Atlas de Riesgo del Municipio de Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo - 2018

Fecha: 18 de Octubre 2018

Versión2.0

Centro de Información Geográfica

División de Ciencias e Ingeniería

Universidad de Quintana Roo

Boulevard Bahía S/N, Esq. Ignacio Comonfort

Chetumal, Quintana Roo, Méx.

Tel: (983) 8350374

cig@uqroo.edu.mx

Contenido

1. Introducción 5
2. Antecedentes 5
3. Objetivo 6
4. Alcances 6
5. Marco teórico 6
5.2 Determinación de niveles de análisis y escalas de representación cartográfica. 7
5.3 Caracterización de los elementos del medio físico 7
5.3.1 Fisiografía 7
5.3.2 Geomorfología 8
5.3.4 Edafología 9
5.3.5 Hidrografía, cuencas y subcuencas 9
5.3.6 Cuerpos de agua 10
5.3.7 Corrientes de agua 10
5.3.8 Dolinas y Cenotes 11
5.3.9 Clima 11
5.3.10 Uso de suelo y vegetación 13
5.3.11 Áreas Naturales Protegidas 13
5.4 Caracterización de los elementos sociales, económicos y demográficos 14
5.4.1 Dinámica demográfica 14
5.4.1.1 Proyección al 2010 - 2030 (por municipio y por localidad según CONAPO) 14
5.4.1.2 Distribución de población (por localidad) 14
5.4.1.3 Composición por edad y sexo 15
5.4.1.4 Densidad de la población (por manzana en zonas urbanas) 15
5.4.2 Características sociales 15
5.4.2.1 Población con discapacidad (población con limitación en la actividad) por localidad 15
5.4.2.2 Población que habla alguna lengua indígena y no habla español 16
5.4.2.3 Porcentaje de población de habla indígena 16
5.4.2.4 Salud (población sin derechohabiencia, médicos por cada mil habitantes y tasa de mortalidad) 16
5.4.2.5 Pobreza 16
5.4.2.6 Hacinamiento (promedio de ocupantes por cuarto) 17
5.4.2.7 Marginación 17
5.4.3 Características de la vivienda 17
5.4.3.1 Viviendas con materiales de construcción 17
5.4.3.2 Disponibilidad de servicios en la vivienda 18
5.4.3.3 Déficit de vivienda 18
5.4.4 Características económicas 18
6. Identificación de la susceptibilidad y los peligros ante fenómenos perturbadores de origen natural. 21
6.1 Metodología 21
6.1.1 Vulcanismo 21
6.1.2 Sismicidad 22
6.1.3 Procesos de Remoción en Masa (Deslizamientos, Flujos y Caídos o Derrumbes) 23
6.1.3.1 Susceptibilidad y Peligro 23
6.1.3.2 Cálculo de la susceptibilidad del terreno de Felipe Carrillo Puerto 25
6.1.4 Hundimientos 28
6.1.4.1 Susceptibilidad y Peligro 28
6.1.5 Subsidencias 30
6.1.5.1 Susceptibilidad y Peligro 30
6.1.6. Agrietamientos 32
6.1.6.1. Susceptibilidad 32
6.1.7 Fenómenos hidrometeorológicos 33
6.1.7.1. Ciclones tropicales, depresión tropical, tormenta tropical 33
6.1.7.2 Metodología para estimar el peligro por huracanes 38
7. Referencias 40
8. Bibliografía 40
9. Glosario 41

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Comunidades afectadas por lluvias en el municipio de Felipe Carrillo Puerto....5
Tabla 2. Declaratorias de desastre emergencia y contingencia climatológica para el municipio de Felipe Carrillo Puerto [1] 6
Tabla 3. Escalas y niveles de análisis para el manejo de mapas del Atlas Geológicos. 7
Tabla 4. Escalas y niveles de análisis para el manejo de mapas del Atlas Hidrometeorológicos....7
Tabla 5. Principales cuerpos de agua 10
Tabla 6. Análisis comparativo de la población de la Entidad con respecto al Municipio. 14
Tabla 7. Proyección de la población para el municipio de Felipe Carrillo Puerto y sus principales localidades, 2010 – 2030. 14
Tabla 8. Tasa de distribución anual de población por localidad del municipio de Felipe Carrillo Puerto....14
Tabla 9. Distribución de la población por tipo de localidad municipio de Felipe Carrillo Puerto 15
Tabla 10. Composición por edad y sexo del Municipio de Felipe Carrillo Puerto, 2010....15
Tabla 11. Densidad de población 15
Tabla 12. Población total de las principales localidades del municipio de Felipe Carrillo Puerto según condición de discapacidad. 16
Tabla 13. Lengua indígena más frecuente en el municipio de Felipe Carrillo Puerto....16
Tabla 14. Tasa de mortalidad por edad especifica 16
Tabla 15. Distribución de viviendas con 1 cuarto. Municipio de Felipe Carrillo Puerto....17
Tabla 16. Hacinamiento de las principales localidades del municipio de Felipe Carrillo Pto. 17
Tabla 17. Índice y grado de marginación del municipio de Felipe Carrillo Puerto 17
Tabla 18. Grado de marginación por localidad del municipio de Felipe Carrillo Puerto....17
Tabla 19. Deficiencia en la cobertura en servicios básicos en la vivienda del municipio de Felipe Carrillo Puerto 18
Tabla 20. Población ocupada y su distribución porcentual según división ocupacional 18
Tabla 21. Población ocupada y su distribución porcentual según sector de actividad económica....19
Tabla 22. Población ocupada y su distribución porcentual según ingreso por trabajo....19
Tabla 23. Espacios culturales registrados por la Secretaría de Cultura Serie al 31 de Diciembre de 2016....19
Tabla 24. Centros y unidades deportivas registradas en la Comisión para la Juventud y el Deporte de Quintana Roo, al 31 de Diciembre de 2016. 19
Tabla 25. Establecimientos de hospedaje registrados al 31 de diciembre de 2016 19
Tabla 26. Establecimientos al 31 de diciembre de 2016....19
Tabla 27. Unidades médicas de las instituciones del sector público de salud....19
Tabla 28. Unidades de gasolineras en el municipio 19
Tabla 29. Volcanes activos en la región sureste de México y norte de Cenetroamérica 21
Tabla 30. Factores topográficos e históricos. 25
Tabla 31. Factores geológicos y geotécnicos. 25
Tabla 32. Factores geomorfológicos y ambientales. 25
Tabla 33. Escala de valor para el cálculo de deslizamiento de laderas....25
Tabla 34. Asignación de pesos en cada zona identificada y analizada 28
Tabla 35. Tipos de subsidencia (Tomás, et al., 2009). 31
Tabla 36.Escala Saffir-Simpson 35
Tabla 37. Trayectorias históricas de los ciclones tropicales que impactaron el municipio de Felipe Carrillo Puerto 1870 - 2017....36
Tabla 38. Cambios en la escala Saffir-Simpson 43
Tabla 39. Escala de Huracanes Saffir-Simpson 44
Tabla 40. Escala ampliada de Huracanes Saffir-Simpson 45

ÍNDICE DE MAPAS.

Mapa 1. Mapa Base 6
Mapa 2. Fisiografía....8
Mapa 3. Geomorfología 8
Mapa 4. Geología 9
Mapa 5. Edafología 9
Mapa 6. Red Hidrográfica 10
Mapa 7. Hidrografía 10
Mapa 8. Climatología 11
Mapa 9. Escenario Temperatura 12
Mapa 10. Escenario Precipitación 12
Mapa 11. Escenario Sequía 13
Mapa 12. Uso de Suelo y Vegetación 13
Mapa 13. Áreas Naturales Protegidas....14
Mapa 14. Volcanes activos más cercanos al municipio de FCPrto 21
Mapa 15. Límite de placas 22
Mapa 16. Sismos importarte para la República Mexicana en 2017 22
Mapa 17. Fosa de las Caimán 22
Mapa 18. Regionalización sísmica de la República Mexicana 22
Mapa 19. Sismos cercanos al municipio registrados por el SSN....22
Mapa 20. Aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 10 años....22
Mapa 21. Aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 100 años. 23
Mapa 22. Aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 500 años. 23
Mapa 23. Aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 1000 años. 23
Mapa 24. Inclinación de taludes. 26
Mapa 25. Orientación de laderas....26
Mapa 26. Altura del terreno. 26
Mapa 27. Tipo de suelo y rocas....27
Mapa 28. Vegetación y uso de suelo....27
Mapa 29. Regimen de inundación. 27
Mapa 30. Susceptibilidad de laderas. 28
Mapa 31. Zonificación de susceptibilidad de peligro por hundimientos para el municipio de Felipe Carrillo Puerto. 30

Mapa 32. Zonificación de susceptibilidad de peligro por subsidencia para el municipio de Felipe Carrillo Puerto. 32
Mapa 33. Zonificación de susceptibilidad de peligro por agrietamientos parael municipio de Felipe Carrillo Puerto. 33
Mapa 34.Trayectoria de huracanes y fenómenos tropicales (1870 – 2017) que han afectado al municipio de Felipe Carrillo Puerto.....36
Mapa 35. Índice de Peligro por Ciclones Tropicales. 37
Mapa 36. Período de retorno por intensidad: Huracán Tormentas Tropicales. .37
Mapa 37. Período de retorno por intensidad: Depresiones Tropicales.....37
Mapa 38. Período de retorno por intensidad: Huracán Categoría 2 38
Mapa 39. Período de retorno por intensidad: Huracán Categoría 3 38
Mapa 40. Período de retorno por intensidad: Huracán Categoría 4 38
Mapa 41. Metodología Peligro por Huracanes.....39

ÍNDICE DE GRÁFICAS.

Gráfica 1. Análisis comparativo de la población de la Entidad con respecto al Municipio. 14
Gráfica 2. Distribución de la población de 15 años y más según nivel de escolaridad 15
Gráfica 3. Distribución porcentual de la población con discapacidad por tipo de limitación del municipio de Felipe Carrillo Puerto.....16
Gráfica 4. Población sin derechohabiencia de las principales localidades del municipio de Felipe Carrillo Puerto 16
Gráfica 5. Pobreza del municipio de Felipe Carrillo Puerto 17
Gráfica 6. Viviendas con materiales de construcción.....17
Gráfica 7. Disponibilidad de servicios en la vivienda 18
Gráfica 8. Población económicamente activa según sexo del municipio de Felipe Carrillo Puerto 18

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Tipos de deslizamientos: A) los caídos de rocas o B) derrumbes obedecen mayoritariamente a pendientes muy fuertes o acantilados (Highland y Bobrowsky, 2008). 23
Figura 2. Tipos de deslizamientos: A) los deslizamientos rotacionales y B) traslacionales definen su ocurrencia por el comportamiento de la superficie de falla del material remanente de una pendiente (Highland y Bobrowsky, 2008). 24
Figura 3. Tipos de deslizamientos: Los flujos o avalanchas dependen de la saturación del suelo por un fluido, por su parte el creep, es un movimiento sumamente lento pero persistente de suelo aparentemente sin una superficie de falla bien definida (Highland y Bobrowsky, 2008)...24
Figura 4. Un lahar hace referencia a una avalancha de productos volcánicos, al ser un flujo en su mayoría busca los cauces de los ríos para seguir su trayectoria. Pueden ser fríos o calientes, dependiendo de la condiciones volcánicas así como del material que arrastre, altamente destructivos debido a la gran velocidad que toman y a su alta densidad. 24
Figura 5. El modelado kárstico. 29
Figura 6. Dolinas de punto de recarga (1), dolinas de depresión (2) y dolinas de nacimiento (3). 29
Figura 7. De izquierda a derecha se ve cómo el agua va ensanchando cada vez más la cueva por efecto de disolución. Después el material empezó a caer por gravedad e irse por un conducto. Finalmente, cuando los techos de las dolinas son muy delgados, colapsan y dejan un hermoso cenote; claro que el agua que se infiltra por el techo también lo vuelve más frágil. El triángulo significa nivel freático. 29
Figura 8. Se aprecia el agua dulce sobre el agua salada, se marca el nivel freático. Se puede observar también una dolina que no ha colapsado y otra ya abierta. 29
Figura 9. La subsidencia puede darse por actuación antrópica, como es la situación de labores mineras.....31
Figura 10. Deformaciones verticales del terreno a causa del riesgo de subsidencia, que pueden variar desde pocos milímetros hasta varios metros durante periodos que varían desde minutos hasta años 31
Figura 11. Subsidencia por erosión. 31
Figura 12. Formación de ciclones tropicales en el mundo.....33
Figura 13. Organización de los fenómenos atmosféricos en latitudes tropicales. 34
Figura 14. Anatomía de un huracán 34

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Cenote "Ts'onoot Ja'as", ubicado en la localidad de Francisco I. Madero al norte del municipio de Felipe Carrillo Puerto, ejemplos de dolinas que han colapsado. 29
Imagen 2. Dolina aún sin colapsar, ubicada en la localidad de San Hipólito al norte del municipio de Felipe Carrillo Puerto, debajo del área ocupada por el pozo y parque infantil. 30
Imagen 3. Dolinas colapsadas, cenotes que se ubican en las localidades de Kankabdzonot (izquierda) y San Antonio Nuevo (derecha) en el municipio de Felipe Carrillo Puerto. 30

ANEXOS.

Anexo 1. Escala de Huracanes Saffir-Simpson.....43

1. Introducción

Uno de los propósitos fundamentales del gobierno federal es la reducción del riesgo por desastres a través de la identificación y medición de los fenómenos perturbadores de origen n natural. Para ello, la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) implementó el Programa de Prevención de Riesgos en los Asentamientos Humanos (PRAH). Este programa busca mitigar los efectos de los fenómenos perturbadores de origen natural y químico-tecnológico, y evitar la ocupación del suelo en zonas no aptas para los asentamientos humanos.

La elaboración de este Atlas de Riesgos forma parte de las actividades que el Programa de Prevención de Riesgos en los Asentamientos Humanos 2018 señala como prioritarias dentro de los municipios de la República Mexicana. Este Atlas contribuye con la visión y los propósitos del Programa de Desarrollo Municipal 2016–2018 sustentados en su quinto eje rector que busca llevar a cabo un crecimiento ordenado con sustentabilidad ambiental.

Este Atlas de Riesgo está compuesto por un conjunto de mapas de los fenómenos perturbadores (peligros) y de los riesgos naturales con las condiciones de vulnerabilidad de la población e infraestructura estratégica. Los mapas cuentan con una serie de capas relacionadas entre sí que representan la magnitud y ubicación del peligro o del riesgo para un sistema afectable. Inicialmente se hace una descripción del área de estudio (municipio de Felipe Carrillo Puerto); más adelante se describen y analizan los fenómenos perturbadores que podrían presentarse en el área de estudio; se caracterizan los elementos sociales, económicos y demográficos, es decir los elementos vulnerables ante la presencia de fenómenos perturbadores; en último capítulo se identifica el riesgo ante fenómenos perturbadores a partir de la integración y análisis de los elementos descritos en los capítulos anteriores.

Para la realización de este atlas, primero, se diseñó y construyó un Sistema de Información Geográfica (SIG) que integra los elementos de peligro, vulnerabilidad y riesgo. Los dos primeros a partir de datos base, y el último sistema a partir de los resultados derivados de un análisis espacial. Los mapas que integran el Atlas, fueron creados a partir de este SIG. Las bases de datos espaciales creadas pueden ser consultadas y actualizadas desde cualquier programa de cómputo de SIG.

Las principales fuentes de datos para este estudio fueron INEGI, COESPO, CONAPO, CONABIO, CONAGUA, SCT. Por otra parte, diversas dependencias del gobierno municipal aportaron datos muy valiosos y significativos. De igual manera, se desarrolló trabajo y levantamiento en campo para corroborar, corregir y actualizar datos de infraestructura urbana (gasolineras, escuelas y edificios públicos). Los límites de las zonas urbanas de las localidades fueron actualizados a partir de imágenes de satélite y fotografía aérea.

Los mapas generados tienen una escala 1:210,000 cuando el tema presentado está fuera de la cabecera municipal, para la cual se usa una escala de 1:50,000; están divididos en tres diferentes temáticas: la primera corresponde a las características naturales del medio físico (Fisiografía, Geología, Geomorfología, Edafología, Hidrología, Climatología, Uso de Suelo y Vegetación y Áreas Naturales Protegidas). Posteriormente se presenta el conjunto de peligros “Geológicos e Hidrológicos”, en donde se muestran las áreas de ocurrencia ante cada fenómeno natural a escala 1:210,000 y 1:50,000, según corresponda. Enseguida se muestran los mapas de vulnerabilidad calculados a partir de variables socioeconómicas en las localidades dentro del área del municipio. Por último, se muestran los mapas de riesgos determinados en base al peligro y vulnerabilidad, zonificando por grado de impacto para cada fenómeno perturbador. Para estos últimos mapas se representaron algunos fenómenos como huracanes o tormentas tropicales a una escala de 1:210,000 por ser eventos de grandes dimensiones; mientras que otros fenómenos más locales como inundaciones, se representan a una escala de 1:50,000. Adicionalmente se incluyen como anexos los metadatos, memoria fotográfica, fichas de campo y demás información de apoyo empleada para la conformación de este documento.

2. Antecedentes

El municipio de Felipe Carrillo Puerto se encuentra en la trayectoria de los sistemas hidrometeorológicos que se forman en el océano Atlántico y que atraviesan por el Mar Caribe. En 2007, con el paso del huracán Dean, las actividades agropecuarias del municipio se vieron afectadas, principalmente con la pérdida de cosechas.

Las lluvias severas han afectado en repetidas ocasiones al municipio, tal como sucedió el 8 de agosto de 2012 cuando una lluvia torrencial provocada por el paso del huracán Ernesto afectó los sectores agropecuarios, acuícola y pesquero del municipio. Para ese evento el Fondo de Desastre Naturales (FONDEN) refiere que se gastaron 123 millones en la reparación de daños a las vías de comunicación terrestres en el Estado de Quintana Roo.

De igual forma, en el municipio el día 15 de junio de 2018, se presentó una precipitación que alcanzó un acumulable de 225 mm, lo que ocasionó daños severos en varias comunidades del municipio y en sus principales vías de comunicación.

Tabla 1. Comunidades afectadas por lluvias en el municipio de Felipe Carrillo Puerto

Comunidad	Precipitación	Población afectada
Noh Cancab	Cierre de tramo carretero con un paso de agua de 50 m aproximadamente de longitud con un nivel de agua acumulada de un 1 metro de altura sobre la carretera.	Sin datos
Chumpón	Cierre de tramo carretero entronque aproximadamente a 1 km de la carretera federal el primer paso de agua con una longitud de 900 metros con un nivel de altura sobre la carretera de 80 cm. El segundo tramo carretero paso aproximadamente a 2 km de la comunidad con una longitud de 3 km paso del agua sobre la carretera con un nivel de 1,10 m. El agua en algunas partes llegaba al techo considerando que son de material de la región. El agua alcanzó un promedio de 1.80 m.	70 casas fueron afectadas. La población se refugió en la casa ejidal y en la iglesia acudiendo un promedio de 12 familias. Dentro de la comunidad se vieron afectadas 70 viviendas por inundación con un nivel que llego a 4.10 metros, con una población afectada de 150 personas por lo que se tuvo que habilitar 4 refugios albergando la población afectada en mención.
San Silverio	Sin datos	Población afectada de 120 personas y 100 viviendas con daños
Chunes	Se vio afectada por el corte de tramo carretero por paso de agua sobre la carretera	Sin datos

Ante estos acontecimientos se tuvo la colaboración del Plan Marina y se pudo realizar el traslado de 27 familias, así como algunos se trasladaron con familiares cercanos.

En la Mapa 2 se listan las declaratorias de emergencia registradas desde al año 2000.

Tabla 2. Declaratorias de desastre emergencia y contingencia climatológica para el municipio de Felipe Carrillo Puerto [1]

Fecha de publicación	Fecha de ocurrencia	Tipo de declaratoria	Tipo de fenómeno	Clasificación del fenómeno	Observaciones
03/08/2018	23 al 26 de julio, 2018	Emergencia extraordinaria	Onda cálida	Hidrometeorológicos	Onda cálida
26/06/2018	14 al 15 de junio, 2018	Desastre	Lluvias	Hidrometeorológicos	Lluvia severa
07/06/2018	28 de mayo, 2018	Emergencia extraordinaria	Onda cálida	Hidrometeorológicos	Onda cálida
07/06/2018	21 al 28 de mayo, 2018	Desastre	Inundación	Hidrometeorológicos	Inundación costera
26/10/2015	16, 17 y 18 de octubre, 2015	Desastre	Lluvias	Hidrometeorológicos	Lluvia severa
26/10/2015	16 y 17 de octubre, 2015	Emergencia	Lluvias	Hidrometeorológicos	Lluvia severa
23/06/2015	13 y 14 de junio, 2015	Emergencia	Lluvias	Hidrometeorológicos	Lluvia severa
22/06/2015	13 y 14 de junio, 2015	Desastre	Lluvias	Hidrometeorológicos	Lluvia severa y vientos fuertes
07/10/2013	14,15 y 16 de septiembre, 2013	Emergencia	Lluvias	Hidrometeorológicos	Lluvia severa
22/10/2012	8 de agosto, 2012	Contingencia climatológica	Ciclón Tropical	Hidrometeorológicos	Huracán “Ernesto”.
22/08/2012	8 de agosto, 2012	Desastre	Lluvias	Hidrometeorológicos	Huracán “Ernesto”
05/09/2007	20 y 21 de agosto, 2007	Desastre	Ciclón Tropical	Hidrometeorológicos	Huracán “Dean”
28/08/2007	17 de agosto, 2007	Emergencia	Ciclón Tropical	Hidrometeorológicos	Huracán “Dean”
28/11/2005	21 y 22 de octubre, 2005	Desastre	Ciclón Tropical	Hidrometeorológicos	Ciclón Tropical "Wilma"
02/11/2005	20 de octubre, 2005	Emergencia	Ciclón Tropical	Hidrometeorológicos	Huracán "Wilma"
29/07/2005	17 de julio, 2005	Emergencia	Ciclón Tropical	Hidrometeorológicos	Huracán "Emily"
15/10/2004	15 de septiembre, 2004	Contingencia climatológica	Sequia	Hidrometeorológicos	Sequía Atípica Impredecible
03/12/2003	10 de julio, 2003	Emergencia	Ciclón Tropical	Hidrometeorológicos	Tormenta Tropical "Claudette"
16/10/2002	20 al 23 de septiembre, 2002	Desastre	Ciclón Tropical	Hidrometeorológicos	Huracán "Isidore"
11/10/2002	20 al 23 de septiembre, 2002	Emergencia	Ciclón Tropical	Hidrometeorológicos	Huracán "Isidore"
26/09/2001	21 y 22 de agosto, 2001	Desastre	Ciclón Tropical	Hidrometeorológicos	Tormenta Tropical "Chantal"
23/08/2001	21 y 22 de agosto, 2001	Emergencia	Ciclón Tropical	Hidrometeorológicos	Tormenta Tropical "Chantal"

Fuente: DOF. Diario Oficial de la Federación (https://www.dof.gob.mx/).

3. Objetivo

El objetivo de este Atlas es que el Ayuntamiento de Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo cuente con un instrumento que permita identificar el tipo y grado de riesgos existentes en el municipio, de acuerdo con el origen natural de los mismos, así como contar con una herramienta geográfica que permita ubicar e identificar el tipo y grado de amenazas, susceptibilidad, peligros, riesgos y/o índice de exposición existente de acuerdo con el origen de los mismos a diferentes escalas, con el fin de diseñar estrategias que permitan, en escenarios futuros, reducir los efectos adversos ante una amenaza.

4. Alcances

El área de estudio comprende el municipio de Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo y sus principales localidades urbanas que son: Felipe Carrillo Puerto, Tihosuco, Chunhuhub, Señor y Tepich.

Los límites del municipio de Felipe Carrillo Puerto son los señalados en la Constitución Política del Estado de Quintana Roo DE 1975.

Los datos de población y vivienda empleados corresponden a los años 2005, 2010 y 2011. Los datos espaciales corresponden a los años 2005-2011. En aquellos casos donde no existen datos registrados, se presentan los datos para el municipio o el estado.

Para este Atlas se ha omitido el estudio de algunos riesgos naturales, ya que las condiciones geográficas de la región hacen que este tipo de riesgos no se consideren como una amenaza. Estos son los relativos a fenómenos geológicos: sismos, vulcanismo, deslizamientos, derrumbes, flujos (lodo, tierra y suelo, avalancha de detritos, creep, lahar). Asimismo, se excluye las nevadas relacionadas con los fenómenos hidrometeorológicos. Los riesgos naturales analizados son depresiones, tormentas, ciclones tropicales, tsunamis y las inundaciones derivadas de los mismos.

5. Marco teórico

5.1. Mapa Base.

Mapa 1. Mapa Base

El municipio de Felipe Carrillo Puerto se encuentra en la parte central del Estado de Quintana Roo entre las siguientes coordenadas 19°35' de latitud norte, 88°33’ de longitud oeste. Cubre una superficie de 13,191

km^2. Es el más extenso de la entidad, representando el 27% aproximadamente de la superficie total estatal. Con una altitud media de 20 msnm. Colinda al norte con el municipio de Tulum; al oeste con el Municipio de José María Morelos, al sur con el municipio de Bacalar y al este con el Mar Caribe (ver mapa 1).

El Municipio pertenece a la Región Hidrológica Yucatán Este (Quintana Roo) y Bahía de Chetumal y otras de esta misma región hidrológica. Aunque su suelo está formado por la misma roca caliza del resto de la península que impide las corrientes de agua superficiales, en Felipe Carrillo Puerto se encuentran algunos cuerpos de agua superficiales, una muy importante característica del territorio.

El municipio tiene una población de 81,742 habitantes según los resultados del Encuesta Intercensal 2015 realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, en donde el 67% es población indígena y con una densidad promedio de 6.20 habitantes por kilómetro cuadrado. Las principales vías de comunicación terrestre son las carreteras federales 295 y 307, siendo la última el principal medio de comunicación con el sur y norte del Estado.

El municipio cuenta además con cinco localidades urbanas de un total de 216. Las localidades urbanas son Felipe Carrillo Puerto (cabecera municipal), Tihosuco, Chinhuhub, Señor y Tepich en las cuales habita el 55% de la población total del municipio.

Como la mayoría de los municipios del Estado de Quintana Roo, el municipio de Felipe Carrillo Puerto se encuentra en la trayectoria de los sistemas hidrometeorológicos que se forman en el océano Atlántico cada temporada. Parte importante la zona ha sufrido del continuo paso de huracanes. Al menos cada cinco años se da la presencia de uno de estos. En 2007, con el paso del huracán Dean, las localidades del municipio se vieron afectadas, principalmente con la pérdida de cosechas e infraestructura turística dañada e inundaciones.

5.2 Determinación de niveles de análisis y escalas de representación cartográfica.

Las características geográficas del municipio de Felipe Carrillo Puerto, su ubicación y extensión hacen debamos establecer dos escalas de análisis, una denominada municipal (escala 1:210,000) y que abarca el municipio y su entorno geográfico adyacente. El segundo nivel corresponde a la urbana (escala 1:50,000) y que abarca la extensión de la localidad de Felipe Carrillo Puerto, cabecera municipal del municipio. Los mapas están divididos en tres grandes temáticas, la primera corresponde a las características naturales del medio físico, tales como: Fisiografía, Geología, Geomorfología, Edafología, Hidrología, Climatología, Uso de Suelo y Vegetación y Áreas Naturales Protegidas.

Posteriormente se presenta un conjunto de mapas de peligros "Geológicos e Hidrometeorológicos", en donde se muestran las áreas de ocurrencia ante cada fenómeno natural a escala 1:210,000 y 1:50,000. Enseguida se muestran los mapas de vulnerabilidad calculados a partir de variables socioeconómicas en las localidades dentro del área del municipio. Por último, se muestran los mapas de riesgos determinados con base en el peligro y vulnerabilidad, zonificando por grado de impacto para cada fenómeno perturbador.

Tabla 3. Escalas y niveles de análisis para el manejo de mapas del Atlas Geológicos.

Tipo	Fenómeno	Descripción	Escala
Geológicos	Erupciones volcánicas	Investigación bibliográfica de la historia eruptiva de los volcanes más cercanos al municipio.	Regional
	Sismos	Se ubicará al municipio en un mapa de la regionalización sísmica del país.	Regional
	Tsunamis	Descripción del fenómeno.	Municipal
	Inestabilidad de laderas	Se ubicarán en un mapa las zonas con pendientes pronunciadas.	Municipal
	Caídas y derrumbes	Se ubicarán en un mapa las zonas con antecedentes de caídas y derrumbes.	Municipal
	Hundimientos	Se ubicarán en un mapa las zonas con antecedentes hundimientos.	Municipal
	Sequías	Se determinarán los índices de aridez. Se elaborará cartografía general de sequías en el municipio.	Sequías

Tabla 4. Escalas y niveles de análisis para el manejo de mapas del Atlas Hidrometeorológicos

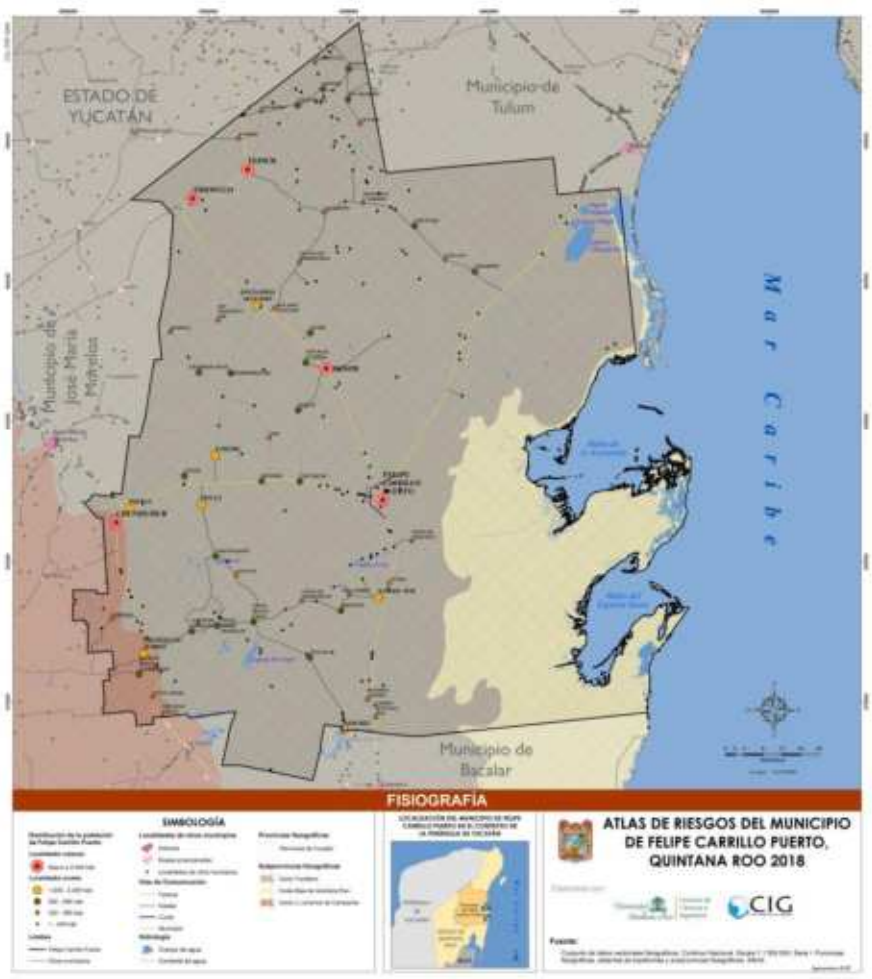
Tipo	Fenómeno	Descripción	Escala
Hidrometeorológicos	Ciclones tropicales	Descripción del fenómeno. Análisis de las estaciones hidrometeorológicas. Se elaborará cartografía general.	Urbano y Municipal
	Lluvias extremas	Descripción del fenómeno. Análisis de las estaciones hidrometeorológicas. Se elaborará cartografía general.	Urbano y Municipal
	Inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres	Descripción del fenómeno. Análisis de las estaciones hidrometeorológicas. Se elaborará cartografía general de las inundaciones históricas.	Urbano y Municipal
	Ciclones tropicales	Descripción del fenómeno. Análisis de las estaciones hidrometeorológicas. Se elaborará cartografía general.	Urbano y Municipal

5.3 Caracterización de los elementos del medio físico

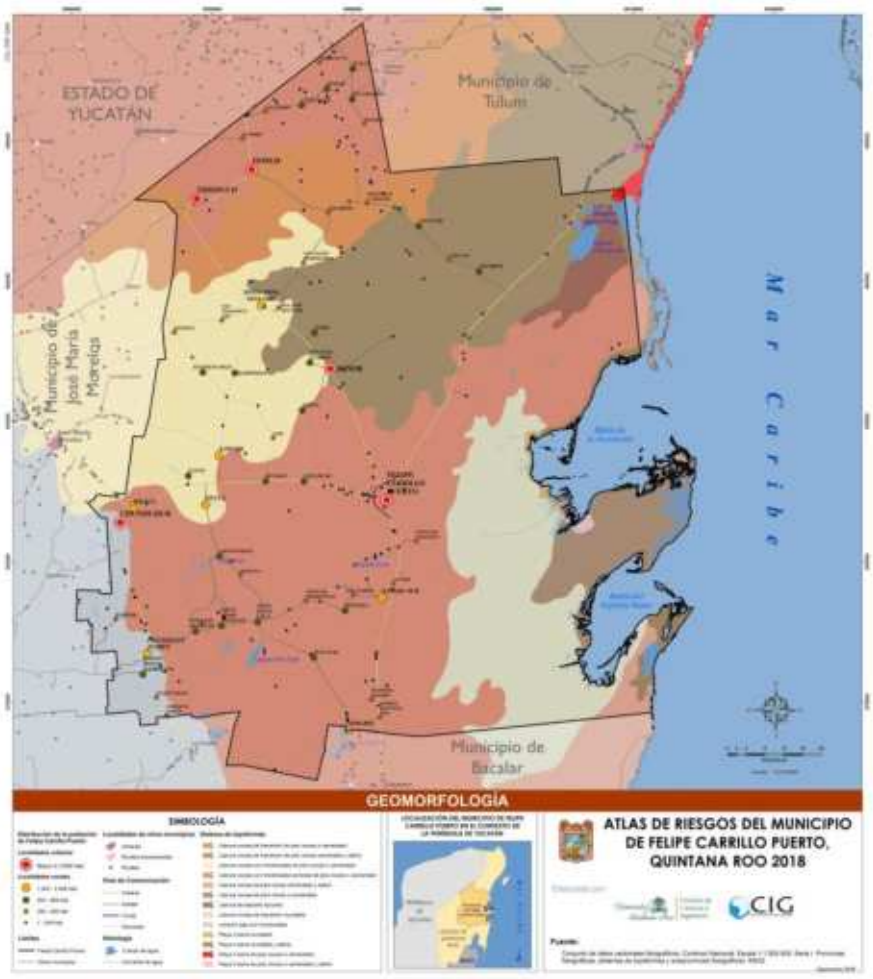
5.3.1 Fisiografía

A partir del marco de referencia para la representación cartográfica de los Recursos Naturales elaborado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), se presenta la variedad de formas de relieve para el municipio de Felipe Carrillo Puerto, integrado por conjuntos paisajísticos con base en información topográfica, geológica y climatológica, los cuales se señalan a continuación.

Todo el territorio municipal corresponde a la provincia fisiográfica de la "Península de Yucatán" con una extensión aproximada de 13, 218 km ^{2} y a las subprovincias de "Carso Yucateco", con una superficie aproximada del 79.71% localizado al centro del municipio; "Costa Baja de Quintana Roo" (16.83%) localizado del centro al este y "Carso y Lomeríos de Campeche" (2.91) al oeste (mapa 2).



Mapa 2. Fisiografía



Mapa 3. Geomorfología

5.3.2 Geomorfología

En cuanto a sus patrones estructurales y/o degradativos, es decir su sistema de topoformas, esta se divide en: Llanura rocosa de transición de piso rocoso o cementado (6.15%), Llanura rocosa de transición de piso rocoso cementado y salino (3.66%), Llanura rocosa con hondonadas de piso rocoso o cementado (10.91%), Llanura rocosa con hondonadas someras de piso rocoso o cementado (44.27%), Llanura rocosa de piso rocoso o cementado (16.80%), Llanura de depósito lacustre (1.54%), Llanura rocosa de transición inundable (11.16%), Lomerío bajo con hondonadas (2.91%), Playa o barra inundable (0.23%), Playa o barra inundable y salina (0.93%), Playa o barra de piso rocoso o cementado y salino (0.17%), Llanura rocosa de piso rocoso o cementado y salino (0.65%), en mínimos porcentajes se identifican Lomerío bajo y Playa o barra de piso rocoso o cementado, complementándose con las superficies ocupadas por los cuerpos de agua. Todos estos sistemas geomorfológicos se encuentran distribuidos en todo el territorio municipal (mapa 3).

