

Vulnerabilidad por marea de tormenta en localidades costeras del Estado de Colima.

Galicia-Pérez Marco Antonio¹, López-Navarro G. Eliseo¹, Torres-Orozco Ernesto¹, Patiño-Barragán Manuel².

¹Facultad de Ciencias Marinas

²Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas

Universidad de Colima.

Kilómetro 20, carretera Manzanillo-Barra de Navidad

Manzanillo, Colima, México. C.P. 28860. galicia@ucol.mx

1. Introducción

La costa del Estado de Colima por su localización en el litoral del Océano Pacífico, está sujeta a la incidencia de ciclones tropicales (Patiño-Barragán *et al.*, 2009; SEDESOL, 2012; Martínez- Martínez *et al.*, 2014), siendo los Municipios costeros, Manzanillo, Armería y Tecomán, los más expuestos; un claro ejemplo fue el huracán Greg en 1999, Lane en el 2000, Kenna en el 2002, y recientemente Jova en el 2011, causaron severas inundaciones, colapso de la infraestructura urbana y destrucción de viviendas y propiedades; dejando miles de damnificados, pérdidas humanas y millones en daños materiales; por lo tanto, es de suma importancia conocer las zonas de peligro, las características de vulnerabilidad de la población y las áreas de riesgo, con el fin de mitigar el impacto y proponer medidas que permitan disminuir los efectos de estos fenómenos en la población.

2. Objetivo

El presente estudio, tuvo como objetivo analizar el efecto de los fenómenos naturales extremos, debido a la morfología del territorio, a la traza urbana y a las características socio- económicas de la población, mediante la identificación de zonas de peligro, la determinación de la vulnerabilidad de la población y la clasificación de las zonas de riesgo, para cada uno de los Municipios, Manzanillo, Armería y Tecomán, e integrándolos en un Sistema de Información Geográfica que permite la gestión integral del riesgo y el territorio.

3. Metodología

La metodología está basada en la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgo: Fenómenos Hidrometeorológicos, propuesta por el CENAPRED (2006). La amplitud de la marea de tormenta se calculó mediante la ecuación: (Silva, 2014)

$$\eta = \frac{Pa}{100} + \frac{Kw^2x}{g(h - \eta_0)} \ln\left(\frac{h}{\eta_0}\right) \quad (1)$$

Donde η_0 es el nivel del mar en la zona donde se desea conocer la amplitud de la marea de tormenta, Pa es el gradiente de presión atmosférica en el punto de evaluación (playa) respecto a la presión normal (en mb), x es la distancia entre la pared del ciclón tropical y en la zona de estudio (en m), w es el componente normal de la velocidad del viento a la zona de estudio (en m/s), g es la aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2), h es la profundidad del mar en el centro del ciclón tropical (en m), al ser mayor a 200 m se toma este valor como umbral, K = es el coeficiente de arrastre del aire dado por:

$$K = \frac{\rho_{\text{aire}}}{\rho_{\text{agua}}} C_D \quad (2)$$

Donde ρ_{aire} es la densidad específica del aire (kg/m^3), ρ_{agua} es la densidad específica del agua (kg/m^3), C_D es un coeficiente de arrastre adimensional cuyo valor está entre 2×10^{-6} a 9×10^{-6} ; utilizando para el caso de ciclones tropicales 9×10^{-6} ; considerando datos obtenidos de la NOAA (2014) y SMN-CNA (2014), de los ciclones tropicales Lane (H2), Kenna (H5), Marie (H5) y Odile (H4). Con los resultados de las alturas de la marea se construyeron los rangos de inundación para cada categoría de ciclón tropical, Tormenta Tropical (TT), Huracán 1 (H1), Huracán 2 (H2), Huracán 3 (H3), Huracán 4 (H4) y Huracán 5 (H5); y teniendo como penetración máxima de la marea la cota de los 20msnm y 3km a partir de la línea de costa.

