



Oscar Frausto Martínez

Julio César Morales
Hernández

César Daniel Aguilar
Becerra

Coordinadores

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA ANTE FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS EXTREMOS EN MÉXICO





Sistema de alerta temprana ante fenómenos hidrometeorológicos extremos en México

Oscar Frausto Martínez
Julio César Morales Hernández
César Daniel Aguilar Becerra
Coordinadores

Frausto Martínez, Oscar.

Sistema de alerta temprana ante fenómenos hidrometeorológicos extremos en México / Oscar Frausto Martínez, Julio César Morales Hernández y César Daniel Aguilar Becerra
–CDMX: UAGRO. REDESCLIM - CONACYT.

108 p.

ISBN: 978-607-8755-09-7

1. Fenómenos hidrometeorológicos, 2. Sustentabilidad, 3 Seguridad ambiental,
4. Cambio climático.

Oscar Frausto Martínez, Julio César Morales Hernández y César Daniel Aguilar Becerra
Coordinadores

Diseño editorial y formación:
Gema Alín Martínez Ocampo

Primera edición: 2020

ISBN: 978-607-8755-09-7

Fotografías de entrada de capítulo y portada a excepción de los que se indican:
<https://pixabay.com/es/>

Las opiniones, datos y citas presentados en esta obra son responsabilidad exclusiva del autor y no refleja, necesariamente, los puntos de vista de la institución que edita esta publicación.

Prohibida su reproducción parcial o total, por cualquier medio, mecánico, electrónico, de fotocopias, térmico u otros, sin permiso de los editores.

Hecho en México

Índice

Prólogo	7
Introducción	9
I. PARTICIPACIÓN SOCIAL EN LOS SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA ANTE FENÓMENOS HIDROMETEROLÓGICOS	13
1.1. Introducción	13
1.2. Componentes de los SAT	14
1.3. Participación social	15
1.3.1 SAT y Participación Social	16
1.4. SAT en México	17
1.5. Propuestas para la participación social efectiva en los SAT para FHM en México	19
1.6. Conclusiones	23
1.7. Agradecimientos	23
1.8. Referencias	24
2. SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA BASADO EN LA COMUNIDAD ANTE FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS EN LOCALIDADES SITUADAS EN BARRAS DE LITORAL COSTERA	29
2.1. Introducción	29
2.2. Revisión de literatura	30
2.2.1 Gestión de desastres y resiliencia	30
2.2.2 Sistemas de alerta temprana, sus componentes y orígenes	35
2.2.3 Sistemas de alerta temprana ante fenómenos hidrometeorológicos en México	36
2.3. Metodología	38
2.3.1 Zona de estudio	38
2.3.2 Recolección y Análisis de la información	40
2.4. Resultados y discusión	45
2.4.1 Conocimientos y Riesgos	45
2.4.2 Servicio de vigilancia y alerta	46
2.4.3 Difusión y comunicación	46
2.4.4 Capacidad de respuesta	47
2.4.5 Pertinencia y comprensión de la evaluación	47
2.5. Reflexiones finales	48
2.6. Referencias	49

Capacidad de Respuesta: Dirección General Tático Operativa

- Desarrollar la respuesta en el ámbito de la Ciudad de México ante tiempo severo.
- Elaborar planes de gestión en caso de emergencia o desastre

5.5. Agradecimiento

La autora agradece a la Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos del Conacyt el financiamiento para participar en la discusión nacional en relación con los Sistemas de Alerta Temprana para Fenómenos Hidrometeorológicos, que permitieron enriquecer este trabajo

5.6. Referencias

Cámara de Diputados del Congreso de la Unión (2012). Ley General de Protección Civil. Recuperado de: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/>

[pdf/LGPC_030614.pdf](#) . Consultado en septiembre del 2015 UNESCO (2016).

Sistemas de Alerta Temprana. Recuperado de: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/San-Jose/pdf/Panama%20MANUAL%20INFORMATIVO.pdf> . Consultado en junio 2016. SEGOB (2014).

Programa Nacional de Protección Civil 2014-2018. Recuperado de: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5343076&fecha=30/04/2014 13 SINAPROC Civil (2012).

Ley General de Protección Civil. Recuperado de: http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/Proteccion-Civil/Resource/6/1/images/lgp_c.pdf. Consultado en agosto del 2015 OCDE (2013).

Estudio de la OCDE sobre el Sistema de Protección Civil en México, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264200210-es>



6

ATLAS DE RIESGOS COMO INSTRUMENTOS DE SISTEMAS DE ALERTAS TEMPRANAS

Ma. Luisa Hernández Aguilar y Gerardo Daniel López Montejo
Centro de Información Geográfica, División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Quintana Roo. Campus Chetumal.
Autora de contacto: malu@uqroo.edu.mx

6.1. Introducción

Evaluar el riesgo de desastres significa tener en cuenta, no solamente, el daño físico esperado, damnificados o pérdidas económicas, sino también factores sociales, así como la habilidad organizacional e institucional. En materia de gestión de riesgos de desastres, la capacidad institucional se concibe como la capacidad administrativa y de gestión de un país, principalmente en la aplicación de políticas públicas para responder de manera eficiente y adecuada antes las amenazas. Los avances logrados en la gestión del riesgo son diferentes para cada país. En México, tanto a nivel estatal y municipal, aún existe una gran limitación y diferenciación en la obtención de información, además de carencias técnicas por parte de los responsables de estos procesos, específicamente de las direcciones y coordinaciones estatales y municipales de protección civil (Hernández y Castillo, 2012).

El Marco de Acción de Hyogo (MAH) fue el instrumento cualitativo más importante a

nivel internacional para la implementación de la Reducción de Riesgo de Desastre (RRD), adoptado por los Estados miembros de las Naciones Unidas de 2005 a 2015. Actualmente es el Marco de Sendai, marco sucesor del MAH, el cual tiene vigencia hasta el 2030. Los cambios más importantes entre estas perspectivas son el marcado énfasis puesto en la “gestión del riesgo de desastres” en lugar de la “gestión de desastres”, la definición de siete objetivos mundiales, la reducción del riesgo de desastres como resultado esperado, un objetivo centrado en evitar que se produzcan nuevos riesgos, la reducción del riesgo existente y reforzar la resiliencia. Así como, un conjunto de principios rectores, incluida la responsabilidad primordial de los Estados de prevenir y reducir el riesgo de desastres, y la participación de toda la sociedad y todas las instituciones del Estado (UNISDR, 2015).

