

Gestión de información sobre riesgo ante desastres hidrometeorológicos en México

Dossier 1

Año 4, Vol. 4, Núm. 8 julio-diciembre 2018 | ISSN 2448-5241

Antrópica

Revista de Ciencias Sociales y Humanidades





Resiliencia del sistema de drenaje pluvial ante inundaciones: caso de estudio Chetumal, Quintana Roo, México

Resilience of drain system facing floods: a case study in Chetumal, Quintana Roo, México

Anita Martínez Méndez - Ana Cecilia Travieso Bello - Oscar Frausto Martínez

Universidad de Quintana Roo - Universidad Veracruzana

Recibido: 14 de mayo de 2018.

Aprobado: 10 de julio de 2018.

Resumen

Las inundaciones son uno de los efectos de los huracanes que se han evidenciado más en las zonas costeras, ocasionando pérdidas de vidas humanas y económicas. Esta situación ha puesto a prueba la capacidad de respuesta de los sistemas de infraestructura de drenaje pluvial. El objetivo de la investigación que precedió a este trabajo fue determinar la resiliencia ante inundaciones asociadas a huracanes del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, México. Se consideraron cinco componentes, cada uno con un número variable de indicadores mostrados entre paréntesis: robustez (8), redundancia (7), recursos (2), rapidez (2) y capacidad adaptativa (13). El valor de cada indicador se normalizó; luego, se ponderó mediante la consulta de expertos; y, por último, se integró el índice de resiliencia, obteniéndose un valor de 0.2982 para la ciudad de Chetumal. Este valor indica una resiliencia baja, asociada principalmente a los componentes recursos y redundancia. Con base en lo anterior, se deben reforzar ambos componentes para elevar la resiliencia con énfasis en la aplicación de normativas e instrumentos de planeación territorial, planes de emergencia en caso de inundaciones, planes de mantenimiento de la infraestructura pluvial, así como inversión en programas de prevención.

Palabras clave: Inundaciones, índice de resiliencia, infraestructura, capacidad adaptativa.

Abstract

Floods are one of the effects of hurricanes that have been more evident on coastal areas causing human deaths and economical loss. This tests the response capacity of drain system infrastructure. The objective of this research was to determine resilience of drain system infrastructure facing floods, produced by hurricanes, in the city of Chetumal, Quintana Roo, México. Five components were considered, each one with a variable number of indicators, which are shown in parenthesis: sturdiness (8), redundancy (7), resources (2), speed (2) and adaptive capacity (13). Each value was standardized, then weighted through experts' enquiry and finally resilience rate was defined, 0.2982 was found for the city of Chetumal. This demonstrates a low rate for resilience, which was mainly associated to resources and redundancy components. Based on this, both components should be strengthened in order to increase resilience rate stressing normative and territorial planning instruments application, emergency plans in case of floods, maintenance service plans of drain system infrastructure as well as investment in prevention programs.

Key words: Floods, resilience rate, infrastructure, adaptive capacity

Introducción

A nivel mundial, 23% de la población vive a menos de 100 kilómetros de la costa (Nicholls *et al.*, 2007: 319) y se espera que el 50% lo hará en el 2030. Estas poblaciones estarán expuestas a riesgos asociados a fenómenos hidrometeorológicos como huracanes, inundaciones costeras, tormentas tropicales, y a la transmisión de enfermedades infecciosas relacionadas con el mar (Adger *et al.*, 2005; Aragón, 2014). Anualmente, alrededor de 120 millones de personas están expuestas a peligros por ciclones tropicales (Nicholls *et al.*, 2007) que ocasionan inundaciones (Cavazos, 2015). En este sentido, se estima que 10 millones de personas experimentan inundaciones costeras cada año debido a mareas de tempestad, y 50 millones podrían estar en riesgo para 2080 por el cambio climático y el aumento de la densidad de población (Adger *et al.*, 2005). Esto será consecuencia del aumento de la población, que trae consigo un incremento en la demanda de vivienda y servicios; dicha demanda es probable que rebase la capacidad de atención del estado, propiciándose el establecimiento de asentamientos irregulares en zonas vulnerables a fenómenos hidrometeorológicos (Baker, 2012; Aragón, 2014).

Estudios realizados en Argentina, Colombia, Costa Rica y México describen la relación directa entre las inundaciones y la rápida urbanización de áreas verdes, la ubicación de vivienda informal en zonas bajas y la ausencia de inversión en sistemas de drenaje pluvial (Aragón, 2014). En ese sentido, la falta de drenaje pluvial se convierte en uno de los factores que propicia más las inundaciones urbanas, considerando que una lluvia intensa puede terminar en una inundación desastrosa (Lavell, 1996). Las inundaciones han sido los eventos más destructivos en México, ocupando el segundo lugar de los desastres que causan el mayor número de muertes (Cavazos, 2015). Dentro de las estrategias de mitigación que han contribuido a subsanar dichos desastres se encuentran los sistemas de drenaje pluvial (Ferriman, 2007, citado por Arnbjerg *et al.*, 2013).

Por tanto, es necesario que la construcción del sistema de drenaje pluvial se integre al desarrollo de infraestructura urbana y que este cuente con capacidad para enfrentar los efectos asociados a inundaciones. El propósito de la presente investigación fue determinar la resiliencia del sistema de drenaje pluvial ante inundaciones en la localidad urbana de Chetumal, Quintana Roo. El trabajo se organizó en cinco apartados: marco conceptual, método y técnicas de trabajo, resultados, discusión y conclusiones.

Marco conceptual

Un sistema de drenaje pluvial es aquel que capta y conduce las aguas de lluvia a sitios de vertido para evitar inundaciones, o en su caso, para recibir un tratamiento o aprovechamiento de estas. Se encuentra conformado por tuberías enterradas –que generalmente se instalan en el centro de las calles-, sumideros o bocas de tormenta, emisores, colectores, subcolectores, estructuras de conexión, tratamiento de aguas y sitio de vertido, además de las obras conexas como pueden ser plantas de bombeo, pozos de visita y otras (Schjetnan *et al.*; 1997; USAID, 2013; IMTA, 2016).

La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR) (2009) define resiliencia como:



La capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuesta a peligros para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de los efectos de un peligro de manera oportuna y eficiente, incluso a través de la preservación y restauración de sus estructuras y funciones básicas esenciales (p. 4).

La resiliencia de la infraestructura es definida como la capacidad que tiene un sistema para soportar eventos extraordinarios (naturales y antropogénicos) que ocasionan algún efecto en el subsistema, originando que alguna parte falle (Gay, 2016). También, se define como aquella capaz de ajustar su funcionamiento antes, durante o después de los cambios y las perturbaciones, de modo que pueda continuar funcionando después de una interrupción y en presencia de tensiones continuas (Dekker *et al.*, 2008; Tamvakis y Xenidis, 2013; Refocus, 2015; Gallego y Essex, 2016).

La infraestructura resiliente no es aquella que no falla, sino la que puede sostener un nivel mínimo de servicio y recuperar su funcionamiento original en un tiempo y costo moderados después de sufrir un evento (Yusta *et al.*, 2011; Gay, 2016). La resiliencia de la infraestructura generalmente se ha relacionado con la integridad estructural de los sistemas, es decir, las partes físicas del mismo, esenciales para garantizar un rendimiento operativo continuo durante una carga extrema. Esta considera los principios de robustez, redundancia, recursos y rapidez. La robustez se refiere a la resistencia inherente del sistema para soportar demandas externas sin degradación o pérdida de funcionalidad. La redundancia señala las propiedades del sistema que permiten alternativas, elecciones y sustituciones bajo estrés. Los recursos describen la capacidad de movilizar capitales y servicios necesarios en situaciones de emergencia; y por último, la rapidez consiste en la velocidad con la que se puede superar la interrupción (Bruneau *et al.*, 2003).

Por otra parte, O' Rourke (2007) reconoce la estrecha relación entre las características de la comunidad y la resiliencia, indicando que el ingreso promedio, el crecimiento económico, el nivel de conciencia y la política local, entre otros factores, repercuten en la resiliencia de la infraestructura. Por tanto, el análisis de la resiliencia de la infraestructura debe incorporar el componente social, además de los descritos previamente.

Con base en lo anterior, en este trabajo se define la resiliencia del sistema de drenaje pluvial como la capacidad física y social para mitigar las inundaciones, sin colapsar totalmente su funcionamiento, así como recuperar su estado inicial o en su caso mejorarlo después de una perturbación.