Los rangos de inundación se trabajaron en un SIG, donde posteriormente, se capturó información topográfica, Geoestadística y censal del Estado de Colima, proporcionada por el INEGI (2010a); realizando posteriormente un análisis de la población expuesta de las localidades rurales y urbanas. Para obtener los valores del periodo de retorno para cada categoría de ciclón tropical, se realizó un análisis estadístico mediante el Proceso de Poisson, con el registro de ciclones tropicales de 1949-2013, que describieron trayectorias no mayores a 500km de la costa de Colima (Unisys- weather, 2014). Con lo anterior, se alimentaron las bases de datos y realizaron los mapas de peligro por marea de tormenta para cada Municipio, obteniendo así, las zonas de mayor peligro de la costa.

Por otro lado, para la estimación de la vulnerabilidad se consideró que la inundación por marea de tormenta, ocurre gradualmente dando tiempo para que las autoridades y las personas evacuan ante la presencia del fenómeno, por lo que la vulnerabilidad es física-social. Se buscó obtener valores homogéneos entre localidades rurales y urbanas; para lo cual se consideraron indicadores de educación, características y servicios de la vivienda, número de habitantes y salario percibido, obtenidos del Índice de Marginación (INEGI, 2010a; CONAPO, 2012); a partir de estas características socioeconómicas, se construyó el Índice de Vulnerabilidad, que va desde muy bajo a muy alto. Se agregaron las bases de datos de vulnerabilidad en el SIG, para generar los mapas de vulnerabilidad y realizar un análisis de la población en los diferentes rangos.

Para la evaluación de las zonas de riesgo se asignó un monto máximo de pérdidas materiales (valor de los bienes expuestos) en caso de una inundación, de acuerdo a cada rango del índice de vulnerabilidad, que va \$12,500 a \$500,000 pesos; una vez asignado, se realizó una estimación de las pérdidas por localidad y por rango de inundación, obteniendo con esto el valor de las pérdidas materiales, en base a la altura de la marea que genera cada categoría de ciclón tropical. Con lo anterior, se cargaron las bases de datos en el SIG y se obtuvieron los mapas de riesgo.

4. Resultados

Los resultados se integraron en un SIG, los mapas de peligro contienen los rangos de inundación de 0–5msnm (Rojo), 5–10msnm (Naranja), 10–15msnm (Amarillo intenso) y 15–20msnm (Amarillo), obtenidos del cálculo de la marea de tormenta y la zona de afectación de 3km (Azul), donde se encuentran asentadas las localidades rurales y urbanas de cada Municipio (Figura 1). En Manzanillo el 68% (109,092 habitantes) viven en áreas de peligro; en Armería el 4% (1,230 habitantes) y en Tecomán el 0.4% (413 habitantes). El peligro derivado de la alta incidencia de ciclones tropicales en el Pacífico Mexicano, es para TT muy alto con un periodo de retorno de 2 años, H1 alto con un periodo de 4 años, H2 y H3 bajo con un periodo de 26 años, H4 medio con un periodo de 13 años y H5 muy bajo con un periodo de 356 años (Tabla 1).

Tabla 1: Altura de la marea de tormenta para cada categoría de ciclón tropical.

Categoría	Presión central (mb)		Vientos (km/h)		Marea de tormenta (m)		Periodo de retorno (años)
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
Depresión tropical	1004.1	1008	< 62		0	2	<2
Tormenta tropical	985.1	1004	62.1	118	0	5	2
Huracán 1	980.1	985	118.1	154	0	7	4
Huracán 2	965.1	980	154.1	178	0	10	26
Huracán 3	945.1	965	178.1	210	0	15	26
Huracán 4	920.1	945	210.1	250	0	20	13
Huracán 5	< 920		> 250		> 20		356

Los mapas de vulnerabilidad, contienen los rangos del índice de vulnerabilidad, los cuales van desde Muy alto (Rojo oscuro), Alto (Rojo), Medio (Naranja), Bajo (Amarillo) y Muy bajo (Verde), por localidades rurales y urbanas, para cada Municipio (Figura 2). En Manzanillo el 53% (57,856 habitantes) que viven en las áreas de peligro, se encuentran en rango bajo y muy bajo de vulnerabilidad; en Armería el 98% (1,202 habitantes) en rango medio, y en Tecomán el 92% (379 habitantes) en rango alto y muy alto.