México, como parte de los Estados miembros de las Naciones Unidas, y firmante de

los marcos internacionales de MAH y Sendai, ha sido reconocido a nivel internacional por sus políticas públicas y acciones en materia de gestión integral de riesgo. No obstante, cabe señalar que México desde 1986 ha establecido su propia gestión de riesgo, a partir de la tragedia sufrida por el temblor de 1985. Es así, que, por decreto presidencial, en 1986 se estableció el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC). Posteriormente, en 1988, con el apoyo del gobierno de Japón, se crea el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), instancia concebida para mejorar los conocimientos existentes en prevención de desastres, contribuyendo en actividades de investigación y desarrollo, apoyado por el personal académico de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), quedando como un órgano administrativo desconcentrado, jerárquicamente subordinado a la Secretaría de Gobernación (SEGOB). Años más tarde, en el año 2000, para establecer las bases de coordinación entre los distintos órdenes de gobierno en materia de protección civil, se decretó la primera Ley General de Protección Civil (LGPC), la cual se reformó en 2012 (Hernández y Castillo, 2016). Lo anterior, creó un sólido marco institucional y de políticas públicas en el país, dando lugar a las funciones y responsabilidades de la evaluación de riesgos en México, cuyo enfoque comprende una mejor comprensión científica de las amenazas, que entre sus pretensiones se encuentran el desarrollo y actualización de los Atlas de Riesgo (AR), como herramientas de planeación territorial. (Figura 6.1).

Por ley, las autoridades de Protección Civil de todos los niveles de gobierno deben desarrollar y actualizar su Atlas de Riesgo (DOF, 2014). Los Atlas de Riesgo (AR) constituyen el marco de referencia para la elaboración de políticas y programas en todas las etapas de la “Gestión Integral del Riesgo”; asimismo, se establece que el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) es la institución técnica-científica de la Coordinación Nacional de Protección Civil que tiene entre sus atribuciones la integración del Atlas Nacional de Riesgos (ANR).

De acuerdo con Guevara, *et. al.* (2006), los antecedentes del Atlas Nacional de Riesgo (ANR) se remontan a 1991, cuando la Secretaría de Gobernación publicó una primera versión del “Atlas Nacional de Riesgos” y posteriormente el “Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en la República Mexicana”, elaborado por el CENAPRED en 2001. Asimismo, en 2004, CENAPRED publica la primera “Guía Metodológica para la elaboración de Atlas de Peligros Naturales a Nivel de Ciudad, Identificación y Zonificación” y la “Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgo”.

El Gobierno Federal, a través de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), desarrolló para el ejercicio fiscal 2017, el Programa de Prevención de Riesgos (PPR), actual rector para el desarrollo de los AR. Este programa tiene sus antecedentes de la fusión del Programa



Figura 6.1. La evaluación del análisis de riesgos en México.

de Prevención de Riesgos en los Asentamientos Humanos (PRAH), manejado por lo que fue la Secretaría de Desarrollo Social en 2011 (SEDESOL) y operado hasta 2015. Desde 2016, 2017 y 2018 se publica la “Guía de Contenido Mínimo para los Atlas de Riesgo” y sus reglas de operación en el Diario Oficial de la Federación (DOF), con la finalidad de contar con criterios homogéneos para establecer los elementos y características mínimas que deberán contener los AR estatales y municipales, a fin de posibilitar su integración de manera uniforme al ANR.

En los últimos años, varias entidades federativas han elaborado sus respectivos AR y otras se encuentran desarrollándolo, sin embargo, como señala el estudio elaborado por la Academia de Ingeniería de México “Inventario de Atlas de Riesgos en México”, se tiene identificados un total de 403 AR, que han sido publicados en escalas estatales y municipales hasta 2016. De estos AR solo se han publicado 31 a nivel estatal, y de los AR municipales únicamente se han publicado 375, que representa sólo un 15% del total de los 2,459 municipios del país.

Los usuarios finales de los AR, son las autoridades competentes de los gobiernos locales, cuyo objetivo principal es que cuenten con una herramienta geográfica para 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. En este documento se hace énfasis en que la interpretación de los datos y la cartografía obtenidos contribuirá a detectar, clasificar y zonificar las áreas de: peligros, vulnerabilidad y riesgos; dando lugar a una correlación entre las zonas propensas al desarrollo de fenómenos perturbadores y el espacio físico vulnerable tomando en consideración aspectos como infraestructura, vivienda, equipamiento e indicadores socioeconómicos, demográficos, entre otros. Por lo que, al identificar el tipo, grado de amenaza, periodos de retorno, e índices de exposición, desde una manera científica y con base a metodologías comprobadas, se está en la posición de utilizar toda esta información derivada de los AR, como una herramienta técnica para un alertamiento oportuno y formal, identificando fases, tiempos y acciones que pueden convertirse en Sistemas de Alerta Temprana

(SAT) con el objetivo de proteger a las personas y sus medios de vida.

El presente capítulo tiene como objetivo principal exponer que los resultados alcanzados en los Atlas de Riesgo (AR) tienen la potencialidad de desarrollar Sistemas de Alerta Tempranas. Los cuales, al ser instrumentos técnicos-científicos elaborados con base en metodologías acreditadas, recolectan y procesan datos e información, ofreciendo pronósticos o predicciones temporales sobre las amenazas y sus posibles efectos. Para tal fin, se presentan a manera de ejemplos parte de los trabajos terminados de los Atlas de Riesgo Municipales de Felipe Carrillo Puerto y Benito Juárez, municipalidades del Estado de Quintana Roo.

6.2. Materiales y métodos

6.2.1 ¿Qué son los Atlas de Riesgos?

Son instrumentos de Planificación Territorial para la Prevención, la Gestión de Riesgos y el Ordenamiento Territorial, que proporcionan a los estados y municipios información estratégica para identificar potencialidades y conflictos para el uso de su territorio. Entre sus objetivos se encuentra:

- Proporcionar el conocimiento de factores funcionales y técnicos de la vulnerabilidad.

- Identificar los peligros naturales a los que están expuestos.
- Apoyar en la construcción de escenarios de ocupación territorial.
- Determinar acciones a seguir en el corto mediano y largo plazo.
- Dar soporte en la toma de decisiones para el manejo del territorio.

¿Para qué son útiles los Atlas de Riesgos?