5.3.3 Geología

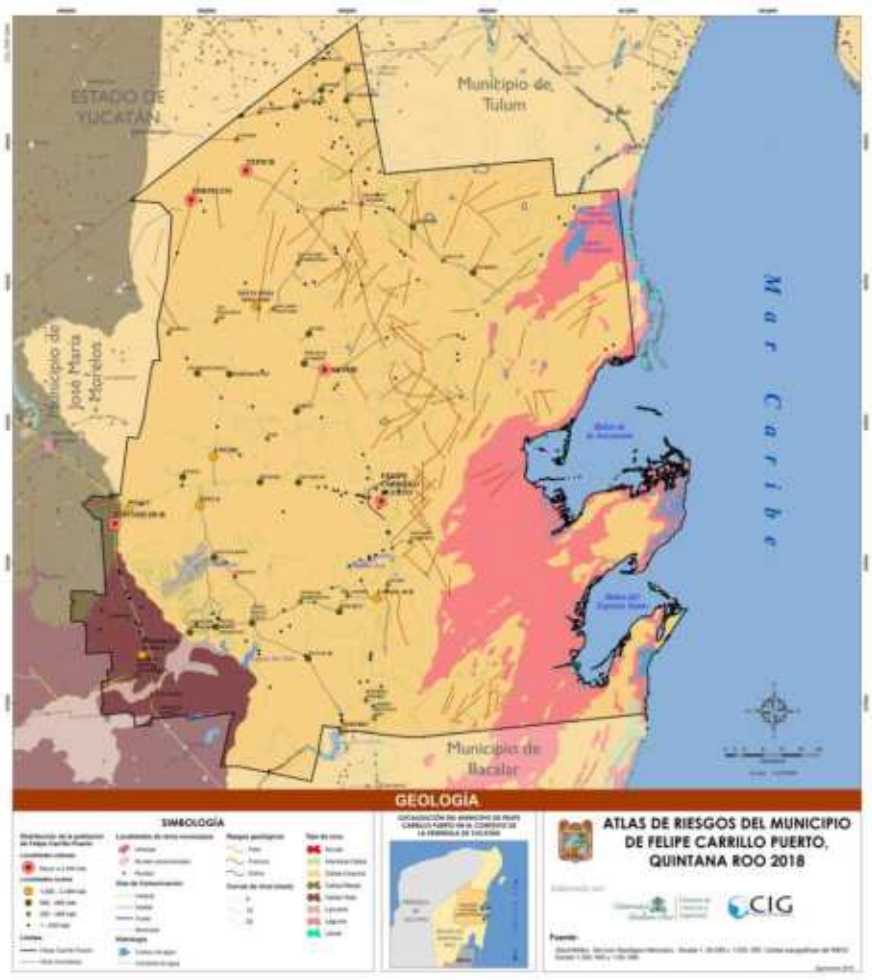
Se analizan desde el desarrollo espacial y temporal, el proceso que le ha dado forma al relieve del territorio de Felipe Carrillo Puerto, a partir de su composición y estructura, tanto interna como superficial. La parte externa comprende los materiales que forman la corteza terrestre; e interna los procesos que se desarrollan debajo de ésta. Es importante conocer el grado de fracturamiento, resistencia o permeabilidad de las rocas presentes en la región, para poder determinar los sitios con mayor probabilidad de escurrimientos de agua proveniente de la lluvia o de los acuíferos subterráneos.

Asimismo, se señalan, también, la clasificación y edad de las rocas, fallas y fracturas para poder identificar la susceptibilidad de fenómenos geológicos en el territorio. Tal como la litología, es decir la clasificación de las rocas según su origen y su composición mineralógica, las estructuras, que comprenden los sistemas de fallas o fracturas producidas por los movimientos tectónicos; y la clasificación de los suelos de acuerdo con su origen.

El conjunto metamórfico del municipio de Felipe Carrillo Puerto, en general, se origina en la Era Cenozoica del Periodo Cuaternario (entre Holoceno y el Pleistoceno); el Periodo Neógeno, el cual tiene su edad inicial en el Mioceno y su final en el Plioceno; y el Periodo Paleógeno entre el Eoceno y Paleoceno. Se identifican en su mayoría rocas sedimentarias calizas, que se formaron por la acumulación de sedimentos. Las rocas más jóvenes, coquinas, calizas y depósitos de litoral areno-arcilloso afloran en la franja costera (mapa 4).

Se pueden localizar en menor medida suelos de origen fluvial (aluviales) al sur del municipio, los cuales representan solamente un 0.02% del territorio, así como suelos arenosos en un 0.07%. Los suelos de caliza-coquina significan un casi 78% de la superficie total del municipio. Los suelos caliza-marga un 0.72%; caliza-yeso un 4.69%. Suelos lacustres ocupan un 1.11% del territorio municipal. También se identifican suelos tipo lagunar (14.23%); y litoral (0.18%), quedando un pequeño porcentaje relacionado con los cuerpos de agua.

En el municipio de Felipe Carrillo Puerto, se localiza una densidad de fracturas geológicas considerables en su parte norte hasta el sur (mapa 4). Estas grietas o discontinuidades del terreno por fuerzas tectónicas, nos permiten identificar la vulnerabilidad física del suelo. Existe una sola falla (7.47 Km.) en el territorio carrilloportense, localizada al suroeste, que no representa un riesgo considerable a la población. Por otra parte, se identifican depresiones geológicas kársticas (dolinas) distribuidas por todo el municipio, esa forma de relieve se conforma por rocas formadas por materiales solubles al agua, tal como la caliza (mapa 4).



Mapa 4. Geología

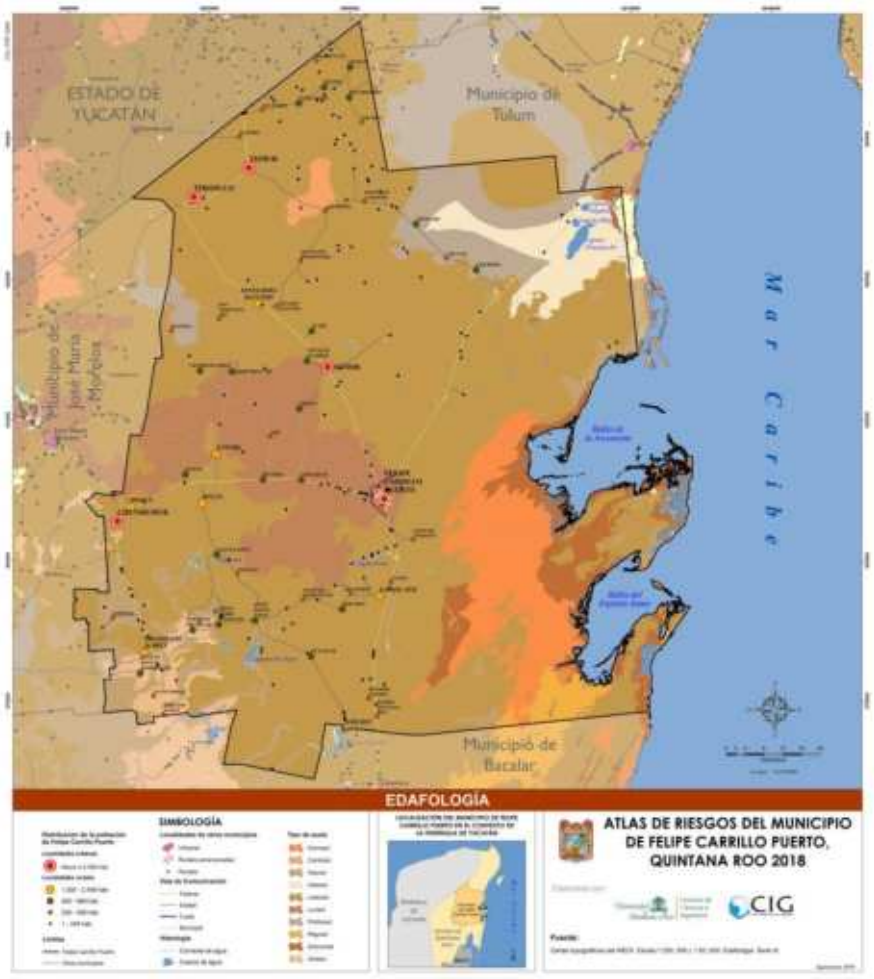
5.3.4 Edafología

La composición del suelo es resultado de la actuación de una serie de factores activos, como clima y organismos vivos, que inciden sobre factores pasivos (rocas y relieve), independientemente del tiempo transcurrido. Los suelos están formados por horizontes o capas, que están acomodadas más o menos paralelos a la superficie. La mayoría de los suelos presentan tres o cuatro horizontes, definidos principalmente por el color, textura, estructura, contenido en materia orgánica, presencia de carbonatos y sales solubles. El grado en el que cada una de las características resultantes, de la acción de los factores formadores del suelo, sirven de base para la clasificación y denominación de los suelos, que contribuyen en la toma de decisiones para el mejor manejo del recurso suelo.

En esta sección se presentan los suelos dominantes y su superficie aproximada de distribución, en porcentaje, para el municipio de Felipe Carrillo Puerto, los cuales son: *Arenosol* (6.7%), *Cambisol* (0.6%), *Gleysol* (3.7%), *Histosol* (3.0%), *Leptosol* (63%), *Luvisol* (10.8%), *Plinthosol* (4%), *Regosol* (0.9%), *Solonchak* (4.7%) y V*ertisol* (1.5%).

Los suelos predominantes con mayor distribución territorial en el municipio son los "*Leptosoles*", los cuales son suelos pedregosos delgados, compuestos por roca caliza con un espesor aproximado de 25 cm, con un 63% de la superficie municipal. Le siguen los "*Luvisoles*", suelos rojos, localizados al centro del municipio (10.8%), y por último los "*Arenosoles*", con el 6.7%, cercanos a su litoral.

Desde el punto de vista de la prevención, el análisis de tipo de suelo puede determinar el grado de vulnerabilidad del sistema. Su conocimiento permite estimar el grado de afectación que tendrían los componentes del sistema en caso de impacto de amenazas naturales, y poder reforzar y evitar daños en futuros impactos implementando medidas de mitigación que disminuyan la vulnerabilidad y permitan reducir el riesgo, de esta manera garantizar la sostenibilidad de los sistemas.

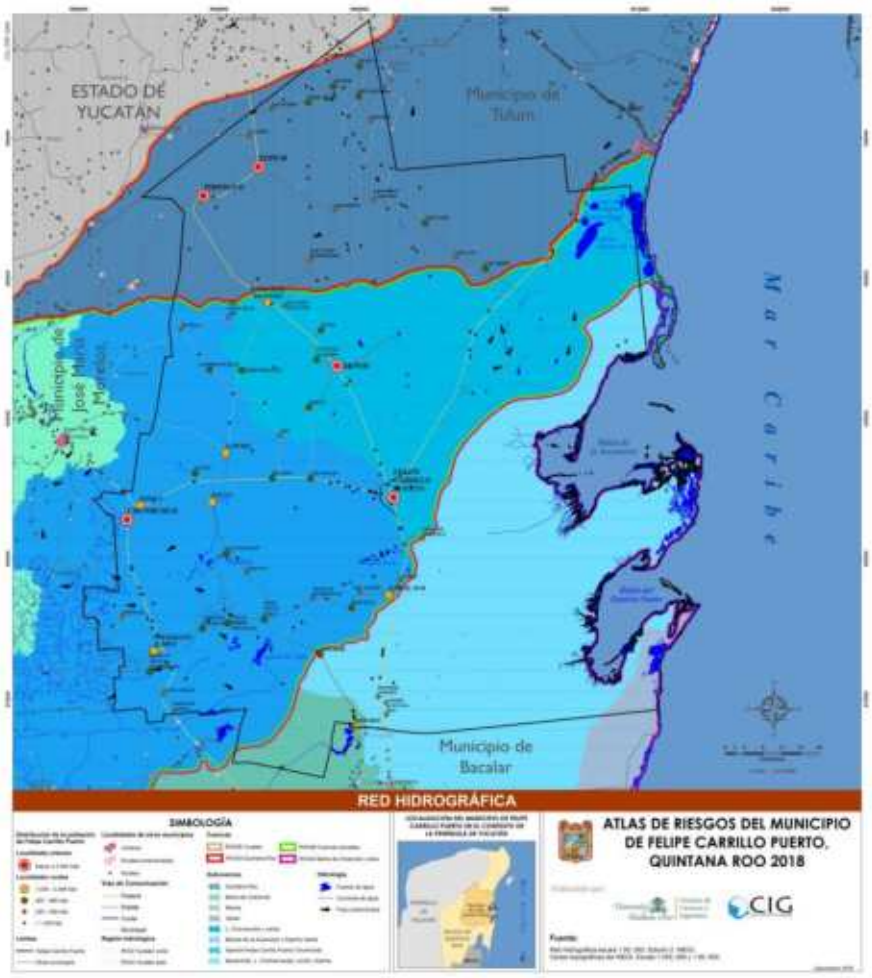


Mapa 5. Edafología

5.3.5 Hidrografía, cuencas y subcuencas

La División de Aguas Superficiales a nivel nacional se compone de tres niveles de desagregación, el primero en la Región Hidrográfica, la cual agrupa por lo menos dos cuencas hidrográficas, cuyas aguas fluyen a un cauce principal. El segundo a la Cuenca Hidrográfica, delimitada por una divisoria cuyas aguas fluyen hacia una corriente principal o cuerpo de agua. Y la tercera la Subcuenca Hidrográfica, aérea considerada como una subdivisión de la cuenca hidrográfica que presenta características particulares de escurrimiento y extensión.

El municipio de Felipe Carrillo Puerto pertenece a dos Regiones Hidrográficas: 1) "Yucatán Norte (Yucatán)", simbolizada como RH32 y con una extensión aproximada de 2,838.99 Km^2 (21.48 %), y 2) "Yucatán Este (Quintana Roo)", identificada como RH33, la de mayor extensión con 10,367.48 Km^2, un 78.43% del territorio municipal (mapa 6), más cuerpos de agua superficiales. Las tres Cuencas Hidrográficas que componen el territorio municipal son: RH32A, RH33A y RH33B (mapa 6). Y finalmente, las seis Subcuencas Hidrográficas registradas son RH32Aa, RH33Aa, RH33Ab, RH33Ac, RH33Ba y RH33Bb, integrando la "Cuenca de Bahía de Chetumal y Otras", y "Cuenca Quintana Roo" (mapa 6).



Mapa 6. Red Hidrográfica

5.3.6 Cuerpos de agua

Los cuerpos de agua se consideran unidades de captación de aguas superficiales, identificados como lagunas, lagos y embalses, los cuales contienen importantes reservas de agua utilizable. Los cuerpos de agua permanentes ocupan alrededor de 112.77 km^2 de la superficie del municipio.

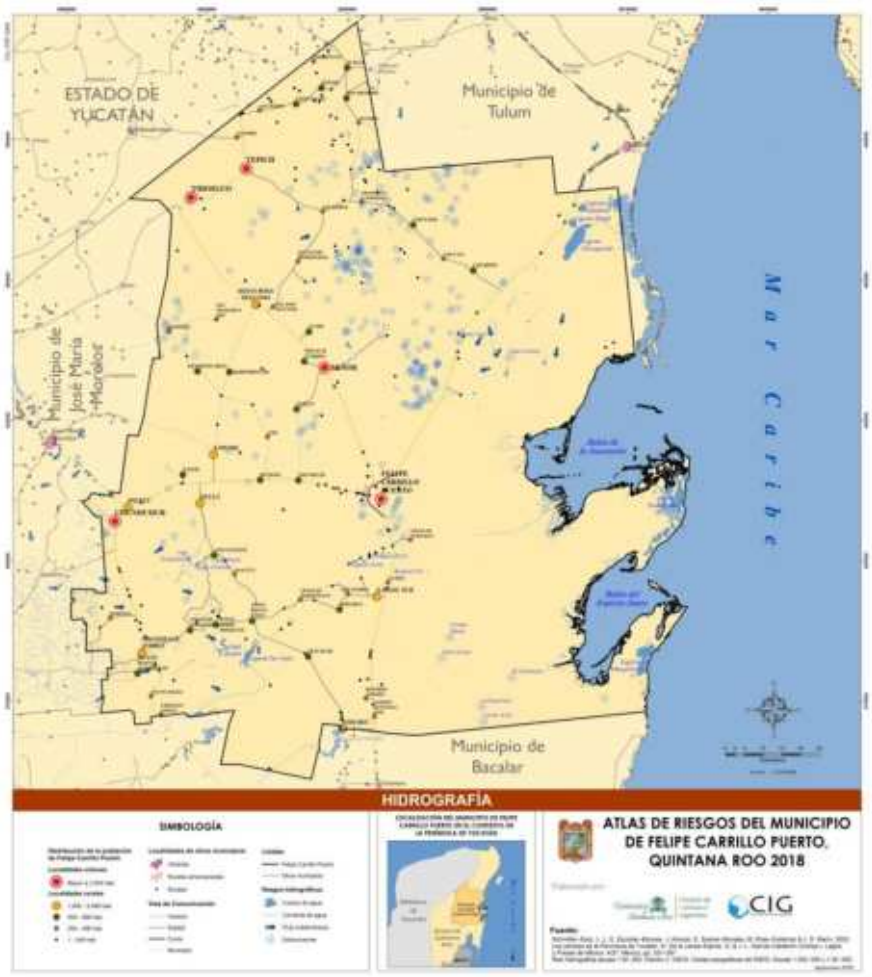
Por lo contrario, los cuerpos de agua intermitentes solo ocupan 23.94 km^2. Entre los permanentes importantes se encuentran: Lago Cacaoche, Laguna Chí, Laguna Dzidzantún, Lago Kaná, Laguna Bayo, Laguna del Padre, Laguna El mango, Laguna K'aan, Laguna Kán Ha, Laguna Karnas, Laguna La Esperanza, Laguna Mango, Laguna Maruch, Laguna Mosquitero, Laguna Much Kay, Laguna Naab, Laguna Noh-Bec, Laguna Ocom, Laguna Petén Tunich, Laguna Pocitos, Laguna Pucté, Laguna Sac-Ayin, Laguna San Andrés, Laguna Santa Rosa, Laguna Verde, Laguna X-Hazil, Laguna X-Tinta, Laguna Xdominíc, Lago Los Cocos, Lago Paytoro, Lago Pucté, Lago Tzelpop, Lago X-Kojoni, Laguna Campechén (Mapa 5).

Las de mayor superficie y más conocidas se encuentran, Laguna Chunyaxché, Laguna Muyil y Laguna Nopalitos (mapa 7 y Mapa 5). Entre los intermitentes más conocidos se encuentran: La Aguada, Laguna Chi, Laguna Nochakan, Laguna Sina A Kal, y Laguna Verde (mapa 7 y Mapa 5).

Tabla 5. Principales cuerpos de agua

Nombre	Superficie (km^2)
Laguna Campechén	26.72
Laguna Chunyaxché	18.1
Laguna Mosquitero	13.63
Laguna Santa Rosa	11.95
Laguna Sac-Ayín	5.15
Laguna Petén Tunich	2.71
Lago X-Kojoni	2.63
Laguna Muyil	2.53
Laguna Nopalitos	2.43
Lago Cacaoche	1.14
Laguna Pucté	0.91
Laguna Ocom	0.83
Lago Kaná	0.69
Laguna Dzidzantún	0.83
Laguna Noh-Bec	0.43
Laguna Karnas	0.41
Lago Tzelpop	0.35
Lago Paytoro	0.18
Lago Los Cocos	0.12
Laguna San Andrés	0.08
Laguna k'aan	0.06

Fuente: Cartas Topográficas a escala 1:50,000 del INEGI.



Mapa 7. Hidrografía

5.3.7 Corrientes de agua

Debido al régimen climático del país, en casi todos los ríos existe una diferencia notable entre el volumen de agua que llevan en la época de secas y la de lluvia. Esta variación se acentúa por las obras de retención de agua y su uso para irrigación, de tal manera que muchos de los ríos que originalmente eran permanentes ahora se vuelven intermitentes, por lo menos en algunos tramos de su recorrido. En amplias zonas, la deforestación y la erosión del suelo producen un aumento en el escurrimiento superficial y la disminución de la infiltración del agua de lluvia.

Como la gran mayoría del territorio de Quintana Roo y la Península de Yucatán, el territorio de Felipe Carrillo Puerto es prácticamente plano, sin relieves notable y constituido por una planicie calcárea que no retiene las corrientes superficiales, por lo que la hidrografía está constituida únicamente por los cenotes, que son afloramientos superficiales de ríos subterráneos, y los cuerpos de agua señalados en el punto anterior, los cuales tuvieron una gran importancia para la cultura maya (mapa 7).

Por otra parte, debido a que la representación de una red hidrográfica es totalmente lineal y en los datos topográficos 1:50 000 la trayectoria de los escurrimientos es complementada por la acumulación de flujos (cuerpos de agua), se trazan líneas centrales que representan los flujos virtuales a través de estos, a efecto de dar continuidad a la red. Estos flujos en el municipio tienen una longitud de 81,166.19 metros.

Por otra parte, las corrientes subterráneas identificadas, se localizan en dos grandes zonas: al noroeste y suroeste; y otra con menor dirección de flujo al este de la localidad de San Felipe Berriozábal en la parte norte del territorio municipal (mapa 7). Las direcciones de flujo observadas tienen su escurrimiento de noroeste-sureste u oeste-noroeste-este-sureste.

5.3.8 Dolinas y Cenotes

Como se ha mencionado, el municipio de Felipe Carrillo Puerto tiene por mayoritariamente, relieve kárstico, el cual se divide en dos zonas: *endokarst* y el *exokarst*. Cuando la disolución se lleva a cabo en el subsuelo las formas encontradas se llaman *endokársticas*, como las cuevas y los *espeleotemas* (estalactitas, estalagmitas, etc.) que se forman dentro de ellas. Por su parte, las de la zona superficial se llaman *exokársticas* y una de las más conocidas son las dolinas, del eslavo "*dolineque"*, que significa depresión y su equivalente en maya son los cenotes; siempre que contengan agua. Sin embargo, los cenotes siempre contienen agua al estar el nivel freático cerca de la superficie topográfica. Como las rocas carbonatadas son muy solubles, el agua de lluvia en lugar de fluir como río, se infiltra completamente en el subsuelo hasta encontrar una barrera que ya no la deja pasar, y se acumula a partir de ese momento; el nivel freático es el límite superior de esta acumulación de agua. No todas las dolinas son cenotes, pero todos los cenotes son dolinas.

Las dolinas son depresiones cerradas, las cuales pueden medir desde metros hasta un kilómetro de diámetro. Se establecen donde convergen varias fracturas, y muchas veces están cubiertas de suelo que impiden identificarlas, a menos que haya cortes en el terreno, como en las carreteras. Sin embargo, su formación es variada, a partir de la disolución de las rocas, dependiendo de qué tan soluble sea la roca, la cantidad de agua que pase por ella y sus conexiones con alguna cavidad que reciba los elementos disueltos. A través de la filtración del agua, y conforme a la caída de agua de lluvia que contiene dióxido de carbono, se van disolviendo y ensanchando, posteriormente los techos colapsan por gravedad y se forma el hueco, convirtiéndose en cenotes. Si el colapso de una dolina permite la entrada a un sistema subterráneo de cuevas, entonces lleva el nombre de "ventana kárstica". La mayoría de las dolinas o "cenotes" de la Península de Yucatán son dolinas de colapso.

Los cenotes, del maya *dzonoot*: "hoyo con agua"), son dolinas inundadas de origen kárstico. Existen varios tipos de cenotes: a cielo abierto, semiabiertos y subterráneos o en gruta. Aunque los cenotes parecen lagos pequeños, usualmente cilíndricos y más profundos que amplios, en realidad son muy distintos; inclusive, los cenotes más jóvenes son, en cuanto a la circulación de sus aguas, más similares a ríos que a lagos, pues tienen conexión a corrientes subterráneas (Schmitter-Soto, *et al*., 2002). Con frecuencia los cenotes tienen conexión hidráulica entre sí, a través de cuevas y galerías subterráneas, que en muchos casos tienen salida directa al mar. En el municipio de Felipe Carrillo Puerto se encuentran una variedad de ellos, como son: Cenote Azul, Cenote Chan Dzonot, Cenote El Centenario, Cenote K'and'zonot, Cenote La Esperanza, Cenote Noh-D Zonot, Cenotes Xhazil (mapa 7).

En el municipio de Felipe Carrillo Puerto se encuentran una variedad de ellos, como son: Cenote Azul, Cenote Chan Dzonot, Cenote El Centenario, Cenote K'and'zonot, Cenote La Esperanza, Cenote Noh-D Zonot, Cenotes Xhazil (mapa X). De la misma manera, se representan dolinas identificadas en la investigación de Fragoso-Servón, et al. (2014), y se aprecia una gran cantidad de dolinas y cenotes.

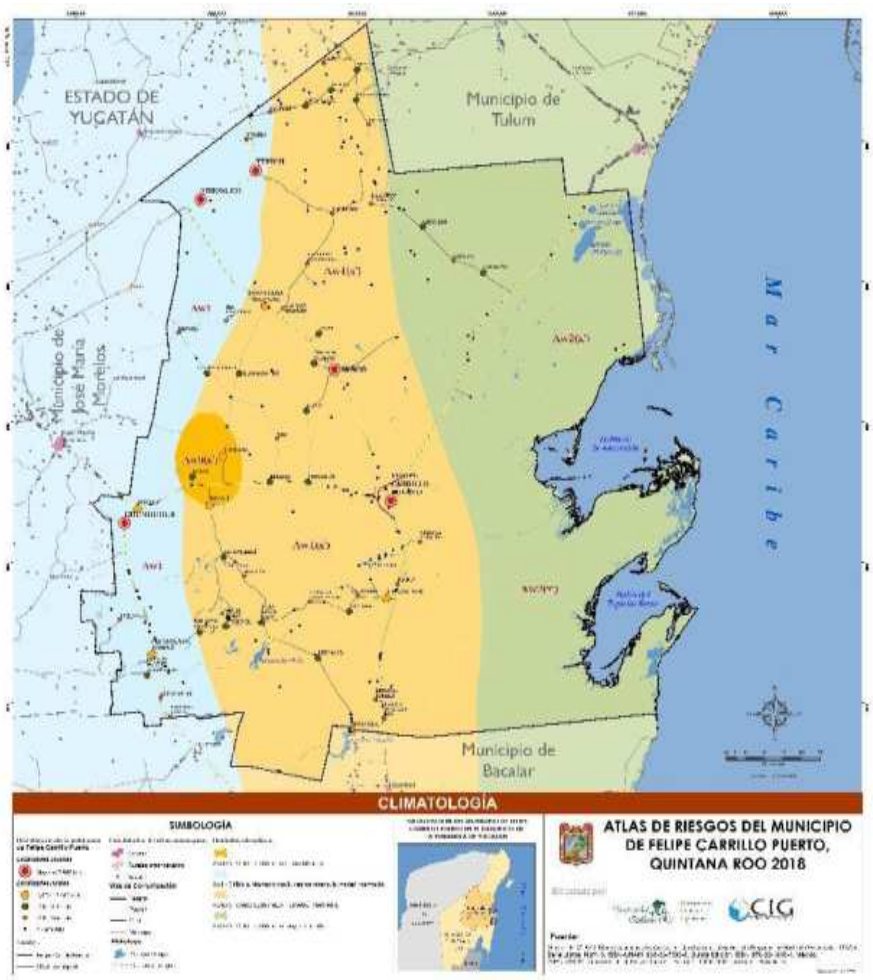
5.3.9 Clima

El clima es el conjunto de condiciones atmosféricas propias de un lugar, constituido por la cantidad y frecuencia de lluvias, la humedad, la temperatura y viento. Estas variables influyen en las condiciones de vida, determinando desde el tipo de ropa que hay que usar en cada época y lugar, hasta los materiales y formas de reconstrucción de las obras de infraestructura como caminos, viviendas e industrias, pasando por el tipo de cultivos y de ganado adaptables a una región, y las técnicas que se utilizarán para que la actividad en cuestión resulte productiva.

Según el sistema de Köeppen modificado por García (2004), el municipio de Felipe Carrillo Puerto presenta un tipo de clima Cálido Subhúmedo (Aw) y se destacan cuatro subtipos: a) Aw0 (x') es el menos húmedo; b) Aw1 que presenta humedad intermedia con lluvias en verano; c) Aw1 (x´) con humedad intermedia y d) Aw2(x') que presenta el mayor grado de humedad dentro del clima cálido subhúmedo (mapa 8).

Las precipitaciones medias anuales oscilan entre los 1,500 milímetros en la zona de las bahías de la Ascensión y del Espíritu Santo hasta el norte, y de 1,200 a 1,300 mm al centro del municipio; y de los 1,100 milímetros en la porción menos húmeda del municipio, la región occidental (mapa 8).

Por otra parte, el municipio de Felipe Carrillo Puerto se ubica en la "Zona Intertropical" –la franja en la que se presentan los climas cálidos identificados con la letra A de acuerdo a la clasificación climática de Köppen– por lo que la temperatura media anual es superior a los 18°C. La temperatura media anual en el municipio es de 26°C (mapa 8).



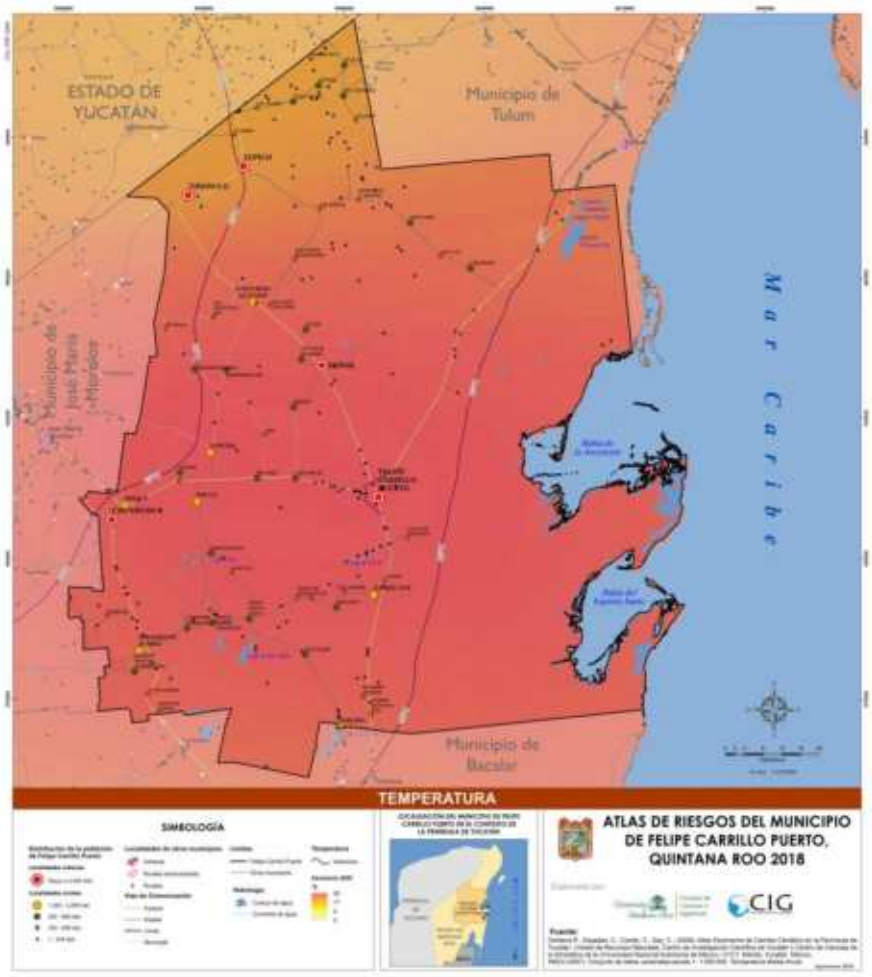
Mapa 8. Climatología

El *Atlas Escenarios de Cambio Climático en la Península de Yucatán* (2009), nos señala que la observación de las variables de temperatura y precipitación a nivel mundial han dado evidencias que se está presentando un calentamiento a nivel global. Por tal motivo, se presentan en este trabajo escenarios de variaciones climáticas para el municipio de Felipe Carrillo Puerto a 2020 de temperatura y precipitación comparándolos con datos del INEGI 2006 y 2007. Estas simulaciones están basadas en representaciones matemáticas de la atmosfera, del océano, de las capas de hielo y de los procesos en la superficie de la tierra; que se fundamentan en leyes físicas y sus relaciones empíricas (mapas 9, 10 y 11).

Se eligieron para este Atlas los posibles escenarios para el periodo 2020, estos escenarios son los identificados como "Escenarios A2", donde la

línea evolutiva y familia A2 (A21 por ser el experimento 1) presenta casos en los cuatro MCG – modelos generales de circulación atmosférica - que se seleccionaron en el Atlas mencionado. Las salidas de estos modelos proporcionan posibles escenarios dados para el horizonte centrado en 2020 (promedio de 30 años centrado en el año seleccionado) por una condición dada por emisiones de gases de invernadero muy parecidas a las actuales, pero no tan altas en el caso de la familia A1FI (Orellana, et al., 2009).

Los aumentos en la temperatura y la distribución de ésta se deben a que es un escenario con un mundo heterogéneo, con aparente autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante, así como el cambio tecnológico están fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.

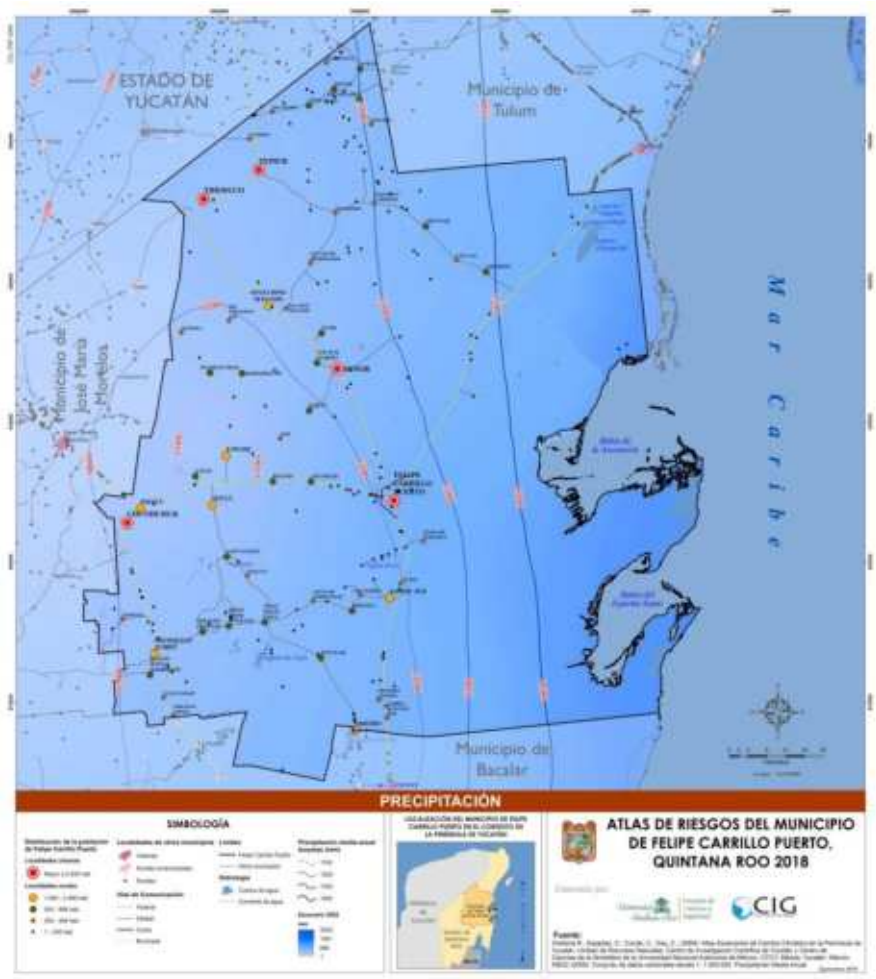


Mapa 9. Escenario Temperatura

Si observamos el mapa 9, podemos identificar la temperatura media anual por isotermas (INEGI, 2007) y pisos térmicos expresados por gradientes de color (Orellana, et al., 2009). El intervalo de temperatura tiene una variación de temperatura en el municipio que va desde la zona norte y costa este de los 25°C a la parte central del municipio donde se podrían alcanzar temperaturas cercanas a los 27°C. La oscilación de la temperatura es mayor hacia el interior de la región y menor hacia las costas. Se presenta en la península un aumento de temperatura al 2020 entre 1 y 1.25°. Sin embargo, hacia el norte centro de la costa yucateca y la Riviera Maya, el aumento que se presentaría es menor a 1°C (Orellana, et al., 2009).