Los mapas de riesgo para cada categoría de ciclón tropical; contienen los rangos de inundación 0–20msnm, la zona de afectación de 3km, y las localidades rurales y urbanas, para cada Municipio (Figura 3). En el Municipio de Manzanillo el riesgo para la categoría de TT asciende a \$5,612.43 millones, H1 a \$6,803.83 millones, H2 a \$8,590.92 millones, H3 a \$10,569.94 millones, H4 a \$11,536.82 millones y H5 a >\$11,536.82 millones. En el Municipio de Armería el riesgo para la categoría de TT asciende a \$173.85 millones, H1 a \$173.86 millones, H2 a \$173.88 millones, H3 a >\$173.88 millones, H4 a >\$173.88 millones y H5 a >\$173.88 millones. En el Municipio de Tecomán el riesgo para la categoría de TT asciende a \$2.61 millones, H1 a \$2.72 millones, H2 a \$2.83 millones, H3 a >\$2.83 millones, H4 a >\$2.83 millones y H5 a >\$2.83 millones.

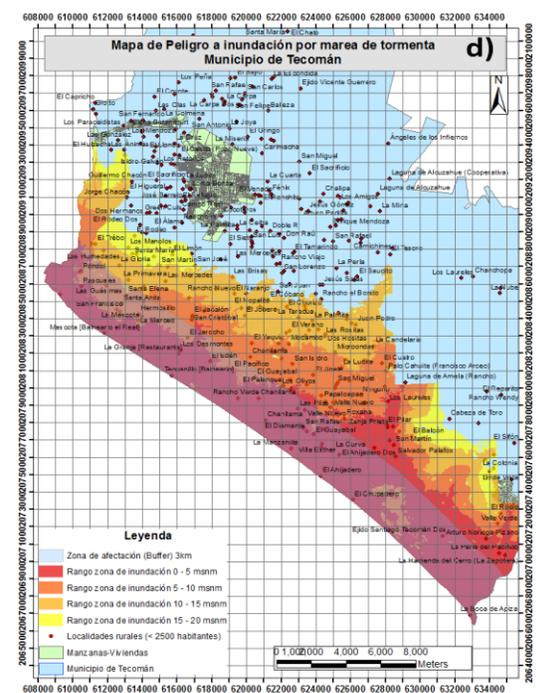
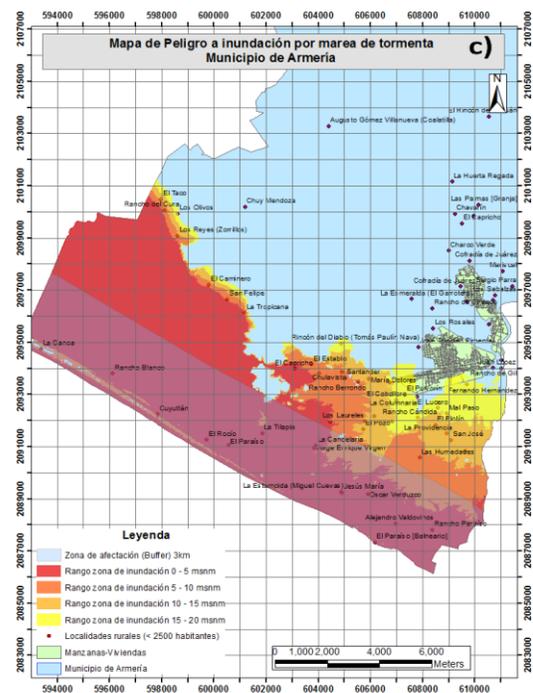
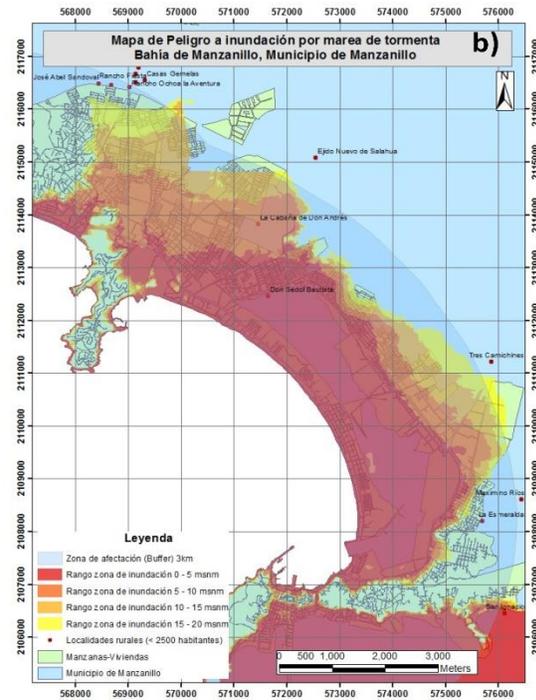
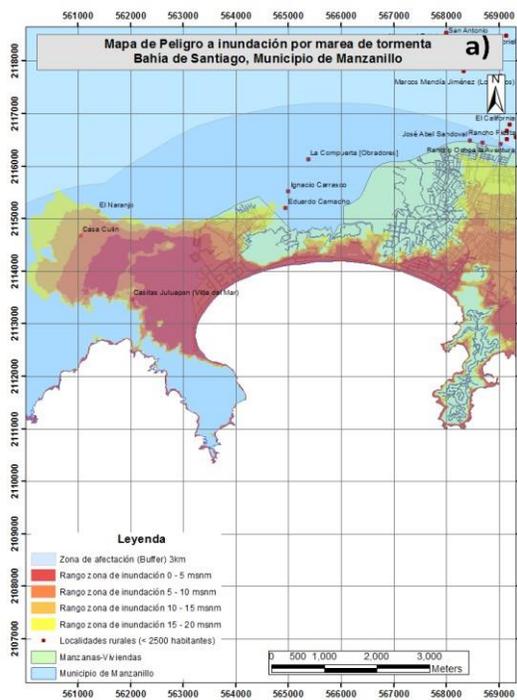