Sus resultados pueden y deben incorporarse a los Programas de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial, permitiendo que el riesgo disminuya y se salvaguarde la vida de la población. Adicionalmente sirven para dar certidumbre a los programas de inversión, ya que permiten garantizar que la nueva infraestructura sea segura. Pueden contribuir a evitar sanciones de acuerdo con la Ley General de Protección Civil (2012) que dispone que la edificación en zonas señaladas como de riesgo, sin el análisis y autorización correspondientes, es un delito grave, y que los servidores públicos que autoricen el uso de suelo en zona de riesgo pueden ser sancionados. Finalmente, para acceder a recursos a la brevedad en caso de desastre, es decir, valorar el impacto socioeconómico de los desastres.

¿Qué es un Sistema de Alerta Temprana (SAT)?

Los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) son instrumentos o procedimientos con los que se realiza el seguimiento de amenazas. Con

ellos se recolectan y procesan datos e información. El resultado son los pronósticos sobre su acción y posibles efectos (Villagran, 2007). De tal modo que son los principales elementos de reducción de riesgo de desastre. Su objetivo principal radica en evitar la pérdida de vidas humanas y disminución en los impactos económicos y materiales de los desastres. De la misma manera, es facultar a las personas y comunidades que enfrentan una amenaza que actúen con suficiente tiempo y de modo adecuado para reducir la posibilidad de daños personales, materiales y al entorno.

De acuerdo con la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (EIRD, 2006) se señala que un sistema completo y eficaz de alerta temprana comprende cuatro elementos interrelacionados, que van desde el conocimiento de los riesgos y las vulnerabilidades hasta la preparación y la capacidad de

respuesta (Figura 6.2). Desde esta perspectiva, los AR realizan una evaluación de los riesgos (conocimiento de riesgos); realiza pronósticos y escenarios, si bien no las 24 horas al día si a partir de datos de estaciones meteorológicas que los recogen en ese periodo de tiempo (servicio de seguimiento y alerta); son instrumentos de difusión y comunicación, sin embargo, los canales de comunicación los definen las autoridades locales para llegar a las personas en peligro (difusión y comunicación); entre su metodología existe la evaluación a la “capacidad de respuesta”, referido a la preparación del antes y después de un evento entre autoridades y población. CENAPRED (s/f) señala que son cuatro elementos interrelacionados que componen las SAT a nivel nacional: 1) Conocimiento del riesgo; 2) Sistemas de Medición y Monitoreo; 3) Diseminación y Comunicación y 4) Capacidad de respuesta; y que la falla de uno de éstos elementos puede conducir a la falla de todo el sistema.



Figura 6.2. Cuatro elementos principales de los sistemas de alerta temprana centrados en la población (EIRD, 2006)

6.3. Área de estudio

Como ya se ha mencionado, para el análisis de amenazas y propuestas de Sistemas de Alerta Temprana se utilizaron los resultados de los Atlas de Riesgos de los municipios de Benito Juárez y Felipe Carrillo Puerto; ambos localizados al sureste de México, en la Península de Yucatán, en el Estado de Quintana Roo (figura 3).

El municipio de Felipe Carrillo Puerto se encuentra en la parte central del Estado de Quintana Roo entre las coordenadas 19°35' de latitud norte, 88°33' de longitud oeste. Cubre una superficie de 13,191 km². Es el más extenso de la entidad, con el 27% de la superficie total estatal. A 2015 contaba con una población de 81,742 habitantes, según el INEGI - el 67% es población indígena – distribuida en 216 localidades. Su altitud promedio es 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 (figura 3).

Por su parte, el municipio de Benito Juárez se encuentra en la parte nororiental del Estado de Quintana Roo entre las coordenadas 21°13' de latitud norte y 87° 05' de longitud oeste. La extensión territorial del municipio es de aproximadamente 929.84 km², con una altitud media de 10 msnm. Colinda al norte con el municipio de Isla Mujeres; al oeste con los Municipios de Puerto Morelos y Lázaro Cárdenas, al sur con

el municipio de Puerto Morelos y al este con el Mar Caribe. Es también, el municipio con mayor población (743,626 hab. a 2015, INEGI), el 96% de sus habitantes se concentra en la ciudad de Cancún (Figura 6.3).



Figura 6.3. Ubicación del área de estudio.

6.4. Fenómenos perturbadores de origen natural

Recientemente el Centro de Información Geográfica, de la Universidad de Quintana Roo, concluyó los Atlas de Riesgos de los municipios de Felipe Carrillo Puerto y Benito Juárez, ambos del estado de Quintana Roo. Estos atlas municipales se elaboraron de acuerdo con los Términos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos 2018 emitidos por la SEDATU. En estos Términos se señala que los fenómenos perturbadores que deben analizarse son los de tipo geológico e hidrometeorológico (Tabla 6.1).

Tabla 6.1. Fenómenos perturbadores de origen natural

Geológicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vulcanismo 2. Sismos 3. Tsunamis 4. Inestabilidad de laderas 5. Flujos 6. Caídos o derrumbes 7. Hundimientos 8. Subsidencia 9. Agrietamientos
Hidrometeorológicos	<ol style="list-style-type: none"> 10. Ondas cálidas y gélidas 11. Sequias 12. Heladas 13. Tormentas de granizo 14. Tormentas de nieve 15. Ciclones tropicales 16. Tornados 17. Tormentas de polvo 18. Tormentas eléctricas 19. Lluvias extremas 20. Inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres

En este trabajo, a manera de ejemplo, se eligieron los fenómenos hidrometeorológicos de temperaturas y lluvias extremas, para presentar una propuesta de cómo elaborar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) a partir de los resultados obtenidos de éstos AR. Cabe señalar que el estado de Quintana Roo no cuenta con un SAT para temperaturas y lluvias extremas. Si bien, en el área de estudio existen una amenaza natural, que ha provocado lo mayores daños a la población y territorio, como son los ciclones tropicales, se omitió en este aná-

lisis porque ya existe un Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales (SIAT CT) desde el año 2000, cuya aceptación y difusión ha sido implementada para todo el país por el SINAPROC.

De la misma manera, y como se expone en la tabla siguiente, en México, ya se han implementado algunos servicios y sistemas de alerta para la reducción del riesgo, de los cuales el Sistema de Tsunamis y de Incendios Forestales podrían también implementarse en la región (Tabla 6.2).

