dentro del presente Atlas extendiendo sus alcances hasta determinar zonas de riesgos potenciales de acción inmediata, buscando la aportación preventiva al mismo.

TABLA 91. PROCESOS PERTURBADORES Y SU RANGO DE VULNERABILIDAD.

PROCESO PERTURBADOR	VULNERABILIDAD					MÉTODO	EVIDENCIAS
	MUY ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO	MUY BAJO		
SISMOS						NIVEL 1	A pesar de existir un bajo peligro por afectación de procesos sísmicos en el municipio, la potencial aceleración de los procesos de riesgo, así como, al rápido crecimiento demográfico registrado, aunado a la falta de diseños estructurales de las casas e inmuebles en general, lo cual, se suma a la falta de infraestructura para responder ante un fenómeno potencial a presentarse en el territorio municipal, hacen que se presente una vulnerabilidad media que habrá de considerar en un futuro inmediato.
HUNDIMIENTOS						NIVEL 4	De acuerdo a las zonas cartografiadas en el presente Atlas, los hundimientos representan procesos de alta vulnerabilidad ya que todas las poblaciones existentes dentro del municipio se localizan en zonas donde se presentan peligros por hundimiento, por lo que será de vital importancia considerar que estos hundimientos de acuerdo a la causalidad de origen, serán los procesos que mayor potencialidad tienen de afectación a la población e infraestructura presente en el municipio.
SUBSIDENCIA						NIVEL 4	Este proceso que determina el aumento en la velocidad del hundimiento, es posible observarlo en el trazo de una línea de costa que actualmente se encuentra sumergida en el mar, pero su sola presencia evidencia que el territorio se encuentra bajo una etapa de hundimiento regional acentuado hacia la parte de la costa sur desde la zona de la ruinas de Tulum, hasta Punta Allen. Esta subsidencia produce lo que se determinó como zona de hundimiento costero. Por su importancia socioeconómica, es urgente realizar estudios de mayor detalle que permitan conocer de a manera adecuada el comportamiento de la subsidencia del terreno, ya que es posible que se esté produciendo además del hundimiento, un proceso de intrusión salina lo que contaminará al agua dulce reduciendo su uso doméstico.
AGRIETAMIENTOS						NIVEL 4	Este proceso asociado a los procesos anteriores, puede estar presente de manera significativa en la zona determinada como de hundimiento costero, la cual, es la mayor poblada, por lo que, se define a esta zona como de una alta vulnerabilidad, lo que genera se sugiera estudios a detalle para registrar estos agrietamiento y evaluar entonces su potencial

							afectación sobre la población.
PROCESO PERTURBADOR	VULNERABILIDAD					MÉTODO	EVIDENCIAS
	MUY ALTO			BAJO	MUY BAJO		
CICLONES TROPICALES						NIVEL 1	Por su posición geográfica, Tulum, se encuentra en una zona donde se lleva a cabo el paso de ciclones por lo que, su potencial afectación pueden ser muy significativa. Su costa actualmente en pleno desarrollo presenta una alta vulnerabilidad ya que no se cuenta con el diseño de inmuebles que ofrezcan seguridad a la población, así mismo, no existen la suficiente infraestructura que permita implementar planes de emergencia de manera adecuada y suficientes.
TORMENTAS ELÉCTRICAS						NIVEL 1	Los efectos por acción de tormentas eléctrica en el municipio se valoran en un nivel medio en cuanto a la vulnerabilidad que pueda tener la población, ya que ante todo la cantidad de lluvia asociada a estas tormentas puede producir inundaciones en los centros urbanos, más que afectaciones por incendios forestales.
LLUVIAS EXTREMAS						NIVEL 1	Hasta ahora el hundimiento ha generado áreas depresivas con potencialidad de ser inundadas, dentro de las cuales destaca la ubicada en el poblado de Cobá, donde se localiza la zona con mayor vulnerabilidad sin que esta produzca pérdidas humanas, pero sí genera irrupción en las actividades sociales y económicas.
INUNDACIONES PLUVIALES, COSTERAS Y LACUSTRES						NIVEL 4	Este proceso es el que mayor vulnerabilidad puede tener en el municipio, ya que por existir en el territorio municipal una extensión de más del 50% de terrenos inundables, los cuales, se asocian a centros urbanos con mayor población, convierte a este proceso en que se encuentra con alta vulnerabilidad.

Como se ha podido apreciar en los cuadros anteriores, a pesar de que la peligrosidad no requiere de la presencia del hombre, para el caso del territorio municipal de Tulum, los pocos centros de población se encuentran dentro de las zonas donde los fenómenos perturbadores naturales se manifiestan con mayor acción ya que de acuerdo a la ubicación de zonas de tipo arqueológicas es de asumir que en un pasado moderno procesos de índole antropogénica actuaron determinantemente sobre los muy dinámicos sistemas naturales. Por lo que, tanto la vulnerabilidad como el riesgo se asocian así mismo a zonas donde actualmente se desarrollan social y económicamente, tal y como es el caso de la costa tulumense, llamada para fines de desarrollo turístico como Riviera de Tulum.

TABLA 92. PROCESOS PERTURBADORES Y SU RANGO DE RIESGO.

PROCESO PERTURBADOR	RIESGO					MÉTODO	EVIDENCIAS
	MUY ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO	MUY BAJO		
SISMOS						NIVEL 1	La dinámica de las placas tectónicas se presenta de manera cíclica, por lo que, cada año se acercan los períodos de reactivación de los movimiento de las grandes morfoestructuras, por lo que debemos considerar que en nuestro país existen zonas donde se presentan sismos con muy poca o nada de frecuencia, pero que en próximos años esto debe cambiar, por lo tanto, y por la importancia que tiene el municipio de Tulum como polo de desarrollo turístico, se debe considera la toma de medidas de carácter preventivo encaminadas para asegurar la estabilidad estructural de los inmuebles en general.
HUNDIMIENTOS						NIVEL 1	Siendo el hundimiento diferencial el proceso con mayor participación en la formación de las características del relieve en el municipio, el escenario geográfico es el propicio para que este proceso vaya en aumento, ya que las diversas alteraciones a los geosistemas naturales acelera principalmente la generación de grietas y cavidades de disolución, haciendo muy susceptible al terreno a presentar superficies de colapso en dimensiones diversas pero que estas deberán ser cada vez de mayor tamaño. La costa de Tulum, debe su configuración actual, a un progresivo hundimiento del terreno, por lo que, se tiene principalmente una línea de costa de tipo rocosa con escarpes de diversos tamaños de unos escasos 2 metros hasta alcanzar cerca delos más de 9 metros, todo esto en la parte norte de la costa, mientras que hacia la zona sur de la línea de costa el hundimiento del continente ha dado paso a la formación de una de las mayores riquezas existentes dentro del municipio, los arrecifes. Estos arrecifes son la evidencia clara del hundimiento progresivo. La distancia entre las líneas de costa reconstruidas revela que el hundimiento se registra de manera lenta y constante hasta llegar a un período donde este proceso se acelera generando zona inundadas de grandes dimensiones. Por lo que, se debe considera que el terreno municipal en general está en un progresivo y lento hundimiento de grandes dimensiones lo que permite establecer que el Municipio de Tulum, debe ser considerado como un municipio con un muy alto grado de riesgo por hundimiento, tanto regional, como en pequeñas superficies. Cabe agregar que las construcciones generan una mayor carga al terreno que en general presenta problemas de inestabilidad, por lo que, se deberá agregar a las causas en el aumento del riesgo por hundimiento dentro del Municipio de Tulum, el peso de las construcciones.