Figura 1. Mapa de peligro a inundación por marea de tormenta, a) y b) Municipio de Manzanillo, c) Municipio de Armería, d) Municipio de Tecomán.

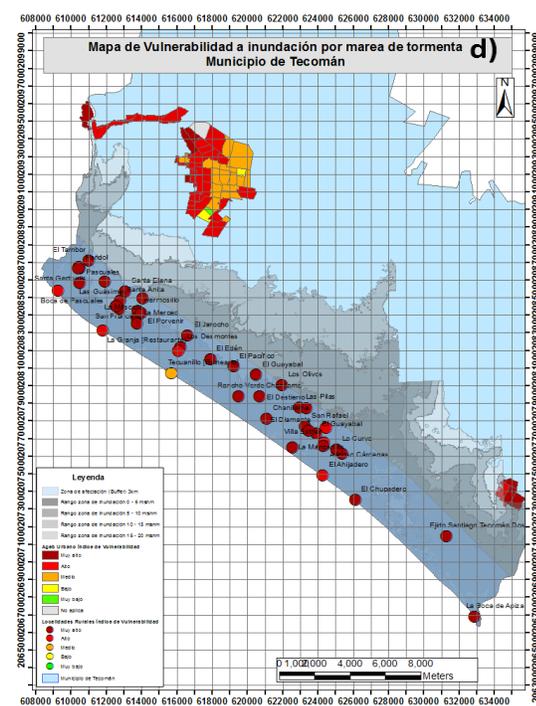
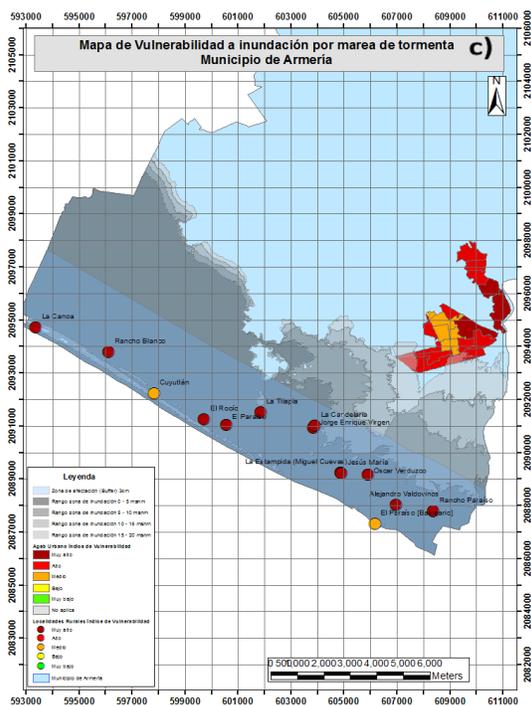
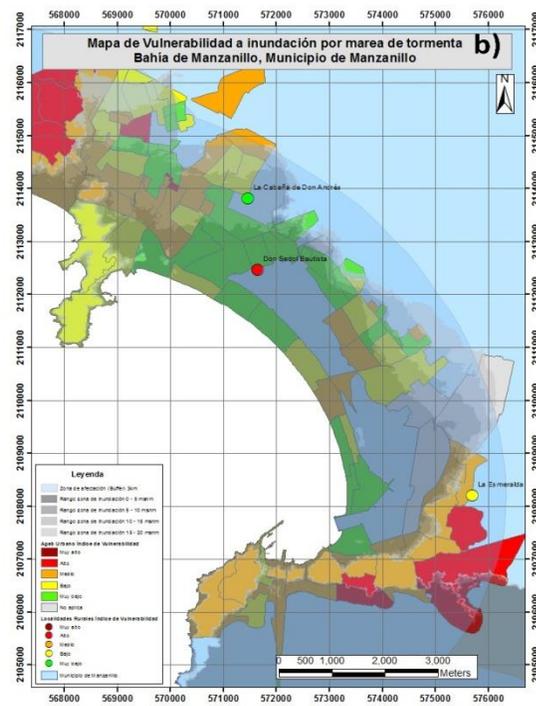
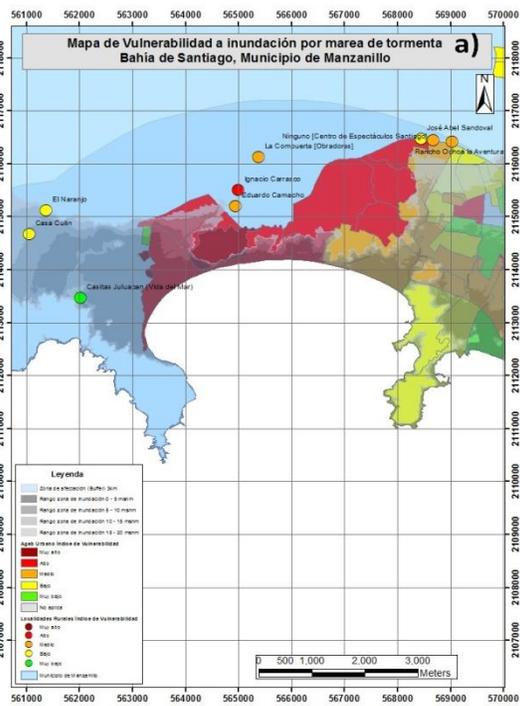


Figura 2. Mapa de vulnerabilidad a inundación por marea de tormenta, a) y b) Municipio de Manzanillo, c) Municipio de Armería, d) Municipio de Tecmán.