Tabla 6.2. Servicios y Sistemas de Alerta en México

Sistema	Fenómeno	Información	Cobertura	Fecha de inicio	Momento de aviso
Servicio Sismológico Nacional	Sísmico	www.ssn.unam.mx	Nacional	1910	Aviso ante la ocurrencia
Sistema de Alerta Sísmica Mexicana (SASMEX)	Sísmico	www.cires.org.mx	Ciudades de México, Oaxaca, Chilpancingo, Acapulco y Morelia	1991	Segundo previos al arribo de un sismo que ya ocurrió. Depende de la distancia del epicentro y la energía del sismo
Sistema de Monitoreo del Volcán Popocatepetl	Volcánico	www.gob.mx/cenapred	Zonas aledañas al volcán	1994	Ante la ocurrencia de eventos
Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales (SIAT-CT)	Ciclón Tropical	smn.cna.gob.mx www.gob.mx/cenapred	Nacional	2000	Con 72 horas de anticipación
Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis	Tsunami	www.bit.ly/lw3MNJa	Costa del Pacífico Mexicano	2013	Para tsunamis locales, minutos de anticipación; para los regionales y lejanos o transoceánicos, horas
Sistema de Alerta Temprana de Incendios en México	Incendios forestales	www.gob.mx/conabio	Nacional	1999	Aviso ante la ocurrencia
Servicio Meteorológico Nacional	Meteorológicos	smn.cna.gob.mx	Nacional	1877	Aviso ante la ocurrencia y pronósticos

Fuente: CENAPRED. <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/298INFOGRAFASISTEMASDEALERTATEMPRANA.PDF>

6.5. Resultados

6.5.1 Temperaturas extremas

La temperatura se puede definir como una propiedad física que se refiere a las nociones comunes de calor o ausencia de calor:

Es una de las magnitudes más utilizadas para describir el estado de la atmósfera. La meteorología realiza análisis a cerca de este parámetro; la temperatura del aire varía entre el día y la noche, entre una estación y otra, y también entre una ubicación geográfica y otra, se puede llegar a estar bajo

los 0 °C y superar los 40 °C en diferentes regiones del planeta.

En México, en los meses de la primavera y verano se resaltan las zonas con las mayores temperaturas y el conteo de días con temperatura máxima mayor o igual a 40 °C. En la época invernal, se reportan los descensos de la temperatura que ocasionan las masas de aire frío y el conteo de días con temperatura mínima menor o igual a 0 °C. Las primeras corresponden a las ondas cálidas (OC) y las segundas a las ondas gélidas (OG). De acuerdo con el CENAPRED (2016), en México se han utilizado los umbrales de 30 y 35° C en tres días consecutivos para definir una onda de calor (OC).

En la siguiente sección se mostrarán series históricas de temperaturas máximas y mínimas entre 1961 y 2017, un total de 56 años, para el municipio de Benito Juárez. Para el municipio de Felipe Carrillo Puerto se mostrarán series históricas de temperaturas máximas y mínimas entre 1952 y 2017, lo

que hace un total de 65 años, lo anterior permitió identificar las áreas más propensas a temperaturas extremas cálidas o gélidas en éstos territorios. Los datos se obtuvieron del IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) y la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) a través del “Sistema de Información Geográfica del Extractor Rápido de Información Climatológica (SIG ERIC) v 1.0” (http://hidrosuperf.imta.mx/sig_eric/). Así como de la Gerencia Estatal Quintana Roo (Área Técnica) con sede en la ciudad de Chetumal. Cabe señalar que este servidor utiliza una base de datos de estaciones climáticas superficiales de México administrada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), así como del proyecto CLICOM, el cual es un sistema de software de manejo de datos climatológicos desarrollado por las Naciones Unidas, que significa *CLimate COMputing project*. Es decir, se utilizaron las Estaciones Climatológicas CLICOM y la Estaciones Climatológicas de Referencia para cada uno de los municipios, seis para Benito Juárez y ocho para Felipe Carrillo Puerto (Tabla 6.3 y Tabla 6.4).

Tabla 6.3. Promedio de las temperaturas máximas registradas por las estaciones meteorológicas para el municipio de Benito Juárez (1961-2017).

Clave estación	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
23155	29.49	30.79	31.74	33.18	34.45	34.35	35.03	35.58	34.50	32.65	30.90	29.78
23014	29.00	29.59	31.49	32.64	33.40	33.10	33.30	33.50	32.70	31.20	29.65	28.80
23166	29.97	30.92	31.77	32.20	32.11	32.62	32.85	32.05	31.44	30.87	30.13	29.41
CANQR	30.19	29.30	30.57	32.50	34.50	34.51	35.16	35.44	35.23	33.21	31.23	29.62
23010	27.87	28.38	29.58	30.68	31.58	32.20	32.20	32.55	32.34	30.68	29.27	28.34
23019	28.19	28.56	29.72	31.18	32.25	32.38	33.02	33.29	32.32	31.22	29.74	28.42

Tabla 6.4. Promedio de las temperaturas máximas registradas por las estaciones meteorológicas para el municipio de Felipe Carrillo Puerto (1952-2017).

Clave estación	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
23003	31.37	32.88	34.49	35.91	35.65	35.71	35.21	35.42	34.53	33.83	32.25	31.72
23017	28.89	29.75	31.52	32.54	33.29	32.49	32.57	32.66	32.00	31.04	29.96	28.88
23022	31.43	32.25	33.30	34.22	34.94	34.27	34.33	34.65	33.99	32.77	31.69	31.24
23024	31.09	31.96	33.35	34.82	35.41	34.27	34.07	33.90	33.44	32.67	31.67	30.83
23031	30.70	31.71	33.54	35.04	35.83	34.58	34.62	34.77	33.88	32.76	31.61	30.66
23045	29.69	30.87	30.47	34.19	34.83	33.92	34.34	35.02	34.47	32.62	31.07	30.00
23152	30.36	30.95	31.75	32.91	33.86	32.89	33.07	33.59	33.15	31.86	30.85	30.05
23162	27.98	29.63	30.64	32.32	32.63	31.80	31.39	32.27	32.32	30.70	28.89	28.15

Una de las mayores consecuencias de las temperaturas extremas son las muertes que ocurren por las olas de calor, que provienen del estrés térmico acumulado (ya sea durante días o semanas), y eso tiene que ver más con los largos periodos de exposición a un calor moderado (30-35 grados) de las máximas o picos de una temporada. No hay que olvidar, que a éstos parámetros hay que sumarles la sensación térmica. La cual en verano se puede experimentar más o menos calor a una misma temperatura, en este caso debido a la combinación de temperatura y humedad relativa. En días calurosos, una humedad relativa alta aumenta la sensación de calor, ya que la evaporación del sudor, que es el principal medio para disminuir el calor corporal, se ve dificultada por el exceso de humedad presente en el aire. Por ejemplo, en un día con una temperatura de 30 °C y humedad relativa de 50%, la sensación térmica es de 36 °C. En verano la sensación térmica se calcula para valores de temperatura a partir de 20 °C.