Método y técnicas de trabajo

Área de estudio

La localidad urbana de Chetumal es un asentamiento costero y capital del estado de Quintana Roo. Se ubica en el extremo suroriental de México, en el Caribe, entre los paralelos 18° 33' 46" y 18° 29' 40", y en los meridianos 88° 21' 57" y 88° 16' 45" en el municipio de Othón P. Blanco (Figura 1). Tiene una superficie de 18 158 hectáreas (IMTA-CAPA, 2015). El relieve es plano con elevaciones suaves y una altitud promedio de 10 m.s.n.m. Su clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 26.7 °C y las mínimas y máximas promedio oscilan entre 22.2 y 32.6°C. La precipitación media anual es de 1 258 mm. Predomina el suelo de tipo gleysol, caracterizado por un drenaje deficiente, con cobertura vegetal de selva alta y mediana subperennifolia (INEGI, 2016).



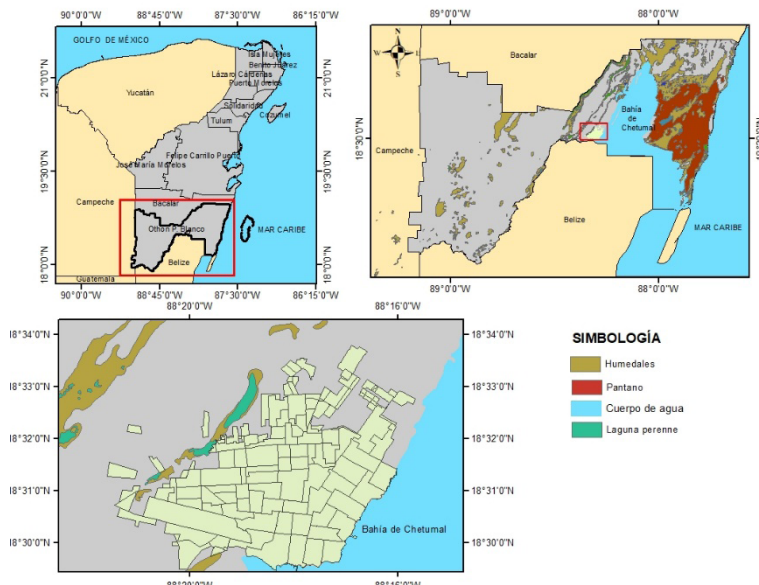


Figura 1. Ubicación geográfica de la localidad de Chetumal, municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo. Fuente: Elaborado con base en INEGI (2016).

El área de estudio está expuesta a ciclones tropicales con un grado de afectación muy alto (CONAPO, 2000). Dentro de los fenómenos hidrometeorológicos más significativos en la zona, destacaron los huracanes Janet, Carmen y Dean. El huracán Janet en 1955 registró la máxima categoría (cinco) de acuerdo con la escala Saffir Simpson (Frausto, 2017), ocasionando 500 pérdidas humanas y 1.2 billones de pesos (Hernández, 2014). Por su parte, el huracán Carmen, en 1974 (19 años después de Janet), entró a 30 millas de Chetumal con categoría cuatro, provocando daños económicos por 152 millones de pesos y cuatro pérdidas humanas. Posteriormente, en 2007, el huracán Dean impactó a 65 kilómetros con categoría cinco, causando derribo de árboles, antenas, espectaculares, postes de alumbrado público, teléfono y daños en más de la mitad de las vialidades de la ciudad por inundación y objetos que obstruían la circulación (UQROO, 2011; Hernández, 2014; Rodríguez, 2017).

Chetumal, en 2010, contaba con 151 243 habitantes dedicados principalmente al desarrollo de actividades terciarias, a la administración pública y comercio. Esta es la segunda localidad urbana costera con más población en el estado de Quintana Roo, representando el 1.14 % con respecto al estado y 61% en relación con el municipio Othón P. Blanco (INEGI, 2010). De acuerdo con el Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2018), se proyecta para el año 2020 y 2030 un crecimiento de hasta 237 mil habitantes. Dicho incremento poblacional colocará a Chetumal como la tercera ciudad más grande en el Caribe de México, con aumento poblacional por década del 21% y 17% respectivamente, superada solamente por Cancún y Playa del Carmen.



Selección del evento

Un principio general para el estudio de la resiliencia es el reconocimiento del evento más reciente en el cual la comunidad se haya puesto a prueba y, por tanto, es el tiempo de cohorte para analizar la capacidad adaptativa (Frausto, *et al.*, 2016). En ese sentido, se realizó la consulta de bases de datos de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), informes emitidos por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred) y, por último, en el programa busca ciclones se consultaron las trayectorias de los huracanes que impactaron el estado de Quintana Roo en el periodo del 2000 al 2015. Se seleccionó al huracán Dean –que impactó el 21 de agosto de 2007 a 65 kilómetros de la localidad urbana de Chetumal– porque alcanzó la máxima categoría (cinco en la escala Saffir Simpson) y ocasionó daños en el área de estudio como: inundaciones en diversas zonas, interrupción de energía eléctrica y afectaciones en el servicio de agua potable, en el sistema de drenaje y en las vialidades (Conagua, 2007; Cenapred, 2014).

Cálculo del índice de resiliencia

La metodología utilizada para la construcción del índice de resiliencia se desarrolló en cinco fases (Boulangier, 2008; Thiel, 2013). En la primera, se realizó la definición conceptual de cinco componentes (robustez, redundancia, recursos, rapidez y capacidad adaptativa) mediante la investigación documental (Brenau *et al.*, 2003; O'Rourke, 2007).

En la segunda fase se definieron indicadores cualitativos y cuantitativos para cada uno de los componentes (Tablas 1, 2, 3, 4 y 5) a través de la investigación documental y se clasificaron en positivos si se presentó relación directa con la resiliencia, y negativos si la relación que mostró fue inversa. Posteriormente, se evaluaron los indicadores mediante una o varias de las siguientes técnicas: revisión de la bibliografía, entrevista y encuesta. La entrevista se realizó de forma directa con apoyo de una guía semiestructurada. Se entrevistaron a ocho informantes clave: tres de Conagua (Comisión Nacional del Agua), cuatro de CAPA (Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo) y dos de Protección Civil Municipal. Estos fueron seleccionados de acuerdo con la injerencia que tienen en el sistema de drenaje pluvial. La encuesta se aplicó de forma directa con el apoyo de un cuestionario conformado por 22 preguntas, distribuidas en tres secciones que incluyen: 1) datos generales del entrevistado, 2) experiencias previas con inundaciones asociadas a huracanes y 3) sistema de drenaje pluvial.

Para la aplicación del cuestionario se realizó un muestreo estratificado con afijación proporcional. La población objetivo fueron habitantes de 18 años en adelante. La unidad de muestreo, del total de hogares tomado del censo de población y vivienda 2010. Para el cálculo del tamaño de muestra se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{k^2 * q * d}{r^2 * p * (1 - t)}$$

Los parámetros (d, r y t) fueron tomados de la encuesta intercensal 2015 realizada por el INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) a nivel municipal, considerando que



Chetumal representa 61% del total del municipio de Othón P. Blanco. Se obtuvo una muestra total de 238 hogares, por razones de redondeo al número inmediato superior, la muestra final quedó de 292 hogares.

El marco muestral utilizado fue la traza urbana de la ciudad de Chetumal conformada por 131 AGEB¹, de las cuales se seleccionó 91, las restantes se omitieron toda vez que no contaban con hogares habitados o, en su caso, correspondían a zonas industriales, infraestructura urbana y zonas de área verde. La muestra de hogares dentro de cada AGEB se obtuvo al azar, mediante la tabla de números aleatorios. Los cuestionarios se aplicaron en el mes de marzo de 2018, de lunes a sábado en horario de 15:00 a 18:00 h.

1 N. del E.: Área geoestadística básica.



Tabla 1. Indicadores de robustez del sistema de drenaje pluvial de la localidad urbana de Chetumal, Quintana Roo, México.