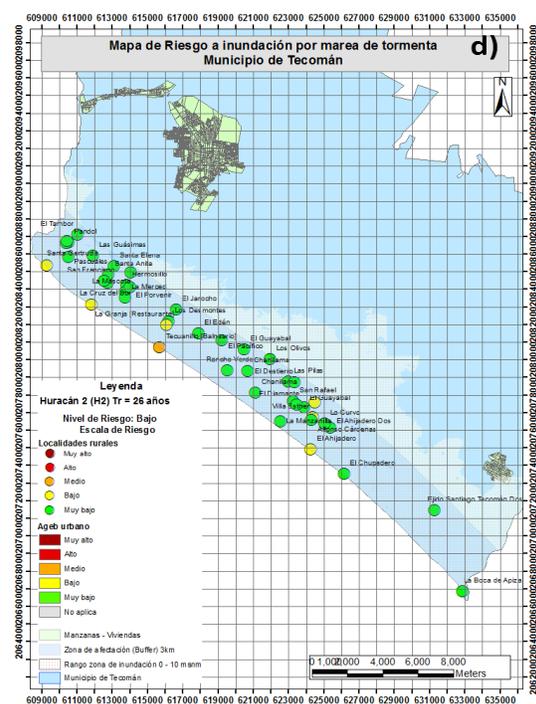
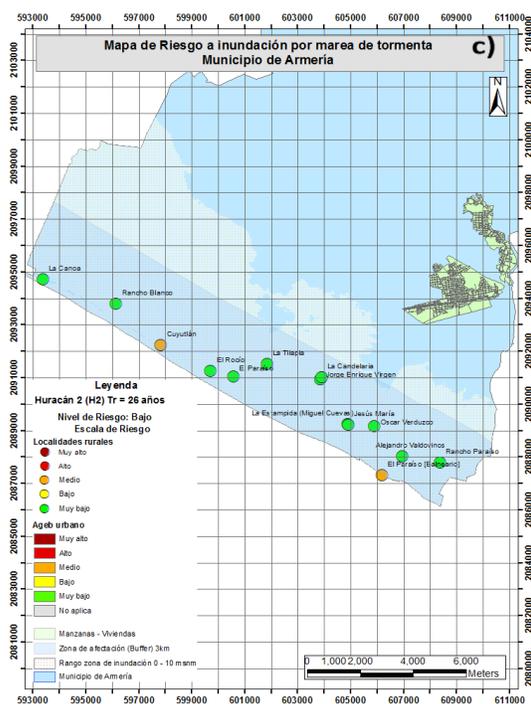
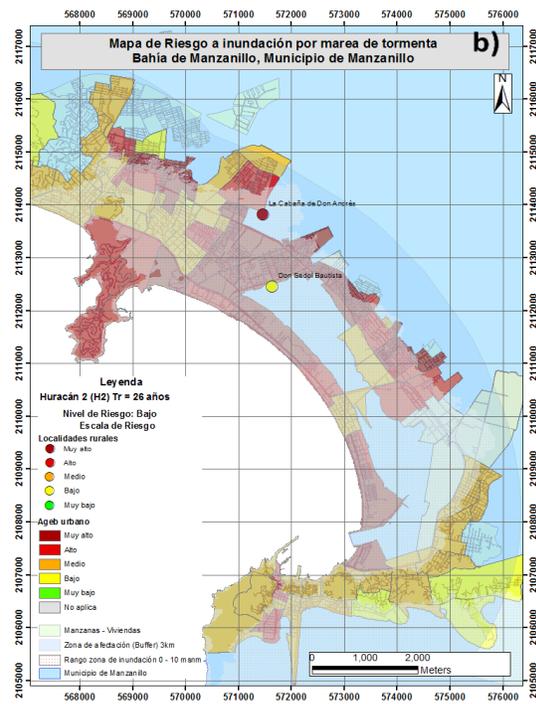
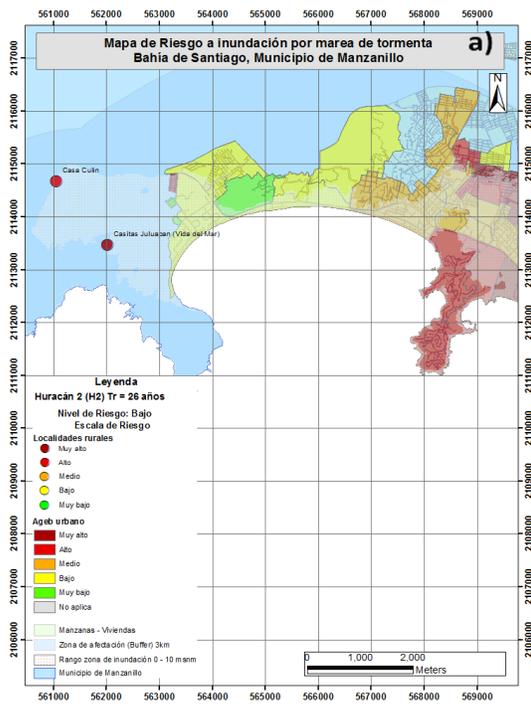


Figura 3. Mapa de riesgo a inundación por marea de tormenta, a) y b) Municipio de Manzanillo, c) Municipio de Armería, d) Municipio de Tecmán.

