



Revista de Geografía Norte Grande

ISSN: 0379-8682

hidalgo@geo.puc.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile

Chile

Sánchez González, Diego

Peligrosidad y exposición a los ciclones tropicales en ciudades del Golfo de México. El caso de
Tampico

Revista de Geografía Norte Grande, núm. 50, 2011, pp. 151-170
Pontificia Universidad Católica de Chile
Santiago, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30021286009>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Peligrosidad y exposición a los ciclones tropicales en ciudades del Golfo de México. El caso de Tampico¹

Diego Sánchez González²

RESUMEN

La investigación constituye una contribución a la discusión sobre los peligros naturales en ámbitos urbanos en un contexto de cambio climático. El estudio analiza la peligrosidad y exposición a los ciclones tropicales en el área metropolitana de Tampico, que históricamente ha padecido inundaciones. La metodología emplea un Sistema de Información Geográfica para la integración cartográfica de los datos climáticos, hidrometeorológicos y geomorfológicos, y determinar la frecuencia y distribución espacio-temporal de los eventos extraordinarios asociados al peligro de inundaciones en la ciudad. Como resultado se logró una valiosa cartografía de los peligros naturales asociados al impacto de ciclones tropicales, necesaria para la futura gestión de los riesgos y la planificación urbana de las ciudades del Golfo de México. En el siglo XXI se prevé que impacten ciclones tropicales de alta intensidad (categorías IV y V) en la región, cuyas consecuencias pueden ser catastróficas para el área metropolitana y su población en un contexto de ausencia de planificación y de prevención.

Palabras clave: Ciclones tropicales, inundación, gestión del riesgo, planificación urbana, cambio climático.

ABSTRACT

This research is a contribution to the discussion of natural hazards in urban areas in the context of Climate Change. The study analyzes the dangerousness and exposure by tropical cyclones in the metropolitan area of Tampico, which historically has suffered catastrophic flooding. The methodology uses a Geographic Information System for cartographic integration of the climate, hydrometeorological and geomorphological data, and to determine the space-time frequency and distribution of the extraordinary events associated to the city floods danger. As a result, a valuable mapping of natural hazards associated with the impact of tropical cyclones and extreme rainfall was achieved, which is necessary for future risk management and urban planning of cities in the Gulf of Mexico. The forecast warned of an increased risk of flooding in the study area, associated with more extreme hydrometeorological phenomena, possibly linked to global climate change and, above all, the growth of urban areas at risk. In the 21st century, the impact high-intensity tropical cyclones (categories IV and V) in the region are expected. The consequences can be catastrophic for the metropolitan area and its population in a context of lack of planning and prevention.

Key words: Tropical cyclones, flood, risk management, urban planning, Climate Change.

¹ La investigación se inscribe en el proyecto de investigación "Gerontología ambiental del envejecimiento vulnerable en áreas de riesgo a inundaciones. Retos de la gestión de los riesgos y la planificación gerontológica ante el Cambio Climático" (Nº 155757), Ciencia Básica CONACYT (Méjico). Ar-

tículo recibido el 16 de septiembre de 2010, aceptado el 1 de agosto de 2011 y corregido el 12 de agosto de 2011.

² Departamento de Investigación y Posgrado de la Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Nuevo León (Méjico). E-mail: diego.sanchezg@uanl.mx

Las previsiones sobre cambio climático (Martínez y Fernández, 2004; IPCC, 2007) advierten que en los próximos años se producirá un incremento de las inundaciones asociadas a los ciclones tropicales, como huracanes y tormentas, en los municipios costeros de las planicies del Golfo de México, sobre todo, localizados en las desembocaduras de los ríos, como las ciudades de Tampico y Villahermosa. El escenario de desastre se verá agravado por el riesgo de aumento del nivel de mar, lo que ocasionará inundaciones catastróficas y refugiados medioambientales (Magaña y Gay, 2002; Juárez *et al.*, 2006).

Las publicaciones (Herzer y Di Virgilio, 1996; Figueroa *et al.*, 2008) advierten que los municipios costeros no están preparados para afrontar inundaciones asociadas a huracanes y otros riesgos naturales. Diferentes estudios (Mansilla, 2000) denuncian que los gobiernos locales favorecen una planificación urbana y gestión de los riesgos a corto plazo, una escala temporal inadecuada para afrontar los grandes retos del crecimiento urbano en un contexto de cambio climático. Esta circunstancia explica que las corporaciones locales se vean desbordadas ante las inundaciones por ciclones tropicales y que los planes de prevención sigan mostrando cierto grado de improvisación (Vargas, 2002). Asimismo, las previsiones de fenómenos extraordinarios deben implicar nuevos diseños en planificación urbana más acordes con contextos ambientales integradores que minimicen el riesgo y la vulnerabilidad social.

Las revistas geográficas internacionales han difundido amplios y variados estudios (Rodríguez, 2007) sobre riesgos naturales en las áreas metropolitanas situadas en zonas costeras de América Latina. En las últimas décadas han proliferado las investigaciones sobre los riesgos naturales en áreas urbanas (Olcina, 2008), sin embargo, han estado influenciadas por la falta de consenso respecto a los criterios, métodos y técnicas empleados en el análisis de los factores biofísicos y sociales que determinan la evaluación y zonificación espacio-temporal de los riesgos (Perles *et al.*, 2009).

El análisis de los riesgos naturales debe comprenderse como un proceso dinámico, que sufre modificaciones a lo largo del

tiempo y del espacio (Bosque *et al.*, 2005). Diferentes autores (Mardones y Vidal, 2004) han insistido en la necesidad de consensuar criterios objetivos y metodologías accesibles para favorecer la evaluación y zonificación espacio-temporal del riesgo. El análisis de las variaciones espacio-temporales de los eventos extremos es de suma importancia para las ciudades del Golfo de México y dentro de un contexto de cambio climático global (IPCC, 2007). También, la frecuencia y distribución espacial de los eventos extremos determinan los riesgos de inundación y deslaves, constituyendo una información esencial para la gestión de los riesgos y la planificación urbana (Gómez, 2006).

En México se estima que 35,5 millones de habitantes residen en zonas de riesgo por ciclones tropicales, de los cuales, el 70% reside en áreas urbanas (INEGI, 2005). Asimismo, entre los años 2000 y 2005 la población urbana en zonas de riesgo presenta una tasa de crecimiento anual del 2,1%, frente al 0,63% de la población rural en riesgo, que crece a un ritmo menor. Entre los meses de junio y agosto del año 2008, los ciclones tropicales afectaron a uno de cada cuatro municipios del país, principalmente en los estados litorales del Golfo de México (CNA, 2008).

Tampico, por su situación geográfica e histórica, ligada a los desastres por huracanes, como Hilda (1955), Gilbert (1988) y Gert (1993) (Mansilla, 1994), es probablemente el área metropolitana más poblada y vulnerable del Golfo de México, lo que la convierte en un área de estudio adecuada para desarrollar investigaciones sobre riesgos de inundación por fenómenos hidrometeorológicos extremos (Jiménez y Sánchez-González, 2007).

Diferentes estudios (García, 2008; Díaz, 2010; González, 2010) advierten del alto riesgo de incidencia de ciclones tropicales en la franja costera del Golfo de México. En los últimos años las inundaciones provocadas por fenómenos hidrometeorológicos extremos en ciudades mexicanas, como Tampico, plantean la posibilidad de un incremento de la frecuencia e intensidad de los huracanes por efecto del cambio climático.

La presente investigación pretende contribuir al conocimiento de la incidencia de

los fenómenos hidrometeorológicos extremos en ciudades del Golfo de México, a través de la evaluación de la peligrosidad y exposición a los ciclones tropicales, y la zonificación de las áreas urbanas expuestas al peligro de inundación, constituyendo una herramienta eficaz de la planificación urbana y la gestión del riesgo. A partir de un estudio de caso, la ciudad de Tampico, se ha procedido al análisis espacio-temporal de la peligrosidad y exposición de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, así como su impacto en el peligro de inundaciones de las áreas urbanas. La metodología emplea un Sistema de Información Geográfica (SIG) para la superposición de información cartográfica de datos biofísicos, y favorecer la evaluación espacio-temporal de la peligrosidad y exposición de ciclones tropicales y tormentas tropicales en el área de estudio, así como la zonificación del peligro de inundaciones de Tampico.

A lo largo del trabajo surgen algunas interrogantes importantes: ¿Se está produciendo un incremento de los ciclones tropicales en el área metropolitana de Tampico asociado al cambio climático? ¿Con qué frecuencia e intensidad impactan los ciclones tropicales en el área de estudio? ¿Cuándo se prevé que se incremente la ocurrencia e intensidad de los peligros naturales asociados a los ciclones tropicales en el área de estudio? ¿Qué áreas urbanas de Tampico están más expuestas al peligro de inundación por ciclones tropicales? ¿Qué población de la ciudad se encuentra en situación de emergencia climática por ciclones tropicales?

En definitiva, el estudio trata de responder algunas interrogantes y plantear otras nuevas, esenciales en la comprensión de las cuestiones espaciales y temporales de los peligros naturales en ciudades en desarrollo del Golfo de México y, en general, de América Latina. La nueva realidad urbana de la gestión de los riesgos exige profundizar en la frecuencia y distribución de los eventos hidrometeorológicos extremos en regiones y ciudades costeras expuestas del Golfo de México.