Ahora bien, para la variable precipitación la península de Yucatán está regida por patrones de circulación atmosférica propios de las zonas tropicales en el límite con las zonas áridas (mapa 10). La singularidad que tiene la región es la ausencia de orografía, lo cual no permite que se presente el efecto del ascenso orográfico de las nubes que descargan lluvia, como en otras regiones del país, el componente principal es el de lluvia convectiva (Orellana, et al., 2009). Para el municipio de Felipe Carrillo Puerto en el mapa 8 se presentan las isoyetas de 2006 (INEGI) y el gradiente de precipitación a 2020 del escenario A2 (Orellana, et al., 2009). Este gradiente en la zona correspondiente a Carrillo Puerto nos muestra que el escenario a 2020 la precipitación media anual se incrementará hacia la parte noreste, más hacia las bahías y la Reserva de Sian Kan, disminuyendo a los 1400mm hacia el oriente del municipio. Sin embargo, 1400 mm es un promedio menor a los 1100mm que nos marca el INEGI (2006) en su isoyeta más cercana. Por lo que, se presentaría un gradiente poco pronunciado entre los 1000 y 1800mm.

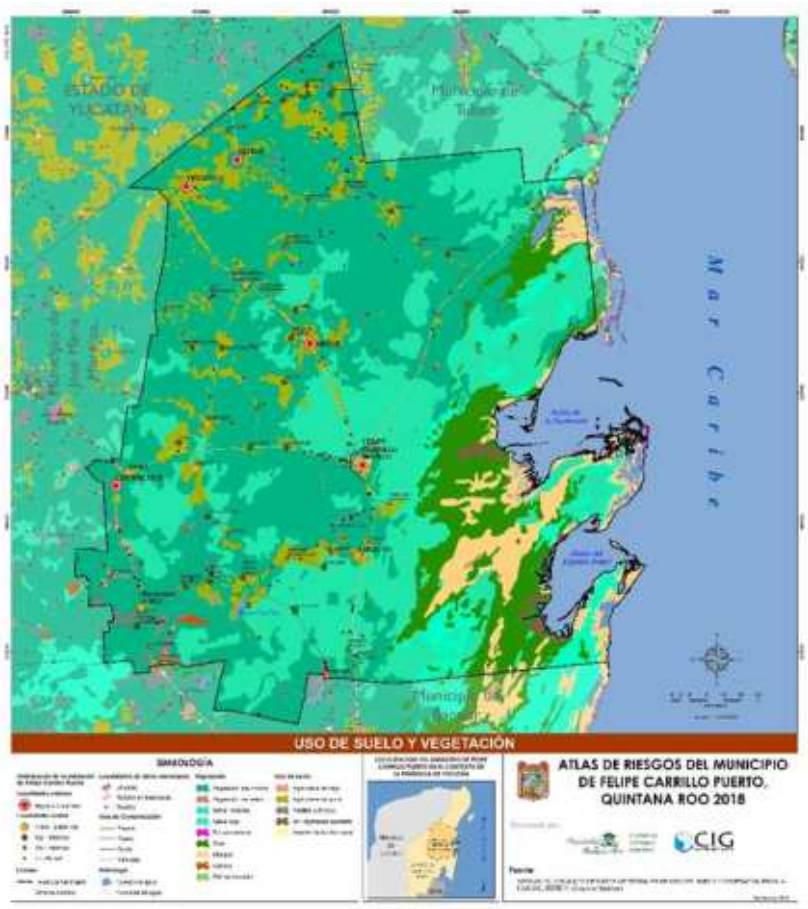
La precipitación pluvial en las zonas tropicales de México, por lo general, se presenta en la época de verano. En la Península de Yucatán, específicamente en el Estado de Quintana Roo, pueden existir áreas con régimen de lluvias intermedio o con patrones de lluvias uniformemente distribuidas en verano. Sin embargo, al igual que en México, Centroamérica y el Caribe, se puede presentar el fenómeno de la sequía de medio verano, también denominado sequía intraestival o simplemente canícula. De acuerdo a Orellana, et al. (2009), la canícula se debe a perturbaciones en la circulación de los vientos alisios (mapa 10). Es decir, por el sobrecalentamiento del mar en la porción tropical del Pacifico Oriental, por debajo de la zona intertropical de convergencia, lo cual debilita el gradiente barométrico, disminuyendo la intensidad de los alisios. De esta forma, la acción del anticiclón del Atlántico se expande y se refuerza, teniendo variaciones año tras año. Este efecto modifica la temperatura del mar, incluso en decimas de grados. Se esperaría, por tanto, que el efecto del calentamiento global, también afecte al régimen de lluvias, lo que disminuye su frecuencia y cantidad, así como su patrón bimodal en los territorios.



Mapa 10. Escenario Precipitación

En el municipio de Felipe Carrillo Puerto las variaciones esperadas para un escenario a 2020 muestra que el efecto de sequía se presentaría en la región noroeste del municipio, siendo menos hacia la costa (mapa 10). En mayo de 2018, fue declarada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) una "Emergencia Extraordinaria" para el municipio por el fenómeno hidrometeorológico de Onda Cálida (Mapa 2). En la cual las temperaturas registradas fueron más elevadas superando los 40 grados Celsius.

Mapa 11. Escenario Sequía



Mapa 12. Uso de Suelo y Vegetación

5.3.10 Uso de suelo y vegetación

De acuerdo al mapa 11, la distribución del suelo agrícola en el municipio de Felipe Carrillo Puerto se observa de la siguiente manera: la superficie ocupada de agricultura de riego es menor que la agricultura de temporal, la primera con solo 1,925 hectáreas y la segunda con 92,555; el pastizal cultivado solo ocupa 10,393 has.

La vegetación natural e inducida se distribuye mayormente entre la vegetación secundaria con 620, 427 hectáreas, es decir un 46.94% del total de la superficie. Por su parte, la vegetación de dunas costeras solo contempla 944 ha (.07%) y la vegetación de Petén 908 ha. Las selvas en el municipio se encuentran identificadas como selva mediana, la cual ocupa un 25.69% de la superficie (339, 624 ha) y selva baja con 43,937 hectáreas, correspondiente al 3.32%. Otras especies como el tular (114, 821 ha) localizado en zonas pantanosas; el manglar por su parte cuenta con una superficie de 73,382 ha; la sabana (1,203 ha) y el palmar inducido (114 ha), se encuentran en menor proporción (mapa 11).

Para otros usos como los urbanos y naturales se tiene que la superficie del municipio destinada es para los asentamientos humanos de 3,918 hectáreas aproximadamente, apenas un 0.3%; y sin vegetación aparente localizamos solo 5,509 hectáreas, complementándose con las superficies ocupadas por los cuerpos de agua.

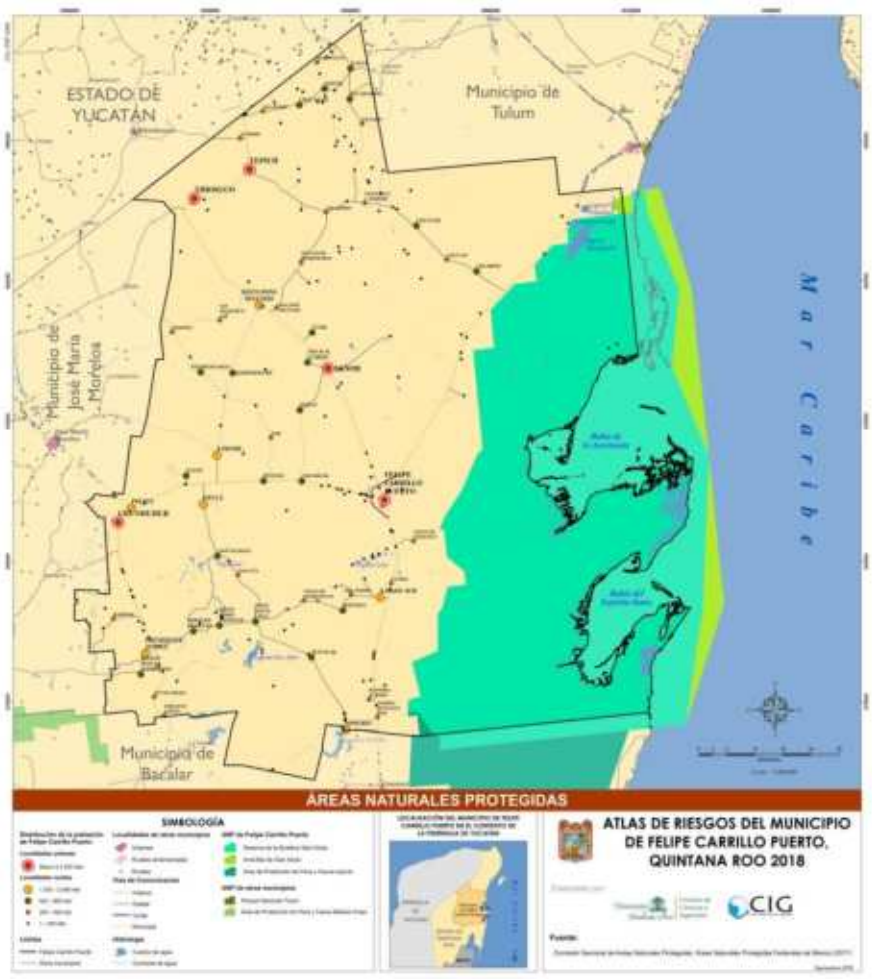
5.3.11 Áreas Naturales Protegidas

Reserva de la Biosfera Sian Ka´an

Declarada Reserva de la Biosfera el 20 de enero de 1986 mediante Decreto Presidencial publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF), Sian Ka'an fue la quinta Área Natural Protegida (ANP) mexicana incorporada a la lista de las Reservas de la Biosfera del Programa el Hombre y la Biosfera (MAB por sus siglas en Inglés), y está incluida en la lista de humedales de importancia internacional de la convención RAMSAR, y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) incluyó a Sian Ka'an en la Lista de Patrimonio Mundial en 1987.

La Reserva ocupa una superficie de 528 mil 147 hectáreas, junto con el Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil y la Reserva Biosfera Arrecifes de Sian Ka'an conforma el Complejo Sian Ka'an con un área de 652, 193 hectáreas y comparten un solo programa de manejo (mapa 12). Este Complejo se distribuye en los municipios de Felipe Carrillo Puerto, Tulum, Bacalar y Othón P. Blanco. Los asentamientos humanos dentro del área protegida son: Punta Herrero con 61 habitantes y Javier Rojo Gómez (Punta Allen) con 277 habitantes.

Sian Ka'an posee un complejo sistema de ríos subterráneos, de agua dulce, que se encuentran interconectados entre cenotes y petenes, únicos en la Península de Yucatán y el mundo. Las cooperativas pesqueras que operan dentro de Sian Ka'an son consideradas a nivel nacional e internacional modelos de organización local y de pesca responsable. Asimismo, contiene nueve ecosistemas, tres hábitats acuáticos, 120 kilómetros del Sistema Arrecifal Mesoamericano, abarcando cuatro países: Honduras, Guatemala, Belice y México.



Mapa 13. Áreas Naturales Protegidas

5.4 Caracterización de los elementos sociales, económicos y demográficos

5.4.1 Dinámica demográfica

La encuesta intercensal 2015 registró en el estado de Quintana Roo 1 501 562 personas. Comparando esta cifra diez años atrás con los 1'135,309 habitantes del Conteo 2005, se aprecia un crecimiento absoluto de más de 366 253 mil nuevos residentes en el estado.

De igual forma, para 2015 en el municipio de Felipe Carrillo habían 81 742 habitantes, comparando dicha cifra diez años atrás con el Conteo 2005, se aprecia un crecimiento absoluto de 16 373 mil residentes nuevos en el municipio.

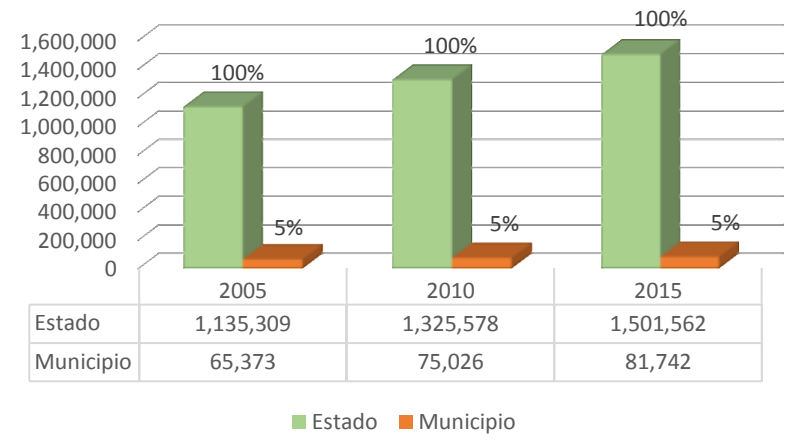
Tabla 6. Análisis comparativo de la población de la Entidad con respecto al Municipio.

Estado de Quintana Roo y Municipio de Felipe Carrillo Puerto						
	2005		2010		2015	
Datos Demográficos	Estado	Municipio	Estado	Municipio	Estado	Municipio
Población total	1,135,309	65,373	1,325 578	75,026	1,501,562	81,742
Hombres	574,837	33,288	673,220	37,994	751,538	40,542
Mujeres	560,472	32,085	652,358	37,032	750,024	41,200
Viviendas particulares habitadas	285,742	13,468	369,235	17,176	441,200	19,525
Población hablante de lengua indígena de 3 años y más	170,982	*40,996	196,060	46,663	236,129	51,399

Fuente: INEGI. II Conteo de Población y Vivienda 2005; Censo de Población y Vivienda 2010; Encuesta Intercensal 2015.

*El dato proporcionado para el año 2005 de la población hablante de lengua indígena es de 5 años y más, ya que para II Conteo de Población y Vivienda 2005 no se contó con otro grupo de edad de hablante de lengua indígena.

Gráfica 1. Análisis comparativo de la población de la Entidad con respecto al Municipio.



Fuente: INEGI.II Conteo de Población y Vivienda 2005; Censo de Población y Vivienda 2010; Encuesta Intercensal 2015.

5.4.1.1 Proyección al 2010 - 2030 (por municipio y por localidad según CONAPO)

De acuerdo con las proyecciones de CONAPO el municipio de Felipe Carrillo Puerto contará con una población estimada al 2030 de 125,675 habitantes. En general es aceptable esperar un crecimiento leve de la población.

Tabla 7. Proyección de la población para el municipio de Felipe Carrillo Puerto y sus principales localidades, 2010 – 2030.

AÑO	2010	2013	2016	2020	2025	2030
Municipio	76442	82700	89416	99179	112,249	125,675
Felipe Carrillo Puerto	26230	28979	31992	36413	42523	49045
Tihosuco	5088	5300	5517	5805	6146	6426
Chunhuhub	4732	5192	5693	6422	7415	8456
Señor	3153	3273	3395	3556	3742	3890
Tepich	2805	2899	2994	3118	3258	3363

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados Proyecciones de Población, CONAPO 2010.

5.4.1.2 Distribución de población (por localidad)

El Municipio de Felipe Carrillo Puerto según resultados de la Encuesta Intercensal 2015 realizado por el Instituto Nacional de Geografía y Estadísticas e Informática (INEGI) está compuesta por 216 localidades con una población total de 81 742 personas, donde 40,542 (49.6%) son hombres y 41,200 (50.4%) son mujeres.

La población urbana de este municipio tiene un total de 45,077 (55.1%) personas y 36,665 (44.9%) corresponden a las zonas rurales.

De igual forma, el municipio muestra un incremento en su población en este último quinquenio y con base a su tasa de crecimiento anual de 1.8 que proporciona la encuesta intercensal del 2015 se hace el cálculo de la distribución de población por localidad a partir del Censo de Población y Vivienda 2010 al 2015.

Tabla 8. Tasa de distribución anual de población por localidad del municipio de Felipe Carrillo Puerto

AÑO	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Felipe Carrillo Puerto	25,744	26,207	26,679	27,159	27,648	28,146
Tihosuco	4,994	5,084	5,175	5,269	5,363	5,460
Chunhuhub	4,644	4,728	4,813	4,899	4,988	5,077
Señor	3095	3151	3207	3265	3324	3384
Tepich	2,753	2,803	2,853	2,904	2,957	3,010

Fuente: INEGI. Elaboración propia a partir de los resultados del Censo de Población y Vivienda 2010 y Encuesta Intercensal 2015.

Teniendo en cuenta lo anterior, la población de las principales localidades, para el año 2010 era la siguiente:

Tabla 9. Distribución de la población por tipo de localidad municipio de Felipe Carrillo Puerto

Localidad	Población	Tipo de localidad
Felipe Carrillo Puerto	25,744	Urbana
Tihosuco	4,994	Urbana
Chunhuhub	4,644	Urbana
Señor	3092	Urbana
Tepich	2753	Urbana

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del Censo de Población y Vivienda 2010

5.4.1.3 Composición por edad y sexo

La ciudad de Felipe Carrillo Puerto está compuesta de 12,572 hombres y 13,172 mujeres según resultados del último censo de población (INEGI, 2010), lo que representa el 48.8% de hombres y 51.2% de mujeres.

Tabla 10. Composición por edad y sexo del Municipio de Felipe Carrillo Puerto, 2010

2010	Población (habitantes)	Hombres	Mujeres
Felipe Carrillo Puerto	25,744	12,572	13,172
Tihosuco	4994	2,552	2,442
Chunhuhub	4,644	2,391	2, 253
Señor	3,095	1,583	1,512
Tepich	2,753	1,391	1,362

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del Censo de Población y Vivienda 2010.

La estructura de la población, mostrada se centraliza en relación a grupos de edad menores a 25 años (los cuales se consideran aún como dependientes económicos), de 26 a 59 años (como grupo de población económicamente activa) y mayores de 60 años (como gente de la 3ª edad).

5.4.1.4 Densidad de la población (por manzana en zonas urbanas)

El municipio de Felipe Carrillo Puerto tiene una densidad poblacional de 6.2 habitantes/km2, en cuanto a la distribución de sus habitantes existen localidades donde se concentra mucha población, y otras en las que la población es poca (Mapa 11).

Tabla 11. Densidad de población

Municipio	
Densidad de población (hab/km²):	6.3
Total de localidades:	216
Localidades con mayor población:	
Felipe Carrillo Puerto	25,744
Tihosuco	4,994
Chunhuhub	4,644
Señor	3,095
Tepich	2,753

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del Censo INEGI, 2010; Encuesta Intercensal 2015.

5.4.2 Características sociales

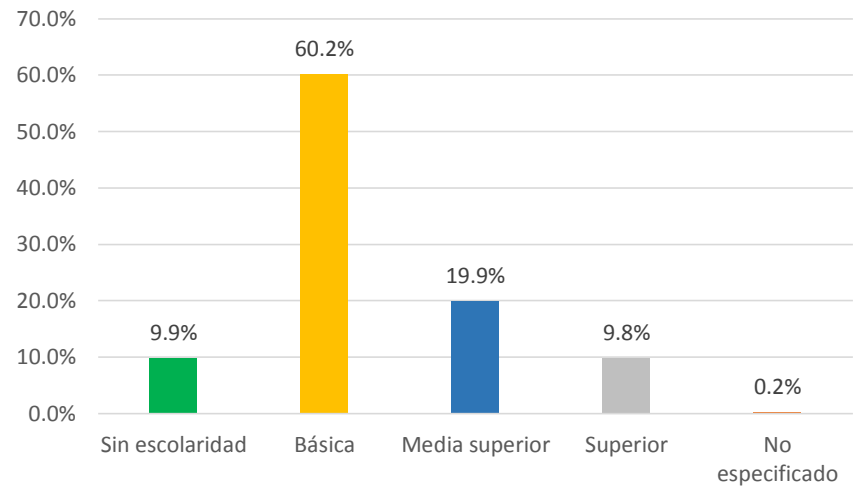
Porcentaje de analfabetismo, población de 15 años y más que asiste a la escuela y grado promedio de escolaridad.

El analfabetismo se refiere a la población de 15 años y más que no sabe leer y escribir. El Porcentaje de población de más de 15 años del municipio de Felipe Carrillo Puerto que es analfabeta es del 11.7%.
De igual forma, tenemos la tasa de alfabetización, que se refiere a la población que sabe leer y escribir. A continuación, se presenta la tasa de alfabetización por grupo de edad del municipio:

15-24 años	98.5%
25 años y más	83.9%

Distribución de la población de 15 años y más según nivel de escolaridad

Gráfica 2. Distribución de la población de 15 años y más según nivel de escolaridad



Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la Encuesta Intercensal 2015.

Asistencia escolar por grupo de edad:

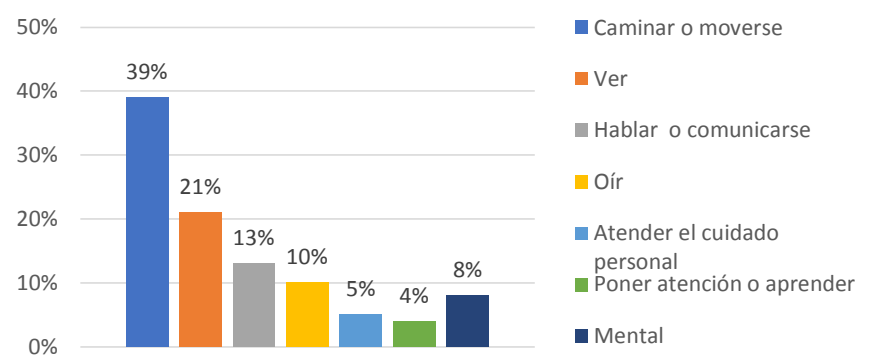
3-5 años	85.4%
6-11 años	99.3%
12-14 años	96.5%
15-24 años	44.5%

El grado promedio de escolaridad de la población de 15 años y más en el municipio de Felipe Carrillo Puerto es de 7.8 de acuerdo a la Encuesta Intercensal 2015 frente al promedio de escolaridad de 9.6 en la entidad.

5.4.2.1 Población con discapacidad (población con limitación en la actividad) por localidad

De acuerdo al INEGI, en el 2010 en el municipio de Felipe Carrillo Puerto de cada 100 personas, 4 reportan alguna limitación física o mental para realizar las actividades en su vida diaria.

Gráfica 3. Distribución porcentual de la población con discapacidad por tipo de limitación del municipio de Felipe Carrillo Puerto.



Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del Censo INEGI, 2010.

La limitación de la movilidad es la discapacidad con mayor frecuencia entre la población del municipio de Felipe Carrillo Puerto; el 39% se refiere a caminar o moverse, el segundo tipo de limitación que más padece la población con alguna discapacidad es la de tener problemas para ver aun utilizando lentes, la cual representa el 21%.

Tabla 12. Población total de las principales localidades del municipio de Felipe Carrillo Puerto según condición de discapacidad.

Localidad	Sin limitación en la actividad	Con limitación en la actividad							
		Caminar o Moverse	Ver	Hablar o comunicarse	Oír	Atender el cuidado personal	Poner atención o aprender	Mental	Total
Felipe Carrillo Puerto	24,072	339	188	116	75	49	70	67	**24,976**
Tihosuco	4,729	89	50	26	25	6	3	24	**4,952**
Chunhuhub	4,456	88	35	32	27	18	6	13	**4,675**
Señor	2,962	35	18	6	12	2	2	8	**3,045**
Tepich	2,570	73	63	23	13	6	4	6	**2,758**
Total	38,789	624	354	203	152	81	85	118	**40,406**

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del Censo INEGI, 2010.

Según la condición de discapacidad por localidad, la discapacidad que se presenta con mayor frecuencia entre la población es la limitación para caminar o moverse; en segundo lugar, la limitación para ver aun usando lentes y en tercer lugar escuchar aun usando aparato auditivo.

5.4.2.2 Población que habla alguna lengua indígena y no habla español

Quintana Roo es también la segunda entidad del país donde más nacimientos se registran de familias indígenas. La población de 3 años y más que habla alguna lengua indígena constituyen el 66.8% de los habitantes del municipio y el 7.66% corresponde a la población de 3 años y más de lengua indígena y no habla español. La principal lengua indígena es la maya.

5.4.2.3 Porcentaje de población de habla indígena

En el municipio de Felipe Carrillo Puerto, el porcentaje de población de 3 años y más hablante de lengua indígena es el 66.8% de la población total municipal (Encuesta Intercensal 2015) siendo la proporción más alta en el estado.

Las lenguas indígenas más frecuentes en el municipio de Felipe Carrillo Puerto son:

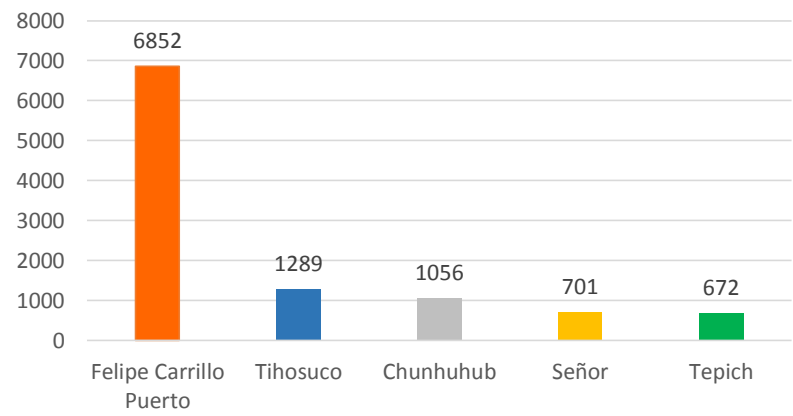
Tabla 13. Lengua indígena más frecuente en el municipio de Felipe Carrillo Puerto

Lenguas indígenas más frecuentes:	
Maya	98.7%
Tzotzil (tsotsil)	0.6 %

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del Censo INEGI, 2010.

5.4.2.4 Salud (población sin derechohabiencia, médicos por cada mil habitantes y tasa de mortalidad)

Gráfica 4. Población sin derechohabiencia de las principales localidades del municipio de Felipe Carrillo Puerto



Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del Censo INEGI, 2010.

Las unidades médicas en el municipio eran de 46 (17.5% del total de unidades médicas del estado), de igual forma, el personal médico era de 20 personas (0.9% del total de médicos en la entidad) y la razón de médicos por unidad médica era de 0.4, frente a la razón de 8 en todo estado.

Tabla 14. Tasa de mortalidad por edad especifica

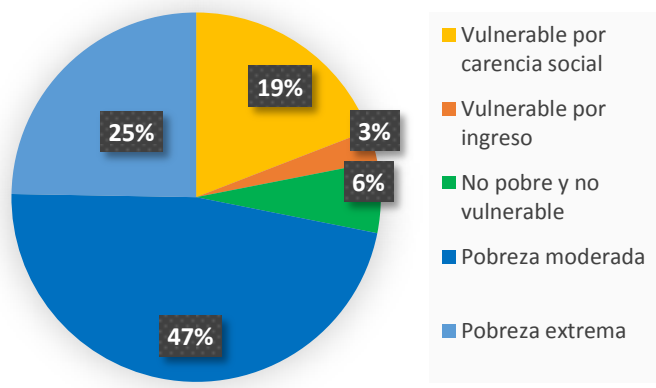
TASAS DE MORTALIDAD POR EDAD ESPECÍFICA DEL MUNICIPIO DE FELIPE CARRILLO PUERTO			
RANGO DE EDAD	**MUERTES POR RANGO DE EDAD**	**POBLACIÓN POR RANGO DE EDAD**	**TASA DE MORTALIDAD**
0-4 años	3	9075	0.3
5-9 años	2	9566	0.2
10-14 años	0	9467	0.0
15-19 años	3	9103	0.3
20-24 años	5	7618	0.7
25-29 años	8	6013	1.3
30-34 años	7	5590	1.3
35-39 años	8	5367	1.5
40-44 años	5	4185	1.2
45-49 años	12	3557	3.4
50-54 años	13	2957	4.4
55-59 años	12	2395	5.0
60-64 años	18	1749	10.3
65-69 años	15	1327	11.3
70-74 años	15	1197	12.5
75-79 años	38	622	61.1
80-84 años	34	391	87.0
85 años y más	48	379	126.6

Fuente: COESPO, 2010

5.4.2.5 Pobreza

En 2015, el 71.8% del total de la población se encontraban en pobreza, de los cuales 47% presentaban pobreza moderada y 25% estaban en pobreza extrema.

Gráfica 5. Pobreza del municipio de Felipe Carrillo Puerto



Fuente: Estimaciones del CONEVAL con base en el MCS-ENIGH 2010, la muestra del Censo de Población y Vivienda 2010, el Modelo Estadístico 2015 para la continuidad del MCS-ENIGH y la Encuesta Intercensal 2015.

5.4.2.6 Hacinamiento (promedio de ocupantes por cuarto)

El hacinamiento habla de la carencia de espacios de la vivienda o desde otro punto, la sobreocupación de personas en la vivienda. Cuando existe hacinamiento es necesario ampliar el tamaño de la vivienda para que esta pueda cumplir con sus funciones principales: protección, habitabilidad y salubridad. El umbral adoptado para determinar si existe hacinamiento es cuando tenemos más de 2.5 personas por cuarto. (CONAPO, 2011).

En el Municipio de Felipe Carrillo Puerto el promedio de ocupantes por vivienda es de 4.2, es decir que tienen más de cuatro ocupantes por vivienda. De igual forma, sus principales localidades urbanas se mantienen en ese mismo rango siendo el más alto la localidad de Tepich, de ahí le siguen Tihosuco, Señor, Chunhuhub y por último con el promedio más bajo es la localidad de Felipe Carrillo Puerto.

Tabla 15. Distribución de viviendas con 1 cuarto. Municipio de Felipe Carrillo Puerto

Municipio	Población Total	Promedio de ocupantes por vivienda	Total de viviendas por habitante	Porcentaje respecto del total de viviendas	Viviendas con 1 cuarto
Felipe Carrillo Puerto	81,742	4.2	19,525	18	19,504

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la Encuesta Intercensal 2015.

Tabla 16. Hacinamiento de las principales localidades del municipio de Felipe Carrillo Pto.

Localidad	Población Total	Promedio de ocupantes en viviendas particulares habitadas	Total de viviendas particulares habitadas	Viviendas con 1 cuarto	
				Viviendas particulares	Promedio de ocupantes en viviendas particulares
Felipe Carrillo Puerto	25,744	4.09	6,297	1,261	1.45
Tihosuco	4994	4.84	1,031	237	2.06
Chunhuhub	4,644	4.42	1,051	120	1.57
Señor	3,095	4.70	658	80	1.84
Tepich	2,753	4.94	557	122	2.20

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del Censo INEGI, 2010.

5.4.2.7 Marginación

La marginación es un fenómeno multidimensional y estructural originado, en última instancia, por el modelo de producción económica expresado en la desigual distribución del progreso, en la estructura productiva y en la exclusión de diversos grupos sociales, tanto del proceso como de los beneficios del desarrollo. (CONAPO, 2011).

De esta manera, la marginación se asocia a la carencia de oportunidades sociales y a la ausencia de capacidades para adquirirlas o generarlas, pero también a privaciones e inaccesibilidad a bienes y servicios fundamentales para el bienestar

El municipio de Felipe Carrillo Puerto presenta un índice de marginación de 0.424 y un grado de marginación Alto, ocupando el primer lugar de marginación en el contexto estatal.

Tabla 17. Índice y grado de marginación del municipio de Felipe Carrillo Puerto

Municipio	Índice de marginación	Grado de marginación	Lugar que ocupa en el contexto estatal	Lugar que ocupa en el contexto nacional
Felipe Carrillo Puerto	0.424	Alto	1	781

Fuente: Elaboración propia. Estimaciones del CONAPO con base en el INEGI, Encuesta Intercensal 2015 y Censo de Población y Vivienda 2010.

De igual forma, se presenta el grado de marginación de las principales localidades del municipio habiendo un mayor número de localidades con grado de marginación Alto.

Tabla 18. **G**rado de marginación por localidad del municipio de Felipe Carrillo Puerto

Localidad	Grado de marginación
Felipe Carrillo Puerto	Medio
Tihosuco	Alto
Chunhuhub	Alto
Señor	Alto
Tepich	Alto

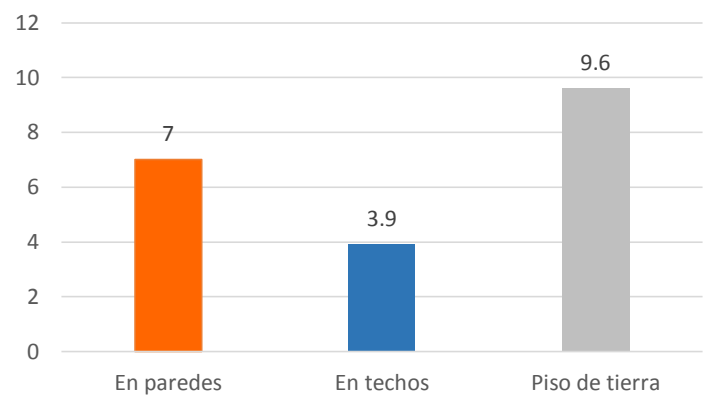
Fuente: Elaboración propia. Estimaciones CONAPO. Índice de marginación por localidad 2010.

5.4.3 Características de la vivienda

5.4.3.1 Viviendas con materiales de construcción

La falta de un recubrimiento en los pisos de una vivienda tiene implicaciones importantes en la salud de los ocupantes, debido a que está relacionado con las condiciones de higiene y humedad. En el municipio de Felipe Carrillo las viviendas particulares habitadas con piso de tierra son el 9.6% (1,874 viviendas)

Gráfica 6. Viviendas con materiales de construcción



Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la Encuesta Intercensal 2015

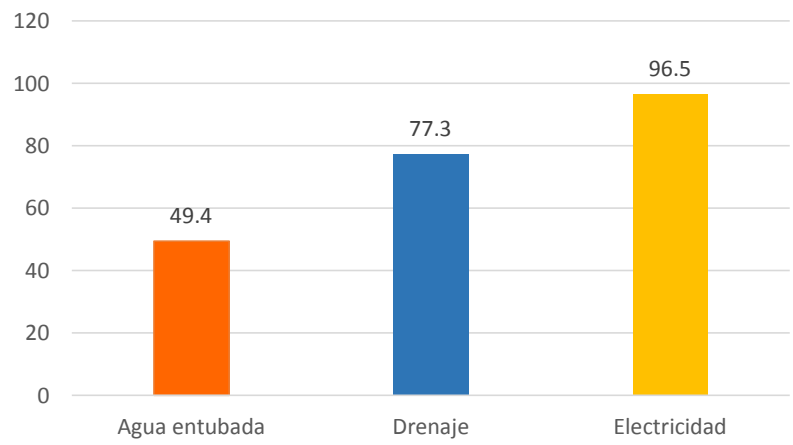
5.4.3.2 Disponibilidad de servicios en la vivienda

De los servicios básicos con que cuentan las viviendas en el municipio la electricidad presenta los mayores avances llegando casi a la cobertura total en el 2015 con un 96.5%.

De igual forma, un servicio esencial para la población lo constituye el abastecimiento de agua potable de la red pública. el porcentaje de viviendas particulares habitadas que cuentan con este servicio es de 49.4%, siendo el municipio de Felipe Carrillo Puerto más alto de la entidad.

En Quintana Roo, otro servicio fundamental para sustentar condiciones sanitarias adecuadas en la vivienda y el entorno donde se desarrolla la vida cotidiana de la población, es el drenaje. Sin embargo, a nivel municipal existen algunas diferencias. El porcentaje más bajo corresponde al municipio de Felipe Carrillo Puerto con 77.3%.

Gráfica 7. Disponibilidad de servicios en la vivienda



Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la Encuesta Intercensal 2015.

5.4.3.3 Déficit de vivienda

Por el contrario, de acuerdo a la Encuesta Intercensal 2015 Quintana Roo en el 2015, de las 19,525 viviendas particulares habitadas en el Municipio de Felipe Carrillo Puerto, el 2.0% no cuenta con acceso a agua entubada, el 23% no cuenta con servicio de drenaje en la vivienda, el 3.5% no cuenta con luz eléctrica y el 9.6% cuenta con piso de tierra.

Tabla 19. Deficiencia en la cobertura en servicios básicos en la vivienda del municipio de Felipe Carrillo Puerto

Municipio	Viviendas particulares habitadas	No disponen de agua entubada (%)	No cuentan con drenaje (%)	No disponen de energía eléctrica (%)	Con piso de tierra (%)
Felipe Carrillo Puerto	19 525	2.0	23	3.5	9.6

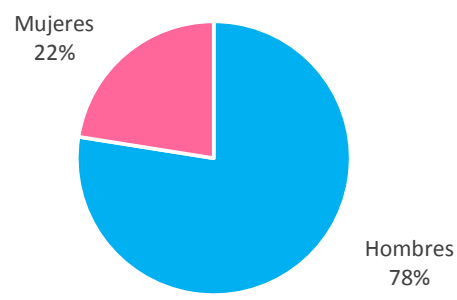
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la Encuesta Intercensal 2015.

5.4.4 Características económicas

De acuerdo con las estimaciones de la Encuesta Intercensal 2015 realizadas por el INEGI, en el municipio de Felipe Carrillo Puerto la población económicamente activa está representada por el 40.79% del total de la población de 12 años y más, y el 59.17% lo representa la población no económicamente activa.

De igual forma, del total de la población económicamente activa, 23,774 se encuentra ocupada lo que representa el 96.24%, de estos 18,426 son hombres y 5,348 son mujeres. El 3.76% se encuentra desocupada.

Gráfica 8. Población económicamente activa según sexo del municipio de Felipe Carrillo Puerto



Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la Encuesta Intercensal 2015.

La población ocupada del municipio de Felipe Carrillo Puerto según su división ocupacional de comerciantes y trabajadores en servicios diversos presenta un porcentaje del 37.19% siendo este el más alto de la división, seguido de los trabajadores agropecuarios con el 29.76%, funcionarios, profesionistas, técnicos y administrativos con él 19.77% y con el 13.18% trabajadores en la industria siento este el más bajo del grupo el cual comprende la parte de comerciantes, empleados en ventas y agentes de ventas; trabajadores en servicios personales y vigilancia; así como trabajadores en actividades elementales y de apoyo.

Tabla 20. Población ocupada y su distribución porcentual según división ocupacional

Municipio	Población ocupada	División ocupacional a/ (Porcentaje)				
		Funcionarios, profesionistas, técnicos y administrativos /b	Trabajadores Agropecuarios	Trabajadores en la industria c/	Comerciantes y trabajadores en servicios diversos d/	No especificado
Felipe Carrillo Puerto	23 774	19.77	29.76	13.18	37.19	0.11

a/ Corresponde a las ocupaciones agrupadas del Sistema Nacional de Clasificación de Ocupaciones 2011 SINCO.
b/ Comprende: funcionarios, directores y jefes; profesionistas y técnicos; así como trabajadores auxiliares en actividades administrativas.
c/ Comprende: trabajadores artesanales; así como operadores de maquinaria industrial, ensambladores, choferes y conductores de transporte.
d/ Comprende: comerciantes, empleados en ventas y agentes de ventas; trabajadores en servicios personales y vigilancia; así como trabajadores en actividades elementales y de apoyo.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la Encuesta Intercensal 2015, INEGI.

La población ocupada del municipio de Felipe Carrillo Puerto presenta en su sector de actividad económica de servicios un porcentaje del 43% siendo este el más alto de los sectores, de ahí le sigue el sector primario con el

Concepto	Cantidad
Albercas	0
Campos de beisbol	5
Campos y canchas de futbol	26
Canchas de basquetbol	29
Canchas de voleibol	1
Pistas de atletismo y trotapistas	1
Centros y unidades deportivas	4

31.16%, seguido del sector secundario con el 13.94% y con el 11.44% el sector de comercio el cual comprende la parte de transporte, gobierno entre otros servicios.

Tabla 21. Población ocupada y su distribución porcentual según sector de actividad económica

Municipio	Población ocupada	Sector de actividad económica (Porcentaje)				
		Primario a/	Secundario b/	Comercio	Servicios c/	No especificado
Felipe Carrillo Puerto	23 774	31.16	13.94	11.44	43.31	0.15

a/ Comprende: agricultura, ganadería, silvicultura, pesca y caza.
b/ Comprende: minería, extracción de petróleo y gas, industria manufacturera, electricidad, agua y construcción.
c/ Comprende transporte, gobierno y otros servicios.**Fuente:** Elaboración propia a partir de los resultados de la Encuesta Intercensal 2015, INEGI.

El municipio presentó de la población económicamente activa (12 años o más) que percibe menos de dos salarios mínimos un porcentaje del 33.52% considerado un porcentaje medio para el municipio de Felipe Carrillo Puerto.

Tabla 22. Población ocupada y su distribución porcentual según ingreso por trabajo

Municipio	Población ocupada	Ingreso por trabajo (Porcentaje)			
		Hasta 1 s.m.	Más de 1 a 2 s.m	Más de 2 s.m	No especificado
Felipe Carrillo Puerto	23 774	29.50	28.54	33.52	8.44

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la Encuesta Intercensal 2015, INEGI.

Concepto	Cantidad
Bibliotecas a/	14
Centros Culturales	2
Museos	2
Teatros	1
Centro coordinador para el desarrollo indígena	1

5.4.5 Infraestructura

El Anuario Estadístico y Geográfico de Quintana Roo 2017 en el municipio de Felipe Carrillo Puerto al 2016 reportó que existen 14 Bibliotecas, 2 centros culturales, 2 museos, 1 teatro y 1 centro coordinador para el desarrollo indígena.

Tabla 23. Espacios culturales registrados por la Secretaría de Cultura Serie al 31 de Diciembre de 2016

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del Anuario estadísticos y geográficos de Quintana Roo 2017, INEGI.

En lo que respecta a la infraestructura deportiva, el Anuario Estadístico y Geográfico de Quintana Roo 2017 para el municipio de Felipe Carrillo Puerto al 2016, reportó 0 albercas, 106 campos de futbol, 17 canchas de basquetbol, 17 canchas de voleibol, 351 centros y unidades deportivas, 2 gimnasios y una pista de atletismo.

Tabla 24. Centros y unidades deportivas registradas en la Comisión para la Juventud y el Deporte de Quintana Roo, al 31 de Diciembre de 2016.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del Anuario estadísticos y geográficos de Quintana Roo 2017, INEGI

Por su parte, la Secretaría de Turismo del Gobierno del Estado de Quintana Roo reportó al 31 de diciembre de 2016 un total de 12 establecimientos de hospedaje para el municipio de Felipe Carrillo Puerto.

Tabla 25. Establecimientos de hospedaje registrados al 31 de diciembre de 2016

Concepto	Cantidad
Hoteles	10
Moteles	2
Cabañas, villas y similares	1
Campamentos y albergues recreativos	0
Pensiones y casas de huéspedes	1
Departamentos y casas amuebladas con servicio de hotelería	0
Total	12

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del Anuario estadísticos y geográficos de Quintana Roo 2017, INEGI

En el municipio de Felipe Carrillo Puerto tiene un total de 89 tiendas de Diconsa, 4 mercados públicos y en lo que respecta a tianguis, rastros y centros de acopio el municipio no cuenta con ninguno de estos últimos.

Tabla 26. Establecimientos al 31 de diciembre de 2016

Concepto	Cantidad
Tiendas Diconsa	89
Tianguis a/	0
Mercados públicos	4
Centrales de abasto	0
Centro de acopio de granos y oleaginosas	0

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del Anuario estadísticos y geográficos de Quintana Roo 2017, INEGI.

Las instituciones del sector público de salud del municipio de Felipe Carrillo Puerto reportaron al 2016 un total de 47 unidades

Tabla 27. Unidades médicas de las instituciones del sector público de salud

Concepto	Cantidad
IMSS	1
ISSSTE	1
SEDENA	0
SEMAR	0
IMSS-PROSPERA	0
SSA a/	44
DIF	1
TOTAL	**47**

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del Anuario estadísticos y geográficos de Quintana Roo 2017, INEGI.

En su infraestructura el municipio de Felipe Carrillo Puerto tiene 4 estaciones de servicio de combustible (Gasolineras).

Tabla 28. Unidades de gasolineras en el municipio

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del Anuario estadísticos y geográficos de Quintana Roo 2017, INEGI

Concepto	Cantidad
Gasolineras	5

.

6. Identificación de la susceptibilidad y los peligros ante fenómenos perturbadores de origen natural.

6.1 Metodología

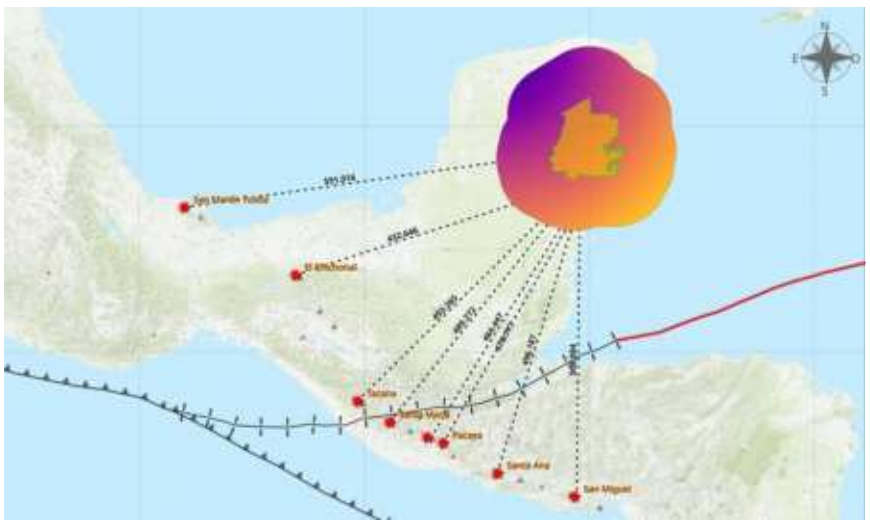
6.1.1 Vulcanismo

Anualmente se registran alrededor de 50 erupciones volcánicas en alguno de los 600 volcanes activos de los que se tiene registro a nivel mundial (CENAPRED, 2014). En México la tasa de erupciones por siglo durante los pasados 500 años ha sido de 15, con diferentes magnitudes (CENAPRED, 2014). Algunas de estas erupciones han sido muy destructivas, tal como lo fue la erupción del volcán El Chichón (Chichonal) en 1982. Este volcán, ubicado en el estado de Chiapas, emitió una columna que alcanzó los 24 kilómetros de altura y 100 kms de radio, dejando más de 2,000 víctimas y 20,000 damnificados. La última erupción registrada para los volcanes activos cercanos al municipio es la que ocurrió el 3 de junio de 2018 en el volcán de fuego, ubicado en Guatemala. Esta erupción emitió una columna de ceniza que alcanzó los 17 kilómetros de altura. Es considerada la más violenta en 40 años para este volcán dejando más de 300 víctimas y 1.7 millones de damnificados.

Existe registro de 2,000 volcanes en México, de los cuales 15 tiene el carácter de volcanes activos. Los volcanes activos son aquellos que han registrado un episodio eruptivo los últimos 10,000 años. A continuación, se presentan la lista y mapa de los volcanes más cercanos al municipio de Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo:

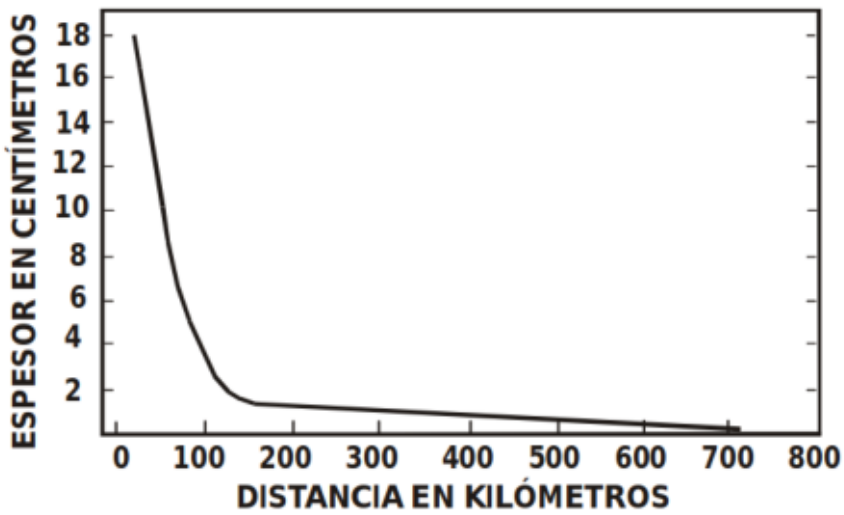
Tabla 29. Volcanes activos en la región sureste de México y norte de Cenetroamérica

Volcán	Distancia al municipio
San Martín Tuxtla	591.02
El Chichón (Chichonal)	432.65
Tacaná	493.27
Santa María	489.27
De Fuego	464.45
Pacayá	478.79
Santa Ana	496.19
San Miguel	508.08



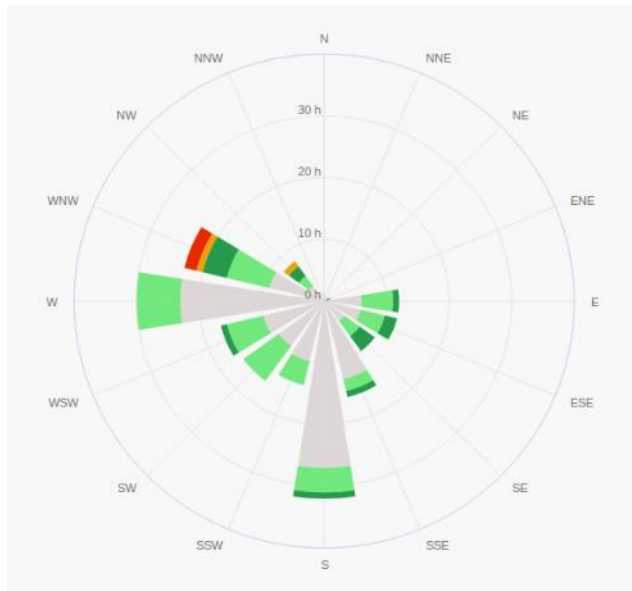
Mapa 14. Volcanes activos más cercanos al municipio de FCPrto

Aunque los peligros de una erupción volcánica son varios (flujos de lodo, flujos piroclásticos, flujos de lava, colapsos del aparto volcánico, deslizamientos y caída de cenizas), debido a la lejanía de los volcanes activos al municipio el mayor efecto adverso tendría que ser la caída de ceniza, que es el peligro de mayor alcance ya que las cenizas una vez que alcanzan la estratosfera (11 kms) pueden ser transportadas a miles de kilómetros de su origen ocasionando daño en la salud de personas y animales, colapsar techos (tienen una densidad de 70 kg/m² secas y de 120 kg/m² húmedas) y afectar cultivos. De acuerdo con CENAPRED (2014) el peso de una capa de cenizas de 3 cms de espesor puede hacer colapsar un techo endeble.

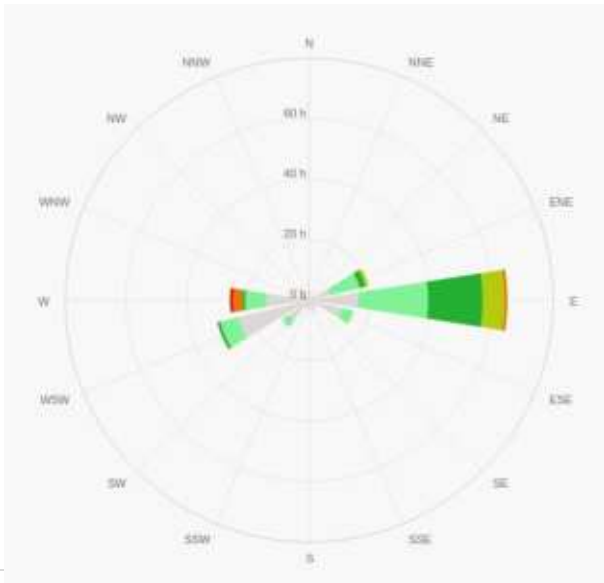


Gráfica 9. *Espesor de la capa de cenizas vs distancia alcanzada en kilómetros para columnas eruptivas de 11 kms o más (CENAPRED, 2014)*

Sin embargo, la dispersión de la ceniza está completamente afectada por la dirección de los vientos dominantes y como puede observarse en las siguientes ilustraciones, en caso de registrarse una nueva erupción las cenizas arrojadas por ambos volcanes viajarían en direcciones diferentes a la del municipio de Felipe Carrillo Puerto.



Gráfica 10. Vientos dominantes en el Volcán el Chichonal (meteoblue, 2018)

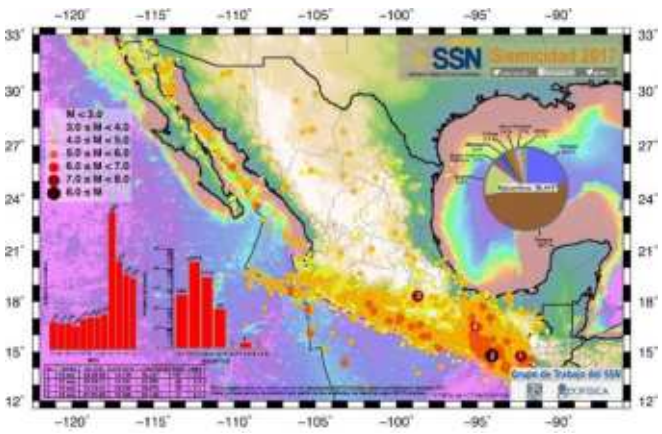


Gráfica 11. Vientos dominantes en el volcán de Fuego (meteoblue, 2018)

6.1.2 Sismicidad

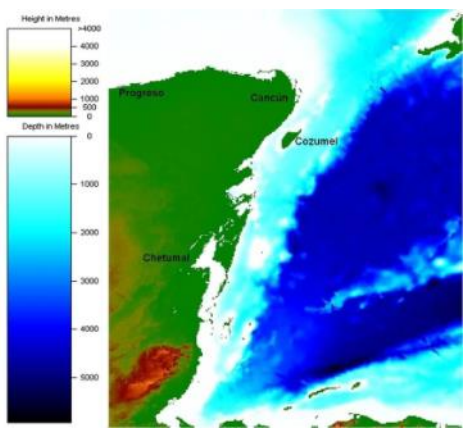
Los sismos no pueden predecirse a través de un procedimiento confiable que establezcan el momento de su ocurrencia ni de su magnitud. A pesar de ello, este fenómeno ocurre en regiones bien definidas a nivel global. La región más cercana al municipio es la costa de los estados de Oaxaca y Guerrero, en la zona de subducción de la Placa de Cocos con la norteamericana. Por otra parte, cualquier catálogo sísmico mundial o regional, que cubra un periodo de varios años (50 ó 100 años), nos mostrará que el promedio de temblores por cualquier periodo definido es muy similar (CENAPRED, 2004).

Mapa 15. Límite de placas



Mapa 16. Sismos importarte para la República Mexicana en 2017

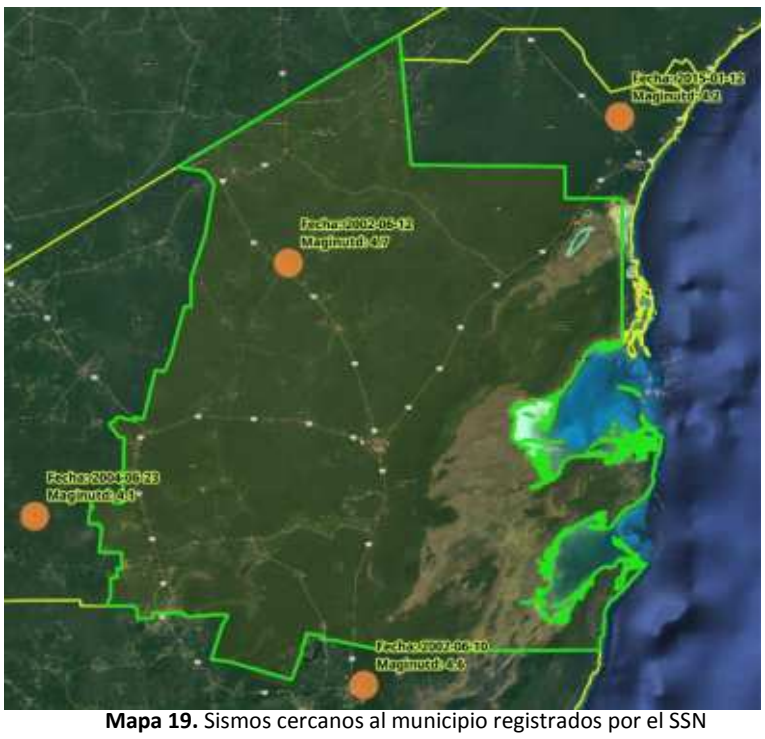
La sismicidad en el municipio se debe a la interacción de la placa del caribe con cuatro placas: *NORTEAMÉRICA* (en el *ATLÁNTICO*), *AMÉRICA* del Sur (*ATLÁNTICO* y Pacífico) y Cocos y Nazca (Pacífico). La unión de las placas del Caribe y la *NORTEAMERICANA* forma la Fosa de las Caimán que es una falla transformante que tiene un movimiento anti-horario con una velocidad de unos 20 mm/año. Los límites de estas Placas *CONTINÚAN* en la zona continental a través de Guatemala *NOMBRÁNDOSE* Sistema Polochic-Motahua, a una distancia relativamente cerca del sur de Quintana Roo. Aun *ASÍ*, es poco probable la ocurrencia de sismos en la costa de Quintana Roo.



Mapa 17. Fosa de las Caimán

De acuerdo al Servicio Geológico Mexicano (2010), el peligro sísmico es la probabilidad de ocurrencia de un movimiento telúrico de determinada magnitud en una cierta área. Pero ya que no es posible determinar con certeza esa probabilidad, lo mejor es realizar un análisis estadístico de sismos pasados y su aceleración determinada en diferentes sitios, esto permitiría obtener la probabilidad de ocurrencia de ciertas aceleraciones en el futuro.

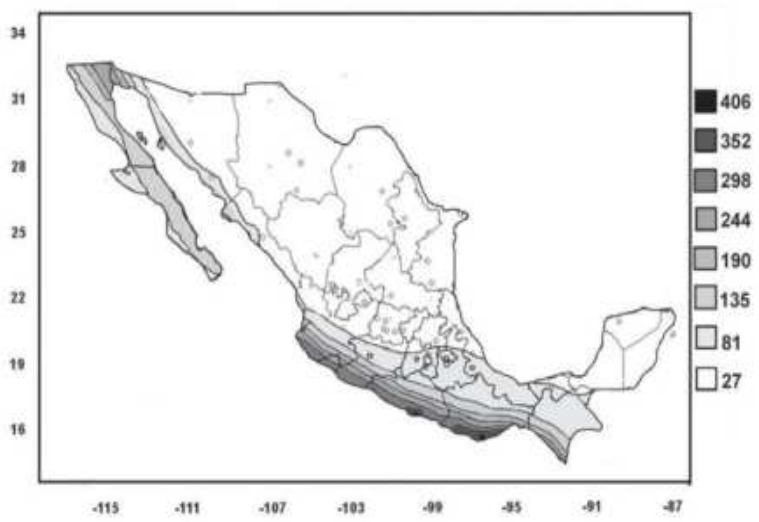
Mapa 18. Regionalización sísmica de la República Mexicana



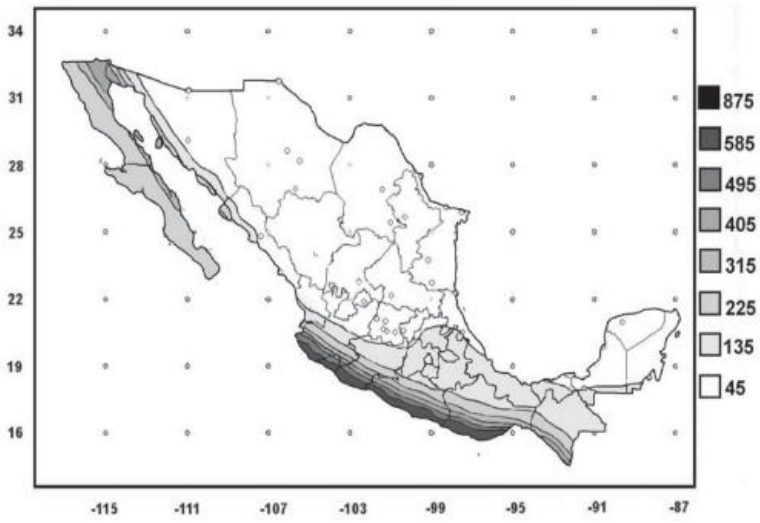
Mapa 19. Sismos cercanos al municipio registrados por el SSN

El Servicio Sismológico Nacional registra cuatro sismos de magnitud media (4.2 a 4.7), dos en el aó 2002, uno más en el 2004 y otro en 2015. Por otra parte, el CENAPRED (2004) presenta los valores de aceleración máxima para los periodos de retorno de 10, 100, 500 y 1000 años.

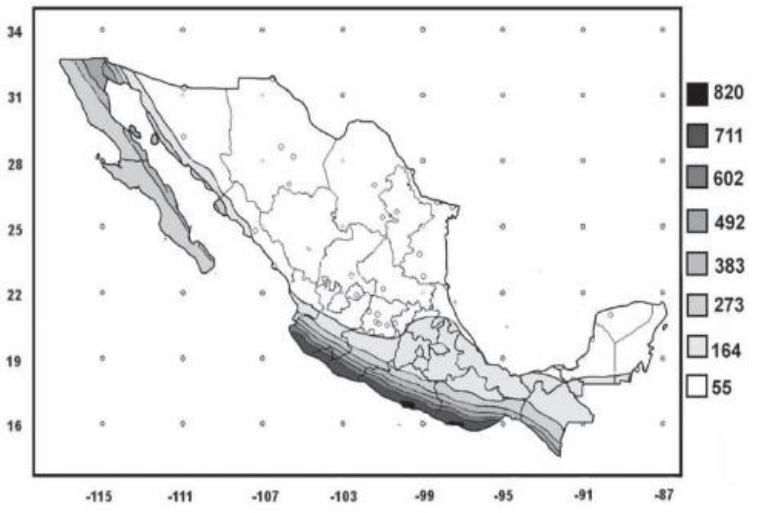
Mapa 20. Aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 10 años.



Mapa 21. Aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 100 años.



Mapa 22. Aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 500 años.



Mapa 23. Aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 1000 años.

Cabe señalar que las magnitudes presentadas en los mapas anteriores están en unidades de gals (1cm/s2) y que un sismo puede ocasionar daños serios en las construcciones cuando este tiene una aceleración mayor a 147.10 gals (0.15 g). Por lo que el peligro de daño en las viviendas del municipio de Felipe Carrillo Puerto es demasiado bajo.

6.1.3 Procesos de Remoción en Masa (Deslizamientos, Flujos y Caídos o Derrumbes)

6.1.3.1 Susceptibilidad y Peligro

El deslizamiento de una ladera es un término general que se emplea para designar a los movimientos talud abajo de materiales térreos, que resultan de un desplazamiento hacia abajo y hacia afuera de suelos, rocas y vegetación, bajo la influencia de la gravedad. La inestabilidad de una ladera se refiere al movimiento, pendiente abajo, de una porción de los materiales (suelo o roca) que componen la superficie inclinada de una montaña, de una depresión, del flanco de una barranca, a lo largo de una superficie de falla o de deslizamiento. Algunos deslizamientos son rápidos por que ocurren en segundos, mientras que otros pueden tomar horas, semanas, meses, o aun lapsos mayores para que se desarrollen.

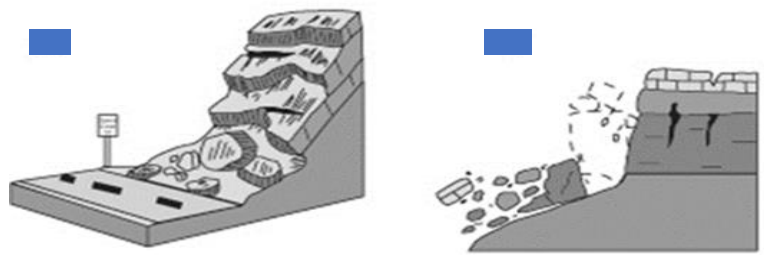
Cada año en las zonas montañosas de México ocurren numerosos casos de inestabilidad de laderas, principalmente durante la época de lluvias, que en ocasiones llegan a afectar severamente poblaciones y vías de comunicación. Desde luego para la Protección Civil, fundamentalmente por lo que se refiere a la seguridad de las personas, son de particular preocupación los deslizamientos rápidos.

Se clasifican según la forma en que los materiales son transportados en: Caídos y derrumbes, Flujos y Deslizamientos (en ocasiones puede haber una combinación entre ellos).

6.1.3.1.1 Caídos o derrumbes

Movimientos abruptos de suelos y fragmentos aislados de rocas que se originan en pendientes muy fuertes y acantilados, por lo que el movimiento es prácticamente de caída libre, rodando y rebotando (figura 1); incluye:

A. **Desprendimientos:** Caída de suelos producto de la erosión o de bloques rocosos, atendiendo a discontinuidades estructurales (grietas, planos de estratificación o fracturamiento) proclives a la inestabilidad.
B. **Vuelcos o volteos:** Caída de bloques rocosos con giro hacia adelante y hacia afuera, propiciado por la presencia de discontinuidades estructurales (grietas de tensión, formaciones columnares, o diaclasas) que tienden a la vertical.



A. Caída de rocas **B. Derrumbes**

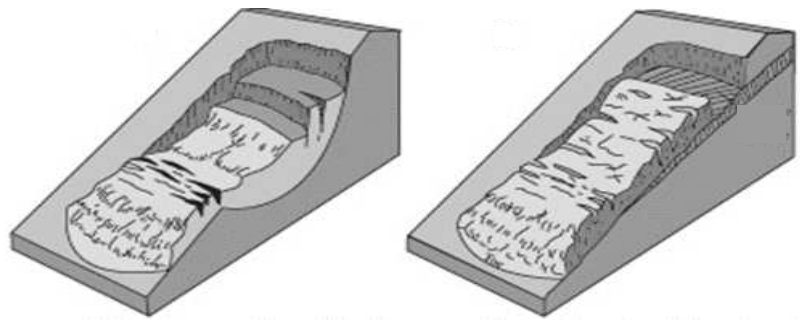
Figura 1. *Tipos de deslizamientos: A) los caídos de rocas o B) derrumbes obedecen mayoritariamente a pendientes muy fuertes o acantilados (Highland y Bobrowsky, 2008).*

6.1.3.1.2 Deslizamientos

Movimientos de una masa de materiales térreos pendiente abajo, sobre una o varias superficies de falla delimitadas por la masa estable o remanente de una ladera. Por la forma de la superficie de falla (figura 2), se distinguen:

Rotacionales: Deslizamientos en los que su superficie principal de falla resulta cóncava hacia arriba (forma de cuchara o concha), definiendo un movimiento rotacional de la masa inestable de suelos y/o fragmentos de rocas con centro de giro por encima de su centro de gravedad. Frecuentemente, estos deslizamientos rotacionales ocurren en suelos arcillosos blandos, aunque también se presentan en formaciones de rocas blandas muy intemperizadas.

Traslacionales: Deslizamientos en los que la masa de suelos y/o fragmentos de rocas se desplazan hacia afuera y hacia abajo, a lo largo de una superficie de falla más o menos plana, con muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo.



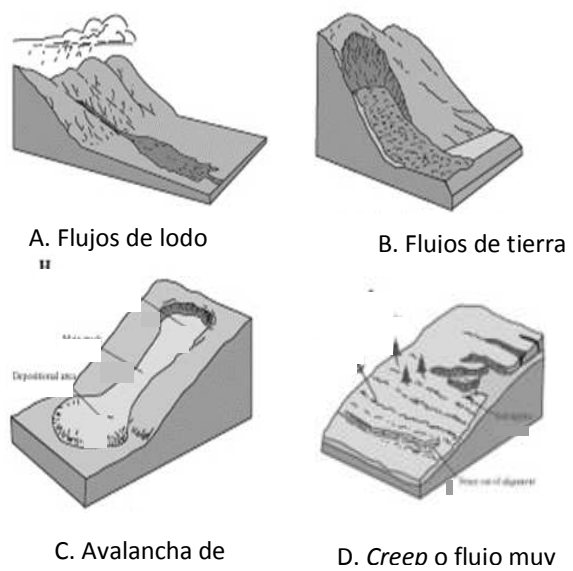
A. Deslizamiento rotacional **B. Deslizamiento**

Figura 2. Tipos de deslizamientos: A) los deslizamientos rotacionales y B) traslacionales definen su ocurrencia por el comportamiento de la superficie de falla del material remanente de una pendiente (Highland y Bobrowsky, 2008).

6.1.3.1.3 Flujos

Movimientos de suelos y/o fragmentos de rocas pendiente abajo de una ladera, en donde sus partículas, granos o fragmentos tienen movimientos relativos dentro de la masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla (figuras 3 y 4). Los flujos pueden ser de muy lentos a muy rápidos, así como secos o húmedos; pueden distinguirse:

A. **Flujos de lodo:** Masa de de suelo y agua que fluye pendiente abajo muy rápidamente, y quecontiene por lo menos 50% de granos de arena y limo, y partículas arcillosas.
B. **Flujos de tierra o suelo:** Masa de suelo y agua que fluye pendiente abajo muy rápidamente, y que contiene por lo menos 50% de granos de grava, arena y limo.
C. **Flujos o avalancha de detritos:** Movimiento rápido de una mezcla en donde se combinan suelos sueltos, fragmentos de rocas, y vegetación con aire y agua entrampados, formando una masa viscosa o francamente fluida que fluye pendiente abajo.
D. **Creep o flujo muy lento:** A diferencia de los casos anteriores, es un movimiento constante pero muy lento de suelos y rocas pendiente abajo, en el que no se define con precisión la superficie de falla.
E. **Lahar:** Flujo de suelos o detritos que se origina en las laderas de un volcán, generalmente disparado por lluvias intensas que erosionan depósitos volcánicos, deshielo repentino por actividad volcánica, o bien por rotura o desbordamiento de represas de agua.



A. Flujos de lodo B. Fluios de tierra

C. Avalancha de D. *Creep* o fluio muy

Figura 3. Tipos de deslizamientos: Los flujos o avalanchas dependen de la saturación del suelo por un fluido, por su parte el creep, es un movimiento sumamente lento pero persistente de suelo aparentemente sin una superficie de falla bien definida (Highland y Bobrowsky, 2008).

Figura 4. Un lahar hace referencia a una avalancha de productos volcánicos, al ser un flujo en su mayoría busca los cauces de los ríos para seguir su trayectoria. Pueden ser fríos o calientes, dependiendo de la condiciones volcánicas así como del material que arrastre, altamente destructivos debido a la gran velocidad que toman y a su alta densidad.

Para el municipio de Felipe Carrillo Puerto el peligro de derrumbes, originados en pendientes muy inclinadas y acantilados, done existe el movimiento de rocas en caída libre, rodando y rebotando, prácticamente no existe. Ya que su mayor elevación solo alcanza los 91 metros. Representa uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los seres humanos, sin embargo, la zona de estudio se encuentra exenta. La amenaza de derrumbes se presenta sobre todo en la época lluviosa o durante períodos de actividad sísmica, pero el territorio quintanarroense no es considerado entre aquellos que registran una actividad telúrica constante.

Por otra parte, en relación a la amenaza de flujos, es decir, donde existe movimiento de los suelos y/o fragmentos de rocas pendiente abajo de una ladera, tampoco existe peligro sobre la zona de estudio, es decir el deslizamiento sobre una superficie de falla es poco probable que se presente en el municipio, la falla geológica localizada al suroeste en pequeña y representa peligro alguno.

6.1.3.1.4 Inestabilidad de laderas

De acuerdo a Terzagui (1950), la estabilidad general de una ladera depende de los factores internos y externos, y su análisis se realiza a partir de la definición de las fuerzas actuantes y de las fuerzas resistentes. Por su parte, González de Vallejo (2002), los factores condicionantes para este peligro, son los que dependen de su propia naturaleza, estructura y forma de terreno. Entre los cuales se encuentran:

- Litología
- Discontinuidades del terreno
- Hidrogeología
- Intemperismo
- Pendiente
- Uso de suelo

Por otra parte, se encuentran los factores desencadenantes, es decir, factores externos que provocan o desencadenan la inestabilidad, los cuales pueden ser:

- Lluvias
- Sismos
- Actividad volcánica
- Actividad humana (sobrecargas, fugas de agua)

Asimismo podemos definir susceptabilidad de laderas como: una propiedad del terreno que indica que tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que pueda ocurrir la inestabilidad, y se refiere solamente a factores intrinsecos a los materiales naturales de la ladera, sin considerar factores desencadenantes, como sería el caso de la precipitación o la sismicidad.

Se propone para el municipio de Felipe Carrillo Puerto una metodología para estimar cualitativamente la amenaza de deslizamiento basada en la asignación de valores numéricos a cada uno de los factores influyentes, según sus atributos. Esta metodología empírica es de naturaleza cualitativa y está basada en la metodología propuesta por Suárez (1998) y modificada por Moral (2014), incorporando a la anterior modificaciones y criterios más amplios a la hora de estudiar los factores de susceptibilidad en el municipio.

Se basa en la asignación de valores numéricos a cada uno de los factores influyentes según sus atributos (Mapas 30, 31 y 32). Tales factores reúnen aspectos topográficos, geotécnicos, históricos, geomorfológicos y ambientales. En función de la suma total de las calificaciones asignadas, se establecen cinco grados de la amenaza de deslizamiento, desde muy baja hasta muy alta (Mapa 33). Estos valores obtenidos solo deben considerarse indicativos, y deberan revisarse periodicamente.

Tabla 30. Factores topográficos e históricos.

Formato para la evaluación de susceptibilidad a los deslizamientos						
1. FACTORES TOPOGRÁFICOS E HISTÓRICOS						
Factor	**Categorías**	**Atributo relativo**	**Observaciones**	**Calificación zonas**		
				A	**B**	**C**
Inclinación de los taludes (pendiente)	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio.			
	35° a 45°	1.8				
	25° a 35°	1.4				
	15° a 25°	1.0				
	Menos de 15°	0.5				
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre corona o fondo de la cañada.			
	50 a 100 m	1.2				
	100 a 200 m	1.6				
	Más de 200 m	2.0				
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de lugareños.			
	Algunos someros	0.4				
	Sí, incluso con fechas	0.6				

Tabla 31. Factores geológicos y geotécnicos.

2. FACTORES GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS						
Factor	**Categorías**	**Atributo relativo**	**Observaciones**	**Calificación zonas**		
				A	**B**	**C**
Tipo de suelos o rocas	Suelos granulares medianamente compactos a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas.	1.5 a 2.5	Vulnerable a la erosión; o suelos de consistencia blanda.			
	Rocas metamórficas y poco a muy intemperizadas.	1.2 a 2.0				
	Suelos arcillosos consistentes o arenosos limosos compactos	0.5 a 1.0	Multiplicar por 1.3 si está agrietado			
	Rocas sedimentarias (calizas, areniscas, conglomerdos, etc.)	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5 según el grado de meteorización.			
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, tobas, etc.)	0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según el grado de meteorización.			
Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5	Revísense cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.			
	5 a 10 m	1.0				
	10 a 15 m	1.4				
	15 a 20 m	1.8				

Tabla 32. Factores geomorfológicos y ambientales.

3. FACTORES GEOMORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES						
Factor	**Categorías**	**Atributo relativo**	**Observaciones**	**Calificación zonas**		
				A	**B**	**C**
Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujos).			
	Volumenes moderados	0.5				
	Grandes volumenes faltantes	1.0				
Vegetación y uso de tierra	Zona urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima.			
	Cultivos anuales	1.5				
	Vegetación intensa	0.0				
	Vegetación moderada	0.8				
	Área deforestada	2.0				
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.			
	Nivel freático inexistente	0.0				
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o la plataforma	1.0				
			SUMATORIA			

Fuente: Suárez J., (1998) y Moral, L. (2014).

Tabla 33. Escala de valor para el cálculo de deslizamiento de laderas.

ESCALA DE VALORES DE LA ESTIMACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD			
Estratificación de la amenaza			**Suma de Calificaciones**
5	Muy alta		Más de 100
4	Alta		85 a 100
3	Media		70 a 85
2	Baja		50 a 70
1	Muy baja		Menos de 50

Fuente: Suárez J., (1998) y Moral, L. (2014).

6.1.3.2 Cálculo de la susceptibilidad del terreno de Felipe Carrillo Puerto

Se llevó a cabo una serie de geoprocesos para este análisis, con base en las metodologías de Suárez (1998) y Moral (2014), que consistió en la combinación de capas de información para obtener los parámetros a medir. Asimismo, se contó con la información histórica proporcionada por el personal de la Dirección de Protección Civil del municipio.

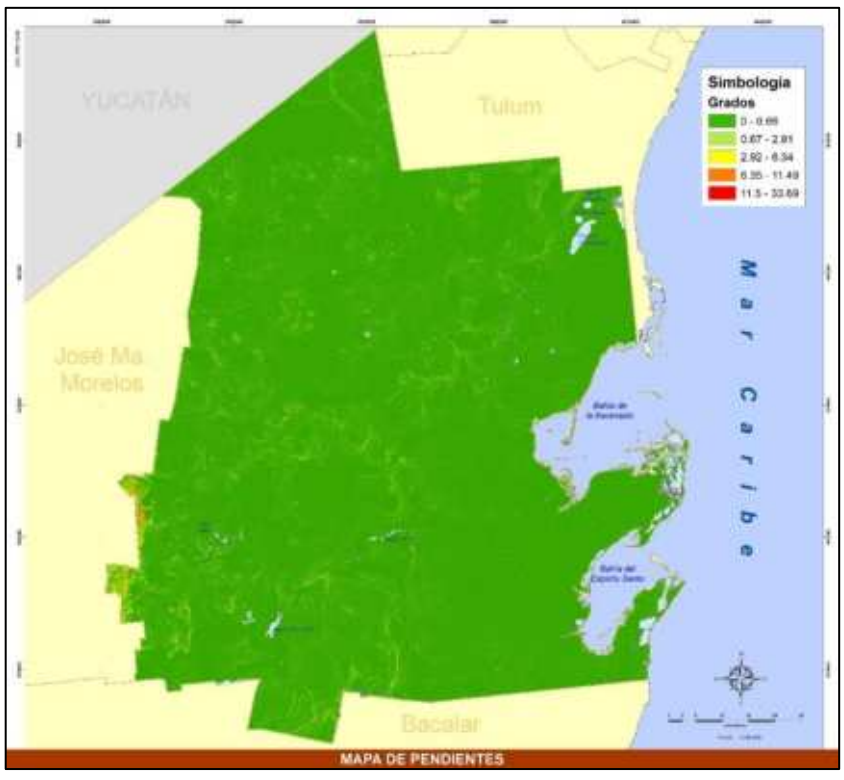
6.1.3.2.1 Factores topográficos e históricos

Para representar la topografía del terreno del municipio de Felipe Carrillo Puerto se obtuvo del Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0) – INEGI el Modelo Digital del Terreno (MDT). A partir de este modelo se

crearon diferentes capas de información para su utilización en posteriores análisis:

Pendiente

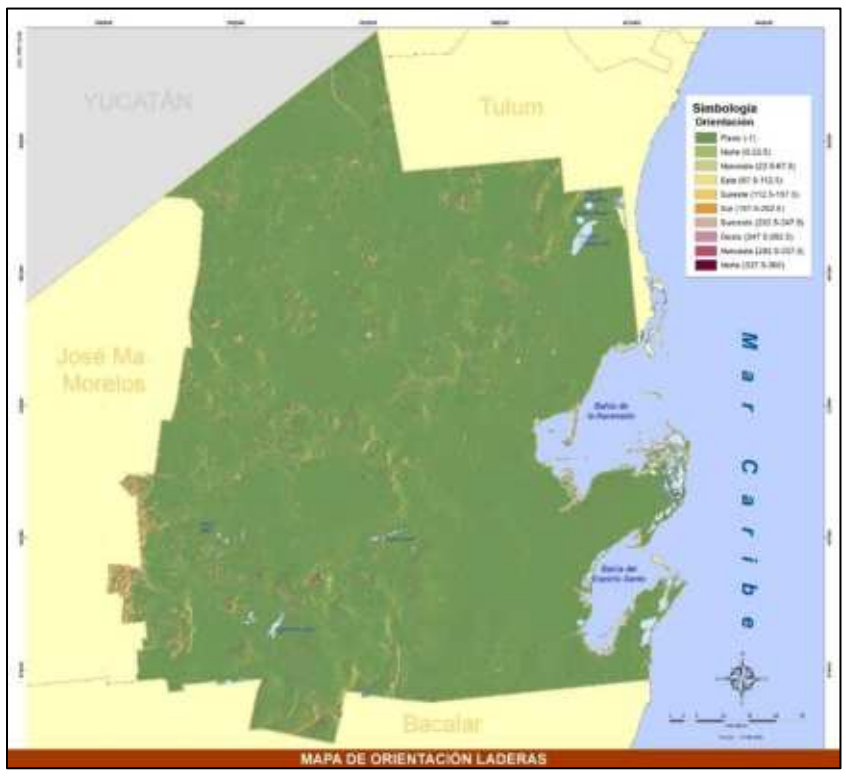
La pendiente del terreno identifica el gradiente o tasa de cambio en el valor z desde cada celda de la superficie del raster a partir de los ocho vecinos más próximos de la celda central (3 x 3). El rango de valores en la salida depende del tipo de unidades de medida. En este caso para los grados, el rango de valores de pendiente es de 0° a 90°. La mayor pendiente se simboliza de color rojo, teniendo un rango entre 11° y 34°, localizada al suroeste del municipio (mapa 24).



Mapa 24. Inclinación de taludes.

Orientación

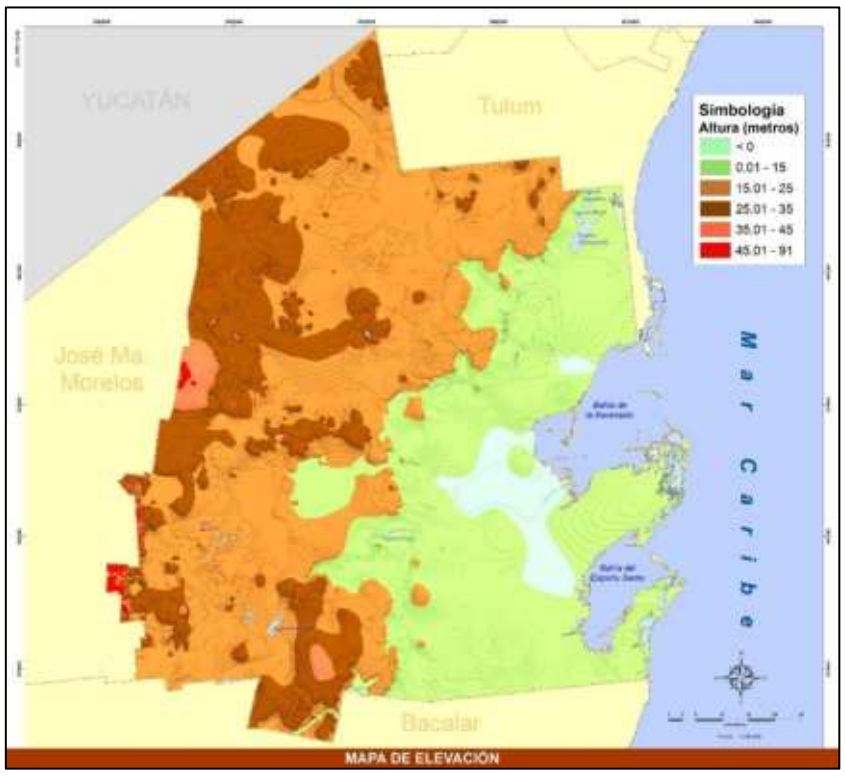
La orientación en un punto puede definirse como el ángulo existente entre el vector que señala el Norte y la proyección sobre el plano horizontal del vector normal a la superficie en ese punto. Se expresa en grados positivos de 0 a 359.9, medido en sentido horario desde el norte. Para la zona de estudio la orientación se encuentra mayoritariamente al Oeste y Noroeste, donde se localizan las mayores alturas y pendientes de aproximadamente 30° grados. Identificando zonas de terrenos sujetos a inundación (mapa 25). A partir de este factor y la altura (mapa 26) de ladera se obtiene el desnivel de laderas para prevenir posibles deslizamientos de rocas o de agua.



Mapa 25. Orientación de laderas.

Alturas

Se muestran las alturas del terreno a partir del CEM 3.0 – INEGI, para identificar el desnivel entre la corona y el valle o fondo de las hondonadas de Felipe Carrillo Puerto. La zona de estudio tiene una altura máxima de 91 m, localizada en su parte suroeste colindando con el municipio de José Ma. Morelos, de la misma manera existen partes muy bajas cercanas al Mar Caribe (mapa 26). Siendo una zona de planicie cuenta con un promedio de altura aproximada de 44 metros.



Mapa 26. Altura del terreno.

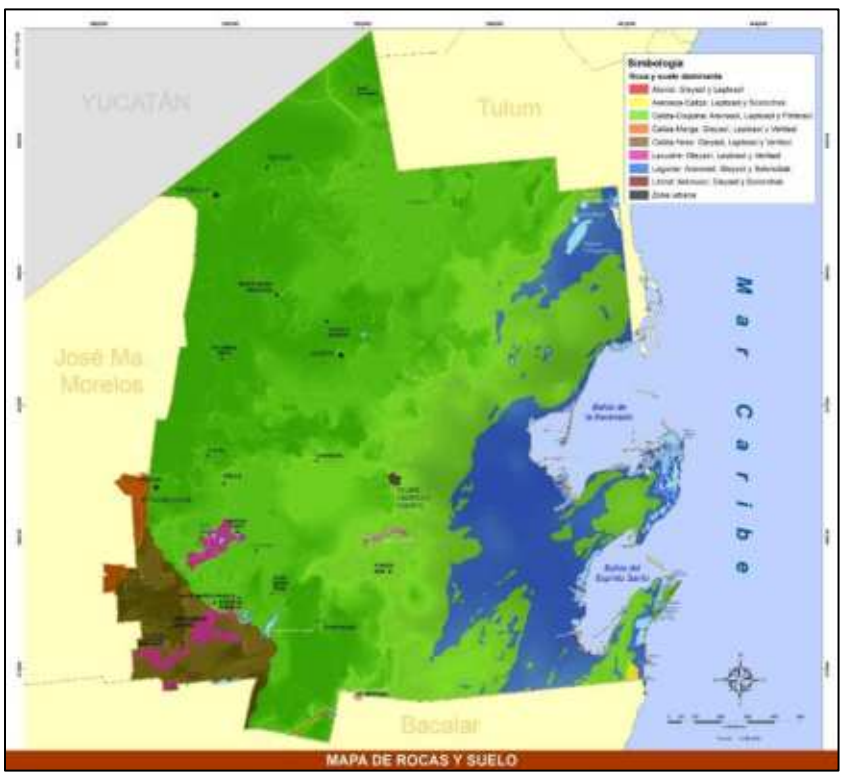
6.1.3.2.2 Factores geológicos y geotécnicos

Tipos de rocas y suelo

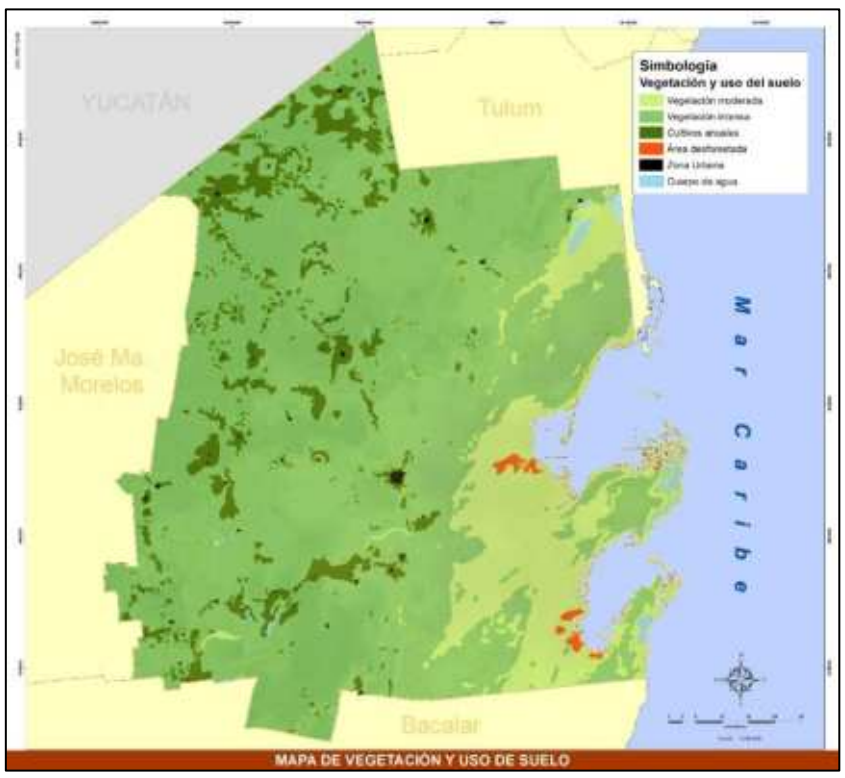
En función del proceso de formación la roca predominante sobre toda la superficie del municipio son las rocas sedimentarias. Compuestas principalmente por minerales de carbonato cálcico, abundado las rocas calizas. Las cuales se han formado a partir de la sedimentación de otras rocas o restos orgánicos. Básicamente, corresponden a erosión (mecánica, química o biológica) y transporte por corrientes de agua, así como de agregados fracturados mecánicamente por procesos naturales como la precipitación y elevadas temperaturas, dando lugar a depósitos de areniscas, margas, calizas, yesos, arcillosos, entre otros (Mapa 27). Las calizas se encuentran en diferentes formaciones como paramos calizos dando lugar a formas tipo dolinas kársticas y cenotes, así como depósitos de yeso, menos pronunciados, más erosionados y en menor medida.

Ahora bien, en la capa superficial del territorio de Felipe Carrillo Puerto, a partir de la descomposición de las rocas y cambios bruscos de temperatura y por la acción del agua y el viento, existen una gran variedad de suelos en el municipio. Mencionados a detalle en apartados anteriores. Los suelos predominantes son los *Leptosoles*, considerados suelos someros (poco profundos) y gravillosos. También existen los influenciados por el agua como los *Vertisoles*, *Solonchak*s y *Gleysoles*; suelos de composición química, en menor medida, como los *Plintosoles*; suelos arcillosos como los *Luvisoles* y suelos jóvenes como los *Arenosoles*, *Cambisole*s y *Regosoles* (ver mapa Edafología).

Se muestra en el mapa 27 la combinación de rocas y suelos dominantes como uno de los factores que intervienen en el cálculo de la susceptibilidad.



Mapa 27. Tipo de suelo y rocas**.**



Mapa 28. Vegetación y uso de suelo.

A partir de lo anterior, se define el espesor del suelo muy pequeño y homogéneo en toda la zona de estudio, ya que la mayor parte del territorio está cubierta por unidades de *Leptosoles*, que como se ha comentado se caracteriza por su escasa profundidad (menor a 25 cm), por tanto, el peso que aporta este factor es el mínimo y es el mismo para todo el municipio.

6.1.3.2.3 Factores geomorfológicos y ambientales

Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas

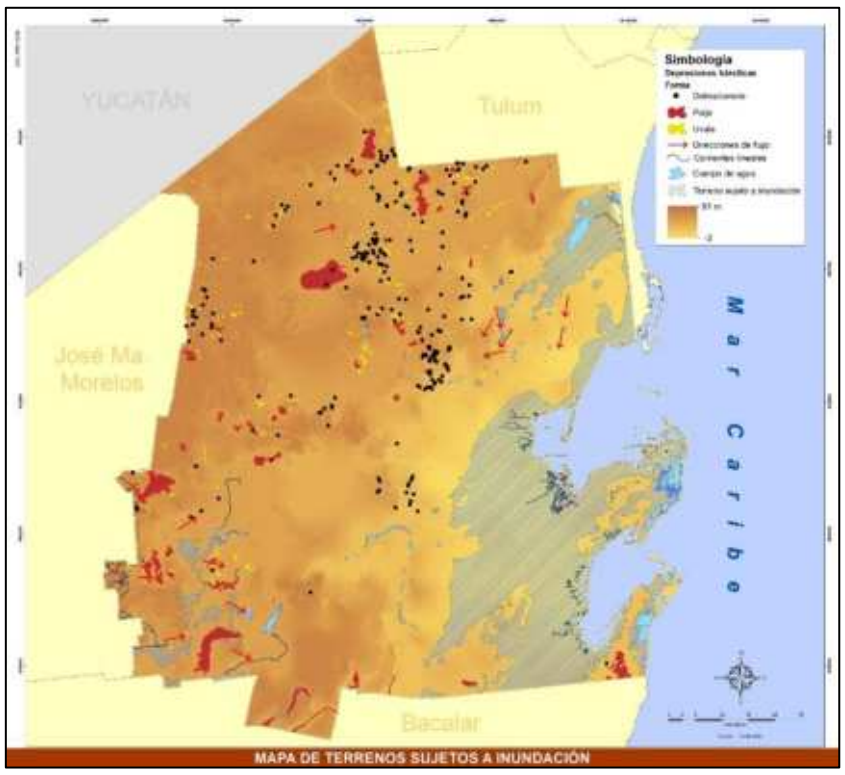
Quintana Roo se caracteriza por ser una planicie con piso rocoso (caliza) con una altitud media de 50 m s. n. m**.** Felipe Carrillo Puerto por su parte, cuenta con una altitud media de 20 m s.n.m., donde predominan planicies y mesetas kársticas. No obstante, debemos tener en cuenta que la topografía del karst se desarrolla por etapas, la combinación de los procesos de disolución da origen a las dolinas, que pueden presentarse de manera aislada o agrupada; estos procesos igualmente pueden ocasionar depresiones mayores con áreas progresivamente más grandes, originando uvalas y poljes (Fragoso-Servon et al., 2010). Y están tanto en la superficie como en el subsuelo, por ello el relieve kárstico en Quintana Roo se ha tenido que dividir en dos zonas, el endokarst y el exokarst. Por la filtración y concentración del agua, principalmente en el subsuelo, el colapso de una dolina permite la entrada a un sistema subterráneo de cuevas, formándose huecos en el terreno (Mapa 29). Por tal motivo, la evidencia de "huecos" en laderas es inexistente, pero en el terreno sí, o en pequeñas elevaciones, es así que el peso para este factor se dio a dos zonas.

Vegetación y uso de tierra

Se realizó una reclasificación de la serie VI de vegetación y usos de suelo del INEGI hasta agruparla en cinco categorías, de acuerdo a la metodología de Moral (2014), que son las que intervienen en el proceso seleccionado (Mapa 28). La mayor parte del territorio de Felipe Carrillo Puerto tiene vegetación intensa, principalmente ocupada por selva. En las hondonadas, se encuentran suelos más impermeables, como los *Gleysole*s y *Solonchak*. Estos suelos se encuentran asociados a sistemas o unidades litológicas que quedan sumergidas al menos por una parte del año, es decir, son sitios naturalmente inundables por la impermeabilidad del suelo. Asimismo, existe suelos delgados como son los *Leptosoles*. La mayor parte del territorio se encuentra cubierta por selva y vegetación secundaria, con un mínimo porcentaje ocupado por asentamientos humanos y áreas de cultivo, así como cuerpos de agua superficiales.

Régimen del agua en la ladera

Para el factor geomorfológico y ambiental, llamado régimen de agua en la ladera, si bien no existen laderas de importancia en el municipio, la acumulación de agua afecta principalmente su parte baja, al Este cercana a la costa y la parte Suroeste de la zona de estudio (mapa 29), donde se localizan las mayores alturas del municipio. Como se ha mencionado, el municipio se encuentra sobre planicies kársticas por donde existe flujos de corrientes subterráneas las cuales se señalan en flechas naranjas (mapa 29). Asimismo, se numeran las depresiones kársticas, dolinas, uvalas y poljes, obtenidas del estudio de Fragoso, et al. (2014), que de la misma manera señala que en las planicies es donde se localiza el mayor número de depresiones kársticas; las inundaciones extraordinarias son las más frecuentes en tres formas, seguido la inundación permanente en dolinas (o cenotes) y uvalas, y temporal en los poljes. Sin embargo, no existe información en relación con el nivel freático, por lo que no se incluyen como variable para este estudio. Cabe señalar que en la zona dos se encuentra la única falla geológica identificada.



Mapa 29. Regimen de inundación.

Los valores propuestos para calificar los diversos atributos de una ladera en el municipio de Felipe Carrillo Puerto deben considerarse sólo

indicativos, y deberán revisarse regionalmente para irse adecuando atendiendo a las experiencias de deslizamientos pasados y los que ocurran en el futuro.

Se realizaron modificacipnes a las Mapas originales de Suárez (1998) y Moral (2014), al factor altura se considero como el desnivel entre la máxima altura y la minima por zona, antecedentes de deslizamiento no han existido, los aspectos estructurales en formaciones rocosas no se han tenido en cuenta por la caracteristicas de la zona de estudio y los pesos para nivel freatico no se evaluaron debido a la falta de información.

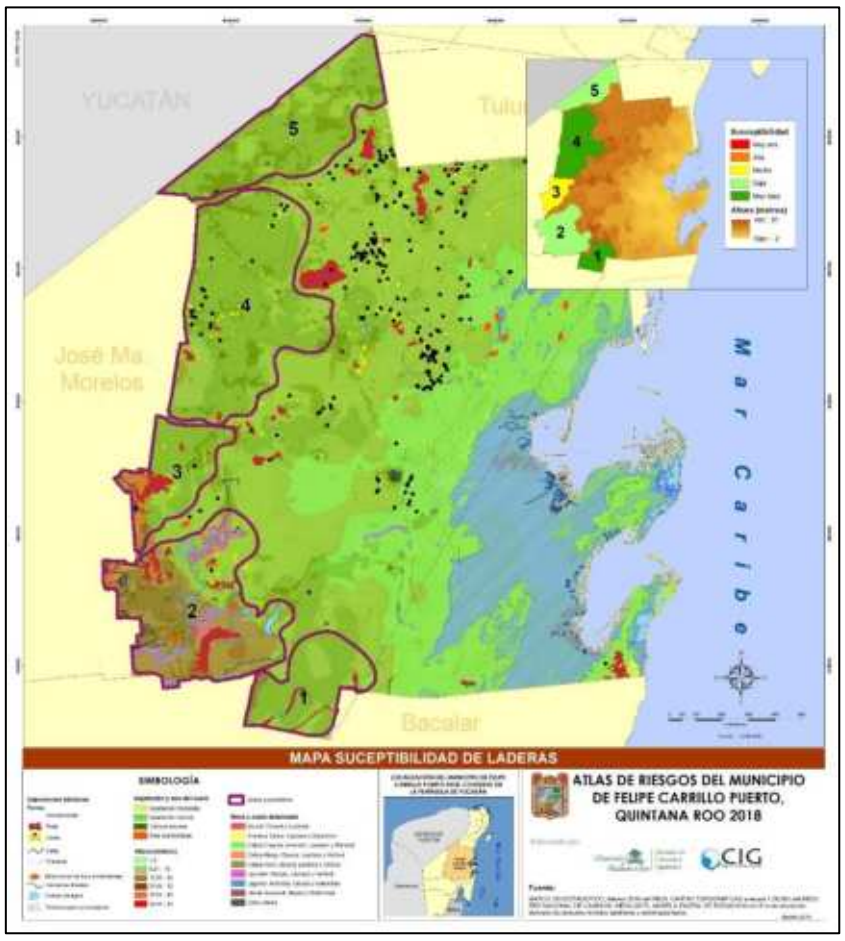
Se procedió a la integración de la información recopilada en un a través de un Sistema de Información Geografica. Llevando a cabo geoprocesamientos para la homogenización y tratamiento de los datos.

A continuación, se muestra la Mapa modificada de la metodología original, en la que se eliminaron factores que no se tuvieron en cuenta para el cálculo y los pesos originales han sido multiplicados por 10 para introducirse como número enteros. A partir de las capas de información se identificaron cinco zonas para evaluar (Z1 a la Z5) de acuerdo a la metodología utilizada y a las modificaciones realizadas (Mapa 34).

Tabla 34. Asignación de pesos en cada zona identificada y analizada

		PESO O ATRIBUTO RELATIVO				
FACTORES DE SUSCEPTIBILIDAD	**CAPA DE DATOS**	**Z1**	**Z2**	**Z3**	**Z4**	**Z5**
FACTORES TOPOGRÁFICOS E HISTÓRICOS						
Inclinación de los taludes (pendiente)	Pendientes	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**
Altura	MDT	**6**	**12**	**12**	**6**	**6**
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	Protección Civil	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**
FACTORES GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS						
Tipo de suelos o rocas	Edafología y litología	**18**	**18**	**25**	**25**	**20**
Espesor de la capa de suelo	Edafología	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**
FACTORES GEOMORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES						
Evidencias geomorfológicas de “huecos” en laderas contiguas	Dolinas, uvalas y poljes	**0**	**5**	**5**	**0**	**0**
Vegetación y uso de tierra	Vegetación y usos suelo	**8**	**0**	**15**	**0**	**15**
Régimen del agua en la ladera	Terrenos sujetos a inundación, cuerpos de agua, corrientes superficiales y subterráneas	**0**	**10**	**10**	**0**	**0**
	SUMATORIA	**45**	**58**	**80**	**44**	**54**

Atendiendo a esta clasificación, se obtuvo también el mapa de susceptibilidad (mapa 30) a partir de las variables anteriores, donde se puede advertir con claridad las diferentes zonas con distinta susceptibilidad. La mayoría de la zona de estudio tiene una susceptibilidad baja a sufrir deslizamientos de ladera, solo la zona tres sobresale con una calificación de 80 obteniendo un peligro medio. En esta zona se localiza la mayor altitud del municipio, 91 metros, de la misma manera se observa el desarrollo de asentamientos humanos sobre depresiones kársticas propensas a inundaciones.



Mapa 30. Susceptibilidad de laderas.

6.1.4 Hundimientos

6.1.4.1 Susceptibilidad y Peligro

Los desastres causados por actividades antropogénicas están presentes en la mayoría de las situaciones de desastre asociadas a sitios de riesgo. La presencia de hundimientos en los territorios es algo que se ha producido durante décadas, sin embargo, debido a la extracción excesiva de agua subterránea durante las épocas de sequía en algunos lugares, los hundimientos se producen más deprisa, poniendo a las infraestructuras de la superficie en un riesgo creciente de sufrir daños.

Los hundimientos de suelos son movimientos de la superficie terrestre en el que predomina el sentido vertical descendente y que tiene lugar en áreas de muy baja pendiente. Pueden ser inducidos por distintas causas y se puede desarrollar con velocidades muy rápidas o muy lentas según sea el mecanismo que da lugar a la inestabilidad. La causa de los colapsos implica el fallo de la estructura geológica que sostiene una porción del terreno bajo el cual existe una cavidad, lo que puede venir motivado por la disolución de las rocas hasta el límite de la resistencia de los materiales o el vaciado de los acuíferos o en general por el debilitamiento por meteorización física o química de una estructura que alberga una cavidad.

El aprovechamiento de los recursos naturales (actividad minera, explotación de acuíferos) también puede inducir colapsos. Los procesos fluviales pueden ser significativos en la formación de algunas formas terrestres superficiales y subterráneas. Los paisajes kársticos, como los que se observan en el municipio de Felipe Carrillo Puerto, que reciben precipitación abundante están sujetos a formar hundimientos. Estas rocas son susceptibles a disolverse al exponerse a la lluvia ácida y al agua freática. Las ranuras naturales en este tipo de rocas se hacen más anchas y se expanden con las corrientes de agua. Comúnmente se hacen cuevas de las rocas (Figura 5). Cuando colapsa el techo de una cueva por el sobrepeso de la roca, se forma un hundimiento y cualquier cosa que haya estado localizada sobre el hueco se viene abajo (figura 1).

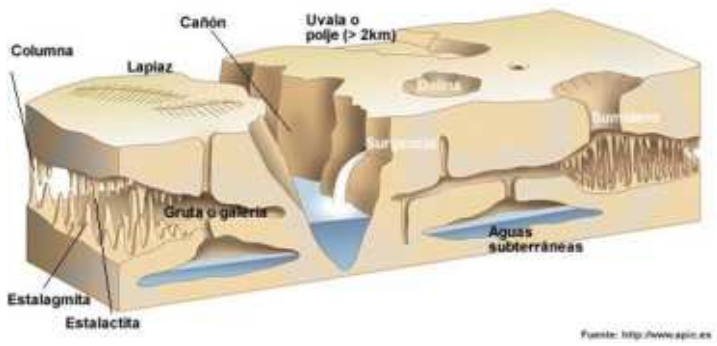


Figura 5. El modelado kárstico.

El examinar un mapa geológico de un lecho rocoso puede servir para determinar si un lugar en particular tiene fundamentos de piedra caliza calcárea. Las rocas a base de calcio pueden ser el fundamento de grandes áreas, razón para no construir en esa zona. Sin embargo, vale la pena considerar que los hundimientos son relativamente raros aún en áreas fundamentadas con rocas a base de calcio. Los hundimientos sólo ocurren cuando el agua ha disuelto por completo la roca subyacente convirtiéndola casi en una gran caverna, y es cuando el techo de ésta se vuelve débil y no soporta el material.

Es por eso que en los mapas de dolinas o karst se habla de colapsos superficiales de terreno, el colapso es vertical, por ejemplo, las rejolladas, depresiones circulares y muy fértiles resultado de hundimientos de la bóveda de un cenote milenios atrás, son resultados de colapsos verticales (hundimientos) en cuyo subsuelo permanece el agua de manera subterránea (figura 6).

En el municipio de Felipe Carrillo Puerto su relieve kárstico se puede dividir en dos zonas: *endokarst* (en el subsuelo) y *exokars*t (en la superficie). En la primera el proceso de disolución de rocas carbonatadas se lleva en el subsuelo: cuevas y espeleotemas (estalactitas, estalagmitas, etc.) que se forman dentro de ellas (figura 5). En la segunda, en la zona superficial, una de las más conocidas son las dolinas, así como uvals y poljes (figura 5). Particularmente, el nombre de dolina proviene del eslavo *doline* que significa depresión y su equivalente en maya son los cenotes, siempre y cuando contenga agua. Podemos decir que, las dolinas y las uvalas son colapsos, y los poljés y las rejolladas son hundimientos.

Las dolinas son depresiones cerradas, las cuales pueden medir desde metros hasta un kilómetro de diámetro. Se forman en las intersecciones de varias fracturas, y muchas veces están cubiertas de suelo que impiden identificarlas, a menos que haya cortes en el terreno, como en las carreteras. No obstante, su formación es variada iniciando con la disolución de las rocas, jugando un papel importante qué tan soluble sea la roca, la cantidad de agua que pase por ella y sus conexiones con alguna cavidad que reciba los elementos disueltos. Hay varios tipos de estructuras generadas por el paso del agua en las dolinas: las de punto de recarga, las de depresión y las de nacimiento (figura 6). Como se observa en la figura 6, estas dolinas empiezan simplemente cuando una red de drenaje de agua se concentra en un punto ocasionado generalmente por la geología, por las fallas, por grietas más grandes, por la roca más soluble, etc.

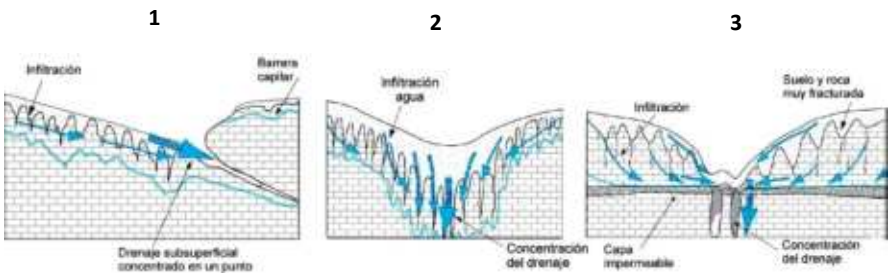


Figura 6. Dolinas de punto de recarga (1), dolinas de depresión (2) y dolinas de nacimiento (3).

Si el colapso de una dolina permite la entrada a un sistema subterráneo de cuevas, entonces lleva el nombre de "ventana kárstica". La mayoría de las dolinas o "cenotes" de la Península de Yucatán son dolinas de colapso. En el inicio, estos cenotes fueron galerías en sistemas de cuevas subterráneas, y conforme a la caída de agua de lluvia que contiene dióxido de carbono se fueron disolviendo y ensanchando, posteriormente el material de los techos cayó por gravedad y se formó el hueco. Al mismo tiempo, los techos de las dolinas quedaron muy delgados y también colapsaron convirtiéndose en cenotes (figura 7).

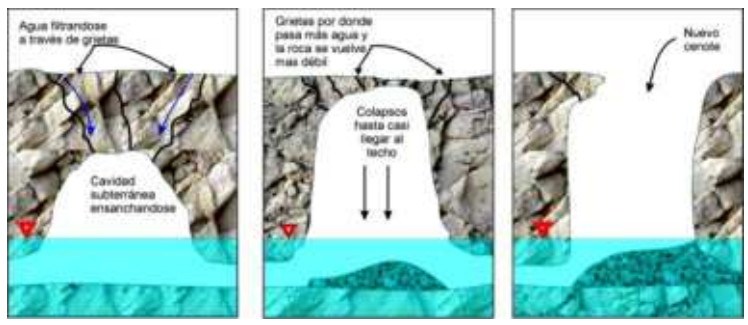


Figura 7. De izquierda a derecha se ve cómo el agua va ensanchando cada vez más la cueva por efecto de disolución. Después el material empezó a caer por gravedad e irse por un conducto. Finalmente, cuando los techos de las dolinas son muy delgados, colapsan y dejan un hermoso cenote; claro que el agua que se infiltra por el techo también lo vuelve más frágil. El triángulo significa nivel freático.

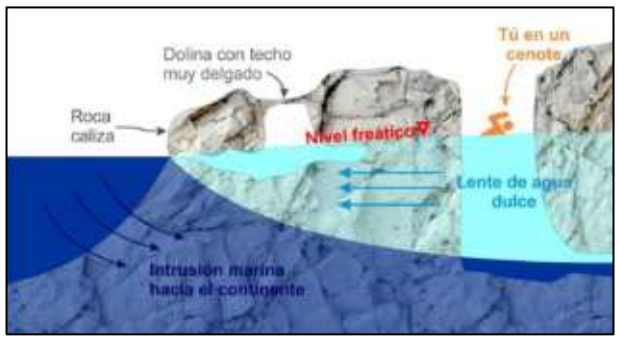


Figura 8. Se aprecia el agua dulce sobre el agua salada, se marca el nivel freático. Se puede observar también una dolina que no ha colapsado y otra ya abierta.

Los cenotes siempre contienen agua, esto se debe a que el nivel freático está muy cerca de la superficie topográfica. Las rocas carbonatadas son muy solubles, por lo que el agua de lluvia se infiltra completamente al subsuelo hasta encontrar una barrera que ya no la deje pasar, y se acumula desde ahí; el nivel freático es el límite superior de esta acumulación de agua y su símbolo es un triángulo invertidos (figura 7 y 8). La palabra *cenote* se usa hoy en día en forma extendida para referirnos a dolinas con agua, ya que, **no todas las dolinas son cenotes, pero todos los cenotes son dolinas**.

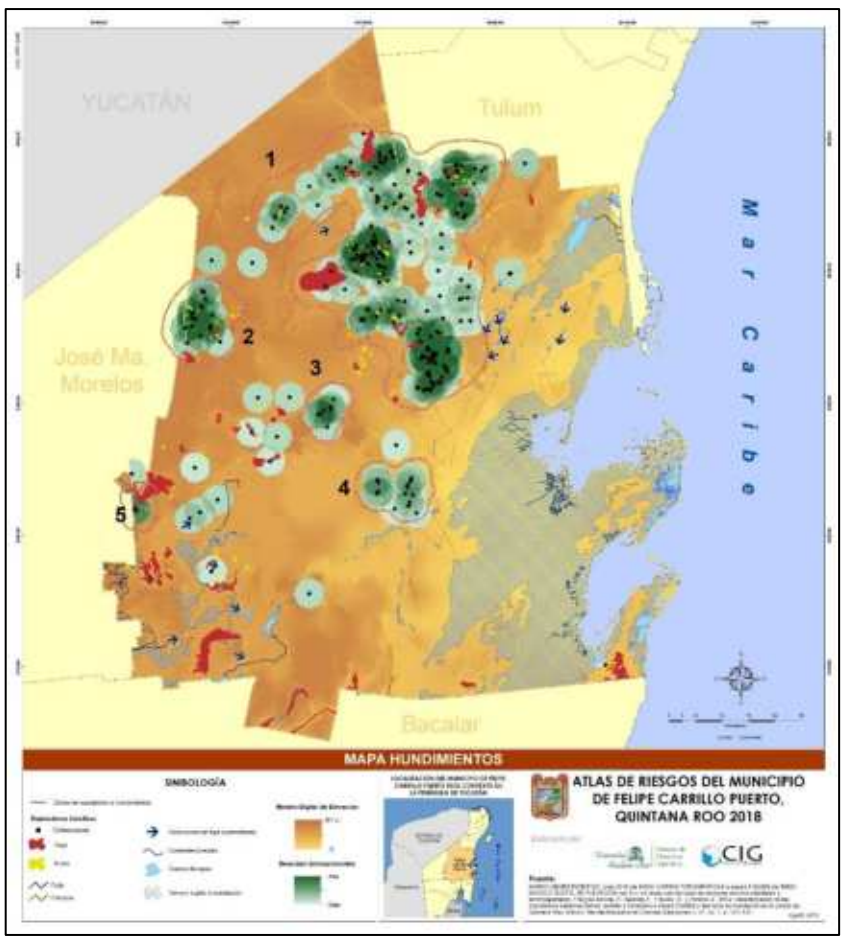
Imagen 1. Cenote "Ts'onoot Ja'as", ubicado en la localidad de Francisco I. Madero al norte del municipio de Felipe Carrillo Puerto, ejemplos de dolinas que han colapsado.

En el municipio de Felipe Carrillo Puerto, la mayoría de las dolinas, uvalas y poljes se identificaron a partir de la investigación de Fragoso-Servón, et al. (2014) y del trabajo de campo desarrollado durante la elaboración de

este documento (2018). Como se observa en las imágenes 1, 2 y 3, donde en localidades hacia el norte del municipio se encontraron dolinas colapsadas (Francisco I. Madero, Kankabdzonot y San Antonio Nuevo) y dolinas donde el techo de la dolina aún no es muy delgado para colapsar (San Hipólito).

Imagen 2. Dolina aún sin colapsar, ubicada en la localidad de San Hipólito al norte del municipio de Felipe Carrillo Puerto, debajo del área ocupada por el pozo y parque infantil.

Imagen 3. Dolinas colapsadas, cenotes que se ubican en las localidades de Kankabdzonot (izquierda) y San Antonio Nuevo (derecha) en el municipio de Felipe Carrillo Puerto.



Mapa 31. Zonificación de susceptibilidad de peligro por hundimientos para el municipio de Felipe Carrillo Puerto.

En todo el estado de Quintana Roo las Depresiones Kársticas (DK) se encuentran por debajo de los 50 msnm, en las zonas de menor relieve, como nos señala Fragoso-Servón, et al., (2014), probablemente a la acción de factores estructurales y ambientales, así como al comportamiento del flujo superficial, lo que favorece la disolución de la roca caliza.

Para identificar las zonas potencialmente propensas a los hundimientos, se tomaron las dolinas con inundación permanente conocidas como cenotes que están en contacto con el manto freático y tienen interés turístico. En el mapa 31 se observan estas zonas identificadas con número de 1 a 5. Donde la zona 1 es la que tiene más susceptibilidad de hundimientos, localizada al norte del municipio, ya que su densidad es mayor que las otras zonas. Le sigue en orden de importancia la zona 2, al oeste del municipio limitando con el municipio de José Ma. Morelos. La zona 3 se encuentra casi al centro del municipio y la 4 con menor densidad cerca de su capital. La zona 5, si bien se identifica es la que presenta menor densidad y peligro.

White (1988) indica que, conocer las formas presentes de las DK como su tamaño y densidad, permite identificar las superficies territoriales con mayor disolución de la roca y por lo tanto el grado de desarrollo del karst. Si bien, en el mapa 1 las densidades presentadas solo fueron de las dolinas, los poljes y las uvalas son más propensas a inundaciones y acumulación de materiales que permite a la población local usarlos con fines agrícolas (mapa 31).

También se debe tener en cuenta la altitud del terreno, como nos señala Fragoso-Servón, et al., (2014), "en Quintana Roo hay una relación entre la forma de las DK y la altitud: a medida que aumenta la altitud, disminuye la cantidad y el área ocupada por las DK. Las uvalas son las DK presentes en mayor número, seguida por las dolinas y los poljes. Los poljes a pesar de encontrarse en menor número son los que ocupan mayor superficie".

6.1.5 Subsidencias

6.1.5.1 Susceptibilidad y Peligro

La subsidencia es un fenómeno geológico que no suele ocasionar victimas mortales, aunque los daños materiales que causa pueden llegar a ser cuantiosos (Tomás, et al., 2009). Existen diferencias entre el peligro de subsidencia y colapsos o hundimientos, los cuales se definen como:

1. **Subsidencias:** descensos lentos y paulatinos de la superficie del terreno.
2. **Colapsos o hundimientos:** movimientos verticales repentinos del suelo.

El fenómeno natural de subsidencia puede afectar la destrucción física y daños de viviendas, invasión del agua sobre las tierras bajas adyacentes al mar, cambios en el gradiente que afecta al flujo de agua, averías en tuberías de pozos de petróleo y agua, así como perdida y filtraciones de acuíferos. Los mapas geológicos son la mejor herramienta para prever la subsidencia. Para zonas kársticas, como el municipio de Felipe Carrillo Puerto, los factores a considerar para la elaboración de mapas de susceptibilidad y de peligrosidad son la litología, el grado de *karstificación*, propiedades geomecánicas de los materiales, factores hidrogeológicos y climáticos.

La amenaza de subsidencia hacer referencia al hundimiento paulatino de la corteza terrestre, continental o marina. Es únicamente la manifestación de mecanismos superficiales de deformación. En cuanto a la actuación antrópica, se debe tener en cuenta la situación de labores mineras, características mecánicas de los materiales y las variaciones del nivel freático, como sequía (figura 9).

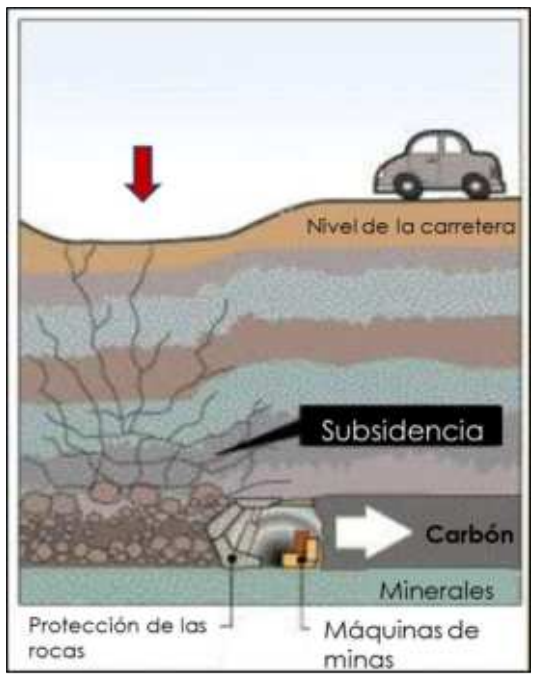
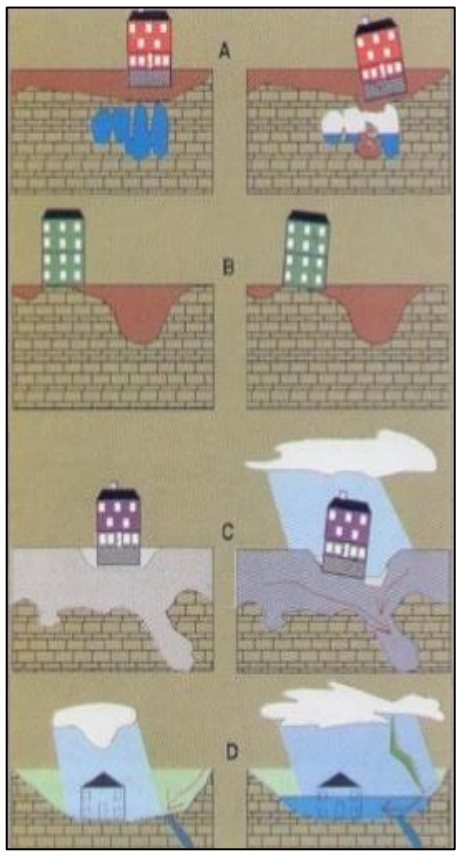


Figura 9. La subsidencia puede darse por actuación antrópica, como es la situación de labores mineras.

La subsidencia del terreno es un riesgo natural que afecta a amplias zonas del territorio causando importantes daños económicos y una gran alarma social. La subsidencia del terreno puede deberse a numerosas causas como la disolución de materiales profundos, la construcción de obras subterráneas o de galerías mineras, la erosión del terreno en profundidad, el flujo lateral del suelo, la compactación de los materiales que constituyen el terreno o la actividad tectónica.

Todas estas causas se manifiestan en la superficie del terreno mediante deformaciones verticales que pueden variar desde pocos milímetros hasta varios metros durante periodos que varían desde minutos hasta años. Sin embargo, para el municipio de Felipe Carrillo Puerto una subsidencia (hundimiento progresivo de una superficie) no se presentaría por causas de obras subterráneas o galería mineras o la actividad tectónica, ni siquiera por sequía del manto acuífero. Sus mecanismos desencadenantes serían principalmente por: construcciones sobre cavernas y áreas karst donde la precipitación se filtra al subsuelo, pero lluvias abundantes no logran ser drenadas suficientemente rápido (figura 10).



A.	Muestra una construcción sobre una caverna que más tarde colapsa.
B.	Una pesada estructura descansa sobre roca sólida pero es parcialmente soportada por suelo arcilloso residual blando.
C.	La estructura se encuentra sobre un relleno poroso en un lugar donde el drenaje superficial y subterráneo desplaza el suelo de apoyo.
D.	Muestra un área de *karst* donde la precipitación es captada por conductos del subsuelo, pero una fuerte precipitación no llega a ser drenada lo suficientemente rápido.

Figura 10. Deformaciones verticales del terreno a causa del riesgo de subsidencia, que pueden variar desde pocos milímetros hasta varios metros durante periodos que varían desde minutos hasta años

Tomás, et al. (2009) señala, citando a Prokopovich (1979) que existen, desde el punto de vista genético dos tipos de subsidencia: endógena y exógena. La primera hace referencia a aquellos movimientos de la superficie terrestre asociados a procesos geológicos internos, tales como pliegues, fallas, vulcanismos, etc. El segundo se refiere a los procesos de deformación superficial relacionados con la compactación natural o antrópica de los suelos. Algunos tipos de subsidencia se exponen en la Tabla 35.

Tabla 35. Tipos de subsidencia (Tomás, et al., 2009).

Por disolución subterránea	En sal
	En yeso
	En rocas carbonáticas
Por construcción de obras subterráneas o galerías mineras	
Por erosión subterránea (tubificación o *piping*)	
Por flujo lateral	Rocas salinas
	Arcillas
Por compactación	Por carga
	Por drenaje
	Por vibración
	Por extracción de fluidos
	Por hidrocompactación
Tectónica	

Para el municipio Felipe Carrillo Puerto, como se ha comentado en párrafos anteriores, la mayor parte de su suelo está compuesto por rocas calizas de carbonato cálcico, las cuales son solubles en agua bajo determinadas condiciones pudiendo llegar a generar grandes sistemas de huecos interconectados entre sí cuya deformación, y colapso, en caso extremo, generarían una subsidencia con carácter localizado (mapa 32). Por otra parte, se podría presentar la subsidencia por erosión subterránea, la cual se produce por un proceso mecánico de arrastre de partículas de suelo causado por el flujo de agua subterránea (mapa 32). El agua, en su recorrido horizontal por el terreno, moviliza partículas de suelo generando una serie de canales que pueden desencadenar colapsos de terreno. El fenómeno es conocido como tubificación o "*piping*" (figura 11).

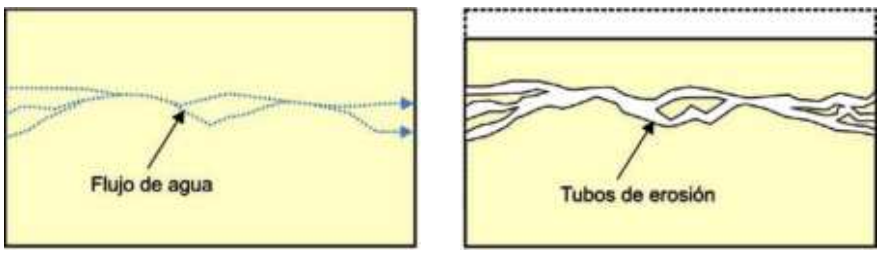


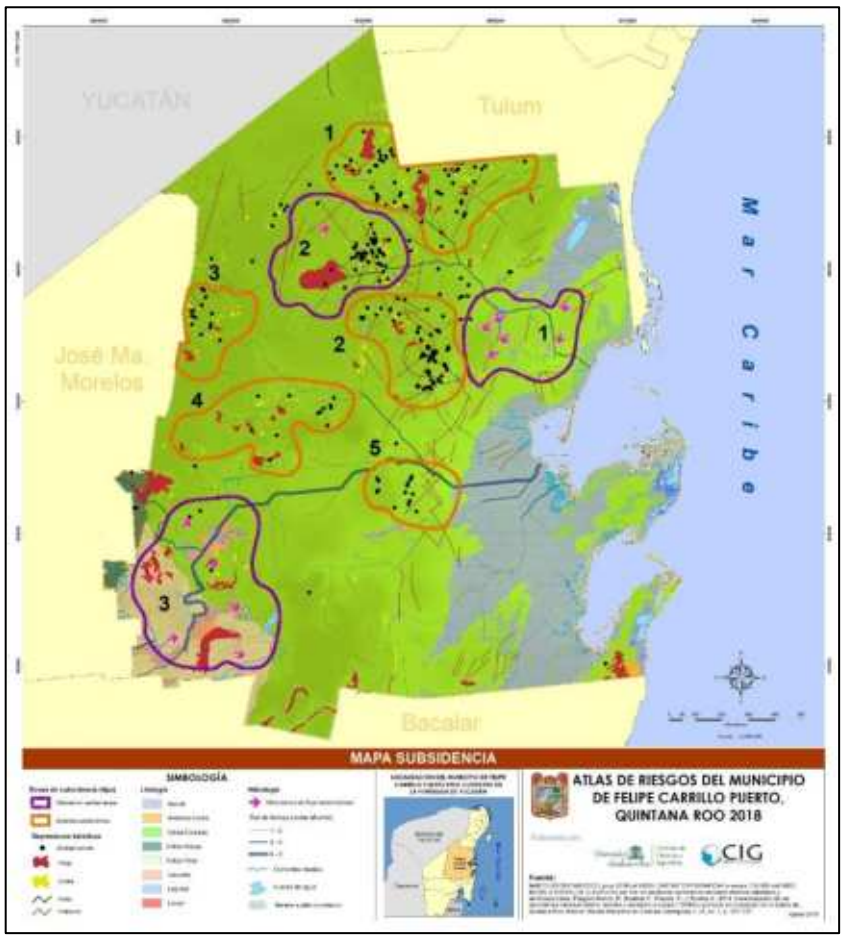
Figura 11. Subsidencia por erosión.

En el mapa 32, se pueden advertir las zonas identificadas como susceptibles al fenómeno de subsidencia para el municipio de Felipe Carrillo Puerto: Por disolución subterránea y por erosión subterránea. Las zonas punteadas en color morado (1, 2 y 3) corresponden a subsidencia por disolución, como se ha señalado y que se observan en el mapa 2, la mayor parte del municipio se compone de roca sedimentaria caliza, es decir roca compuesta de carbonato de calcio la cual se disuelve con mucha facilidad, principalmente por el flujo de agua de las corrientes subterráneas. Estas tres zonas identificadas coexisten con flujos subterráneos identificados con flechas rosadas, así como con la red de drenaje. De éstas, destaca la zona 3 al suroeste del municipio, ya que su litología se divide en lacustre y caliza yeso. El yeso se disuelve parcialmente reduciendo su volumen. Cuando su resistencia mecánica no es suficiente para soportar el peso de la cobertura, este se fragmenta y se agrieta subsidiendo la cobertura terrestre por flexión o colapso en función de que ésta se comporte de forma dúctil. La cal hidratada (yeso)

es esencialmente hidróxido de calcio o una mezcla de hidróxido de calcio, óxido de magnesio y algo de hidróxido de magnesio. La cal hidráulica es una cal en polvo y parcialmente apagada que puede fraguar en sitios húmedos y debajo del agua. De baja resistencia mecánica, su valor depende de la proporción de arcilla que contenga, y se encuentra presente en la zona donde se localiza la única falla geológica del municipio. La acción del agua de lluvia y de los ríos (especialmente cuando se encuentra acidulada por el ácido carbónico) provoca su disolución, creando un tipo de meteorización característica denominada kárstica.

En el mismo mapa 32, se observa en color amarillo mostaza las cinco zonas identificadas con susceptibilidad a subsidencia por erosión subterránea. Para identificar estas zonas se tomaron en cuenta las depresiones kársticas (cenotes, úvalas y poljes) identificadas por Fragoso-Servón, et, al. (2014), las fracturas geológicas, el tipo de roca (caliza), también se utilizó la red de drenaje identificada. En la zona 1, al norte del municipio, se observa como la de mayor riesgo, al incluir dentro de su área una densidad alta de dolinas (cenotes), úvala y poljes, así como fracturas del terreno. Le sigue la zona 2, más hacia el centro del municipio, donde de la misma manera se advierte una densidad alta de cenotes, pero menos úvalas y poljes, sin embargo, siguen existiendo un porcentaje alto de fracturas. En éstas zonas se observaron depresiones erosivas y dolinas de colapso (cenotes) de más de 1 metro de profundidad. Varias dolinas dan lugar a una depresión mayor llamada úvala y la unión de uvalas forma poljes. Los poljes dentro de éstas zonas pueden corresponder a un ambiente palustre, es decir sedimentos con un alto porcentaje de materia orgánica producto de la descomposición de plantas y organismos, depresiones cerradas generadas por subsidencia kárstica sedimentaria. Las zonas 4 y 5 contemplan las mismas características, pero con menor densidad de depresiones kársticas.

Finalmente, podemos señalar que en el municipio de Felipe Carrillo Puerto la subsidencia es favorecida por el adelgazamiento de la superficie terrestre y el flujo de corrientes subterráneas, lo que conlleva la disolución de la roca caliza presente en toda su superficie.



Mapa 32. Zonificación de susceptibilidad de peligro por subsidencia para el municipio de Felipe Carrillo Puerto.

6.1.6. Agrietamientos

6.1.6.1. Susceptibilidad

Una grieta se define como una ruptura longitudinal de las rocas o el hielo, sin desplazamiento de las porciones que separa, las cuales pueden ser de origen tectónico y no tectónico: intemperismo, compactación, desprendimiento, deslizamientos, etc. (Lugo, 2011). Las grietas de desecación (poligonales) se forman al desecarse y compactarse los lodos arcillosos o calcáreos ricos en agua de infiltración, es decir, el suelo se compacta al perder agua y humedad en los periodos de sequía, afectando principalmente a suelos arcillosos, dando lugar a grietas de hasta 4 cm de anchura y 1 m de profundidad. Lo anterior se asocia con la práctica de la extracción excesiva de agua del subsuelo, ya sea para uso agrícola, industrial o de agua potable. De la misma forma, se asocia también con la litología aluvial, palustre y lacustre o proximidades de los ríos, lagos, lagunas o esteros.

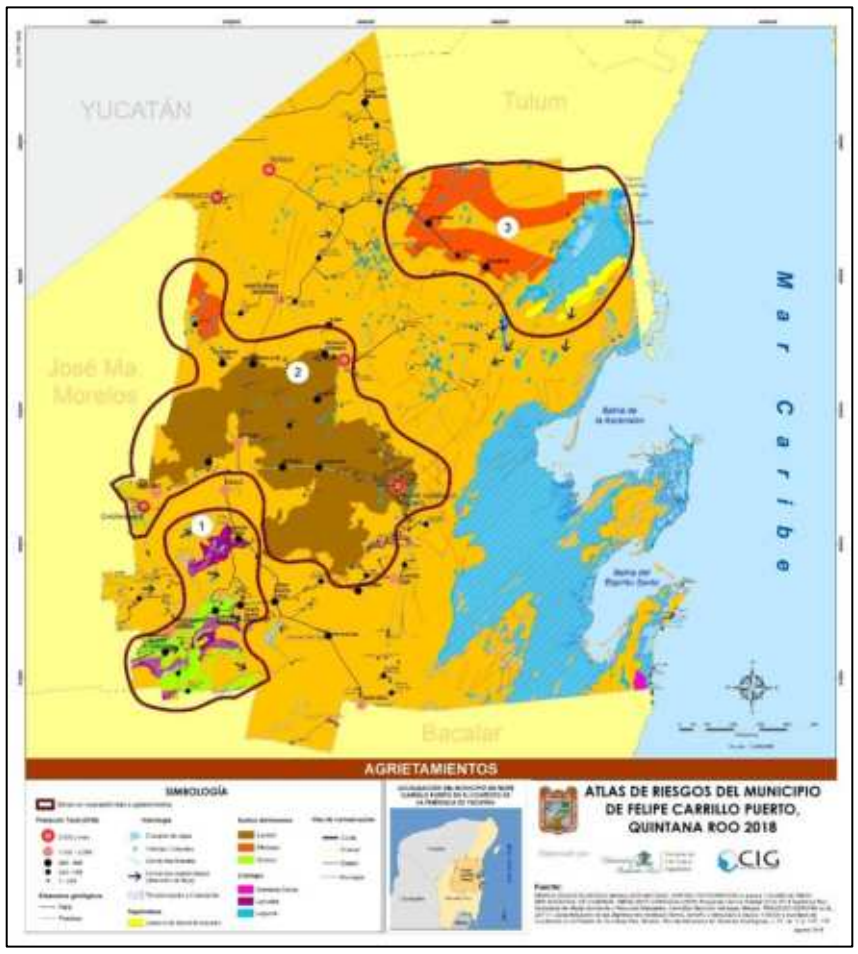
Sin embargo, gracias a la abundante precipitación pluvial y a las características topográficas y geológicas del estado de Quintana Roo, el volumen renovable del acuífero es superior a las demandas generadas en todos los usos, inclusive las esperadas a mediano y largo plazo (CONAGUA, 2015). Por lo que el municipio de Felipe Carrillo Puerto cuenta con disponibilidad de agua subterránea.

Las grietas, también pueden producirse por sismos, su estudio se emplea para evaluar las características e intensidad de los eventos. Por su parte, las grietas que se producen por eventos volcánicos también han sido motivo de estudio, pues ellas dan indicio de características de los flujos y de los materiales que los conforman, además resulta indispensable considerarlas en los mapas de amenaza volcánica. Si la dislocación no presenta movimiento aparente, se considera fractura o grieta, sin embargo, cuando se tiene registro de movimiento horizontal y/o vertical se considera falla.

Resulta difícil predecir con certeza aspectos como el punto de inicio de una grieta, su dirección y profundidad, su interrelación con otras grietas verticales y horizontales, los efectos de las condiciones de contorno en el agrietamiento, el comportamiento ante ciclos de humedecimiento y secado, la velocidad de avance horizontal y vertical, etc. Como ya se mencionó, en el caso de los agrietamientos por subsidencia, la causa principal es la desecación por extracción de agua subterránea, aunque también en algunas ocasiones la presencia de estructuras geológicas profundas, como son fallas o contactos litológicos en zonas que sufren subsidencia, crean deformaciones no uniformes las cuales se manifiestan superficialmente como discontinuidades, escalones y grietas.

De acuerdo a lo anterior, la naturaleza geológica y el proceso hidrológico, son claves para el desarrollo del agrietamiento. Los depósitos aluviales son el lugar idóneo para la ocurrencia de esfuerzos horizontales (sin naturaleza tectónica). La importancia de este tipo de procesos dentro del terreno municipal, radica en que la grietas (fracturas), generalmente discontinuas, facilitan la filtración de agua aumentando la formación de cavernas que vulneran el terreno produciendo condiciones propicias para el hundimiento o colapso del suelo.

Para el análisis, caracterización y evaluación de los niveles de riesgo para el municipio de Felipe Carrillo Puerto, se identificaron 3 zonas susceptibles de riesgo (figura).



Mapa 33. Zonificación de susceptibilidad de peligro por agrietamientos parael municipio de Felipe Carrillo Puerto.

Para identificarlas se tomó en cuenta la forma del relieve, litología, edafología, cuerpos de agua, dirección de flujo de corrientes subterráneas, cenotes y dolinas. La primera zona se ubica al suroeste del municipio, donde se ubican las localidades de Santa María Poniente, Naranjal Poniente, Presidente Juárez, Laguna Kaná, Ignacio Manuel Altamirano, entre otras, con litología lacustre y como suelo dominante Vertisol, asimismo existen corrientes de agua subterráneas y superficiales, cuerpos de agua, con falla geológica al interior de esta zona. Los Vertisoles son suelos de arcillas pesadas revueltas con una alta proporción de arcillas expandibles. En estos suelos forman profundas y anchas grietas (las cuales se abren y cierran periódicamente) desde la superficie del suelo cuando se seca, lo cual sucede la mayoría de los años.

La segunda zona identificada se ubica noroeste del municipio, teniendo como suelo dominante Luvisoles. Los Luvisoles son suelos en los cuales la arcilla es lavada hacia abajo desde la superficie del suelo hasta un horizonte de acumulación a alguna profundidad. Se localizan en tierras planas o ligeramente inclinadas en regiones de climas templados y en regiones con marcadas estaciones húmedas y secas. La arcilla en el suelo no se presenta como partículas individuales ya que suele estar adherida a los agregados formados completamente de arcilla o de una mezcla de arcilla y/o material orgánico del suelo. Las grietas pueden aparecer en los períodos de alternancia entre humedad y sequía, es decir al compactarse el suelo y dejar de estar húmedos se agrietan. En esta zona se localiza la ciudad de Felipe Carrillo Puerto, Chuhuás, Betania, Señor, Xpichil, entre otras. En menor medida encontramos también suelo Vertisol.

La tercera región identificada se localiza al noreste del municipio colindando con el municipio de Tulum, cercana a una llanura con depósito lacustre y litología lagunar. Sus suelos dominantes son plintosoles, los cuales se caracterizan por su color rojo, ricos en hierro y pobre en humus y carbono orgánico que se endurece irreversiblemente al secarse (horizonte plíntico), pudiendo causar pequeñas grietas superficiales. Entre las localidades principales identificadas se encuentran Chun-Yah y Chumpón, existiendo otras de menor población.

No obstante, de esta primera identificación, se hace necesario que se consideren estudios específicos donde se incluya la exploración geológica, geofísica y geotécnica en campo, para comprobar y determinar de manera correcta las zonas señaladas e identificar con mayor exactitud la población o bienes expuestos.

6.1.7 Fenómenos hidrometeorológicos

Los fenómenos hidrometeorológicos son aquéllos que resultan de las interrelaciones entre las fases atmosférica y terrestre del ciclo hidrológico (OMM)[1]. En México, los peligros hidrometeorológicos son abundantes y frecuentes, ya que está situado en una zona de convergencia de eventos atmosféricos tales como tormentas tropicales, huracanes, ondas gélidas, masas de aire frío y caliente, corrientes de chorro, El Niño, entre otros.

6.1.7.1. Ciclones tropicales, depresión tropical, tormenta tropical

En México, los riesgos hidrometeorológicos tienen grandes repercusiones, positivas y negativas, debido, entre otros factores, a la ubicación geográfica de sus poblaciones, su orografía y a los diversos sistemas meteorológicos que la afectan, pero principalmente a la distribución de su población, los grandes contrastes que ésta presenta y a su dinamismo, principalmente a su crecimiento, en algunas partes intenso, y en otra en movimiento derivado de los fenómenos migratorios (SINAPROC/CENAPRED, 2006).

El término científico para todas estas tormentas es ciclón tropical, sin embargo, en su etapa más intensa, son conocidos por varios nombres según las regiones en donde ocurren (SEGOB/CENAPRED, 2006) (Figura 1): Huracanes (Océano Atlántico, Océano Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe); Ciclones (Mar de Arabia, Océano Índico, al este de Isla Mauricio, Madagascar y Bangaldesh) y Tifones (China y la costa de Japón).

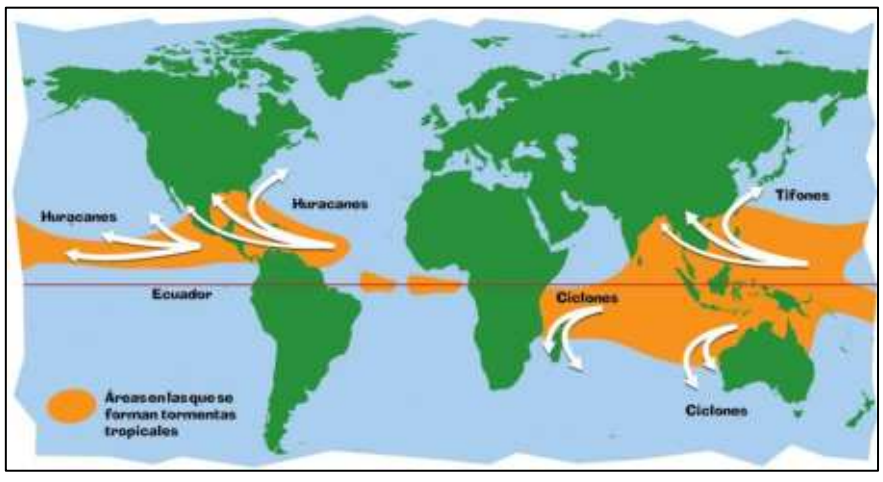


Figura 12. Formación de ciclones tropicales en el mundo.

Fuente: MOS INGENIEROS. La formación de un huracán. Recuperado de http://www.mosingenieros.com/2012/10/la-formación-de-un-huracan.html

¿QUÉ ES UN DISTURBIO TROPICAL, UNA DEPRESIÓN TROPICAL Y UNA TORMENTA TROPICAL?

Estos términos se usan para describir fenómenos atmosféricos organizados de las latitudes tropicales, en intensidades crecientes, pero que no alcanzan la categoría de huracán.

Disturbio tropical

Es un pequeño sistema atmosférico tropical que parece tener convección organizada, con un diámetro de alrededor de 200 a 600 km (100 a 300 millas), procedente del trópico o los subtrópicos, con características de migración no-frontales, y que mantiene su integridad por 24 horas o más.

[1] OMM (1992). Vocabulario meteorológico internacional. Editorial Ginebra Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial, Serie WMO/OMM/BMO, 182.

El sistema puede o no estar relacionado a disturbios perceptibles en el campo de los vientos. Si el sistema está asociado con las perturbaciones en el campo de los vientos y se propagan desde el Este hacia el Oeste, entonces se conocen como "ondas tropicales" (figura 12).

Depresión tropical (DT)

Un ciclón tropical donde la velocidad de vientos máximos sostenidos en la superficie durante 1 minuto (según se define en los estándares de los EE.UU.) es hasta 38 millas por hora (mph), equivalente a 61.15 km/h. A distinción de los disturbios tropicales, las depresiones tropicales tienen una circulación cerrada (figura 12).

Tormenta tropical (TT)

Un ciclón tropical que exhibe vientos máximos sostenidos desde 39 a 73 mph (63 a 118 km/h. La convección en las tormentas tropicales típicamente se concentra en el centro, con bandas exteriores en espiral que producen mucha precipitación (figura 12).

Huracán (H)

Si los vientos de un ciclón tropical igualan o exceden las 74 millas por hora (119 km/h), entonces se denomina como un huracán (en el Océano Atlántico y en el Pacífico Nororiental y Norcentral) (figura 2). Los huracanes se clasifican en la **Escala de Vientos de Saffir-Simpson,** según la intensidad del viento. Aquellos huracanes con vientos de las categorías 3, 4 o 5 se consideran huracanes de gran intensidad.

Un ciclón tropical es una gran masa de aire cálido y húmedo con fuertes vientos girando en forma de espiral alrededor de una zona de baja presión. Se originan en el mar entre las latitudes 5° a 15°, tanto en el hemisferio norte como en el sur, en la época en que la temperatura del agua es mayor o igual 26° C (Figura 13). Cuando éstos se ubican en el hemisferio norte, giran en el sentido contrario a las manecillas del reloj. Los ciclones tropicales tienen un área casi circular con la presión más baja en el centro, transportan gran cantidad de humedad y frecuentemente se trasladan con velocidades comprendidas entre 10 a 40 km/h (Rosengaus et al. 2002).

El término **ciclón tropical** es el término "científico" para estos fenómenos meteorológicos, los huracanes. Para explicar las características de éstos ciclones tropicales partiremos por describir sus particularidades hasta llegar a convertirse en huracanes, para conocer, de acuerdo a su escala, los daños potenciales que pueden ocasionar en la infraestructura véase Anexo 1 (Hernández, 2014).

Figura 13. Organización de los fenómenos atmosféricos en latitudes tropicales.

Fuente: NOOA (http://www.aoml.noaa.gov/hrd/tcfaq/A5_esp.html)

Aspectos destructivos de los huracanes tropicales.

Los aspectos destructivos de los huracanes tropicales, que marcan su intensidad, se deben principalmente a cuatro aspectos: 1) **viento**, 2) **oleaje**, 3) **marea de tormenta** y 4) **lluvia**. A lo largo de la historia, la marea de tormenta ha sido la responsable de la mayor cantidad de daños comparada con los otros efectos. Cada uno de éstos fenómenos se localizan al interior del ciclón tropical o a su exterior, es decir, el viento y el oleaje están concentrados a pocos kilómetros del centro del huracán, mientras que las lluvias que lo acompañan afectan áreas a cientos de kilómetros de su centro (Figura 13).