PROCESO PERTURBADOR	RIESGO					MÉTODO	EVIDENCIAS
	MUY ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO	MUY BAJO		
SUBSIDENCIA						NIVEL 1	El proceso subsidente es un proceso que se presenta en regiones del territorio nacional como producto de una respuesta a períodos de deformación orogénica o levantamientos epirogénicos en las plataformas sedimentarias, por lo que, y, tal y como se aprecia en aparados anteriores, se ha determinado que el bloque geológico en el que se ubica el municipio de Tulum, se registra un hundimiento regional con progresivo desarrollo de tal forma que el movimiento casi imperceptible dota a los sistemas naturales que conforman el entorno geográfico de una vulnerabilidad física baja pero no permite que estos geosistemas adquieran el equilibrio energético que permita su estabilidad y por lo tanto todo proceso de riesgo determinado dentro del territorio podrá pasar de un nivel bajo a medio y así progresivamente hasta que por interacción de factores extraordinarios se desencadene un proceso con características de alto a muy alto grado de riesgo. Tal y como se puede apreciar en la reconstrucción de la línea de costa, la subducción presente ha estado actuando en por lo menos los últimos 2,000 a 3,000 años, y se manifiesta con períodos de repentina movilidad, como se puede apreciar en partes de la línea de costa actual principalmente hacia la zona de Akumal y Xcacel.
AGRIETAMIENTOS						NIVEL 1	Más que estar asociado a procesos de carácter geológico estructural, el agrietamiento que se hace presente dentro del territorio del municipio de Tulum, se debe a partir de procesos de meteorización de las rocas calcáreas, ya que la dilatación y contracción a la que se somete en los escasos decímetros de la superficie rocosa, produce la clastación que favorece la disolución de la roca aumentando la presencia de simas, lenares y cavidades que vulneran al techo rocoso deformándolo produciendo las condiciones de tensión y consecuente formación de grietas que generan posteriormente el colapso del terreno. Por la tala de la selva, se aumenta el área de insolación en la roca aumentando la superficie de afectación y presencia de grietas, por lo que, se debe considerar que este fenómeno perturbador en aumento y con potencial afectación a grandes zonas del terreno municipal deberá ser considerado como un proceso con un nivel alto de riesgo.

PROCESO PERTURBADOR	RIESGO					MÉTODO	EVIDENCIAS
	MUY ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO	MUY BAJO		
CICLONES TROPICALES						NIVEL 1	A pesar de que la costa tulumense se encuentra dentro de la trayectoria de afectación de los ciclones, sus riesgos altos solo se restringen a dos zonas, la línea de playa y la parte norte de la depresión de Cobá. Es importante considerar que la costa en general está protegida por un cordón arrecifal que evita la formación de oleaje que afecte de manera considerable a la costa, siendo las playas acumulativas ubicadas principalmente de la zona arqueológica de Tulum, hacia Punta Allen, las que menor impacto sufren, pero por su afectación por hundimiento diferencial del terreno se generan condiciones de áreas con inundaciones producto de las lluvias torrenciales asociadas a la presencia de ciclones. Este proceso de inundación es a su vez lo que permite acreditar con un alto nivel de riesgo en la zona donde se ubica la Ciudad de Cobá. Por lo tanto, se debe considerar que el nivel de alto grado de riesgo se da por acción eólica y del nivel de oleaje extraordinarios durante la presencia de ciclones, hacia la línea de costa, mientras que al interior del continente la presencia de ciclones aumenta el nivel de riesgo por inundaciones.
TORMENTAS ELÉCTRICAS						NIVEL 1	El nivel de riesgo medio asignado a las afectaciones por este tipo de fenómeno perturbador, se da por su asociación a procesos de inundación más que a presencia de incendios o muertes de personas por quemaduras o afectaciones a instalaciones e infraestructura. Cabe remarcar que la probabilidad de presencia de este tipo de fenómenos es mucho muy baja, por lo que, los riesgos disminuyen proporcionalmente a la probabilidad de ocurrencia del fenómeno.
LLUVIAS EXTREMAS						NIVEL 1	Al igual que las tormentas eléctricas, la probabilidad de ocurrencia de este tipo de fenómeno perturbador es mucho muy bajo, pero en caso de que ocurra, debido a la falta de un relieve abrupto, la energía de la escorrentía es poco o nada riesgosa, por lo que, los riesgos asociados a este tipo de fenómeno se asocian al proceso de inundación. En consecuencia, el nivel de riesgo por presencia de este tipo de fenómeno es medio, y se presenta principalmente en las depresiones; costera, de Tulum y Cobá.

PROCESO	RIESGO	MÉTODO	EVIDENCIAS

PERTURBADOR	MUY ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO	MUY BAJO		
INUNDACIONES PLUVIALES, COSTERAS Y LACUSTRES						NIVEL 1	Este proceso de riesgo debe ser el que mayor atención merece, ya que este no va sólo asociado a las precipitaciones extremas, sino más bien al progresivo hundimiento que se registra dentro del terreno municipal, ya que de acuerdo a las zonas señaladas como de muy alto y alto nivel de riesgo, correspondiendo principalmente a las depresiones topográficas existentes dentro del municipio. Para el caso concreto de la depresión costera, las inundaciones son potenciales desde la cota 4.00 m.s.n.m. hasta el nivel de mar, correspondiendo a la zona con el muy alto riesgo dentro de la costa, para aquellas superficies topográficas que están dentro de los límites de los 4.00 a 10.00 metros, se definió el nivel de riesgo alto, y de los 10.00 a los 14.00 m.s.n.m., se asignó a las áreas con un nivel de riesgo medio. Como es posible observar en los niveles topográficos que definen a las zonas de riesgo dentro de la depresión costera del municipio de Tulum, los rangos son extremadamente estrechos, por lo que, se deberá considerar que ante el escenario de un progresivo aumento en el desarrollo de estas depresiones, las inundaciones en la costa deberán incrementarse en cuanto a la profundidad de inundación, así como a la extensión de las mismas. Estas mismas condiciones altimétricas del terreno, son aplicables para el caso de la denominada depresión de Tulum, mientras que para el caso de la depresión de Cobá, las altitudes que definen los niveles de inundación se da para niveles de riesgo muy alto, entre los 5 a 6.00 m.s.n.m., el nivel de alto riesgo corresponde al intervalo de 6.00 a 12.00 m.s.n.m., y para el nivel medio de riesgo, este se presenta entre las cotas, 12.00 hasta alcanzar los 22.00 metros, siendo como es posible observar que el nivel potencial de inundación corresponde al metro de tirante de agua, el cual, corresponde a los niveles topográficos de la zona de muy alto riesgo por inundación. Estas últimas condiciones del relieve en la depresión de Cobá, reiteran la potencial creciente de áreas inundables principalmente asociadas al progresivo hundimiento regional por un lado, y al aumento en el proceso de kársticidad que se está produciendo por la tala de la selva. Por lo tanto, el nivel general de riesgo por inundación en el Municipio de Tulum, será considerado como Alto.