Indicador y autores que lo han empleado	Definición y justificación del indicador	Tipo de variable y relación con la resiliencia	Categoría/Unidad	Fuente de información
Zonas con nivel de afectación alto ante inundaciones (Balica <i>et al.</i> , 2012; Giordano, 2012).	Aquellos zonas con mayor susceptibilidad a presentar daños por inundaciones en los diversos sistemas que la conforman. El conocimiento de las zonas de riesgo en las ciudades es un factor relevante para la planificación de la infraestructura en áreas aptas para su desarrollo.	Cuantitativa continua Relación inversa	Porcentaje	Documental: UQROO, 2011; INEGI, 2016. Entrevista a informantes clave: 2 de CAPA, 1 Conagua y 2 de Protección civil municipal.
Longitud de colectores con más de 30 años de antigüedad (Giordano, 2012; CAF, 2014).	Se refiere a las primeras redes de colectores con más años de antigüedad. Este indicador ayuda a plantear programas o estrategias de mantenimiento, así como prioridades en la construcción o sustitución de tuberías y de atención en caso de desastre.	Cuantitativa continua Relación inversa	Kilómetros	Entrevista a informantes clave: 2 de CAPA y 1 Conagua.
Programa de Desarrollo Urbano existente y actualizado (Giordano, 2012; CAF, 2014).	Instrumento que establece un modelo de ordenación territorial, que posibilita la interrelación equilibrada entre los centros de población; sus actividades y la distribución de servicios y equipamiento, valorizando las características específicas de Chetumal como centro estatal de servicios y su localización geopolítica. La existencia y actualización son fundamentales para un crecimiento ordenado, dado las dinámicas de crecimiento urbano y demográfico de las ciudades.	Cualitativa nominal Relación directa	0: No existe 1: Existe actualizado 2: Existe no actualizado	Documental: SEDETUS, 2018.
Programa de Ordenamiento Ecológico existente y actualizado (Giordano, 2012).	Instrumento que presenta el modelo de ordenamiento ecológico de las unidades de gestión ambiental (UGA) y sus respectivos lineamientos ecológicos. La existencia y actualización contribuye a la conservación y mantenimiento de ecosistemas frágiles o amenazados, mediante el manejo adecuado de las unidades de gestión ambiental, lo que permite a las ciudades conservar sus recursos ambientales y mitigar riesgos.	Cualitativa nominal Relación directa	0: No existe 1: Existe no actualizado 2: Existe actualizado	Documental: Semarnat, 2018.
Aplicación de Programa Desarrollo Urbano (Gays, 2016).	Se refiere al apego a las especificaciones establecidas referentes a la expansión de la mancha urbana, lo que sirve para evitar la ubicación en zonas de riesgo para la sociedad y los sistemas que la conforman.	Cualitativa nominal Relación directa	0: No se aplica 1: Se aplica	Entrevista a informantes clave: 2 de CAPA, 1 Conagua y 1 H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco.



Aplicación de Programas de Ordenamiento Ecológico (Gays, 2016).	Se refiera al apego a las especificaciones establecidas sobre las políticas y estrategias de las unidades de gestión ambiental. La implementación del programa permite la coordinación con otras instancias para una planificación adecuada de las ciudades.	Cualitativa nominal Relación directa	0: No se aplica 1: Se aplica	Documental: SEDETUS, 2018; Semarnat, 2018. Entrevista a informantes clave: 2 de Conagua; 2 de CAPA y 2 de Protección Civil Municipal.
Normativas y códigos de construcción a nivel local para zonas costeras existentes y actualizados (leyes, reglamentos y manuales) (PRODUS-UCR, 2014; Cutter <i>et al.</i> 2015; Gays, 2016).	Instrumentos jurídicos que tienen por objeto regular la aplicación del artículo 134 de la Constitución Política en materia de contrataciones de obras públicas y servicios relacionados con las mismas. Asimismo, son una referencia sobre criterios, procedimientos, normas, índices y parámetros para la construcción de obras. La existencia y actualización contribuye a la implementación de los más recientes avances tecnológicos con el fin de desarrollar infraestructura más eficiente, segura y sustentable, así como formar recursos humanos más capacitados y preparados.	Cualitativa nominal Relación: directa	0: No existe 1: Sí existe	Documental: Conagua, 2018 Entrevista informantes clave: 1 de Conagua; 4 de CAPA y 2 de Protección Civil Municipal.
Aplicación de normativas y códigos de construcción a nivel local para zonas costeras (leyes, reglamentos y manuales) (CAF, 2014; Gays, 2016).	La aplicación de normativas y códigos de construcción consiste en apearse a las especificaciones de estos, así como al diseño y construcción de los sistemas de infraestructura (drenaje pluvial).	Cualitativa nominal Relación: directa	0: No se aplica 1: Se aplica	Entrevista informantes clave: 1 de Conagua y 4 de CAPA.

Fuente: elaborado por autores.



Tabla 2. Indicadores de redundancia del sistema de drenaje pluvial de la localidad urbana de Chetumal, Quintana Roo, México.

Indicador y autores que lo han empleado	Definición y justificación del indicador	Tipo de variable y relación con la resiliencia	Categoría/ Unidad	Fuente de información
Plan de mantenimiento de infraestructura (federal, estatal, municipal) (Giordano, 2012; Gays, 2016).	La finalidad es proporcionar atención a los componentes que conforman el sistema, con el objetivo mantenerlos en condiciones físicas y funcionales óptimas, en caso de un evento perturbador.	Cualitativa nominal Relación directa	0: No existe, 1: Federal 2: Estatal, 3: Municipal 4: Federal-estatal 5: Estatal-Municipal 6: Federal-Municipal 7: Federal-Estatal-municipal	Entrevista a informantes clave: 2 de Conagua y 3 de CAPA
Tipo de plan de emergencias en caso de huracán a nivel federal (acciones proactivas, reactivas y post desastre) (CAF, 2014; Castillo <i>et al.</i> 2016).	Acciones federales integradas en tres etapas: proactivas, reactivas y post-desastre ante la posible afectación de un fenómeno perturbador (huracán). La existencia de dichos planes sirve para prevenir y atender de manera eficiente, ordenada y responsable a la población y áreas productivas, lo que contribuye a minimizar los riesgos y daños, así como una recuperación más efectiva ante la afectación de un huracán.	Cualitativa nominal Relación directa	0: No existe, 1: Proactivo 2: Reactivo, 3: Post desastre 4: Proactivo-reactivo 5: Reactivo-post desastre 6: Proactivo- post desastre 7: Proactivo-reactivo-post desastre	Entrevista a informantes clave: 2 de Conagua.



<p>Tipo de plan de emergencias en caso de huracán a nivel estatal (proactivo, reactivo, post desastre) (CAPA, 2016).</p>	<p>Acciones estatales integradas en tres etapas: proactivas, reactivas y post desastre ante la posible afectación de un fenómeno perturbador (huracán). La existencia de dichos planes sirve para prevenir y atender de manera eficiente, ordenada y responsable a la población y áreas productivas, lo que contribuye a minimizar los riesgos y daños, así como una recuperación más efectiva ante la afectación de un huracán.</p>	<p>Cualitativa nominal Relación directa</p>	<p>0: No existe 1: Proactivo-Reactivo-Post desastre 2: Reactivo 3: Post desastre 4: Proactivo-reactivo 5: Reactivo-post desastre 6: Proactivo- post desastre 7: Proactivo-reactivo-post desastre</p>	<p>Entrevista a informantes clave: 3 de CAPA.</p>
<p>Tipo de plan de emergencias en caso de huracán a nivel estatal (proactivo, reactivo, post desastre) (CAPA, 2016).</p>	<p>Acciones municipales integradas en tres etapas: proactivas, reactivas y post desastre ante la posible afectación de un fenómeno perturbador (huracán). La existencia de dichos planes sirve para prevenir y atender de manera eficiente, ordenada y responsable a la población y áreas productivas, lo que contribuye a minimizar los riesgos y daños, así como una recuperación más efectiva ante la afectación de un huracán.</p>	<p>Cualitativa nominal Relación directa</p>	<p>0: No existe 1: Proactivo 2: Reactivo 3: Post desastre 4: Proactivo-reactivo 5: Reactivo-post desastre 6: Proactivo- post desastre 7: Proactivo-reactivo-post desastre</p>	<p>Entrevista a informantes clave: 2 de Protección Civil Municipal.</p>
<p>Mapa de zonas inundables existente y actualizado (CAPA, 2016).</p>	<p>Representación espacial de las zonas inundables. La existencia y actualización del mismo de acuerdo con las dinámicas de crecimiento de la ciudad, permite dar atención de manera oportuna en caso de presentarse una inundación asociada a huracanes y esto, a su vez, minimiza los posibles daños tanto a la infraestructura del sistema de drenaje pluvial como a los habitantes.</p>	<p>Cualitativa nominal Relación directa</p>	<p>0: No existe 1: Existe no actualizado 2: Existe y actualizado</p>	<p>Entrevista a informantes clave: 2 de Conagua y 3 de CAPA.</p>



<p>Atlas de riesgo existente y actualizado (H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco, 2018).</p>	<p>Instrumento conformado por un conjunto de mapas de peligros naturales para una zona urbana determinada, donde se representa la magnitud del peligro o del riesgo para un sistema afectable, así como la ubicación y dimensión física del peligro y del riesgo. Los atlas de riesgos permiten conocer las posibles situaciones a las que la población y los sistemas de las ciudades están expuestos para poder prevenir, mitigar y dar respuesta ante los posibles riesgos que se presenten y con ello minimizar los posibles daños y</p>	<p>Cualitativa nominal Relación directa</p>	<p>0: No existe 1: Existe no actualizado 2: Existe y actualizado</p>	<p>Entrevista a informantes clave: 2 de Conagua y 3 de CAPA y 2 de Protección Civil Municipal.</p>
<p>Número de obras construidas para disminuir el riesgo ante huracanes</p>	<p>Obras construidas posteriormente al impacto de un fenómeno perturbador (huracán Dean).</p>	<p>Cuantitativa discreta Relación directa</p>	<p>Obra</p>	<p>Entrevista a informantes clave: 1 de Conagua, 2 de CAPA y 1 de Protección Civil Municipal.</p>

Fuente: elaborado por autores.