Para poder identificar las áreas en los territorios municipales más amenazadas a temperaturas extremas, se trabajó con el promedio computado de los datos por mes y estación, y el promedio anual por estación obtenido del IMTA y CONAGUA. Posteriormente, utilizando técnicas de geoprocésamiento de análisis espacial, se empleó el método de interpolación IDW (*Inverse Distance Weighted*). Este método presupone que la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación de muestra. Es decir, una superficie con una ubicación más distante de la toma de datos tendrá menos influencia sobre la superficie analizada.

Lo anterior permitió identificar las zonas con más probabilidad de peligro por Temperaturas Máximas Mensuales para cada uno de los municipios. Se cartografiaron los datos obtenidos y el resultando fueron 12 mapas para la Temperatura Máxima Promedio (doce para cada municipio), así

como dos mapas de probabilidad de peligro anual (CIG-UQROO, 2018a, 2018b). En este documento solo se muestran los resultados de los meses identificados con temperaturas superiores a los 35°C para ambos municipios: julio, agosto y septiembre para Benito Juárez; y abril, mayo, junio, julio y agosto para Felipe Carrillo Puerto (Figura 6.4 y Figura 6.5). Se observa que, en el municipio de Benito Juárez, las temperaturas extremas se sitúan sobre la ciudad de Cancún, principalmente. Es en las zonas

urbanas donde se experimentan fuertes cambios en las propiedades del suelo superficial, en contraste con las que pueden darse en áreas rurales. Por su parte, para Felipe Carrillo Puerto la variación entre los meses de abril a agosto de sus temperaturas máximas se observa alrededor de sus localidades principales como Señor, Tihosuco, Tepich, así como en su cabecera municipal. Al ir creciendo la población, se produce un incremento más significativo en espacios urbanos o semiurbanos.

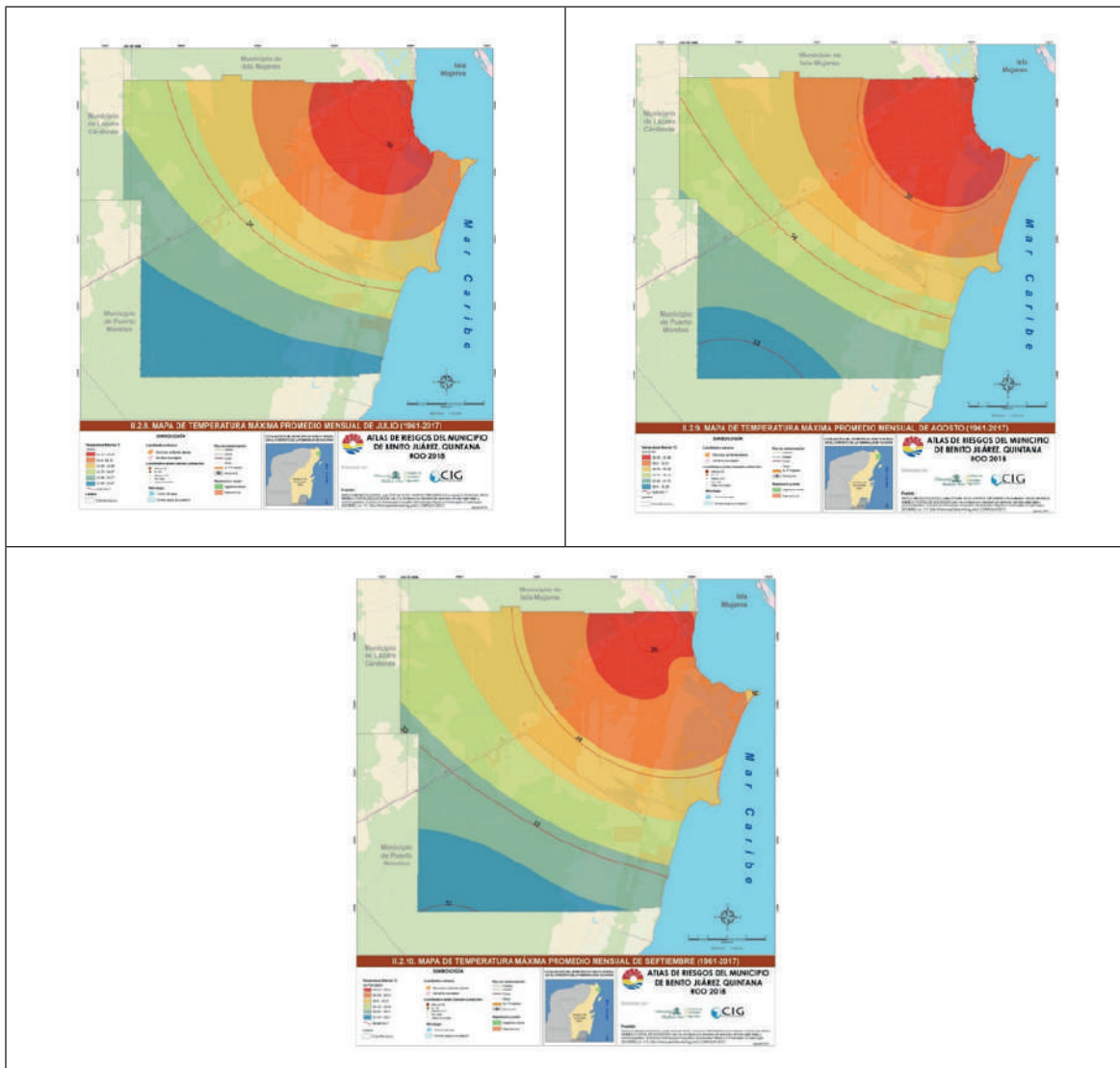


Figura 6.4. Zonas de temperaturas extremas para el municipio de Benito Juárez. (Fuente: Atlas de Riesgo del Municipio de Benito Juárez, 2018, CIG-UQROO, 2018a).