TABLA 93. Tabla de resumen de afectaciones por población y vivienda de los diferentes fenómenos.

FENÓMENO	INTENSIDAD	AFECTACIONES

		No. HABITANTES	No. VIVIENDAS
INDICE DE EXPOSICIÓN AL HUNDIMIENTO	MUY BAJO	1347	288
	BAJO	335	70
	MEDIO	1986	408
	ALTO	1877	438
	MUY ALTO	21537	5909
INDICE DE EXPOSICIÓN POR FALLAS Y FRACTURAS	MUY BAJO	1172	239
	BAJO	1165	249
	MEDIO	21527	5905
	ALTO	1877	438
DERRUMBES	ALTO	1379	392
INDICE DE EXPOSICIÓN POR EROSION KARSTICA	BAJO	0	0
	MEDIO	4075	853
	ALTO	1877	438
	MUY ALTO	21537	5909
INDICE DE EXPOSICIÓN POR EROSIÓN MARINA	ALTO	1379	392
	MUY ALTO	481	132
INDICE DE EXPOSICIÓN POR INUNDACIÓN	MUY BAJO	2002	418
	BAJO	1675	348
	MEDIO	19668	5385
	ALTO	1379	392
	MUY ALTO	2346	566
INDICE DE EXPOSICIÓN POR LLUVIAS EXTREMAS	MUY BAJO	0	0
	BAJO	0	0
	MEDIO	1165	249
	ALTO	2910	604
	MUY ALTO	23413	6343
AMENAZA AL HUNDIMEINTO	MEDIO	5952	1291
	ALTO	21536	5909
AMENAZA EROSION MARINA	ALTO	469	128
	MUY ALTO	1391	392
AMENAZA POR INUNDACIÓN	MUY BAJO	0	0
	BAJO	1172	239
	MEDIO	2496	527
	ALTO	0	0
	MUY ALTO	23404	6343

AMENAZA POR TEMPERATURAS MÁXIMAS	MEDIO	1278	303
	ALTO	25211	6897
AMENAZA POR TEMPERATURAS BAJAS	BAJO	25211	6897
	MEDIO	1278	303
AMENAZA POR FALLAS Y FRACTURAS	MUY BAJO	1172	239
	BAJO	1165	249
	MEDIO	1340	278
	ALTO	23404	6343
AMENAZA POR SEQUIA	MEDIO	22693	6154
	ALTO	1877	438
	MUY ALTO	2503	517
RIESGO POR VIENTOS GENERADOS POR HURACANES	ALTO	20667	5632
	MEDIO	6205	1429

7. RECOMENDACIONES GENERALES.

- En lo que respecta a sismicidad, se recomienda realizar cálculos de peligro sísmico probabilístico utilizando el método Esteva-Cornell (Cornell C.A.;1968: Engineering sismic risk analysis. Bull. Seism. Soc. Am., 58(5), 1583-1606).

- De acuerdo a la importancia del fenómeno Kárstico para el estado de Quintana Roo y principalmente para el municipio de Tulum y el vecino municipiode Solidaridad, se requiere un inventario formal de formas kársticas, que incluya de forma destacada las topografías de cavernas inundadas conocidas en la zona. Para ello, se recomienda consultar a la agrupación Quintana Roo Speleological Survey y a la Association for Mexican Cave Studies.

“GLOSARIO”

ACCIDENTE: Es cualquier evento no deseado que causa un daño material o humano. De acuerdo al campo de aplicación existen diferentes criterios por ejemplo, en el transporte terrestre de sustancias y materiales peligrosos se considera accidente, cuando no existe liberación de la sustancia transportada y cuando se presenta una liberación se considera como incidente.

ACUÍFERO: Material permeable a través del cual se mueve el agua del subsuelo.

AGUA DEL SUBSUELO: Agua que está bajo la superficie del terreno; también se menciona como agua subterránea.

AGUA FREÁTICA: Agua subterránea dentro de la zona de saturación.

AGUA SUBTERRÁNEA: Agua que se encuentra debajo de la superficie del terreno; se conoce también como agua del subsuelo.

ALERTA: Etapa correspondiente a la fase del "antes" dentro del ciclo de los desastres, que significa la declaración formal de ocurrencia cercana o inminente de un evento (Tomar precaución).

ALTA PRESIÓN: Área donde las masas de aire circulan en el sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio norte y a la inversa en el hemisferio sur, se trata de centros de dispersión de vientos, dan lugar a tiempo seco y soleado, en ocasiones apenas existe viento.

AMENAZA: Llamado también peligro, se refiere a la potencial ocurrencia de un suceso de origen natural o generado por el hombre, que puede manifestarse en un lugar específico con una intensidad y dirección determinada.

ANÁLISIS DE RIESGO: Es el desarrollo de una estimación cuantitativa del riesgo, basado en técnicas matemáticas que combinan la estimación de las consecuencias de un incidente y sus frecuencias. También puede definirse como la identificación y evaluación sistemática de objetos de riesgo y peligro.

ANTICICLÓN: Área de altas presiones en la que las isobaras van de menor a mayor, el aire circula en el sentido de las agujas del reloj en el hemisferio norte. Se trata de centros de dispersión de vientos. Dan lugar a un tiempo seco, soleado, frío en invierno y cálido en verano, dependiendo siempre de la época del año y de las masas de aire estancadas, en algunas ocasiones apenas hay viento.

ANTRÓPICO: Se designa a todo lo que es relativo al ser humano, por oposición a lo natural, y especialmente se aplica a todas las modificaciones que sufre la naturaleza a causa de las acciones humanas.

ÁREA DE AFECTACIÓN: Representa el área geográfica estimada que puede ser potencialmente afectada por un fenómeno natural en niveles que puede causar daños agudos a la salud o la muerte de la población.
ARIDISOLES: Tipo de suelo propio de una región seca salvo que exista una circulación subterránea o que sea sometido a riego, sus capas permanecen secas casi todo el año.

ASENTAMIENTO: Hundimiento que sufre por efecto de la acción de cargas o fuerzas que alteran el estado de equilibrio del terreno natural.

BAJA PRESIÓN: Sistema atmosférico en el que la presión desciende hacia el centro, suele ser consecuencia de una masa de aire caliente que es forzada a subir por el aire frio, dicho sistema suele ir asociado a tiempo inestable.

BASALTO: Roca volcánica oscura muy pobre en cuarzo y con plagioclasas con más del 65% de anortita.

BIOCLASTOS: En una roca, cualquier elemento fósil, entero o más frecuentemente en fragmentos, de origen animal o vegetal, que haya sido o no transportado. Este término se aplica, esencialmente, a los fragmentos de fósiles con caparazón carbonatado, e implica, en general, que los fósiles son penecontemporáneos del sedimento en el que se encuentran.