Tabla 3. Indicadores de recursos del sistema de drenaje pluvial de la localidad urbana de Chetumal, Quintana Roo, México.

Indicador y autores que lo han empleado	Definición justificación del indicador	Tipo de variable y relación con la resiliencia	Categoría/Unidad	Fuente de información
<p>Número de fondos destinados a programas de prevención (federal, estatal y municipal) (Balica <i>et al.</i>, 2012; Giordano; 2012).</p>	<p>Cantidad de fondos destinados a la realización de acciones y mecanismos tendientes a reducir riesgos, así como evitar o disminuir los efectos del impacto destructivo de los fenómenos naturales sobre la vida y bienes de la población, los servicios públicos y el medio ambiente.</p>	<p>Cuantitativa discreta Relación directa</p>	<p>Fondos</p>	<p>Entrevista a informantes clave: 1 de Conagua, 1 de CAPA y 1 de Protección Civil Municipal.</p>



Número de fondos destinados para la atención a emergencias (federal, estatal y municipal) (O'Rourke, 2007; Balica *et al.*, 2012; Giordano, 2012).

Cantidad de fondos destinados al auxilio y asistencia ante situaciones de emergencia y desastre, a fin de responder de manera inmediata y oportuna a las necesidades urgentes para la protección de la vida y la salud de la población, generadas ante la alta probabilidad u ocurrencia de un fenómeno natural perturbador.

Quantitativa discreta
Relación directa

Fondos

Entrevista a informantes clave: 1 de Conagua, 1 de CAPA y 1 de Protección Civil Municipal.

Fuente: elaborado por autores.

Tabla 4. Indicadores de rapidez del sistema de drenaje pluvial de la localidad urbana de Chetumal, Quintana Roo, México.

Indicador y autores que lo han empleado	Definición y justificación del indicador	Tipo de variable, unidad y relación con la resiliencia	Categoría/Unidad	Fuente de información
Tiempo promedio en días de reactivación del servicio de drenaje pluvial (O'Rourke, 2007; Gays, 2016).	Tiempo en que el sistema de drenaje pluvial tarda en recuperar su funcionamiento posterior a inundaciones asociadas a huracanes.	Cuantitativa discreta Relación Inversa	Días	Entrevista a informantes clave: 2 de Conagua y 2 de CAPA. Encuesta: N= 292
Número de servidores públicos de Conagua, CAPA y Protección Civil Municipal capacitados para actuar antes, durante y después de inundaciones asociadas a huracanes (O'Rourke, 2007).	Se refiere al personal que ha recibido capacitación para el desarrollo de conocimientos, habilidades y actitudes para actuar antes, durante y después del impacto de inundaciones asociadas a huracanes.	Cuantitativa discreta Relación: directa	Servidores públicos	Entrevista a informantes clave: 1 de Conagua, 1 de CAPA y 1 de Protección Civil Municipal.

Fuente: elaborado por autores.



Tabla 5. Indicadores de capacidad adaptativa del sistema de drenaje pluvial de la localidad urbana de Chetumal, Quintana Roo, México.

Indicadores y autores que lo han empleado	Definición y justificación del indicador	Tipo de variable, unidad y relación con la resiliencia	Categoría/Unidades	Fuente de información
Población con experiencia ante inundaciones (Cutter, 2014; Frausto <i>et al.</i> , 2016).	Habitantes que han vivido la experiencia de una inundación.	Cuantitativa continua Relación directa	Porcentaje	Encuesta: N=292
Población que participaría en caso de afectación por inundación (Cutter <i>et al.</i> , 2014).	Habitantes con el compromiso para participar en caso necesario ante la afectación de inundación.	Cuantitativa continua Relación directa	Porcentaje	Encuesta: N=292
Población con conocimiento de los programas implementados por el gobierno (Balica <i>et al.</i> , 2012).	Habitantes que conocen los programas de apoyo por parte del gobierno en caso de inundaciones.	Cuantitativa continua Relación directa	Porcentaje	Encuesta: N=292
Población que ha recibido capacitación sobre las acciones que deben llevar a cabo en caso de afectaciones por inundaciones asociadas a huracanes (Cutter <i>et al.</i> , 2015).	Habitantes con conocimiento para actuar de manera adecuada y oportuna en caso de inundación.	Cuantitativa continua Relación directa	Porcentaje	Encuesta: N=292
Población que implementan estrategias para disminuir el impacto de inundaciones (Frausto <i>et al.</i> , 2016).	Habitantes que realizan estrategias en sus viviendas o en su colonia para mitigar el impacto de inundaciones.	Cuantitativa continua Relación directa	Porcentaje	Encuesta: N=292
Población que ha vivido la experiencia de un huracán (Cutter, 2014; Frausto <i>et al.</i> , 2016).	Habitantes con conocimiento de la historia sobre eventos de huracanes.	Cuantitativa continua Relación directa	Porcentaje	Encuesta: N=292
Población que conoce el término resiliencia en infraestructura.	Habitantes con conocimiento sobre la definición de resiliencia en infraestructura.	Cuantitativa continua Relación directa	Porcentaje	Encuesta: N=292



Número de organizaciones gubernamentales que apoyan en caso de inundaciones asociada a huracanes (Balicaet <i>et al.</i> , 2012; Cutter <i>et al.</i> , 2014).	Instituciones administradas ya sea por el gobierno federal, estatal o municipal, encargadas de entregar con la cantidad y calidad adecuada el servicio de drenaje pluvial; con la finalidad de prevenir riesgos por fenómenos meteorológicos e hidrometeorológicos (inundaciones), atender sus efectos y evaluarlos.	Cuantitativa discreta Relación directa	Organizaciones	Entrevista a informantes clave: 1 de Conagua, 2 de CAPA y 1 de Protección Civil Municipal. Encuesta: N=292
Zonas sin drenaje pluvial (Balica <i>et al.</i> , 2012).	Áreas que carecen de infraestructura de drenaje pluvial.	Cuantitativa continua Relación inversa	Porcentaje	Entrevista a informantes clave: 1 de Conagua, 2 de CAPA y 1 de Protección Civil Municipal.
Longitud de colectores de drenaje a cielo abierto (Balica <i>et al.</i> , 2012; USAID, 2013).	Son conductos sin recubrimiento superior para el desalajo de aguas pluviales. Los cuales son más propensos a obstruirse por la maleza (vegetación) y desechos sólidos, contribuyendo con ello a fallas en el sistema de drenaje pluvial.	Cuantitativa continua Relación inversa	Kilómetros	Entrevista a informantes clave: 1 de Conagua y 2 de CAPA.
Longitud de colectores de drenaje pluvial (Balica <i>et al.</i> , 2012; USAID, 2013).	Son conductos cubiertos que funcionan para el desalajo de aguas pluviales.	Cuantitativa Continua Relación directa	Kilómetros	Entrevista a informantes clave: 1 de Conagua y 2 de CAPA.
Longitud de línea costera (Balica <i>et al.</i> , 2012)	La longitud de la línea costera que define el límite entre mar y la tierra, la cual permite tener conocimiento de la posible incidencia de la marea de tormenta.	Cuantitativa continua Relación: inversa	Kilómetros	Documental: INEGI, 2015.
Número de pozos	Pozos profundos de filtración de agua pluvial, que complementa al sistema de drenaje pluvial.	Cuantitativa discreta Relación directa	Pozos	Entrevista a informantes clave: 1 de Conagua y 2 de Protección Civil Municipal.

Fuente: elaborado por autores.



En la tercera fase se realizó la normalización de datos con la finalidad de que estos sean comparables mediante el método estadístico min-max (Castillo, 2009; Castillo *et al.*, 2014; Cutter *et al.*, 2014; Hernández *et al.*, 2014) con las siguientes fórmulas:

$$\text{Indicador positivo} = \frac{\text{Indicador simple} - \text{Mínimo}}{\text{Máximo} - \text{Mínimo}}$$

$$\text{Indicador negativo} = \frac{\text{Máximo} - \text{Indicador simple}}{\text{Máximo} - \text{Mínimo}}$$

En la cuarta fase se efectuó la ponderación de componentes e indicadores. Para ello, se seleccionó 16 expertos (cuatro de Conagua, siete de CAPA y cinco de Protección Civil Municipal) de acuerdo con la injerencia y relevancia en la protección y atención del sistema de drenaje pluvial ante desastres, quienes ponderaron primero los componentes y luego los indicadores, con base en la técnica normativa de asignación presupuestaria (Sánchez, 2009; Thiel, 2013; Morantes, 2014; Hernández *et al.*, 2018); la cual consistió en asignar un valor a cada componente entre 0 y 100, de tal manera que, la sumatoria por componente fuera igual al valor máximo (100); el mismo procedimiento se realizó a nivel indicador. Posteriormente, se obtuvo el promedio de los 16 valores a nivel componente e indicador y el error estándar.