Objetivos y metodología

En las últimas décadas han proliferado las publicaciones geográficas sobre riesgos naturales (Ayala, 2000; Aneas de Castro, 2006),

definido como la probabilidad de ocurrencia o frecuencia de un fenómeno natural potencialmente peligroso para los asentamientos humanos en un lugar y momento determinado. Como resultado de las investigaciones sobre riesgos, principalmente inundaciones en las áreas urbanas, se han desarrollado conceptos de gran interés para su análisis espacial-temporal, como los factores peligrosidad, exposición y vulnerabilidad.

Los factores determinantes del riesgo son definidos como: el factor peligrosidad o amenaza, entendido como conjunto de aspectos naturales de un fenómeno que inciden en el riesgo y que se define por la severidad del fenómeno y su probabilidad de ocurrencia (Ayala, 2002). El factor exposición, referido a las comunidades y poblaciones localizadas en un ámbito territorial expuesto a un peligro. Y la vulnerabilidad, definida como la capacidad de respuesta o predisposición intrínseca de un territorio, construcción humana y población, expuestos a un peligro o sufrir un daño (Cardona, 2003).

El trabajo constituye una aportación geográfica a la necesaria discusión sobre los peligros naturales en ámbitos urbanos de América Latina y el Caribe muy sensibles al cambio climático, como el Golfo de México. En este sentido, la investigación se centra, de manera específica, en el análisis de dos factores determinantes de los fenómenos hidrometeorológicos extremos: la peligrosidad y la exposición, cuyo conocimiento es esencial en la planificación urbana y la gestión de los riesgos en las ciudades litorales y prelitorales de la región. A pesar de la importancia de la vulnerabilidad en la comprensión del riesgo, sin embargo, en el presente trabajo no se contempla su análisis, ya que, excede los objetivos propuestos.

El objetivo general de la investigación es analizar la peligrosidad y exposición a los ciclones tropicales en el área metropolitana de Tampico, México. Asimismo, el estudio persigue ampliar el conocimiento sobre la evaluación de la peligrosidad, a través de la frecuencia y distribución espacio-temporal de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, y su incidencia en la exposición y zonificación del peligro de inundaciones en la ciudad. Además, el trabajo pretende contribuir

a la gestión de los riesgos y a la planificación urbana del área de estudio y, en general, de las ciudades del Golfo de México.

La metodología implementa un Sistema de Información Geográfica (SIG) para la integración de datos biofísicos del medio natural, sobre todo, climáticos, hidrometeorológicos y geomorfológicos del área de estudio, procedentes de fuentes secundarias (SMN-CNA, 2005; INEGI, 2005) y fuentes primarias, a partir de un arduo trabajo de campo realizado entre octubre del año 2005 y diciembre del año 2008, consistente en visitas periódicas al área de estudio y toma de muestras.

Se realizan diferentes análisis estadísticos (leyes de probabilidad de Poisson y Gumbel), mediante los programas Statistical 8.0 y ArcGIS 9.2, para determinar la frecuencia y períodos de retorno de los eventos extraordinarios en el área de estudio. También, se emplea el Sistema de Información Geográfica para integrar los datos biofísicos y sociodemográficos, así como determinar la zonificación de los diferentes escenarios de inundación y las áreas urbanas expuestas al peligro, además de la población potencialmente afectada según el último Conteo de Población (INEGI, 2005).

La ciudad de Tampico como área de estudio

El área metropolitana de Tampico se localiza en el noreste de México, en la zona costera del Golfo de México, y se encuentra conformada por los municipios tamaulipecos de Altamira, Ciudad Madero y Tampico, así como los municipios veracruzanos de Pánuco y Pueblo Viejo. Los cinco términos municipales tienen una extensión total de 5.293 km² y cuentan con una población de 803.196 habitantes, concentrados en el casco urbano del área metropolitana, que ocupa una superficie de 169 km² (INEGI, 2005).

El área de estudio se emplaza en la región de la planicie costera nororiental, una extensa superficie plana de origen cenozoico, y se asienta en parte de una llanura aluvial inundable conformada por la cuenca baja del río Pánuco (Figura N° 1), cuyas características geomorfológicas presentan una suave

topografía conformada por terrazas aluviales constituidas por pequeñas plataformas sedimentarias, donde se localizan yacimientos petrolíferos. Algunos expertos (Hudson, 2004) indican que el área de estudio históricamente ha padecido inundaciones que se remontan al Holoceno tardío, y que en la actualidad determina entornos altamente inundables no aptos para los asentamientos humanos (Mansilla, 1994; Hudson & Colditz, 2003).

El clima predominante es de tipo tropical subhúmedo, cálido y extremoso, con temperaturas medias anuales de 24,8°C, aunque en los meses de abril y mayo los termómetros pueden superar los 40,3 °C. Igualmente, atendiendo al índice de aridez (De Martonne, 1941), Tampico se ubica en la región húmeda con valores próximos a 33,2. Asimismo, las precipitaciones oscilan entre 789 a 1,132 mm., concentrándose casi el 80% de las mismas entre los meses de junio a octubre, coincidiendo con el periodo de ciclones tropicales en el Golfo de México. También, la existencia de fenómenos hidrometeorológicos, como tormentas tropicales y huracanes, favorecen las precipitaciones intensas en 24 horas, que generan inundaciones y deslizamientos en el área de estudio.

Tampico se emplaza en la región hidrográfica de la cuenca baja del río Pánuco, más concretamente en la desembocadura de los ríos Pánuco y Tamesí (Figura N° 1). Por efecto de la acción antrópica, el río Pánuco ha dejado de tener un origen endorreico, para transformarse en un drenaje natural que transporta parte de las aguas negras procedentes de la ciudad de México (Tamayo, 2004). Dicho suceso hace del río Pánuco uno de los más caudalosos y contaminados del país, lo que incrementa su peligrosidad en caso de inundaciones a su paso por la ciudad. También, el río Tamesí, conocido como Guayalejo, nace en el municipio de Palmillas, Tamaulipas, y tras recorrer 150 km, termina formando amplios vasos lacustres en los municipios de Tampico y Altamira, conformando el sistema lagunario Chairel-Tamesí con las lagunas de Chairel, Tancol y Vega Escondida. Las inundaciones de dichas cuencas son repentinas, arrastrando gran volumen de materiales y agua contaminada por descargas urbanas, industriales y, sobre todo, agrícolas (Adame y Estrada, 2003).

En síntesis, la localización geográfica de la ciudad en la planicie tamaulipecana del Golfo de México, sobre una llanura aluvial inundable y en la desembocadura de las cuencas hidrológicas de Pánuco y Tamesí, así como la presencia de vasos lacustres y lagunas urbanas, favorecen los riesgos de inundación y deslizamiento, asociados a precipitaciones intensas por ciclones tropicales recurrentes, así como los riesgos antrópicos por la proximidad a industrias químicas y petroquímicas contaminantes (Jiménez y Sánchez-González, 2007).

Evaluación del peligro de ciclones tropicales en el área de estudio

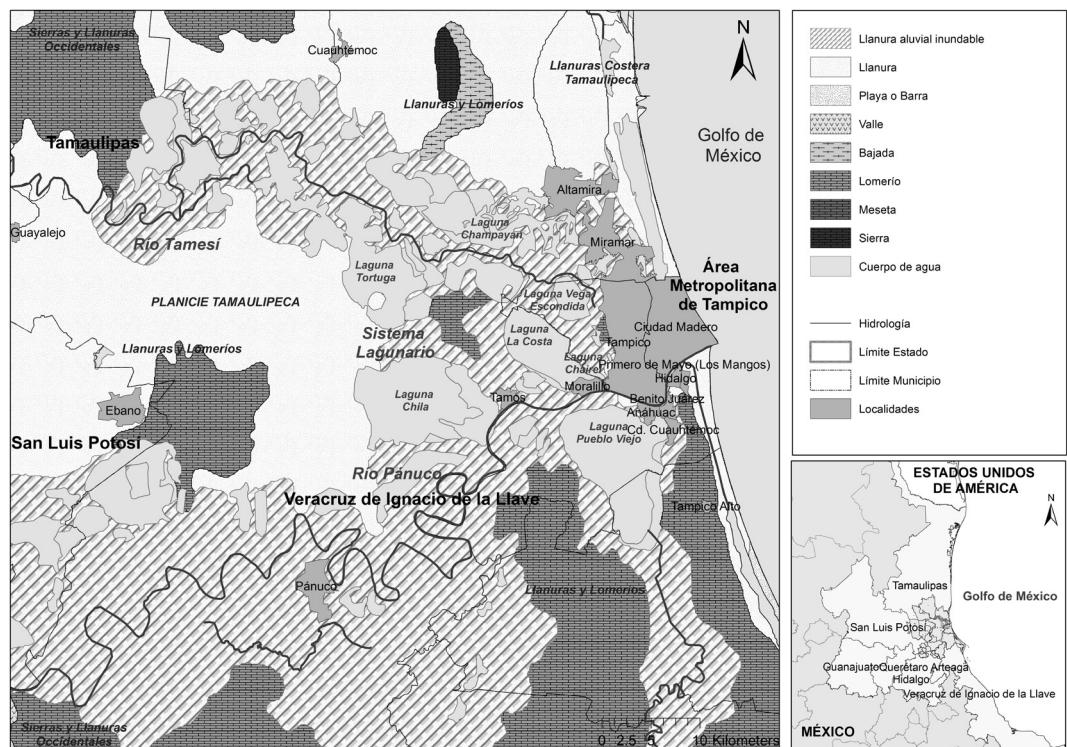
En el apartado se analiza la frecuencia e intensidad de los ciclones tropicales en el

área de estudio. Para ello, se describe la trayectoria e incidencia histórica de los ciclones tropicales en Tampico entre los años 1944 y 2005. Asimismo, se calcula la probabilidad de ocurrencia del peligro de ciclones tropicales para los próximos años en el área de estudio, ya que son el principal factor de peligro de inundaciones en la ciudad.