CALIZAS: Roca sedimentaria formada por carbonato de calcio.

CALOR: Energía térmica y transferencia de energía térmica.

CAMPO DE VIENTO: Es el patrón o distribución del viento dentro de la zona de influencia del ciclón tropical.

CICLO HIDROLÓGICO: Describe el movimiento del agua en la atmósfera y la tierra. Si se toma como origen el agua de lluvia que cae sobre la superficie del suelo, una parte se infiltra, otra escurre superficialmente y otra se evapora, volviendo a la atmósfera para formar nubes que los vientos desplazan y que al condensarse dan lugar a la lluvia, iniciándose de nuevo el ciclo.

CICLÓN: Zona de perturbación atmosférica caracterizada por fuertes vientos que fluyen alrededor de un centro de baja presión. En el hemisferio norte el viento circula en sentido contrario a las manecillas del reloj.

CLÁSTICOS: Sedimentos derivados de las rocas desmenuzadas, frecuentemente con algún cambio químico (del griego clastos) y se forman por la acumulación de partículas de roca fragmentada (o de fósiles)

CLIMA: en el estado más frecuente de la atmósfera propias de un lugar o región, determinado; conjunto de condiciones atmosféricas propias de un lugar o región, determinadas pos los valores medios de los elementos del clima que son: temperatura, humedad, presión, viento, ambos modificados por los factores del clima como son la latitud, longitud, el relieve, las corrientes marinas, etc.

CONDICIONES METEOROLÓGICAS: Condiciones de la atmósfera en el momento de un accidente. Se incluyen: velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad, nubosidad y radiación solar.

CONTAMINACIÓN: la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cauce desequilibrio ecológico.

CONTAMINANTE: Toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos que al incorporarse en el ambiente altere o modifique su composición y condición natural.

DEFORESTACIÓN: Pérdida de la vegetación natural de una región geográfica, producto de la actividad humana.

DEPÓSITO DE SUELO: Región donde se depositan materiales que cuentan con coherencia natural, derivada del tipo y tamaño microscópicos de las partículas individuales que los forman.

DEPÓSITOS LACUSTRES: La superficie de la tierra se transforma constantemente por efectos de la erosión. Ocasionada por la acción del viento y el agua o por eventos catastróficos como deslizamiento. Avalanchas y represamiento entre otros. Cuando la tierra rueda o es transportada por los ríos y quebradas y se deposita en el fondo de los lagos, se denomina depósito lacustre.

DEPRESIÓN TROPICAL: Etapa inicial de un ciclón tropical en la que se le asigna un número. Sus vientos son menores que los 62 Km/h.

DERRAME: es el escape de cualquier sustancia líquida o sólida en partículas o mezcla de ambas, de cualquier recipiente que lo contengan, como tuberías, equipo, tanques, camiones cisterna, carros tanque, furgones, etc.

DERRAMES: Estado en que la población de una o más entidades, sufre daño severo por el impacto de una calamidad devastadora, sea de origen natural o antropogénico, enfrentando la pérdida de sus miembros, infraestructura o entorno, de tal manera que la estructura social se desajusta y se impide el cumplimiento de las actividades esenciales de la sociedad, afectando el funcionamiento de los sistemas de subsistencia.

DIRECCIÓN DEL VIENTO: es el ángulo que forma la trayectoria del viento respecto al norte.

DOLINA: Modelado kárstico.

EPICENTRO: Punto de la superficie de la tierra resultado de proyectar sobre ésta el epicentro de un sismo. Se encuentra usualmente en un mapa, señalando el lugar justo sobre el origen del movimiento sísmico.

EROSIÓN: La remoción de suelos y partículas de roca por el viento, hielo y ríos.

ESCALA SAFFIR-SIMPSON: Es la escala potencial de daños relacionada con cinco intensidades de huracán. Determina la velocidad del viento según la categoría del huracán, adicionalmente se asigna la presión central y la marea de tormenta que corresponde a la magnitud del viento típica de cada intensidad de huracán.

ESCURRIMIENTO: Es el agua proveniente de la precipitación, circula sobre o bajo la superficie y llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

ESTRATO: Capa de suelo o de roca que se localiza en una región, originalmente en posición horizontal; en ocasiones su espesor puede ser muy variable.

EVAPORACIÓN: Proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua y se mezcla con el aire.

EVAPOTRANSPIRACIÓN: Pérdida de agua por la atmosfera como resultado de los efectos combinados de la evaporación de las plantas.

FALLA: Superficie de ruptura en roca a lo largo de la cual ha habido movimiento relativo, es decir, un bloque respecto del otro. Se habla particularmente de falla activa cuando en ella se han localizado focos de sismos o bien, se tiene evidencias de que en tiempos históricos ha habido desplazamientos. El desplazamiento total puede variar de centímetros a kilómetros dependiendo del tiempo durante el cual la falla se ha mantenido activa (años o hasta miles y miles de año) usualmente, durante un temblor grande, los desplazamientos típicos son de uno y dos metros.

FRACTURA: Ruptura de la corteza terrestre acompañado o no de un desplazamiento relativo de los bloques rocosos, también es denominada fractura.

FRACTURAMIENTO: Patrones de ruptura que determinan generalmente la consistencia de las masas rocosas. Los patrones de estabilización y fracturamiento o ruptura así como los lentes de roca muy intemperizada son los factores que controlan la consistencia de la roca.

FRENTE FRIO: Límite anterior de una masa de aire frío en movimiento. Cuando entre en contacto con una masa de aire caliente menos denso se produce una situación de inestabilidad que suele provocar fuertes lluvias.

GEOLÓGICAMENTE: la mecánica de suelos está relacionada con los materiales térreos, no consolidados, producto de la desintegración de roca, este material normalmente sobreyace a las formaciones geológicas de roca originales.

GPS (Sistema de posicionamiento global): Inicialmente corresponde a Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global) que con base en señales recibidas de satélites, permite determinar con gran precisión la ubicación de puntos en la superficie terrestre, diferencias de altura, etc. Utilizando sistemas GPS de alta resolución es posible determinar desplazamientos entre placas tectónicas, estructuras artificiales, etc.

HIDROLOGÍA: Es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación, distribución sobre y debajo de la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos.

HUMEDAD RELATIVA: Cantidad de humedad en el aire a una temperatura determinada comparada con el máximo que podría retener a esa temperatura; suele expresarse en forma de porcentaje.

HUMEDAD: Cantidad de valor de agua en la atmósfera.

HUNDIMIENTO: (en la parte alta de una ladera). Movimiento hacia abajo y hacia fuera de la roca o del material sin consolidar, como una unidad o como una serie de unidades. Se le llama también falla de pendiente.

HURACÁN: Es la etapa más crítica de un ciclón tropical, con alto grado de destrucción, después de ser tormenta tropical. El huracán tiene a su vez, cinco grados de intensidad con velocidades que varían entre los 118 y más de 250 Km/h.