En la quinta fase se implementó la técnica de agregación multiplicativa (Boulanger, 2008) a nivel de indicador y componente, de lo que se obtuvo un índice por componente, así como un índice integrado de resiliencia del sistema de drenaje pluvial.

Agregación a nivel indicador:

$$I_i = X_n * X_{pi}$$

Donde:

$$\begin{aligned} I_i &= \text{valor del indicador} \\ X_n &= \text{valor del indicador normalizado} \\ X_{pi} &= \text{valor ponderado del indicador} \end{aligned}$$

Factor por componente:

$$F_c = \sum I_i$$

Donde:

F_c = factor por componente

$\sum I_i$ = sumatoria de indicadores simples por cada componente

Agregación a nivel componente:

$$I_{cn} = F_c * X_{pc}$$



Donde:

I_{cn} =indicador por componente
 F_c =factor por componente
 X_{pc} =valor ponderado por componente

Índice:

$$IRSDP=IC1 +IC2 +IC3+IC4+IC5$$

Donde:

IRSDP=índice de resiliencia del sistema de drenaje pluvial
IC1=índice de resiliencia del componente robustez
IC2=índice de resiliencia del componente redundancia
IC3=índice de resiliencia del componente recursos
IC4=índice de resiliencia del componente rapidez
IC5=índice de resiliencia del componente capacidad adaptativa

Para interpretar los resultados del índice, se realizó la adaptación de los niveles de resiliencia propuestos por GOAL (2005):²

Tabla 6. Descripción de las categorías de resiliencia del sistema de drenaje pluvial ante inundaciones

Índice	Categoría	Descripción
0 - 0.20	Mínima resiliencia	Existe poca conciencia y motivación por parte de los gobiernos y la sociedad sobre la problemática de inundaciones y la necesidad de fortalecer la resiliencia del sistema de drenaje pluvial y las acciones de respuesta ante las crisis son limitadas.
0.21 – 0.40	Baja resiliencia	Existe conocimiento limitado por parte de las instituciones gubernamentales con injerencia en el sistema de drenaje pluvial y de la sociedad sobre la necesidad de fortalecer de manera continua las capacidades de resiliencia del sistema de drenaje pluvial ante inundaciones.
0.41 – 0.60	Media resiliencia	Existen propuestas de solución y atención de manera continua por parte de las instituciones gubernamentales y de la sociedad para fortalecer las capacidades de resiliencia ante inundaciones del sistema de drenaje pluvial.

² Es una organización humanitaria internacional fundada en Irlanda en 1977 dedicada a aliviar el sufrimiento de las comunidades más pobres y vulnerables del mundo en vías de desarrollo (GOAL, 2015).



0.61 – 0.80	Alta resiliencia	Existe coherencia e integración de acciones a largo plazo por parte de las instituciones gubernamentales y de la sociedad para fortalecer las capacidades de resiliencia del sistema de drenaje pluvial ante inundaciones.
0.81 – 1.00	Muy alta resiliencia	Existe alta asociación en las acciones por parte de las instituciones gubernamentales y de la sociedad para fortalecer las capacidades de resiliencia ante inundaciones en las etapas de planeación, construcción, desarrollo y mantenimiento del sistema de drenaje pluvial.

Fuente: elaborado por autores con base en GOAL (2015).

Resultados

El sistema de infraestructura de drenaje pluvial de la ciudad de Chetumal (Figura 2) se conforma por 43 911.99 kilómetros de colectores que están distribuidos de la siguiente manera: 33 583.39 km tienen forma circular, ubicados geográficamente en la zona costera, centro y oeste; 7 869.40 km son rectangulares cerrados, ubicados al noreste; mientras que 2 206.3 km son rectangular abierto, localizado en el área costera y norte de la ciudad, y por último, 252.82 km de colectores en forma trapezoidal (IMTA-CAPA, 2016: 33).

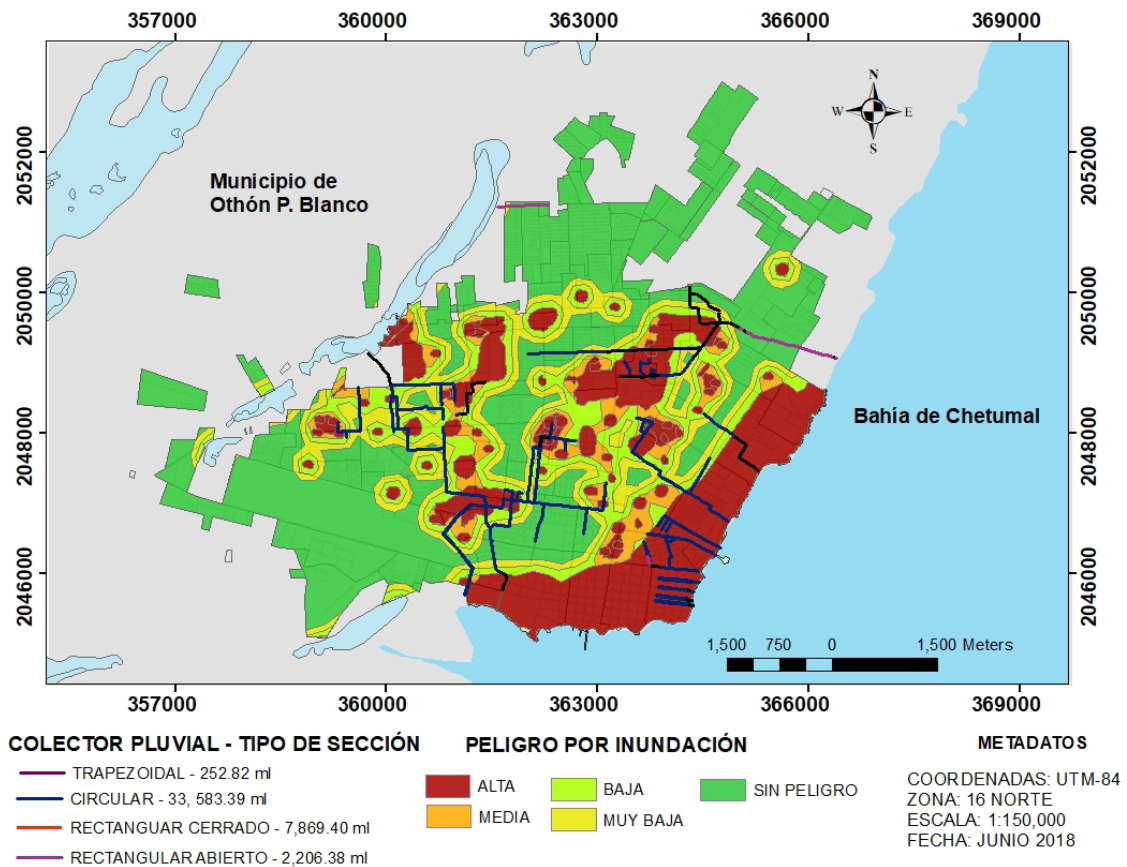


Figura 2. Sistema de drenaje pluvial de Chetumal, municipio Othón. P. Blanco, Quintana Roo. Fuente: Elaborado con base en UQROO (2011); IMTA(2013;2016); INEGI(2016).



Este sistema de colectores representa 35% en infraestructura pluvial (IMTA, 2013), por lo que se han tomado medidas para complementarlo, como la construcción de pozos de absorción para el desazolve de agua pluvial, logrando con ello subsanar un 40% del 65% faltante (IMTA, 2016). Sin embargo, se han identificado inconvenientes en el funcionamiento de dichos pozos como el rebo-samiento de estos, principalmente por su ubicación en áreas donde el suelo presenta un drenaje deficiente (J. Russel, comunicación personal, 6 de marzo, 2018).

Índice de Resiliencia del Sistema de Drenaje Pluvial

Se utilizó un total de 31 indicadores de resiliencia para el cálculo del índice. El componente robustez se conformó por ocho, de los cuales en los que mayor peso se presentó fue en la aplicación de normativas y códigos de construcción, zonas con nivel alto ante inundaciones y la aplicación del programa de ordenamiento ecológico y la aplicación del programa de desarrollo urbano. Los resultados muestran que, si bien, la existencia y actualización de normativas, códigos y programas son fundamentales, la aplicación de los mismos resultó más relevante. Con lo que se puede inferir que, para fortalecer la resiliencia en el componente de robustez, se deben tener en alta consideración los instrumentos que guían la construcción de los sistemas de drenaje pluvial (Tabla 7).