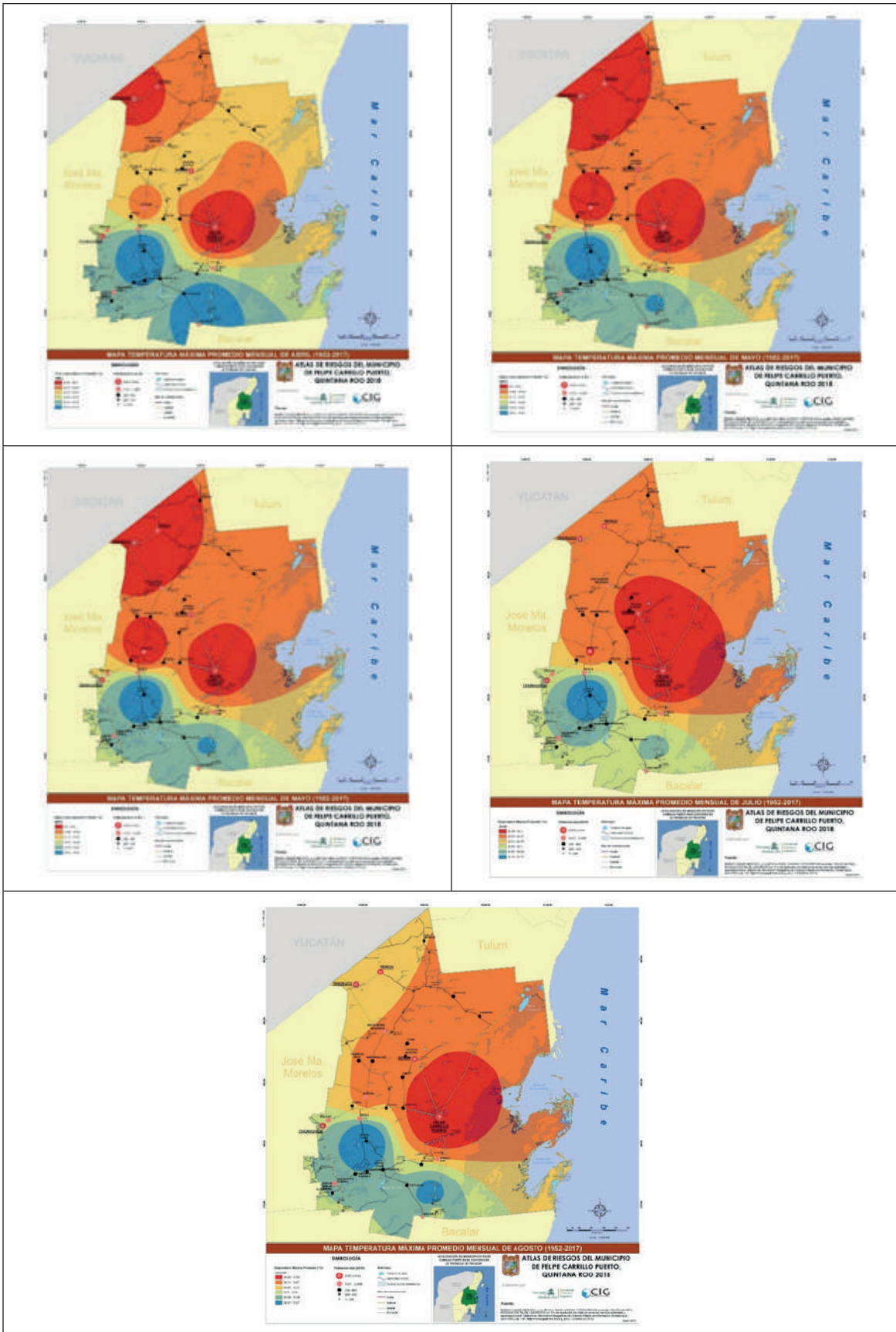


Figura 6.5. Zonas de temperaturas extremas para el municipio de Felipe Carrillo Puerto. Fuente: Atlas de Riesgo del Municipio de Felipe Carrillo Puerto, 2018 (CIG-UQROO, 2018b).

6.6. Lluvias extremas

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) espera que el aumento en la temperatura ocasionado por el cambio climático modifique significativamente los patrones tradicionales de precipitación a nivel mundial, afectando actividades que están ligadas a los recursos hídricos tales como la producción alimentaria, el suministro de agua potable y el saneamiento (IPCC, 2014). Algunos de estos cambios han sido asociados con influencias humanas, como por ejemplo la disminución de las temperaturas frías extremas, el aumento de las temperaturas cálidas extremas, la elevación de los niveles máximos del mar y el mayor número de precipitaciones intensas en diversas regiones.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) define lluvia como la precipitación de partículas líquidas de agua, de diámetro mayor a 0.5 milímetros. Para saber la intensidad de una precipitación, se utilizan dos variables, la primera es la altura de la lámina de agua formada (en mm) y la segunda es la intensidad de la precipitación que rela-

ciona esta altura de la lámina de agua con el tiempo que tardo la lluvia en alcanzarla (mm/hora). El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) clasifica las lluvias de fuertes a intensas a aquellas que son mayores a 50 mm en un periodo de 24 horas.

Para el municipio de Benito Juárez el régimen pluvial observado cuenta con dos periodos claramente diferenciados, un periodo de lluvias durante los meses de mayo a octubre (con una precipitación media mensual de 120 mm) y una época de secas en los meses noviembre a abril (con una precipitación media mensual de 58 mm). La distribución espacial de los acumulados mensuales de lluvia para el municipio tiene un rango que va de los 29 mm a los 194 mm, siendo los meses de junio a octubre los de mayor precipitación (Figura 6.6). El mes de mayor precipitación es octubre y la zona del municipio es la parte central del mismo. Para identificar las áreas con mayor amenaza de lluvias extremas se muestran los mapas obtenidos del análisis de datos meteorológicos para los meses de junio, septiembre y octubre (Figura 6.7).