INCENDIO: Fuego no controlado de grandes proporciones al que le siguen daños materiales y que puede causar lesiones o pérdidas humanas y deterioro al ambiente.

INFILTRACIÓN: Penetración de agua superficial al interior de la tierra.

INFORMACIÓN GEO-REFERENCIADA: Cualquier tipo de información que pueda ser ubicada mediante un conjunto de coordenadas geográficas con respecto a un determinado sistema de referencia.

INFRAESTRUCTURA: Datos e información geográfica que se refiere a cualquier obra hecha por el hombre ubicada en alguno de los 6 ámbitos geográficos generales del territorio nacional incluyendo la zona económica exclusiva; carreteras, localidades, puentes, presas, líneas eléctricas, redes de comunicaciones telefónicas, faros, límites políticos administrativos, demarcaciones geográficas de cualquier tipo, etc.

INTEMPERISMO: proceso de transformación y destrucción de los minerales y las rocas en la superficie de la tierra, a poca profundidad, debido a la acción de agentes físicos, químicos y orgánicos.

INTENSIDAD DE FUEGO: un término general que se refiere a la energía térmica liberada por un incendio.

INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN: es la cantidad de lluvia que se precipita en cierto tiempo (altura de precipitación por unidad de tiempo). Sus unidades son mm/h, mm/día, etc.

INUNDACIONES: acumulación de niveles extraordinarios de agua, sobre terrenos normalmente planos y de poco elevación con respecto al nivel medio del agua.

ISOBARA: línea de que une puntos de igual valor de presión atmosférica.

ISOLÍNEAS: es una curva que conecta los puntos en que la función tiene un mismo valor constante, son líneas, rectas o curvas, que describen la intersección de una superficie real o hipotética con uno o más planos horizontales.

ISOPACAS: Línea que une puntos de igual espesor de una capa

ISOSISTAS: líneas de contorno dibujadas en un mapa para separar un nivel de intensidad sísmica de otro.

ISOYETAS: son líneas que unen puntos de igual precipitación.

KARST: Macizo calcáreo afectado por el modelado.

LAHAR: es un flujo de sedimento y agua que se moviliza desde las laderas de volcanes

LAPIAZ: superficie rocosa relictíca de relieve irregular, característica del paisaje kárstico, que se produce por la erosión del agua de arroyada o de lluvia. Lenar.

LENAR: Formación rocosa de dimensiones pequeñas (de escasos decímetros) característica de zonas kársticas y solubles y que presenta una erosión superficial depresiva de la roca, debido a la acción del agua (oquedad).

LITOLÓGICAS (CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS): representa las características estratigráficas de una formación geológica o de una zona de terreno, es decir, los tipos de roca, como se presentan, tipos de grano, color y constituyentes minerales.

LITORAL: El medio existente entre los niveles más alto y más bajo de las mareas vivas. Es prácticamente un sinónimo de playa, los depósitos litorales son principalmente arenas y/o cantos rodados, algunas veces bloques y más raramente limos.

LITOSOLES: Suelos no evolucionados, como resultado de fenómenos erosivos, que se han formado sobre roca madre dura. También pueden ser resultados de la acumulación reciente de aportes aluviales. Aunque pueden ser suelos climáticos

MANGLAR: es un tipo de biomasa, formado por árboles muy tolerantes a la sal que ocupan la zona intermareal cercana a las desembocaduras de cursos de agua dulce de las costas de latitudes tropicales y subtropicales de la Tierra.

MAPEO (GEOLÓGICO): representación gráfica que intenta dar una idea general de la geología de la zona; debe incluir todos los rasgos geológicos, estructurales presentes. Generalmente hay dos fases en la preparación de mapas para estructuras específicas. En la primera se hace una investigación de reconocimiento. En esta el geólogo utiliza la brújula, tipo Brunton o semejante para medir ángulos horizontales, pendientes de laderas, rumbos y buzamientos. En la segunda fase, para más detalle, utiliza generalmente una mesa plana y una alidada (plancheta). Con estas puede establecer la situación de los contactos entre formaciones y rasgos geológicos estructurales de la zona, con un grado de exactitud razonable.

MATERIAL TERREO: material que en conjunto puede estar integrado por arcilla, limo, arena y fragmentos de roca. Generalmente se hace una distinción entre suelo y roca por el hecho de que el suelo es una masa formada por diminutas partículas que se encuentran acomodadas en la naturaleza formando una estructura esqueletal, mientras que la roca es una estructura densa con las partículas unidas justamente entre sí.

MECÁNICA DE ROCAS: es la ciencia que estudia la estabilidad de las formaciones geológicas conformadas por sedimentos consolidados, denominados roca.

MECÁNICA DE SUELOS: es la ciencia que estudia la estabilidad de las formaciones geológicas conformadas por sedimentos no consolidados (material terreo), el flujo de agua desde, hacia y a través de una masa de suelo y permite evaluar si los riesgos asociados son tolerables en términos económicos y de seguridad para la población.

METEOROLOGÍA: estudio de los fenómenos atmosféricos, de la previsión del tiempo.

NEBLINA: la suspensión de gotas de agua en el aire, que reduce la visibilidad.

NIEBLA: gotitas de agua en el aire que reducen la visibilidad a menos de 1000 metros.

NIEVE: cristales de hielo que caen de la nueves que permanecen unidos para formar copos.

NIVEL FREÁTICO: superficie más alta de la zona de saturación del agua subterránea. Es irregular, con pendiente y forma determinadas por la cantidad freática o subterránea y por la permeabilidad de las rocas. En general, bajo lomas y cerros su profundidad es menor y mayor en los valles.

NUBE: estructura formada en la baja atmosfera por el vapor de agua condensado y por partículas de hielo.

NUBOSIDAD: cantidad de nubes en el cielo, se expresa en las cartas meteorológicas como un círculo el cual es dividido en ocho partes iguales llamadas octas; por ejemplo cuando el círculo está en color negro se dice que hay octas de nubosidad y si el círculo aparece sin color es que el cielo está despejado.

NÚCLEO TERRESTRE: parte central de la tierra rodeada por el manto, compuesta de hierro y silicatos. Con base en el estudio de ondas sísmicas, se descubrió que consta de dos porciones concéntricas: una externa, que se comporta como un fluido, y una interna que es sólida.

ONDAS SÍSMICAS: perturbaciones elásticas de los materiales terrestres. Se pueden clasificar en ondas de cuerpo (P y S) y superficiales (Love y Rayleigh). Las primeras se transmiten en el interior de la tierra, en otras direcciones. Las ondas S no se propagan en medios líquidos. Las ondas superficiales muestran su máxima amplitud en la interface aire-tierra.

OROGENIA: proceso mediante el cual se desarrollan las estructuras de las montañas.

PETROCÁLCICA: fase del suelo asociada a rocas calizas donde el sedimento que conforma fundamentalmente un horizonte A incipiente es la roca madre mediana o fuertemente alterada.