Tabla 7. Indicadores del componente robustez del sistema de infraestructura de drenaje pluvial de Chetumal, Othón P. Blanco, Quintana Roo.

Indicadores de resiliencia	Valor actual	Media	Error estándar
Zonas con nivel de afectación alto ante inundaciones (%)	35	0.1625	0.0136
Longitud de colectores con más de 30 años de antigüedad (km)	5	0.1313	0.0163
Programa de Desarrollo Urbano existente y actualizado	2	0.1256	0.0125
Programa de Ordenamiento Ecológico existente y actualizado	2	0.1175	0.0117
Aplicación de Programa de Desarrollo Urbano	1	0.1202	0.0071
Aplicación de Programas de Ordenamiento Ecológico	1	0.1425	0.0092
Normativas y códigos de construcción a nivel local para zonas costeras existentes y actualizados (leyes, reglamentos y manuales)	3	0.1231	0.0083
Aplicación de normativas y códigos de construcción a nivel local para zonas costeras (leyes, reglamentos y manuales)	3	0.1975	0.0105

Fuente: Elaborado por autores.



El componente de redundancia se integró por siete indicadores. El valor más alto se presentó en el plan de mantenimiento y el menor en el atlas de riesgo; esto muestra la importancia de la existencia e implementación de programas de mantenimiento para el sistema de drenaje pluvial. Sin embargo, también se hace evidente que no se considera lo especificado en el atlas de riesgo, el cual es un instrumento que plantea elementos que contribuyen a la prevención y mitigación de los riesgos a los cuales está expuesta el área de estudio (tabla 8).

Tabla 8. Indicadores del componente redundancia del sistema de infraestructura de drenaje pluvial para Chetumal, Othón P. Blanco, Quintana Roo.

Indicadores de resiliencia	Valor actual	Media	Error estándar
Plan de mantenimiento de infraestructura (federal, estatal, municipal).	7	0.2813	0.0326
Tipo de plan de emergencias en caso de huracán a nivel federal (proactivo, reactivo, post desastre).	7	0.1213	0.0075
Tipo de plan de emergencias en caso de huracán a nivel estatal (proactivo, reactivo, post desastre).	7	0.1344	0.0169
Tipo de plan de emergencias en caso de huracán a nivel municipal (proactivo, reactivo, post desastre).	7	0.1019	0.0129
Mapa de zonas inundables existente y actualizado.	2	0.1269	0.0170
Atlas de riesgo existente y actualizado	1	0.0969	0.0107
Número de obras construidas para disminuir el riesgo de inundaciones asociadas a huracanes.	3	0.1375	0.0153

Fuente: Elaborado por autores.

En la tabla 9 se muestra indicadores relacionados con el componente recurso. Los cuales revelaron que la existencia de fondos para la atención de emergencia es mayor, lo que externa que existen más recursos para acciones reactivas que preventivas.

Tabla 9. Indicadores del componente recursos del sistema de infraestructura de drenaje pluvial para Chetumal, Othón P. Blanco, Quintana Roo.

Indicadores de resiliencia	Valor actual	Media	Error estándar
Número de fondos destinados a programas de prevención (federal, estatal y municipal)	3	0.4656	0.0291
Número de fondos destinados para la atención a emergencias (federal, estatal y municipal)	5	0.5344	0.0258

Fuente: Elaborado por autores.



El componente rapidez se integró por dos indicadores; el mayor peso se presentó en el indicador correspondiente al personal capacitado de las dependencias gubernamentales que intervienen en caso de inundación. De lo que puede expresarse que uno de los factores que mayor incide en el tiempo en que el sistema se recupera, es la capacidad que el personal tenga para actuar antes, durante y después de la emergencia (Tabla 10).

Tabla 10. Indicadores del componente rapidez del sistema de infraestructura de drenaje pluvial para Chetumal, Othón P. Blanco, Quintana Roo.

Indicadores de resiliencia	Valor actual	Media	Error estándar
Tiempo promedio en días de reactivación del servicio de drenaje pluvial	1	0.3219	0.0447
Número de servidores públicos de Conagua, CAPA y Protección Civil Municipal capacitados para actuar antes, durante y después de inundaciones asociadas a huracanes	65	0.6781	0.0447

Fuente: elaborado por autores.

El componente capacidad adaptativa se integró por 14 indicadores correspondientes a la infraestructura física existente y a la población con capacidades para contribuir al fortalecimiento de la resiliencia del sistema de drenaje pluvial. Los valores mayores se observaron en la “cantidad de pozos y kilómetros de tubería de drenaje pluvial”, lo cual muestra que el factor físico del sistema tiene una alta repercusión en la resiliencia del sistema de drenaje pluvial (Tabla 11).

Tabla 11. Indicadores del componente capacidad adaptativa del sistema de infraestructura de drenaje pluvial para Chetumal, Othón P. Blanco, Quintana Roo

Indicadores propuestos de resiliencia	Valor actual	Media	Error estándar
Población con experiencia ante inundación (%)	36	0.0663	0.0096
Población que participaría en caso de afectación por inundación (%)	87	0.0494	0.0062
Población con conocimiento de los programas implementados por el gobierno (%)	12	0.0319	0.0044
Población que ha recibido capacitación sobre las acciones que deben llevar a cabo en caso de afectaciones por inundaciones asociadas a huracanes (%)	27	0.0725	0.0123
Población que implementa estrategias para disminuir el impacto de inundaciones (%)	32	0.0388	0.0040
Población que ha vivido la experiencia de un huracán (%)	62	0.1106	0.0104
Población que conoce el término resiliencia en infraestructura (%)	7	0.0344	0.0047



Número de organizaciones gubernamentales que apoyan en caso de inundación asociadas a huracanes.	4	0.1275	0.0228
Zonas sin drenaje pluvial (%).	65	0.0600	0.0079
Longitud de colectores de drenaje a cielo abierto (km).	9	0.0644	0.0069
Longitud de colectores de drenaje pluvial (km).	43902	0.1044	0.0088
Longitud de línea costera (km).	11	0.0794	0.0091
Número de pozos.	2000	0.0925	0.0043

Fuente: elaborado por autores.

Indicadores por componente e índice de resiliencia

El valor más alto a nivel componente se mostró en la rapidez y capacidad adaptativa, con lo cual se puede inferir que probablemente son los que más peso tienen en la resiliencia del sistema de drenaje pluvial. A escala urbana, el índice que se obtuvo indicó baja resiliencia del sistema de drenaje pluvial ante inundaciones.

Tabla 12. Indicadores integrados por componente del sistema de infraestructura de drenaje pluvial para Chetumal, Othón P. Blanco, Quintana Roo

Componentes	Media	Error estándar	Índice general
Robustez	0.1781	0.0171	0.0396
Redundancia	0.1906	0.0166	0.0043
Recursos	0.3031	0.0148	0.0148
Rapidez	0.1063	0.0077	0.0475
Capacidad adaptativa	0.2219	0.0241	0.1921
Índice de resiliencia del sistema de infraestructura urbano pluvial			0.2982

Fuente: elaborado por autores.

Discusión

Los diferentes tipos de colectores que conforman el sistema de drenaje pluvial, si bien, varían en sus formas, su función es el desalojo de aguas pluviales; al respecto Pizarro *et al.* (2014) señalan que los de forma trapezoidal son más recomendables para zonas con suelos poco permeables y donde se presentan lluvias frecuentes durante el año. Dichas características son similares a la zona de estudio, pero en ella predominan los colectores de forma circular; sin embargo, para Ripollés y Gómez (1994) la rapidez de desagüe de los colectores pluviales está asociada directamente con la topografía de las áreas urbanas, y señalan que la ausencia de desniveles topográficos es un factor determinante en el diseño, es decir, la topografía es uno de los factores de los cuales dependerá las características particulares de los colectores (forma, capacidad, velocidad de flujo).



Por otra parte, Perales y Doménech (2008) manifiestan que uno de los problemas que presentan este tipo de sistema de drenaje pluvial es que quedan infradimensionados porque ya no logran desaguar el agua pluvial en la misma cantidad ni en el tiempo que lo hacían cuando iniciaron su funcionamiento, lo cual se relaciona con la modificación del comportamiento hidráulico de la red, dando lugar a inundaciones. Dentro de uno de los factores que causa el infradimensionamiento de los sistemas de drenaje pluvial, se encuentra que el crecimiento urbano no va a la par de la dotación de servicios; situación que se está dando en el área de estudio, en la cual un 25% carece de drenaje pluvial. Lo cual coincide con lo planteado por Diez *et al.* (2011) quienes señalan que las ciudades no han limitado su crecimiento y los sistemas de protección contra inundaciones no se han mantenido al mismo ritmo de desarrollo. Asimismo, dicha situación puede deberse a factores como: la falta de recursos, la capacidad baja de los gobiernos locales, la urbanización bajo escalas informales, la escasa planeación, la baja confiabilidad de gobiernos, organizaciones no gubernamentales y el sector privado para invertir en zonas de escasos recursos y donde se carece de una tenencia segura, percibiendo sus inversiones como riesgosas (Baker, 2012; Aragón, 2014; Jarrod *et al.*, 2014).

Otro de los factores que está contribuyendo a las inundaciones en el área de estudio es la problemática que se ha presentado en los pozos de absorción, lo cual se asocia a la baja permeabilidad del suelo que predomina en la zona. Fragoso y Pereira (2018) externan al respecto, que la traza urbana se ha extendido hacia el oeste durante el período 1980-2000, donde prevalece los suelos gleysoles, es decir, se ha extendido hacia áreas impermeables; en ese sentido Perales y Doménech (2008) señalan que la baja permeabilidad reduce la infiltración y como consecuencia genera volúmenes mayores de escorrentía aumentando el riesgo de inundaciones. Por otra parte, dicha problemática puede estar asociada a la falta de un análisis de riesgo de las infraestructuras, como se señala en el Plan Sectorial de Gobernación 2013-2018o a la falta de estudios previos (diagnóstico de zonas aptas, pruebas hidráulicas) que garanticen su adecuado funcionamiento (CONAGUA, 2015).

Con relación a los 31 indicadores por componente (robustez, redundancia, recursos, rapidez y capacidad adaptativa) los valores más altos se obtuvieron en “km de colectores de drenaje pluvial” y “cantidad de pozos” correspondientes al componente de capacidad adaptativa, lo que muestra que la parte física del sistema de drenaje pluvial es un factor determinante en la resiliencia del sistema de drenaje pluvial. Al respecto Lavell (1996) y Herzer y Guverich (1996) mencionan que la insuficiencia de los sistemas de drenaje pluvial es uno de los factores que más propician las inundaciones. Diez *et al.*, (2011) asocian las inundaciones a una inadecuada planeación; externan que no se considera en la misma los factores como: la variabilidad del nivel del mar y el conocimiento de los territorios; añaden que la consideración de dichos factores puede contribuir al diseño de sistemas de drenaje más holísticos de mitigación de inundaciones. Ante lo expuesto, Zevallos (1996) considera que es necesario el mejoramiento de dichos sistemas, lo que ayudaría a fortalecer sus capacidades de respuesta ante inundaciones.



En el componente de robustez se detectó que uno de los indicadores más relevantes fue la vida útil de los colectores de drenaje pluvial. Al respecto Giordano (2012) indica que la infraestructura de protección contra inundaciones tiene una vida útil mayor a 50 años; cabe señalar que los años de uso del sistema de infraestructura del área de estudio, son menores al mencionado, por tanto, puede considerarse un indicador positivo para la resiliencia.

La redundancia estuvo asociada en mayor parte a los planes de mantenimiento del sistema de drenaje pluvial de los tres niveles de gobierno (federal, estatal, municipal), la existencia de estos contribuye a mantener en óptimas condiciones dicho sistema. En este sentido, Gallego y Essex (2016) opinan que el mantenimiento periódico y de rutina son un factor determinante en la vida útil de los sistemas de infraestructura, además de que contribuyen a garantizar que la resiliencia se mantenga a través de los desastres y durante su vida de diseño. Asimismo, señalan que el componente recursos debe ser considerado necesario en la planeación de infraestructura, toda vez que es necesario reconocer que la inversión en la misma no solo tendrá que responder a los impactos climáticos futuros en sí, sino que determinará cómo viven los futuros usuarios. Por tanto, es preciso considerar recursos tanto para acciones preventivas como reactivas.

En el componente de rapidez se observó que el indicador referente al personal capacitado desarrolla un rol importante en la resiliencia del sistema. Toda vez que las acciones que estos lleven a cabo en caso de emergencia y desastre dependerán del nivel de conocimiento con el que cuenten para actuar antes, durante y después del impacto de un fenómeno perturbador, contribuyendo a fortalecer las capacidades de resiliencia. Al respecto, O'Rourke (2007) mencionó que el nivel de conciencia y política local es un factor significativo ante la recuperación de los desastres, lo cual coincide con la importancia de contar con personal con las capacidades para actuar ante posibles afectaciones, lo que permite que estos cuenten con elementos para plantear e implementar programas que puedan prevenir y mitigar daños, así como acelerar los procesos de recuperación del sistema.

En el componente de capacidad adaptativa, la experiencia ante inundaciones asociadas a huracanes de la población y la participación de esta ante desastres son indicadores fundamentales para fortalecer la resiliencia. O'Rourke (2007) menciona que las características de la comunidad tienen un efecto significativo sobre la resiliencia, especialmente en los niveles de vulnerabilidad y preparación; sus experiencias vividas les permiten establecer escenarios, para la construcción de sistemas robustos y complementarlos con acciones que favorezcan su recuperación ante desastres y así contribuir a fortalecer los sistemas de infraestructura resilientes.

El índice general indicó baja resiliencia, lo que estuvo asociado a los años de vida del sistema de drenaje pluvial, a la existencia y aplicación de instrumentos, planes y normativas; así como al conocimiento y habilidades de la población y de los servidores públicos con injerencia en el sistema. Lo que muestra que es recomendable realizar acciones para fortalecer las capacidades físicas y sociales del sistema e integrar la participación gobierno-sociedad para que la intervención para fortalecer la resiliencia sea constante en el tiempo. En ese sentido, la ONU-Hábitat (2017) expone que la resiliencia es una construcción, toda vez que las perturbaciones que afectan a las



ciudades se manifiestan de distintas formas. Por tanto, se considera que la resiliencia es un concepto evolutivo, es decir, se requiere una construcción continua, no única ni fragmentada. En ese sentido, se hace necesario el estudio de manera continua de los factores que tienen injerencia en el sistema del drenaje pluvial con el objetivo de contar con elementos para fortalecer las capacidades de resiliencia acordes a los contextos que se vayan presentando.

Conclusiones

La resiliencia de los sistemas de drenaje pluvial es de vital importancia por ser una de las soluciones a las problemáticas de inundaciones. La creación de capacidades de resiliencia de los mismos puede contribuir a disminuir posibles desastres que afectan a los habitantes y a los sistemas de infraestructura de las áreas urbanas.

La presente investigación mostró que la resiliencia del sistema de drenaje pluvial se asocia a la parte física y social del sistema. Por lo tanto, para fortalecer la misma se debe considerar una asociación de ambas partes. La responsabilidad de resiliencia no puede recaer solo en la parte física del sistema, como tampoco en las acciones de los gobiernos y de la sociedad. El estudio permanente de los factores que repercuten en la creación de fortalezas del sistema para hacer frente a inundaciones es relevante, permitirá enfocar la construcción de la parte física del sistema según esquemas que consideren la evolución de los contextos y de los riegos; asimismo se podrá brindar elementos a las instituciones gubernamentales y a la sociedad con que puedan visualizar posibles escenarios para plantear y realizar acciones que fortalezcan la resiliencia del sistema.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca mixta otorgada a la primera autora para la realización de su estancia de investigación en la Universidad Veracruzana, becaria del posgrado en Geografía UQROO - 428866; al grupo de trabajo del proyecto No. 248375 denominado “Resiliencia en ciudades costeras del Caribe Mexicano ante desastres por huracanes: Chetumal, Tulum y Playa del Carmen” financiado por el CONACYT y a la Red de Desastres Asociados a Fenómenos hidrometeorológicos y Climáticos (REDESClim) por sus valiosas aportaciones a este trabajo. ☯



Referencias

- ADGER, W. NEIL *et. al.* (2005). "Social-ecological resilience to coastal disasters". En: *Science*, Núm. 309.
- ARAGÓN DURAND, FERNANDO (2014). *Inundaciones en zonas urbanas de cuencas en América Latina*. Lima: Soluciones prácticas.
- ARNBJERG-NIELSEN *et. al.* (2013). "Impacts of climate change on rainfall extremes and urban drainage systems: a review". En: *Water Science and Technology*, Vol. 68, Núm. 1.
- BAKER, JUDY (2012). *Climate change, disaster risk, and the urban poor: cities building resilience for a changing world*. Washington, DC: World Bank.
- BOULANGER, PAUL (2008). "Sustainable development indicators: a scientific challenge, a democratic issue". En: *S.A.P.I.E.N.S. Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society*, Vol. 1, Núm 1.
- BRUNEAU, MICHEL *et. al.* (2003). "A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities". En: *Earthquakespectra*, Vol. 19, Núm. 4.
- CAPA-IMTA (2013). "Programa para el manejo del agua pluvial de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo." En: Víctor Javier Bourguett Ortiz (editor). *Congreso IMTA 2013*. México: CAPA-IMTA.
- CASTILLO VILLANUEVA, LOURDES (2009). *Urbanización, problemas ambientales y calidad de vida*. México: Plaza y Valdés y Universidad de Quintana Roo.
- CASTILLO VILLANUEVA, LOURDES *et. al.* (2014). "Modelo de indicadores para la evaluación y monitoreo del desarrollo sustentable en la zona costera de Mahahual, Quintana Roo, México". En: *Perspectiva Geográfica*, Vol. 19, Núm. 2, México.
- CAVAZOS PÉREZ, MARÍA TERESA (2015). *Conviviendo Con La Naturaleza*. México: INECC.
- CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (2014). *Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2012*. México: SEGOB.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (2007). *Informe final huracán Dean. Chetumal*. México: CONAGUA.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (2015). *Manual de Agua Potable y Alcantarillado y Saneamiento. México (MAPS)*. México: CONAGUA.
- CONSEJO NACIONAL DE POBLACIÓN (2000). *La situación demográfica de México, 2000*. México: CONAPO.
- CONSEJO NACIONAL DE POBLACIÓN (2018). *Datos de proyecciones 2010-2050*. México: CONAPO. Recuperado de http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/proyecciones_datos



- CUTTER, SUSAN, KEVIN ASH & CHRISTOPHER EMRICH (2014). "The geographies of community disaster resilience". En: *Global environmental change*, Núm. 29.
- DEKKER, SIDNEY *et al.* (2008). *Resilience Engineering: New directions for measuring and maintaining safety in complex systems*. Escandinavia: Lund University School of Aviation.
- DIEZ GONZALEZ, JOSÉ JAVIER *et al.* (2011). "Urban Coastal Flooding and Climate Change". En: *Journal of Coastal Research*.
- FRAGOSO SERVÓN, PATRICIA y ALBERTO PEREIRA CORONA (2018). "Suelos Y Karst, Origen De Inundaciones Y Hundimientos En Chetumal, Quintana Roo, México". En: *European Scientific Journal*, Núm. 14, ESJ.
- FRAUSTO MARTÍNEZ, OSCAR (2017). "Turismo oscuro: el desastre del huracán Janet de 1955 en la ciudad de Chetumal, México". En: *Teoría y Praxis*.
- FRAUSTO MARTÍNEZ, OSCAR, (2016). "Hurricane Resilience Indicators In Mexican Caribbean Coastal Cities." *International Journal of Safety and Security Engineering*, Vol. 6, Núm. 4.
- GALLEGO-LÓPEZ, C. y ESSEX, J. (2016). *(with input from DFID) Designing for infrastructure resilience*. Reino Unido: Evidence on Demand.
- GAY ALANÍS, LEÓN FRANCISCO (2016). "Infraestructura resiliente: desempeño sostenido en un mundo siempre cambiante." *Entretextos*, México: Universidad Iberoamericana León.
- GIORDANO, THIERRY (2012). "Adaptive planning for climate resilient long-lived infrastructures." *Utilities Policy*, Núm. 23.
- GOAL (2015). *Herramienta para medir la resiliencia comunitaria ante desastres*. Irlanda: GOAL.
- HERNÁNDEZ AGUILAR, MARÍA LUISA (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, Chetumal, Quintana Roo, México.
- HERNÁNDEZ AGUILAR, MARÍA LUISA, CARREÑO TIBADUIZA, MARTHA LILIANA, & CASTILLO VILLANUEVA, LOURDES (2018). "Methodologies and tools of risk management: Hurricane risk index (HRI)." *International Journal of Disaster Risk Reduction*.
- HERZER, HILDA Y GUREVICH, RAQUEL (1996). "Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación". En: F. M. Augusta (compiladora). *Degradación y desastres: parecidos y diferentes: tres casos para pensar y algunas dudas para plantear*. Ecuador: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA (2016). *Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo*. México: CAPA.



- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (2010). *Anuario estadístico y geográfico de Quintana Roo*. México: INEGI.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (2016). *Anuario estadístico y geográfico de Quintana Roo*. México: INEGI.
- JARROD, RUSSEL, OBERMAIER, MARTÍN, REBOLLEDO, ENRRIQUE, y CHARLOTTE, OLIVIA HEFFER (2014). *Adaptación y mitigación del cambio climático en zonas urbanas*. Perú: Soluciones prácticas.
- LAVELL, ALLAN (1996). “Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación”. En: F. M. Augusta (compiladora). *Ciudades en riesgo: degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres en América Latina*. Ecuador: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- MORANTES GIL, MARTIÑA YANETTE (2014). *Análisis de gestión y eficiencia en los sistemas de producción con ovinos en Castilla-La Mancha, España*. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. España.
- NICHOLLS, ROBERT *et al.* (2007). “Coastal systems and low-lying areas”. En: Martin Parry (editor). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth*. Reino Unido: Cambridge University Press.
- PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS (2017). *Tendencias de la Resiliencia Urbana*. Perú: ONU-HABITAT.
- O’ROURKE, THOMAS (2007). “Critical infrastructure, interdependencies, and resilience”. *Bridge-Washington-National Academy Of Engineering*, Vol. 37, Núm. 1.
- PERALES, SARA y DOMÉNECH, IGNACIO(2008). “Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia”. *Revista Técnica de Medio Ambiente*. C&M Publicaciones.
- PIZARRO T. ROBERTO (2003). *Manual de Conservación de aguas y suelos*. Chile: Universidad de Talca.
- PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN DESARROLLO URBANO SOSTENIBLE-UNIVERSIDAD DE COSTA RICA (2014). *Evaluación de la vulnerabilidad y adaptación de infraestructura ante el cambio climático*. Costa Rica: PRODUS – UCR.
- REFOCUS, PARTNERS (2015) “Reinvest: A Roadmap For Resilience - Investing In Resilience Reinvesting In Communities. Supported by Rockefeller Foundation.” Recuperado de http://www.reinvestinitiative.org/reports/RE.invest_Roadmap-For-Resilience.pdf
- RIPOLLÈS DOLZ, JOSEP, y GÓMEZ, MANUEL (1994). “Problemática del drenaje de aguas pluviales en zonas urbanas y del estudio hidráulico de las redes de colectores”. *Ingeniería del agua*, Vol. 1, Núm. 1.



- RODRÍGUEZ ALARCÓN, MARÍA N. (2017). *Convivir con la amenaza vulnerabilidad y riesgo frente a los huracanes en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo*. Tesis doctoral. Centro de Investigación y Estudios Superiores de Antropología Social, México.
- SÁNCHEZ FERNÁNDEZ, GABRIELA. (2009). *Análisis de la sostenibilidad agraria mediante indicadores sintéticos: aplicación empírica para sistemas agrarios de Castilla y León*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- SCHJETNAN MARIO, CALVILLO JORGE, & PENICHE, MANUEL (1997). *Principios de diseño urbano/ambiental*. México: Árbol.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO TERRITORIAL URBANO SUSTENTABLE (2018). *Programa de Desarrollo Urbano de Chetumal-Calderitas-Subteniente López- Huay-Pix y Xul-Há. Municipio de Othón P. Blanco, Estado de Quintana Roo. Chetumal*. México: SEDETUS.
- SEMARNAT. (2015). Programa de Ordenamiento Ecológico. Chetumal. SEMARNAT.
- TAMVAKIS, PAVLOS., & XENIDIS, YIANNIS. (2013). Comparative evaluation of resilience quantification methods for infrastructure systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 74, 339-348.
- THIEL ELLUL, DANIELA., & NAVARRO JURADO, ENRRIQUE. Metodologías para la construcción de indicadores sintéticos de sostenibilidad aplicados al turismo: Revisión de estudios y nuevas propuestas.
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (2009). *Disaster Risk Reduction*, Suiza: UNISDR.
- UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO (2011). *Atlas de riesgo de ciudad de Chetumal, Municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo. Chetumal*. México: UQROO.
- AGENCIA DE LOS ESTADOS UNIDOS PARA EL DESARROLLO INTERNACIONAL (2013). *Medidas para abordar el impacto del cambio climático en la infraestructura preparándose para el cambio*. Estados Unidos: USAID.
- YUSTA, JOSÉ, CORREA, GABRIEL, y ARANTEGUI, ROBERTO (2011). "Methodologies and applications for critical infrastructure protection: State-of-the-art". *Energy Policy*, Vol. 39, Núm. 10.
- ZEVALLS MORENO, OTHÓN (1996). "Ocupación de Laderas: incremento del riesgo por degradación ambiental urbana en Quito, Ecuador". En: M. A. Fernández (compiladora). *Ciudades en riesgo: degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres en América Latina*. Quito, Ecuador: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.

Contacto:

<amm100983@gmail.com>