El ciclón tropical es una gran masa de aire cálido y húmedo con fuertes vientos que giran en forma de espiral alrededor de una zona de baja presión (Rosengaus et al., 2002). Asimismo, los ciclones del Atlántico se desarrollan en los meses de verano y otoño, aunque pueden prolongarse hasta diciembre (Capel, 1996).

Entre los años 1851 y 2005 se produjeron 56 huracanes que afectaron al Estado de Tamaulipas (NOAA, 2006), de los cuales, 27 se

Figura N° 1
Localización geográfica y geomorfología del Área Metropolitana de Tampico,
Golfo de México, 2010



Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI (2005).

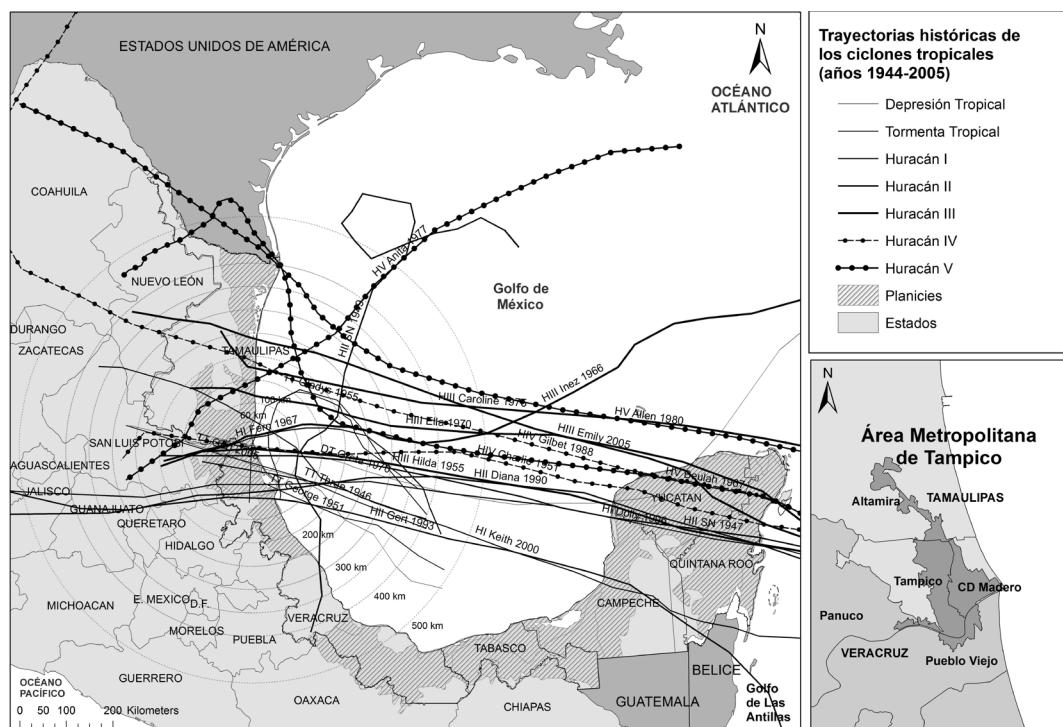
localizaron a menos de 100 kilómetros de la ciudad de Tampico, provocando inundaciones importantes y periódicas por el desbordamiento de los ríos Pánuco y Tamesí (Jiménez y Sánchez-González, 2007).

En el presente trabajo se consideran los datos registrados a partir del año 1944 (Figura N° 2), momento en el que se usan aviones de reconocimiento como método de observación de los ciclones tropicales, desestimando los datos anteriores a esa fecha por las imprecisiones para estimar los eventos (Pavia, 2004). Asimismo, diferentes autores (Gómez, 2006) advierten que los registros históricos suelen despreciar, en ocasiones, la información relativa a las depresiones tropicales. Esta circunstancia dificulta la estimación de eventos extraordinarios, como precipitaciones extremas asociadas a ciclones de baja intensidad, que llegan a producir inundaciones, sobre todo,

en las ciudades de la franja litoral del Golfo de México.

En el área de estudio la intensidad de los ciclones tropicales está determinada por la distancia o radios de afectación según Saffir-Simpson (Palacio, 2004). Observando las trayectorias históricas de los ciclones tropicales que impactaron en Tampico para el periodo analizado (Figura N° 2), el origen de procedencia de los fenómenos extraordinarios se localiza en las zonas ciclogénicas del Atlántico Norte, caracterizadas por el predominio de aguas cálidas (27 °C), concretamente, en el Mar Caribe y el Golfo de México. La trayectoria inicial de los ciclones sigue un rumbo oeste, donde la dinámica de las corrientes marinas y la forma del Golfo de México favorecen la mayor exposición de los estados costeros mexicanos, sobre todo, Quintana Roo, Veracruz y Tamaulipas (Díaz, 2010).

Figura N° 2
Trayectorias históricas de los ciclones tropicales que incidieron en el
Área Metropolitana de Tampico, México, 1944-2005



Nota: Cálculo de radios de afectación de los ciclones tropicales según Saffir-Simpson.
Fuente: Elaboración propia a partir de NOAA (2006).

Cuando los eventos extraordinarios se introducen en la franja costera del Golfo de México, pierden su aporte energético y degeneran con rapidez, transformados en meteoros violentos, como precipitaciones extremas y vientos huracanados, que causan inundaciones catastróficas en las ciudades de las llanuras litorales (Limbert, 1995). Como demuestran algunos estudios (Gómez, 2006), más del 65% de los ciclones impactaron contra una franja de costa de unos 200 km, que incluye el norte del Estado de Veracruz y el sur del Estado de Tamaulipas, siendo el área metropolitana de Tampico especialmente afectada, como lo atestigua su historia de catástrofes por inundaciones (Figura Nº 2).

En el Cuadro Nº 1 se observan los ciclones tropicales registrados entre los años 1944 y 2005 en el área de influencia de la ciudad de Tampico (Cuadro Nº 1). Los ciclones tropicales se han clasificado en categorías, de acuerdo a la presión existente en su centro y la velocidad del viento máximo sostenido (Rosengaus *et al.*, 2002), así se puede distinguir:

- Las depresiones tropicales (DT), como George (1951) y Emily (2005), con presiones de 1.004 a 1.008 mb, velocidad del viento inferior a 62 km/h, y localmente destructivas mediante inundaciones y encharcamientos o anegamientos.
- Las tormentas tropicales (TT), como Gladys (1955) y Gert (2005), con presiones de 985 a 1.004 mb, velocidad del viento entre 62,1 a 117 km/h, y que tienen efectos destructivos a través de inundaciones que puede alcanzar 1 metro de altura.
- Los huracanes categoría I (HI), como Anna (1956) y Keith (2000), con presiones de 980 a 985 mb, vientos entre 118 y 153 km/h, un tirante de agua que puede llegar a 1,5 metros, y destrucción potencial de viviendas móviles y carreteras costeras.
- Los huracanes categoría II (HII), como Beulah (1967) y Gilbert (1988), con presiones de 965 y 980 mb, vientos entre 154 y 177 km/h, el tirante de agua entre 1,5 y 2,0 metros, y destrucción potencial de techos, ventanas y puertas de viviendas, que exige la evacuación de residentes en la zona costera.

- Los huracanes categoría III (HIII), como Hilda (1955) e Inez (1966), con presiones de 945 a 965 mb, vientos entre 178 y 209 km/h, el tirante de agua puede llegar hasta los 4 metros y las inundaciones pueden superar los 13 km tierra adentro desde la costa, y la destrucción potencial de estructuras de pequeñas viviendas.
- Los huracanes categoría IV (HV), como Charlie (1951) y Anita (1977), con presiones de 920 a 954, vientos entre 210 y 249 km, el tirante de agua puede superar los 5 metros en determinadas zonas urbanas, y potencial de destrucción extremo sobre casas e infraestructuras, así como la erosión de las playas.
- Los huracanes categoría V (HV), con presiones inferiores a 920 mb, vientos superiores a 250 km/h, el tirante del agua puede superar los 5,5 metros, y potencial de destrucción catastrófico sobre viviendas e infraestructuras. En el mismo periodo se han registrado 3 huracanes categoría V (Beulah, Anita y Allen) a una distancia inferior a 450 km de Tampico, aunque su intensidad en la ciudad fue menor. Esta circunstancia no exime que puedan producirse huracanes de un potencial catastrófico en las próximas décadas, sobre todo, teniendo en cuenta las previsiones sobre cambio climático para el área de estudio (IPCC, 2007).

Entre los años 1944 y 2005 se puede contabilizar un total de 24 ciclones tropicales que han impactado en la ciudad a lo largo de 61 años (Cuadro Nº 1), es decir, un evento hidrometeorológico cada 2,54 años. Las décadas de 1950 y 1970 fueron las más activas, registrándose 6 y 4 eventos respectivamente, y causando una importante destrucción en el área de estudio, con el paso de ciclones tropicales de alta intensidad, como los huracanes categoría III y IV, donde sobresale Hilda (1955). A la inversa, la década de 1980 registra solo dos eventos, sin embargo, el huracán Gilbert categoría II genera una importante afectación al área metropolitana. Los datos del periodo analizado no permiten confirmar un aumento significativo de la intensidad y frecuencia de los ciclones tropicales en el área de estudio, coincidiendo con otros estudios más generales (Díaz, 2010).

Cuadro N° 1
Ocurrencia de los ciclones tropicales en la ciudad de Tampico, México, 1944-2005

Fecha	Nombre	Categoría	Viento (km/h)	Distancia a Tampico (km)	Categoría en Tampico	Vientos en Tampico (km/h)	Vientos medios en Tampico (km/h) ^a	Escenarios de inundación (m) ^b
25/08/1946	SN	TT	64,8	30	TT	62 a 117	63,5	0,5 a 1,0
15/08/1947	SN	HI	175,9	30	HII	154 a 177	158,3	1,5 a 2,0
24/09/1949	SN	HII	157,4	200	DT	<62	55,1	<0,5
22/08/1951	Charlie	HIV	213,0	60	HIV	210 a 249	210,9	4,0 a 5,5
21/09/1951	George	TT	83,3	80	DT	<62	58,3	<0,5
06/09/1955	Gladys	TT	92,6	0	TT	62 a 117	92,6	0,5 a 1,0
19/09/1955	Hilda	HIII	194,5	80	HIII	178 a 209	180,9	2,0 a 4,0
26/07/1956	Anna	HI	120,4	30	HI	118 a 153	119,2	1,0 a 1,5
18/06/1959	Beulah	TT	83,3	30	TT	62 a 117	79,1	0,5 a 1,0
10/10/1966	Inez	HIII	203,7	30	HIII	178 a 209	193,5	2,0 a 4,0
22/09/1967	Beulah	HV	259,3	275	HII	154 a 177	168,5	1,5 a 2,0
04/10/1967	Fern	HI	120,4	30	HI	118 a 153	119,2	1,0 a 1,5
12/09/1970	Ella	HIII	194,5	175	HI	118 a 153	136,2	1,0 a 1,5
04/10/1970	Greta	DT	46,3	30	DT	<62	41,7	<0,5
31/08/1975	Caroline	HIII	185,2	225	TT	62 a 117	92,6	0,5 a 1,0
02/09/1977	Anita	HV	277,8	175	HIV	210 a 249	222,2	4,0 a 5,5
09/08/1980	Allen	HV	259,3	450	DT	<62	57,0	<0,5
16/09/1988	Gilbert	HIV	213,0	225	HII	154 a 177	164,0	1,5 a 2,0
07/08/1990	Diana	HII	157,4	175	DT	<62	55,1	<0,5
20/09/1993	Gert	HII	157,4	125	TT	62 a 117	94,4	0,5 a 1,0
23/08/1996	Dolly	HI	129,6	30	TT	62 a 117	103,7	0,5 a 1,0
05/10/2000	Keith	HI	138,9	30	HI	118 a 153	125,0	1,0 a 1,5
20/07/2005	Emily	HIII	203,7	300	DT	<62	50,9	<0,5
24/07/2005	Gert	TT	64,8	30	TT	62 a 117	63,5	0,5 a 1,0

^a Se ha estimado la velocidad media del viento en base a la intensidad y la distancia del evento.

^b Los escenarios de inundación fueron estimados a partir de la escala de daño potencial de Saffir-Simpson.

Fuente: Elaboración propia a partir de NOAA (2006).

A continuación, se calcula la probabilidad de ocurrencia del riesgo de ciclones tropicales en Tampico mediante la Ley de la Probabilidad de Poisson, método empleado por diferentes instituciones (USACE, 2002). La Ley de Probabilidad de Poisson es una distribución de probabilidad discreta que expresa la probabilidad de un número de eventos

ocurridos en un tiempo fijo, considerando que estos eventos ocurren con una frecuencia media conocida y son independientes del tiempo transcurrido desde el último evento. Para el desarrollo de la expresión 4.1, se han tomado los datos registrados en el área de estudio entre los años 1944 y 2005 (Cuadro N° 2).

Cuadro N° 2
Cálculo de la probabilidad de ocurrencia de ciclones tropicales en la ciudad de Tampico, México, 1944-2005

Categoría	Años observados (1944-2005)	Eventos observados (n)	Frecuencia de eventos observados por período de tiempo (λ)	Probabilidad de ocurrencia en 1 año $P(n=1)^a$	Tiempo de ocurrencia Tr (años)	Vientos (km/h)	Vientos medios en Tampico (km/h)	Cota de inundación (m) ^b
Depresión tropical (DT)	61	24	0,39344	26,55	3,77	<62	53,0	<0,9
Tormenta tropical (TT)	61	18	0,29508	21,97	4,55	62 a 117	84,2	0,9 a 1,4
Huracán I (H1)	61	11	0,18033	15,06	6,64	118 a 153	124,9	1,5 a 2,4
Huracán II (H2)	61	7	0,11475	10,23	9,77	154 a 177	163,6	2,5 a 2,7
Huracán III (H3)	61	4	0,06557	6,14	16,28	178 a 209	187,2	2,8 a 3,3
Huracán IV (H4)	61	2	0,03279	3,17	31,52	210 a 249	216,6	3,8 a 5,0
Huracán V (H5)	61	0	---	---	---	>250	---	>5,0
CT Baja intensidad (DT+TT)	61	42	0,68852	34,59	2,89	<117	68,6	<1,5
CT Media intensidad (H1+H2)	61	18	0,29508	21,97	4,55	118 a 177	144,3	1,5 a 2,7
CT Alta intensidad (H3+H4+H5)	61	6	0,09836	8,91	11,22	>178	201,9	>2,7

^a Cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un evento mediante la Ley de Probabilidad de Poisson.

^b Los escenarios de inundación fueron estimados a partir de la escala de daño potencial de Saffir-Simpson.
Fuente: Elaboración propia a partir de NOAA (2006).

$$4.1 \quad P(\chi, \lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^\chi}{\chi!}$$

En el Cuadro N° 2 se muestran los datos para calcular la probabilidad de que ocurra, al menos, un ciclón tropical (CT) en la ciudad (Cuadro N° 2). Examinando los resultados se comprueba que existe un 34,59% de probabilidad de que en un año ocurra al menos un ciclón tropical de baja intensidad, es decir, una depresión tropical (DT) o una tormenta tropical (TT), con un tiempo estimado de ocurrencia de 2,89 años. El porcentaje de que ocurra al menos un ciclón tropical de media intensidad es del 21,97%, abarcando a los huracanes categoría I y II, y con un tiempo de ocurrencia de 4,55 años. También, se advierte de que existe un 8,91% de probabilidad de que en un año exista peligro de que ocurra al menos un ciclón tropical de alta intensidad, como huracanes categoría III y IV, y un tiempo de ocurrencia de 11,22 años.

En el periodo estudiado no se registraron huracanes categoría V en Tampico, por lo que se calculó la probabilidad y periodo de retorno a partir de la Ley de Distribución de Gumbel (Gumbel, 1941), método empleado por diferentes investigadores (Espejo *et al.*, 2008) (Cuadro N° 3). La distribución de Gumbel calcula la probabilidad $F(x)$ de que se produzca un evento extraordinario (huracán categoría V) a partir de una muestra de datos y en un periodo de retorno (Tr). Así, $1-F(x)$ es la probabilidad de que un valor extremo sea superior a x (Expresión 4.2), mientras que $Tr = 1/(1-F(x))$ es el número de años necesario para que el valor máximo alcanzado iguale o supere el valor x una sola vez. Tr es el periodo de retorno del valor x (Expresión 4.3). Para el desarrollo de las expresiones 5.2. y 5.3, se han tomado los datos registrados en el área de estudio entre los años 1944 y 2005.

$$4.2 \quad F(x) = e^{-e^{-d(x-v)}}$$

$$4.3 \quad Tr = \frac{1}{1-F(x)}$$

En el Cuadro N° 3 se indica la probabilidad de ocurrencia y el periodo de retorno de eventos extraordinarios en la ciudad. El

cálculo muestra que se puede producir al menos un huracán categoría V cada 124 años en Tampico, que alcanzaría una cota de inundación superior a los 5 metros de altura. Los periodos de retorno de 500 y 1.000 años, empleados en hidrología urbana para la construcción de infraestructuras, indican que la cota de inundación alcanzaría los 6,2 y 6,8 metros, respectivamente, en el área de estudio (Cuadro N° 3). De confirmarse eventos tan extremos, en un contexto de ausencia de gestión del riesgo, las consecuencias para el área metropolitana serían catastróficas.

Algunos estudios (Jáuregui y Zitácuaro, 1995) han indicado la asociación entre los ciclones tropicales y las precipitaciones intensas en el área de estudio. Por ejemplo, el día 20 de septiembre del año 1993 el huracán Gert registró precipitaciones extremas acumuladas próximas a los 427 mm (Mansilla, 1994), que provocaron inundaciones importantes en la desembocadura del río Pánuco, afectando a Tampico y su área metropolitana.

Zonificación espacio-temporal según peligrosidad y exposición a las inundaciones en Tampico

Seguidamente, se determina la zonificación de las áreas urbanas a partir de la peligrosidad y exposición a las inundaciones, asociada a los fenómenos hidrometeorológicos extremos calculados para la zona de estudio. Además, se estima la población susceptible de ser afectada por el peligro de inundación en el área metropolitana de Tampico.

En la ciudad, las inundaciones son el principal peligro natural para la población, generando pérdidas directas sobre las edificaciones, las infraestructuras y los sectores productivos (Dehays, 2002). En el año 1955 el área metropolitana sufrió su mayor desastre por inundaciones provocadas por el huracán Hilda, con más de 30 mil afectados y cuantiosas pérdidas económicas. Además, las previsiones sobre cambio climático proyectan que el área de estudio, por sus características hidrometeorológicas y geomorfológicas, será una de las ciudades mexicanas más afectadas

por el riesgo de inundaciones asociado a la subida del nivel del mar, sobre todo en las colonias bajas (IPCC, 2007).

Las inundaciones son el flujo o la invasión de agua por exceso de escurrimiento superficial, así como por la acumulación en terrenos planos, ocasionada por falta o insuficiencia de drenaje, tanto natural como artificial (CENAPRED, 2004). En el área de estudio la zonificación del peligro de inundación se ha determinado a partir del cálculo de los siguientes factores de peligrosidad y exposición (Cuadro N° 4): la topografía, a partir de las curvas de nivel; la litología, por la presencia

de limos y arcillas; la morfología, a través de la proximidad de terrazas aluviales; y la vegetación y uso del suelo, a partir del grado de explotación y desprotección vegetal. Asimismo, la ocurrencia y distribución de inundaciones se han evaluado a partir de la probabilidad de incidencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos en el municipio (Cuadro N° 2).

La evaluación de los factores permite calcular la ocurrencia de las inundaciones en las llanuras de inundación, así como estimar la amenaza de los elementos materiales y humanos en peligro de ser afectados. Al igual

Cuadro N° 3
Cálculo de la probabilidad de ocurrencia de ciclones tropicales, ciudad de Tampico, México

Periodos de retorno Tr (años)	Eventos observados (1944-2005) (n)	Probabilidad de Gumbel $F(x)=(1-(1/Tr))^a$	Evento extraordinario (X_i)	
			Cota de inundación (m) ^b	Categoría ^c
6,64	24	0,84940	2,41	H I
9,77	24	0,89765	2,76	H II
16,28	24	0,93857	3,22	H III
31,52	24	0,96827	3,81	H IV
40,00	24	0,97500	4,01	H IV
50,00	24	0,98000	4,21	H IV
60,00	24	0,98333	4,37	H IV
70,00	24	0,98571	4,50	H IV
80,00	24	0,98750	4,62	H IV
90,00	24	0,98889	4,72	H IV
100,00	24	0,99000	4,81	H IV
110,00	24	0,99091	4,89	H IV
120,00	24	0,99167	4,97	H IV
124,00	24	0,99194	5,00	H V
500,00	24	0,99800	6,20	H V
1000,00	24	0,99900	6,80	H V

^a Cálculo de la probabilidad de ocurrencia y periodo de retorno de un evento extraordinario a partir de la muestra de datos de eventos extraordinarios entre los años 1944-2005 mediante la Ley de Probabilidad de Gumbel.

^{b, c} Los escenarios de inundación y la categoría del evento extraordinario (huracán) fueron estimados a partir de la escala de daño potencial de Saffir-Simpson.

Fuente: Elaboración propia a partir de NOAA (2006).

que en otros estudios (Alexander, 1993; Mardones y Vidal, 2004), para estimar la gravedad de las inundaciones y su distribución espacial y temporal, se analizan otros aspectos de las inundaciones, como la profundidad, la duración, la velocidad y la carga de sedimentos, cuyos datos son recogidos a través de visitas de campo y toma de muestras.

En el Mapa 3 (Figura Nº 3) se observa la evaluación y zonificación del peligro de inundaciones, donde los niveles de peligrosidad se asocian a la probabilidad de ocurrencia y niveles de exposición al peligro de inundaciones por fenómenos hidrometeorológicos extremos, atendiendo a las características morfológicas, topográficas, litológicas y biogeográficas del área de estudio. Los niveles muy altos y altos de peligrosidad de inundación se presentan vinculados con una probabilidad de ocurrencia inferior a 500 años

por huracanes categoría V, terrazas aluviales inferiores inundables que constituye llanuras de inundación que pueden alcanzar los 6,2 metros, sedimentos de arenas finas (<1,00 mm), riberas explotadas y desprotegidas de vegetación (<50%), y situados próximos a los ríos Pánuco y Tamesí, así como las lagunas de Champayán, Tancol, Chairel, La Costa, Pueblo Viejo, El Carpintero y La Ilusión, sobre todo, afectando a los sectores inundables del municipio de Tampico, situados próximos a las lagunas (Morelos, Vicente Guerrero, Mano con Mano, Luis Donaldo Colosio) y al centro urbano (Zona Centro, Tamaulipas,). En el municipio de Ciudad Madero, los sectores expuestos a mayor peligro se localizan próximos a las lagunas urbanas, como La Ilusión, el río Pánuco y la costa. También, en Altamira se encuentran más expuestos los sectores urbanos obreros próximos a la laguna de Champayán y la Costa. Asimismo, dentro del

Cuadro Nº 4

Evaluación de la peligrosidad según factores de inundación, ciudad de Tampico, México, 2008

Peligrosidad				
Factores	Muy Alta	Alta	Media	Baja
Probabilidad de ocurrencia (años) ^a	<32 años	32-500 años	501-1.000 años	>1.000 años
Peligro de inundación				
Morfológicos	Terrazas aluviales inferiores muy inundables, llanuras de inundación	Terrazas aluviales inferiores inundables, llanuras de inundación	Terrazas aluviales medias	Terrazas aluviales superiores, plataformas, cordones
Topografía (metros) ^b	<3,8 m	3,8-6,2 m	6,3-6,8 m	>6,8 m
Litología (mm)	Limos y arcillas (<0,06 mm)	Arenas finas (0,06-1,00 mm)	Áreas medias y gruesas (1,00-2,00 mm)	Gravas, cantos rodados y bloques (>2,00 mm)
Vegetación y uso del suelo (% de cobertura)	Muy alta explotación de las riberas y desprotección de vegetación (<25%)	Alta explotación de las riberas y desprotección de vegetación (25-49%)	Riberas medianamente protegidas y con vegetación alóctona (50-74%)	Riberas protegidas y con vegetación autóctona (>74%)

^a Cálculo de la probabilidad de ocurrencia y periodo de retorno de un evento extraordinario a partir de la muestra de datos de eventos extraordinarios entre los años 1944-2005 mediante la Ley de Probabilidad de Gumbel.

^b La cota de inundación y la categoría del evento extraordinario fueron estimados a partir de la escala de daño potencial de Saffir-Simpson.

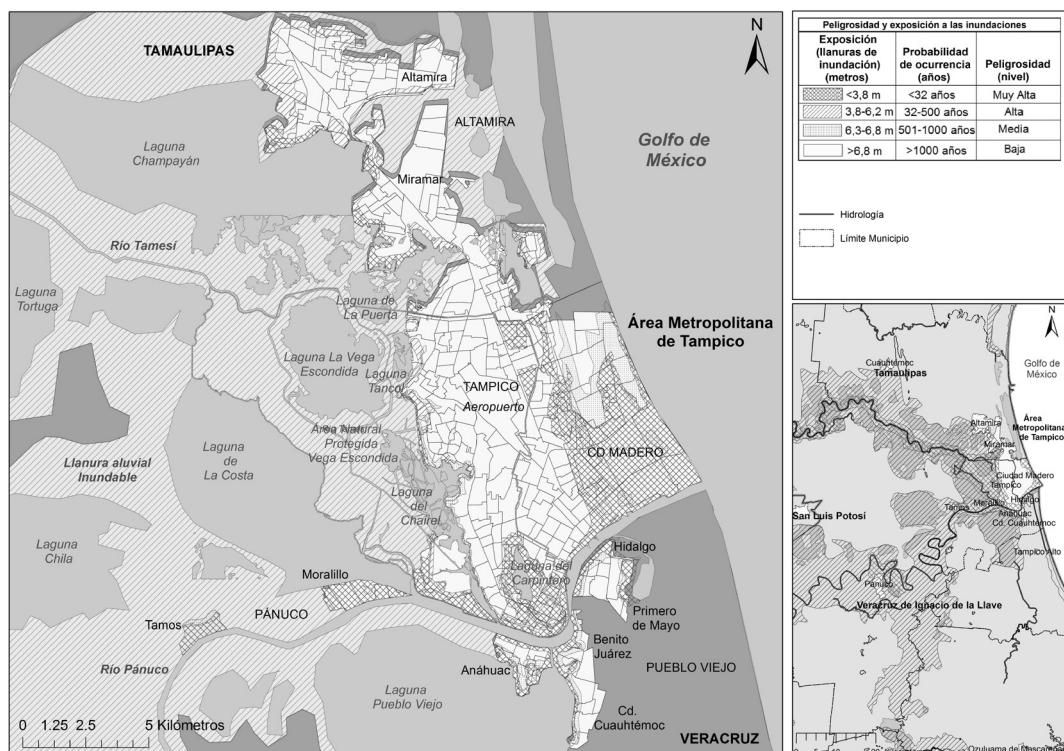
Fuente: Elaboración propia.

Estado de Veracruz, se encuentran expuestos a un mayor nivel de exposición los sectores de Benito Juárez, Hidalgo y Anáhuac, localizados en el término municipal de Pueblo Viejo, y próximos a la laguna de Pueblo Viejo y la desembocadura del río Pánuco; y el sector El Moralillo en la desembocadura del río Pánuco y dentro del término municipal de Pánuco (Figura N° 3).

La baja altitud media sobre el nivel del mar del área metropolitana de Tampico (7 m), favorece que 56,8 km² se encuentren expuestos al peligro de inundación muy alto y alto por fenómenos hidrometeorológicos extremos (Cuadro N° 5), es decir, una tercera parte (33,6%) del casco urbano, con 169 km². La distribución espacial de la exposición afecta, principalmente, a los municipios de Ciudad Madero (27,9 km²) y Tampico (12,9 km²),

que justos representan el 71,8% de la superficie urbana expuesta del área de estudio, y asociada a su baja altitud, 3 y 5 metros, respectivamente, sobre el nivel del mar. En datos relativos, la mayor exposición la padecen la localidad del Moralillo en el término municipal de Pánuco (68,6%) y el municipio de Ciudad Madero (58,7%), y en menor medida, las localidades de Primero de Mayo en Pueblo Viejo (15,6%) y Miramar en Altamira (16,7%). Es importante subrayar la problemática generada en las áreas metropolitanas costeras del Golfo de México, como Tampico, cuyo rápido crecimiento urbano y demográfico, unido a actividades económicas y turísticas agresivas con el medio ambiente, demandan cada vez más territorio a costa del progresivo abandono de las actividades agrícolas tradicionales ubicadas en los espacios periurbanos (Compán et al., 1995; Perles y Mérida, 2010).

Figura N° 3
Zonificación espacio-temporal según peligrosidad y exposición a las inundaciones
en el Área Metropolitana de Tampico, Golfo de México, 2008



Fuente: Elaboración propia.

La población expuesta del área de estudio asciende a 168.517 habitantes, lo que supone el 21% de la población censada, con 803.196 habitantes (INEGI, 2005) (Cuadro Nº 5), y cuyos valores más altos se registran en los municipios más poblados, como Tampico y Ciudad Madero, ambos por encima de los 61 mil habitantes expuestos, y que sumados constituyen el 74,5% de la población total expuesta de la ciudad. En datos relativos, las localidades urbanas del Moralillo en Pánuco (58%) e Hidalgo en Pueblo Viejo (56,6%) presentan las mayores tasas de población expuesta al peligro de inundación, en tanto que Primero de Mayo y Cd. Cuauhtémoc en Pueblo Viejo, con 4,6 y 14,3%, respectivamente, ostentan las tasas más bajas. También, la alta densidad de población urbana del área metropolitana, con valores de 4.752 hab./km² (Cuadro Nº 5), complica la planificación de la prevención, evacuación y mitigación, y hace más necesaria la planificación urbana y la gestión del riesgo, sobre todo, en los municipios de Tampico y Ciudad Madero, y en las localidades de Benito Juárez y Anáhuac en Pueblo Viejo, todos por encima de los 4.000 hab./km².

Las ausencias de planificación urbana y de gestión del riesgo son preocupantes en los asentamientos irregulares, como Mano con Mano, en Tampico, y La Ilusión, en Ciudad Madero. En estos espacios deprimidos, el riesgo se intensifica por la falta de equipamientos e infraestructura básica, como colectores de aguas pluviales, así como la precariedad de los materiales de construcción de las viviendas de un piso, prefabricadas en madera, cartón y lamina, lo que incrementa la vulnerabilidad social de la población a las precipitaciones intensas y los vientos huracanados.

Los datos confirman la alta exposición de la ciudad y su población al peligro de inundaciones por ciclones tropicales, así como revela la magnitud de un problema creciente, con importantes implicaciones urbanísticas, políticas, sociales y culturales. Asimismo, la desigual distribución de las áreas expuestas y las cambiantes condiciones socioeconómicas de sus habitantes, exige prestar mayor atención a los asentamientos irregulares, donde se localiza una alta presencia de grupos vulnerables, sobre todo, personas adultas mayores, inmigrantes e indígenas. Es necesario

favorecer espacios urbanos en condiciones de seguridad para la población frente al desastre (Calderón, 2007), a partir de la comprensión de los mecanismos de construcción social del riesgo vinculados a la vulnerabilidad y la percepción del riesgo en el área de estudio (García Acosta, 2005).

La investigación coincide con otros estudios (Sánchez-González y Batres, 2007; Sánchez-González, Ledezma y Rivera, 2011; Egea, Sánchez-González y Soledad, 2011), al comprobar sobre el terreno que la mayoría de los desastres por peligros naturales y antrópicos se pueden evitar, ya que responden en mayor medida a las condiciones socioculturales que a las condiciones físico-naturales, sobre las que se puede actuar a diferentes escalas espacio-temporales (Thomas Bohórquez, 2011).

Discusión y consideraciones finales

La localización del área metropolitana de Tampico en la planicie costera tamaulipecana del Golfo de México, así como su complejo emplazamiento en una llanura aluvial inundable y en la desembocadura de dos ríos, Pánuco y Tamesí, además de la presencia importante de lagunas urbanas, incrementan los peligros naturales asociados a fenómenos hidrometeorológicos extremos.

Los resultados confirman que el área de estudio se encuentra en una de las zonas más expuestas históricamente a las trayectorias y frecuencias de los ciclones tropicales en el Golfo de México, con un evento extremo cada 2,5 años y un huracán categoría IV cada 31,5 años. También, se estima que ocurrían huracanes categoría V cada 124 años que producirían una cota de inundación de 5 y más metros, afectando a amplias zonas de la ciudad densamente pobladas y vulnerables. Se prevé que en este siglo XXI impacten ciclones tropicales de alta intensidad (categorías IV y V) en la región, cuyas consecuencias pueden ser catastróficas para el área metropolitana y su población en un contexto de ausencia de planificación y de prevención.

En Tampico el complejo patrón de distribución temporal y espacial de las inundacio-

nes no siempre está asociado a la ocurrencia de un ciclón tropical, aunque su incidencia es mayor en la época de huracanes, que comprende los meses de verano y otoño. Los períodos de retorno de eventos extremos para 500 y 1.000 años se calcularon, pese a asumir el incremento del error estadístico, con objeto de favorecer obras civiles y evitar desastres asociados a zonas urbanas inundables. Con frecuencia se emplean períodos de retorno inferiores a 100 años en la zonificación del peligro de inundación, acrecentando la incertidumbre de los territorios, infraestructuras, poblaciones y viviendas expuestas a un peligro extremo no estimado, como ocurre con los huracanes categoría V. Es imprescin-

dible favorecer una adecuada planificación urbana a partir de programas de prevención efectivos y sólidamente basados en estudios para períodos de retorno más amplios en el tiempo y acordes con contextos ambientales tan vulnerables al cambio climático. Además, para possibilitar los estudios es prioritario mejorar la deficiente red de estaciones climatológicas e hidrológicas, dotándolas de mejor infraestructura y sistemas de monitoreo en el país (Matías *et al.*, 2007).

Las áreas de la ciudad expuestas a peligros de inundación, asociadas a los fenómenos hidrometeorológicos extremos, representan una tercera parte de la mancha urbana, es

Cuadro N° 5
Distribución de la superficie urbana y población expuesta al peligro muy alto y alto de inundación según municipio y localidad urbana, Área Metropolitana de Tampico, México, 200

Municipio y localidad urbana	Altitud (m.s.n.m.)	Superficie (km ²)		Superficie urbana expuesta		Población total 2005 (hab.)	Densidad de población urbana (hab/km ²)	Población expuesta	
		total	urbana	(km ²)	(%)			(hab.)	(%)
Anáhuac	10	13,2	3,1	1,4	44,3	13.657	4.464,6	5.981	43,8
Benito Juárez	10	18,3	2,8	1,1	38,9	14.015	5.064,0	5.143	36,7
Cd. Cuauhtémoc	10	9,9	2,7	0,7	24,6	8.950	3.328,3	1.279	14,3
Hidalgo	10	9,3	2,1	0,5	22,1	6.159	2.892,1	3.485	56,6
Primero de Mayo	10	5,1	1,8	0,3	15,6	5.068	2.756,3	233	4,6
Total Pueblo Viejo	10	294,0	12,5	3,9	30,8	52.593	178,9*	16.121	30,7
Altamira	10	24,2	22,2	4,2	18,9	50.896	2.290,6	8.463	16,6
Miramar	10	32,6	28,6	4,8	16,7	82.079	2.873,2	13.121	16,0
Total Altamira	10	1.657,0	50,8	9,0	17,7	162.628	98,1*	21.584	13,3
Cd. Madero	3	48,0	47,5	27,9	58,7	193.045	4.064,4	61.194	31,7
Total Cd. Madero	3	48,0	47,5	27,9	58,7	193.045	4.064,4*	61.194	31,7
Tampico	5	117,0	53,6	12,9	24,0	303.924	5.674,5	64.310	21,2
Total Tampico	5	117,0	53,6	12,9	24,0	303.924	2.597,6*	64.310	21,2
Moralillo	10	5,2	4,6	3,2	68,6	9.154	1.981,4	5.308	58,0
Total Pánuco	10	3.177,0	4,6	3,2	68,6	91.006	28,6*	5.308	5,8
Total Área Metropolitana Tampico	7	5.293,0	169,0	56,8	33,6	803.196	4.751,9	168.517	21,0

* Valores con la densidad de población calculada a partir de la superficie total del municipio.
Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI (2005).

decir, 56,8 km² de los 169 km², y se localizan, preferentemente, en las proximidades de las desembocaduras de los ríos Pánuco y Tamesí, así como las lagunas urbanas y la costa. El peligro muy alto se presenta en áreas urbanas ribereñas, sobre todo de Tampico, Ciudad Madero, Altamira y las localidades urbanas del Moralillo, en Pánuco, y Benito Juárez y Anáhuac, en Pueblo Viejo, donde la topografía y la geomorfología dificultan el escurrimiento, favoreciendo la mayor exposición a crecidas generadas por eventos extremos con períodos de retorno de 32 años. Asimismo, se estima que 168.517 habitantes se encuentran expuestos al peligro alto de inundación por eventos extremos, es decir, el 21% de la población censada de la ciudad, y se localiza, sobre todo, en sectores urbanos con alta densidad (>2.000 hab./km²) y marginación social, como los asentamientos irregulares de Mano con Mano, en Tampico, y La Ilusión, en Ciudad Madero.

En el Área Metropolitana de Tampico el reiterado incumplimiento de los planes de desarrollo urbano, aunado a la permisividad pública, han favorecido la invasión de los cursos de los ríos Pánuco y Tamesí, así como del sistema lagunario Chairel-Tamesí, alterando las llanuras aluviales a favor de un supuesto desarrollo económico (Máyer, 2002). El crecimiento urbano no controlado en las llanuras de inundación, con vertidos de escombros, así como la construcción de infraestructuras viales y viviendas en áreas de relleno, ha degenerado en un aumento de la impermeabilización y una disminución de la cobertura vegetal, favoreciendo un incremento de las zonas expuestas a los peligros de inundación y deslaves. Es necesario contrarrestar el avance de las áreas urbanas expuestas a los peligros naturales con políticas sostenibles y mecanismos de reducción, como la reforestación (Ojeda y Álvarez, 2000), así como favorecer la ordenación territorial de las cuencas hidrográficas. Sin embargo, se producen constantes conflictos de intereses entre las distintas administraciones federales (Comisión Nacional del Agua), estatales (estados) y locales (municipios) por el control de las llanuras de inundación ubicadas en las áreas urbanas mexicanas.

Las previsiones para los próximos años no permiten, en principio, confirmar un aumento

significativo de la frecuencia e intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos extremos en el área de estudio. No obstante, cualquier cambio en las condiciones climáticas, como un incremento de la temperatura en la región del Golfo, podría provocar un aumento de la frecuencia e intensidad de los eventos extremos más catastróficos. Algunos estudios (Adame y Estrada, 2003) advierten sobre dicha posibilidad y estiman un incremento de la temperatura media en 1,32 °C en el área de estudio.

En los próximos años se pueden producir cambios progresivos en la frecuencia, intensidad y distribución de los eventos extraordinarios en Tampico y su área metropolitana, coincidiendo con lo advertido por otros investigadores (Montz, 2009). Sin embargo, es importante reconocer las incertidumbres inherentes al proceso climático, que va a complicar la predicción de las inundaciones en las ciudades del Golfo de México (Moser & Dalling, 2007), lo que dificultará la planificación y gestión del riesgo en el Área Metropolitana de Tampico.

El cambio climático global se ha convertido en una preocupación creciente para instituciones y organismos internacionales por sus posibles consecuencias a corto, medio y largo plazo a escala regional y local. Los profesionales de la planificación urbana no deben ser ajenos a una compleja realidad dinámica, que implica la interconexión de esferas y escalas espacio-temporales hasta ahora desconocidas. Es necesario ampliar el conocimiento sobre los fenómenos climáticos extremos que impactan en las urbes y establecer los cauces para favorecer una planificación urbana sostenible y una gestión del riesgo que minimice el desastre potencial.

Como resultado del estudio se posibilita el conocimiento de los modelos espacio-temporales de los peligros naturales y se comprende la necesidad de abordar la caracterización de las áreas metropolitanas costeras del Golfo de México, como espacios crecientes de riesgo por ciclones tropicales en un contexto de cambio climático global. Es necesario favorecer la reflexión a partir de la discusión de las cuestiones espacio-temporales de la peligrosidad, que deben

marcar el ejercicio de la gestión del riesgo y la planificación urbana, en un contexto de subdesarrollo y de incremento y concentración de la pobreza en las ciudades costeras mexicanas. Asimismo, es prioritario mejorar la comprensión de las condiciones de vulnerabilidad de la población frente a los riesgos naturales y sociales para favorecer una adecuada gestión del riesgo. Además, se debe superar las obsoletas visiones populistas y coyunturales, enfocadas en mayor medida a la costosa mitigación de los desastres, favoreciendo programas de desarrollo sostenible a través de la implementación de una cultura de la prevención.

Debemos ser conscientes de la urgente necesidad de comprender que los nuevos escenarios climáticos supondrán enfrentar inundaciones catastróficas sin precedentes, asociadas a eventos hidrometeorológicos extremos, a través de nuevos criterios espacio-temporales de la gestión del riesgo, para acometer niveles de ayuda hasta ahora desconocidos en las ciudades del Golfo de México y, en general, en América Latina y el Caribe.

Referencias bibliográficas

ADAME, J. y ESTRADA, P. Efecto de una doble concentración de bióxido de carbono en la atmósfera sobre la disponibilidad de agua en la cuenca del río Tamesí-Tamesí en el estado de Tamaulipas, México. *Revista de Climatología*, Nº 3, 2003, p. 27-44.

ALEXANDER, D. *Natural disasters*. New York: Chapman & Hall, 1993.

ANEAS DE CASTRO, S. En torno al diagnóstico de los riesgos. *Scripta Nova, Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 2006, vol. X, Nº 218. Disponible en internet: <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-218-12.htm>

AYALA, F. J. La ordenación del territorio en la prevención de catástrofes naturales y tecnológicas. Bases para un procedimiento técnico-administrativo de evaluación de riesgos para la población. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 2000, Nº 30, p. 37-49.

AYALA, F. J. Introducción al análisis y gestión de riesgos. En: AYALA J. y OLCINA, F. J. (coords.). *Riesgos naturales*. Barcelona: Ariel Ciencia, 2002, p. 133-145.

BOSQUE, J.; ORTEGA, A. y RODRÍGUEZ, V. Cartografía de riesgos naturales en América Central con datos obtenidos desde Internet. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 2005, Nº 45, p. 41-70.

CALDERÓN, G. *Construcción y reconstrucción del desastre*. Ciudad de México: Plaza y Valdés, 2007.

CAPEL, JJ. Los ciclones tropicales en el Atlántico Norte, 1994-1995. *Papeles de Geografía*, 1996, Nº 23-24, p. 71-84.

CARDONA, O. D. The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from Holistic Perspective: A necessary review and criticism for effective risk management. In: BANKOFF, G. F. G. & HILHORST, D. (eds). *Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People*. London: Earthscan Publishers, 2003, p. 37-51.

CENAPRED. *Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos*. Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación, 2004.

CNA. *Notificaciones oficiales emitidas por el Servicio Meteorológico Nacional*. Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua, 2008. Disponible en Internet: <http://www.cna.gob.mx>

COMPÁN, D.; FISHER, J. y JIMÉNEZ, F. La sectorización del espacio geográfico en la planificación. Impactos de la política hidráulica en la dialéctica campo-ciudad. *Boletín de la Asociación de Geográficos Españoles*, 1995, Nº 20, p. 39-54.

DE MARTONNE, E. Nouvelle carte mondiale de l'indice s'aridité. *Météorol*, 1941.

DEHAYS, J. Fenómenos naturales, concentración urbana y desastres en América latina. *Perfiles Latinoamericanos*, 2002, Nº 20, p. 177-206.

DÍAZ, S. C. Variabilidad de los ciclones tropicales que afectan a México. *Interciencia*, 2010, vol. 35, Nº 4, p. 306-310.

EGEA, C.; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, D. y SOLEDAD, J. I. (coords.). *Vulnerabilidad social y riesgos sociales. Aproximaciones y expresiones desde territorios diferentes*. Granada: Universidad de Granada, 2011.

ESPEJO, F.; DOMENECH, S.; OLLERO, A. y SÁNCHEZ, M. La crecida del Ebro de 2007: procesos hidrometeorológicos y perspectivas de gestión del riesgo. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 2008, Nº 48, p. 129-154.

FIGUEROA, R.; NEGRETE, J. y MANSILLA, P. La gestión de los espacios frágiles costeros de la región de Valparaíso. Diagnóstico de su gestión y propuestas conceptuales. *Revista Geografía de Valparaíso*, 2008, Nº 41, p. 42-61.

GARCÍA, R. M. *Riesgo de inundación por marea de tormenta en el municipio de CD. Madero, Tamaulipas*. Tesis de Maestría. Tampico: Universidad Autónoma de Tamaulipas, 2008.

GARCÍA ACOSTA, V. El riesgo como construcción social y la construcción social de riesgos. *Desacatos*, 2005, Nº 19, p. 11-24.

GARNICA, R. J. y ALCÁNTARA, I. Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz. *Investigaciones Geográficas*, 2004, Nº 55, p. 23-45.

GÓMEZ, M. Trayectorias históricas de los ciclones tropicales que impactaron el estado de Veracruz de 1930 al 2005. *Scripta Nova, Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 2006, vol. X, Nº 218. Disponible en Internet: <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-218-15.htm>

GONZÁLEZ, D. M. E. Un modelo integral para la valoración del riesgo de inundación en centros urbanos y/o suburbanos-Enfoque metodológico utilizando indicadores-Caso: Pueblo Viejo, Veracruz, México. *TURevista Digi.U@T*, 2010, Nº 16. Disponible en Internet: www.turevista.uat.edu.mx

GUMBEL, E. J. The return period of flood flows. *Annals of Mathematical Statistics*, 1941, vol. 12, Nº 2, p. 163-190.

HERZER, H. M. y DI VIRGILIO, M. M. Buenos Aires: pobreza e inundación. *EURE*, 1996, vol. XXII, Nº 67, p. 65-80.

HUDSON, P. F. Geomorphic context f the prehistoric Huastec floodplain environments: lower Pánuco basic, México. *Journal of Archaeological Science*, 2004, vol. 31, Nº 6, p. 653-668.

HUDSON, P. F. & COLDITZ, R. R. Flood delineation in a large and complex alluvial valley, lower Pánuco basic, México. *Journal of Hydrology*, 2003, Nº 280, p. 1-4.

INEGI. *II Conteo de población y vivienda 2005*. Ciudad de México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2005.

IPCC. *Cambio climático 2007. Informe de síntesis*. Ginebra: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.

JÁUREGUI, E. y ZITÁCUARO, I. El impacto de los ciclones tropicales del Golfo de México en el estado de Veracruz. *La Ciencia y el Hombre*, 1995, Nº 21, p. 75-119.

JIMÉNEZ, S. y SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, D. Ordenación urbana litoral y prevención ante desastres de inundación en los municipios de Tamaulipas, México. El Sistema de Alerta Temprana contra Eventos Meteorológicos Extremos (SATEME). *Revista Ciencia-UAT*, 2007, Nº 4, p. 61-66.

JUÁREZ M.; IÑIGUEZ L. y SÁNCHEZ M. Niveles de riesgo social frente a desastres naturales en la Riviera Mexicana. *Investigaciones Geográficas*, 2006, Nº 61, p. 75-88.

LIMBERT, D. W. S. Consecuencias humanas y económicas de los fenómenos meteorológicos durante 1994. *Boletín de la Organización Meteorológica Mundial*, 1995, vol. 44, Nº 4, p. 364-375.

MAGAÑA, V. O. y GAY, C. Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y sus impactos ambientales,

sociales y económicos. *Gaceta Ecológica*, 2002, Nº 65, p. 7-23.

MANSILLA, E. La cuenca baja del Pánuco: un desastre crónico. En: LA RED. *Desastres y Sociedad*. Ciudad: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres de América Latina (La Red), 1994, p. 86-95.

MANSILLA, E. *Riesgo y ciudad*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2000.

MARDONES, M. y VIDAL, C. La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción. *EURE*, 2004, vol. XXVII, Nº 81, p. 97-122.

MARTÍNEZ, J. y FERNÁNDEZ, A. (comps.). *Cambio climático: una visión desde México*. Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología, 2004.

MATÍAS, L. G.; OROPEZA, O.; LUGO, J.; CORTEZ, M. y JÁUREGUI, E. Análisis de las principales causas de las inundaciones de septiembre de 2003 en el sur del estado de Guanajuato, México. *Investigaciones Geográficas*, 2007, Nº 064, p. 7-25.

MÁYER, P. Desarrollo urbano e inundaciones en la ciudad de las Palmas de Gran Canaria (1869-2000). *Investigaciones Geográficas*, 2002, Nº 028, p. 145-159.

MÉNDEZ, J.; NÁVAR, J. J. y GONZÁLEZ, V. Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. *Investigaciones Geográficas*, 2008, Nº 65, p. 38-55.

MONTZ, B. E. Emerging Issues and Challenges: Natural Hazards. *Journal of Contemporary Water Research and Education*, 2009, Nº 142, p. 42-45.

MOSER, S. & DILLING, L. (ed.). *Creating a Climate for Change: Communicating Climate Change and Facilitating Social Change*. New York: Cambridge University Press, 2007.

NOAA. *Historical hurricane Tracks*. Charleston: NOAA Coastal Services Center Linking People, Information, and Technology, 2006.

OJEDA, L. y ÁLVAREZ, G. La reforestación de Tijuana, Baja California como un mecanismo de reducción de riesgos naturales. *Estudios Fronterizos*, 2000, vol. 1, Nº 2, p. 9-31.

OLCINA, J. Cambios en la consideración territorial, conceptual y de método de los riesgos naturales. *Scripta Nova, Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 2008, vol. 270, Nº Extra 12. Disponible en Internet: <http://www.ub.edu/geocrit-xcol/62.htm>

PALACIO, G. Riesgos naturales y susceptibilidad del terreno ante la ocurrencia de huracanes. Aplicación de SIG en la costa baja acumulativa del suroeste de Campeche. En: RIVERA, E.; VILLALOBOS, G.; AZUZ, I. y ROSADO, F. *El manejo costero en México*. Campeche: Universidad Autónoma de Campeche, 2004, p. 287-305.

PAVIA, E. La influencia de los ciclones tropicales en la lluvia del Noroeste de Baja California y Suroeste de California. *GEOS*, 2004, vol. 24, Nº 1, p. 69-72.

PERLES, M. J. y MÉRIDA, M. Patrón territorial y conformación del riesgo en espacios periurbanos. El caso de la periferia este de la ciudad de Málaga. *Scripta Nova, Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 2010, vol. XIV, Nº 329. Disponible en Internet: <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-329.htm>

PERLES, M. J.; VÍAS, J. y ANDREO, B. Vulnerability of human environment to risk: case of groundwater contamination risk. *Environment International*, 2009, vol. 35, Nº 2, p. 325-335.

RODRÍGUEZ, J. M. La conformación de los desastres naturales. Construcción social del riesgo y variabilidad climática en Tijuana, BC. *Frontera Norte*, 2007, vol. 19, Nº 37, p. 83-112.

ROSENGAUS, M.; JIMÉNEZ, M. y VÁZQUEZ, M. *Atlas Climatológico de Ciclones en México*. Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación, 2002, 106 p.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, D. y BATRES, J. J. Retos de la planeación turística en la conservación de las lagunas urbanas degradadas de México. *Cuadernos Geográficos*, 2007, Nº 41, p. 241-252.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, D.; LEDEZMA, M. T. y RIVERA, N. L. (coords.). *Geografía Humana y crisis urbana en México. Human Geography and urban crisis in Mexico*. Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2011.

SMN-CNA. *Normales climatológicas de Observatorios Sinópticos 1961-1999*. Ciudad de México: Servicio Meteorológico Nacional, Consejo Nacional del Agua, 2005.

TAMAYO, J. L. *Geografía Moderna de México*. Ciudad de México: Editorial Trillas, 2004.

THOMAS BOHORQUEZ, JE. Desarrollo y gestión social del riesgo: ¿una contradicción histórica? *Revista de Geografía Norte Grande*, Nº 48, 2011, pp. 133-157.

USACE. *Coastal Engineering Manual (CEM)*. Washington: U. S. Army Corps of Engineers, 2002.

VARGAS, J. E. *Políticas públicas para la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres naturales y socio-naturales*. Santiago: Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Naciones Unidas, 2002.