Vientos

Una de las formas más comunes de clasificar la evolución e intensidad del ciclón es, precisamente, la velocidad máxima sostenida de los vientos. Sin embargo, como nos señala Rosengaus (2002), una de las mayores confusiones de las operaciones de protección civil y la población es percibir que el ciclón es arrastrado por los vientos, siendo la realidad totalmente opuesta: los vientos están siendo llevados al sitio por el ciclón. Se debe entonces, considerar el daño que puede generar un ciclón tropical por las condiciones "pico" de los vientos al sitio de interés y el tiempo de arribo de las condiciones de vientos consideradas como peligrosas (véase Anexo 1).

Oleaje

El oleaje se produce cuando el viento pasa por la superficie del agua y la fuerza de fricción ocasiona que se formen ondas. El oleaje sobre la superficie del mar (o lagos, lagunas o cuerpos de agua) no es otra cosa que una ondulación periódica de su superficie (SEGOB/CENAPRED, 2006). La potencia del oleaje está directamente asociada a su altura y la profundidad de la franja costera y de cuánta distancia tenga que recorrer sobre aguas de mediana a poca profundidad. Las olas producidas por un ciclón empiezan a ser afectadas por el fondo de 200 metros y ser determinantes a partir de los 40 m (Rosengaus, 2002). No obstante, los índices de peligrosidad costera se pueden hallar analizando la batimetría (o topografía submarina) alrededor de las costas. Así pues, la distancia entre la costa (o línea batimétrica 0 m) y el límite de la plataforma continental (línea batimétrica 200 m) se convierte en un índice de peligrosidad del oleaje ciclónico en la zona costera.

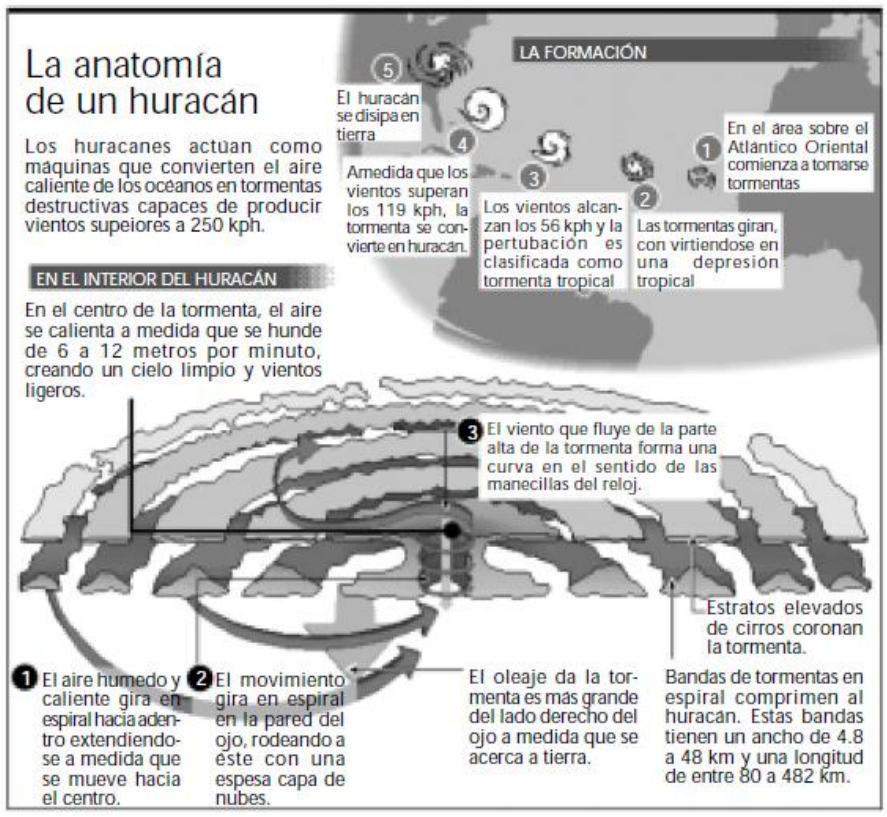


Figura 14. Anatomía de un huracán

Fuente: Jiménez et al. (2003). Ciclones tropicales, México, Secretaría de Gobernación-CENAPRED, (serie: Fascículos). Pág. 5.

Marea de tormenta

El efecto menos conocido entre la población y aun a nivel técnico en nuestro país, es la marea de tormenta o sobreelevación del nivel medio del mar (puede ser de más de 1 metro) cuando un ciclón tropical se acerca a la costa (Rosengaus, 2002). La marea se agrega al oleaje que físicamente se está produciendo en el momento que se aproxima el huracán y por esta razón no es tan obvio percatarse de la existencia de dicha sobreelevación por lo que simplemente se reportan olas que tienen mayores alcances tierra adentro. El principal efecto de la marea de tormenta es la inundación de las zonas costeras con agua de mar que, dependiendo de la topografía, puede llegar a cubrir franjas de varios kilómetros.

Lluvia e inundaciones

El efecto de precipitaciones quizá es el más conocido para los pobladores del altiplano debido a su magnitud. Un porcentaje alto de la población y de los centros de toma de decisión federales se encuentran en el altiplano como es el caso de la Cuidad de México y sus alrededores, misma que se encuentra a 250 km de la costa, a 2,250 m sobre el nivel del mar y protegida del embate directo de los ciclones del Pacífico y del Atlántico por barreras montañosas muy altas por ambos lados. De esta manera, una gran cantidad de mexicanos perciben un ciclón tropical como un día con llovizna continua en los alrededores de la capital cuando, al mismo tiempo, la población costera está sujetos a efectos ocasionalmente dramáticos (Rosengaus, 2002). Los huracanes arrastran consigo enormes cantidades de humedad que, al precipitarse, generalmente con mayor intensidad cuando el ciclón encuentra una barrera montañosa, provocan fuertes tormentas y deslizamientos de tierra.

Escala Saffir-Simpson

La escala para medir la intensidad de los vientos de los huracanes es la **Escala de Huracanes Saffir-Simpson**, categorización basada en la intensidad del huracán en el momento indicado que va de 1 a 5. La escala - originalmente desarrollada por el ingeniero Herbert Saffir y el meteorólogo Bob Simpson - ha sido una excelente herramienta para alertar al público sobre los posibles impactos de la intensidad de los huracanes.

Saffir desarrolló la mayoría de los estudios sobre el impacto de los vientos en las estructuras construidas por el hombre, mientras que Simpson atendió al efecto de las mareas (Schott et al., 2012). La escala incluye ejemplos del tipo de daño y de los impactos para los Estados Unidos que se encuentran asociados con los vientos de la intensidad indicada. Sin embargo, es una escala mundialmente aceptada para categorizar a los huracanes. Saffir cedió la escala al Centro Nacional de Huracanes de Estados Unidos; posteriormente Simpson añadiría a la escala los efectos del oleaje e inundaciones. No se tienen en cuenta ni la cantidad de precipitación ni la situación, lo que significa que un huracán de categoría 3 que afecte a una gran ciudad puede causar muchos más daños que uno de categoría 5 que afecte a una zona despoblada.

La escala no plantea la posibilidad de daño de otros impactos relacionados con los huracanes, como las mareas de tormenta, las inundaciones inducidas por la lluvia y los tornados. También hay que señalar que estas descripciones generales de los daños causados por el viento dependen, hasta cierto punto, de los códigos de construcción locales vigentes y de lo bien que con el tiempo se han aplicado (véase Anexo 1).

Tabla 36.Escala Saffir-Simpson

Categoría	Velocidad del viento			
	m/s	Nudos (kn)	mph	Km/h
Cinco	≥ 70 m/s	≥ 137 kn	≥ 157 mph	≥ 252 km/h
Cuatro	58–70 m/s	113–136 kn	130–156 mph	209–251 km/h
Tres	50–58 m/s	96–112 kn	111–129 mph	178–208 km/h
Dos	43–49 m/s	83–95 kn	96–110 mph	154–177 km/h
Uno	33–42 m/s	64–82 kn	74–95 mph	119–153 km/h
Clasificación relacionada				
Tormenta tropical	8–32 m/s	34–63 kn	39–73 mph	63–118 km/h
Depresión tropical	≤ 17 m/s	≤ 33 kn	≤ 38 mph	≤ 62 km/h

Afectaciones de ciclones y fenómenos tropicales en Felipe Carrillo Puerto

Para el municipio de Felipe Carrillo Puerto los fenómenos hidrometeorológicos más significativos que se han presentado en el periodo de 1870 a 2017 (147 años), han sido solamente 37, contabilizados a partir de la información recabada por la NOOA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) de Estados Unidos: 10 Depresiones Tropicales (DT), 14 Tormentas Tropicales (TT), 8 Huracanes categoría 1 (H1), 2 Huracanes categoría 2 (H2), 2 Huracán categoría 3 (H3) y 1 Huracán categoría (4), clasificados de acuerdo a sus viento máximos sostenidos.

Como se puede observar en la figura 13 y la tabla 36 han sido más tormentas tropicales (TT) y depresiones tropicales (DT) los que han afectado el territorio del municipio. Los datos especificados por la NOAA apuntan que el 22 de septiembre de 1933 se desplazó sobre el territorio municipal un huracán categoría 4, sin nombre propuesto – localizado en el mapa 1 al noroeste del municipio –. Cabe mencionar que para esa temporada y de acuerdo a Ortiz (1984) cit. Gómez (2006), en 1933 se registraron hasta 21 huracanes en la región del Atlántico, Golfo de México y Mar Caribe. Repitiéndose con mucha similitud en la temporada 2005 el comportamiento de estos fenómenos, es decir, después de pasar 75 años, para que los sistemas ciclónicos fueran casi la misma cantidad (15 huracanes). La temporada 2005 fue considerada como la temporada del Atlántico más activa en la historia desde que se llevan registros. Lo anterior ofrece antecedentes documentados para poder prever los periodos de retorno de riesgo por huracanes

Los huracanes de mayor categoría que han atravesado el municipio fueron *Hilda* (1955) y *Roxanne* (1995), ambos de categoría 3, de acuerdo a la *Escala Saffir-Simpson* (tabla 36).

El huracán *Hilda* fue un huracán de la temporada de 1955, al paso del municipio de Felipe Carrillo Puerto se calculan vientos máximos sostenidos de casi 200 km/h, este fenómeno azotó las ciudades mexicanas de Tampico y Cd. Madero y provocó una inundación en toda la Huasteca,

junto con el huracán *Janet*, que destruyó la ciudad de Chetumal, fue uno de los más importantes de la temporada. Al igual que en la ciudad de Chetumal muchas casas eran de madera y por lo tanto el huracán causó grandes destrozos en la ciudad. El gobierno federal respondió con un programa de salvamento y la visita del presidente, Don Adolfo Ruiz Cortines.

El huracán *Roxanne* de categoría 3, impactó el territorio municipal en su parte norte el 11 de octubre de 1995, con vientos máximos sostenidos de 166.68 km/h y una presión atmosférica de 958 mbar (tabla 37), siendo uno de los huracanes más recordados por la población carrilloportense. Se puede visualizar que la trayectoria de *Roxanne* paso sobre la localidad de Santa Rosa Segundo, ya degradado a una menor categoría (mapa 33).

De la misma manera, en 1995, *Opal* se presentó en el municipio de Felipe Carrillo Puerto ya degradado a depresión tropical (DT) en el mes de septiembre los días 28, 29 y 30, como se observa en el mapa 33. Luego se fortaleció cuando llego a la Bahía de Campeche y se movió hacia el norte en el Golfo, convirtiéndose en el más poderoso huracán de categoría 5 del Atlántico antes de tocar tierra el 4 de octubre en Florida cerca de Pensacola.

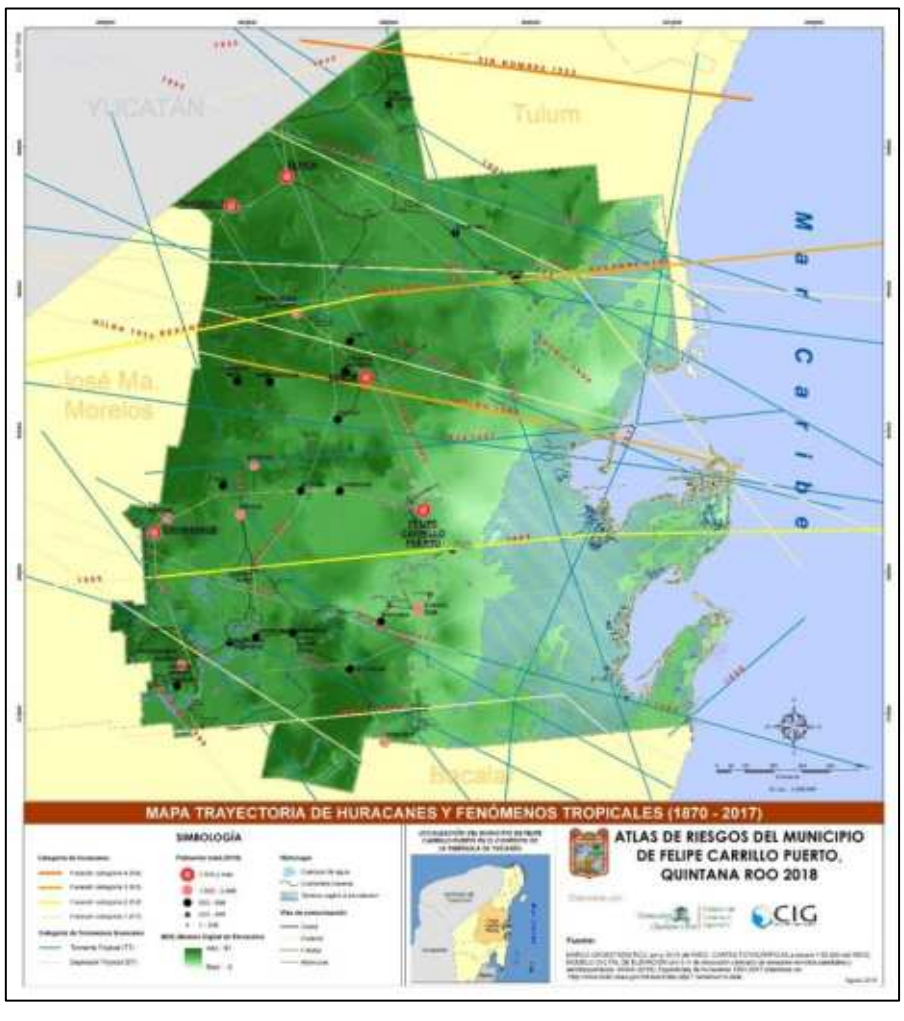
Asimismo, en la figura 12 se observan las Tormentas Tropicales (TT) como *Diana* (1990), que fue la cuarta tormenta y el segundo huracán de esa temporada, impactando la Península de Yucatán como tormenta tropical. *Dolly* (1996), fue la cuarta tormenta de la temporada de huracanes 1996, si bien impacto el territorio municipal como tormenta, volvió a tomar fuerza de huracán al encontrarse sobre la Bahía de Campeche, tomando de nuevo fuerza de huracán antes de tocar tierra por segunda vez, ahora cerca de Tampico, Tamaulipas el 23 de agosto. Los remanentes de la tormenta continuaron atravesando México antes de disiparse completamente en el océano Pacífico alrededor del 26.

Las depresiones tropicales (DT), si bien sus vientos máximos solo alcanzan 62 km/h, muchas de las veces traen consigo abundantes precipitaciones que pueden causar grandes inundaciones en donde se presentan o ir evolucionando hasta alcanzar la categoría de huracán. Como la depresión tropical *Stan* (2005), la cual tocó tierra en la Península de Yucatán por el municipio de Felipe Carrillo Puerto, sin embargo, al pasar por la Bahía de Campeche impactó al estado de Veracruz como huracán categoría 1. Por el daño causado en México y Centroamérica el nombre de "*Stan*" fue retirado de la lista de "Nombres de los ciclones tropicales". *Cindy* (2005), por su parte, fue una depresión tropical que tomo fuerza mientras se desplazaba hacia el norte, sin afectaciones de consideración para México. *Larry* (2003) fue considerada una tormenta extratropical que permaneció casi estacionaria, desviándose hacia el sur derivando en inundaciones en Tuxtla Gutiérrez, Chiapa. *Katrina* (1999) pasó al sur del municipio con vientos máximos de 46.3 km/hr (tabla 36) debilitándose al encontrarse con un frente frío. Por su parte, *Agnes* (1972), fue el primer fenómeno tropical de la temporada de huracanes de 1972, uno de los pocos fenómenos presentados en el mes de junio, no obstante, los peores daños se observaron en Estados Unidos.

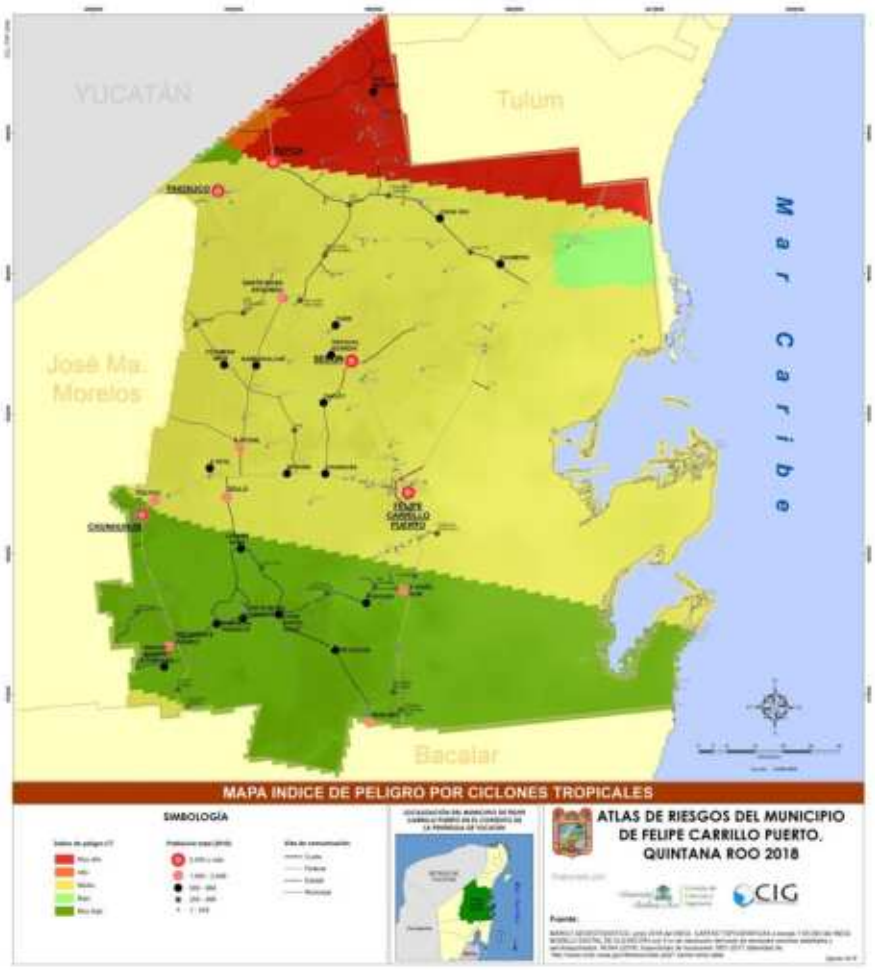
Tabla 37. Trayectorias históricas de los ciclones tropicales que impactaron el municipio de Felipe Carrillo Puerto 1870 - 2017

Nombre	Fecha	Categoría de huracanes y fenómenos tropicales	Vientos km/h	Presión atmosférica (mbar)
SIN NOMBRE	1895-09-28	DT	55.56	ND
SIN NOMBRE	1895-10-03	DT	55.56	ND
SIN NOMBRE	1935-08-30	DT	46.3	ND
LAURIE	1969-10-18	DT	55.56	ND
SIN NOMBRE	1971-10-08	DT	37.04	ND
AGNES	1972-06-14	DT	46.3	977
OPAL	1995-09-28	DT	46.3	1004
KATRINA	1999-10-31	DT	46.3	1008
LARRY	2003-09-29	DT	37.04	1007
CINDY	2005-07-04	DT	55.56	1007
SIN NOMBRE	1870-11-01	TT	92.6	ND
SIN NOMBRE	1874-09-25	TT	74.08	ND
SIN NOMBRE	1887-10-07	TT	92.6	ND
SIN NOMBRE	1893-09-04	TT	83.34	ND
SIN NOMBRE	1895-09-28	TT	64.82	ND
SIN NOMBRE	1895-10-03	TT	64.82	ND
SIN NOMBRE	1905-09-25	TT	74.08	ND
SIN NOMBRE	1906-10-16	TT	92.6	ND
SIN NOMBRE	1920-09-20	TT	83.34	ND
SIN NOMBRE	1928-09-05	TT	92.6	ND
SIN NOMBRE	1938-10-11	TT	64.82	ND
SIN NOMBRE	1947-08-12	TT	83.34	ND
DIANA	1990-08-05	TT	101.86	994
STAN	2005-10-02	TT	74.08	1003
SIN NOMBRE	1879-08-20	H1	129.64	ND
SIN NOMBRE	1889-09-18	H1	138.9	ND
SIN NOMBRE	1916-10-15	H1	120.38	ND
SIN NOMBRE	1922-10-18	H1	120.38	ND
SIN NOMBRE	1934-06-09	H1	129.64	ND
SIN NOMBRE	1944-08-22	H1	148.16	ND
HILDA	1955-09-16	H1	148.16	ND
DOLLY	1996-08-20	H1	120.38	999
SIN NOMBRE	1889-09-17	H2	175.94	ND
ROXANNE	1955-10-11	H2	166.68	970
HILDA	1955-09-16	H3	194.46	ND
ROXANNE	1995-10-11	H3	185.2	958
SIN NOMBRE	1933-09-22	H4	222.24	ND

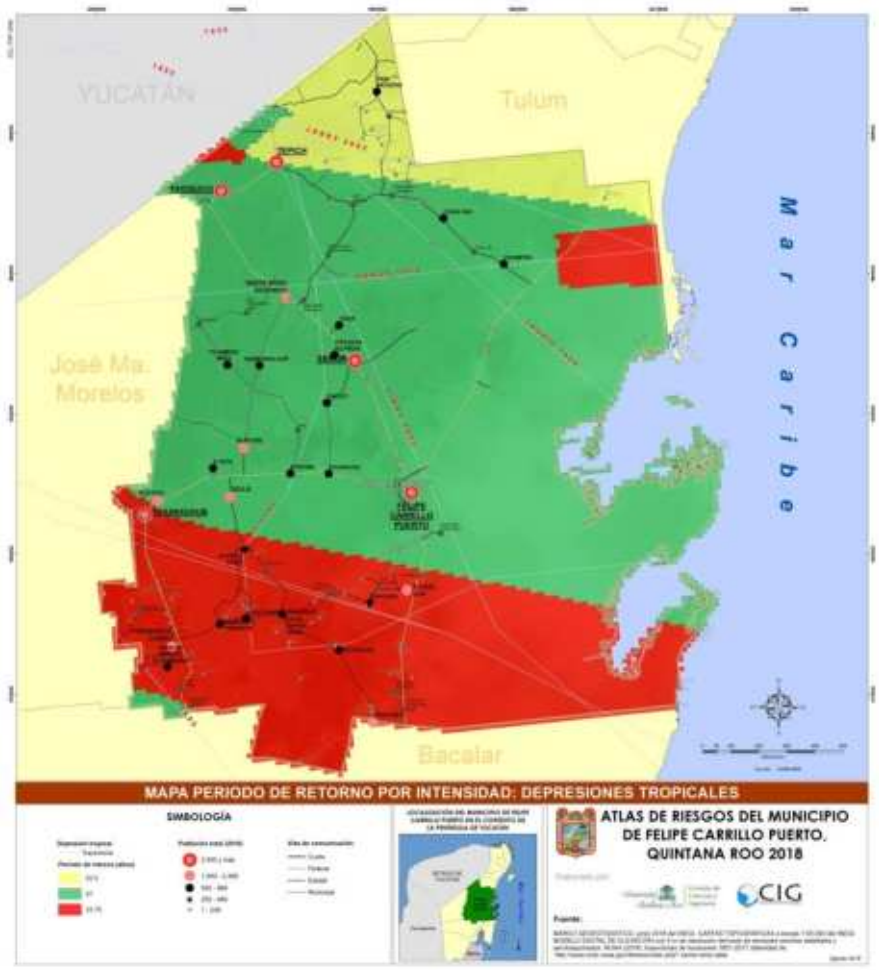
Nota: DT- Depresión Tropical; TT- Tormenta Tropical, H1-Huracán Categoría 1, H2-Huracán Categoría 2, H3-Huracán Categoría 3, H4-Huracán Categoría 4 y H5-Huracán Categoría 5.
Fuente: Elaborado con base en la NOAA (2018), trayectorias de huracanes 1851-2017 obtenidas de: http://www.ncdc.noaa.gov/ibtracs/index.php? name=wmo-data.



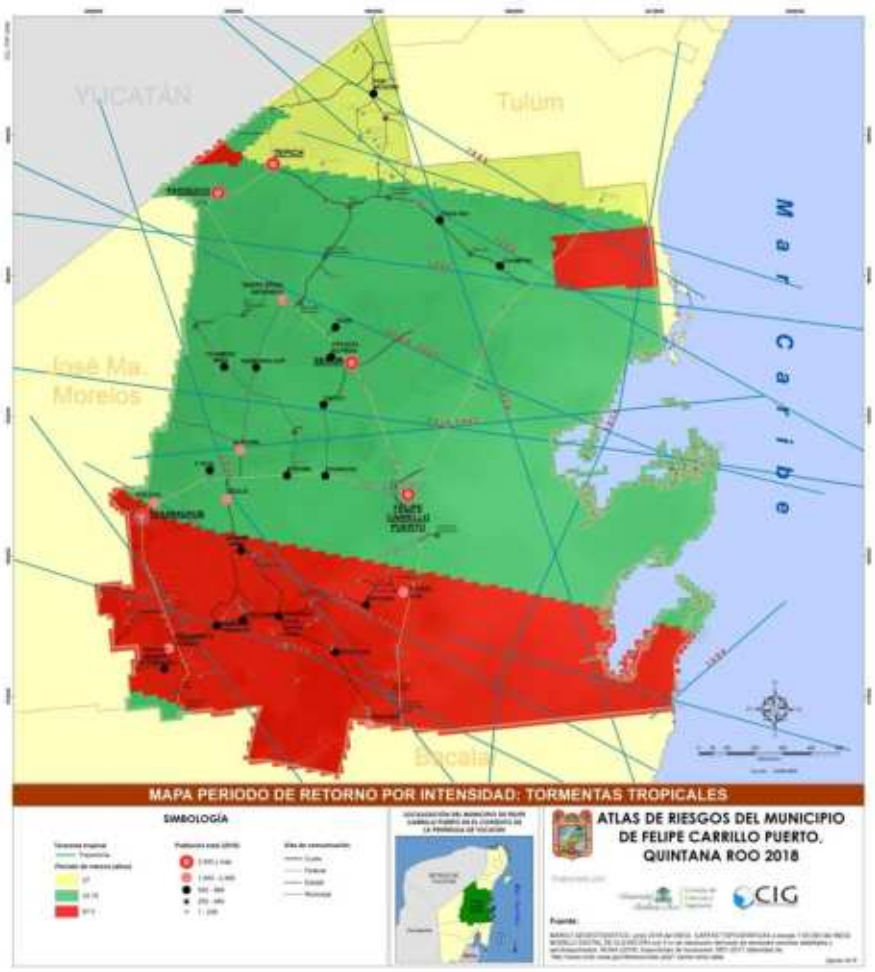
Mapa 34. Trayectoria de huracanes y fenómenos tropicales (1870 – 2017) que han afectado al municipio de Felipe Carrillo Puerto.



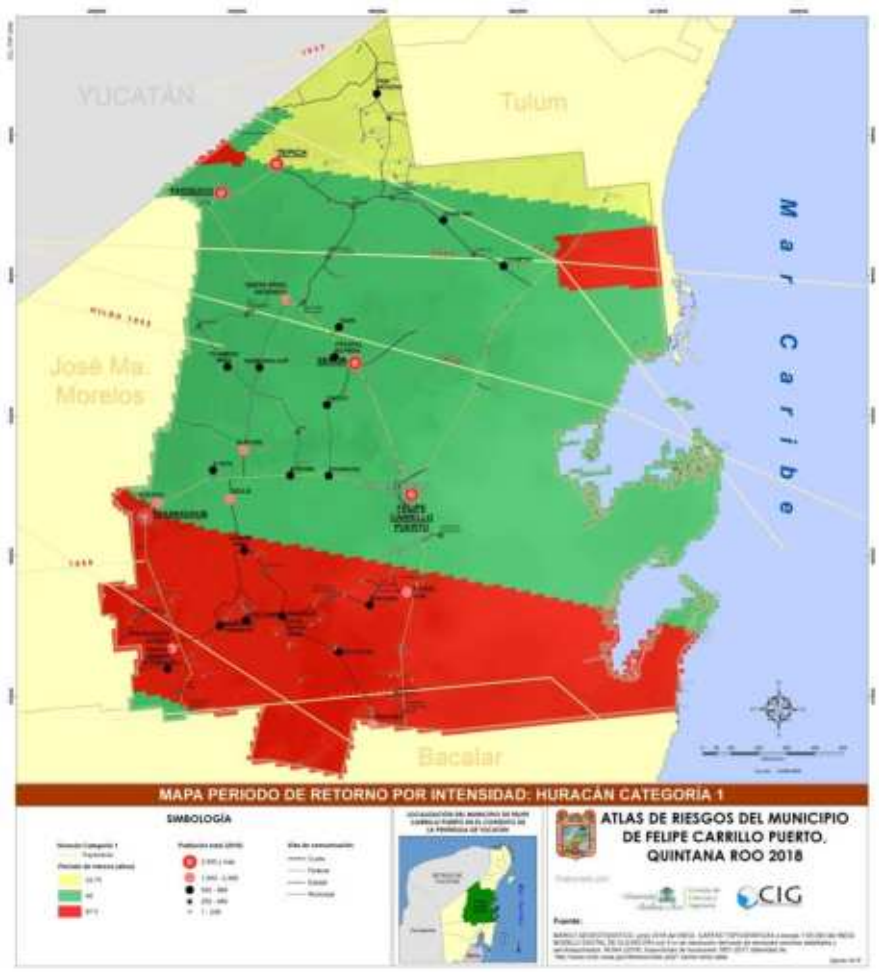
Mapa 35. Índice de Peligro por Ciclones Tropicales.



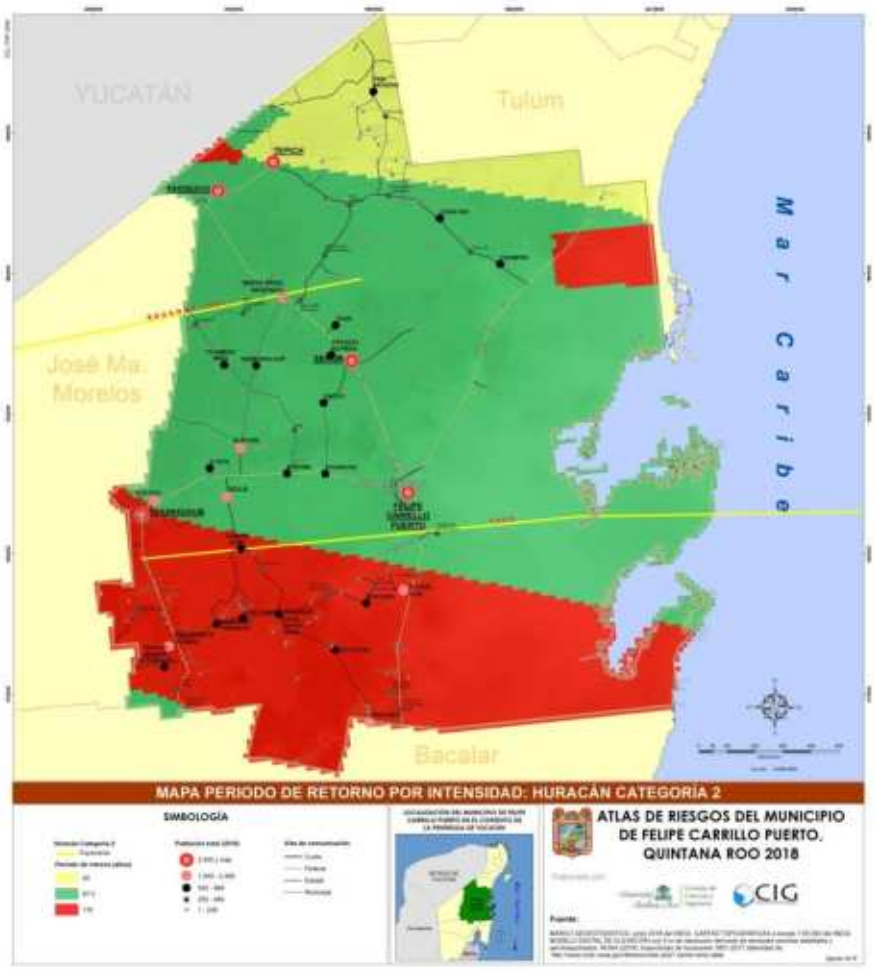
Mapa 37. Período de retorno por intensidad: Depresiones Tropicales.



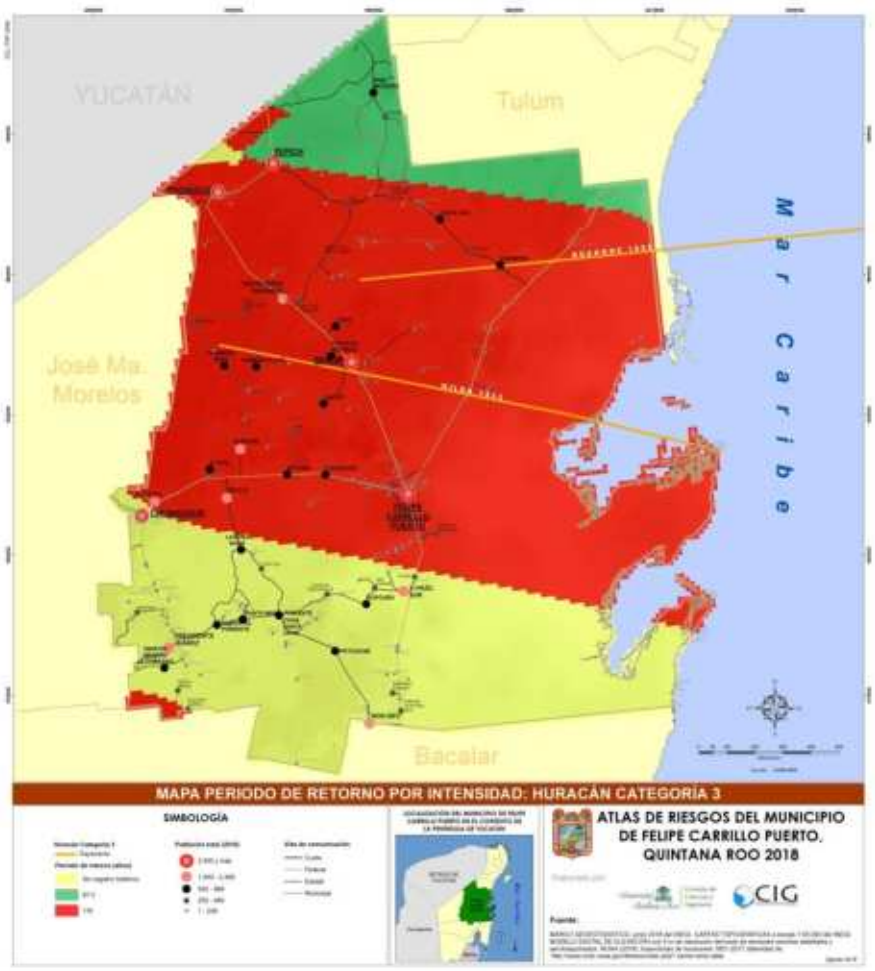
Mapa 36**. Período de retorno por intensidad: Huracán Tormentas Tropicales.**



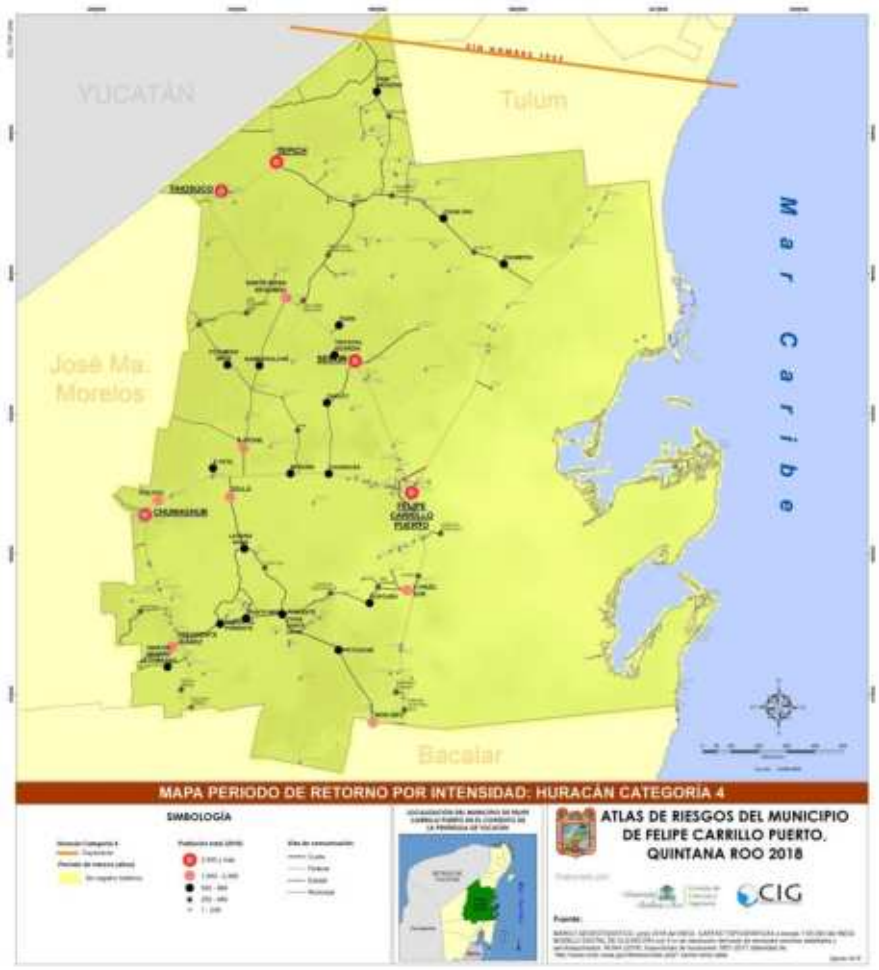
Mapa 38. Período de retorno por intensidad: Huracán Categoría 1.