5. Discusión

En los resultados se observó que la mayor zona de peligro se encuentra entre la cota de los 0– 5msnm en donde las poblaciones se encuentran más próximas al mar y en donde las actividades económicas como las portuarias, industriales y turísticas, priorizan el uso intensivo de la zona costera. Otras variables importantes que pueden aumentar las condiciones de peligro, son las inundaciones por precipitaciones, como consecuencia de la presencia del ciclón tropical, y la erosión producida por el oleaje y la marea de tormenta. A su vez, es necesario considerar las particularidades de ambas Bahías en Manzanillo, ya que pueden incidir en un comportamiento distinto del fenómeno en comparación a zonas adyacentes.

El factor determinante en las diferencias tan marcadas del índice de vulnerabilidad entre los Municipios, es el nivel de desarrollo económico; que en el caso de Manzanillo, su orientación portuaria–turística permite acceder a fuentes de empleo y salarios estables, que permiten un desarrollo en las familias; y que a su vez, por su cercanía, también influye en Armería, en donde la población se desplaza a Manzanillo para laborar en estas actividades; sin embargo, en Tecomán ya esta influencia es casi inexistente. Actividades económicas como la agricultura, la ganadería y un turismo temporal inciden en los índices de vulnerabilidad de Armería y Tecomán.

La acumulación de riqueza, bienes materiales y un sistema económico en desarrollo son determinantes en el alto riesgo encontrado en Manzanillo, mientras que un ralentizado sistema económico de Armería y Tecomán, mantienen bajo el riesgo. El Sistema de Información Geográfica (SIG) creado, permite la gestión integral del riesgo y del territorio, así como el enriquecimiento de bases de datos y el ingreso de nuevos peligros costeros.

6. Conclusiones

Las zonas de peligro por marea de tormenta en Manzanillo son las bahías de Manzanillo y Santiago debido a la poca área de playa; en Armería las localidades de Cuyutlán y El Paraíso; y en Tecomán las localidades de Boca de Pascuales, La Mascota, El Tecuanillo, El Ahijadero, El Chupadero y Boca de Apiza.

Los mayores índices de vulnerabilidad se encuentran en las localidades del Municipio de Tecomán, seguido de los índices medios de Armería y bajos de Manzanillo. Mientras que el mayor riesgo corresponde al Municipio de Manzanillo, concentrado principalmente en la Bahía de Manzanillo y Santiago; en Armería en las localidades de Cuyutlán El Paraíso; y en Tecomán en las localidades rurales de Boca de Pascuales, La Mascota, El Tecuanillo, El Ahijadero, El Chupadero y Boca de Apiza.

7. Bibliografía

CENAPRED (2006). Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos: Fenómenos Hidrometeorológicos. Atlas Nacional de Riesgos, Primera Edición, 486. México, D. F.

CONAPO (2012). Índice de marginación por localidad 2010. México, D. F.

INEGI (2010a). Censo de Población y Vivienda 2010. México, D. F.

INEGI (2010b). Marco Geoestadístico 2010. México, D. F.

Martínez-Martínez, R. E., Mendoza-Baldwin, E. G. y Silva-Casarin, R. (2014). Determinación de cotas de inundación por marea de tormenta en el litoral mexicano. Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Santiago, Chile, 8 pp.

NOAA (2014). National Hurricane Center Data Archive, from <http://www.nhc.noaa.gov/data/>

López-Navarro Guillermo E., (2015). Riesgo por marea de tormenta en la costa del estado de Colima, México. Tesis Maestría en Ciencias del Mar. Universidad de Colima.

Patiño-Barragán, M., Meyer-Willerer, A., Galicia-Pérez, M., Lezama-Cervantes, C. y Lara-Chávez, B. (2009). Zona de mayor afectación en el Puerto de Manzanillo, Colima México, por eventos hidrometeorológicos intensos y su periodicidad. Boletín Técnico, 47(1), 47- 60. Caracas, Venezuela.

SEDESOL (2012). Actualización del Atlas de Riesgos Naturales. Municipio de Manzanillo, Colima. 2012. Gobierno de Colima.

Silva Casarín, R., Martínez, R. E., Mendoza, E., (2014). Peligro de inundación por fenómenos marinos extremos en el litoral mexicano. XXIII Congreso Nacional de Hidráulica, Puerto Vallarta, Jalisco, México. Octubre 2014. 7 pp.

SMN-CNA (2014). <http://smn.cna.gob.mx/>

Unisys-weather (2014). Hurricane/Tropical Data, <http://weather.unisys.com/hurricane/>