PROCESOS GEOLÓGICOS: son los diversos procesos que continuamente actúan sobre la superficie de la tierra, son el aplanamiento de relieve, el diastrofismo y el vulcanismo. La gradación es la demolición de los elementos morfológicos existentes (inclusive montañas). La erosión, por ejemplo, es un caso particular del arrasamiento llevado a cabo por la acción del agua, el aire o el hielo.

REDZINAS: Suelo joven de poco espesor desarrollado sobre roca caliza, rico en carbonato cálcico.

REGOSOL: Suelos incipientes desarrollados sobre materiales poco cohesivos.

ROCA: agregado de minerales de diferentes especies en proporciones variables.

SALINIDAD: La salinidad es la cantidad de sales expresada en gramos contenida en un determinado volumen de agua de mar expresado en litros, y se suele escribir como un tanto por mil %. En el mar hay muchas sales disueltas, de las que la más común es el cloruro sódico, aunque hay pequeñas cantidades de muchas otras como el cloruro o sulfato de magnesio, sulfato de calcio, cloruro de potasio, etc.

SEDIMENTACIÓN: proceso por el cual se asienta la materia orgánica y la mineral.

SISMO: Serie de vibraciones de la superficie terrestre generadas por un movimiento brusco y repentino de las capas internas.

SUELO: material que se forma en la superficie de la tierra como resultado de procesos orgánicos. El suelo varía según el clima, la vida animal y vegetal, el tiempo, la pendiente del terreno y el material (rocoso) del que se deriva.

SUELOS AZONALES: corresponden a suelos inmaduros, que se encuentran en las primeras etapas de su desarrollo por no haber actuado los factores edafogenicos durante el tiempo suficiente (aclimáticos), en los que los caracteres predominantes son los debidos al tipo de roca madre. Son los presentes por ejemplo sobre sedimentos recientes (alóctonos), desiertos, suelos helados. Escaso o nulo desarrollo y diferenciación de horizontes.

SUELOS INTRAZONALES: son los desarrollados bajo condiciones en que predominan los factores edafogenéticos pasivos, como roca madre, pendiente, acción humana,... Son suelos aclimáticos, ya que el factor clima no es determinante en su formación, y (climácicos).

SUELOS ZONALES: desarrollados bajo la acción de los factores activos de formación del suelo, en especial el clima, durante el tiempo suficiente. Son, por tanto, climácicos y climáticos.

SUPRAMAREAL: Es la parte más alta de la playa.

SUSTANCIAS QUÍMICAS PELIGROSAS: son aquellas sustancias que por sus propiedades físicas y químicas, al ser manejadas, transportadas, almacenadas o procesadas presentan la posibilidad de riesgos a la salud, de inflamabilidad, de reactividad o peligros especiales, y pueden afectar la salud de las personas expuestas o causar daños materiales a las instalaciones.

TEMPERATURA: es la condición que determina la transmisión del calor de un cuerpo a otro: del más caliente al más frío.

TORMENTA: es un fenómeno caracterizado por la coexistencia próxima de dos o más masas de aire de diferentes temperaturas.

VIENTO: movimiento del aire de la atmósfera determinado, por su magnitud e intensidad, su dirección y sentido. La dirección y sentido se determina por medio de la veleta; la intensidad, por la velocidad del viento o por la presión que ejerce sobre una superficie normal.

ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA 1	NIVEL DE ANÁLISIS Y ESCALA CARTOGRÁFICA.	PÁGINA 12
TABLA 2	GEOMORFOLOGÍA	PÁGINA 19
TABLA 3	DISTRIBUCIÓN GEOLÓGICA DENTRO DEL POLÍGONO MUNICIPAL.	PÁGINA 21
TABLA 4	TIPOS DE SUELOS DE ACUERDO A LOS DATOS DEL INEGI	PÁGINA 24
TABLA 5	CALIDAD DEL AGUA EN LAS PRINCIPALES PLAYAS.	PÁGINA 27
TABLA 6	CLIMA DEL MUNICIPIO DE TULUM	PÁGINA 29
TABLA 7	ESTACIONES METEOROLÓGICAS.	PÁGINA 30
TABLA 8	DISTRIBUCIÓN DE VEGETACIÓN.	PÁGINA 39
TABLA 9	DISTRIBUCIÓN DE ZONAS PROTEGIDAS Y SITIO RAMSAR.	PÁGINA 43
TABLA 10	DISTRIBUCIÓN DE POBLACIÓN POR GÉNERO.	PÁGINA 45
TABLA 11	RESUMEN DEL CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN EN EL MUNICIPIO DE TULUM.	PÁGINA 46
TABLA 12	PROYECCIÓN DE POBLACIÓN.	PÁGINA 47
TABLA 13	PRINCIPALES LOCALIDADES DEL MUNICIPIO DE TULUM.	PÁGINA 48
TABLA 14	DISTRIBUCIÓN Y DENSIDAD DE POBLACIÓN 2010 (1 DE 2)	PÁGINA 49
TABLA 15	DISTRIBUCIÓN Y DENSIDAD DE POBLACIÓN 2010 (2 DE 2)	PÁGINA 50
TABLA 16	PIRÁMIDE DE EDADES 2010.	PÁGINA 52
TABLA 17	TASAS DE MORTALIDAD POR EDAD ESPECÍFICA 2010	PÁGINA 54
TABLA 18	ESCOLARIDAD DEL MUNICIPIO 2010 (1 DE 4)	PÁGINA 55
TABLA 19	ESCOLARIDAD DEL MUNICIPIO 2010 (2 DE 4)	PÁGINA 56
TABLA 20	ESCOLARIDAD DEL MUNICIPIO 2010 (3 DE 4)	PÁGINA 57
TABLA 21	ESCOLARIDAD DEL MUNICIPIO 2010 (4 DE 4)	PÁGINA 58
TABLA 22	RESUMEN DE LAS ESCUELAS EN EL MUNICIPIO DE TULUM.	PÁGINA 59
TABLA 23	VIVIENDA, EQUIPAMIENTO, POBREZA Y MARGINACIÓN 2010 (1 DE 3)	PÁGINA 61
TABLA 24	VIVIENDA, EQUIPAMIENTO, POBREZA Y MARGINACIÓN 2010 (2 DE 3)	PÁGINA 62
TABLA 25	VIVIENDA, EQUIPAMIENTO, POBREZA Y MARGINACIÓN 2010 (3 DE 3)	PÁGINA 63
TABLA 26	NACIMIENTOS AÑO 2010	PÁGINA 66
TABLA 27	POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA.	PÁGINA 68
TABLA 28	RESUMEN DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA DEL INEGI.	PÁGINA 70
TABLA 29	MEDICOS POR CADA 1000 HABITANTES.	PÁGINA 71
TABLA 30	TASA DE MOSTALIDAD INFANTIL.	PÁGINA 71
TABLA 31	PORCENTAJE DE POBLACIÓN NO DERECHOHABIENTE.	PÁGINA 71
TABLA 32	PORCENTAJE DE ANALFABETISMO	PÁGINA 72
TABLA 33	PORCENTAJE DE POBLACIÓN QUE ASISTE A LA ESCUELA.	PÁGINA 72
TABLA 34	GRADO PROMEDIO DE ESCOLARIDAD	PÁGINA 72
TABLA 35	VIVIENDAS SIN AGUA ENTUBADA.	PÁGINA 73
TABLA 36	VIVIENDAS SIN DRENAJE	PÁGINA 73
TABLA 37	VIVIENDAS QUE NO CUENTAN CON ELECTRICIDAD	PÁGINA 73

TABLA 38	VIVIENDAS CON PISO DE TIERRA.	PÁGINA 74
TABLA 39	DEFICIT DE VIVIENDA	PÁGINA 74
TABLA 40	PORCENTAJE DEL PEA QUE RECIBE MENOS DE DOS SALARIOS	PÁGINA 74
TABLA 41	TAZA DE DESEMPLEO.	PÁGINA 75
TABLA 42	RAZON DE DEPENDENCIA DE LA PEA	PÁGINA 75
TABLA 43	POBLACION PREDOMINANTEMENTE INDIGENA	PÁGINA 75
TABLA 44	DENSIDAD DE POBLACIÓN	PÁGINA 76
TABLA 45	DISPERSIÓN DE POBLACIÓN	PÁGINA 76
TABLA 46	VULCANISMO.	PÁGINA 80
TABLA 47	SISMOS REPORTADOS POR EL SERVICIO SISMOLÓGICO NACIONAL CON EPICENTRO EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO, ENTRE LOS AÑOS 1998 Y 2015.	PÁGINA 81
TABLA 48	EVIDENCIAS SÍSMICAS EN EL MUNICIPIO DE TULUM.	PÁGINA 83
TABLA 49	CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LA EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA ORIENTAL DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN.	PÁGINA 84
TABLA 50	EVIDENCIAS TSUNAMIS EN EL MUNICIPIO DE TULUM.	PÁGINA 50
TABLA 51	EVIDENCIAS DE DESLIZAMIENTO EN EL MUNICIPIO DE TULUM.	PÁGINA 93
TABLA 52	EVIDENCIAS DE FLUJOS EN EL MUNICIPIO DE TULUM.	PÁGINA 93
TABLA 53	EVIDENCIAS DE DERRUMBES O CAÍDOS EN EL MUNICIPIO DE TULUM.	PÁGINA 96
TABLA 54	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD POR DERRUMBES O CAÍDOS.	PÁGINA 97
TABLA 55	EVIDENCIA DE CREEP O REPTACIÓN.	PÁGINA 98
TABLA 56	EVIDENCIA DE AVALANCHA DE DETRITOS.	PÁGINA 98
TABLA 57	EVIDENCIAS DE HUNDIMIENTO EN EL MUNICIPIO DE TULUM.	PÁGINA 102
TABLA 58	EVIDENCIAS DE VULNERABILIDAD POR HUNDIMIENTO EN EL MUNICIPIO DE TULUM.	PÁGINA 102
TABLA 59	EVIDENCIA DE FALLAS Y FRACTURAS EN EL MUNICIPIO DE TULUM.	PÁGINA 105
TABLA 60	EVIDENCIAS DE EROSIÓN HÍDRICA.	PÁGINA 106
TABLA 61	EVIDENCIAS DE EROSIÓN EÓLICA.	PÁGINA 106
TABLA 62	TABLA DE EVIDENCIAS POR EROSIÓN.	PÁGINA 110
TABLA 63	INDICADORES DE VULNERABILIDAD.	PÁGINA 111
TABLA 64	EVIDENCIAS DE LA EROSIÓN KÁRSTICA.	PÁGINA 114
TABLA 65	EVIDENCIAS DE VULNERABILIDAD POR EROSIÓN KÁRSTICA.	PÁGINA 1115
TABLA 66	TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS PARA EL MUNICIPIO DE TULUM.	PÁGINA 119
TABLA 67	EVIDENCIA DE VULNERABILIDAD POR LAS ONDAS CÁLIDAS Y GÉLIDAS.	PÁGINA 112
TABLA 68	REGISTROS HISTÓRICOS.	PÁGINA 112
TABLA 69	PELIGRO POR SEQUIAS	PÁGINA 126
TABLA 70	EVIDENCIAS DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS.	PÁGINA 127
TABLA 71	EVIDENCIAS DE TORMENTAS DE GRANIZO	PÁGINA 128
TABLA 72	REGISTRO DE DÍAS CON GRANIZO, FUENTE: SMN	PÁGINA 129
TABLA 73	EVIDENCIAS DE TORMENTAS DE NIEVE	PÁGINA 130
TABLA 74	CLASIFICACIÓN DE LOS CICLONES TROPICALES DE SAFFIR-SIMPSON	PÁGINA 143
TABLA 75	AMENAZA POR PRESENCIA DE HURACANES	PÁGINA 146

TABLA 76	EVIDENCIAS DE PRESENCIA DE TORNADOS	PÁGINA 147
TABLA 77	REGISTROS DE DÍAS CON TORMENTAS ELÉCTRICAS, SMN	PÁGINA 149
TABLA 78	EVIDENCIAS DE TORMENTAS ELECTRICAS	PÁGINA 146
TABLA 79	EVIDENCIAS DE LLUVIAS EXTREMAS	PÁGINA 151
TABLA 80	EVIDENCIAS DE INUNDACIÓN.	PÁGINA 155
TABLA 81	ÁREAS Y PORCENTAJES DE ZONAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN, COMPARADA CONTRA EL ÁREA TOTAL DEL MUNICIPIO.	PÁGINA 155
TABLA 82	ÁREAS Y PORCENTAJES DE ÁREAS DE VULNERABILIDADES.	PÁGINA 155
TABLA 83	EVIDENCIAS POR LA PRESENCIA DE VIENTOS	PÁGINA 157
TABLA 84	CLASES DE VARIABLES DEL RIESGO	PÁGINA 164
TABLA 85	ETAPAS EN EL ANÁLISIS DEL RIESGO	PÁGINA 164
TABLA 86	SISTEMA TEMPORAL/ESPACIAL DEL RIESGO	PÁGINA 166
TABLA 87	MATRIZ DE EVALUACIÓN OPERATIVA DE LOS SISTEMAS MORFOGENÉTICOS EN TULUM, QUINTANA ROO	PÁGINA 168
TABLA 88	FENÓMENOS PERTURBADORES NATURALES	PÁGINA 171
TABLA 89	FENÓMENOS PERTURBADORES NATURALES	PÁGINA 172
TABLA 90	PROCESOS PERTURBADORES Y SUS RANGOS DE PELIGROSIDAD	PÁGINA 173
TABLA 91	PROCESOS PERTURBADORES Y SU RANGO DE VULNERABILIDAD	PÁGINA 179
TABLA 92	PROCESOS PERTURBADORES Y SU RANGO DE RIESGO	PÁGINA 181
TABLA 93	TABLA DE RESUMEN DE AFECTACIONES POR POBLACIÓN Y VIVIENDA DE LOS DIFERENTES FENÓMENOS	PÁGINA 185

INDICE DE MAPAS.

MAPA 1	MAPA BASE MUNICIPIO DE TULUM	PÁGINA 12
MAPA 2	MAPA BASE URBANO MUNICIPIO DE TULUM	PÁGINA 14
MAPA 3	MAPA DE LAS PROVINCIA FISIOGRÁFICA DEL MUNICIPIO DE TULUM	PÁGINA 16
MAPA 4	MAPA DE LAS SUBPROVINCIAS FISIOGRÁFICAS DEL MUNICIPIO DE TULUM	PÁGINA 17
MAPA 5	MAPA DE GEOMORFOLOGÍA MUNICIPIO DE TULUM	PÁGINA 19
MAPA 6	MAPA DE GEOLOGÍA MUNICIPIO DE TULUM	PÁGINA 22
MAPA 7	MAPA DE EDAFOLOGÍA MUNICIPIO DE TULUM	PÁGINA 24
MAPA 8	MAPA DE HIDROGRAFÍA MUNICIPIO DE TULUM	PÁGINA 27
MAPA 9	MAPA DE CLIMA DEL MUNICIPIO DE TULUM	PÁGINA 35
MAPA 10	MAPA DE VEGETACIÓN DEL MUNICIPIO DE TULUM	PÁGINA 37
MAPA 11	MAPA DE LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DEL MUNICIPIO DE TULUM	PÁGINA 41
MAPA 12	MAPA DE SITIO RAMSAR DEL MUNICIPIO DE TULUM	PÁGINA 43
MAPA 13	MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE POBLACIÓN ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TULUM	PÁGINA 50
MAPA 14	MAPA DE POBLACIÓN CON DISCAPACIDAD DEL MUNICIPIO DE TULUM	PÁGINA 59
MAPA 15	PLANO DE VIVIENDAS CON PISO DE TIERRA EN ZONA URBANA MUNICIPIO DE TULUM	PÁGINA 63
MAPA 16	MAPA DE MARGINACIÓN DE MUNICIPIO DE TULUM	PÁGINA 64

MAPA 17	MAPA DE HACINAMIENTO MUNICIPIO DE TULUM	PÁGINA 68
MAPA 18	MAPA GRADO DE MARGINACIÓN POR POBLACIÓN EN EL MUNICIPIO DE TULUM	PÁGINA 77
MAPA 19	REGIONALIZACIÓN SÍSMICA DE MÉXICO SEGÚN CFE, ASÍ MISMO, SE MUESTRAN LOS CINCO EPICENTROS SÍSMICOS OBTENIDOS DE LA REVISIÓN DOCUMENTAL REALIZADA PARA ELABORAR EL PRESENTE ATLAS.	PÁGINA 82
MAPA 20	MAPA DE LA ZONA GENERADORA Y RECEPTORA DE TSUNAMIS	PÁGINA 91
MAPA 21	MORFOLOGÍA QUE CONFORMA AL RELIEVE DEL MUNICIPIO DE TULUM	PÁGINA 92
MAPA 22	MAPA DE ÍNDICE DE EXPOSICIÓN POR DERRUMBES O CAÍDOS.	PÁGINA 95
MAPA 23	MAPA DE ÍNDICE DE EXPOSICIÓN POR HUNDIMIENTO	PÁGINA 100
MAPA 24	MAPA DE ÍNDICE DE EXPOSICIÓN POR FALLAS Y FRACTURAS DEL MUNICIPIO DE TULUM	PÁGINA 104
MAPA 25	MAPA DE ÍNDICE DE EXPOSICIÓN POR EROSIÓN MARINA	PÁGINA 109
MAPA 26	MAPA DE AMENAZA POR EROSIÓN MARINA	PÁGINA 112
MAPA 27	MAPA DE ÍNDICE DE EXPOSICIÓN POR EROSIÓN KÁRSTICA	PÁGINA 116
MAPA 28	MAPA DE TEMPERATURAS MÍNIMAS	PÁGINA 120
MAPA 29	MAPA DE TEMPERATURAS MÁXIMAS EXTREMAS	PÁGINA 121
MAPA 30	MAPA DE SEQUÍAS METEOROLÓGICAS	PÁGINA 125
MAPA 31	GRADO DE PELIGRO POR SEQUIAS	PÁGINA 126
MAPA 32	TRAYECTORIA DE HURACANES QUE AFECTARON AL ESTADO DE QUINTANA ROO	PÁGINA 144
MAPA 33	AMENAZA POR PRESENCIA DE CICLONES	PÁGINA 145
MAPA 34	PELIGRO POR DÍAS CON PRESENCIA DE TORMENTAS ELÉCTRICAS	PÁGINA 150
MAPA 35	ÍNDICE DE EXPOSICIÓN POR LLUVIAS EXTREMAS	PÁGINA 152
MAPA 36	ÍNDICE DE EXPOSICIÓN POR INUNDACIÓN	PÁGINA 153
MAPA 37	AMENAZA POR INUNDACIÓN	PÁGINA 154
MAPA 38	MAPA DE VIENTOS CON CONDICIONES EXTREMAS	PÁGINA 158
MAPA 39	VIENTOS EXTREMOS EXTRAORDINARIOS	PÁGINA 159

INDICE DE IMÁGENES.

FIGURA 1	ESTRATIGRAFIA DEL SUBSUELO	PÁGINA 22
FIGURA 2	CENOTE CALAVERA	PÁGINA 26
FIGURA 3	UBICACIÓN DE LOS VOLCANES	PÁGINA 80
FIGURA 4	CONDICIONES GEOLÓGICAS ESTRUCTURALES	PÁGINA 84
FIGURA 5	ARRIBO, EVOLUCIÓN Y EFECTOS DE LOS TSUNAMIS.	PÁGINA 87
FIGURA 6	LLEGADA DE LOS TSUNAMIS A LA COSTA	PÁGINA 88
FIGURA 7	TRAYECTORIA DE HURACANES 2002	PÁGINA 131
FIGURA 8	TRAYECTORIA DE HURACANES 2003	PÁGINA 132
FIGURA 9	TRAYECTORIA DE HURACANES 2004	PÁGINA 133

FIGURA 10	TRAYECTORIA DE HURACANES 2005	PÁGINA 135
FIGURA 11	TRAYECTORIA DE HURACANES 2006	PÁGINA 135
FIGURA 12	TRAYECTORIA DE HURACANES 2008	PÁGINA 137
FIGURA 13	TRAYECTORIA DE HURACANES 2009	PÁGINA 138
FIGURA 14	TRAYECTORIA DE HURACANES 2010	PÁGINA 139
FIGURA 15	TRAYECTORIA DE HURACANES 2011	PÁGINA 140
FIGURA 16	IMAGEN DE SATÉLITE	PÁGINA 141
FIGURA 17	TRAYECTORIA FINAL DE LA TORMENTA TROPICAL “HELENE”	PÁGINA 142
FIGURA 18	VIENTOS NORMALES	PÁGINA 156
FIGURA 19	LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES REGIONALES	PÁGINA 176
FIGURA 20	BLOQUES ESTRUCTURALES CON MOVILIDAD	PÁGINA 177

=ANEXOS=