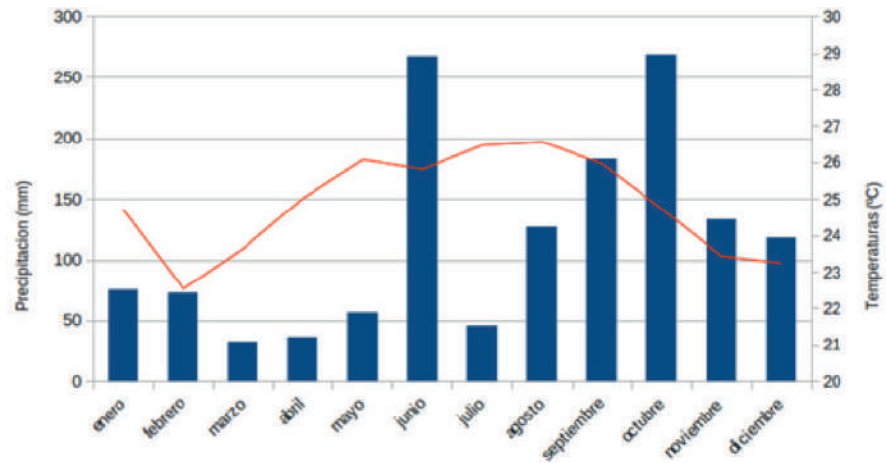


Figura 6.6. Climograma de la Estación Meteorológica Cancún ESIME. (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del SMN, <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-limatologica-ver-estado?estado=qroo>), CONAGUA. Consultado el 28 de diciembre de 2018).

100

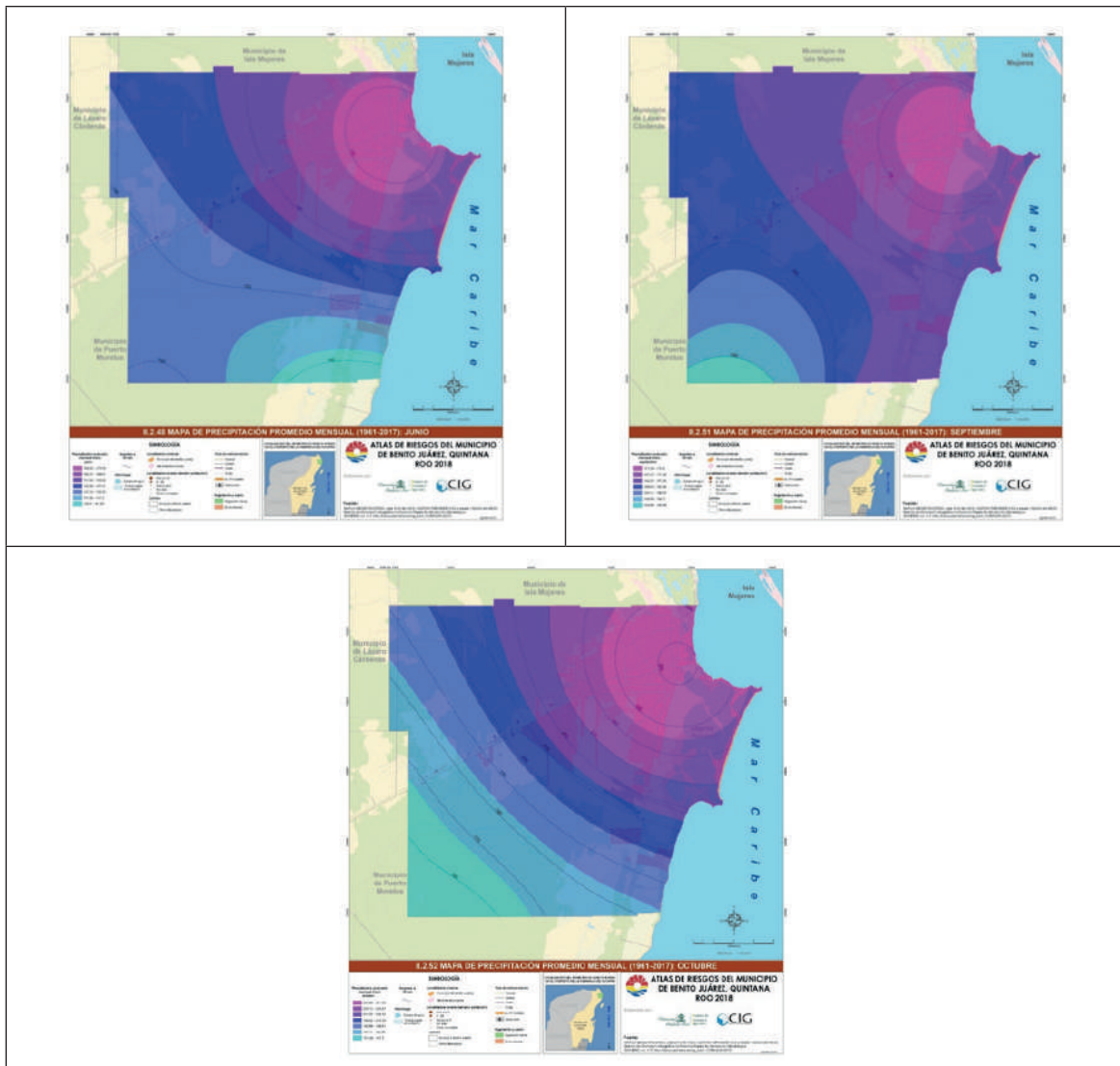


Figura 6.7. Zonas de lluvias extremas para el municipio de Benito Juárez. Fuente: Atlas de Riesgo del Municipio de Benito Juárez, 2018 (CIG-UQROO, 2018a).

Por otra parte, para el municipio de Felipe Carrillo Puerto el régimen pluvial tiene dos periodos claramente diferenciados, un periodo de lluvias durante los meses de mayo a octubre (con una precipitación media mensual de 163 mm) y una época de secas en los meses noviembre a abril (con una precipitación media mensual de 55 mm). La distribución espacial de los acumulados mensuales de lluvia para el municipio tiene un rango que va de los 35mm a los 300 mm, siendo los meses de junio a octubre los más húmedos del año (Figura 6.8). El mes de mayor precipitación es septiembre

y la zona de concentración se observa en la parte central del municipio. Todo esto puede observarse en la Figura 6.9 que muestra la distribución espacial de la precipitación acumulada mensual de acuerdo al Servicio Meteorológico Nacional en el municipio. Si bien el resultado fue un mapa para cada mes del año, para fines ilustrativos se muestran solo los mapas de los meses con mayor precipitación en el municipio. En todos los casos para definir los umbrales de lluvia se requiere información precisa y detallada de los registros de precipitación de las estaciones meteorológicas más cercanas al sitio.