Mapa 38. Período de retorno por intensidad: Huracán Categoría 2



Mapa 39. Período de retorno por intensidad: Huracán Categoría 3



Mapa 40. Período de retorno por intensidad: Huracán Categoría 4

6.1.7.2 Metodología para estimar el peligro por huracanes

Para estimar el peligro por huracanes se generó una cuadrícula con celdas de 1.0 km por lado y tomando las trayectorias históricas de huracanes se calculó el radio de vientos máximos sostenidos partiendo de la siguiente fórmula (CENAPRED, 2006):

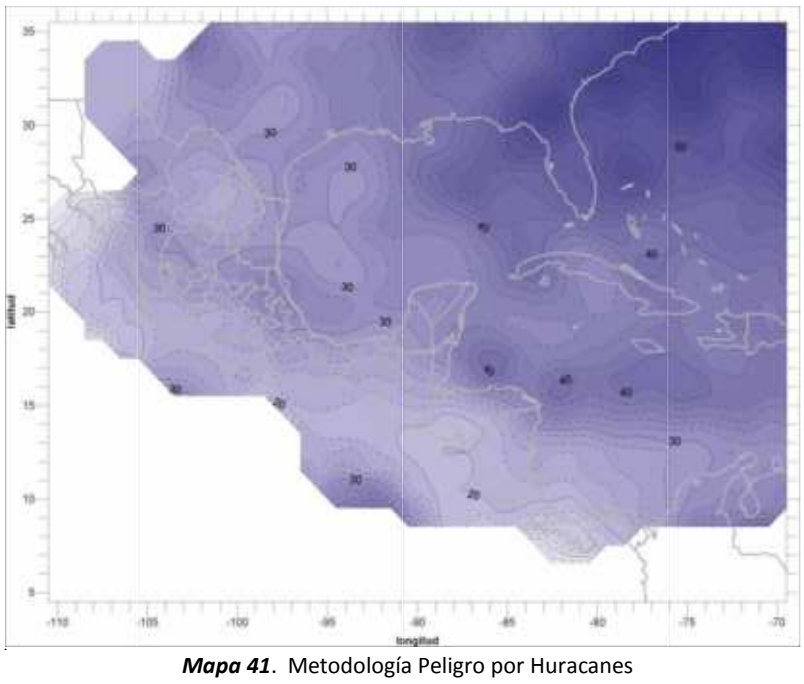
$$R = 0.0007e^{0.01156P_o}$$

Donde e es la base del logaritmo natural (2.71828) y P*o* es la presión central registrada (mm).

Adicionalmente se estimó la velocidad máxima de los vientos sostenidos partiendo de la formula (CENAPRED, 2006):

$$V_{max} = 20.1834(1013 - P_o)^{0.5} - 0.2618sen\theta + 0.5V_d$$

Donde P_o es la presión central registrada (mm); V_d la velocidad de desplazamiento del ciclón tropical (en km/h) y θ es la latitud en el centro del ciclón (en grados). La velocidad de desplazamiento se obtuvo del mapa generado por CENAPRED (2006).



Mapa 41. Metodología Peligro por Huracanes

Fuente: Máxima velocidad de traslación de los ciclones tropicales en el Atlántico (Rosengaus, et al., 2002)

Utilizando el radio de vientos máximos sostenidos (R) se generó el área de influencia de cada trayectoria registrada (37 en total) desde 1870 a 2005. Posteriormente se llevó a cabo el conteo del número de eventos de cada categoría, en cada una de las celdas de la malla de 1.0x1.0 km. De esta manera se determinó la tasa de excedencia utilizando la siguiente formula (CENAPRED, 2006):

$$u_{(i)} = \sum_{j=0}^{N \quad i} (M_{N \quad j})$$

Donde N es el número de fenómenos registrados por tipo (DT, TT, H1...H7). El resultado se dividió por el periodo de registro que son 135

$$p(i) = -k\frac{du(i)}{di}$$

años (2005-1870) para obtener la tasa de excedencia anual. Con este valor se estimaron las probabilidades de ocurrencia para cada tipo de evento.

También se estimaron los periodos de retorno, definidos estos, como el promedio de tiempo en que vuelve a ocurrir la excedencia de cierta intensidad *i*. Se obtuvieron a través de (CENAPRED, 2006):

$$Tr_i = \frac{1}{u(i)}$$

Por último, se obtuvo el Índice de Peligro por Ciclones Tropicales (IPCT) a partir de la metodología del CENAPRED (2006), utilizando la siguiente expresión:

$$IPCT = \sum_{i=1}^{7} u(i) * i$$

Donde *u(i)* es la tasa de excedencia para la intensidad *i.*

7. Referencias

O. Fuentes M., L. G. Matías R., M. Jiménez, D. Mendoza y C. Baeza. "Guía Básica para la Elaboración de Atlas de Riesgos Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Fenómenos Hidrometeorológicos". Elaboración de Mapas de Riesgo por Inundaciones Costeras por Marea de Tormenta. Serie: Atlas Nacional de Riesgos. CENAPRED ISBN 970-628-905-4. México, noviembre 2006.

8. Bibliografía

Gómez, M. (2006). Trayectorias históricas de los ciclones tropicales que impactaron el Estado de Veracruz de 1930 al 2005. *Scripta Nova*. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona. ISSN: 1138-9788. Depósito Legal: B. 21.741-98 Vol. X, núm. 218 (15), 1 de agosto de 2006.

Hernández, M.L, Carreño, M.L y Castillo, L. (2018), Methodologies and tools of Risk Management: Hurricane Risk Index (HRi), International Journal of Disaster Risk Reduction, https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.08.006.

Hernández, M-L., (2014). Evaluación del riesgo y vulnerabilidad ante la amenaza de huracanes en zonas costeras del Caribe Mexicano: Chetumal y Mahahual. Tesis Doctoral. Universidad de Quintana Roo. Doctorado en Geografía de la División de Ciencias e Ingeniería. Chetumal, Quintana Roo, México. Disponible de: ⟨http://192.100.164.54/janium-bin/detalle.pl?Id=20180206133947⟩.

Rosengaus M., Jiménez M., y Vázquez, Ma. (2002) "Atlas climatológico de ciclones tropicales en México". CENAPRED-IMTA. México, 106 pp. 2002.

SINAPROC/CENAPRED (2006). Evaluación de la vulnerabilidad Física y Social. Atlas Nacional de Riesgos. SEGOB, CENAPRED.

Schott, T., Landsea, C., Hafele, G., Lorens, J., Thurm, H., Ward, B., Zaleski, W. (2012). The Saffir-Simpson Hurricane Wind Scale (pp. 1–4). Disponible en: http://www.nhc.noaa.gov/pdf/sshws.pdf

Landsea, C. (2011). ¿Qué es un disturbio tropical, una depresión tropical y una tormenta tropical?. NHC – National Hurricane Center. Consultado en línea: http://www.aoml.noaa.gov/hrd/tcfaq/A5_esp.html de la División de Investigación de Huracanes del Centro Nacional de Huracanes de la NOOA.

CONAGUA (2015). Programa Hídrico Estatal 2014-2018 del estado de Quintana Roo. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional del Agua. México.

Conjunto de datos vectoriales fisiográficos. Continuo Nacional. Escala 1:1'000,000. Serie I. Provincias fisiográficas, sistemas de topoformas y subprovincias fisiográficas. INEGI.

Fragoso-Servón, P., Bautista, F., Frausto, O., and Pereira, A., 2014, Caracterización de las depresiones kársticas (forma, tamaño y densidad) a escala 1:50000 y sus tipos de inundación en el Estado de Quintana Roo, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 31, no. 1, p. 127–137.

GeoInfoMex. Servicio Geológico Mexicano. Escala 1: 50,000 y 1:250, 000. Cartas topográficas del INEGI. Escala 1:250, 000 y 1:50, 000.
Cartas topográficas del INEGI. Escala 1:250, 000 y 1:50, 000. Edafología. Serie III.

Gutiérrez, F. y Arauzo, T. (1997). Subsidencia kárstica sinsedimentaria en un sistema aluvial efímero: El Barranco de Torrecilla (Depresión del Ebro, Zaragoza). *Cuadernos de Geología Ibérica*, núm. 22, 349-372. Servicio de Publicaciones. Universidad Complutense, Madrid. España.

Red Hidrográfica escala 1:50, 000. Edición 2. INEGI. Cartas topográficas del INEGI. Escala 1:250, 000 y 1:50, 000. Schmitter–Soto, J. J., E. Escobar–Briones, J. Alcocer, E. Suárez–Morales, M. Elías–Gutiérrez & L. E. Marín. 2002. Los cenotes de la Península de Yucatán. In: De la Lanza–Espino, G. & J. L. García–Calderón (Comps.). Lagos y Presas de México. AGT. México, pp. 337–381.

Orellana R., Espadas, C., Conde, C., Gay, C., (2009). Atlas Escenarios de Cambio Climático en la Península de Yucatán. Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán y Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México. CYCY. Mérida, Yucatán. México.

García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. Serie Libros. Núm. 6. ISBN-UNAM. 968-36-7398-8. Quinta Edición. ISBN 970-32-1010-4. México.
INEGI (2008). Conjunto de datos vectoriales escala 1: 1 000 000. Unidades climáticas.

Highland, L., and Bobrowsky, P. T. (2008). The landslide handbook: a guide to understanding landslides. Reston, VA, USA: US Geological Survey.129.

INEGI (2006). Conjunto de datos vectoriales escala 1: 1 000 000. Precipitación Media Anual.

INEGI (2007). Conjunto de datos vectoriales escala 1: 1 000 000. Temperatura Media Anual.

INEGI (2005). Conjunto de datos vectoriales escala 1: 1 000 000. Humedad del suelo.

INEGI (2017). CONJUNTO DE DATOS VECTORIALES DE USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN ESCALA 1:250 000, SERIE VI (Conjunto Nacional).
CONAP. RESERVA DE LA BIOSFERA SIAN KA'AN. Recuperado 15 septiembre 2018 de https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/reservasBiosfera3.pdf

Moral, L. (2014). Cálculo de la susceptibilidad de deslizamiento del terreno en Lorca mediante un Sistema de Información Geográfica. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía. España. Julio 2014. Trabajo de fin de grado.

Lugo, J. (2011). Diccionario geomorfológico. ISBN-13 (15): 978-607-02-2707-3. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía.

SINAPROC-CENAPRED (2004). Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Serie: Atlas Nacional de Riesgos (AR 1). Secretaria de Gobernación. Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC). Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). México. D.F.

Suárez J., (1998). "Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales". Instituto de Investigaciones sobre erosión y deslizamientos. Bucaramanga, Colombia, 548.p.

Tomás, R., Herrera, G., Delgado, J., y Peña, F. (2009). Subsidencia del terreno. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 2009. (17.3) 295-302. ISSN.: 1132-9157. España.

White, W., 1988, Geomorphology and hydrogeology of karst terrains: USA, Oxford University Press, 465 pp.

9. Glosario

Albergue.- Lugar físico destinado a prestar asilo, amparo y alojamiento a personas ante la amenaza, inminencia u ocurrencia de un fenómeno destructivo. Generalmente es proporcionado en la etapa de auxilio.

Alarma.- Aviso o señal que se da para que se sigan instrucciones específicas debido a la presencia real o inminente de un evento adverso.

Actividad económica.- Conjunto de operaciones relacionadas con la producción y distribución de bienes y servicios.

Amenaza.- Probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente dañino dentro de un área y período de tiempo dado.

Ciclón Tropical.- Fenómeno natural que se origina y desarrolla en mares de aguas cálidas y templadas y dura varios días; consiste en fuertes vientos rotativos que se mueven circularmente en forma de remolino de ahí su nombre y de precipitaciones abundantes, acompañadas de un descenso de temperatura y de presión.

CONABIO.- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

CONAGUA.- Comisión Nacional del Agua.

Damnificado.- Persona afectada por un desastre, que ha sufrido daño o perjuicio en sus bienes, en cuyo caso generalmente ha quedado ella y su familia sin alojamiento o vivienda.

Desastre: Una interrupción seria en el funcionamiento de una sociedad causando vastas pérdidas a nivel humano, material o ambiental, suficientes para que la sociedad afectada no pueda salir adelante por sus propios medios.

Deslizamiento. Fenómeno de desplazamiento masivo de material sólido que se produce bruscamente, cuesta abajo a lo largo de una pendiente cuyo plano acumula de manera parcial la misma materia, autolimitando su transporte

Dolina. - Depresión originada por colapso en áreas de disolución calcárea.

Edafología. - Proviene de las raíces griegas “édaphos - suelos” y "logos - estudio", estudio del suelo; relacionando la composición y naturaleza del mismo, con las plantas y el entorno que le rodea.

Emergencia.- Evento repentino e imprevisto, que hace tomar medidas inmediatas para minimizar sus consecuencias,

Erupción Volcánica.- Fenómeno geológico que consiste en la liberación de magma proveniente de capas profundas de la tierra, aflora a la superficie por aberturas o fisuras de la corteza terrestre.

Falla.- Ruptura de la roca a lo largo del cual se produce un desplazamiento relativo entre los bloques que separa.

Fisiografía.- Ciencia que tiene por objeto la descripción de la Tierra y de los fenómenos localizados en ella.

Fractura.- Superficie de ruptura en rocas a lo largo de la cual no ha habido movimiento relativo, de un bloque respecto a otro.

Freático.- Nivel de las aguas acumulados en el subsuelo sobre una capa impermeable del terreno

Geología.- Es la ciencia por excelencia de la tierra dado que estudia su origen, su conformación, todos los materiales que la integran tanto interna como exteriormente y los procesos que la misma ha atravesado y que marcaron su evolución.

Geomorfología.- Rama de la geología y de la geografía que estudia las formas de la superficie terrestre y los procesos que las generan.

Humedad.- Cantidad de agua, que en estado gaseoso o líquido, se halla suspendida en el aire en un determinado momento.

Huracán.- Los huracanes son enormes tormentas tropicales giratorias caracterizadas por poderosos vientos y lluvias torrenciales. El fenómeno tormentoso alcanza a veces 800 kilómetros de diámetro y está constituido por vientos y nubes que forman una espiral en torno a un centro común que se denomina “ojo”. El aire es tranquilo y sin nubes en la zona del ojo, que mide unos 25 kilómetros de diámetro, pero está rodeado por una enorme pared de densas nubes que producen las precipitaciones más intensas del huracán y en la que el viento alcanza mayor velocidad. Para que una tormenta se clasifique como huracán, sus vientos deben soplar por lo menos a 120 kilómetros por hora, pero su velocidad alrededor del ojo suele superar con frecuencia los 240 kilómetros.

INEGI.- Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Infraestructura.- Datos e información geográfica que se refieren a cualquier obra hecha por el hombre ubicada en alguno de los 6 ámbitos geográficos generales del territorio del área de estudio. Ejemplo: carreteras, localidades, puentes, presas, tendidos eléctricos, redes de comunicación telefónica, faros, puertos, límites político administrativos, demarcaciones geográficas de cualquier tipo, plataformas petroleras, etc.

Inundación.- Efecto generado por el flujo de una corriente, cuando sobrepasa las condiciones que le son normales y alcanza niveles extraordinarios que no pueden ser controlados. Se trata de una situación en la cual el agua cubre un terreno que normalmente no está cubierto de agua.

Lahar.- Los lahares son mezclas de agua con una alta concentración de sedimentos y escombros de rocas volcánicas los cuales se desplazan pendiente abajo en los volcanes, influenciados por la gravedad. Debido a su naturaleza son muy erosivos, generalmente se desplazan por los drenajes a grandes velocidades (incluso mayores a 70 km/h), y pueden alcanzar grandes distancias (hasta cientos de kilómetros) lejos de su fuente.

Localidad.- Todo lugar que esté habitado. Es todo lugar poblado, ciudad, pueblo, hacienda, rancho, etc., que tenga un nombre, una categoría política, ya sea por ley o costumbre.

Litología. - Parte de la geología que trata de las rocas.

Mapa de Riesgo.- Representación gráfica de la distribución espacial de los tipos y efectos que puede causar un evento, de una intensidad definida al cual se le agrega la señalización de un tipo específico de riesgo, diferenciando las probabilidades de un desastre.

Metadatos.- La definición más concreta de los metadatos es que son “datos acerca de los datos” y sirven para suministrar información sobre los datos producidos. Los metadatos consisten en información que caracteriza datos, describen el contenido, calidad, condiciones, historia, disponibilidad y otras características de los datos. Los Metadatos permiten a una persona ubicar y entender los datos, incluyen información requerida para determinar qué conjuntos de datos existen para una localización geográfica particular, la información necesaria para determinar si un conjunto de datos es apropiado para fines específicos, la información requerida para recuperar o conseguir un conjunto ya identificado de datos y la información requerida para procesarlos y utilizarlos.

Mitigación.- Acción orientada a disminuir la intensidad de los efectos que produce el impacto de las calamidades en la sociedad y en el medio ambiente.

Placa tectónica.- Es una porción de la litosfera, que es la capa más externa de la corteza terrestre, y puede ser continental u oceánica. En la actualidad, se reconocen 7 u 8 grandes placas y varias docenas de placas de menor tamaño e importancia.

Prevención.- Conjunto de medidas cuyo objeto es impedir o evitar que sucesos naturales, tecnológicos o generados por el hombre causen desastres.

Provincia Fisiográfica.- Conjunto estructural de origen geológico unitario, con morfología propia y distintiva.

Reconstrucción.- Acciones tomadas para establecer una comunidad después de un período de rehabilitación, subsiguiente a un desastre.

Refugio.- Un refugio es el espacio físico donde se brinda protección y atención especializada e interdisciplinaria **a** las víctimas de un desastre. Un ejemplo muy común son las instalaciones de las escuelas.

SCT.- Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Sistema de Topoformas.- Conjunto de formas del terreno asociadas según algún patrón o patrones estructurales y/o degradativo.

Subprovincia/Discontinuidad Fisiográfica.- Subregiones de una provincia fisiográfica con características distintivas.

Anexo 1. Escala de Huracanes Saffir-Simpson

Los ciclones tropicales se clasifican de acuerdo con la presión atmosférica que existe en su centro o de acuerdo a la velocidad de sus vientos. La escala para medir la intensidad de los vientos de los huracanes es la Escala de Huracanes Saffir-Simpson, categorización basada en la intensidad del huracán en el momento indicado que va de 1 a 5. La escala - originalmente desarrollada por el ingeniero Herbert Saffir y el meteorólogo Bob Simpson - ha sido una excelente herramienta para alertar a la población sobre los posibles impactos de la intensidad de los huracanes. Saffir desarrolló la mayoría de los estudios sobre el impacto de los vientos en las estructuras construidas por el hombre, mientras que Simpson atendió al efecto de las mareas.

La escala incluye ejemplos del tipo de daño y de los impactos para los Estados Unidos que se encuentran asociados con los vientos de la intensidad indicada. Sin embargo, es una escala mundialmente aceptada para categorizar a los huracanes. Saffir cedió la escala al Centro Nacional de Huracanes de Estados Unidos; posteriormente Simpson añadiría a la escala los efectos del oleaje e inundaciones. No se tienen en cuenta ni la cantidad de precipitación ni la situación, lo que significa que un huracán de categoría 3 que afecte a una gran ciudad puede causar muchos más daños que uno de categoría 5 que afecte a una zona despoblada.

La escala no plantea la posibilidad de daño de otros impactos relacionados con los huracanes, como las mareas de tormenta, las inundaciones inducidas por la lluvia y los tornados. También hay que señalar que estas descripciones generales de los daños causados por el viento dependen, hasta cierto punto, de los **códigos de construcción locales vigentes** y de lo bien que con el tiempo se han aplicado. Por ejemplo, los códigos de construcción aplicados durante la década de 2000 en Florida, Carolina del Norte y Carolina del Sur, probablemente reducirán el daño a estructuras nuevas. Sin embargo, durante mucho tiempo, la mayoría de los edificios existentes en la costa no se han construido con el más alto código.

El daño por el viento de huracán también depende de otros factores, como la duración de los fuertes vientos, el cambio de dirección del viento, y la edad de las estructuras. Además, a medida que un ciclón tropical se organiza, pasa por dos categorías iniciales. Éstas no están contenidas dentro de la Escala de Huracanes de Saffir Simpson, pero clasifican a un ciclón tropical en formación y se utilizan como categorías adicionales a la misma. Son la **"Depresión Tropical (DT)"** —un sistema organizado de nubes y tormenta eléctrica con una circulación cerrada y definida— y la **"Tormenta Tropical (TT)"** —un sistema organizado de fuertes tormentas eléctricas con una circulación bien definida que muestra la distintiva forma ciclónica—.

La escala Saffir-Simpson sufrió una pequeña modificación para el año 2012 con el fin de resolver el problema asociado a la conversión entre las diversas unidades utilizadas para la velocidad del viento en los productos de advertencia (NHC/NOOA, 2012). El cambio amplía la gama de la **"Categoría 4"** en la velocidad del viento por una milla por hora (mph) en cada extremo de la gama, dando una nueva gama de 130 a 156 mph. Este cambio no altera las asignaciones de categoría de cualquier tormenta en el registro histórico, ni va a cambiar las asignaciones de categorías para futuras tormentas. El razonamiento detrás de este cambio y una tabulación de las viejas y nuevas escalas (Tabla 38).

Debido a la incertidumbre inherente en la estimación de la intensidad de los huracanes, el Centro Nacional de Huracanes (CNH) y el Centro de Huracanes del Pacífico Central decidieron asignar un incremento en las intensidades de los vientos en 5 nudos (kt) (por ejemplo, 100, 105, 100, 115 kt, etc.).

Tabla 38. Cambios en la escala Saffir-Simpson

Categoría	Rango anterior		Nuevo rango
1	74-95 mph 64-82 kt 119-153 km/h	= = =	74-95 mph 64-82 kt 119-153 km/h
2	96-110 mph 83-95 kt 154-177 km/h	= = =	96-110 mph 83-95 kt 154-177 km/h
3	111-130 mph 96-113 kt 178-209 km/h	↔ ↔ ↔	111-129 mph 96-112 kt 178-208 km/h
4	131-155 mph 114-135 kt 210-249 km/h	↔ ↔ ↔	130-156 mph 113-136 kt 209-251 km/h
5	156 mph o mayor 136 kt o mayor 250 km/h o mayor	↔ ↔ ↔	157 mph o mayor 137 kt o mayor 252 km/h o mayor

Fuente: NHC/NOOA. (2012). Minor Modification to Saffir-Simpson Hurricane Wind Scale for the 2012 Hurricane Season (pp. 251–252). Disponible en: http://www.nhc.noaa.gov/pdf/sshws_2012rev.pdf.

Sin embargo, algunos avisos, requieren dar la intensidad de los vientos en unidades de mph y kilómetros por hora (km/h). Para estos avisos, la intensidad en nudos se convierte en mph y km/h y luego se redondea a 5 millas por hora o en incrementos de 5 km/h, por lo que no quiere decir que la intensidad de la tormenta puede ser conocida con una precisión real. Desafortunadamente, este proceso de conversión y el redondeo no funcionaba bien en los límites de la **"Categoría 4"**. La **"Categoría 4"** históricamente se ha definido como 131-155 mph (con rangos correspondientes en otras unidades dadas como 114-135 kt y 210 a 249 km/h). Un huracán con una intensidad asignada de 115 kt, por lo tanto, es un huracán de **"Categoría 4"**. Sin embargo, cuando 115 kt se convierte en mph (132.3 mph) y luego redondea a la 5 mph más cercana (130 mph), el resultado cae en el rango mph **"Categoría 3**". A fin de que el huracán aparezca como **"Categoría 4"**, tanto en kt y mph, CNH se ve obligado a convertir incorrectamente 115 kt a 135 millas por hora en sus productos de advertencia. Un

problema similar se produce cuando la intensidad de la "Categoría 4" de 135 kt se convierte en km/h. Para resolver estos problemas de redondeo, la nueva Escala de Huracanes Saffir-Simposon (Tabla 39) amplía la gama de la **"Categoría 4"** en la velocidad del viento por uno mph a cada extremo de la gama, dando una nueva gama de 130 a 156 millas por hora (113 a 136 kt, 209-251 km/h). Con este cambio, un 115-kt huracán de **"Categoría 4"** puede tener la intensidad adecuada al convertirse en mph y se redondea a la 5 mph más cercana (130 mph) - y permanecer dentro del rango mph de **"Categoría 4"**. Cambiar el rango de **"Categoría 4"** a 130-156 kilómetros por hora, 113 a 136 kt, y 209 a 251 km/h, simplemente permite que todas las conversiones de unidades de nudos que se realicen correctamente y mantener las tormentas en la categoría correcta, independientemente de las unidades utilizadas.

En 2004, en Florida, un huracán de **"Categoría 4"** produjo una marejada ciclónica máxima de alrededor de 7 pies (2 metros aproximadamente). Estos valores de mareas de tormenta estuvieron sustancialmente fuera de los rangos sugeridos en la escala original. Precisamente, para ayudar a reducir la confusión del público sobre los impactos asociados a las distintas categorías de huracanes, así como para proporcionar una escala más científicamente, los rangos declarados de mareas de tormenta, inundaciones impacto y presión central están siendo retirados de la escala y sólo vientos máximos se emplean en esta versión revisada: Escala ampliada Saffir-Simpson (Tabla 40).

Tabla 39. Escala de Huracanes Saffir-Simpson

Depresión Tropical (DT)			
	Marea	0m	
	Presión central	1004.1 a 1008 mbar	
	Nivel de daños	Lluvias que pueden llegar a causar graves daños e incluso inundaciones.	
Tormenta Tropical (TT)	**Velocidad del viento**	18–32 m/s	62-118 km/h
	Marea	1.1 m	
	Presión central	985.1 a 1004 mbar	
	Nivel de daños	Lluvias abundantes que pueden provocar inundaciones devastadoras. Vientos fuertes que pueden generar tornados.	
Huracán Categoría 1	**Velocidad del viento**	33–42 m/s	118–154 km/h
	Marea	1.5 m	
	Presión central	980.1–985 mbar	
	Nivel de daños	Sin daños en las estructuras de los edificios. Daños básicamente en arbustos y árboles. Inundaciones en zonas costeras y daños de poco alcance en puertos.	
Huracán Categoría 2	**Velocidad del viento**	43–49 m/s	154–178 km/h
	Marea	2.0–2.5 m	
	Presión central	965.1–980 mbar	
	Nivel de daños	Daños en tejados, puertas y ventanas. Importantes daños en la vegetación. Inundaciones en puertos así como ruptura de pequeños amarres.	
Huracán Categoría 3	**Velocidad del viento**	50–58 m/s	178–208 km/h
	Marea	2.5 – 4.0 m	
	Presión central	945.1–965 mbar	
	Nivel de daños	Daños estructurales en edificios pequeños. Las inundaciones destruyen edificaciones pequeñas en zonas costeras y objetos a la deriva pueden causar daños en edificios mayores. Posibilidad de inundaciones tierra adentro.	
Huracán Categoría 4	**Velocidad del viento**	59–69 m/s	209–251 km/h
	Marea	4.0–5.5 m	
	Presión central	920.1–945 mbar	
	Nivel de daños	Daños generalizados en estructuras protectoras, desplome de tejados en edificios pequeños. Alta erosión de bancales y playas. Inundaciones en terrenos interiores.	
Huracán Categoría 5	**Velocidad del viento**	≥70 m/s	≥252 km/h
	Marea	≥5.5 m	
	Presión central	<920 mbar	
	Nivel de daños	Destrucción completa de tejados en algunos edificios. Las inundaciones pueden llegar a las plantas bajas de los edificios cercanos a la costa. Puede ser requerida la evacuación masiva de áreas residenciales.	

Fuente: Adaptado a partir de NOOA (2012a) y Rosengaus, et al., (2002).

Tabla 40. Escala ampliada de Huracanes Saffir-Simpson

Categoría	Vientos (1 m sostenido en km/h, mph, y kt)	Estado	Personas, ganado y mascotas	Estructura de las viviendas	Apartamentos, centros comerciales, y edificaciones industriales	Altos ventanales y cristales	Señalización, cercas y toldos	Vegetación	Electricidad y agua
Categoría 1 *Dolly* (1996)	119-153 km/h 74-95 mph 64-82 kt	Vientos muy peligrosos. Se pueden producir algunos daños.	Personas, animales de granja, y mascotas pueden resultar afectados por objetos volátiles o derrumbes resultando heridos o muertos.	Algunas casas con débil estructura pueden experimentar daños importantes: pérdida de la cubierta del techo y tejado, así como en el porche, cubiertas y toldos. Ventanas sin protección puede romperse con algún objeto volador Casas con estructura bien construidas podrían tener daños en el techo, tejas, revestimientos, paneles de paflón y tuberías, así como cubiertas de piscinas.	Algunas cubiertas de techos de edificios de apartamentos y centros comerciales podrían eliminarse parcialmente. Edificios industriales pueden perder techos y revestimientos. Daños a puertas industriales y ventanas no protegidas.	Las ventanas en los edificios pueden ser rotas por escombros. Vidrios rotos pueden resultar peligrosos, incluso después de la tormenta.	Puede producirse daño ocasional a la señalización comercial, vallas, y marquesinas.	Las ramas grandes de los árboles se pueden remover y árboles con raíces poco profundas pueden ser derribados.	Extenso daño a líneas de alta tensión y postes. Probablemente existan interrupciones de energía que podrían durar de pocos días a varios.
Categoría 2 *Diana* (1990)	154-177 km/h 96-110 mph 83-95 kt	Extremadamente peligroso, con vientos que pueden causar grandes daños.	Riesgo sustancial de lesiones o muerte de personas, animales de granja, animales domésticos debido al vuelo y la caída de escombros.	Casas con marcos mal construidos tienen una alta probabilidad de que sus estructuras del techo sean eliminadas si no están anclados correctamente. Ventanas sin protección tienen una alta probabilidad de que se rompan al volar escombros. Casas con estructuras bien construidas podrían sostener grandes techos y revestimientos sin daños.	Porcentaje sustancial de daños en el techo y paredes de edificios de apartamentos y edificios industriales. Mampostería sin refuerzo las paredes pueden colapsar.	Las ventanas en los edificios pueden ser rotas por escombros. Vidrios rotos pueden resultar peligrosos, incluso después de la tormenta.	Señalización comercial, vallas, y marquesinas pueden dañarse y a menudo ser destruidas.	Muchos árboles arraigados quedarán rotos o desarraigados, pueden existir numerosos bloqueos en carreteras.	Total, pérdida de potencia es esperada, con interrupciones que podrían durar desde varios días a semanas. El agua potable podría escasear. Filtraciones es sus sistemas podrían colapsar.
Categoría 3 *Florida Keys Hurricane* (1906) *Hilda* (1955)	178-208 km/h 111-129 mph 96-112 kt	Daño devastador.	Existe un alto riesgo de lesiones o muerte a personas, ganado y animales domésticos por vuelo y caída de escombros.	Casas con estructuras mal construidas pueden ser destruidas. Remoción de la cubierta y los muros exteriores. Ventanas sin protección serán destruidas por los escombros que vuelan. Casas con	Habrá un alto porcentaje de cubiertas y revestimiento de daños a los edificios de apartamentos y edificios industriales. Se puede producir daño estructural aislado en construcciones	Numerosas ventanas serán arrastradas fuera de los edificios de gran altura que resulta en la caída de vidrio, lo que supondrá	La mayoría señalización comercial, vallas y marquesinas serán destruidas.	Muchos árboles estarán destruidos o arrancados de raíz, bloqueando numerosas carreteras.	La electricidad y el agua no estarán disponibles durante varios días a unas pocas semanas después de que pase la tormenta.

				estructuras bien construidas pueden experimentar daños importantes que implica la eliminación de la cubierta del techo y los vestíbulos.	de madera o acero. Derrumbe total de edificios de metal viejos, es probable que edificios de mampostería no reforzados puedan colapsar.	una amenaza para los días o semanas después de la tormenta.			
Categoría 4 *Carmen* (1974)	209-251 km / h 130-156 mph 113-136 kt	Daño catastrófico.	Riesgo muy alto de sufrir lesiones o la muerte a personas, ganado y animales domésticos debido al vuelo y la caída de escombros.	Casas mal construidas pueden sufrir colapso completo de todas las paredes, así como la pérdida de la estructura del techo. Casas bien construidas también pueden sufrir daños graves como la pérdida de la mayor parte de la estructura del techo y/o algunas de las paredes exteriores. Se producirá un daño considerable en cubiertas de techos, ventanas y puertas. Grandes cantidades de escombros arrastrados por el viento se elevarán en el aire. Escombros arrastrados por el viento romperán las ventanas más desprotegidas y podrían penetrar en algunas ventanas protegidas.	Habrá un alto porcentaje de los daños estructurales en los pisos superiores de edificios de apartamentos. Los marcos de acero de los edificios industriales más antiguos pueden colapsar. Habrá un alto porcentaje de colapso para mayores edificios de mampostería no reforzada.	La mayoría de las ventanas serán arrastrada s fuera de los edificios de gran altura, lo que resulta en la caída de vidrios, lo que supondrá una amenaza para los días o semanas después de la tormenta.	Casi toda la señalización comercial, vallas y marquesinas serán destruidas.	La mayoría de los árboles estarán destruidos o arrancados de raíz y postes de electricidad derribados. Los árboles caídos y postes de electricidad aislarán las zonas residencial es.	Los cortes de energía tendrán una duración de semanas a meses, posiblemen te. La escasez de agua a largo plazo aumentará el sufrimiento humano. La mayor parte de la zona será inhabitable por semanas o meses.
Categoría 5 *Janet* (1955) *Dean* (2007)	252 kilómetro s por hora o más alto 157 mph o más alto 137 kt o más alto	Daño catastrófico.	La gente, el ganado y los animales domésticos están en alto riesgo de lesiones o muerte por vuelo o la caída de escombros.	Un alto porcentaje de la estructura de las casas será destruido, con la pérdida total de la azotea y el colapso de las paredes. Se producirá un daño considerable en cubiertas de techos, ventanas y puertas. Grandes cantidades de escombros arrastrados por el viento se encontrarán en el aire. Escombros arrastrados por el	Daño significativo a las azoteas de edificios comerciales de madera se producirá, debido a la pérdida de revestimiento del techo. Se puede producir un colapso total de muchos edificios de metal de mayor edad. La mayoría de los muros de mampostería no reforzada se producirá un	Casi todas las ventanas de los edificios de gran altura serán arrastrada s fuera, lo que supondrá una amenaza para los días o semanas posteriore s de la tormenta.	Casi toda la señalización comercial, vallas y marquesinas serán destruidas.	Casi todos los árboles estarán destruidos o arrancados de raíz y postes de electricidad derribados. Los árboles caídos y postes de electricidad aislarán las zonas residencial es.	Los cortes de energía tendrán una duración de semanas a meses, posiblemen te. La escasez de agua a largo plazo aumentará el sufrimiento humano. La mayor parte de la zona será inhabitable por semanas o

				viento producirán daño a casi todas las ventanas desprotegidas y de muchas ventanas protegidas.	error que puede llevar al colapso de los edificios. Un alto porcentaje de naves industriales y edificios de apartamentos de baja altura será destruido.				meses.