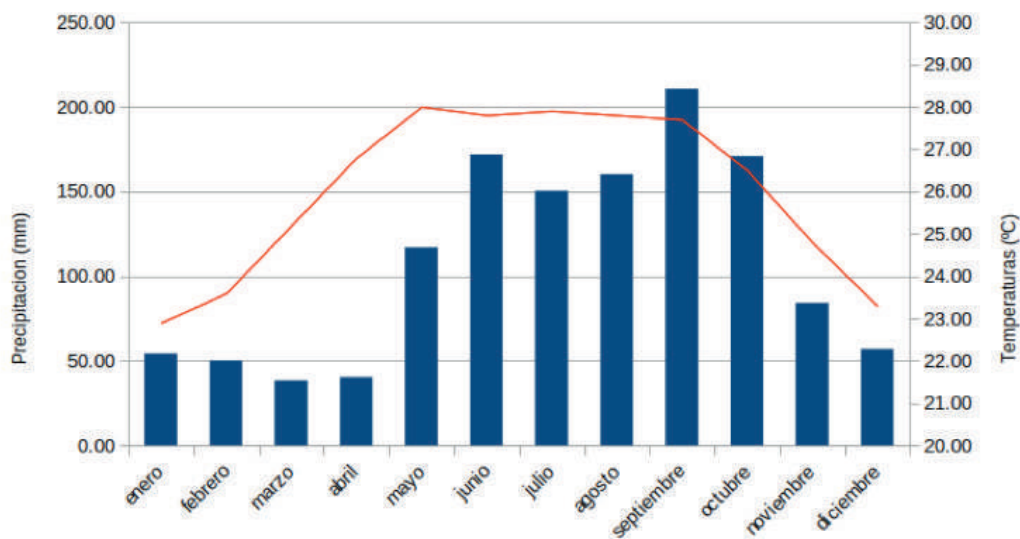


Figura 6.8. Climograma de la Estación Meteorológica 00023003, Felipe Carrillo Puerto. (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del SMN, <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-limatologica-ver-estado?estado=qroo>), CONAGUA. Consultado el 28 de diciembre de 2018.

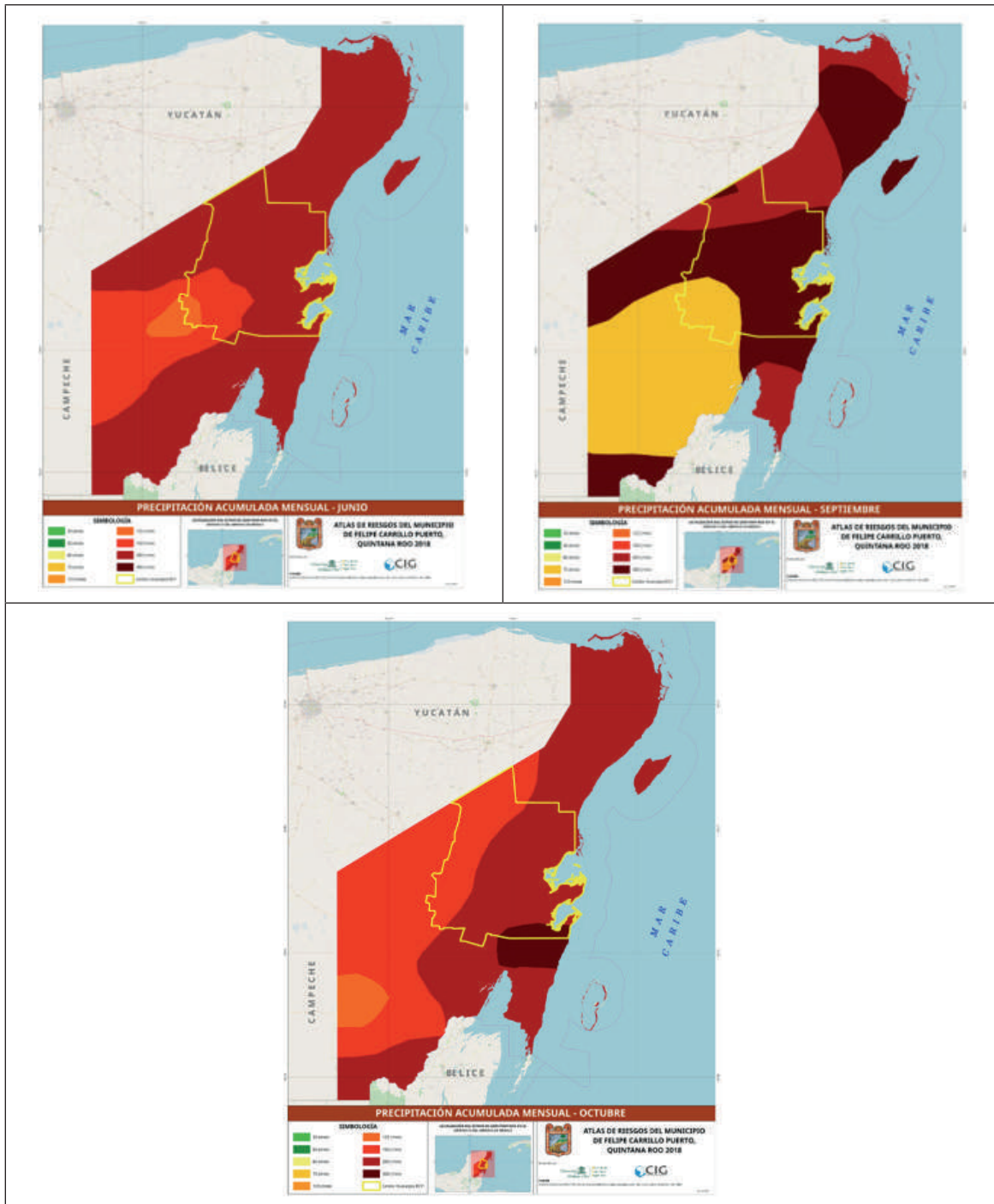


Figura 6.9. Zonas de lluvias extremas para el municipio de Felipe Carrillo Puerto.
Fuente: Atlas de Riesgo del Municipio de Felipe Carrillo Puerto, 2018 (CIG-UQROO, 2018b).

Basado en lo anterior, y de acuerdo a CEN-APRED (s/f), la información, la investigación y el desarrollo de modelos físicos y estadísticos derivados de los AR pueden ser

implementados como SAT, ya que se pueden identificar las cuatro líneas de acción señaladas como elementos necesarios para integrar los SAT. En los AR se observa: